

# Klimafreundliche Produktion in der Automobilindustrie

## Kurzstudie im Auftrag der Bundestagsfraktion Bündnis 90/Die Grünen

Freiburg, 11.05.2021

### **Autorinnen und Autoren**

Carl-Otto Gensch, Kevin Stuber-Rouselle, Sofie Hovmand  
Öko-Institut e.V.

Prof. Dr. Rainer Grießhammer

### **Kontakt**

[info@oeko.de](mailto:info@oeko.de)  
[www.oeko.de](http://www.oeko.de)

### **Geschäftsstelle Freiburg**

Postfach 17 71  
79017 Freiburg

### **Hausadresse**

Merzhauser Straße 173  
79100 Freiburg  
Telefon +49 761 45295-0

### **Büro Berlin**

Borkumstraße 2  
13189 Berlin  
Telefon +49 30 405085-0

### **Büro Darmstadt**

Rheinstraße 95  
64295 Darmstadt  
Telefon +49 6151 8191-0



# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>5</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>6</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>7</b>
<b>1 Einführung und Zielsetzung</b>	<b>8</b>
<b>2 Analyse der Strategien deutscher Automobilhersteller</b>	<b>10</b>
<b>2.1 Überblick und Vorgehen</b>	<b>10</b>
<b>2.2 Bilanzierungsmethoden und Begrifflichkeiten</b>	<b>11</b>
<b>2.3 Darstellung und Bewertung der Strategien</b>	<b>12</b>
2.3.1 Gesamtübersicht	12
2.3.2 Produktion (Scope 1 und 2) und Entwicklung der Emissionen	14
2.3.3 Lieferketten (Scope 3 upstream)	15
2.3.4 Zuliefer-Unternehmen	16
2.3.5 Klimaneutrale Batterieproduktion und Konfliktrohstoffe	18
2.3.6 Verbrauch und Emissionen in der Nutzungsphase der Fahrzeuge	19
2.3.7 Effizienzmaßnahmen (Energie- und Material)	19
2.3.8 Erzeugung und Bezug Erneuerbarer Energien	20
2.3.9 Kompensationsmaßnahmen	22
2.3.10 Planungen zur Klimaneutralität	22
<b>3 Beiträge und Minderungspotenziale der Klimabilanz der deutschen Automobilproduktion</b>	<b>24</b>
<b>3.1 Zielsetzung und Vorgehen</b>	<b>24</b>
<b>3.2 Ergebnisse</b>	<b>24</b>
3.2.1 Überblick	24
3.2.2 Beitragsanalysen	25
3.2.3 Batterieherstellung bei Elektrofahrzeugen	26
3.2.4 Energieverbrauch und THG-Emissionen in der Automobilproduktion	27
3.2.5 Überblick zu Effizienzmaßnahmen	31
3.2.6 Mittel- bis langfristig ausgerichtete Strategien bei relevanten Ausgangsmaterialien	32
3.2.6.1 Materialzusammensetzung der Rohbaukarosserie	32
3.2.6.2 Technologien für die klimaneutrale Stahlherstellung und Chemieproduktion	34
<b>4 Schlussfolgerungen und Empfehlungen</b>	<b>38</b>

**6 Anhang: Anforderungen an Kompensationen**

**42**

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Scope 1-, 2- und ausgewählte Scope 3-CO <sub>2</sub> -Emissionen in Tonnen pro Fahrzeug Mercedes-Benz Cars (2020)	14
Abbildung 2-2: Übersicht über verschiedene Ökostrombezugsoptionen und deren zurechenbarer Effekt auf die Erzeugung erneuerbarer Energien	21
Abbildung 3-1: Beitragsanalyse der THG-Emissionen für die Herstellung der Fahrzeugkarosserie (Beispiel Dieselfahrzeug)	25
Abbildung 3-2: Beitragsanalyse der THG-Emissionen für die Herstellung des Fahrzeugantriebs (Beispiel Dieselfahrzeug)	26
Abbildung 3-3: Vergleich der Ergebnisse der Fallstudie mit Literaturangaben (alle Zahlenwerte in kg CO <sub>2</sub> -e pro Fahrzeug)	28
Abbildung 3-4: Übersicht über wesentliche Fertigungsschritte in der Automobilproduktion	29
Abbildung 3-5: Entwicklung von Fahrzeugproduktion, Energieverbrauch und Umweltbelastungen am Beispiel des Vereinigten Königreichs	30
Abbildung 3-6: Entwicklung der Materialzusammensetzung in der Rohbaukarosserie	33

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	Angefragte Unternehmen	10
Tabelle 2-2:	CO <sub>2</sub> -Emissionen von Automobilunternehmen im Jahr 2020 (in t CO <sub>2</sub> )	13
Tabelle 2-3:	Durchschnittliche Anteile von Lieferketten, Produktion und Nutzungsphase an den Gesamtemissionen (anteilig in Prozent)	14
Tabelle 2-4:	Reduktionen oder Jahreswerte der CO <sub>2</sub> -Emissionen oder des Energieverbrauchs bei Automobilherstellern und Automobilen	15
Tabelle 2-5:	CO <sub>2</sub> -Emissionen von Zulieferern im Jahr 2020 (in t CO <sub>2</sub> )	16
Tabelle 2-6:	Reduktionen der Scope 1 & 2 CO <sub>2</sub> -Emissionen bei Zulieferern in den Jahren 2018-2020	17
Tabelle 2-7:	Perspektiven zur Klimaneutralität der Zuliefer-Unternehmen	18
Tabelle 2-9:	Perspektiven zur Klimaneutralität nach Angaben der Automobilhersteller	23
Tabelle 3-1:	Berechnete THG-Emissionen aus der Herstellung von drei Fahrzeugen (einschließlich Vorketten)	25
Tabelle 3-2:	THG-Emissionen aus der Herstellung von Lithium-Ionen-Batterien in Abhängigkeit der Energiebereitstellung – Zahlenwerte in kg CO <sub>2</sub> e	27
Tabelle 3-3:	Abhängigkeit der THG-Emissionen pro Fahrzeug in Abhängigkeit der Auslastung einer Automobilfabrik	29
Tabelle 3-4:	Anwendungsabhängiger Energieeinsatz in Automobilfabriken	31
Tabelle 3-5:	CO <sub>2</sub> -arme Schlüsseltechnologien für eine weitgehend treibhausgasneutrale Stahlproduktion und Chemieproduktion	35

## Abkürzungsverzeichnis

<b>CO<sub>2</sub></b>	Kohlendioxid
<b>CO<sub>2</sub>e</b>	Kohlendioxidäquivalente
<b>Fz.</b>	Fahrzeuge
<b>GWP</b>	Global Warming Potential = Treibhauspotential
<b>Pkw</b>	Personenkraftwagen
<b>THG</b>	Treibhausgase

## 1 Einführung und Zielsetzung

Viele deutsche Industrieunternehmen, darunter auch die Automobilindustrie mit ihren Zulieferunternehmen, streben eine klimaschutzorientierte oder sogar klimaneutrale Herstellung ihrer Produkte an. So will beispielsweise der Volkswagen-Konzern den CO<sub>2</sub>-Ausstoß in der Produktion bis 2030 um 30 Prozent reduzieren, indem der Anteil erneuerbarer Energien an dem extern bezogenen Strom für die Produktion stufenweise auf 100 Prozent steigen soll und in den Fertigungsstätten eine Vielzahl von Projekten für Energieeffizienz vorangetrieben werden<sup>1</sup>. Ähnlich hat sich auch der Automobilzulieferer Bosch positioniert: Bereits im Nachhaltigkeitsbericht von 2019 hat das Unternehmen angekündigt, sich bei den Scope 1- und Scope 2-Emissionen<sup>2</sup> klimaneutral zu stellen, bei den Scope 3-Emissionen wird eine Verringerung bis 2030 um 15 Prozent angestrebt<sup>3</sup>.

Für die Umsetzung hin zu einer klimaneutralen Produktion bauen die Unternehmen in der Regel auf eine Strategie mit folgenden Bestandteilen:

- Steigerung der Energie- und Materialeffizienz,
- Ausbau der eigenen Versorgung mit regenerativen Energien,
- Erweiterung des Bezugs von Strom aus erneuerbaren Energien,
- Ausgleich der nicht oder nur mit zu hohen Kosten vermeidbaren CO<sub>2</sub>-Emissionen mit Kompensationsmaßnahmen.

Die Frage, welche Potenziale in der Steigerung der Energieeffizienz und im Ausbau erneuerbarer Energie bestehen und in welchem Umfang CO<sub>2</sub>-Emissionen tatsächlich „nicht vermeidbar“ sind, dürfte von Unternehmen zu Unternehmen unterschiedlich bewertet werden. Zudem wird es mit Blick auf die (Scope 3-) CO<sub>2</sub>-Emissionen der für die Automobilherstellung wichtigen Basismaterialien Stahl, Aluminium und Kunststoffe entscheidend sein, unter welchen Voraussetzungen und ab wann es gelingen wird, eine klimaneutrale Grundstoffindustrie aufzubauen. Ganzheitlich betrachtet hängt somit eine klimaneutrale Automobilindustrie auch von der Realisierung einer klimaneutralen Erzeugung von Stahl, Aluminium und Kunststoffen ab. Damit ist die Automobilindustrie durch den Wechsel der Antriebskonzepte hin zu Elektromobilität, durch die Digitalisierung und mit der Entwicklung des autonomen Fahrens nicht nur selbst einer weitreichenden Transformation ausgesetzt. Mit Blick auf die materiellen Vorleistungen ist eine klimaneutrale Automobilherstellung untrennbar verknüpft mit dem industriellen Strukturwandel hin zu einer nachhaltigen Wasserstoffwirtschaft, da Wasserstoff in der klimaneutralen Grundstoffherstellung eine Schlüsselrolle einnehmen wird.

Vor diesem Hintergrund werden im Rahmen dieser Kurzstudie die Klimaschutzstrategien in der Automobilproduktion genauer untersucht. Dazu werden die Ankündigungen und Strategien von Automobilherstellern und Zulieferunternehmen näher analysiert und die wesentlichen Einflussfaktoren auf die produktionsseitige Emissionsbilanz der Fahrzeuge ermittelt. Daneben werden die Herausforderungen und mögliche Instrumente für eine klimaneutrale Fahrzeugproduktion im Sinne einer Minimierung rein kompensatorischer Maßnahmen dargestellt.

In dieser Studie wird die Herstellung konventioneller Pkw mit Verbrennungsmotoren und mit batterieelektrischem Antrieb sowie Hybridantrieb berücksichtigt. Autonomes Fahren und die

<sup>1</sup> <https://www.volkswagenag.com/de/news/stories/2020/04/on-the-way-to-becoming-a-climate-neutral-company.html#>; zuletzt geprüft am 15.02.2021

<sup>2</sup> Die Begriffe werden in Abschnitt 2.2 erläutert

<sup>3</sup> [https://assets.bosch.com/media/global/sustainability/reporting\\_and\\_data/2019/bosch-nachhaltigkeitsbericht-2019-spotlights.pdf](https://assets.bosch.com/media/global/sustainability/reporting_and_data/2019/bosch-nachhaltigkeitsbericht-2019-spotlights.pdf), zuletzt geprüft am 15.02.2021



Herstellung entsprechender Fahrzeuge können demgegenüber hier nicht berücksichtigt werden, da hier neben den Fahrzeugen mit entsprechender elektronischer Ausrüstung auch die weitreichend veränderte Infrastruktur (Edge-Computing und mit Sensoren ausgerüstete Verkehrswege) mit einbezogen werden müssten.

## 2 Analyse der Strategien deutscher Automobilhersteller

### 2.1 Überblick und Vorgehen

Für die Analyse der Strategien deutscher Automobilhersteller und wichtiger Zulieferer wurden folgende Unternehmen angefragt:

**Tabelle 2-1: Angefragte Unternehmen**

Automobilhersteller	Zulieferunternehmen
Volkswagen AG mit Audi und Porsche	Bosch
Daimler AG	Continental
BMW Group	ZF Friedrichshafen
Opel (Stellantis-Konzern)	Mahle
Ford	Schaeffler

Quelle: Öko-Institut 2021

Zwar stellen alle aufgeführten Unternehmen mit ihren Auftritten im Internet auch Umwelt- und Nachhaltigkeitsberichte zur Verfügung, teilweise ist aber die Aktualität und Vollständigkeit der Informationsbasis nicht ohne Weiteres ersichtlich. Vor diesem Hintergrund wurden auch alle Unternehmen telefonisch oder mit Mails über die Erhebung informiert. Anhand vorab verschickter Leitfragen konnte im Kontakt mit den Unternehmen, teilweise zusätzlich ergänzt mit Kurzinterviews, die Vollständigkeit und Aktualität der in die Analyse einbezogenen Daten und Informationen sichergestellt werden. Die Leitfragen umfassten folgende Aspekte:

- Art der geplanten Maßnahmen
  - Maßnahmen zur Steigerung der Energie- und Materialeffizienz
  - Erhöhung des Anteils bezogener Vorprodukte aus klimafreundlicher / klimaneutraler Produktion
  - Ausbau der Versorgung mit regenerativen Energien
  - Erweiterung des Bezugs von Grünstroms (mit Differenzierung nach Ambitionsniveaus)
  - Ausgleich unvermeidbarer CO<sub>2</sub>-Emissionen mit Kompensationsmaßnahmen (mit Differenzierung nach Ambitionsniveaus)
- Zeitlicher Verlauf der Maßnahmen
- Indikatoren zur Abbildung des Zielerreichungsgrads
- Umgang mit Zielkonflikten

Nicht beteiligen konnten sich die Unternehmen Opel und Mahle. Daher wurde davon abgesehen, Informationen dieser Unternehmen in die Auswertung einzubeziehen. Insgesamt konnte trotz des kurzen Bearbeitungszeitraums dieser Kurzstudie von acht Wochen dank der Auskunftsbereitschaft vieler Unternehmen eine nahezu vollständige Informationsbasis einbezogen werden, so dass die Ergebnisse für die Fragestellung zu deutschen Automobilherstellern als aktuell und repräsentativ angesehen werden können.

In den Berichten der Automobilhersteller und Zulieferer finden sich viele Daten, gleichwohl ist die Datenlage sehr heterogen. So beziehen sich die von den einzelnen Herstellern angegebenen CO<sub>2</sub>-

Emissionen, Energiewerte und erreichte oder geplante Reduktionen oft auf unterschiedliche Bilanzzeiträume, und sie sind sachlich und geographisch unterschiedlich festgelegt und abgegrenzt. So beziehen sich die Angaben beispielsweise auf die Gesamtemissionen oder auf durchschnittliche Fahrzeuge, auf unterschiedliche Regionen (Welt, EU, USA, Deutschland), auf einzelne Produktions- und Entwicklungsstandorte, auf unterschiedliche Fahrzeugsegmente (Pkw, Vans, leichte Nutzfahrzeuge, Lkw, Busse), auf unterschiedliche Konzernmarken (VW, Audi, Seat, Skoda) oder unterschiedliche Unternehmensteile. Teilweise wurde die zugrunde gelegte Statistik in den letzten Jahren geändert, beispielsweise bei Daimler durch die Umstellung von der location-based-Erhebung auf die market-based-Erhebung, und die Aufnahme der CO<sub>2</sub>-Emissionen der Logistik erfolgte erst ab 2020. Und für die Errechnung der größten CO<sub>2</sub>-Emissionen – die der Nutzungsphase – werden unterschiedliche Annahmen zugrunde gelegt (beispielsweise 150.000 km oder 200.000 km – wobei in der Praxis noch höhere Werte registriert werden, vgl. Weymar und Finkbeiner (2016)).

In den Vergleichstabellen dieser Studie (ab Abschnitt 2.3) wurde so weit wie möglich versucht, die unterschiedlichen Datengrundlagen darzustellen, teilweise wurden Daten auch umgerechnet, um einen Vergleich der Angaben zu ermöglichen. Zum Teil finden sich bei den Tabellen in den Berichten der Hersteller Dutzende von Fußnoten und Einschränkungen, die in den Vergleichstabellen zu mehreren Herstellern nicht komplett aufgenommen werden konnten.

## 2.2 Bilanzierungsmethoden und Begrifflichkeiten

Die Automobilhersteller haben jeweils aufgeschlüsselte CO<sub>2</sub>-Bilanzen für die gesamten Produktlinien der Pkw (teilweise auch Lkw bzw. Nutzfahrzeuge) veröffentlicht. Nach der produktbezogenen Ökobilanz-Methodik sind damit die Phasen Rohstoffgewinnung, Transporte, Produktion, Nutzung und Entsorgung einbezogen. Nach dem unternehmensbezogenen Ansatz des Greenhouse Gas Protocols (GHG) werden vier unterschiedlich Bilanzräume erfasst (Greenhouse Gas Protocol; Greenhouse Gas Protocol 2004):

- Scope 1: Direkte CO<sub>2</sub>-Emissionen aus den Produktionsanlagen und dem eigenen Fuhrpark (z.B. Verbrennung von Öl oder Gas bei Produktionsprozessen und von Treibstoffen bei Fahrzeugen).
- Scope 2: Indirekte CO<sub>2</sub>-Emissionen aus bezogener Energie (zum Beispiel Strom oder Fernwärme).
- Scope 3-upstream: Indirekte CO<sub>2</sub>-Immissionen aus den Vorketten, im Wesentlichen aus der Herstellung von bezogenen Materialien oder Halbzeugen (z.B. Stahl, Aluminium und Kunststoffe) sowie Abfallbehandlung und Recycling aus eigenen Prozessen, Transporten, Geschäftsreisen und Arbeitswegen der Beschäftigten.
- Scope 3-downstream: Transporte, Nutzung der Produkte, Abfallbehandlung und Recycling der Produkte (im Prinzip umfasst Scope 3 auch geleaste Güter und Investments. Darauf wird in den Berichten der Unternehmen aber nicht eingegangen).

Die CO<sub>2</sub>-Gesamtbilanzen sind jeweils globale Bilanzen, schon weil die Vorketten bzw. Lieferanten überwiegend im Ausland sind. Bei der Bilanzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen entlang der Produktlinie oder für das Unternehmen insgesamt gibt es unterschiedliche Bilanzierungsmethoden (z.B. Produktökobilanz nach ISO 14040/44; CO<sub>2</sub>-Bilanz nach ISO 14067; Greenhouse Gas Protocol), die Möglichkeit zur Festlegung unterschiedlicher Bilanzierungsräume und -zeiten (Scopes), unterschiedliche Annahmen (zum Beispiel die unterschiedlichen langen Fahrstrecken (150.000 km oder 200.000 km)), sowie unterschiedliche Datenbanken für Hintergrunddaten mit zum Teil

differierenden Modulwerten (z.B. deutlich unterschiedliche Werte für Kunststoffe bei Ecoinvent und bei DEFRA). In den Berichten der Unternehmen sind die jeweiligen Bilanzierungsgrundlagen und Datenquellen nicht oder nur vereinzelt ausgewiesen. Im Rahmen der vorliegenden Kurzstudie konnten die Bilanzierungsgrundlagen und damit verbundenen möglichen Unterschiede nicht recherchiert werden. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass die jeweils ermittelten und angegebenen Größenordnungen einigermaßen vergleichbar sind und für die Fragestellung der Kurzstudie ausreichend sind.

Wenn in den Berichten der Unternehmen und nachstehend CO<sub>2</sub>-Emissionen angegeben werden, ist dies sprachlich verkürzt. In der Regel sind damit CO<sub>2</sub>-Äquivalente und damit alle Treibhausgasemissionen gemeint, also beispielsweise auch Methan. Zwei wichtige und nicht leicht zu verstehende Ausnahmen sind Angaben zu den CO<sub>2</sub>-Emissionen zu einzelnen Fahrzeugtypen in der Nutzungsphase. Hier werden tatsächlich nur CO<sub>2</sub>-Emissionen angegeben (gemäß EU-Richtlinie und Pkw-Energieverbrauchskennzeichnungsverordnung) und auch nur solche aus der Verbrennung der Treibstoffe und keine Emissionen aus den Vorketten (Ölgewinnung, Raffinerien, Transporte etc.). Die CO<sub>2</sub>-Emissionen werden über den Treibstoffverbrauch errechnet, der für die verschiedenen Fahrzeugtypen in einem vorgegebenen Fahrzyklus bzw. Prüfzyklus experimentell bestimmt wird. Leider liegen die realen Emissionen in der Praxis höher. In den vergangenen Jahren wurden sie mit dem sogenannten NEFZ-Zyklus (Neuer Europäischer Fahrzyklus) bestimmt, künftig nur noch mit dem WLTP (Worldwide Harmonized Light Duty Test Procedure), der etwas realitätsnäher ist, aber den Treibstoffverbrauch und damit die CO<sub>2</sub>-Emissionen immer noch unterschätzt. Übergangsweise und bis zur Novellierung der Pkw-Energieverbrauchskennzeichnungsverordnung finden sich Angaben zu beiden Testzyklen.

Noch erklärungsbedürftiger und (potenziell irreführender) sind die nach EU-Gesetzgebung vorgeschriebenen Angaben zu den Verbrauchswerten der Fahrzeugflotte (in g CO<sub>2</sub>/km). Hier werden die CO<sub>2</sub>-Emissionen der einzelnen Fahrzeugtypen gewichtet einbezogen, die CO<sub>2</sub>-Emissionen für Elektro-Pkw werden, weil Emissionen aus der Strombereitstellung nicht einbezogen werden, mit Null (0 g CO<sub>2</sub>/km) angesetzt, und zusätzlich gibt es rechnerische – sprich fiktive – Gutschriften pro verkauftem Elektro-Pkw und für Hybrid-Pkw.

## 2.3 Darstellung und Bewertung der Strategien

### 2.3.1 Gesamtübersicht

In den Berichten der Unternehmen werden die CO<sub>2</sub>-Emissionen der gesamten Produktlinie **nicht durchgängig** dargestellt, dagegen wird detailliert auf die Produktion (Scope 1 und 2) und einzelne Phasen (z.B. Lieferketten) oder Maßnahmen (z.B. Effizienzmaßnahmen oder Kompensationen) eingegangen (siehe auch nachstehende Beschreibungen). Zur Einordnung der einzelnen Phasen ist es vorab wichtig, die Höhe der CO<sub>2</sub>-Gesamt-Emissionen der Unternehmen und die einzelner Fahrzeuge zu kennen, sowie den ungefähren Anteil der einzelnen Phasen an den CO<sub>2</sub>-Gesamtemissionen. Die Angaben der Automobilhersteller sind hierbei nicht vollständig (siehe Tabelle 2-2); beim Automobilhersteller Ford finden sich keine Mengenangaben in t CO<sub>2</sub>.

**Tabelle 2-2: CO<sub>2</sub>-Emissionen von Automobilunternehmen im Jahr 2020 (in t CO<sub>2</sub>)**

	Audi	BMW	Daimler	Porsche	VW
CO <sub>2</sub> -Gesamtemissionen 2020		65.828.005			375.000.000
Scope 1 gesamt (energiebedingte) Emissionen	172.387	642.885	1.027.000	25.656	3.800.000
Emissionen Dienstreisen					
Scope 2 gesamt	58.946	84.257	1.035.000	1.315	2.640.000
Scope 3 gesamt		65.100.863	102.300.000		368.936.120
Scope 3 upstream					
Emissionen Vorketten		16.234.959	17.000.000		61.301.008
Emissionen Logistik		1.322.859	2.100.000		4.622.584
Emissionen Dienstreisen und Berufsverkehr		191.803	137.000	28.753	1.811.482
Scope 3 downstream					
Emissionen Nutzungsphase		46.200.385	82.200.000		281.198.346
Emissionen Abfälle und Entsorgung		1.150.857	800.000		938.867

Quelle: Öko-Institut 2021

Die (weltweiten!) Gesamtemissionen hängen wesentlich von der Zahl der produzierten Pkw ab. Bei BMW lagen sie im Jahr 2020 bei 66 Mio t CO<sub>2</sub>, bei Volkswagen<sup>4</sup> bei 375 Mio t CO<sub>2</sub> (zum Vergleich: das entspricht etwa den gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen von Großbritannien!). Die meisten Emissionen kommen nach den Angaben der Hersteller aus der Nutzungsphase (bei BMW 46 Mio t CO<sub>2</sub>, bei Daimler 82 Mio t CO<sub>2</sub>, bei Volkswagen 281 Mio t CO<sub>2</sub> – dabei ist zu beachten, dass diese Zahlen mit der zu niedrig angenommenen Gesamtfahrleistung der Pkw (mit nur 150.000 km) berechnet werden (nur Volkswagen geht von 200.000 km aus).

Die Gesamtemission eines einzelnen Fahrzeugs liegt in der Größenordnung von 40 – 50 Tonnen CO<sub>2</sub> (bei einer Fahrstrecke von 150.000 km). Bei den Automobilherstellern liegt der Anteil der hier eng definierten **Produktion** (Scope 1 und 2) in der Größenordnung von nur 1 – 3 % der Gesamtemissionen; die **Nutzungsphase** in der Größenordnung von 70 – 80 % und die **Vorketten** in der Größenordnung von 16 – 25 %. Die restlichen 3 – 5 % sind auf Güter-Transporte, Pendlerfahrten der Beschäftigten oder Entsorgung bzw. Recycling der Pkw zurückzuführen.

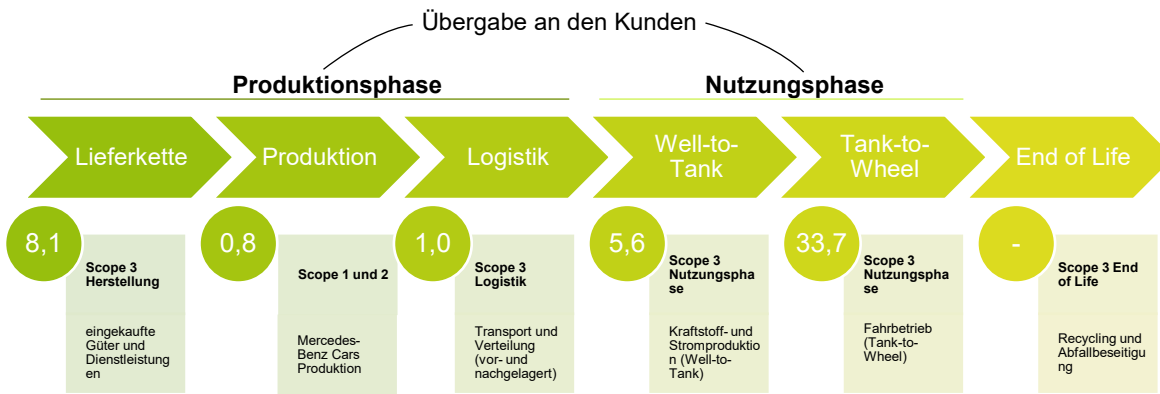
In der nachstehenden Abbildung wird das exemplarisch für Fahrzeuge von Mercedes-Benz Cars dargestellt<sup>5</sup>. Für weitere Hersteller wurde aus den verfügbaren Angaben eine eigene Berechnung

<sup>4</sup> Hier und im weiteren Text beziehen sich bei Volkswagen die Daten, wenn nicht explizit abweichend angegeben, jeweils auf den Gesamtkonzern.

<sup>5</sup> Aus Gründen der Übersichtlichkeit haben wir in dieser Darstellung die in der Originalgraphik enthaltenen umfangreichen Verweise auf einzelne Datenquellen nicht aufgeführt.

mit Unterscheidung nach Emissionen aus der Produktion (Scope 1 und 2), der Lieferkette (Scope 3 upstream) und der Nutzungsphase (Scope 3 downstream) vorgenommen, vgl. Tabelle 2-3.

**Abbildung 2-1: Scope 1-, 2- und ausgewählte Scope 3-CO<sub>2</sub>-Emissionen in Tonnen pro Fahrzeug Mercedes-Benz Cars (2020)**



Quelle: Eigene Darstellung nach (Daimler AG 2021)

**Tabelle 2-3: Durchschnittliche Anteile von Lieferketten, Produktion und Nutzungsphase an den Gesamtemissionen (anteilig in Prozent)<sup>6</sup>**

	BMW	Daimler	Ford	VW	Durchschnitt (arithmetisches Mittel)
Produktion (Scope 1 und 2)	1,1%	1,6%	3%	1,7%	1,9%
Nutzungsphase	70,2%	79,2%	75%	74,9%	74,8%
Lieferketten (Scope 3 upstream)	24,6%	16,3%	17%	16,3%	18,6%

Quelle: Eigene Berechnungen auf der Grundlage von Unternehmensangaben (BMW Group 2021; Daimler AG 2021; Ford 2021; Volkswagen AG 2021)

In den nachfolgenden Abschnitten werden einzelne Unternehmensangaben nach weiteren Teilaspekten dargestellt und näher diskutiert.

### 2.3.2 Produktion (Scope 1 und 2) und Entwicklung der Emissionen

Gemessen an den CO<sub>2</sub>-Gesamtemissionen sind die Emissionen aus der (eng definierten) Produktion (Scope 1 und Scope 2) und **ohne** Lieferketten mit 1 – 3 % vergleichsweise gering. Im Wesentlichen stammen sie aus dem Einsatz von Öl, Gas und überwiegend fremdbezogenem Strom in den Produktionsprozessen. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Produktion liegen beispielsweise pro

<sup>6</sup> Aus Übersichtsgründen wurden hier Güter-Transporte, Pendlerfahrten der Beschäftigten oder Entsorgung bzw. Recycling der Pkw nicht oder je nach Quellenlage nur teilweise aufgenommen, so dass die Werte sich nicht auf 100% summieren.

produziertem Fahrzeug unter einer Tonne CO<sub>2</sub>, z.B. bei BMW bei 0,23 t oder bei Daimler bei 0,8 t. Diese durchaus großen Unterschiede dürften allerdings im Wesentlichen aus der unterschiedlichen Fertigungstiefe resultieren und nicht aus großen Differenzen in der Effizienz der Produktionsprozesse.

Zum Zweijahreszeitraum 2018 – 2020 berichten die Unternehmen über erhebliche CO<sub>2</sub>-Reduktionen in der Produktion (im Schnitt 41%; Einzelwerte siehe Tab. 2-4). Diese in der Kürze der Zeit ungewöhnlich hohen CO<sub>2</sub>-Reduktionen werden zum kleineren Teil durch Effizienzfortschritte in der Produktion erzielt, zum größeren Teil durch einen deutlich größeren Anteil von Erneuerbaren Energien und vor allem Grünstrom in der Energieversorgung.

**Tabelle 2-4:** Reduktionen oder Jahreswerte der CO<sub>2</sub>-Emissionen oder des Energieverbrauchs bei Automobilherstellern und Automobilen

	<b>Audi</b>	<b>BMW</b>	<b>Daimler</b>	<b>Porsche</b>	<b>VW</b>
Scope 1 & 2	-62,6% CO <sub>2</sub> (2018-2020)	-42,5% CO <sub>2</sub> (2018-2020)	ca. -33% CO <sub>2</sub> * (2018-2020)	-57% CO <sub>2</sub> (2018-2020)	-12% CO <sub>2</sub> (2019-2020)
durch Steigerung Effizienz	-13,2% Energie (2018-2020)		ca. -18% <sup>7</sup> (2018 -2020)		
durch mehr Grünstrom	Zunahme Grünstrom um 49%; neuer Anteil 63,3% (2018-2020)	-23% CO <sub>2</sub> vor allem durch Grünstrom (2019-2020)	EE-Anteil am Strom in 2020: 60%		
Scope 3 gesamt		-10,9% (2018-2020)			-17,5% (2019-2020)
durch mehr Grünstrom					-13% (2019-2020)

Quelle: Eigene Berechnungen auf der Grundlage von Unternehmensangaben (Audi 2021; BMW Group 2021; Daimler AG 2021; Volkswagen AG 2021; Porsche 2021)

### 2.3.3 Lieferketten (Scope 3 upstream)

Für die Produktion der Fahrzeuge beziehen die Automobilhersteller große Mengen an Rohstoffen, Materialien, Halbzeugen und vorgefertigten Komponenten, Daimler bezieht beispielsweise 6,5 Millionen t Rohstoffe pro Jahr. Die hohen CO<sub>2</sub>-Emissionen der eingekauften Materialien und Halbzeuge stammen weitestgehend aus der energieintensiven Rohstoffgewinnung (Stahl, Eisen, Aluminium, Kunststoffe) und - bei Fahrzeugen mit batterieelektrischem Antrieb - aus der externen Batterie-Produktion. Eine Sonderrolle nehmen die Konfliktrohstoffe ein, da hier die Vermeidung negativer gesellschaftlicher Auswirkungen und nicht CO<sub>2</sub>-Emissionen im Vordergrund stehen. Über die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Herstellung und Fertigung der zunehmend eingesetzten Elektronik wird von den Automobilherstellern nicht gesondert berichtet, obwohl die entsprechenden CO<sub>2</sub>-Emissionen durch den Trend zu (teil-)autonomen Pkw voraussichtlich deutlich zunehmen werden.

Durch ein gezieltes Lieferantenmanagement (Auswahl der Zulieferer bzw. der gelieferten Materialien und Änderung von Materialien) versuchen die Automobilhersteller, die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus den

<sup>7</sup> Wert aus Graphik der Originalquelle abgeschätzt.

Lieferketten zu reduzieren. Aufgrund der sehr hohen Zahl von Einzelteilen in Pkw (mehrere Tausend) gibt es eine entsprechend hohe Zahl von Lieferanten (bei Daimler etwa 60.000 direkte Lieferanten und noch mehr Sub-Lieferanten). Selbst die Zahl der Haupt-Lieferanten ist sehr hoch, bei Ford sind es 1.200 Hauptlieferanten („Key-Supplier“). Für die Bewertung der Lieferanten werden die Zulieferer mit Fragebogen und gegebenenfalls Audits evaluiert und ggfs. mit Beratungs-Workshops zur Veränderung der Prozesse unterstützt. Für bestimmte, in der Regel in der Herstellung besonders energierelevante Materialien, gibt es gezielte Kooperationen für die Erhöhung der Recycling-Raten und entsprechendem Bezug rezyklierter Materialien, beispielsweise von Aluminium oder Stahl (vgl. Abschnitt 3.2.6), und es gibt einen zunehmenden Einsatz von EE-Strom in den Lieferketten, beispielsweise bei der Batterieproduktion (siehe Abschnitt 2.3.5).

In geringem Umfang werden biomasse-basierte Materialien eingesetzt, beispielsweise bei Ford „tomato skin, bamboo, argave fiber, dandelio roots, algae, coffee chaff“ – eine Entwicklung, die sich auch an der vergleichsweise häufigen Nennung biogener Materialien bei Ökobilanzen zur Automobilproduktion widerspiegelt (vgl. Abschnitt 3.1).

### 2.3.4 Zuliefer-Unternehmen

Neben den Nachhaltigkeitsberichten der Automobilhersteller wurden auch die Nachhaltigkeitsberichte von wichtigen Zulieferern ausgewertet. In den Berichten der Unternehmen werden die CO<sub>2</sub>-Emissionen der gesamten Produktlinie **nicht durchgängig** dargestellt, dagegen wird detailliert auf die Produktion (Scope 1 und 2) und einzelne Phasen (z.B. Lieferketten) oder Maßnahmen (z.B. Effizienzmaßnahmen oder Kompensationen) eingegangen (siehe auch nachstehende Beschreibungen). Zur Einordnung dieser Aspekte werden zunächst die Höhe der CO<sub>2</sub>-Gesamt-Emissionen der Unternehmen sowie die Anteile der einzelnen Scopes an den CO<sub>2</sub>-Gesamtemissionen dargestellt, siehe Tabelle 2-5. Die Angaben beziehen sich jeweils auf die Gesamtunternehmen und bilden damit – je nach Unternehmensportfolio – nicht nur die Herstellung von Komponenten für den Automobilbereich, sondern auch andere Produktgruppen ab.

**Tabelle 2-5: CO<sub>2</sub>-Emissionen von Zulieferern im Jahr 2020 (in t CO<sub>2</sub>)**

	Bosch	Continental	Schaeffler	ZF
<b>Scope 1 gesamt</b>	485.000	780.000	180.664	255.000
<b>Scope 2 gesamt</b>	453.000	2.180.000	1.078.274	1.340.000
<b>Scope 3 insgesamt</b>	448.000.000	108.040.000		
Emissionen Vorketten	*29.530.000	14.650.000	4.944.867	
Emissionen Logistik	*1.910.000	1.200.000	342.864	
Emissionen Nutzungsphase	* 414.700.000	86.880.000		
Emissionen Entsorgung	*1.220.000	40.000		

\*Werte aus 2018

Quelle: (Bosch 2021; Contonental AG 2021; Schaeffler 2021; ZF 2021; Bosch 2019)

Die Emissionen aus Scope 1 sind bei Continental, Schaeffler und ZF deutlich niedriger als die Emissionen aus Scope 2. Nur bei Bosch sind die Emissionen aus Scope 2 etwas unter den Emissionen aus Scope 1. Die niedrigsten Emissionen aus Scope 1 und 2 hat Bosch mit 938.000t CO<sub>2</sub> gefolgt von Schaeffler mit 1.258.938t CO<sub>2</sub>, ZF mit 1.595.000t CO<sub>2</sub> und Continental mit 2.960.000t CO<sub>2</sub>. Die Gesamtemissionen sind abhängig der Gesamtproduktion von Produkten.



Bosch und Continental machen eine klare Aussage in ihren aktuellen Nachhaltigkeitsberichten über ihre gesamten Scope 3-Emissionen. Um Emissionsquellen besser lokalisieren zu können, arbeitet Schaeffler momentan daran, seine Scope 3-Emissionen konzernweit zu erheben und benennt für Scope 3 die Emissionen der Vorketten mit 4.945.000 t CO<sub>2</sub> und die Emissionen der Logistik mit 343.000 t CO<sub>2</sub>. ZF erwähnt eine Reduktion der Scope 3-Emissionen in seinem Nachhaltigkeitsbericht, benennt aber nicht die absolute Höhe dieser Emissionen. Wie auch bei den Automobilherstellern machen die Emissionen aus Scope 1 und 2 auch bei den betrachteten Zulieferern nur einen Bruchteil der Gesamtemissionen aus. Bei Bosch fallen in Scope 1 und 2 nur rund 0,2% der gesamten Emissionen an, während 90% der Emissionen in der Nutzungsphase der Produkte anfallen. Bei Continental machen Emissionen aus Scope 1 und 2 rund 3% der Gesamtemissionen aus und die Emissionen aus der Nutzungsphase der Produkte sind für rund 80% der Emissionen verantwortlich. Die Emissionen aus den Vorketten übersteigen um ein Vielfaches die Emissionen aus Scope 1 und 2. Die restlichen Anteile sind auf Güter-Transporte, Pendlerfahrten der Beschäftigten oder Entsorgung bzw. Recycling der Produkte zurückzuführen.

Die Tabelle 2-6 zeigt die in den Berichten beschriebenen Reduktionen in den Scope 1- und 2-Emissionen bei den Zulieferern in den Jahren 2018-2020.

**Tabelle 2-6:** Reduktionen der Scope 1 & 2 CO<sub>2</sub>-Emissionen bei Zulieferern in den Jahren 2018-2020

	Bosch	Continental	Schaeffler	ZF
Scope 1 & 2	-71,2%	-70,4%	-27,8%	-14,6%

Quelle: (Bosch 2021; Contonental AG 2021; Schaeffler 2021; ZF 2021).

Bei den Zulieferern gibt es einen großen Unterschied in der Reduktion der Scope 1- und 2-CO<sub>2</sub>-Emissionen in den letzten zwei Jahren. Bosch hat mit 71% Reduktion der Scope 1- und 2-Emissionen den größten Schritt in den letzten zwei Jahren vollführt, dicht gefolgt von Continental, mit 70%. Schaeffler hatte in den letzten zwei Jahren eine Reduktion in den Emissionen von Scope 1 und 2 von 28% und ZF eine Reduktion von 15%.

Ein großer Teil des Sprungs in der Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen in der eigenen Produktion ist auf die Umstellung auf EE-Strom zurückzuführen (siehe Tabelle 2-7).

Die Zulieferer-Unternehmen haben unterschiedliche Zielsetzungen in Bezug auf die zukünftige angestrebte Klimaneutralität. Bosch verkündet in seinem aktuellen Nachhaltigkeitsbericht, dass sie seit 2020 in Scope 1 und 2 bereits klimaneutral sind. Die Emissionen, die Bosch 2020 in Scope 1 und 2 hatte (siehe Tabelle 2-5), wurden komplett bilanziell kompensiert. Schaeffler möchte bis 2030 in der eigenen Produktion klimaneutral sein und Continental bis 2040. Um das Ziel 2030 zu erreichen, möchte Schaeffler bis 2024 100 GWh in der Produktion einsparen. ZF trifft in ihrem Nachhaltigkeitsbericht keine Aussage darüber, wann sie in ihrer eigenen Produktion klimaneutral werden, dafür möchten sie bereits 2040 in ihrer gesamten Wertschöpfungskette klimaneutral sein. Bis 2030 sollen 80% der Klimaneutralität in der gesamten Wertschöpfungskette erreicht sein. Um dieses Ziel zu erreichen, wird eine Senkung im Energieverbrauch um 2% pro Jahr verfolgt. Continental setzt sich das Ziel, bis 2050 in der gesamten Wertschöpfungskette klimaneutral zu sein.

Bei allen Unternehmen spielt die Umstellung auf EE-Strom eine entscheidende Rolle zur Zielerreichung. Continental hat seit 2020 seine Produktion auf 100% EE-Strom umgestellt und konnte somit eine Reduktion von 70% der Emissionen erzielen. Schaeffler hat es geschafft, 2020

die Produktion in Deutschland auf 100% EE-Strom umzustellen und sich als Ziel gesetzt, es bis 2024 weltweit zu erreichen. Bosch und ZF möchten ihre Produktion bis 2030 weltweit auf 100% EE-Strom umstellen.

**Tabelle 2-7: Perspektiven zur Klimaneutralität der Zuliefer-Unternehmen**

	<b>Bosch</b>	<b>Continental</b>	<b>Schaeffler</b>	<b>ZF</b>
klimateutral bis zum Jahr...	Seit 2020 in Scope 1 & 2	2050 in der gesamten Wertschöpfungskette	2030 in Scope 1 & 2	2040 in der gesamten Wertschöpfungskette
Zwischenziel	-15% in Scope 3 bis 2030	Bis 2040 klimaneutral in Scope 1 & 2		-80% bis 2030
Scope 1 & 2				
durch Effizienzsteigerungen			-100 GWh bis 2024	-2%/a Energieverbrauch
durch Änderungen Energieversorgung	Bis 2030 100% EE-Strom	Seit 2020 100% EE-Strom	Seit 2020 in Dt., 100% EE-Strom ab 2024 weltweit	100% EE-Strom bis 2030
Scope 3 gesamt	-15% bis 2030			
Kompensationen	Auf 15% reduzieren bis 2030			

Quelle: (Bosch 2021; Continental AG 2021; Schaeffler 2021; ZF 2021)

Bosch macht auch klare Aussagen zu seinen Scope 3-CO<sub>2</sub>-Emissionen, die den Großteil der Gesamtemissionen ausmachen, und möchte diese bis 2030 um 15% zu senken. Die Kompensationen möchte Bosch bis 2030 von aktuell 28,8% auf 15% senken.

Zusammenfassend zeigt sich vergleichbar zur Situation bei den Automobilunternehmen für die Zuliefer-Unternehmen das Bild, dass es in den Berichten der Unternehmen nur vereinzelt Angaben darüber gibt, in welchem Umfang THG-Emissionen durch Effizienzsteigerungen erreicht werden sollen. Die in den Berichten ausgewiesenen, bereits erreichten Emissionsminderungen sowie die künftig noch beabsichtigten Reduktionen sind somit überwiegend „bilanziell“ aufzufassen, indem der Bezug von EE-Strom und bei noch verbliebenen Emissionen Kompensationsmaßnahmen angerechnet werden.

### 2.3.5 Klimaneutrale Batterieproduktion und Konfliktrohstoffe

Die Batterien von Elektro-Fahrzeugen werden bislang überwiegend von Zulieferern hergestellt. Interessanterweise verlangen die meisten Automobilhersteller von ihren Batterie-Zulieferern, dass bei der Batterie-Produktion nur Erneuerbare Energien eingesetzt werden. Dahinter steht offensichtlich das Bestreben, die CO<sub>2</sub>-intensive Batterie-Produktion zu entlasten und damit Elektro-Autos noch klimafreundlicher darzustellen, als sie es im Vergleich zu Diesel- oder Benzin-Pkw ohnehin sind.

Mehrere Unternehmen weisen auf ihre Strategien bei Konfliktrohstoffen hin. Besonders ausgeprägt ist dies bei Ford, das als amerikanisches Unternehmen frühzeitig auf den amerikanischen Dodd-Frank Act (2010) reagieren musste, der Unternehmen zur Offenlegung der Verwendung von Konfliktmineralien verpflichtet. Genannt werden: „tin, tantalum, tungsten, gold, cobalt, mica and rubber“. Einbezogen werden auch Schmelzanlagen zur Metallerzeugung. So verweist beispielsweise Schaeffler auf den Bezug der Metalle zu 100% aus zertifizierten Schmelzanlagen (Schaeffler 2021).

### **2.3.6 Verbrauch und Emissionen in der Nutzungsphase der Fahrzeuge**

Mehrere Unternehmen weisen darauf hin, dass sie in den vergangenen Jahren die CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Fahrzeug in der Nutzungsphase reduziert haben und dies auch perspektivisch fortsetzen werden. Dabei setzen die Hersteller offensichtlich zunehmend auf Elektromobilität. Bei der Interpretation der Werte auf der Ebene von Fahrzeugflotten muss beachtet werden, dass bei den Angaben virtuelle Gutschriften pro verkauften Elektrofahrzeugen angesetzt werden dürfen, siehe auch Abschnitt 2.2.

Bei der Berechnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen aller verkauften Fahrzeuge in der Nutzungsphase wird von den meisten Herstellern von einer Gesamtfahrleistung von 150.000 km ausgegangen (nur Volkswagen geht von 200.000 km aus). Bei Annahme einer höheren Gesamtfahrleistung steigen die errechneten CO<sub>2</sub>-Gesamtemissionen und der Anteil der Nutzungsphase an den CO<sub>2</sub>-Gesamtemissionen. In der Literatur wird von noch weit höheren Gesamtfahrleistung ausgegangen (Weymar und Finkbeiner 2016), die erst recht dann gelten dürfte, wenn die häufige Weiternutzung von Fahrzeugen in Osteuropa und Nordafrika einbezogen wird. Beim Ansetzen einer Fahrstrecke von 200.000 km würde beispielsweise bei BMW der Anteil der Nutzungsphase an den Gesamtemissionen von 70,2% auf 75,8% steigen, der Anteil der Produktion (Scope 1 und 2) hingegen von 1,1% auf 0,9% sinken.

Aufgrund der generellen Zielsetzung dieser Kurzstudie mit dem Fokus auf die Automobilproduktion werden die von den Herstellern verfolgten Strategien zur Senkung der Emissionen in der Nutzungsphase der Fahrzeuge hier nicht weiter vertieft.

### **2.3.7 Effizienzmaßnahmen (Energie- und Material)**

Die Unternehmen berichten über den Erfolg von CO<sub>2</sub>-Effizienz-Maßnahmen in den vergangenen Jahren, beispielsweise durch den Einsatz von Leichtmaterialien und von entsprechende Planung für die nächsten Jahre. Die in den letzten Jahren erzielten CO<sub>2</sub>-Reduktionen liegen nach Unternehmensangaben in der Größenordnung von 10 - 20 %. Einen Überblick über inkrementelle und weitergehende Maßnahmen zur Steigerung der Energie- und Materialeffizienz und den damit verbundenen Minderungen an THG-Emissionen wird in den Abschnitten 3.2.5 und 3.2.6 gegeben. Da Unternehmen schon seit langem Effizienzmaßnahmen durchführen (schon um Kosten zu sparen), ist das Potenzial für weitere Reduktionen möglicherweise beschränkt. Andererseits kommen durch die CO<sub>2</sub>-Bepreisung/CO<sub>2</sub>-Steuern auch neue Maßnahmen in Betracht oder auch mögliche Maßnahmen, die in der Vergangenheit wegen zu hoher Vermeidungskosten verworfen wurden.

### 2.3.8 Erzeugung und Bezug Erneuerbarer Energien

Wie in Tab. 2-4 gezeigt, setzen die Automobilhersteller und Automobilzulieferer massiv auf eine Erhöhung des Einsatzes von EE-Strom bzw. Erneuerbaren Energien. Schon in den letzten zwei Jahren waren die durch erhöhten Bezug von EE-Strom proklamierten CO<sub>2</sub>-Reduktionen in der Produktion in der Größenordnung von 50% (und teilweise mehr: z.B. Audi) der Einsparungen. BMW gibt an, dass die Produktion seit 2020 zu 100% aus EE-Strom erfolgt; Audi berichtet über „weitgehende“ EE-Versorgung seit 2020; „Mercedes Benz Pkw“ plant eine 100% EE-Versorgung bis 2022. Volkswagen hat die Energieversorgung am Hauptstandort Wolfsburg von Kohle auf Gas umgestellt und durch EE-Strom ergänzt, und plant für fast alle Standorte weltweit eine vollständige oder weitgehende EE-Strom-Versorgung in den nächsten Jahren.

Besonders deutlich wird die Bedeutung von EE-Strom am Beispiel des Automobilzulieferers Bosch, der die CO<sub>2</sub>-Emissionen durch veränderten Energiebezug im Zweijahreszeitraum 2018-2020 um 86 % gesenkt hat (von 2,70 Millionen t auf 0,37 Millionen t CO<sub>2</sub>). Die hohen CO<sub>2</sub>-Reduktionen kamen zum größeren Teil durch verstärkten Einsatz von Erneuerbaren Energien zustande, zum kleineren Teil durch höhere Energieeffizienz in den Produktionsprozessen. Der höhere Einsatz von erneuerbaren Energien erfolgte durch verschiedene Maßnahmen: Bau von Photovoltaik-Anlagen an den Produktionsstandorten, Bezug von sogenannten „EE-Strom“, Beteiligung an extern und zum Teil im Ausland gebauten Photovoltaik- oder Windkraftanlagen, langfristige Abnahmeverträge von Strom aus Windkraftanlagen, deren Förderung nach EEG ausläuft.

In liberalisierten Strommärkten haben Akteure die Möglichkeit, sich gezielt für einen Stromversorger und ein spezielles Stromprodukt (bspw. ein Ökostromprodukt) zu entscheiden. Dies geschieht häufig mit der Zielsetzung, dadurch auch die Klimabilanz zu verbessern. Bei näherer Betrachtung stellen sich mehrere Fragen (Bracker und Seebach 2019):

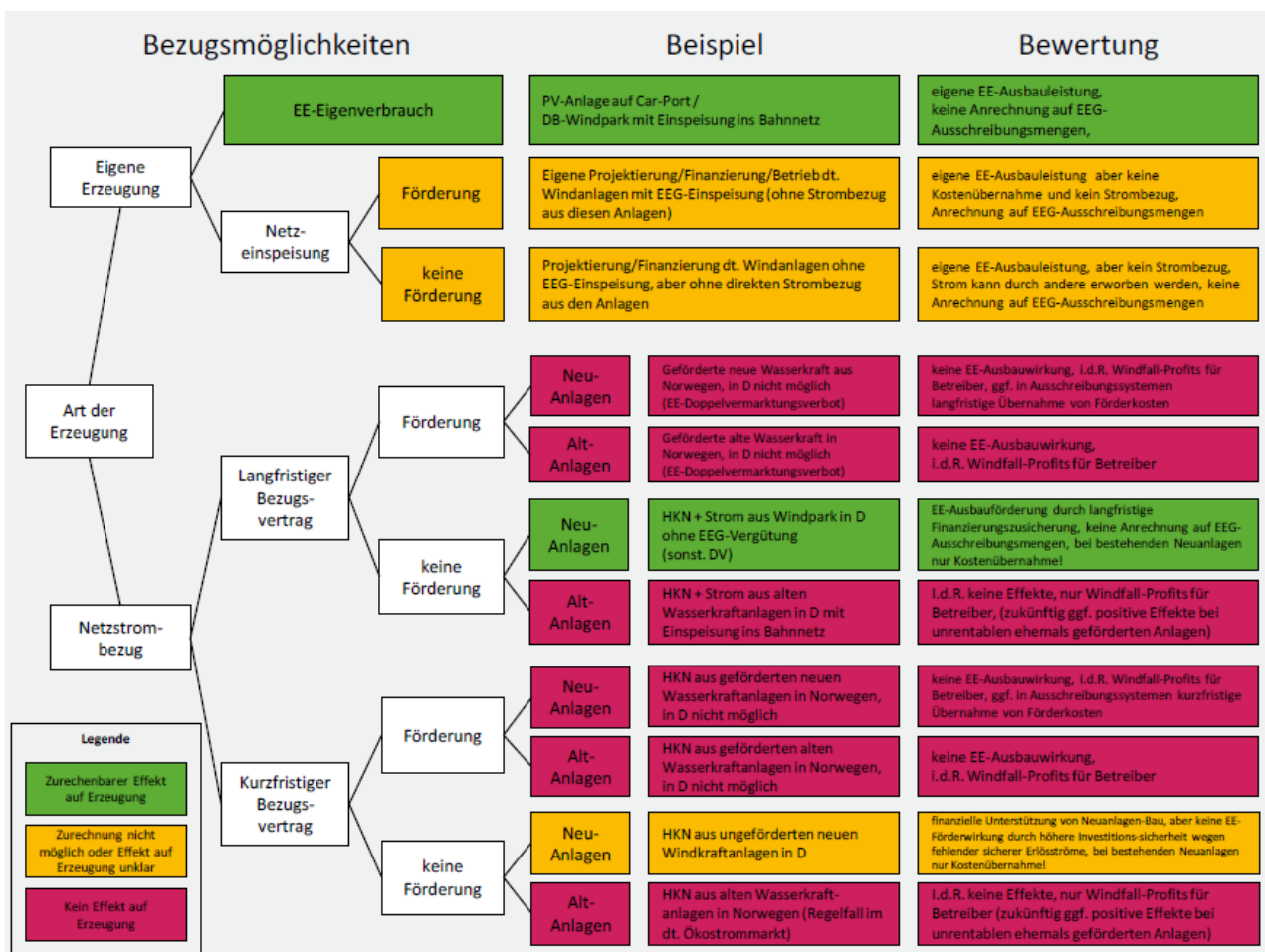
- Zum einen besteht die grundlegende Frage, welche Anteile der Stromerzeugung mit den jeweiligen Emissionen einzelnen Akteuren, Technologien oder Sektoren zugeordnet werden können und sollen.
- Gleichzeitig ist aber auch beim Bezug eines Erneuerbaren Stromprodukts aufgrund der energiewirtschaftlichen Zusammenhänge die Frage zu beantworten, in welchem Umfang hier ein positiver Beitrag zum Ausbau der EE und zur Reduktion der Treibhausgas-Emissionen geleistet wird.

Mit Blick auf die Systemwirkungen des Bezugs von Strom aus Erneuerbaren Energien (EE) ist zu beachten, dass der Ausbau der EE in Deutschland im Wesentlichen durch das EEG finanziert und sichergestellt wird. Um zu bewerten, welchen Beitrag der Bezug von EE-Strom durch einzelne Verbraucher zum Ausbau der EE leistet, müssen die unterschiedlichen Möglichkeiten des Bezugs von Strom aus erneuerbaren Energien unterschieden werden. Eine Übersicht über verschiedene Ökostrombezugsoptionen und deren zurechenbaren Beitrag zur Erzeugung erneuerbarer Energien ist in Abbildung 2-2 gegeben.

Für die bilanzielle Behandlung von damit verbundenen CO<sub>2</sub>-Zuordnungen bzw. CO<sub>2</sub>-Reduktionen gibt es verschiedene Methoden bzw. Bilanzierungsregeln, wobei grundsätzlich zwischen ortsbasierten und marktbasieren Ansätzen sowie Grenzbetrachtungen unterschieden wird. Generell findet die marktbasierende Bilanzierung in der Klimabilanzierung von Unternehmen, Kommunen, Produkten und Dienstleistungen breite Anwendung. Der Ansatz wird vom GHG Protocol Initiative als eines von zwei Verfahren in Rahmen einer dualen Bilanzierung empfohlen (Greenhouse Gas

Protocol 2015). Hier ist kritisch einzuwenden, dass die marktbasierende Bilanzierung keinen Aufschluss über die Wirkung eines Strombezugs auf die Stromerzeugung im Stromsystem, in dem der Verbrauch stattfindet, gibt. So ist es z.B. nicht notwendig, dass eine physische Verbindung zwischen dem Stromverbrauch und den zugeordneten Erzeugungsanlagen besteht. So kann z.B. einem Verbrauch in Deutschland erneuerbare Erzeugung aus Island, welches keine Netzanbindung an das zentral-europäische Verbundnetz hat, zugeordnet werden. Es ist somit möglich, dass einem Stromverbrauch in einem System, in dem nur fossile Kraftwerke den Strombedarf decken, vollständig erneuerbare Erzeugung zugeordnet wird. Darüber hinaus bewirkt die Nachfrage nach Herkunftsnachweisen aus erneuerbaren Energien auch aufgrund der Marktsituation auf dem europäischen Markt keine Veränderung der Stromerzeugung und damit keine Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen, siehe eingehend Bracker und Seebach (2019).

**Abbildung 2-2: Übersicht über verschiedene Ökostrombezugsoptionen und deren zurechenbarer Effekt auf die Erzeugung erneuerbarer Energien**



Quelle: Öko-Institut und ifeu in (Bracker und Seebach 2019)

Die Angaben der Automobilhersteller und der Zulieferer in ihren Berichten sind nicht einfach zu interpretieren. Anerkannt und angerechnet könnten im Sinne eines positiven Systemeffekts und entsprechender CO<sub>2</sub>-Minderungen eigentlich nur der Bau einer Erneuerbaren-Anlage ohne EEG-Förderung oder die Beteiligung an einer solchen Anlage oder der langfristige Vertrag zur Stromabnahme aus dem Repowering einer Windkraftanlage, deren EEG-Förderung ausgelaufen ist (Power Purchase Agreement). Bei den untersuchten Herstellern und Zulieferunternehmen konnten

demgegenüber die Angaben im beschränkten Rahmen dieser Kurzstudie nicht dahingehend bewertet werden, ob die von den Herstellern angegebenen CO<sub>2</sub>-Minderungen bilanziell anerkannt werden würden.

### 2.3.9 Kompensationsmaßnahmen

Die Automobilhersteller beziehen bei ihren Strategien in Richtung klimaneutraler Produktion auch Kompensationen ein. BMW will ab 2021, Daimler ab 2022 alle nicht vermiedenen Emissionen aus der Produktion (Scope 1 und 2) kompensieren. In großem Umfang macht das der Automobilzulieferer Bosch, der sogar tatsächlich die gesamten Emissionen nach Scope 1 bis Scope 3 damit bilanziell auf Null setzt.

Eine wichtige Frage ist dabei, ab welchen Kosten die Unternehmen von Vermeidungskosten durch Prozessoptimierungen auf Kompensationen wechseln. Hier findet sich nur eine Angabe: Volkswagen setzt bisher auf eine Vermeidungskostengrenze von 20 €/Tonne CO<sub>2</sub>, überprüft diese Festlegung nach eigenen Angaben aber jährlich.

Die Unternehmen (wie etwa Bosch, Daimler oder Volkswagen) verweisen dabei auf anspruchsvolle Standards (VER - Verified Carbon Standard, CDM, Goldstandard, Climate and Biodiversity Standard). Allerdings werden auch Beispiele für Waldschutz-Projekte und Aufforstung-Projekte genannt, die von vielen Organisationen aus gleich mehreren Gründen abgelehnt werden (zu Anforderungen an Kompensationen und zu Risiken bei Forst- und Waldprojekte siehe ausführlich in Anhang 6 dieser Studie).

Ein Beispiel: Volkswagen kompensiert die „unvermeidbaren“ CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Produktion seiner ID-Reihe. Das einzige bislang bekannte Kompensationsprojekt, Katingan Mentaya auf Borneo (Zertifikatspreise etwa 4,25 - 8,50 Euro) erzielt jedoch nach Greenpeace-Recherchen keinerlei zusätzliche CO<sub>2</sub>-Einsparung (vgl. Greenpeace e. V. 2020). Mit dem Kompensationsprojekt solle verhindert werden, dass die Papierindustrie den bestehenden Wald abholzt und Akazienplantagen errichtet. Greenpeace verweist dagegen auf ein seit 2011 bestehendes Moratorium und darauf, dass der Wald überwiegend aus schwierig zu nutzenden Torfmoorböden besteht.

### 2.3.10 Planungen zur Klimaneutralität

Die Planungen der Automobilhersteller zur Klimaneutralität sind langfristig anspruchsvoll. Beispielsweise will Daimler bis 2039 die gesamte Neufahrzeugflotte über den gesamten Lebenszyklus klimaneutral machen. Im Grunde verfolgen die Hersteller ähnliche Strategien: im Übergang der nächsten Jahre sollen weitere Effizienzsteigerungen in der engeren Produktion und bei den Zulieferern erfolgen, und die Energieproduktion so weit wie möglich auf erneuerbare Energien umgestellt werden. „Unvermeidbare“ Emissionen sollen kompensiert werden. Parallel und mittelfristig soll der Übergang zu Elektrofahrzeugen erfolgen. Nachstehend erfolgt eine Zusammenstellung auf der Grundlage der Angaben der Automobilhersteller.

**Tabelle 2-8:** Perspektiven zur Klimaneutralität nach Angaben der Automobilhersteller

	<b>Audi</b>	<b>BMW</b>	<b>Daimler</b>	<b>Ford</b>	<b>Porsche</b>	<b>VW</b>
klimaneutral bis zum Jahr		Klima-neutrales Geschäftsmodell bis 2050 in der gesamten Wertschöpfungskette	Die gesamte Neufahrzeug flotte bis 2039 (gesamter Lebenszyklus)	2050		2050
Zwischenziele	2025 für alle Emissionen mit Ausnahme der Nutzphase	-80% bis 2030 pro Fz	Ab 2022 klimaneutrale Produktion für „Mercedes Benz-Pkw“	*Bis 2035 100% Erneuerbare Energien	-45% (2014-2025)	-30% pro Fz in gesamtem Lebenszyklus (2015-2030)
Scope 1 & 2		-80% (2019-2030)	-50% (2018-2030)	-18% (2019-2023)		
Steigerung der Effizienz			-43% pro Fz. (2013 -2030)			
Umstellung auf Grünstrom und zum Teil Erdgas (VW)	„weitgehend“ Grünstrom (seit 2020)	100% Grünstrom (seit 2020)	100% Grünstrom bis 2022 bei „Mercedes Benz-Pkw“	22% Grünstrom bis 2023 100% bis 2035		-60% CO <sub>2</sub> in Wolfsburg (2018-2030) Und 100% Grünstrom bis 2030 <sup>8</sup>
Scope 3 gesamt				-680.000 t CO <sub>2</sub> (2020-2025)		
In der Lieferkette		mind. -20% (2019-2030)				
in der Nutzungsphase		mehr als -40% (2019-2030)				
durch Umstellung auf Grünstrom		-10 Mio.t CO <sub>2</sub> bis 2030				

Quelle: Eigene Darstellung auf der Grundlage von Unternehmensangaben (BMW Group 2021; Audi 2021; Daimler AG 2021; Ford 2021; Schaeffler 2021)

<sup>8</sup> Viele andere Standorte (weltweit) schon in den kommenden Jahren auf 100%

## 3 Beiträge und Minderungspotenziale der Klimabilanz der deutschen Automobilproduktion

### 3.1 Zielsetzung und Vorgehen

In einem zweiten Schritt wurde herstellerübergreifend eine allgemeine Darstellung der einzelnen Beiträge zur Klimabilanz der deutschen Automobilproduktion vorgenommen. Hierzu wurde eine Querschnittsauswertung von öffentlich zugänglichen Ökobilanzen und Klimabilanzen vorgenommen und nach verschiedenen Merkmalen (siehe unten) ausgewertet. Neben dem Status Quo wurde auch versucht aus den Literaturbefunden wesentliche technische Maßnahmen (einschließlich Darstellung von bestehenden Hemmnissen) zu Emissionsminderungen abzuleiten.

Eine Herausforderung bei der Literaturrecherche ergibt sich durch die Tatsache, dass bei typischen Suchbegriffskombinationen (zum Beispiel „Life Cycle Assessment / LCA“ UND „Automotive Industry“ oder ähnlich) selbst bei einer zeitbezogenen Einschränkung der Suchresultate auf die letzten fünf oder zehn Jahre in Google Scholar die Anzahl der Suchresultate mit mehreren tausend Treffern sehr hoch ausfällt. Da im Rahmen dieser Kurzstudie keine Auswertung der Treffer beispielsweise mit automatisierter Textanalyse möglich war, erfolgte pragmatisch eine Sortierung der Suchresultate nach Relevanz und eine Sichtung der nach dieser Priorität sortierten Fundstellen. Bemerkenswert ist, dass sich in der wissenschaftlichen Literatur sehr viele Arbeiten mit neuen Werkstoffen (darunter insbesondere aus biogenen Rohstoffen) oder mit komplexen Planungs- und Entscheidungstools für Designprozesse befassen. Demgegenüber finden sich nur sehr wenige Überblicksstudien bzw. Reviews, aus denen die Beiträge zur Klimabilanz der (deutschen) Automobilproduktion abgeleitet werden können. Insbesondere lassen sich aus den veröffentlichten Ökobilanzen der Automobilhersteller in der Regel die Beiträge bis hin zu den Materialvorketten nur schwer ableiten. Vor diesem Hintergrund wurde für die Darstellung des Überblicks der Beiträge zur Klimabilanz auch eine orientierende eigene Überblicksberechnung für drei Fahrzeuge durchgeführt, die im Wesentlichen auf Basisdaten der Ökobilanz-Datenbank Ecoinvent (Wernet, G., Bauer, C., Steubing, B., Reinhard, J., Moreno-Ruiz, E., and Weidema, B. 2020) beruht.

### 3.2 Ergebnisse

#### 3.2.1 Überblick

In der nachstehenden Tabelle wird am Beispiel eines Kleinwagens eine Aufschlüsselung der THG-Emissionen aus der Herstellung der Fahrzeuge mit einer Aufschlüsselung nach Karosserie, Antrieb, ggf. Batterie und Sonstiges (Entsorgung von Produktionsabfällen und Betriebsstoffen) vorgenommen. Die Gesamtemissionen aus der Herstellung umfassen hier auch die Vorketten bis hin zur Rohstoffentnahme. Die Emissionen liegen dabei beim Fahrzeug mit Benzinmotor mit knapp 8.600 kg CO<sub>2</sub>-e am tiefsten, gefolgt von der Ausführung mit Dieselmotor (knapp 9.300 kg CO<sub>2</sub>-e). Beim Fahrzeug mit Elektroantrieb führt die recht energieintensive Batterieproduktion dazu, dass die Gesamtemissionen aus der Herstellung mit annähernd 11.400 kg CO<sub>2</sub>-e höher als bei Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor liegen. Dieser Nachteil wird aber während der Nutzungsphase der Autos mehr als ausgeglichen; zudem wurde hier bei der Batterieherstellung von einem konservativen Szenario ausgegangen, vgl. dazu ausführlicher Abschnitt 3.2.3. Mit Blick auf die Beiträge bei den Fahrzeugen mit konventioneller Antriebstechnologie lassen sich rund zwei Drittel der Emissionen auf die Herstellung der Karosserie und rund ein Drittel auf Motor an Antriebsstrang (Getriebe etc.) zurückführen.



**Tabelle 3-1: Berechnete THG-Emissionen aus der Herstellung von drei Fahrzeugen (einschließlich Vorketten)**

	Benzin	Diesel	Elektroantrieb
Fahrzeuggewicht [kg]	1.234	1.314	1.480 <sup>9</sup>
THG-Emissionen aus Herstellung der Fahrzeuge [kg CO <sub>2</sub> e]			
Karosserie	5.651	5.651	5.654
Antrieb (Motor und Getriebe)	2.756	3.443	1.818
Batterie	entfällt	entfällt	3.714
Sonstiges (Entsorgung Abfälle etc.)			
<b>Gesamt</b>	<b>8.572</b>	<b>9.269</b>	<b>11.365</b>

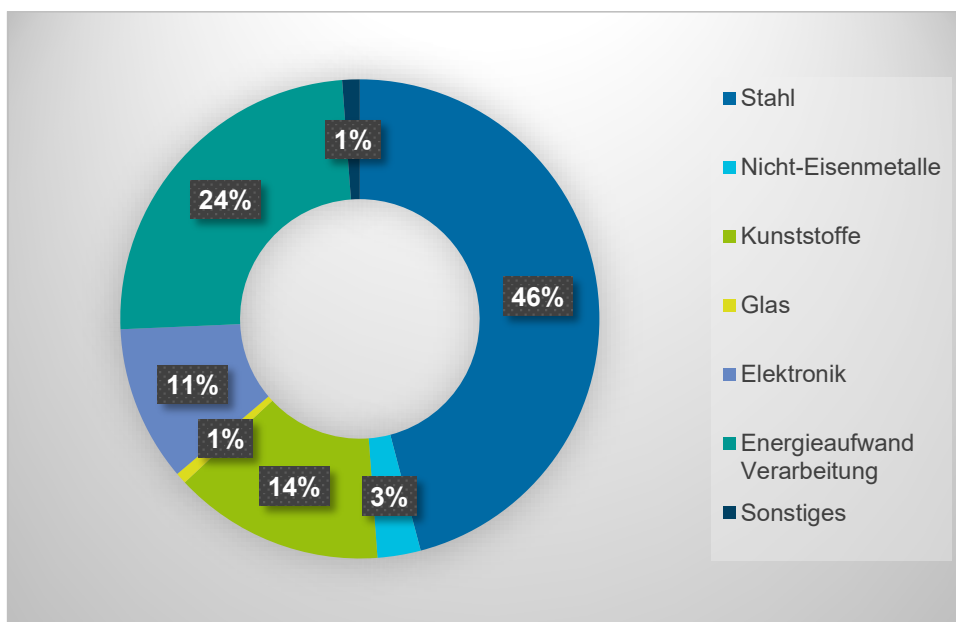
Quelle: Eigene Berechnungen auf der Grundlage der Datenbank Ecoinvent (Wernet, G., Bauer, C., Steubing, B., Reinhard, J., Moreno-Ruiz, E., and Weidema, B. 2020)

### 3.2.2 Beitragsanalysen

Am Beispiel des Dieselfahrzeugs werden die THG-Emissionen aus der Herstellung von Karosserie und Antrieb näher nach wesentlichen Materialgruppen (einschließlich der Vorketten bis zur Rohstoffentnahme) aufgelöst, siehe die nachfolgende Abbildung 3-1 und Abbildung 3-2.

Bei der Herstellung der Fahrzeugkarosserie spielt Stahl mit rund 46% die dominierende Rolle; aber auch Kunststoffe sowie die Fahrzeugelektronik nehmen mit 14% bzw. 11% größere Anteile ein. Die Energiebereitstellung für die Karosseriefertigung trägt zu rund einem Viertel der gesamten THG-Emissionen zur Herstellung der Karosserie bei.

**Abbildung 3-1: Beitragsanalyse der THG-Emissionen für die Herstellung der Fahrzeugkarosserie (Beispiel Dieselfahrzeug)**

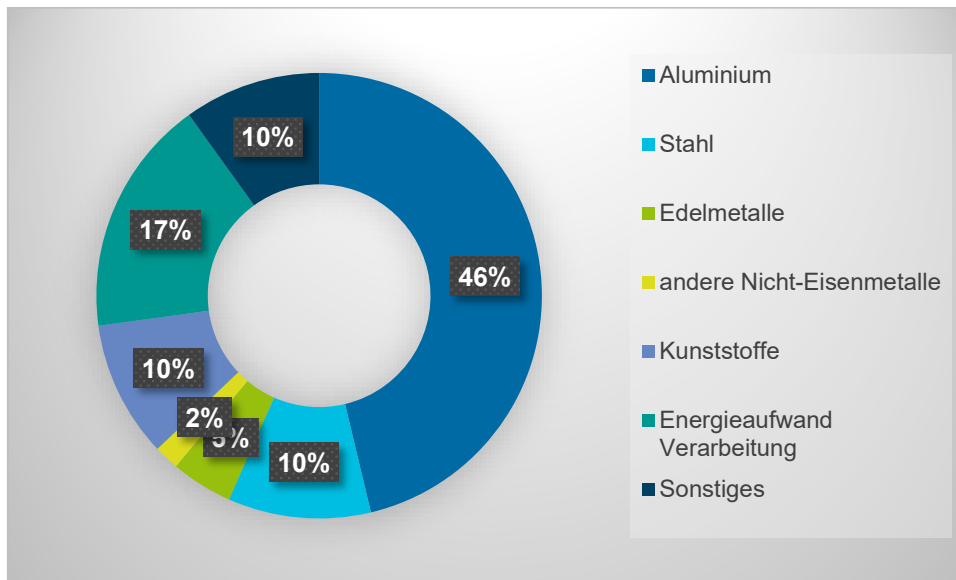


Quelle: Eigene Berechnungen

<sup>9</sup> Gewicht einschließlich Batterie mit einer elektrischen Kapazität von 35 kWh

Bei der Herstellung des Fahrzeugantriebs ist die Aluminiumherstellung (für das Motorgehäuse) mit rund 46% dominierend; weitere größere Anteile haben Stahl und Kunststoffe (jeweils 10%) und die Energiebereitstellung (17%).

**Abbildung 3-2: Beitragsanalyse der THG-Emissionen für die Herstellung des Fahrzeugantriebs (Beispiel Dieselfahrzeug)**



Quelle: Eigene Berechnungen

Zusammenfassend kann als Zwischenfazit festgehalten werden, dass wesentliche Beiträge zu den gesamten THG-Emissionen aus der Fahrzeugherstellung aus der Herstellung von Stahl, Aluminium, anderen Nicht-Eisenmetallen und Kunststoffen (jeweils mit den Vorketten) stammen. Diese Materialgruppen haben zusammen einen Anteil an den Gesamtemissionen der Herstellung konventioneller Fahrzeuge von rund zwei Drittel. Daneben trägt der Energieaufwand zur Verarbeitung (im Wesentlichen dürfte dies den Automobilherstellern und ihren Zulieferbetrieben zuzuordnen sein) mit gut 20% auch signifikant zu den gesamten Treibhausgasemissionen der Fahrzeugherstellung bei.

### 3.2.3 Batterieherstellung bei Elektrofahrzeugen

In Abschnitt 2.3.5 wurde bereits auf den hohen Beitrag der Batterieherstellung bei den Gesamtemissionen der Herstellung von Elektrofahrzeugen hingewiesen. Für die Berechnung haben wir Daten aus einem vergleichsweise umfassenden Review herangezogen (Emilsson und Dahllöf 2019). Dabei wird für die Ressourcenbereitstellung von 59kg CO<sub>2</sub>/kWh Batterieleistung ausgegangen (Dai, et al., 2019). Für die eigentliche Batterieherstellung werden insgesamt 170MJ pro kWh Batterieleistung aufgewandt, die sich auf 30MJ Strom und 140MJ Wärme verteilen.

Die meisten Automobilhersteller verlangen von ihren Batterie-Zulieferern, dass bei der Batterie-Produktion Erneuerbare Energien eingesetzt werden, siehe Abschnitt 2.3.5. Um diesen Gesichtspunkt quantitativ abzubilden, werden in der nachstehenden Tabelle vier unterschiedliche Szenarien zugrunde gelegt und die resultierenden THG-Emissionen für die Herstellung von Batterien mit einer Kapazität von 35 bzw. 58 kWh gegenübergestellt.

**Tabelle 3-2: THG-Emissionen aus der Herstellung von Lithium-Ionen-Batterien in Abhängigkeit der Energiebereitstellung – Zahlenwerte in kg CO<sub>2e</sub>**

Szenario	Batterie	
	58 kWh	35kWh
Strom und Wärme aus fossiler Energie	6154	3714
Strom aus erneuerbaren Energien und Wärme aus fossiler Energie	5696	3437
Strom und Wärme aus erneuerbaren Energien	3561	2149
Strom aus erneuerbaren Energien und effiziente Wärme aus fossiler Energie (Erdgas)	4031	2433

Quelle: Eigene Berechnungen auf der Grundlage von Daten aus (Emilsson und Dahllöf 2019)

Die Berechnungsergebnisse verdeutlichen, dass unter der Bedingung, dass Strom und Wärme bei der Batterieherstellung aus erneuerbaren Energien bereitgestellt werden, die THG-Emissionen um etwa 42% gesenkt werden können. Weitergehende Minderungen an THG-Emissionen könnten dann erzielt werden, wenn auch Minderungsmaßnahmen bei der Ressourcenbereitstellung umgesetzt werden könnten.

### 3.2.4 Energieverbrauch und THG-Emissionen in der Automobilproduktion

Auch wenn, wie in Abschnitt 3.2.1 dargestellt wurde, wesentliche Beiträge zu den gesamten THG-Emissionen aus der Fahrzeugherstellung aus der Herstellung von Stahl, Aluminium, anderen Nicht-Eisenmetallen und Kunststoffen (jeweils mit den Vorketten) stammen, ist es sinnvoll, auch den Energieaufwand bei der Verarbeitung und Endmontage in der Automobilproduktion zu betrachten, da dieser mit gut 20% auch signifikant zu den gesamten Treibhausgasemissionen der Fahrzeugherstellung beiträgt und hier mögliche Maßnahmen zur Effizienzsteigerungen unmittelbar von den Herstellern ergriffen werden können.

Bei der Betrachtung der Herstellung von Fahrzeugen und des damit verbundenen Energiebedarfs werden in der Regel nur die einzelnen Prozesse und Fertigungsverfahren betrachtet. Ein anderer Weg wurde in einer neueren Arbeit begangen (Gebler et al. 2020): Davon ausgehend, dass bislang Fertigungsprozesse, Baukonstruktionen und Prozessmaterialien in der Automobilproduktion noch nicht aus einer Lebenszyklus-Perspektive untersucht wurden, haben die Autoren eine fabrikzentrierte Ökobilanz erstellt. Die Fallstudie wurde an einer hochmodernen Automobilfabrik durchgeführt, um eine quantifizierte und differenzierte Analyse durchzuführen mit der Zielsetzung, die Auswirkungen von Standort, Gebäude, technischer Infrastruktur, Fertigungsprozessen sowie Vor-/Nachketten systematisch zu untersuchen.

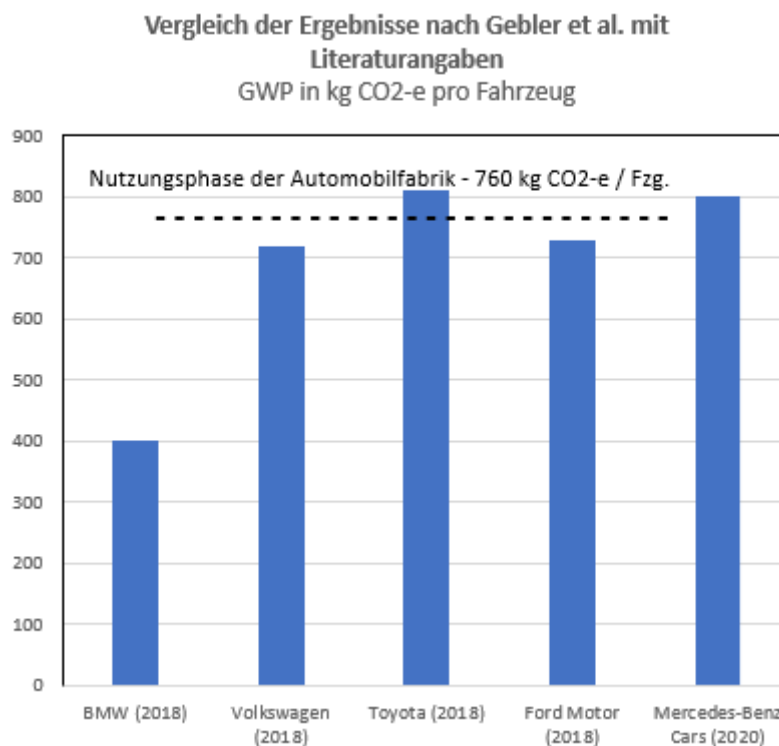
Im Ergebnis dieser Arbeit zeigt sich erwartungsgemäß, dass die Nutzungsphase (also die Automobilproduktion aus produktbezogener Sicht) der größte Treiber des Treibhauspotenzials (Global Warming Potential, GWP) mit 77,4 % des gesamten GWP des Fabriklebenszyklus ausmacht. Allerdings tragen auch die für den Bau der Fabrik erforderlichen Rohstoffe (16,9%), Bau und Unterhalt der Gebäude und Einrichtungen (4,9%) sowie das End of Life (EoL) (0,9%) nicht unerheblich zu den gesamten THG-Emissionen einer Automobilfabrik bei.

In der Nutzungsphase der Automobilfabrik, also der eigentlich Automobilproduktion aus produktbezogener Perspektive, hat der Energieeinsatz mit 55,3 % mehr als die Hälfte den größten Anteil an den THG-Emissionen des Fabriklebenszyklus. Materialinput und nachfolgende

Abfallbehandlung erzeugen 21,7 % der gesamten THG-Emissionen. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass dieser Input bei weitem nicht alle Komponenten einschließt, die am Ende in einem Fahrzeug verbaut sind. Insbesondere sind z.B. Stahl für die Karosserie und Kaufteile von Lieferanten nicht betrachtet. Nach Auskunft des Korrespondenzautors wurden unter Material-Input lediglich Materialien betrachtet, die über die Fabrik beschafft werden (Lacke, Klebstoffe, Schweißelektroden, Chemikalien für die Abwasserbehandlung, Steinmehl für die Lacknebelabscheidung, etc.). Sowohl Energie- als auch Materialeinsatz haben einen starken Einfluss auf die gesamten THG-Emissionen, während die Wasser- (und Abwasser-) Ströme lediglich mit 0,2 % zu den Gesamtemissionen beitragen. Bei den Energieträgern hat Erdgas mit 30,1 % im Vergleich zu Strom mit 25,2 % einen höheren Anteil an den THG-Emissionen. Dies ist u.a. auch dadurch bedingt, dass die THG-Emissionen pro kWh Strom über den betrachteten Zeitraum durch Änderung des Bezugs von 0,434 auf 0,230 kg CO<sub>2</sub>-e/kWh gesenkt werden konnten (Gebler et al. 2020).

Die Autoren haben auch eine Einordnung ihrer Ergebnisse mit Literaturangaben von Automobilproduzenten vorgenommen, siehe folgende Abbildung.

**Abbildung 3-3: Vergleich der Ergebnisse der Fallstudie mit Literaturangaben (alle Zahlenwerte in kg CO<sub>2</sub>-e pro Fahrzeug)**



Quelle: Eigene Darstellung auf der Grundlage von (Gebler et al. 2020), Wert Mercedes-Benz Cars ergänzt (siehe Abschnitt 2.3.1)

Da in den Werten wie oben beschrieben Vorketten nur teilweise enthalten sind, können die Werte nicht unmittelbar verglichen werden – beispielsweise in dem Sinn, welcher Hersteller wie effizient produziert.

(Gebler et al. 2020) weisen zudem hinaus darauf hin, dass die spezifischen Werte von der Auslastung der Fabrik abhängen<sup>10</sup>, da es teilweise „Sockelbeiträge“ zu THG-Emissionen gibt, die nicht von der Anzahl gefertigter Fahrzeuge abhängen, vgl. die nachstehende Tabelle.

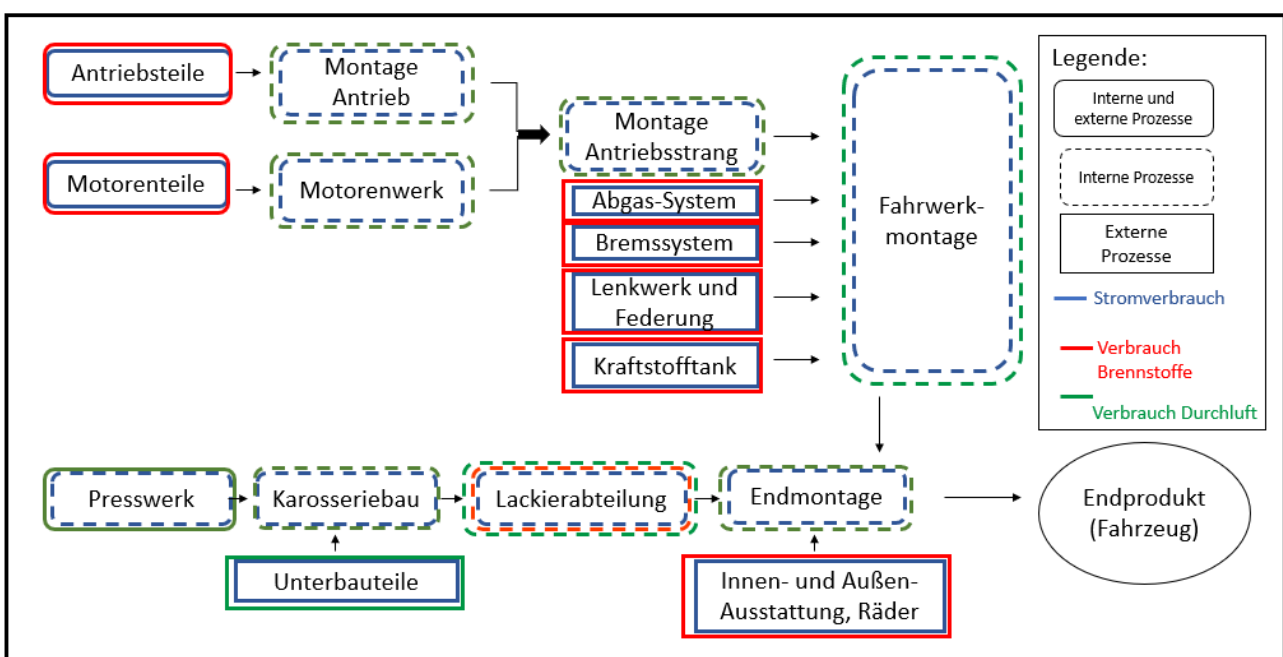
**Tabelle 3-3: Abhängigkeit der THG-Emissionen pro Fahrzeug in Abhängigkeit der Auslastung einer Automobilfabrik**

Produktion (Fahrzeuge pro Jahr)	THG-Emissionen pro Fahrzeug (kg CO <sub>2</sub> e)
100.000	987
75.000	1.168
50.000	1.529

Quelle: Eigene Darstellung nach (Gebler et al. 2020)

Auf die unterschiedliche Fertigungstiefe und die damit zusammenhängenden Schwierigkeiten, die Energieeffizienz der Automobilproduktion beispielsweise für unterschiedliche Standorte und Hersteller einzuordnen und zu vergleichen, weisen auch (Giampieri et al. 2020) hin, vgl. folgende Abbildung.

**Abbildung 3-4: Übersicht über wesentliche Fertigungsschritte in der Automobilproduktion**



Quelle: Eigene Darstellung und Übersetzung auf der Grundlage von (Giampieri et al. 2020)

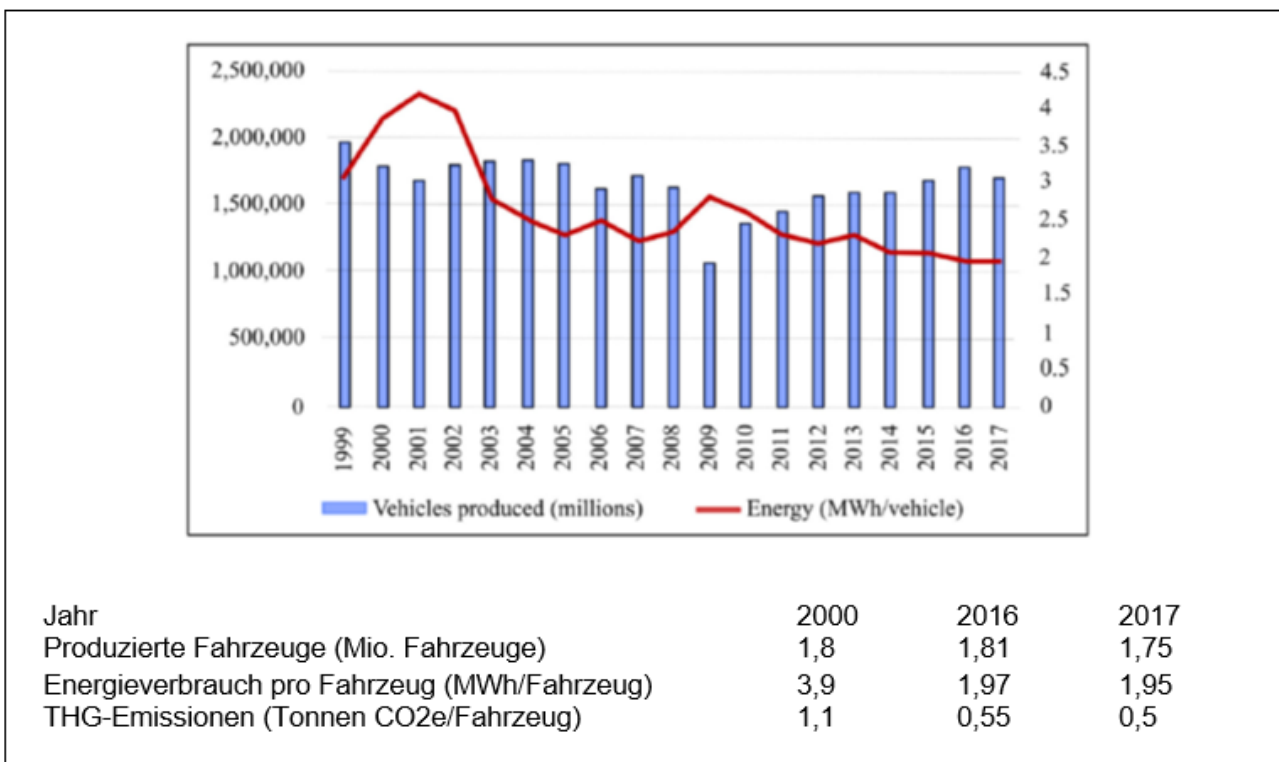
Während das Abgassystem, das Bremsensystem, Lenkung und Federung, der Kraftstofftank, die Innen- und Außenausstattung sowie Unterbauteile generell extern gefertigt werden, werden Baukomponenten des Antriebsstrangs und der Motoren sowie Formteile für die Karosserie sowohl intern als auch extern gefertigt. Lediglich die Montagelinien für Antriebsstrang und Motor, die

<sup>10</sup> Die Werte bilden dabei ab, ob die Fahrzeuge mit zwei Arbeitsschichten pro Tag (50.000 Fahrzeuge), zweieinhalb Arbeitsschichten (75.000 Fahrzeuge) oder drei Arbeitsschichten (100.000 Fahrzeuge) pro Tag gefertigt werden.

Montage des Fahrwerks, Karosseriebau und Lackierung sowie die Endmontage finden nach Giampieri et al. (2020) ausschließlich bei den Automobilherstellern selbst statt. Da – wie in der Abbildung zusätzlich dargestellt – sich die Prozesse zusätzlich noch durch die Art des Energieinputs unterscheiden (Strom, Brennstoffe, Druckluft) erschwert dies zusätzlich den Vergleich von Daten unterschiedlicher Hersteller.

Giampieri et al. haben auf der Grundlage von Nachhaltigkeitsberichten des Automobilverbands SMMT des Vereinigten Königreichs eine interessante Zusammenstellung von Daten zur Entwicklung der Automobilproduktion, des Energieverbrauchs und der Umweltbelastungen für die den Zeitraum 2000 bis 2017 vorgenommen, vgl. nachstehende Abbildung.

**Abbildung 3-5: Entwicklung von Fahrzeugproduktion, Energieverbrauch und Umweltbelastungen am Beispiel des Vereinigten Königreichs**



Quelle: Eigene Darstellung (Übersetzung und Auszug Legende)unter Verwendung von (Giampieri et al. 2020) (oben)

Damit zeigt sich, dass die spezifischen THG-Emissionen (also CO<sub>2e</sub> / Fahrzeug) innerhalb von weniger als zwanzig Jahren mehr als halbiert werden konnte. Die Zunahme des spezifischen Energieverbrauchs in den Jahren nach der Finanzkrise 2008 könnte auf eine schlechtere Auslastung der Fabriken zurückzuführen sein (siehe oben). In den letzten Jahren wird die Abnahme des spezifischen Energieverbrauchs flacher, was darauf hindeuten könnte, dass bei der Ausschöpfung von Effizienzmaßnahmen Grenzen erreicht sein könnten. In dem oben bereits skizzierten Modell einer fabrikzentrierten Ökobilanz gehen die Autoren für die kommenden Jahre jedoch von einer Zunahme der Energieeffizienz von 1,5% p.a. aus (Gebler et al. 2020). Belastbare Aussagen zu dieser Frage lassen sich allerdings nur auf der konkreten Ebene einzelner Maßnahmen treffen, vgl. folgenden Abschnitt.

### 3.2.5 Überblick zu Effizienzmaßnahmen

Aufgrund der Komplexität der einzelnen Prozesse in der Automobilproduktion werden Strom und Brennstoffe für sehr unterschiedliche Anwendungen eingesetzt, vgl. die folgende tabellarische Übersicht.

**Tabelle 3-4: Anwendungsabhängiger Energieeinsatz in Automobilfabriken**

Quelle	Primäre Anwendung	Sekundäre Anwendung
Elektrischer Strom	Druckluft	Transportbänder
		Erfassung Overspray Lackierung
		Entfernung VOC
		Sprühlackierung
	Kühlwasserbereitstellung	Klimaanlagen
		Farbmischanlagen
	Materialverarbeitung	
	Lackierung (Ventilatoren, IR-Härtung)	
	Schweißverfahren, Fügetechnik	
	Umformtechnik	
Belüftung		
Beleuchtung		
Brennstoffe	Dampfbereitstellung	Lackierung
		Raumheizung
		Wagenwäsche
	Metallguss	
	Flächenheizung	
	Entfernung VOC	
	Öfen	

Quelle: Eigene Darstellung nach (Giampieri et al. 2020)

Bedingt durch diese sehr unterschiedlichen Anwendungsfälle sind auch die Maßnahmen des Energiemanagements zu Einsparungen und Steigerung der Effizienz breit gefächert. Die wesentlichen Strategien zur Steigerung der Energieeffizienz, die von den Automobilherstellern ergriffen werden, können wie folgt zusammengefasst werden, vgl. eingehend mit Verweisen auf primäre Quellen (Giampieri et al. 2020):

- Kraft-Wärme-Kopplungssysteme (KWK) werden genutzt, um gleichzeitig Strom, Dampf und Wärme zu liefern. Der Einsatz der KWK-Technologie kann zu einer Reduzierung der Produktionskosten und der Umweltbelastung führen, insbesondere bei Fertigungsprozessen mit ganzjährigem Wärmebedarf, wie z. B. die Lackiererei, wodurch der Gesamtwirkungsgrad wesentlich erhöht wird. Zusätzliche Effizienz und wirtschaftliche Einsparungen lassen sich durch die Integration von KWK mit Absorptionskältetechnik in einem Trigenerationssystem erzielen.
- Bei Elektromotoren können drehzahlvariable Antriebe den Energieverbrauch des Motors erheblich reduzieren. Je nach Anwendung liegt die Energieeinsparung diesen Motoren zwischen 7 und 60 %.
- Transportbänder und Förderanlagen werden in Fabriken in großem Umfang zum Transport von Materialien eingesetzt und sind für einen hohen Energieverbrauch verantwortlich, der durch ein

gut konzipiertes System begrenzt werden kann. Mögliche identifizierte Lösungen sind die Realisierung eines Förderers mit effizienteren Komponenten wie z. B. Tragrollen, Antriebssysteme und Riemen/Ketten.

- Effiziente Beleuchtung kann unerwünschten Eintrag von Abwärme in Gebäuden reduzieren, wie z.B. Tageslichtnutzung und LED-Beleuchtung.
- Rückgewinnung von mechanischer Energie mit Schwungrädern bei Betriebsunterbrechungen in der Umformtechnik.
- Energieeffizienz-Strategien im Bereich Heizung, Lüftung und Klimatechnik umfassen die Verwendung hocheffizienter Kältemaschinen, Nutzung von Solarenergie für die Heizung, Kühlwasserrückgewinnung etc.
- Die hohe Ineffizienz von Druckluftsystemen hat sehr unterschiedliche Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz ausgelöst: Behebung von Leckagen in den Leitungen (bis zu 20 % der Energieeinsparungen), Minimierung des Druckabfalls (5-6% der Energieeinsparung), Ein- und Ausschalten in Abhängigkeit von der Produktion. Daneben werden auch grundsätzlichere strukturelle Änderungen ergriffen, wie z. B. das Ersetzen üblicher luftbetriebener Werkzeuge (Druckluftmotoren) durch Elektrowerkzeuge etc.
- Schweißprozess: Einsatz von effizienterer Schweiß-/Invertertechnologie (zur Reduzierung des Energieverbrauchs zwischen 10 und 40 %).
- Schnelle Freiform-Blechumformung (RAFFT). Diese Technologie, basierend auf der Herstellung von Blechteilen mit beidseitiger inkrementeller Umformung anstelle der Verwendung von Stanz- und Umformwerkzeugen, befindet sich noch in der Entwicklungsphase. Sie könnte jedoch den Energieverbrauch um 50-90 % im Vergleich zur konventionellen Technologien verringern.

Die Auflistung macht deutlich, dass an verschiedenen Stellen und Prozessen der Automobilproduktion nicht unerhebliche Effizienzpotenziale vorliegen. Eine konkrete quantitative Abschätzung der Umsetzbarkeit dieser Potenziale kann im Rahmen der vorliegenden Kurzstudie allerdings nicht vorgenommen werden.

### **3.2.6 Mittel- bis langfristig ausgerichtete Strategien bei relevanten Ausgangsmaterialien**

Neben den im vorangegangenen Abschnitt skizzierten Maßnahmen des Energiemanagements müssen bei einer Klimaschutzstrategie in der Automobilherstellung auch Entwicklungen im Materialeinsatz und bei relevanten Ausgangsmaterialien berücksichtigt werden. Nachfolgend wird diese exemplarisch an drei Aspekten erläutert: Veränderungen in der Materialzusammensetzung der Rohbaukarosserie, Stahlherstellung und Basischemikalien.

#### **3.2.6.1 Materialzusammensetzung der Rohbaukarosserie**

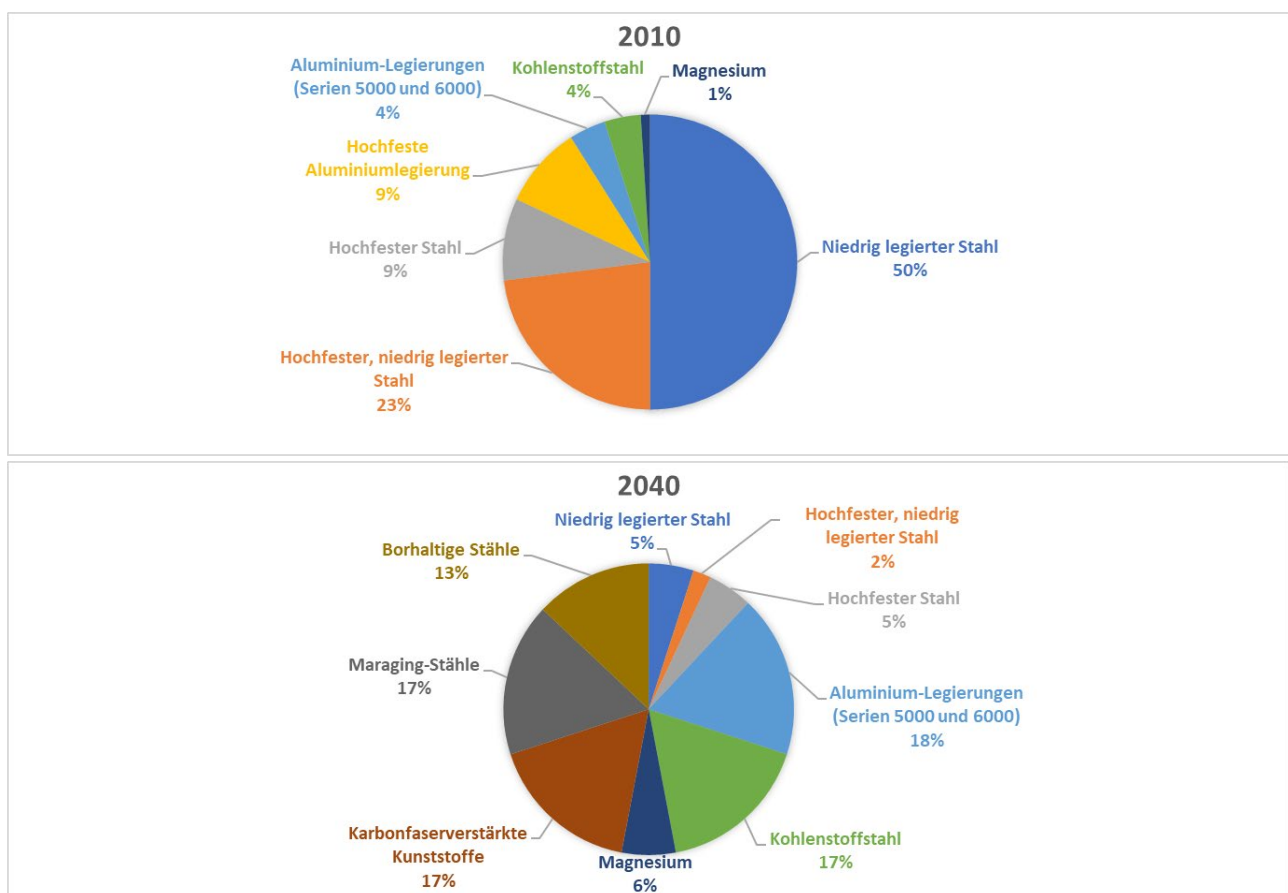
In herkömmlichen Karosserie-Konstruktionen werden zu nahezu 75% niedrig legierte Stähle eingesetzt, gefolgt von hochfesten (9%) und härtbaren (4%) Stahlsorten. Demgegenüber werden Nichteisen-Metalle (vor allem Aluminium, bei wenigen Anwendungen Magnesium-Legierungen) nur zu insgesamt 14% verwendet. Ausgelöst durch die Bestrebungen, den Energieverbrauch in der Nutzungsphase von Fahrzeugen weiter zu senken, werden zukünftig vermehrt Materialien mit einem höheren Festigkeits-Gewichtsverhältnis eingesetzt werden, darunter hochfeste Spezialstähle,



vermehrt Leichtmetall-Legierungen aus Aluminium und Magnesium sowie carbonfaserverstärkte Kunststoffe, vgl. Abbildung 3-6. In diesem Zusammenhang müssen mehrere Aspekte berücksichtigt werden:

- Die Leichtbaumaterialien erfordern in Herstellung und Recycling gegenüber niedrig legierten Stählen einen höheren Primärenergieaufwand, weshalb – vergleichbar zur Strategie bei der Batterieproduktion – auch hier eine Produktion mit Einsatz erneuerbarer Energien angestrebt wird (Giampieri et al. 2020).
- Auch die Verarbeitung und Montageprozesse innerhalb der Automobilproduktion im engeren Sinne müssen umfangreich an die veränderten Ausgangsmaterialien angepasst werden, beginnend mit der Formgebung, über Fügeverfahren und Schweißtechnik, Lackierung bis hin zur Endmontage der Fahrzeuge.
- Zudem muss berücksichtigt werden, dass beim Recycling von Altfahrzeugen die veränderte Materialzusammensetzung der Karosserie auch neue Strategien erfordert, um eine möglichst enge Kreislaufführung zu gewährleisten. Die effektive Umsetzung dieser Strategien wird allerdings angesichts hoher Zahlen an Exporten von Altfahrzeugen in andere Weltregionen nicht einfach umzusetzen sein.

**Abbildung 3-6: Entwicklung der Materialzusammensetzung in der Rohbaukarosserie**



Quelle: Eigene Darstellung nach (Giampieri et al. 2020)

### 3.2.6.2 Technologien für die klimaneutrale Stahlherstellung und Chemieproduktion

Bei der Diskussion der Beiträge der THG-Emissionen aus der Fahrzeugherstellung wurde deutlich, dass diese zum größten Teil aus der Herstellung von Basismaterialien wie Stahl, NE-Metalle und Kunststoffen stammen. Szenarien zur klimaneutralen Ausrichtung der Automobilproduktion müssen daher auch Maßnahmen zur (weitgehend) klimaneutralen Herstellung dieser Ausgangsmaterialien umfassen. Lechtenböhrmer et al. (2016) haben grundlegende Ansätze zur Dekarbonisierung von Grundstoffen durch elektrochemische Prozesse beschrieben. Konkret wurde für sieben Basismaterialien, darunter auch die für die Automobilindustrie wichtigen Materialien Stahl, Glas und Basischemikalien, Szenarien zur Dekarbonisierung erstellt. Bei Stahl zielen Strategien zur Dekarbonisierung insbesondere auf die Herstellung von Primärstahl ab, da aus dieser Route mehr als 90% der gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen der Stahlproduktion stammen. Hier macht die Reduktion von Eisenerz zu Eisen etwa 80 % der Emissionen aus. Neben der Erhöhung des Anteils der auf Stahlschrott basierenden Herstellung von Sekundärstahl ist die Suche nach neuen Reduktionsmitteln der wichtigste Schritt zur Dekarbonisierung der Stahlindustrie.

In der nachstehenden Übersicht werden exemplarisch Schlüsseltechnologien für eine (weitgehend) klimaneutrale Stahlproduktion und Chemieproduktion (als Ausgangsbasis für die Herstellung von Kunststoffen) dargestellt. In diesem Zusammenhang muss beachtet werden, dass noch nicht alle technologischen Lösungen breit für industrielle Prozesse verfügbar sind (Gebler et al. 2020). Zudem würde eine Umstellung der Produktion allein mit einem massiven Anstieg des Strombedarfs verbunden sein (zur Erzeugung von Wasserstoff und für die Bereitstellung von Prozesswärme). Realistische und umsetzbare Strategien hin zu einer klimaneutralen Grundstoffindustrie erfordern daher nicht nur den Ersatz fossiler Energieträger durch Elektrifizierung und den Einsatz von grünem Wasserstoff; zusätzlich erforderlich sind Technologien zur CO<sub>2</sub>-Abscheidung und -Speicherung, die CO<sub>2</sub>-Abscheidung und Nutzung, eine weitgehende Kreislaufwirtschaft, eine deutliche Erhöhung der Material- und Energieeffizienz und der Einsatz von Biomasse und biobasierter Materialien (Agora Energiewende und Wuppertal Institut 2019). Und: Nicht nur in der Automobilindustrie, sondern auch in anderen Sektoren, beispielsweise im Bausektor, würde die Nachfrage nach grünem Stahl und grünen Chemieprodukten steigen. Neben der Technologieentwicklung und Implementierung müssen in den Abnehmerbranchen daher verstärkt alle Möglichkeiten zur Materialeinsparung und zur Steigerung der Materialeffizienz ergriffen werden, um den Bezug von energieintensiven Basismaterialien zu reduzieren.

**Tabelle 3-5: CO<sub>2</sub>-arme Schlüsseltechnologien für eine weitgehend treibhausgasneutrale Stahlproduktion und Chemieproduktion**

Technologie	Kurzbeschreibung	CO <sub>2</sub> -Minderung ggü. konvent. Technologie	Mögliche Verfügbarkeit
<b>Stahlproduktion</b>			
Direktreduktion mit Wasserstoff und Einschmelzen im Elektrolichtbogenofen	Bei der Direktreduktion mit Wasserstoff wird Wasserstoff anstatt Koks (C) genutzt, um das Eisenerz in Direktreduktionsanlagen zu reduzieren. Dadurch fallen keine prozessbedingten CO <sub>2</sub> -Emissionen an. Entstehender Eisenschwamm wird anschließend im Elektrolichtbogenofen (bei Bedarf gemeinsam mit Schrott) zu Rohstahl geschmolzen. Bei einer Bereitstellung des Wasserstoffs mit 100 Prozent Erneuerbaren Energien ist diese Route nahezu CO <sub>2</sub> -neutral.	- 97%	2025 - 2030 (evtl. Einstieg mit Erdgas)
Eisenelektrolyse und Einschmelzen im Elektrolichtbogenofen	Bei der (alkalischen) Eisenelektrolyse werden Eisenerze in Natronlauge zu Roheisen reduziert und anschließend im Elektrolichtbogenofen zu Rohstahl geschmolzen. Auf ein kohlenstoffhaltiges Reduktionsmittel kann verzichtet werden. Das Verfahren verspricht somit eine deutliche Steigerung der Energieeffizienz gegenüber der Hochofenroute und könnte bei der ausschließlichen Nutzung von Strom aus Erneuerbaren Energien weitgehend CO <sub>2</sub> -frei sein.	- 87%	Voraussichtlich erst nach 2050
Hisarna®-Verfahren in Kombination mit CO <sub>2</sub> -Abscheidung und Speicherung	Das Hisarna®-Verfahren ist ein neuartiger kohlebasierter Schmelzreduktionsprozess, wodurch in der Stahlherstellung auf die Agglomerationsstufen (Kokerei, Sintern/Pelletieren) verzichtet werden kann. Das Eisenerz, dem bis zu 50 Prozent Schrott beigemischt werden können, wird durch eine spezielle Prozessführung in nur einem Reaktor direkt zu Roheisen reduziert. Das Verfahren eignet sich wegen des relativ reinen CO <sub>2</sub> -Abgasstroms gut für die Kombination mit CCS und ermöglicht auf diese Weise CO <sub>2</sub> -Minderungen um bis zu 86 Prozent. Das abgetrennte CO <sub>2</sub> müsste anschließend über eine CO <sub>2</sub> -Infrastruktur abtransportiert und schließlich an geeigneten Speicherorten verpresst werden.	- 86%	2035 – 2040

Technologie	Kurzbeschreibung	CO <sub>2</sub> -Minderung ggü. konvent. Technologie	Mögliche Verfügbarkeit
CO <sub>2</sub> -Abscheidung und Nutzung (CCU) von Hüttengasen aus integrierten Hochofenwerken	Beim CCU-Verfahren werden die in der Hochofenroute entstehenden Hüttengase zum Teil abgeschieden und für die Produktion chemischer Wertstoffe (wie unter anderem Methanol, Ethanol, künstlich hergestellte Kraftstoffe oder Ammoniak) genutzt. Der so verwendete Hüttengasanteil muss nicht mehr in Kraftwerken verbrannt werden und auch in der Chemieindustrie könnte Erdöl substituiert werden. Allerdings ist für eine CO <sub>2</sub> -arme Produktion von zum Beispiel Methanol (als Ausgangsstoff für die Kunststoffproduktion) die zusätzliche Produktion von grünem Wasserstoff nötig. Dadurch ist diese Route sehr stromintensiv.	- 63%	2025 – 2030
<b>Chemieproduktion</b>			
Wärme- und Dampferzeugung aus Power-to-Heat	Power-to-Heat ermöglicht neben einem Beitrag zur Flexibilisierung des Stromsystems die direkte Nutzung von Strom zur Wärme- und Dampferzeugung. Durch Power-to-Heat könnte zukünftig die Verwendung fossiler Brennstoffe in KWK-Anlagen oder Gaskesseln vermieden beziehungsweise reduziert werden. Bei der Nutzung von 100 Prozent erneuerbarem Strom könnte die Wärme- und Dampferzeugung auf diese Weise CO <sub>2</sub> -frei erfolgen. Als Technologien kommen sowohl Elektrodenkessel (für Temperaturen bis zu rund 500 Grad Celsius) als auch Hochtemperatur-Wärmepumpen (ggf. in Kombination mit mechanischen Brüdenverdichtern für Temperaturen bis zu 200 Grad Celsius) infrage.	- 100%	ab 2020
Wasserstoffproduktion aus Erneuerbaren Energien	Bei der Erzeugung von grünem Wasserstoff aus Elektrolyse wird Strom zur Trennung von Wassermolekülen verwendet, um Wasserstoff und Sauerstoff zu gewinnen. Dazu existieren unterschiedliche Verfahren, wie die alkalische, die PEM- (Polymer-Elektrolyt-Membran) sowie die Hochtemperatur-Elektrolyse. Bei der ausschließlichen Nutzung von Strom aus Erneuerbaren Energien wäre die Wasserstoffproduktion CO <sub>2</sub> -frei.	- 100%	2025 – 2035

Technologie	Kurzbeschreibung	CO <sub>2</sub> -Minderung ggü. konvent. Technologie	Mögliche Verfügbarkeit
Alternative Verfahren wie die Methanol-to-Olefin/-Aromaten-Route (MTO/MTA) oder elektrochemische Prozesse zur Olefin- und Aromatenproduktion	Bei der Methanol-to-Olefin- (MTO) beziehungsweise Methanol-to-Aromaten (MTA)-Route können aus grünem Methanol oder Synthesegas (H <sub>2</sub> und CO) Olefine und Aromaten erzeugt werden. Damit könnten deren Produktion in Steamcrackern ersetzt und die dabei anfallenden CO <sub>2</sub> -Emissionen eingespart werden. Für eine CO <sub>2</sub> -freie Methanolproduktion müsste grüner Wasserstoff und langfristig CO <sub>2</sub> aus nicht-fossilen Quellen (Altplastik, Biomasse oder Luftzerlegung) genutzt werden.	- 100%	2025 - 2030
Chemisches Recycling: Pyrolyse oder Gasifizierung von Altplastik für die stoffliche Nutzung	Chemisches Recycling ermöglicht die Wiederverwertung von Plastikmüll als Feedstock für die chemische Industrie, anstatt es zu verbrennen. Dabei wird der Plastikmüll zu nutzbaren Gasen (Gasifizierung) oder öligen Flüssigkeiten (Pyrolyse) umgewandelt und daraus alternativer Feedstock zum Beispiel für die Steamcracker erzeugt, der dort fossilen Feedstock (zum Beispiel fossiles Naphtha) ersetzt. Somit können die CO <sub>2</sub> -Emissionen aus der Verbrennung von Altplastik sowie bei der Herstellung von Naphtha als Feedstock eingespart werden.	- 93%	2025 - 2030 (verfahrensabhängig)
Elektrifizierung der Hochtemperaturwärme an Steamcrackern	Durch die Elektrifizierung der Hochtemperaturwärme können die direkten CO <sub>2</sub> -Emissionen am Steamcracker vollständig vermieden werden. Diese entstehen heute durch die Verbrennung eines Teils des Feedstocks (zum Beispiel Naphtha), um die benötigte Prozesswärme (600 bis 900 Grad Celsius) bereitzustellen. Auch alternativer nicht fossiler Feedstock aus chemischem Recycling (zum Beispiel Pyrolyseöl) müsste nicht verbrannt werden, was es erlauben würde, den darin enthaltenen Kohlenstoff für die stoffliche Nutzung gegebenenfalls mehrfach im Kreislauf zu führen (siehe chemisches Recycling).	- 100%	2035 - 2045

Quelle: Eigene Darstellung mit Auszügen aus (Agora Energiewende und Wuppertal Institut 2019)

## 4 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

In der vorliegenden Kurzstudie wurde auf der Grundlage von aktuellen Unternehmensangaben von deutschen Automobilherstellern und großen Zuliefer-Unternehmen eine Übersicht zur Klimarelevanz der Herstellung von Fahrzeugen erstellt. Zwar fallen bezogen auf den gesamten Lebensweg von Fahrzeugen in der Nutzungsphase mehr als zwei Drittel der CO<sub>2</sub>-Emissionen (THG) an, viele Unternehmen der Automobilindustrie und ihrer Zulieferer haben jedoch in den letzten Jahren eine klimaschutzorientierte oder sogar klimaneutrale Herstellung ihrer Produkte angekündigt.

Alle Hersteller und Zulieferer, deren Daten und Angaben in dieser Kurzstudie berücksichtigt wurden, machen in ihren Umwelt- und Nachhaltigkeitsberichten Angaben zum Status Quo der CO<sub>2</sub>-Emissionen, die sich zumeist auf Scope 1 (direkte Emissionen aus den Fabriken) und Scope 2 (Emissionen aus der extern bezogenen Energiebereitstellung) beziehen. Teilweise werden auch Scope 3 Emissionen angegeben (upstream aus der Lieferkette und downstream aus der Nutzung der Fahrzeuge und deren Entsorgung). Unter der „Produktion“ verstehen die Hersteller damit nur die engere Produktion in den Stammwerken und ohne die vielen Rohstoffe und Halbzeuge. Diese engere Produktion umfasst nur etwa 1 – 3 % der gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen. In den Berichten der Automobilhersteller und Zulieferer finden sich zwar viele Daten, die Datenlage ist aber sehr heterogen, beispielsweise durch unterschiedliche zeitbezogene oder geographische Erfassungsbereiche, durch unterschiedliche Bezüge (Gesamtemissionen oder Bezug auf durchschnittliche Fahrzeuge, nur bestimmte Konzernteile, nur bestimmte Automarken etc.). Auch zur Berechnung der größten CO<sub>2</sub>-Emissionen – die der Nutzungsphase – werden unterschiedliche Annahmen zugrunde gelegt (beispielsweise 150.000 km oder 200.000 km). Eine unmittelbare Einordnung und ein Vergleich der Daten unterschiedlicher Hersteller und Zulieferer sind daher nur sehr bedingt möglich.

Vergleichbares gilt auch hinsichtlich der Auswertung der Zielsetzungen der Unternehmen zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen für die nächsten Jahre bis hin zu einer klimaneutralen Produktion. Aus den verfügbaren Angaben der Unternehmen lässt sich keine eindeutige und widerspruchsfreie Gesamtschau erstellen, zu welchen Anteilen bereits erreichte und noch beabsichtigte Verringerungen von THG-Emissionen resultieren, also

- aus der Steigerung der Energie- und Materialeffizienz,
- dem Ausbau der eigenen Versorgung mit erneuerbaren Energien,
- durch eine Erweiterung des Bezugs von Strom aus erneuerbaren Energien,
- durch Ausgleich der nicht oder nur mit zu hohen Kosten vermeidbaren CO<sub>2</sub>-Emissionen mit Kompensationsmaßnahmen.

Bezogen auf die engere Produktion ist auffällig, dass die Automobilhersteller hier vor allem auf den Bezug von EE-Strom setzen, der aus erneuerbaren-Energien stammt. Die entsprechenden CO<sub>2</sub>-Minderungen werden „großzügig“ für die eigenen CO<sub>2</sub>-Reduktion vereinnahmt, auch wenn der EE-Strom aus Altanlagen stammt oder mit EEG-Zuschüssen von allen Stromkunden finanziert wurde.

Zusammenfassend zeigt sich für die Automobilhersteller und für die Zuliefer-Unternehmen das Bild, dass es in den Berichten der Unternehmen nur vereinzelt quantitative Angaben darüber gibt, in welchem Umfang weitere CO<sub>2</sub>-Reduktionen in der Produktion und in den Lieferketten durch Effizienzsteigerungen erreicht werden sollen. Die in den Berichten ausgewiesenen, bereits erreichten Emissionsminderungen sowie die künftig noch beabsichtigten Reduktionen sind

überwiegend „bilanziell“ aufzufassen, in dem der Bezug von EE-Strom und bei noch verbliebenen Emissionen Kompensationsmaßnahmen angerechnet werden.

Aus einer in dieser Kurzstudie vorgenommenen, orientierenden ökobilanziellen Betrachtung kann festgehalten werden, dass wesentliche Beiträge zu den gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Fahrzeugproduktion aus der Herstellung von Stahl, Aluminium, anderen Nicht-Eisenmetallen und Kunststoffen (jeweils mit den Vorketten) stammen. Diese wenigen, aber mengenmäßig bedeutsamen Materialgruppen haben zusammen einen Anteil von rund zwei Drittel an den gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Herstellung konventioneller Fahrzeuge. Daneben trägt der Energieaufwand zur Verarbeitung mit gut 20% auch signifikant zu den gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen der Fahrzeugherstellung bei. Bei der Herstellung der Fahrzeugkarosserie nimmt der Anteil der Elektronik bereits einen Anteil von 11% der CO<sub>2</sub>-Emissionen ein – dieser Anteil wird mit zunehmenden Automatisierungsgraden und der dafür erforderlichen Elektronik samt Sensoren und Aktuatoren stark ansteigen.

Vor dem Hintergrund des hohen Beitrags der produktionsbedingten THG-Emissionen aus der Herstellung von Grundmaterialien und (zunehmend) komplexer Elektronik sowie ressourcenintensiven Leichtbaumaterialien muss eine effektive und konsistente Klimaschutzstrategie der deutschen Automobilwirtschaft deutlich über die Komponenten Effizienzmaßnahmen in der Fahrzeugproduktion, Bezug von EE-Strom und Kompensationsmaßnahmen hinausgehen. Bereits heute trägt der Bezug von extern produziertem EE-Strom nur unter bestimmten Bedingungen zu realen CO<sub>2</sub>-Minderungen der Automobilhersteller bei. Auch die von den Herstellern genutzten Kompensationsmaßnahmen beziehen sich zum Teil auf Waldschutz- und Aufforstungsprojekte, deren Nutzen strittig ist und deren Dauerhaftigkeit über die nächsten Jahrzehnte schwer zu realisieren ist.

Bei den Klimaschutzanstrengungen der deutschen Automobilwirtschaft sollten mit Blick auf die Herstellung von Fahrzeugen daher zusätzlich folgende Elemente berücksichtigt werden:

- Ausschöpfung aller Möglichkeiten zur Steigerung der Energie- und Materialeffizienz, um den Bezug von CO<sub>2</sub>-intensiven Basismaterialien zu reduzieren.
- Sektorübergreifende Kooperationen und Investitionen in die Entwicklung und Markteinführung von Technologien zur klimaneutralen Stahlherstellung und Herstellung von Basischemikalien (als Ausgangsprodukte für Kunststoffe).
- Intensivierung des Recyclings, insbesondere Sicherstellung einer engen Kreislaufführung von Materialien – bedingt durch transkontinentale Altfahrzeugexporte – auch im globalem Maßstab, da nur so die Energieintensität der Herstellung von Ausgangsmaterialien verringert werden kann.

Der Fokus der vorliegenden Kurzstudie lag auf der Herstellung von Automobilen. Gleichwohl muss eine effektive Klimaschutzstrategie der Automobilproduzenten aufgrund des hohen Anteils der Nutzungsphase an den gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen von Fahrzeugen auch Fragen der produktbezogenen Portfoliogestaltung miteinschließen. Ein verstärkter Wechsel zu Fahrzeugen mit batterieelektrischem Antrieb verbunden mit einer Verschiebung des Portfolios hin zu kleineren Fahrzeugen wäre ein effektiver Beitrag zur Reduktion von Treibhausgasemissionen insgesamt.

## 5 Literaturverzeichnis

- Agora Energiewende und Wuppertal Institut (Hg.) (2019): Klimaneutrale Industrie: Schlüsseltechnologien und Politikoptionen für Stahl, Chemie und Zement. Berlin (164/04-S-2019/DE). Online verfügbar unter <https://www.agora-energiewende.de/veroeffentlichungen/klimaneutrale-industrie-hauptstudie/>, zuletzt geprüft am 22.04.2021.
- Audi (2021): Report - Geschäfts- und Nachhaltigkeitsbericht 2020.
- BMW Group (2021): Unsere Verantwortung. Unsere Zukunft. 2020. Bericht über die ökonomische Leistung der BMW Group und ihren ökologischen und gesellschaftlichen Beitrag.
- Bosch (2019): Nachhaltigkeitskennzahlen Bosch-Gruppe. Hg. v. Bosch. Online verfügbar unter <https://www.bosch.com/de/unternehmen/nachhaltigkeit/nachhaltigkeitsberichte-und-kennzahlen/>, zuletzt geprüft am 05.05.2021.
- Bosch (2021): Nachhaltigkeitsbericht 2020.
- Bracker, Joß; Seebach, Dominik (2019): Strombilanzierung im Verkehrssektor. Teilbericht des Projektes „Ökologische Bewertung von Verkehrsarten“. Hg. v. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau (UBA-Texte, 134/2019).
- Contonental AG (2021): Emissionsfreie Mobilität und Industrie. Hg. v. Continental AG. Online verfügbar unter <https://www.continental.com/de/nachhaltigkeit/nachhaltigkeitsrahmenwerk/emissionsfreie-mobilitaet-und-industrie-240922>, zuletzt geprüft am 20.04.2021.
- Daimler AG (2021): Spurwechsel - Nachhaltigkeitsbericht 2020.
- Emilsson, E.; Dahllöf, L. (2019): Lithium-Ion Vehicle Battery Production - Status 2019 on Energy Use, CO2 Emissions, Use of Metals, Products Environmental Footprint, and Recycling. (ilv C444).
- Ford (2021): Nachhaltigkeitsbericht 2020.
- Gebler, Malte; Cerdas, Juan Felipe; Thiede, Sebastian; Herrmann, Christoph (2020): Life cycle assessment of an automotive factory: Identifying challenges for the decarbonization of automotive production – A case study. In: *Journal of Cleaner Production* 270, S. 122330. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.122330.
- Giampieri, A.; Ling-Chin, J.; Ma, Z.; Smallbone, A.; Roskilly, A. P. (2020): A review of the current automotive manufacturing practice from an energy perspective. In: *Applied Energy* 261, S. 114074. DOI: 10.1016/j.apenergy.2019.114074.
- Greenhouse Gas Protocol: Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard. Supplement to the GHG Protocol Corporate Accounting and Reporting Standard. Online verfügbar unter [https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/Corporate-Value-Chain-Accounting-Reporting-Standard\\_041613\\_2.pdf](https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/Corporate-Value-Chain-Accounting-Reporting-Standard_041613_2.pdf), zuletzt geprüft am 03.05.2021.
- Greenhouse Gas Protocol (2004): A Corporate Accounting and Reporting Standard. Revised Edition.
- Greenhouse Gas Protocol (Hg.) (2015): GHG Protocol Scope 2 Guidance. An amendment to the GHG Protocol Corporate Standard. Online verfügbar unter [https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/Scope%20%20Guidance\\_Final\\_Sept26.pdf](https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/Scope%20%20Guidance_Final_Sept26.pdf), zuletzt geprüft am 03.05.2021.
- Greenpeace e. V. (Hg.) (2020): VWs Bluff mit der Klimaneutralität. Wie Volkswagen sich mit einem wirkungslosen Kompensationsprojekt vor möglichen CO2-Einsparungen drückt. Online verfügbar unter [https://www.greenpeace.de/sites/www.greenpeace.de/files/publications/s03221\\_gp\\_suv\\_id4\\_studie\\_09\\_2020\\_dt\\_fly\\_04.pdf](https://www.greenpeace.de/sites/www.greenpeace.de/files/publications/s03221_gp_suv_id4_studie_09_2020_dt_fly_04.pdf), zuletzt geprüft am 04.05.2021.
- Lechtenböhrer, Stefan; Nilsson, Lars J.; Åhman, Max; Schneider, Clemens (2016): Decarbonising the energy intensive basic materials industry through electrification – Implications for future EU electricity demand. In: *Energy* 115, S. 1623–1631. DOI: 10.1016/j.energy.2016.07.110.
- Porsche (2021): Geschäfts- und Nachhaltigkeitsbericht 2020.
- Schaeffler (2021): Nachhaltigkeitsbericht 2020.
- Volkswagen AG (2021): Nachhaltigkeitsbericht 2020. Hg. v. Volkswagen AG. Online verfügbar unter [https://www.volkswagenag.com/presence/nachhaltigkeit/documents/sustainability-report/2020/Nichtfinanzieller\\_Bericht\\_2020\\_d.pdf](https://www.volkswagenag.com/presence/nachhaltigkeit/documents/sustainability-report/2020/Nichtfinanzieller_Bericht_2020_d.pdf), zuletzt geprüft am 21.04.2021.
- Wernet, G., Bauer, C., Steubing, B., Reinhard, J., Moreno-Ruiz, E., and Weidema, B. (2020): The ecoinvent database version 3,7: overview and methodology. Hg. v. ecoinvent Zentrum. Online verfügbar unter <http://link.springer.com/10.1007/s11367-016-1087-8>, zuletzt geprüft am 04.05.2021.
- Weymar, Elisabeth; Finkbeiner, Matthias (2016): Statistical analysis of empirical lifetime mileage data for automotive LCA. In: *Int J Life Cycle Assess* 21 (2), S. 215–223. DOI: 10.1007/s11367-015-1020-6.



ZF (2021): Next Generation Mobility – Responsible Transformation - Nachhaltigkeitsbericht 2020.

## 6 Anhang: Anforderungen an Kompensationen

Soweit möglich sollten CO<sub>2</sub>-Emissionen durch Änderung der Prozesse verringert werden. Damit werden auch entsprechende CO<sub>2</sub>-Steuern vermieden. Wenn prozessbedingte CO<sub>2</sub>-Reduktionen nicht möglich oder zu teuer sind, können die CO<sub>2</sub>-Emissionen kompensiert werden. Dies hat allerdings den Nachteil, dass die Kompensationen bzw. Zertifikate jedes Jahr neu gekauft werden müssen. Weiter ist zu erwarten, dass Kompensationen in den nächsten Jahren voraussichtlich deutlich teurer werden.

Es gibt eine breite Palette möglicher Kompensationen – mit unterschiedlicher Qualität und Kosten: Projekte zum Waldschutz, Aufforstungsprojekte, Biomasse-Anlagen (z.B. aus Bioabfällen), Windkraftanlagen und Photovoltaikanlagen (jeweils in Ländern ohne Förderung), N<sub>2</sub>O-Rückhaltung bei der Salpetersäure-Produktion, energieeffiziente Cookoven, REDD - Reduction Emissions from Deforestation and Forest Degradation u.v.a.m. Bei den freiwilligen Kompensationen reichen die Preise von wenigen Euro pro Tonne CO<sub>2</sub> bei mehr oder weniger zweifelhaften Wald- oder Aufforstungsprojekten bis etwa 25 Euro (z.B. atmosfair mit Gold-Standard) und mehr. Beim gesetzlich geregelten Europäischen Emissionshandel liegen die Zertifikatspreise derzeit um die 40 Euro.

Bei seriösen und glaubwürdigen und damit erfolgreich kommunizierbaren Kompensationen sollten folgende Kriterien berücksichtigt werden<sup>11</sup>.

- **Zusätzlichkeit:** Ist das Kompensationsprojekt wirklich zusätzlich und nur durch die Erlöse aus den Kompensationszertifikaten möglich? Oder wird es nicht ohnehin umgesetzt – weil es beispielsweise gesetzlich gefordert ist oder sowieso die übliche Praxis im Land ist?
- **Vorsichtige Quantifizierung der Emissionsminderungen:** Wieviel wäre im Referenzszenario ohne das Kompensationsprojekt emittiert worden? Bei der Quantifizierung kann es erhebliche Unsicherheiten geben - beispielsweise ist es bei Waldschutzprojekten sehr unsicher, wie sich der Wald ohne das Projekt entwickeln würde.
- **Dauerhaftigkeit der Emissionsminderungen:** Wird die geplante CO<sub>2</sub>-Minderung bei ex-ante-Projekten im Zeitablauf wirklich realisiert? Vor allem Wald- und Moorprojekte bergen das Risiko, dass der eingespeicherte Kohlenstoff wieder oder vorzeitig freigesetzt wird, beispielsweise durch Feuer, Schädlingsbefall oder Klimawandel. Gute Kompensationsprojekte adressieren Permanenz-Risiken durch eine Art Versicherung (indem ein Teil der Zertifikate in einen Fonds eingezahlt wird).
- **Keine Doppelzählung:** Die gleiche CO<sub>2</sub>-Emissionsminderung darf nicht zwei- oder mehrmals angerechnet werden. Doppelzählungen stellen vor allem ab 2021 ein erhebliches Risiko dar, denn dann müssen auch Entwicklungsländer (in denen viele Kompensationsprojekte angesiedelt sind) nach dem Pariser Übereinkommen über die nationalen CO<sub>2</sub>-Emissionen berichten und sich Klimaziele setzen. Dann besteht die konkrete Gefahr, dass die Emissionsminderung von kompletten Projekten einmal bei der nationalen Klimaschutzstrategie bzw. den „nationally determined contributions“ (NDCs) und ein zweites Mal als freiwillige Kompensation angerechnet wird. Um dies zu verhindern, besteht die Verpflichtung, Minderungen durch freiwillige

<sup>11</sup> World WildlifeFund (WWF-US), Environmental Defense Fund (EDF) und Öko-Institut, „What makes a high-quality carbon credit?“, June 2020

Kompensationen durch sogenannte „corresponding adjustments“ aus den nationalen erzielten CO<sub>2</sub>-Minderungen heraus zu rechnen.

- **Korrekte Errechnung, externe Überprüfung, Monitoring und Erfassung in einem zentralen Register:** Ist die CO<sub>2</sub>-Einsparung korrekt berechnet worden, gibt es dazu ein Monitoring und wird die reale CO<sub>2</sub>-Einsparung von externen Prüfern bestätigt? Und werden die CO<sub>2</sub>-Einsparungen und einzelne Zertifikatsverkäufe bei einem zentralen Register erfasst?<sup>12</sup>
- **Andere ökologische und soziale Auswirkungen:** Gibt es über den Klimaschutz hinaus weitere positive ökologische oder soziale Auswirkungen (wie beispielsweise beim Gold Standard oder bei Climate, Community & Biodiversity Standards von Verra gefordert wird), oder drohen umgekehrt negative Auswirkungen (z.B. Vertreibung indigener Bevölkerung bei Waldprojekten)?

Neben den vorstehend beschriebenen Kompensationen gibt es auch die Möglichkeit des Kaufs und der Löschung von Berechtigungen aus Emissionshandelssystemen, zum Beispiel dem der Europäischen Union (EU-EHS). Dadurch wird die gesetzlich vorgegebene zulässige CO<sub>2</sub>-Gesamtmenge verringert und ein oder mehrere Marktteilnehmer müssen dementsprechend ihre CO<sub>2</sub>-Emissionen verringern.

### **Waldschutz- und Aufforstungs-Projekte**

Projekte und Maßnahmen zum Schutz von bestehenden Wäldern oder zur Aufforstung sind grundsätzlich sinnvoll, können zum Klimaschutz beitragen und weitere positive Auswirkungen haben, zum Beispiel auf die Biodiversität. Die Finanzierung über freiwillige Kompensationen und Zertifikatskauf birgt aber mehrfache Risiken: Die Dauerhaftigkeit (über Jahrzehnte!) ist schwer nachzuweisen und zu realisieren, das Referenzszenario bzw. die Baseline können unsicher sein, die Eigentumsfrage kann umstritten sein, indigene Bevölkerung kann vertrieben werden, Aufforstungen und Abholzungen können zeitgleich in derselben Region erfolgen u.a.m.

---

<sup>12</sup> Wie z.B. APX VCS Registry: <https://apx.com/registries/apx-vcs-registry> oder IHS Markit: [www.markit.com/product/registry](http://www.markit.com/product/registry)