

Position

Dekarbonisierung des Lebenszyklus eines PKWs

Auf dem Weg zur klimaneutralen Mobilität



Inhaltsverzeichnis

Kernbotschaften	2
I. Ziel der Automobilindustrie	4
II. Grundlage der klimaneutralen Mobilität – die Energiewende	5
III. Auf dem Weg zur klimaneutralen Mobilität	7
1. Nutzungsphase	7
2. Herstellung	9
3. Materialvorkette	13
4. Circular Economy	18

Kernbotschaften

Die deutsche Automobilindustrie nimmt die Herausforderung des Klimaschutzes an. Unser Ziel ist die klimaneutrale Mobilität in Europa bis spätestens 2050 – im Einklang mit dem Pariser Klimaschutzabkommen.

Die Strategie der deutschen Automobilindustrie zur Reduktion ihres CO₂-Fußabdrucks geht dabei weit über die Nutzungsphase des Produkts hinaus und betrachtet den gesamten Lebenszyklus eines Fahrzeuges von den Rohstoffen über die Herstellung bis hin zum Recycling. Die Transformation des Verkehrssektors unterliegt daher sektorenübergreifenden Anstrengungen und der gemeinsamen Verantwortung aller wirtschaftlichen und politischen Akteure, ihren Teil zur Reduzierung des CO₂-Fußabdrucks beizutragen.

Zur Umsetzung der Klimastrategie investieren Hersteller und Zulieferer der deutschen Automobilindustrie von 2022 bis 2026 mehr als 220 Mrd. in Elektromobilität inkl. Batterietechnik, Digitalisierung und anderer Forschungsfelder.

Dieses Engagement der Automobilindustrie allein wird nicht ausreichen, die Klimaschutzziele 2050 zu erreichen. Dies wird nur im Schulterschluss mit Politik und anderen Sektoren gelingen. Die wichtigsten Hebel dabei sind:

Energiesystem (Kapitel 2)

- Verdopplung der Produktionskapazitäten erneuerbarer Energien bis 2030
- Förderung von Energiepartnerschaften und Import von erneuerbaren Energieträgern
- Aufbau eines europäischen Marktes für Wasserstofftechnologien, um erneuerbaren Strom zu speichern, im Verkehrssektor zu nutzen und die Grundlage für die Herstellung CO₂-neutraler Grundstoffe (z. B. in der Stahl- oder Chemieindustrie) sicherzustellen

Nutzungsphase (Kapitel 3.1)

- Degressive Weiterentwicklung von Marktanreizen für Elektrofahrzeuge wie die Innovationsprämie, das Flottenaustauschprogramm für Handwerker oder die Förderung alternativer Nutzfahrzeuge
- Festlegung europaweit gültiger, verbindlicher und ambitionierter Ausbauziele für den Aufbau einer Lade- und Wasserstoff-Infrastruktur

- Förderung des Einsatzes klimaneutraler Kraftstoffe für den Verbrennerbestand u. a. durch eine ambitionierte Treibhausgasminderungsquote von 40 Prozent in der Renewable Energy Directive (RED)
- Ausweitung des Emissionshandels auf Verkehr und Gebäude mit der Möglichkeit, danach einen sektorenübergreifenden europäischen Emissionshandel zu etablieren

Herstellungsphase (Kapitel 3.2)

- Förderung von Maßnahmen zur Energie- und Materialeffizienz, digitalen Steuerung und CO₂-Minderung bei Neu- und Reinvestitionen
- Ausbau, Umbau und Flexibilisierung der Gasinfrastruktur sowie Aufbau von CO₂-neutralen Speichertechnologien und Verteilernetzen
- Förderung technischer Verfahren zur Neutralisierung und Verwertung von prozessbedingtem CO₂

Materialvorkette (Kapitel 3.3)

- Ausbau der Elektrolyseanlagen zur Bereitstellung von Wasserstoff und spezialisierten Demonstrationsanlagen für den Einsatz in der industriellen Produktion
- Implementierung eines Nachweissystems für die Herkunft der Primärenergiequelle von Wasserstoff im Rahmen von Zertifizierungen und Labels
- Verbesserung der Rahmenbedingungen für Sekundärmaterialien, indem z. B. fortschrittliche Post-Schredder-Technologien als „beste verfügbare Technologien“ flächendeckend eingesetzt werden

Recycling (Kapitel 4)

- Förderung einer sich selbst tragenden, innovativen Kreislaufwirtschaft
- Betonung der gesetzlichen Verpflichtung des Letzthalters und Stärkung des Verwertungsnachweises von Altfahrzeugen

I. Ziel der Automobilindustrie

Die deutsche Automobilindustrie nimmt die Herausforderung des Klimaschutzes an. Wir unterstützen das Pariser Klimaschutzabkommen und streben die klimaneutrale Mobilität in Europa bis 2050 im Einklang mit den Zielen des European Green Deals an. Wir sind bereit, unseren Beitrag zum Klimaschutz durch Innovationen und neue Technologien zu leisten.

Hauptaugenmerk bei der Reduktion des CO₂-Fußabdrucks eines Fahrzeuges¹ über dessen Lebenszyklus ist die **Nutzungsphase** (Kapitel 3.1). Ein PKW wird 15–22 Jahre genutzt und im Durchschnitt 200.000 km gefahren. In dieser Zeit wird bei einem klassischen Verbrenner-Fahrzeug die größte CO₂-Menge emittiert. Die Reduktion des CO₂-Ausstosses in der Nutzungsphase gelingt nur durch den Einsatz CO₂-neutraler Energie. Batterieelektrische Fahrzeuge haben aufgrund ihrer hohen Wirkungsgrade und steigender Verfügbarkeit erneuerbaren Stroms aus Wind- und Sonnenenergie die größten Potenziale zur CO₂-Reduktion. Daher hat der schnelle Hochlauf der Elektromobilität (BEV, PHEV, FCEV) für die deutsche Automobilindustrie bis 2030 klare Priorität. Bis Ende 2023 können die Kunden aus mehr als 150 verschiedenen E-Modellen wählen. Dazu investieren die Unternehmen bis 2025 über 150 Mrd. Euro in Elektromobilität, neue Antriebe und Digitalisierung.

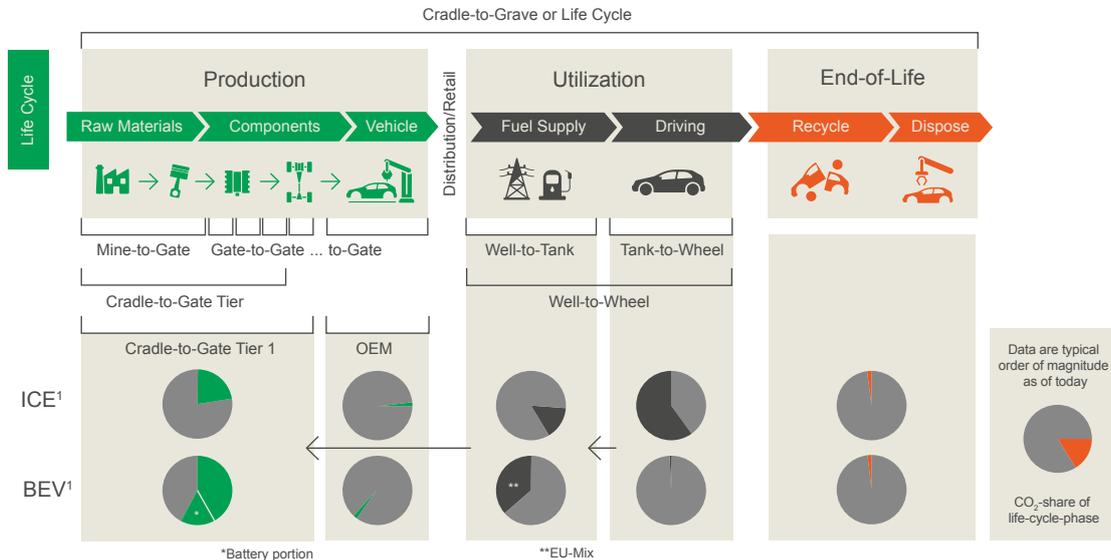
Um das Ziel eines klimaneutralen Verkehrs 2050 zu erreichen, werden auch alternative Antriebe und Kraftstoffe wie E-Fuels Teil der Lösung sein. Diese Technologien können einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz im Verkehr leisten, vor allem, weil sie die CO₂-Emissionen des Fahrzeugbestandes verringern. Die Einführung alternativer Antriebstechnologien basierend auf dem Einsatz erneuerbarer Energien – egal ob als Strom, Wasserstoff oder synthetische Kraftstoffe – führt in den nächsten Jahren zu einer Verschiebung des CO₂-Hotspots von der Nutzungsphase hin zur **Herstellung** (Kapitel 3.2) und **Materialvorkette** (Kapitel 3.3) eines Fahrzeuges mit seinen bis zu 7.000 Komponenten und Bauteilen. Dies gilt insbesondere bei einer sich beschleunigenden Energiewende (Kapitel 2) und bei Elektrofahrzeugen, die im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen den größeren CO₂-Rucksack aus der Herstellung mitbringen. Grund hierfür ist insbesondere die CO₂-intensive Produktion und Rohstoff-Vorkette der Batterie.

Der Einsatz von Sekundärmaterialien aus dem **Recycling** (Kapitel 3.4) wird in Zukunft immer bedeutender, sofern deren Herstellung CO₂-ärmer ist als die Herstellung von Primärmaterialien. Dies trifft insbesondere aufgrund des hohen Massenanteils auf die Verwendung von Aluminium und Stahl zu.

Die Strategie der deutschen Automobilindustrie zur Reduktion ihres CO₂-Fußabdrucks geht daher weit über die Nutzungsphase des Produkts hinaus und betrachtet den gesamten Lebenszyklus eines Fahrzeuges von den Rohstoffen über die Herstellung bis hin zum Recycling (s. Abbildung 1).

¹ Das Papier konzentriert sich auf Personenkraftwagen und leichte Nutzfahrzeuge. Fahrzeuge werden in diesem Sinne verwendet. Lastkraftwagen, Anhänger und Aufbauten sowie Busse werden nicht betrachtet.

CO₂-Hotspot entlang des Lebenszyklus eines Fahrzeuges (ICE vs. BEV)



→ Focus of CO₂-footprint is shifting to “Cradle-to-Gate Tier 1” phase with electrification

(1) CLEPA estimate based on <https://www.volvocars.com/images/v/-/media/market-assets/intl/applications/dotcom/pdf/c40/volvo-c40-recharge-lca-report.pdf>

Quelle: CLEPA

In Kapitel III werden mögliche Wege zu einer klimaneutralen Mobilität beschrieben – beginnend beim größten CO₂-Hotspot: Die Nutzungsphase.

II. Grundlage der klimaneutralen Mobilität – die Energiewende

Eine klimaneutrale Mobilität und die damit verbundene Transformation der Automobilindustrie wird nur auf der Grundlage eines klimaneutralen Energiesystems gelingen. In den letzten 20 Jahren hat sich die Zusammensetzung des Energieträgermix weitgehend verändert. Während sich der Anteil an Kernenergie und fossilen Energieträgern wie Steinkohle und Braunkohle halbiert hat, ist der Anteil an erneuerbaren Energien im Energiemix stark gestiegen. Diese Transformation des Energiesystems muss noch einmal forciert werden:

1. Der Ausbau der Produktionskapazitäten erneuerbarer Energien muss kostengünstig bis 2030 mehr als verdoppelt werden, um die gesetzten Klimaziele zu erreichen (s. Abbildung 2).

Stromerzeugung

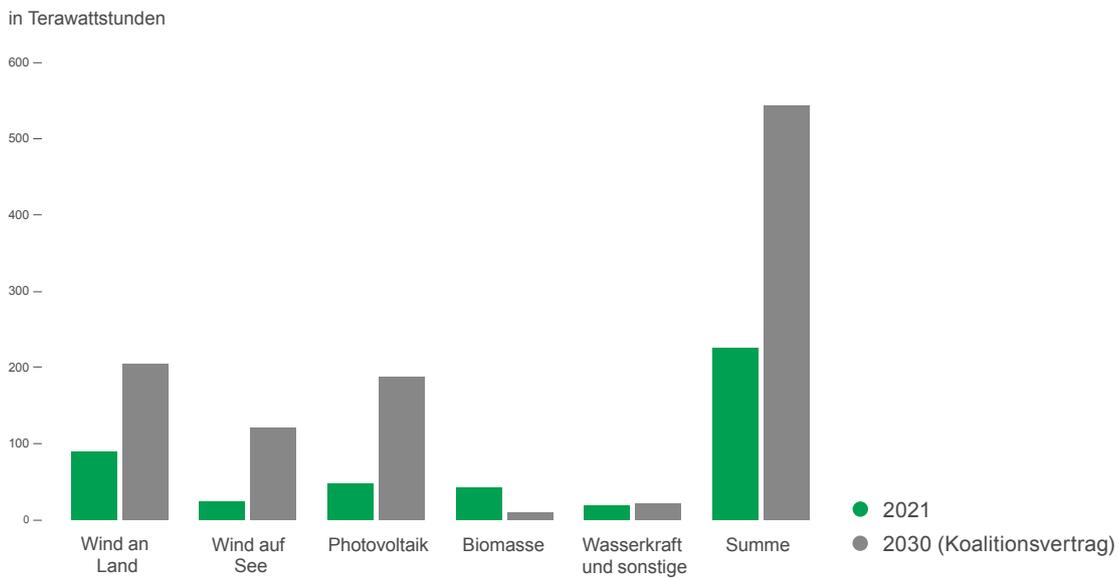


Abbildung 1: Zukünftig benötigte Stromerzeugung an erneuerbaren Energien

Installierte Leistung

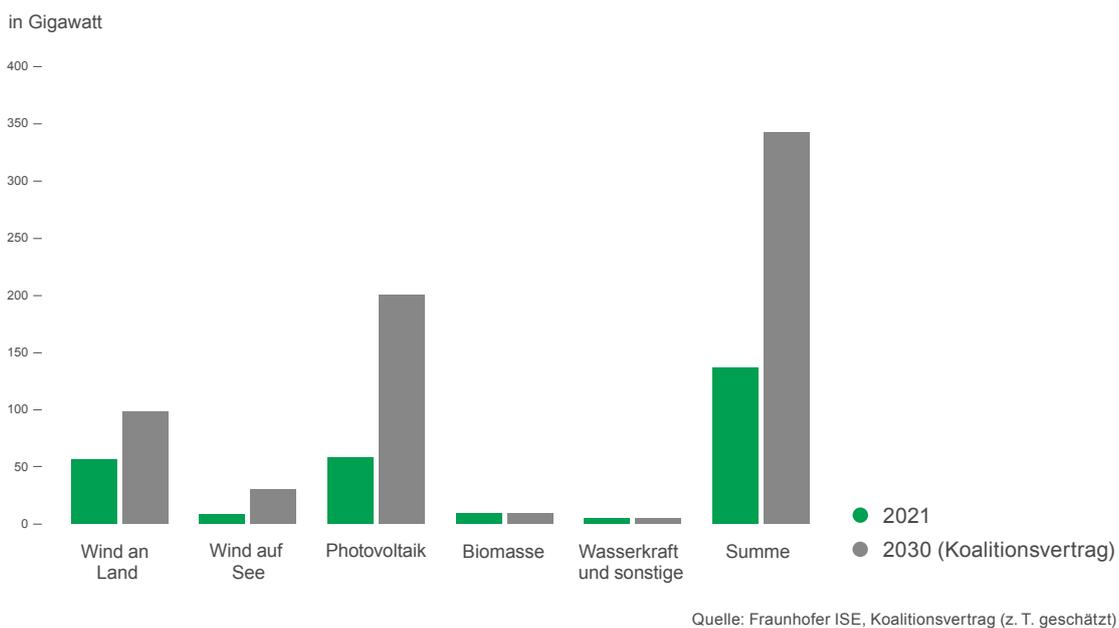


Abbildung 2: Installierte Leistung an erneuerbaren Energien

2. Es bedarf eines europäischen Strommarktes, damit mehr Strom flexibel zwischen den europäischen Mitgliedstaaten ausgetauscht werden kann.
3. Sektoren müssen enger zusammenwachsen, um Angebot und Nachfrage an erneuerbaren Energien intelligenter und kostengünstiger zu verknüpfen. Bei der Speicherung von Energie können auch Elektrofahrzeuge durch gesteuertes oder bidirektionales Laden eine wichtige Rolle spielen.
4. Ein europäischer Markt für Wasserstofftechnologien wird notwendig sein, um erneuerbaren Strom zu speichern und die Grundlage für die Herstellung CO₂-neutraler Grundstoffe (z. B. in der Stahl- oder Chemieindustrie) sicherzustellen. Wichtig ist hierfür ein europäisches Nachweissystem für die Herstellung von Wasserstoff, wie es z.B. im Rahmen von CertifHy erarbeitet wird. Somit könnten Herkunftsnachweise ausgestellt und in den Lieferketten der Industrien genutzt werden.
5. Auch zukünftig wird der Import von erneuerbaren Energieträgern (Strom, Wasserstoff, synthetische Kraftstoffe) wichtig sein, so dass die entsprechende Infrastruktur aufgebaut und Energiepartnerschaften auch mit außereuropäischen Ländern vertieft werden müssen.

III. Auf dem Weg zur klimaneutralen Mobilität

1. Nutzungsphase

Bei Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor wird der wesentliche Anteil (ca. 75 Prozent) der CO₂-Emissionen im Lebenszyklus eines Fahrzeuges durch deren Nutzungsphase verursacht. Damit sind die größten CO₂-Einsparungen weiterhin durch Maßnahmen zu erzielen, die sich direkt auf die Nutzungsphase beziehen. Um die nationalen und europäischen Klimaschutzziele zu erreichen, müssen alle CO₂-Minderungspotenziale in der Nutzungsphase in den Blick genommen werden. Vor diesem Hintergrund verfolgt die Automobilindustrie das Ziel, die Effizienz der Fahrzeugantriebe zu verbessern und CO₂-Emissionen über alle Antriebsarten und Energieträger hinweg zu reduzieren. Im Vordergrund steht dabei der Markthochlauf von alternativen Antriebsformen wie der E-Mobilität, welche rein batterieelektrische Fahrzeuge, Plug-In Hybride und Brennstoffzellenfahrzeuge umfasst. Marktanreize für Fahrzeuge mit alternativen Antrieben müssen daher weiterentwickelt und die Wasserstoff- und Ladeinfrastruktur deutlich ausgebaut werden. Gleichzeitig muss der Ausbau der erneuerbaren Energien spürbar beschleunigt werden, damit der zusätzlich benötigte Ladestrom und Wasserstoff emissionsfrei sind. Die Automobilindustrie stellt die alternativen Antriebstechnologien zur Verfügung. Zur Reduktion der CO₂-Emissionen in der Nutzungsphase müssen auch andere Akteure ihren Beitrag leisten. Die Reduktion der CO₂-Emissionen der Energieträger verantwortet der Energie- und Mineralölsektor.

Um die CO₂-Emission der Nutzungsphase zu reduzieren, stehen drei regulatorische Instrumente zur Verfügung: Mit der Flottenregulierung werden die CO₂-Emissionen der Neufahrzeuge adressiert, mit der RED die Energieträger und zukünftig sollten die Emissionen im europäischen Verkehr über einen Emissionshandel verbindlich gedeckelt werden. Außerdem wird Digitalisierung eine wichtige Rolle spielen.

Neuwagenflotte

Angesichts der fortwährend absinkenden EU-Flottengrenzwerte sind auch in den kommenden Jahren weitere Effizienzfortschritte und weiter sinkende spezifische Verbräuche von Neufahrzeugen mit konventionellen Antriebsformen zu erwarten, vor allem durch die Realisierung weiterer Entwicklungspotenziale in der Fahrzeugtechnik, insbesondere der Optimierung des Motormanagements, der Getriebeauslegung, der Hybridisierung, der Gewichtseinsparung sowie der verbesserten Aerodynamik. Der wesentliche Teil der CO₂-Minderungen im Straßenverkehr wird mittel- bis langfristig durch den Antriebswechsel zur Elektromobilität realisiert. Die von der EU-Kommission vorgeschlagene Verschärfung der Flottengrenzwerte auf -55 Prozent bis zum Jahr 2030 ist regulatorisch bedingt nur durch deutlich höhere Elektrifizierungsanteile an den Neuzulassungen möglich. Nach den Zielen der Bundesregierung könnten daher bereits bis 2030 15 Mio. elektrische Fahrzeuge auf deutschen Straßen zugelassen sein.

Um den erwünschten und erforderlichen Markthochlauf der Elektromobilität im Personen- ebenso wie im Güterverkehr zu unterstützen, müssen entsprechende Marktanreize weiterentwickelt werden (z. B. Innovationsprämie, Flottenaustauschprogramm). Zugleich steigen die Anforderungen an die private, teil-öffentliche und öffentliche Lade- sowie an eine Wasserstoffinfrastruktur, deren Ausbau notwendigerweise dem Markthochlauf der alternativen Antriebsformen vorauslaufen muss. Hierbei kommt einer ambitionierten Alternative Fuels Infrastructure Regulation (AFIR), die den EU-Mitgliedstaaten erstmals verbindliche Ausbauziele für den Aufbau einer Lade- und Wasserstoff-Infrastruktur geben wird, eine zentrale Rolle zu. Indessen wird der Straßenverkehr in erheblichem Maße zum Anstieg des Bruttostromverbrauchs beitragen. Das BMWK rechnet bis 2030 mit einem Stromverbrauch von 68 Terawattstunden, wovon 44 Terawattstunden auf die elektrischen Pkw, sieben Terawattstunden auf leichte Nutzfahrzeuge und 17 Terawattstunden auf schwere Nutzfahrzeuge entfallen. Damit die Elektromobilität den gewünschten Beitrag zur Erreichung der Klimaziele beizutragen vermag, muss der Stromverbrauch des Verkehrssektors also möglichst zeitnah vollständig aus erneuerbaren Energien gedeckt werden. Gleichzeitig ist der entsprechende Leistungsbedarf der Elektromobilität an die Stromnetze in deren zukünftigen Ausplanung zu berücksichtigen.

Bestandsflotte

Wesentliche CO₂-Minderungspotenziale der Nutzungsphase, die außerhalb der Fahrzeugtechnik von Neuzulassungen liegen, werden durch die EU-Flottenregulierung nicht adressiert. Die Emissionen des Fahrzeugbestandes werden von schärferen Flottengrenzwerten über einen Flottenaustausch nur mittel- bis langfristig beeinflusst, die Verkehrsplanung wird hiernach gänzlich außer Betracht gelassen. Dabei können gerade im Bestandsverkehr erhebliche CO₂-Minderungspotenziale gehoben werden: Gegenwärtig ist die Verbesserung der Bestandsflotte um einen Gramm – etwa durch einen CO₂-ärmeren Kraftstoff – so effektiv wie eine Verbesserung um 20 Gramm in der Neuwagenflotte. Deshalb sollten zusätzlich zum Markthochlauf der Elektromobilität vermehrt auch klimaneutrale Kraftstoffe für die Emissionsreduktion des Bestandes zur Anwendung kommen. Gerade in fortschrittlichen Biokraftstoffen und RFNBO (Renewable Fuels of Non-Biological Origin, z. B. E-Fuels) liegt daher ein erhebliches Potenzial, den CO₂-Ausstoß insbesondere im Fahrzeugbestand effektiv zu reduzieren.

Nur durch den Einsatz erheblicher Mengen klimaneutraler Kraftstoffe werden die Klimaziele im Verkehr zu erreichen sein, wie zuletzt auch die BDIXBCG-Studie Klimapfade 2.0 bestätigt hat. Um diese Potenziale zu heben, müssen die Vorgaben zur Treibhausgasminderung in der Renewable Energy Directive (RED) deutlich angehoben werden. Nach Berechnungen des VDA ist eine Quote von 30 Prozent erneuerbare Kraftstoffe bis 2030 erforderlich, was einer

deutlich höheren THG-Minderungsquote entspricht als die bislang im Rahmen der RED-Novelle vorgeschlagenen 13 Prozent. Vielmehr müsste die THG-Minderungsquote, die neben erneuerbaren Kraftstoffen auch grünen Strom umfasst, auf mindestens 40 Prozent angehoben und um eine ambitionierte Mindestquote für RFNBO ergänzt werden. Die vorgeschlagenen 2,6 Prozent reichen bei Weitem nicht aus. Darüber hinaus sollten in der RED ambitionierte Ziele auch für die Zeit nach 2030 genannt werden, um den Beitrag des Verkehrssektors zur Klimaneutralität vollständig festzulegen.

Digitalisierung

Neben dem Markthochlauf alternativer Antriebsformen und klimaneutraler Kraftstoffe bieten vor allem digitale Technologien große Chancen für den Klimaschutz im Verkehr: Bis zu 25 Mio. Tonnen CO₂ könnten im Jahr 2030 bei einem beschleunigten Einsatz digitaler Technologien auf deutschen Straßen eingespart werden, so das Ergebnis der Accenture-Studie „Klimaaeffekte der Digitalisierung“ im Auftrag des Bitkom. Der größte Hebel liegt dabei in vernetzten und intelligenten Assistenz- und Verkehrsleitsystemen, die den Verkehrsfluss optimieren, Staus vermeiden, den Parksuchverkehr reduzieren und den Umstieg zwischen Verkehrsträgern erleichtern. Auch im Güterverkehr tragen effizientere Lieferrouten und Verkehrsanalysen auf Basis von Echtzeitdaten oder das sog. Platooning, das mehrere Fahrzeuge mit Hilfe eines digitalen Steuerungssystems in sehr geringem Abstand hintereinanderfahren lässt, zu CO₂-Minderungen bei.

Damit digitale Technologien zur CO₂-Minderung tatsächlich zur Anwendung kommen, braucht es ein marktwirtschaftliches Preissignal, das alle Technologien, die in der Lage sind, CO₂-Emissionen zu reduzieren, effektiv anreizt. Über die bestehenden zielspezifischen regulatorischen Rahmenbedingungen wie der EU-Flottenregulierung oder der RED sollten die bestehenden CO₂-Bepreisungssysteme daher zu einem neuen Leitinstrument, einem sektorenübergreifenden europäischen Emissionshandel, zusammengeführt werden. Denn nur ein wirksamer CO₂-Preis auf Basis einer verlässlichen Mengenbegrenzung kann klare Investitionssignale setzen und so den gesamten Verkehrssektor zur Nachhaltigkeit entwickeln.

2. Herstellung

Zur Dekarbonisierung der Herstellung von Fahrzeugen wird im ersten Schritt eine Reduktion/Vermeidung des eingesetzten Energieverbrauchs erzielt. Als zweiter Schritt stehen Maßnahmen und Investitionen in die Herstellungsabläufe der Produktionsstätten im Vordergrund. Dies können entweder Investitionen zur Umrüstung von vorhanden Produktionsstätten oder der Aufbau neuer Produktionsstätten mit gänzlich klimaneutralen Herstellungsabläufen sein. Die Substitution/Konversion von fossilen Energieträgern durch regenerative Energien und die Neutralisierung von prozessbedingten CO₂ Emissionen sind wichtige Schritte zur klimaneutralen Herstellung. Auch die Wasserstoff Elektrolyse muss hierzu einen Beitrag leisten, um CO₂-freie erneuerbare Energien ohne zeitliche Einschränkungen nutzen zu können. Die Förderung von klimaneutralen Herstellungsprozessen wird durch internationale Vereinbarungen und den Einsatz von CO₂-neutralen Technologien unterstützt. Der Weg zum Erreichen dieser Ziele wird dementsprechend unternehmensspezifisch festgelegt. Die möglichen Maßnahmen zur Reduktion von CO₂ in der Produktion bis 2030 und bis 2050 und ihre Kosten-Nutzen-Effektivität werden in Tabelle 1 näher beschrieben.

			Kosten vs. t CO ₂ -Einsparung	Machbarkeit 2030 2050	
Energieerzeugung	Strom/Moleküle aus nachweislich regenerativer Erzeugung	Photovoltaik	mittel – hoch	+	+
		Windkraft on-site	mittel – hoch	+	+
		Geothermie/Wasserkraft	mittel – hoch	+	+
		Biogas (aus Abfallstoffen mit CO ₂ -Abscheidung)	mittel – mittel	+	-/+
		Wasserstoff-Elektrolyse	mittel – hoch	+	+
Energieeffizienz	Optimierung der Herstellungsabläufe	Digitalisierung	mittel – mittel	+	+
		Wärmekreislauf & Kraft-Wärme-Kopplung	mittel – hoch	+	+
		Grundlastsenkung	mittel – mittel	+	+
		Neue Lackiertechnik	mittel – mittel	+	+
Prozessbedingtes CO ₂	Kreislaufbetrachtung und CO ₂ -Neutralisierung	Carbon Capture & Use	mittel – hoch	-	+
		Carbon Capture & Storage	mittel – hoch	-	+

Tabelle 1: Maßnahmenübersicht zur Reduktion von CO₂ in der Produktion

Erneuerbare Energieerzeugung

Energiebedingtes CO₂ muss reduziert und vermieden werden. Der Strom aus erneuerbaren Energiequellen soll laut Bundesregierung mindestens 80 Prozent des gesamten Strombedarfs bis 2030 decken. Voraussetzung dafür ist, dass die Planungs- und Genehmigungsverfahren bei der Windenergie an Land und an See sowie der Netzausbau beschleunigt werden. Außerdem muss eine bessere regionale Verteilung des Ausbaus der erneuerbaren Energien für alle Erzeugungsarten garantiert werden.

Grüner Strom aus erneuerbaren Energiequellen wie Sonnen- und Windenergie, aber auch Geothermie und Wasserkraft vor Ort tragen dazu bei, dass schon zu Beginn des Herstellungszyklus CO₂ vermieden wird. Im Rahmen der Klimaschutzziele gewinnt Wasserstoff als Träger und Speichermedium für erneuerbare Energien an Bedeutung, um die Dekarbonisierung in allen Industriebereichen voranzutreiben. Vor allem in der Chemie- und Grundstoffindustrie sind stoffliche Energieträger ein wichtiger Bestandteil. Wasserstoff kann im Produktionszyk-

lus eingesetzt werden, um die Grundchemikalien für die Industrie klimaneutral bereitzustellen (z. B. für Methanol, Synthesegase usw.) und CO₂ im weiteren Herstellungsprozess (z. B. Stahlschmelzung in Schachttöfen) zu vermeiden. Grüner Wasserstoff wird elektrolytisch aus erneuerbarem Strom nicht-biogenen Ursprungs hergestellt und ist CO₂-frei, weil während der Verwendung kein CO₂ anfällt.

Energieeffizienz durch Optimierung der Herstellungsabläufe

Eine klimaneutrale Herstellung ohne Auswirkungen auf die Umwelt braucht Produktionsstätten mit minimalem CO₂-Fußabdruck („Zero Impact Factory“). Bis 2025 soll (im Vergleich zu 2010) der Ressourcenverbrauch an den Automobil-Produktionsstandorten um 45 Prozent gesenkt werden. Verschiedene Maßnahmen in den Produktionsstätten haben in den letzten Jahren bereits zu einer Reduzierung der CO₂-Emissionen geführt bei gleichzeitiger Steigerung des produzierten Fahrzeugvolumens.

Hersteller und Zulieferer machen dies bereits möglich durch eine hohe Energieeffizienz, Monitoring der Grundlast und effiziente Kompaktheizkraftwerke mit möglicher Kraft-Wärme-Kupplung am Standort. Moderne KWK-Systeme sichern die Strom- und Wärmeversorgung ab und unterstützen durch eine flexible und systemdienliche Steuerung die Integration erneuerbarer Energie. Auch die Wärmenetze können zunehmend auf erneuerbare Energien und unvermeidbare Abwärme umgestellt werden. Weitere Einsparpotenziale können in der gesamten Fahrzeugproduktion, z. B. beim Stahleinsatz und in der Lackierung, erzielt werden. Hierfür stehen klimaneutrale Herstellungsprozesse und eine große Skalierung umweltfreundlicher Technologien in den Produktionsstätten im Mittelpunkt.

CO₂-reduzierende Maßnahmen müssen sektorübergreifend in allen Produktionsabläufen in den Fabriken vollständig skaliert und integriert werden. Dazu zählen neben dem Einsatz von energieeffizienten Technologien auch IT-Lösungen, die Herstellungsabläufe digital steuern und CO₂-Emissionen schnell und gezielt im gesamten Prozess reduzieren und abfangen.

Die Automobilindustrie plant 44 Prozent ihrer Fabriken in intelligente Anlagen umzuwandeln. Die jährlichen Investitionen in intelligente Fabriken sollen bis 2023 um 62 Prozent steigen mit dem Fokus auf einer Kombination aus Greenfield- und Brownfield-Anlagen: 44 Prozent der Automobilhersteller planen einen hybriden Ansatz, 31 Prozent erwägen den Bau von Brownfield-Fabriken und 25 Prozent wollen in eine Greenfield-Fabrik investieren, um gleich zu Beginn effiziente und klimaneutrale Herstellungsprozesse aufeinander abzustimmen (Capgemini, 2020).

Prozessbedingtes CO₂ neutralisieren

Der industrielle Energieverbrauch in Deutschland wird neben Strom hauptsächlich von stofflichen Energieträgern wie fossilem Erdgas und Öl gedeckt. Wasserstoff kann diese langfristig ersetzen und so für CO₂-neutrale Grundstoffe und Heizenergie in der Chemie- und Stahlindustrie sorgen. Aber es bedarf große Mengen günstigen Wasserstoffs, um den steigenden Energiebedarf trotz großer Materialeffizienz- und Recyclinganstrengungen zu decken. Aktuell wird Wasserstoff fast ausschließlich aus Erdgas („grauer Wasserstoff“) erzeugt und überwiegend in der Grundstoffindustrie genutzt. Da hierbei CO₂ anfällt und die CO₂-Emissionen (z. B. aus der Stahlindustrie) auch oft prozessbedingt sind, ist eine Kreislaufbetrachtung erforderlich. Konkret heißt das, dass neue Wertschöpfungsketten durch den Einsatz von CO₂-armen und CO₂-neutralen Technologien und Verfahren erschlossen werden müssen (BMW, 2020).

Neben der CO₂-Vermeidung durch den Einsatz von grünem Wasserstoff sind zwei weitere Verfahren wichtig für die Neutralisierung von prozessbedingtem CO₂:

- Carbon Capture and Storage – CCS: ein Verfahren, in dem CO₂-Emissionen durch die technische CO₂-Abspaltung am Kraftwerk und der „dauerhaften“ Einlagerung in unterirdische Lagerstätten nicht in die Atmosphäre gelangen. Eine CO₂-arme Energieversorgung wird gewährleistet.
- Carbon Capture Usage – CCU: ein Verfahren, in dem die weitere Nutzung des CO₂ im industriellen Wertschöpfungsverbund gefördert wird, um Klimaneutralität zu gewährleisten. Hierfür wird der Kohlenstoffdioxid chemisch gebunden und als Rohstoff für andere industrielle Anwendungen bereitgestellt

Förderung klimaneutraler Herstellungsprozesse

Neben der gesellschaftlichen Verantwortung zur CO₂-Minderung ist auch die wirtschaftliche Notwendigkeit von Bedeutung. Weltweit führen zunehmend mehr Länder einen CO₂-Preis in Form eines Emissionshandels oder einer direkten Besteuerung ein. Dies führt zu steigenden Faktorkosten fossiler Energienutzung und fördert Energieeffizienz und CO₂-freie Energie.

Zur Erreichung der CO₂-Ziele 2030 und 2050 ist die Fortsetzung folgender Förderungen erforderlich:

- Vereinfachung der Förderung von Maßnahmen zur Energieeffizienz und CO₂-Minderung bei Neu- und Reinvestitionen
- Vereinfachung der Förderung der Technologieforschung für den nächsten Technologiesprung (z. B. um energieintensive Materialien und Prozesse in der Trocknerbeheizung im Lackierereiprozess fossilfrei machen)
- Erneuerbare Energien müssen großflächig ausgebaut werden, um den Bedarf an regenerativer Energie für die Industrie zu decken
- Alternative Wärmeerzeugung – insbesondere Biomasse aus Abfallprodukten und Biogas der 2. und 3. Generation – muss gefördert werden, um Wärme aus Erdgas langfristig zu substituieren und die Abhängigkeit von Erdgasimporten zu reduzieren. Mit Blick auf die Bestandsflotte werden durch den Einsatz von Biokraftstoffen außerdem bis zu 90 Prozent weniger CO₂-Emissionen pro Liter realisiert.

Neue Förderungen sind erforderlich zum Erreichen der CO₂ Ziele 2030 und 2050:

- PtX-Technologien zur Speicherung elektrischer Energie müssen gefördert werden, um in der Prozesstechnik neue Wege zu entwickeln (Power-to-X bezeichnet verschiedene Technologien zur Speicherung bzw. anderweitigen Nutzung von regenerativer Stromerzeugung)
- Marktanreize für Wasserstoffproduktion und sektorenübergreifenden H₂-Gebrauch schaffen, wobei die Bedarfsdeckung an H₂ im Industriesektor vorrangig garantiert werden muss. Der zur Herstellung von grünem Wasserstoff verwendete Strom sowie synthetisch hergestellte Gase müssen weitgehend von Steuern, Abgaben und Umlagen befreit werden; die Befreiung von der EEG-Umlage ist ein wichtiger erster Schritt.

- Ein globales Förderprogramm für den industriellen Einsatz von Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien
 - Einheitliche Nachhaltigkeits- und Qualitätsstandards in Europa müssen formuliert werden: (u. a. Herkunftsnachweise für erneuerbaren Strom, synthetische Gase und grünen Wasserstoff). Das betrifft auch die digitale Zertifizierung und Nachverfolgbarkeit von CO₂-Emissionen (CO₂-Fußabdruck inkl. transportbedingter CO₂-Emissionen von Wasserstoff und wasserstoffbasierten Zwischenprodukten (z. B. Stahl))
- Power Purchase Agreements (PPA), also langfristige Stromkaufvereinbarungen, sollten gefördert werden, um den Bau (die Investitionskosten) und die Betriebskosten von Erneuerbaren-Energien-Anlagen mit vorab vereinbarten Preisen zu finanzieren. Zusammen mit einfacheren Genehmigungsverfahren und der Abschaffung der EEG-Umlage für die Erzeugungsanlagen von erneuerbaren Energien muss Planungssicherheit gegeben werden.
- Gewährleistung eines schnellen Ausbaus der Wasserstoffinfrastruktur durch ambitionierte Zielsetzungen in der Verordnung „Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe“ (AFIR):
 - Um international wettbewerbsfähig zu bleiben, muss die Größenordnung der Marktskaliierung schnell erreicht werden. Daher sollten der technologieoffene Ausbau der Gasinfrastruktur (z. B. Umwidmung bestehender Erdgasleitungen für H₂) sowie der Aufbau von CO₂-neutralen Speichertechnologien und Verteilernetzen für die Bereitstellung von erneuerbarem Wasserstoff und Strom unterstützt werden.
 - Rahmenbedingungen für den Auf- und Ausbau von Elektrolyseuren vor Ort sowie für die H₂-Transportinfrastruktur schaffen
- Klimaschutzverträge/Carbon Contracts for Difference (CCfD) als zeitlich klar begrenzter Zwischenschritt sind notwendig, bis die industriellen Herstellungsprozesse klimaneutral umgestellt sind:

Teil des Oster-Sofortprogramms des BMWK ist ein Gesetzespaket für 2023, in dem ein Konzept für Klimaschutzverträge enthalten ist. Mit ihnen soll die Industrie Hilfen erhalten, um den Einsatz von klimafreundlichen Brennstoffen wie grünem Wasserstoff finanzieren zu können. Die höheren Kosten der energieintensiven Industrie werden über CCfD-Verträge ausgeglichen, um im internationalen Wettbewerb bestehen zu können.

3. Materialvorkette

Zur Dekarbonisierung der Materialvorkette verfolgt die Automobilindustrie zwei komplementäre Strategien:

1. Unterstützung der Dekarbonisierung der Herstellungsprozesse in den Materialvorketten
2. Erhöhung des Einsatzes von Sekundärmaterialien/Rezyklaten

Dekarbonisierung der Materialvorkette

Die Maßnahmen zur Dekarbonisierung der Materialvorkette unterscheiden sich nicht wesentlich von den Maßnahmen zur Dekarbonisierung der eigenen Automobilproduktion. Auch in der Materialvorkette ist ein Dreiklang aus Reduzieren und Vermeiden, Konvertieren sowie Kompensieren notwendig. Der Schwerpunkt liegt auf den Konvertierungsmaßnahmen. Hier wird der Einsatz von grünem Wasserstoff, z. B. bei der Herstellung von Stahl oder Kunststoff, eine zentrale Rolle spielen. Schon heute ist die Nachfrage der Automobilindustrie nach grünen bzw. CO₂-reduzierten Werkstoffen und Materialien groß. Allerdings kann das heutige Angebot die Nachfrage nur teilweise decken. Ohne politische Unterstützung der Angebotsseite wird diese Lücke nicht zu schließen sein. Da kein nachfragebedingtes Marktversagen festgestellt werden kann, lösen ordnungspolitische Instrumente wie Abnahmequoten bzw. materialspezifische Einsatzquoten auf Seiten der Endprodukthersteller das Problem nicht. Folglich sollte die Politik vor allem die Transformation der Materialvorkette fördern und deren Investitionskosten stützen. Folgende Instrumente sind denkbar:

- Förderung von Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsprojekten

Ein Schwerpunkt liegt auf dem Ausbau der Elektrolyseanlagen zur Bereitstellung von Wasserstoff und spezialisierten Demonstrationsanlagen für den Einsatz in der industriellen Produktion. Hierfür werden Anreize über Förderungs- und Ausschreibungsverfahren auf nationaler und EU-Ebene bereitgestellt. Außerdem bieten internationale Wasserstoff-Partnerschaften und neue Wertschöpfungsmöglichkeiten, um den großen Bedarf an grünem Wasserstoff für die Produktionsverfahren durch Importe zu decken.

- Carbon Contracts for Difference

Einen Schwerpunkt formen Anreize auf Basis von Differenzverträgen (CCfDs) für erneuerbare Energien, die geschaffen werden müssen, um Investitionen in erneuerbare Energien zu tätigen und die Preissicherheit von grünem Wasserstoff und somit zur Herstellung von grünem Stahl für die Automobilherstellung zu gewährleisten. Die richtigen Rahmenbedingungen müssen geschaffen werden, um die Transformation bereits am Anfang der Lieferkette zu fördern und die Investitionskosten der Stahlindustrie zu kompensieren.

- Nachweissystem für grünen Wasserstoff

Ein Nachweissystem für die Herkunft der Primärenergiequelle von Wasserstoff im Rahmen von Zertifizierungen und Labels ist erforderlich. Die Herkunftsnachweise der Wasserstoff-Primärenergie helfen, um die Produkttransparenz für Abnehmer und Industriepartner zu erhöhen und vor allem CO₂-freie Grundstoffe herzustellen.

- CO₂-Preis

Durch eine schrittweise CO₂-Preiserhöhung im europäischen Emissionshandel können der Brenn- und Kraftstoffindustrie weiterhin Anreize geliefert werden, um in Strom und Wasserstoff aus CO₂-freien Energiequellen zu investieren.

Allerdings könnte eine ergänzende Energiebesteuerung der direkten Nutzung von fossilen Energieträgern zu Konflikten in der Nachfrage nach Wasserstoff als Energieträger für die Industrie und für die Nutzung im Verkehrs- und Gebäudesektor führen.

- Erleichterung bei Energiekosten

Eine Befreiung der EEG-Umlage zur Erleichterung der Energiekosten wird politisch umgesetzt, um den erneuerbaren Strombezug zur Herstellung von grünem Wasserstoff sowie für die weitere Herstellung von Materialien und Produkten marktwirtschaftlich zu fördern.

Neben dem Ausbau des EU-Energie-Binnenmarkts für erneuerbare Energien werden vor allem Kooperationen mit sonnen- und windreichen Entwicklungsländern für Deutschland an Bedeutung gewinnen um große Mengen „grünen Wasserstoffs“ zu importieren und den Bedarf in der Grundstoff- und Zulieferindustrie zu decken.

- Lebenszyklusbetrachtung

Darüber hinaus kann Politik die automobilen Lieferkette beispielsweise im Netzwerk Catena-X dabei unterstützen, ein harmonisiertes Vorgehen bei der Life-Cycle-Assessment zu finden. Diese stellt die Voraussetzung dar, CO₂-Reduktionen effizient steuern und vermarkten zu können.

Die Einführung eines Grenzausgleichsmechanismus (CBAM), welcher Importen von fossilem Stahl EU-Klimazölle auferlegt, steht weiterhin zur Diskussion. Allerdings müssen internationale Handelskonflikte oder eine Abwanderung der Industrie aus EU-Ländern vermieden werden.

Tabelle 2 fasst noch einmal die Maßnahmen zusammen, die bereits in politischer Umsetzung sind oder noch zur Diskussion stehen, um Klimaneutralität im industriellen Herstellungsprozess zu erreichen.

Maßnahmen in der politischen Umsetzung

Carbon Contracts for Differences (CCfD): Kostenunterschiede zur Umstellung der Produktionsverfahren (auf grünen Wasserstoff) kompensieren

Maßnahmen in der Diskussion

Produktspezifische Quoten für grünen Wasserstoff in der Grundstoffindustrie
Bedingungen:

1. Wettbewerbsfähige grüne H₂-Versorgung muss gewährleistet sein
2. Labeling zur Erhöhung der Produkttransparenz

Kritik: vorzeitige Regulierung durch Quoten hindert die Marktskalierung für technologieoffene H₂-Produktion

AFIR: Infrastrukturaufbau der H₂-Anlagen, Gasverteilernetze und H₂-Transportmöglichkeiten muss gewährleistet und groß skaliert werden

Grenzausgleichsmechanismus (CBAM):
EU-Klimazölle auf Importe von fossilem Stahl

Kritik: Internationale Handelskonflikte könnten ausgelöst werden, mögliche Abwanderung der Industrie aus EU-Ländern

Zertifizierung/Labeling von klimafreundlichen Grundstoffen, Herkunftsnachweise für grüne Wasserstoff-Primärenergie

Harmonisierung bei der Life-Cycle-Bewertung für effiziente Datenerfassung über die Lieferkette

Schrittweise CO₂-Preiserhöhung im ETS:
Anreize für Strom- und Wasserstoffherstellung aus CO₂-freien Quellen

Energiebesteuerungsrichtlinie (ETD) → erhöhte Nachfrage nach CO₂-freiem/grünem Strom und Wasserstoff im Straßenverkehrs- und Gebäudesektor

Befreiung von der EEG-Umlage:
Strombezug zur Produktion von grünem Wasserstoff

Technologieoffene Förderungen:
Important Projects of Common European Interest (IPCEI) Wasserstoff, Nationales Innovationsprogramm (NIP) Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie

Ausbau von Energiepartnerschaften auch für Importe grünen Wasserstoffs und seiner Derivate. H₂-Global in Deutschland setzt Import von Wasserstoff um.

Tabelle 2: Maßnahmen zur Dekarbonisierung des industriellen Herstellungsprozesses

Erhöhung des Einsatzes von Sekundärmaterialien/Rezyklaten

Der Einsatz von Rezyklaten kann einen positiven Effekt auf die Ökobilanz eines Produkts haben. Je nach Materialgruppe fällt der Effekt sehr unterschiedlich aus und ist abhängig von der CO₂-Bilanz des Primärrohstoffes gegenüber dem Rezyklat. Allgemein kann man sagen: Je energieintensiver die Herstellung des Primärrohstoffes, desto vielversprechender ist der Einsatz von Rezyklaten aus Sicht der Ökobilanzierung.

- Qualität des Rezyklats: nicht jedes Rezyklat ist einsetzbar

Fahrzeuge unterscheiden sich aufgrund ihrer Komplexität und Langlebigkeit sehr von anderen Verbraucherprodukten. Ein Fahrzeug besteht aus rund 5.000 bis 7.000 Komponenten und ein Mehrfaches an Unterkomponenten, ist 15 bis 22 Jahre in Nutzung und dabei Temperaturschwankungen von über 100 °C im Fahrzeuginnern ausgesetzt. Während des gesamten Lebenszeitraums ist die (Crash-)Sicherheit, Schwerentflammbarkeit und Materialbeständigkeit garantiert. Deshalb ist ein Einsatz von Rezyklaten stets anwendungsspezifisch zu beurteilen.

- Verfügbarkeit des Rezyklats: nicht jedes Rezyklat ist verfügbar

Die Verfügbarkeit von hochwertigen Sekundärmaterialien ist aufgrund dieser langen Produktlebenszeit von Fahrzeugen begrenzt. Beispielweise können die heute recycelten Altfahrzeuge bei weitem nicht die Nachfrage an Aluminiumrezyklaten decken.

- Bilanzierung des Rezyklats

Stoffströme und CO₂-Fußabdruck von Rezyklaten müssen zwingend betrachtet werden. Bei der Bewertung von einzelnen Komponenten und Materialien ist stets das Zusammenspiel mit dem Gesamtsystem Fahrzeug zu beachten. Fahrzeuge und einzelne Komponenten sowie Materialien bilden eine funktionale Einheit und beeinflussen sich im CO₂-Fußabdruck gegenseitig.

Neben der stetigen Weiterentwicklung der allgemein akzeptierten Methodik zur Errechnung des CO₂-Footprints (ISO 14040) ist für eine qualitativ hochwertige Ökobilanzierung das Erfassen von Rohdaten statt der Nutzung von generischen Daten bedeutend. Nur so können CO₂-Reduktionsmaßnahmen in der Lieferkette auch im Endprodukt abgebildet werden.

An dieser Stelle kann die Bundesregierung das Engagement der Industrie zur Harmonisierung von Datensätzen sowie zur Erhöhung der Transparenz in der Wertschöpfungskette durch Innovationsprojekte wie beispielsweise Catena-X politisch flankieren und unterstützen.

4. Circular Economy

Fahrzeuge ressourcenschonend herstellen, lange nutzen, reparieren, recyceln, wiederverwenden – die Prinzipien der Kreislaufwirtschaft sind in der Automobilindustrie fest verankert:

Ressourcenschonung	Besonders im Fahrzeugbau spielt Materialeffizienz aufgrund des überdurchschnittlichen Materialkostenanteils eine große Rolle. Materialeffizienzstrategien umfassen u. a. ein ressourcenschonendes Produktdesign, optimierte Produktionsprozesse, materialschonende Lagerhaltung sowie interne Kreislaufführung.
Langlebigkeit	Fahrzeuge sind für einen Betrieb von über mehr als 200.000 Kilometer geschaffen. Sie sind teilweise über 20 Jahre unterwegs und damit eines der langlebigsten Verbraucherprodukte. Dabei wechseln häufig die Halter der Fahrzeuge.
Reparaturfähigkeit	Kunden werden bis zu 15 Jahre nach Produktionsende eines Fahrzeuges mit neuen und wiederaufbereiteten Fahrbereitschaftersatzteilen versorgt. Vergleichbare Angebote gibt es für andere Verbraucherprodukte nicht.
Recyclingfähigkeit	<p>Nach Lebensende ist ein Fahrzeug zu mindestens 85 Prozent recyclebar. Dies ist ein Spitzenwert im Vergleich zu anderen Verbraucherprodukten.</p> <p>Mit IDIS (International Dismantling Information System) stellt die Automobilbranche den Demontagebetrieben eine kostenlose, zentrale, einfach verständliche Informationsplattform zur Verfügung. IDIS ist die heutige Blaupause für viele weitere Informationsplattformen für Verbraucherprodukte.</p>
Wiederverwertung	Ein Drittel eines Fahrzeuges besteht bereits heute aus Sekundärmaterialien.

Die Grundlagen für eine erfolgreiche automobilen Kreislaufwirtschaft sind in den Produkten angelegt. Dies kann aber nur der Ausgangspunkt der automobilen Kreislaufwirtschaft sein.

Laut „Circularity Gap Report“ der Ellen MacArthur Foundation war die globale Wirtschaft im Jahr 2020 zu knapp neun Prozent zirkulär. Eine Verdopplung der Zirkularität würde laut „Circularity Gap Report“ ausreichen, um die Emissionslücke zu schließen.

Vor diesem Hintergrund möchte die deutsche Automobilindustrie Verbesserungspotenziale aufzeigen, die im Sinne der „shared responsibility“ einer funktionierenden Kreislaufwirtschaft von unterschiedlichen Akteuren gehoben werden müssen.

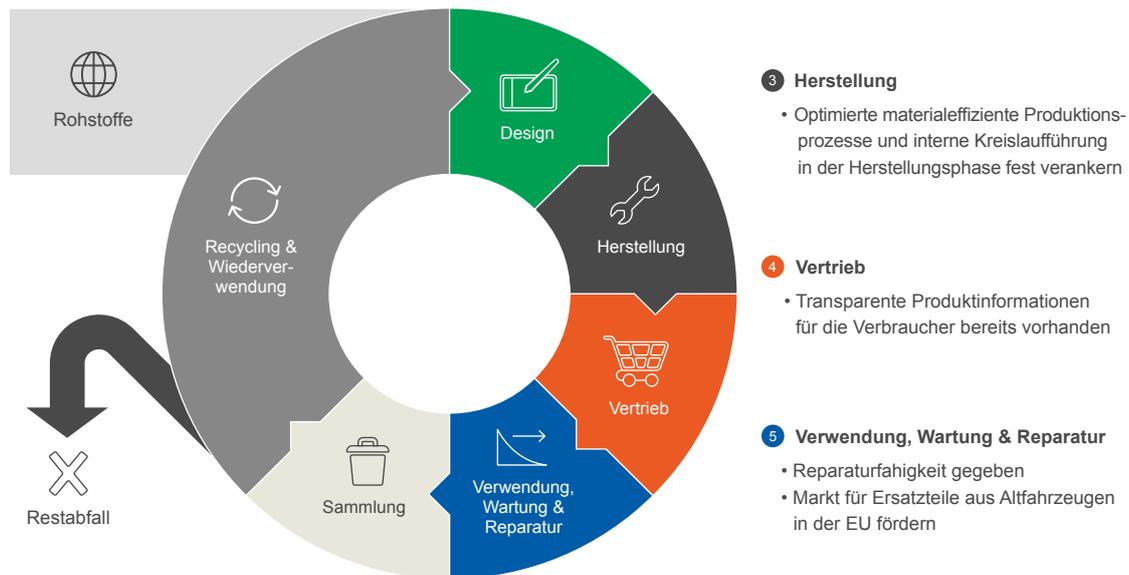
Aktuelle politische Initiativen, wie die Revision der Altfahrzeugrichtlinie oder die Erarbeitung einer Kreislaufwirtschaftsstrategie, eröffnen die Möglichkeit, wichtige Rahmenbedingungen für eine gelingende automobiler Kreislaufwirtschaft zu stärken:

1 Rohstoffe

- Rahmenbedingungen für Sekundärmaterialien und Rezyklate verbessern

2 Design

- Design for Sustainability (u. a. unterstützt durch Lebenszyklusanalysen) als Leitgedanke einer automobilen Kreislaufwirtschaft



7 Recycling & Wiederverwendung

- Vorhandene Demontageinformation IDIS nutzen
- Materialspezifische Recyclingquoten hebeln funktionierende Kreislaufwirtschaft aus
- Post-Schredder-Technologie als „beste verfügbare Technologie“ flächendeckend einsetzen

6 Sammlung

- Wahlfreiheit bei der erweiterten Herstellerverantwortung sicherstellen
- Marktwirtschaftliche Finanzierungsmodelle für einen möglichen negativen Marktwert eines Altfahrzeuges ermöglichen
- Illegaler Altfahrzeugentsorgung entgegenwirken
- Verwertungsnachweis stärken
- Umweltgerechten Export von Gebrauchtfahrzeugen sicherstellen

Ansprechpartner

Michael Püschner

Leiter Fachgebiet Umwelt & Nachhaltigkeit

michael.pueschner@vda.de

Loic Geipel

Referent Klimaschutzpolitik

loic.geipel@vda.de

Dr. Nora Reinolsmann

Referentin Verkehrspolitik

nora.reinolsmann@vda.de

Herausgeber Verband der Automobilindustrie e.V.
Behrenstraße 35, 10117 Berlin
www.vda.de

Registrierter Interessenvertreter R001243
EU-Transparenzregister-Nr. 95574664768-90

Copyright Verband der Automobilindustrie e.V.

Nachdruck und jede sonstige Form der Vervielfältigung
sind nur mit Angabe der Quelle gestattet.

Version Version 1.1, Februar 2023