

Bericht:

Nachhaltige Produktion –

Erforschung von Trends,
Herausforderungen und
Zukunftsperspektiven

_Inhaltsverzeichnisse:

_Einführung	3
_Allgemeine Vorschriften	3
_Europäischer Grüner Deal	5
_Verkehr und Automobilindustrie	10
_Das Konzept der Nachhaltigkeit und seine Elemente	12
_Stand der Umsetzung von Konzepten und Vorschriften	20
_Kreislaufwirtschaft und ihre Elemente	22
_Implementation at organization level	24
_Bewertung der Möglichkeit, bestehende Datenbanken zu nutzen	27
Industriezweige bereit für Green PLM am Beispiel der Automobilindustrie (Automobil, Teile und Dienstleistungen)	27
_Identifizierung und Analyse von Indikatoren	41
_Autoren	45
_Referenzen	46

Einführung

Gerade in den letzten zweieinhalb Jahren hat die Weltwirtschaft unerwartete Krisen erlebt. Covid-19 hat unser Leben und unser Verhalten umgestaltet. Unterbrochene Lieferketten beeinflussten das Geschäftsverhalten. Die Folgen des Krieges in Osteuropa schränkten den Zugang zu wichtigen natürlichen Ressourcen ein. Auch der Klimawandel beeinträchtigt Europa stark, je nach Region in unterschiedlicher Form. Er führt zum Verlust der biologischen Vielfalt, zu Waldbränden, sinkenden Ernteerträgen und höheren Temperaturen, ja sogar zur Gefährdung der Gesundheit der Menschen. Zu den globalen Problemen gehört der unzureichende Zugang zu sauberem Wasser und sanitären Einrichtungen. Um diesen Herausforderungen zu begegnen, braucht die Welt eine Strategie, die es ermöglicht, die Volkswirtschaften in moderne, ressourcenschonende und wettbewerbsfähige Volkswirtschaften umzuwandeln.

Allgemeine Vorschriften

Der Kampf gegen den Klimawandel ist seit kurzem eine Priorität des Europäischen Parlaments. Im Laufe der Jahre hat die Europäische Union eine Vielzahl von Rechtsakten entwickelt, die sich mit den Themen Energie und Klimawandel befassen. Einige von ihnen betreffen die Berichterstattung und Überwachung, andere sehen Ziele und/oder Instrumente vor, um das Erreichen der übergeordneten Ziele zu operationalisieren [1].

Es ist erwiesen, dass die globalen Durchschnittstemperaturen seit der industriellen Revolution ab dem Ende des 19. Jahrhunderts gestiegen sind und heute um 0,95 bis 1,2 °C höher liegen. Das letzte Jahrzehnt (2011-2020) war das wärmste Jahrzehnt aller Zeiten. Es gibt Hinweise darauf, dass dies auf den Anstieg der Treibhausgasemissionen (THG) zurückzuführen ist, die durch menschliche Aktivitäten verursacht werden [2].

Nach Angaben der Europäischen Umweltagentur (EUA) war die Europäische Union 2015 der drittgrößte Treibhausgasemittent der Welt, nach China und den USA. Die fünf größten Emittenten in der EU waren im Jahr 2019 Deutschland, Frankreich, Italien, Polen und Spanien. Der Energiesektor war im Jahr 2019 für 77 Prozent der Treibhausgasemissionen in der EU verantwortlich, gefolgt von der Landwirtschaft (10,5 Prozent), der Industrie (9,1 Prozent) und dem Abfallsektor (3,3 Prozent) [3].

Um diese Herausforderungen zu bewältigen, wird der Europäische Grüne Deal die EU in eine moderne, ressourceneffiziente und wettbewerbsfähige Wirtschaft umwandeln und sicherstellen:

- keine Nettoemissionen von Treibhausgasen bis 2050,
- Wirtschaftswachstum entkoppelt vom Ressourcenverbrauch,
- keine Person und kein Ort wird zurückgelassen [4].

Der Grüne Deal ist ein Maßnahmenpaket, das der Europäischen Union helfen soll, den Übergang zu einer grünen Wirtschaft zu schaffen und Klimaneutralität zu erreichen. Die Kommission ist

bestrebt, mit der EU und den Mitgliedstaaten zusammenzuarbeiten, um Initiativen zu starten und die Rechtsvorschriften erfolgreich umzusetzen. Zu den Vorschlägen, die in den Europäischen Green Deal aufgenommen wurden, gehören die folgenden: Europäischer Klimapakt, Neuer Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft (einschließlich der Strategie für eine nachhaltige gebaute Umwelt), 8. Umweltaktionsprogramm (UAP), Neue Batterieverordnung, Europäisches Klimagesetz, Level(s) - Europäischer Rahmen für nachhaltige Gebäude, Klimazielpfad 2030, EU-Strategie für die Integration von Energiesystemen, Überarbeitung der Richtlinie über erneuerbare Energien, Überarbeitung der Energieeffizienzrichtlinie, Neue Europäische Bauhaus-Initiative, European Green Deal-Investitionsplan (Investitionsplan für ein nachhaltiges Europa), Strategie für nachhaltige und intelligente Mobilität, Verordnung zur Festlegung von CO₂-Emissionsnormen für neue Personenkraftwagen und für neue leichte Nutzfahrzeuge, Überarbeitung des EU-Systems zur Überwachung, Berichterstattung und Überprüfung von CO₂-Emissionen von Schiffen, FuelEU Maritime, ReFuelEU Aviation, Renovation Wave Strategy [5].

Im Jahr 2008 setzte sich die Europäische Union das Ziel, die Treibhausgasemissionen bis 2020 um 20 % gegenüber 1990 zu senken. Es wurden beträchtliche Fortschritte erzielt: 2015 gab es einen Rückgang um 22 Prozent gegenüber dem Niveau von 1990. Der Verkehr ist der einzige Sektor, in dem die Emissionen immer noch höher sind als im Jahr 1990 [3].



Abbildung 1. Veränderung des Emissionsniveaus nach Sektoren in der EU seit 1990 (in CO₂-Äquivalenten), ohne das Vereinigte Königreich. Quelle: [6]

Im Dezember 2020 kündigte die Europäische Union an, dass sie bis zum Jahr 2030 mindestens 55 % der Kohlenstoffemissionen einsparen will, statt wie bisher 40 %. Das Ziel ist ehrgeizig, und einige Klimaexperten bezweifeln, dass dieses Ziel erreicht werden kann. Um dieses Ziel zu erreichen, ist eine groß angelegte Umstellung einer Reihe von Industrien, einschließlich der Automobilindustrie, erforderlich [7].

In Anlehnung an die Klimaziele des Pariser Abkommens strebt die Europäische Union derzeit an, Europa bis 2050 zum klimaneutralen Kontinent zu machen. Am 12. Dezember 2019 legte der Europäische Rat gemeinsam mit der Europäischen Kommission den Europäischen Green Deal (EGD) fest, die zentrale EU-Strategie zur Bekämpfung des Klimawandels und zur Erreichung der Klimaneutralität. Der von der Kommission vorgeschlagene erste Schritt umfasst eine Reihe von Zielen, die bis 2030 erreicht werden sollen [10]. **Die EU Der Green Deal**

„soll den grundlegenden Wandel in den Unternehmen und in der Wertschöpfungskette vorantreiben, der notwendig ist, um den Klimanotstand zu bekämpfen, und zwar durch einen Rahmen von Vorschriften und Anreizen [...]. Er wird sich auf die Bereiche Beschaffung, Lieferkettenmanagement, Produktion, Finanzen, ESG und Personalwesen auswirken. Diese Teams müssen zusammenarbeiten, um ihren Ansatz abzustimmen. Um die verfügbaren Anreize für eine kohlenstoffarme Transformation optimal zu nutzen und die Auswirkungen der Green-Deal-Abgaben abzumildern, ist es für Unternehmen entscheidend, eine umfassende, anpassungsfähige, langfristige und transformativische Denkweise zu entwickeln“ [11].

Europäischer Grüner Deal

Erreichen unserer 2030 Klima Ziele

#EUGreenDeal



Abbildung 2. Klimaschutzmaßnahmen bis 2030. Quelle: [12]

Der Green Deal gliedert sich in acht Schlüsselbereiche, die im Folgenden aufgeführt sind:

1. Erhöhung der Klimaziele der EU für 2030 und 2050,
2. Bereitstellung von sauberer, erschwinglicher und sicherer Energie,
3. Mobilisierung der Industrie für eine saubere und kreislaforientierte Wirtschaft,
4. Energie- und ressourceneffizientes Bauen und Renovieren,
5. Null-Verschmutzung als Ziel für eine giftfreie Umwelt,
6. Erhaltung und Wiederherstellung der Ökosysteme und der biologischen Vielfalt,
7. Farm to Fork: ein faires, gesundes und umweltfreundliches Lebensmittelsystem,
8. Beschleunigung des Übergangs zu einer nachhaltigen und intelligenten Mobilität [13].

Die Europäische Kommission schätzt, dass bis zum Jahr 2030 mindestens 1 Billion EUR an nachhaltigen Investitionen benötigt werden, die sowohl öffentliche als auch private Gelder umfassen. Zu den wichtigsten Investitionsbereichen gehören nachhaltige Infrastruktur, Forschung, Innovation und Digitalisierung, kleine und mittlere Unternehmen, Sozialinvestitionen und Qualifikationen [13]. Der Investitionsplan ist in der nachstehenden Abbildung dargestellt.

Am 14. Juli 2021 verabschiedete die Europäische Kommission „Fit for 55“, eine Reihe von politischen Vorschlägen zur Vorbereitung der Umsetzung des EU Green Deal [12]. Während der EGD ein generaler Aktionsplan zur Bekämpfung des Klimawandels ist, ist der Fit for 55-Paket bietet den vorbereitenden Weg, um die Ziele des EGD zu erreichen. Nämlich, Fit for 55 konzentriert sich auf spezifische Themen, die besondere Aufmerksamkeit erfordern [10].

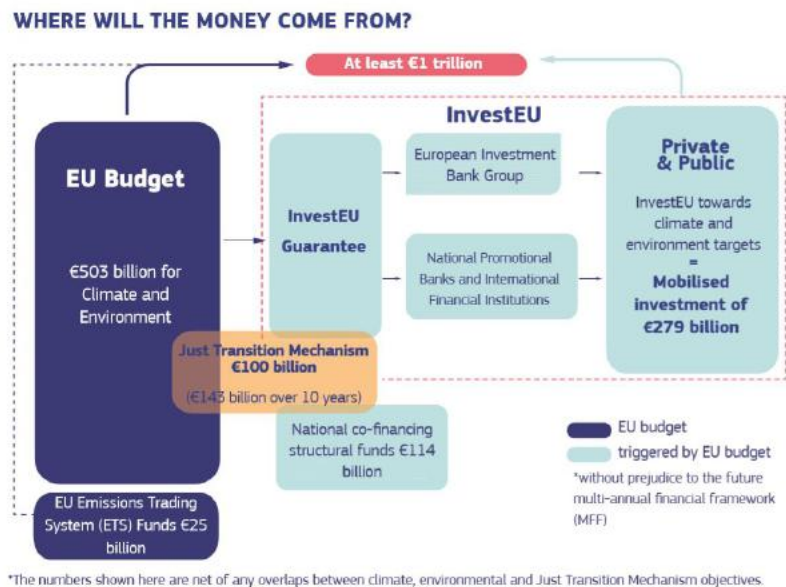


Abbildung 3. Der Europäische Investitionsplan für den Grünen Deal. Quelle: [13]

Das von der Europäischen Kommission verabschiedete Paket enthält eine Reihe von Vorschlägen, mit denen die Klima-, Energie-, Verkehrs- und Steuerpolitik der EU in die Lage versetzt werden soll, die Netto-Treibhausgasemissionen bis 2030 um mindestens 55 % gegenüber dem Stand von 1990 zu senken [4].

Um bis 2050 Klimaneutralität zu erreichen, gilt es, das erhebliche Potenzial der globalen Märkte für emissionsarme Technologien, nachhaltige Produkte und Dienstleistungen zu erschließen. Das Erreichen einer klimaneutralen und kreislaforientierten Wirtschaft erfordert die volle Mobilisierung der Industrie. Alle industriellen Wertschöpfungsketten, einschließlich der energieintensiven Sektoren, werden eine Schlüsselrolle spielen müssen [14].

Die neue Industriestrategie für Europa wird den ökologischen und digitalen Wandel anführen und weltweit noch wettbewerbsfähiger werden. Sie wird der Industrie dabei helfen, ihren CO₂-Fußabdruck zu verringern, indem sie erschwingliche, saubere Technologielösungen anbietet und neue Geschäftsmodelle entwickelt. Mit der aktualisierten Strategie, die sich auf die Lehren aus der COVID-19-Pandemie stützt, will die EU sicherstellen, dass die europäische Industrie den beschleunigten grünen und digitalen Wandel anführen kann.

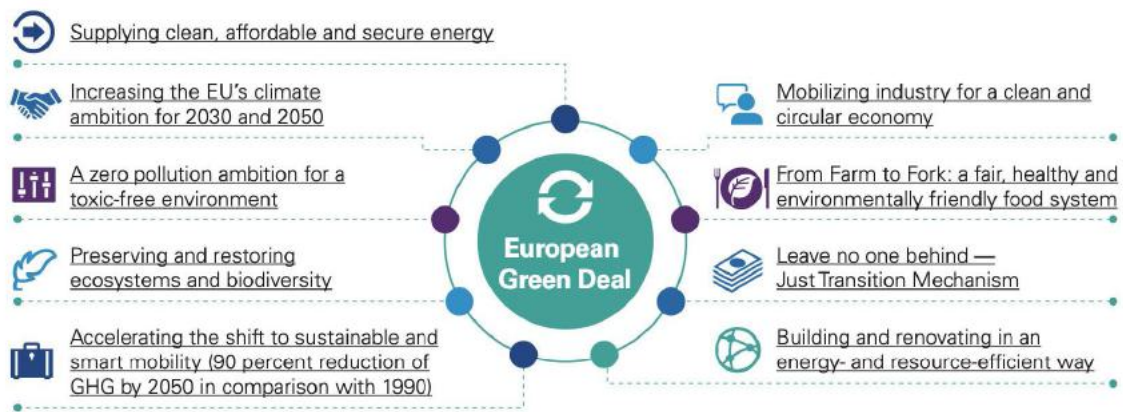


Abbildung 4. Politikbereiche des EGD-Aktionsplans. Quelle: [10]

Das EU-Emissionshandelssystem (ETS) wurde 2005 eingeführt und zielt auf die Verringerung der Kohlenstoffemissionen der Industrie ab. Das Emissionshandelssystem verpflichtet Kraftwerke und Fabriken, für jede Tonne CO₂, die sie ausstoßen, eine Genehmigung zu besitzen. Es bietet einen finanziellen Anreiz, die Umwelt weniger zu verschmutzen, da weniger Verschmutzung mit weniger Zahlungen einhergeht. Die Unternehmen müssen die genannten Genehmigungen auf Auktionen erwerben, und der Preis wird durch Angebot und Nachfrage bestimmt [15].

Das Fit-for-55-Paket umfasst Änderungen am System für den Handel mit Emissionszertifikaten (EU ETS) und zielt darauf ab, den Straßenverkehr in dieses System einzubeziehen. Derzeit ist der gesamte Sektor für etwa 28,2 Prozent verantwortlich.

Davon entfallen 20,4 Prozent auf den Straßenverkehr (unter Berücksichtigung des Autoverkehrs), 4,0 Prozent auf den Seeverkehr und 3,8 Prozent auf den Luftverkehr. Es wird daher davon ausgegangen, dass „Fit for 55“ eine Revolution für den Straßenverkehr sein wird. Das von der Europäischen Kommission vorgelegte Legislativpaket wird sich stark auf den Straßenverkehr auswirken, indem es die Transportunternehmen in das Emissionshandelssystem einbezieht und Druck auf die sehr schnelle Entwicklung der Flotte emissionsfreier Fahrzeuge ausübt. **Die wichtigsten Regelungen**, die für diesen Sektor gelten sollen, lassen sich in den folgenden drei Punkten zusammenfassen:

- **Änderung der Richtlinie über alternative Kraftstoffe**, die die Ziele der Mitgliedstaaten bei der Entwicklung der Ladeinfrastruktur für emissionsfreie Fahrzeuge bestimmen wird. Es geht um Investitionen in Ladestationen für Elektrofahrzeuge und wasserstoffbetriebene Fahrzeuge (sowohl Personen- als auch Lieferwagen),
- **strengere Emissionsnormen für neue Autos mit Verbrennungsmotor**. Sie gehen davon aus, dass im Jahr 2035 alle in der EU verkauften Personenkraftwagen emissionsfrei sein werden. Bei neuen Kleintransportern sollen indirekt 15 Prozent Emissionsreduktion bis 2025 und 50 Prozent Reduktion bis 2030 angestrebt werden,
- **Der Straßenverkehr soll ab 2026 in das Emissionshandelssystem (ETS) einbezogen werden**. Verkehrsunternehmen müssen dann CO₂-Emissionsrechte ersteigern, die die Unternehmen dazu bringen sollen, ihren Fuhrpark schneller durch emissionsarme und emissionsfreie Fahrzeuge zu ersetzen [16].

Ein wichtiger Teil des Pakets ist der **Mechanismus zur Anpassung der Kohlenstoffgrenzwerte (Carbon Border Adjustment Mechanism, CBAM)**, der von der Kommission am selben Tag - am 14. Juli 2021 - angenommen wurde. Er erhebt einen Kohlenstoffpreis auf die Einfuhren einer bestimmten Auswahl von Produkten, damit ehrgeizige Klimaschutzmaßnahmen in Europa nicht zu einer „Verlagerung von CO₂-Emissionen“ führen. Er stellt sicher, dass die europäischen Emissionssenkungen zu einem globalen Emissionsrückgang beitragen, anstatt die kohlenstoffintensive Produktion nach außerhalb Europas zu verlagern. Sie soll auch die Industrie außerhalb der EU und unsere internationalen Partner dazu ermutigen, Schritte in die gleiche Richtung zu unternehmen. Nach den Plänen der Kommission soll CBAM im Jahr 2026 seine volle Wirkung entfalten [17]. Sie wird die Entscheidungen in der Lieferkette beeinflussen, da sie kohlenstoffintensive Importe benachteiligt. Wenn die Importabgaben hoch angesetzt werden, könnte dies europäische Unternehmen dazu bewegen, ihre Vorleistungen aus dem EU-Raum zu beziehen [11].

Die Art und Weise, wie Energie in der EU erzeugt und verbraucht wird, bedarf einer Revolution, da sie für mehr als 75 Prozent der Treibhausgasemissionen in der EU verantwortlich ist. Derzeit dominiert im Energiemix der EU Erdöl (Anteil von 34,8 %), gefolgt von Erdgas (23,8 %) und Kohle (13,6 %). Der Anteil der erneuerbaren Energieträger nimmt zwar zu, aber ihre Rolle bleibt begrenzt (13,9 %), ebenso wie die der Kernenergie (12,6 %). Die derzeitige Situation wird sich völlig ändern, wenn der Europäische Green Deal bis 2050 erfolgreich ist [18]. Die Projektionen der Europäischen Kommission in diesem Bereich sind in der nachstehenden Abbildung dargestellt.

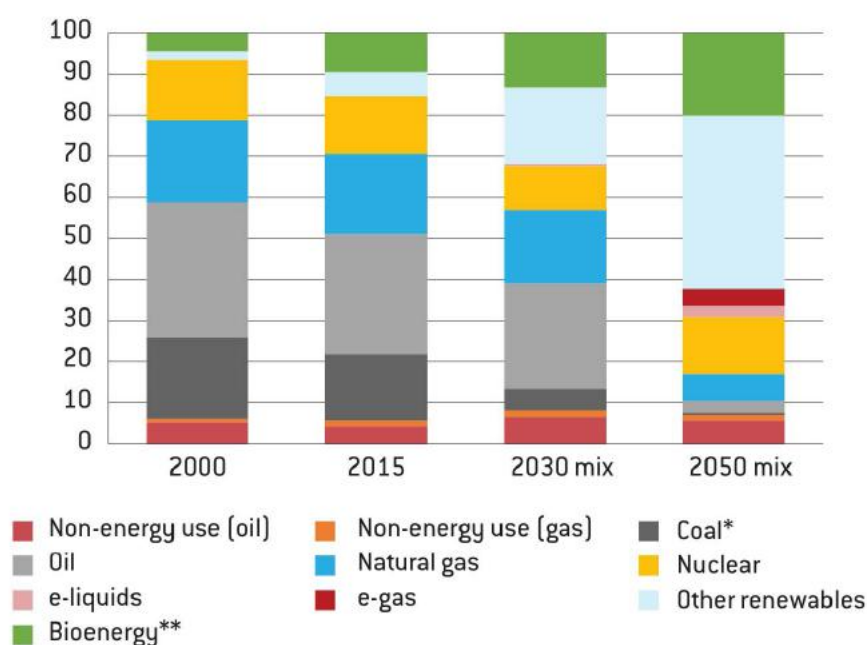


Abbildung 5. Entwicklung des EU-Energiemixes. Quelle: [18]

Bassi und Dias führten 2019 eine Untersuchung über die Nutzung erneuerbarer Energien in der EU durch [19]. Die Ergebnisse der Untersuchung sind in der nachstehenden Abbildung dargestellt.

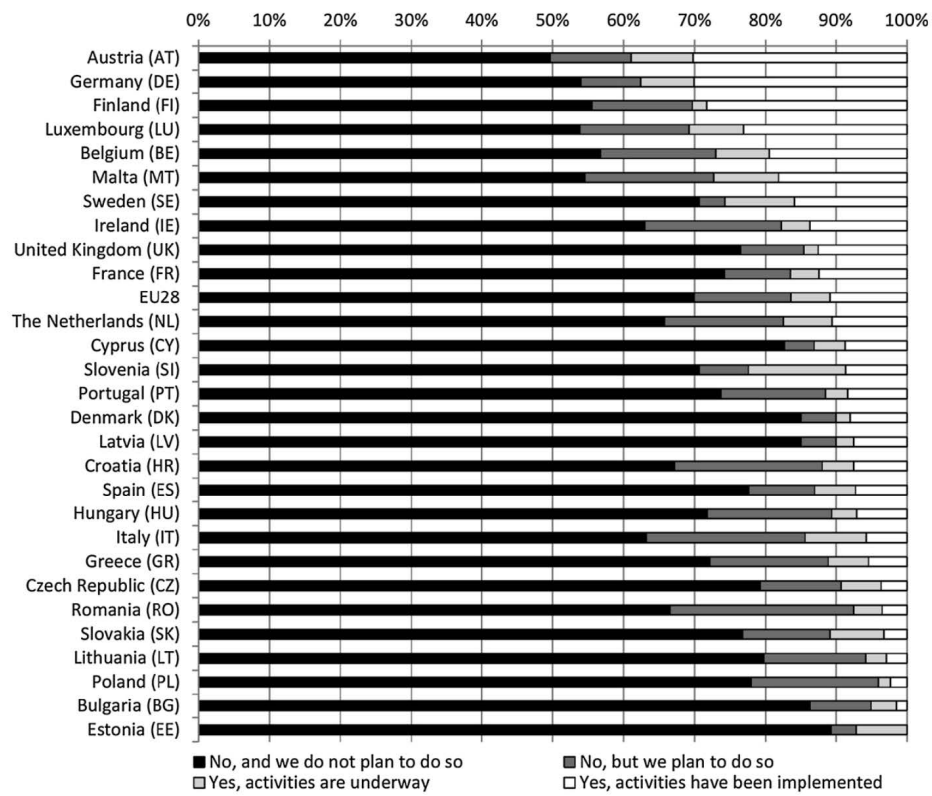


Abbildung 6. Nutzung erneuerbarer Energien in den EU-Ländern im Zeitraum 2016-2019. Quelle: [19]

Transport und die Automobilindustrie

Die Automobilindustrie gilt als einer der Hauptverursacher der globalen Umweltkrise. Darüber hinaus haben die derzeitigen Praktiken im Automobilsektor nachweislich negative Auswirkungen auf die soziale und ökologische Dimension. Andererseits ist die Automobilindustrie von entscheidender Bedeutung für die wirtschaftliche Entwicklung eines Landes. Daher benötigt die Branche einen radikalen Wandel in der Art und Weise, wie sie ihr Business-as-usual betreibt [20].

Einem Bericht der Europäischen Umweltagentur zufolge ist der **Verkehr für fast 30 Prozent der gesamten CO₂-Emissionen in der EU verantwortlich, wovon 72 Prozent auf den Straßenverkehr entfallen**. Die CO₂-Emissionen des Personenverkehrs variieren je nach Verkehrsträger erheblich. Personenkraftwagen sind mit einem Anteil von 61 Prozent an den gesamten CO₂-Emissionen des Straßenverkehrs in der EU ein großer Verursacher [6].

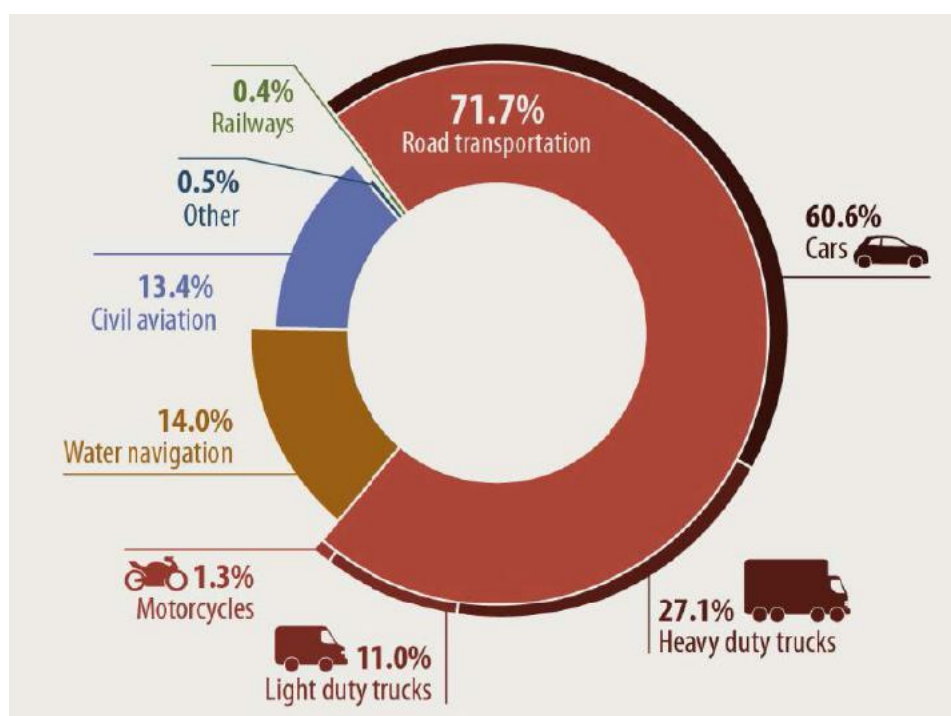


Abbildung 7. Aufschlüsselung der Treibhausgasemissionen nach Verkehrsträgern in der EU im Jahr 2019. Quelle: [6]

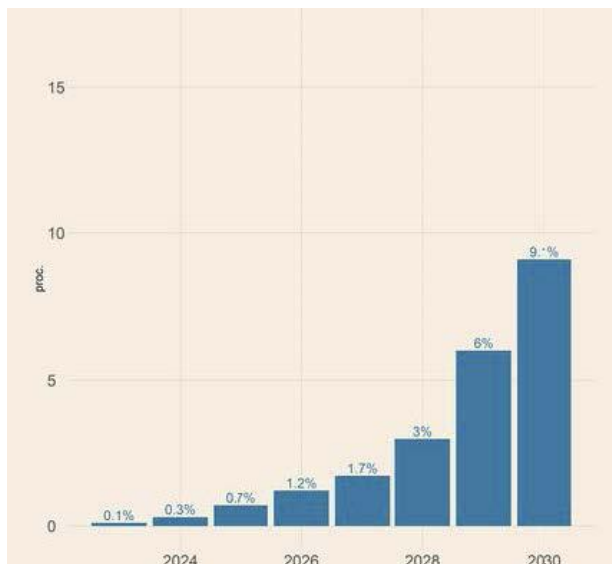


Abbildung 8. Der Anteil der schweren Nutzfahrzeuge mit Elektroantrieb. Quelle: [16]

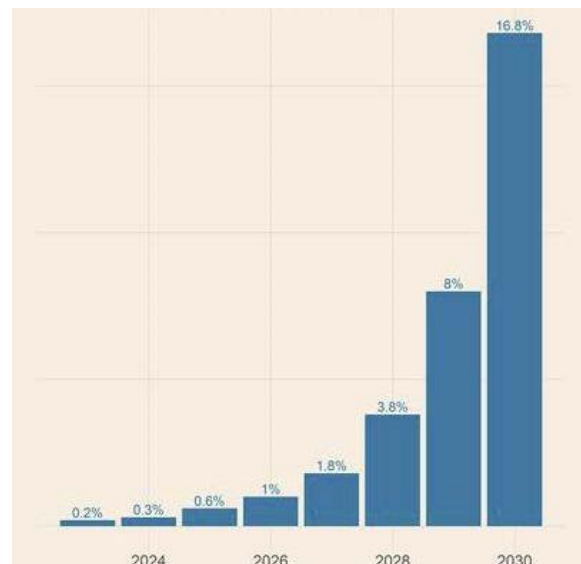


Abbildung 9. Der Anteil der schweren Nutzfahrzeuge Wasserstoff-Antrieb. Quelle: [16]

Fit for 55 schafft einen sehr großen Markt für Hersteller, die in der Lage sein werden, Elektro- oder Wasserstofffahrzeuge zu produzieren.

Auf der anderen Seite bedeutet dies aber auch das Risiko, aus dem Markt zu fallen für Unternehmen, die nicht in der Lage sind, ein solches Angebot zu präsentieren. In diesem Rennen befinden sich neuerdings immer mehr große Automobilkonzerne. Elektro-Lkw bieten bereits unter anderem Citroën (E-Berlingo und E-Expert-Modelle), Peugeot (E-Partner), Opel (Combo-E, Vivaro-E), Renault (Kangoo), FIAT (E-Ducato), Ford (E-Transit) und Volvo (FE Electric) an. Auch Daimler hat vor kurzem die Aufnahme der Produktion solcher Fahrzeuge angekündigt. Das Angebot an Sattelzugmaschinen ist jedoch begrenzt. Diese Art von Fahrzeugen bieten derzeit nur Volvo (FH Electric), Iveco (Nikola Tre) und DAF (CF Electric) an, obwohl mehrere andere große Hersteller bereits angekündigt haben, dass sie sich dieser Gruppe bald anschließen werden [16]. Darüber hinaus investieren traditionelle Autokonzerne zunehmend (über 11 Mrd. USD seit 2015) in autonome und Shared-Vehicle-Unternehmen wie Lyft und setzen sich aggressive Ziele für elektrische und autonome Fahrzeuge. Eines der Beispiele ist General Motors, das auf eine „vollelektrische Zukunft“ hinarbeitet und auch einen vollständig selbstfahrenden Ridesharing-Dienst einführen will [22]. **Die Folgen des Fit for 55-Pakets für die Automobilindustrie werden sehr tiefgreifend sein und können die Position von Unternehmen, die nicht in der Lage sind, sich an den Prozess der raschen Reduzierung der Treibhausgasemissionen anzupassen, erheblich schwächen.**

Elektromotoren und die damit verbundene Optimierung, Leichtbau und CO₂-Emissionsreduzierung sind wichtige Themen, aber nicht die einzigen. Der Innenraum des Fahrzeugs sollte in die Analyse und Verbesserungen einbezogen werden, da er der Teil des Fahrzeugs ist, den der Fahrer am häufigsten sieht. Er muss nicht nur praktisch und ästhetisch ansprechend, sondern auch gewichtssparend sein. Die Verwendung von Naturfasern als alternative Materialien im Innenraum spielt eine wichtige Rolle und ist ein weiterer Schritt zu mehr Nachhaltigkeit. Der Verbrauch von 30.000 Tonnen Naturfasern im Jahr 2005 stieg in Europa auf 50.000 Tonnen im Jahr 2015 [23].

Das Konzept der Nachhaltigkeit und ihre Elemente

Heutzutage ist Nachhaltigkeit für Manager in allen Branchen von zunehmender Bedeutung.

Nachhaltigkeitsmessungen, insbesondere in Bezug auf die Umweltsäule, sind zu einem **wichtigen Thema in der Automobilindustrie** geworden. Bedeutende Veränderungen, die derzeit in der Automobilindustrie zu beobachten sind, deuten darauf hin, dass mehr als **30 Prozent der Neuwagenverkäufe bis 2030 emissionsfrei und Plug-in-Hybridfahrzeuge sein werden, was** einem potenziellen Markt von 1 Billion USD entspricht [22]. Derzeit sind Elektroautos bereits auf dem Vormarsch und werden im Jahr 2020 11 Prozent aller neu zugelassenen Personenkraftwagen ausmachen. Die Verkäufe von Elektrofahrzeugen - batteriebetriebene Elektrofahrzeuge und Plug-in-Hybridfahrzeuge - sind seit 2017 sprunghaft angestiegen und haben sich bis 2020, wenn die CO₂-Ziele in Kraft treten, verdreifacht. Der Marktanteil von Elektro-Kleintransportern an den neu zugelassenen Transportern wird im Jahr 2020 2,3 Prozent betragen [6].

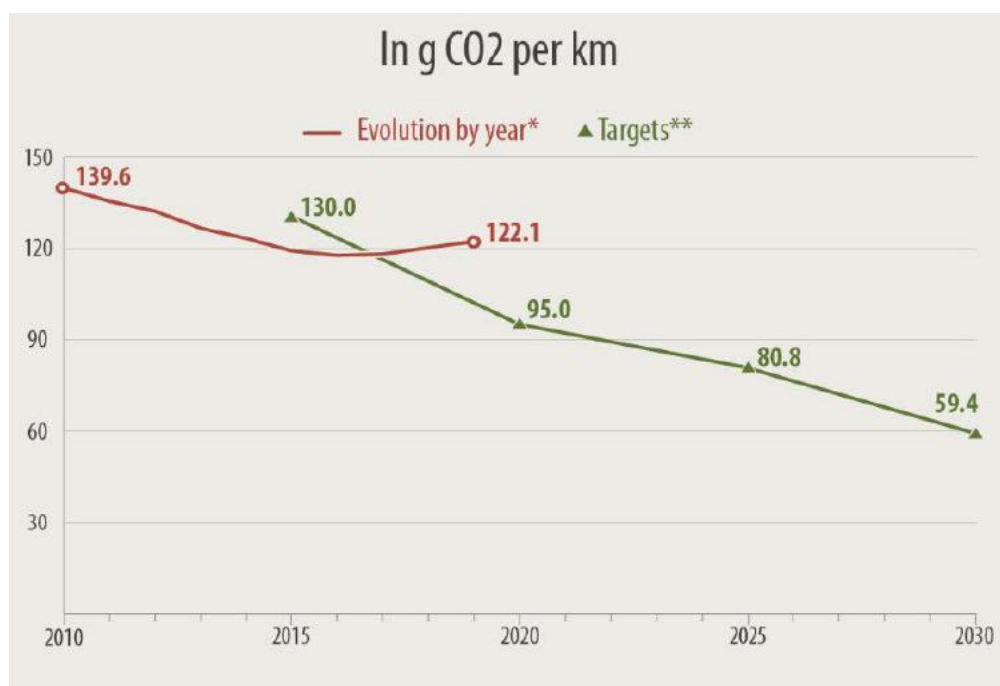


Abbildung 10. Entwicklung der CO₂-Emissionen von neuen Personenkraftwagen. Quelle: [6]

Im Juli 2021 überarbeitete die Europäische Kommission die CO₂-Emissionsstandards für neue Personenkraftwagen und leichte Nutzfahrzeuge. Im Juni 2022 wurde vereinbart, den Grenzwert für die Emissionen von Pkw und Kleintransportern ab 2025 um weitere 15 Prozent zu senken, gefolgt von einer 55-prozentigen Reduzierung für Pkw und einer 50-prozentigen für Kleintransporter bis 2030 und dem Erreichen von Nullemissionen bis 2035 [29, 30].

Im Jahr 2020 wurde die PLM Green Global Alliance gegründet, „um eine internationale Gemeinschaft von Fachleuten für das Produktlebenszyklusmanagement (PLM) zu fördern, die bei der Nutzung von PLM-fähigen Technologien zusammenarbeiten, um die Herausforderungen der Nachhaltigkeit, des Klimawandels und der Dekarbonisierung der Energieversorgung zu bewältigen [...]“. **PLM ermöglicht es Produktentwicklern, Marketingmitarbeitern und Managern der Lieferkette, Gewichte, Produktionskosten, Nährwerte und Bauteilmengen zu verfolgen, um Compliance-Vorschriften zu erfüllen und Umweltziele zu erreichen. Mithilfe grundlegender Produktdatenmanagementfunktionen innerhalb von PLM sollte ein Ingenieur in der Lage sein, die erwarteten Kohlenstoffemissionen eines neuen Produktdesigns zu simulieren und dann den tatsächlichen Fußabdruck während der Produktion zu berechnen und zu dokumentieren.** Genauso wie frühe Designentscheidungen die endgültigen Produktionskosten eines Artikels bestimmen, werden diese Entscheidungen auch die meisten Treibhausgasemissionen bestimmen. PLM bietet die Kernfunktionalität, um den Kohlenstoff-Fußabdruck verschiedener Designvarianten, Zulieferer, Produktionsprozesse, Kundennutzungen und Recyclingszenarien aufzurollen“ [31]. Eines der Ziele der Gründung der Allianz war die Untersuchung grüner Technologien, die den Übergang zu einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft mit geringem Kohlenstoffausstoß unterstützen können. Zu den aufkommenden neuen Technologien gehören solche, die den Kohlenstoff-Fußabdruck von Produkten, Prozessen und Dienstleistungen berechnen, verwalten und verfolgen können.

Nach Einschätzung der Investmentbank Goldman Sachs ist der effektivste Weg, die Ziele von Fit for 55, d. h. 55 Prozent CO₂-Emissionen bis 2030, zu erreichen, die Elektrifizierung in einem Umfang, der zu einem Anstieg der Stromnachfrage um die Hälfte führt. Die Bank schätzt, dass die Umsetzung von Fit for 55 durch eine Erhöhung des Stromverbrauchs von Pkw, Wärmepumpen, Elektrolyseuren und Industrieanlagen erfolgen sollte. Infolgedessen sollte der Anteil der Elektrizität am Primärenergieverbrauch von heute etwa 20 auf 50 Prozent steigen [32].

Die Steigerung der Materialeffizienz ist eine weitere wichtige Möglichkeit, um die Ziele des Pariser Abkommens zu erreichen. Werkstoffe sind für die Wirtschaft lebenswichtig, aber ihre Herstellung ist eine wichtige Quelle von Treibhausgasen - die Emissionen aus ihrer Herstellung stiegen von 5 Gigatonnen CO₂-Äquivalent im Jahr 1995 auf 11 Gt im Jahr 2015, wobei ihr Anteil an den weltweiten Emissionen von 15 Prozent auf 23 Prozent stieg. Die meisten materialbedingten Emissionen stammen aus der Produktion von Schüttgut: Eisen und Stahl (32 Prozent), Zement, Kalk und Gips (25 Prozent) sowie Kunststoffe und Gummi (13 Prozent) [33].



Abbildung 11. Durch die Materialproduktion verursachte Emissionen als Anteil an den globalen Gesamtemissionen 1995 vs. 2015. Quelle: [33]

Untersuchungen zur Neugestaltung von Produkten und Dienstleistungen mit dem Ziel, den Materialeinsatz zu minimieren oder recycelte Materialien zu verwenden, wurden von Bassi und Dias im Jahr 2019 durchgeführt [19]. Die Ergebnisse der Untersuchung sind in der nachstehenden Abbildung dargestellt.

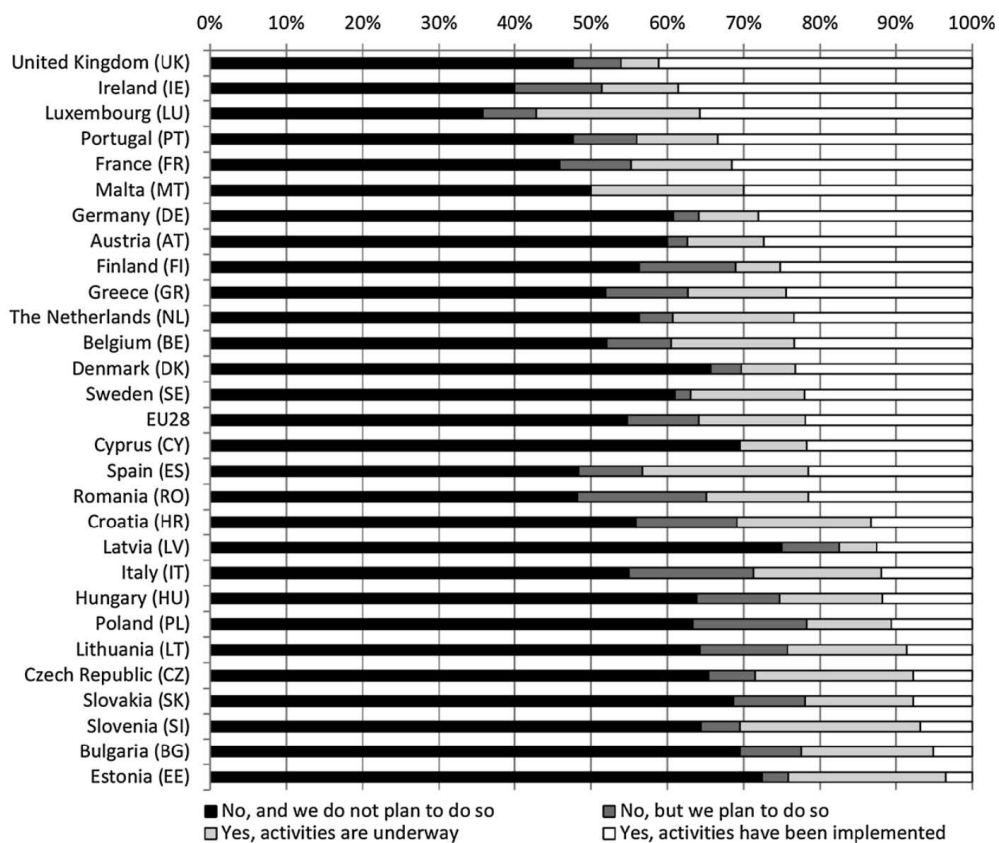


Abbildung 12. Nutzung erneuerbarer Energien in den EU-Ländern im Zeitraum 2016-2019. Quelle: [19]

Der Begriff der nachhaltigen Entwicklung hat seit seinem Aufkommen in den 1992er Jahren an Popularität gewonnen und wurde umfassend weiterentwickelt, um den Bereich

des Lieferkettenmanagements zu integrieren. Sie wird manchmal als **„ein ultimates Wertesystem verstanden, das Orientierung für die Entscheidungsfindung und das Handeln in verschiedenen Situationen bietet; [...] ein Rahmen für Unternehmen und ihr Management, um ihre Verantwortung für ökologisches, wirtschaftliches und soziales Verhalten in Geschäftspraktiken innerhalb der Legitimität unserer Gesellschaft umzusetzen“** [34]. Der Druck und die gesetzlichen Vorschriften haben wesentlich dazu beigetragen, dass sich die ökologische Nachhaltigkeit als ein neues Management-Mantra durchgesetzt hat [35, 36]. Nicht nur, um die neuen Anforderungen zu erfüllen, sondern auch, um den Erfolg des Unternehmens zu sichern, stehen Organisationen derzeit vor der Herausforderung, eine wirksame Unternehmensführung und interne Kontrolle nachhaltigkeitsbezogener Aktivitäten zu etablieren. Unternehmen müssen mehrere interne Bewertungen durchführen, um die für sie und ihr Umfeld, einschließlich Kunden und Investoren, wichtigen Nachhaltigkeitsthemen zu ermitteln. In jüngster Zeit sind vor allem die Erstausrüster (Original Equipment Manufacturers, OEMs) sensibler für Umweltbelange geworden und haben einige Standards für die Darstellung von Nachhaltigkeitsinformationen erfüllt [37].

Green Supply Chain Management wurde definiert als „Integration des Umweltgedankens in das Management der Lieferkette, einschließlich des Produktdesigns, der Materialbeschaffung und -auswahl, der Herstellungsprozesse, der Auslieferung des Endprodukts an die Verbraucher sowie des End-of-Life-Managements des Produkts nach dessen Nutzungsdauer“ [38, 39]. Daher kann grünes Lieferkettenmanagement als ein Instrument zur Verbesserung der Unternehmensleistung betrachtet werden.

Im Allgemeinen bestimmen Öko-Innovationen, Öko-Effizienz und Praktiken der sozialen Verantwortung von Unternehmen einen Großteil der aktuellen industriellen Nachhaltigkeitsagenda, und nachhaltige Geschäftsmodelle werden als Innovationen betrachtet, die die Art und Weise verändern, wie das Unternehmen Werte schafft, liefert und erfasst. Nachhaltige Geschäftsmodelle berücksichtigen ein breites Spektrum von Interessengruppen, einschließlich Umwelt und Gesellschaft, und engagieren sich für Verbesserungen bei der Reduzierung von Energie, Ressourcenintensität, Emissionen und Abfall pro Produktionseinheit. **Geschäftsmodellinnovationen für Nachhaltigkeit wurden definiert als „Innovationen, die signifikante positive und/oder signifikant reduzierte negative Auswirkungen auf die Umwelt und/oder die Gesellschaft haben, indem sie die Art und Weise verändern, wie die Organisation und ihr Wertschöpfungsnetzwerk Werte schaffen, liefern und erfassen (d. h. wirtschaftlichen Wert schaffen) oder ihre Wertversprechen ändern“** [40].

Ein wichtiger Tätigkeitsbereich ist das nachhaltige Investment - ein Begriff, der „Investmentansätze umfasst, die ökologische, soziale und Governance-Faktoren (ESG) bei der Portfolioauswahl und -verwaltung im Rahmen von sieben Strategien für nachhaltiges oder verantwortungsbewusstes Investment berücksichtigen“ [41]. Die vorgenannten sieben Strategien sind in der nachstehenden Tabelle aufgeführt.

ESG integration	The systematic and explicit inclusion by investment managers of environmental, social and governance fact financial analysis.
Corporate engagement & shareholder action	Employing shareholder power to influence corporate behaviour, including through direct corporate engagement communicating with senior management and/or boards of companies), filing or co-filing shareholder proposals proxy voting that is guided by comprehensive ESG guidelines.
Norms-based screening	Screening of investments against minimum standards of business or issuer practice based on international as those issued by the UN, ILO, OECD and NGOs (e.g. Transparency International).
Negative/exclusionary screening	The exclusion from a fund or portfolio of certain sectors, companies, countries or other issuers based on act considered not investable. Exclusion criteria (based on norms and values) can refer, for example, to product categories (e.g., weapons, company practices (e.g., animal testing, violation of human rights, corruption) or controversies.
Best-in-class/positive screening	Investment in sectors, companies or projects selected for positive ESG performance relative to industry peers achieve a rating above a defined threshold.
Sustainability themed/thematic investing	Investing in themes or assets specifically contributing to sustainable solutions - environmental and social - (e.g., sustainable agriculture, green buildings, lower carbon tilted portfolio, gender equity, diversity).
Impact investing and community investing	Impact investing Investing to achieve positive, social and environmental impacts - requires measuring and reporting against it demonstrating the intentionality of investor and underlying asset/investee, and demonstrating the investor's contribution Community investing Where capital is specifically directed to traditionally underserved individuals or communities, as well as financial provided to businesses with a clear social or environmental purpose. Some community investing is impact investing community investing is broader and considers other forms of investing and targeted lending activities.

Tabelle 1. Strategien für nachhaltige oder verantwortungsvolle Investitionen. Quelle: [41]

Nach einer Untersuchung der Global Sustainable Investment Alliance (2020, Daten für Europa, die Vereinigten Staaten, Japan, Kanada, Australien und Neuseeland) haben nachhaltige Investitionen in diesen Märkten ein verwaltetes Vermögen von 35,3 Billionen USD erreicht, was einem Wachstum von 15 % innerhalb von zwei Jahren (2018-2020) entspricht. Der Anteil der verwalteten nachhaltigen Anlagen an den gesamten verwalteten Vermögenswerten beträgt nun 35,9 Prozent, gegenüber 33,4 Prozent im Jahr 2018. Kanada verzeichnete in diesen zwei Jahren in absoluten Zahlen den größten Anstieg und das Wachstum erreichte 48 Prozent. Europa meldete von 2018 bis 2020 einen Rückgang des Wachstums nachhaltiger Anlagewerte um 13 %, was jedoch auf eine geänderte Messmethode zurückzuführen ist. Die Daten sind in der nachstehenden Abbildung 13 dargestellt.

REGION	2016	2018	2020
Europe*	12,040	14,075	12,017
United States	8,723	11,995	17,081
Canada	1,086	1,699	2,423
Australasia*	516	734	906
Japan	474	2,180	2,874
Total (USD billions)	22,839	30,683	35,301

Abbildung 13. Globales Vermögen für nachhaltige Investitionen in den folgenden Jahren in Mrd. USD, Quelle: [41]

Die am weitesten verbreitete nachhaltige Anlagestrategie ist die Integration von Umwelt-, Sozial- und Governance-Aspekten, gefolgt von Negativ-Screening, Corporate Engagement

und Shareholder Action, normenbasiertem Screening und nachhaltigkeitsorientierten Investitionen [41].

Die nachstehende Abbildung zeigt Einzelheiten zu den Vermögenswerten für nachhaltige Anlagen nach Strategie und Region im Jahr 2020.



Abbildung 14. Vermögen für nachhaltige Anlagen nach Strategie und Region 2020. Quelle: [41]

Die Ziele der Vereinten Nationen für nachhaltige Entwicklung sind ein Aufruf an alle Länder, Maßnahmen zur Förderung des Wohlstands bei gleichzeitigem Schutz des Planeten zu ergreifen. Sie erkennen an, dass die Beseitigung der Armut mit Strategien einhergehen muss, die das Wirtschaftswachstum fördern und eine Reihe sozialer Bedürfnisse wie Bildung, Gesundheit, Sozialschutz und Beschäftigungsmöglichkeiten berücksichtigen, während gleichzeitig der Klimawandel und der Umweltschutz angegangen werden [42]. Die 17 Ziele sind in der nachstehenden Abbildung dargestellt.



Abbildung 15. 17 Ziele für nachhaltige Entwicklung. Quelle: [42]

Der Bericht über die Ziele für nachhaltige Entwicklung ist der einzige offizielle Bericht der Vereinten Nationen, der die weltweiten Fortschritte bei der Umsetzung der Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung überwacht. Der jüngste Bericht wurde 2022 veröffentlicht und verdeutlicht das Zusammentreffen von Krisen, vor allem von COVID-19, Klimawandel und Konflikten, die sich auf Nahrungsmittel und Ernährung, Gesundheit, Bildung, Umwelt sowie Frieden und Sicherheit auswirken und alle Ziele für nachhaltige Entwicklung beeinträchtigen. Der jüngste Bericht zeigt auf, dass die jahrelangen Fortschritte bei der Beseitigung von Armut und Hunger, der Verbesserung von Gesundheit und Bildung und der Bereitstellung grundlegender Dienstleistungen rückgängig gemacht wurden. Er weist auch auf Bereiche hin, in denen dringend gehandelt werden muss, um die SDGs zu retten und bis 2030 sinnvolle Fortschritte für die Menschen und den Planeten zu erzielen [43].

Um Ländern und Unternehmen dabei zu helfen, über Emissionen Rechenschaft abzulegen, darüber zu berichten und sie zu mindern, wurde das THG-Protokoll entwickelt. Es basiert auf einem Bericht, der eine Aktionsagenda zur Bekämpfung des Klimawandels aufstellte, zu der auch die Notwendigkeit einer standardisierten Messung von Treibhausgasemissionen gehörte [44]. In diesem Standard werden die Emissionen in drei Bereiche unterteilt:

- **Scope 1**, der sich mit Emissionen aus unmittelbar unternehmenseigenen und verwalteten Quellen befasst. Emissionen werden hier als direkte Folge einer Reihe von Aktivitäten auf Unternehmensebene in die Atmosphäre abgegeben. Er ist in vier Kategorien unterteilt:
 - Stationäre Verbrennung (z. B. Kraftstoffe, Heizquellen) - alle Brennstoffe, die Treibhausgasemissionen erzeugen,
 - Mobile Verbrennung - alle Fahrzeuge, die einem Unternehmen gehören oder von ihm kontrolliert werden und die Kraftstoff verbrennen (z. B. Pkw, Lieferwagen, Lkw),
 - flüchtige Emissionen - Leckagen von Treibhausgasen (z. B. Kühlanlagen, Klimaanlageanlagen, wobei anzumerken ist, dass Kältemittelgase tausendmal gefährlicher sind als CO₂-Emissionen und die Unternehmen angehalten sind, diese Emissionen zu melden),
 - Prozessemissionen - die bei industriellen Prozessen und bei der Herstellung vor Ort freigesetzt werden (z. B. CO₂-Produktion bei der Zementherstellung, Fabrikabgase, Chemikalien) [45].
- **Scope 2**, der sich mit eingekaufter Energie wie Strom, Dampf, Heizung und Kühlung befasst (alle Energie, die ein Unternehmen für den Betrieb des Unternehmens und seiner Anlagen erwerben muss),
- **Scope 3**, der sich mit indirekten Emissionen aus vor- und nachgelagerten Aktivitäten befasst (vorgelagert ist die Lieferkette zur Beschaffung von Materialien für die Herstellung von Produkten, nachgelagert der Vertrieb, die Nutzung und die Behandlung am Ende des Lebenszyklus) [31]. Scope-3-Emissionen sind alle indirekten Emissionen - die nicht in Scope 2 enthalten sind -, die in der Wertschöpfungskette des berichtenden Unternehmens entstehen. Nach dem GHG-Protokoll werden Scope-3-Emissionen in 15 Kategorien unterteilt (z. B. Pendeln der Mitarbeiter, erzeugte Abfälle, Transport und Vertrieb, Verwendung der verkauften Produkte) [45].

Unternehmen, die ihre Emissionen nach dem GHG-Protokoll melden, müssen Scope 1 und 2 melden, um die Protokollstandards zu erfüllen. Scope 1 und 2 sind obligatorisch, während Scope 3 freiwillig ist und am schwierigsten zu überwachen ist. Es wird davon ausgegangen, dass Unternehmen, denen es gelingt, über alle drei Bereiche zu berichten, einen nachhaltigen Wettbewerbsvorteil erlangen [45]. Obwohl die Berichterstattung über Scope 3 freiwillig ist, trägt er oft am meisten zu den Gesamtemissionen bei - Schätzungen zufolge sind die Scope-3-Emissionen oft fünfmal so hoch wie die Emissionen der Scopes 1 und 2 zusammen. Die Umsetzung einer Strategie zur Bereitstellung genauer und überprüfbarer Daten zum CO₂-Fußabdruck erfordert eine Aufschlüsselung der Emissionen von Schätzungen auf Unternehmens- und Werksebene bis hin zu tatsächlichen Werten auf Produkt- und Komponentenebene [31].

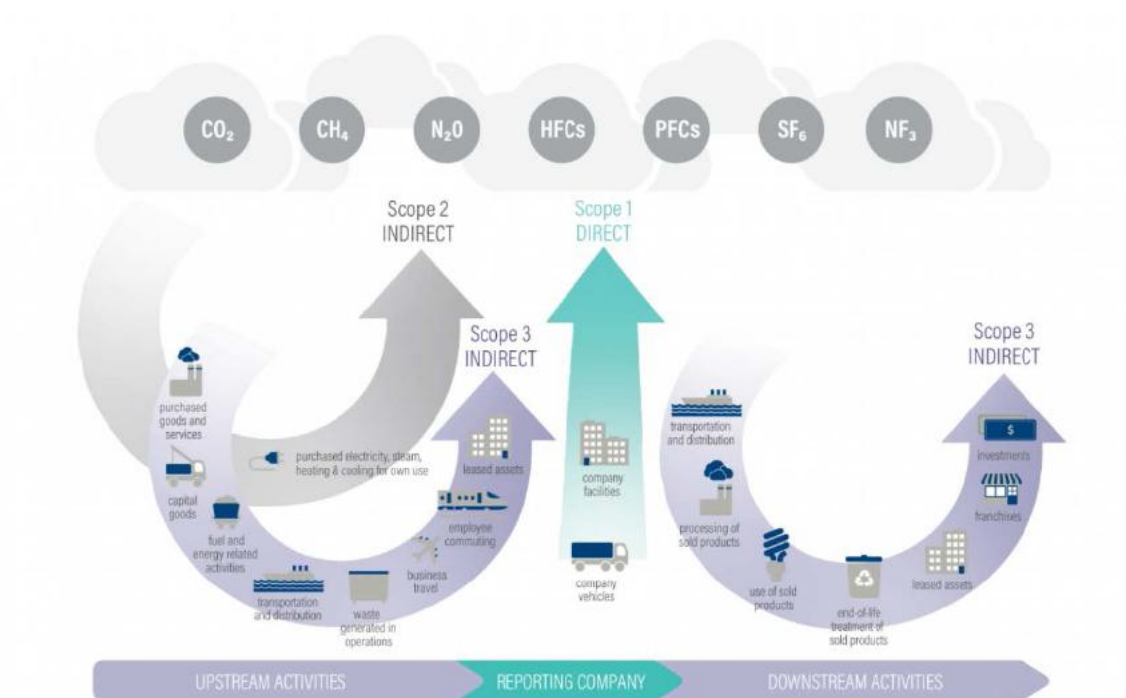


Abbildung 16. Überblick über die Geltungsbereiche des THG-Protokolls und die Emissionen in der gesamten Wertschöpfungskette. Quelle: [44]

Stand der Umsetzung von Konzepten und Vorschriften

Die von PriceWaterhouseCoopers durchgeführte EU Green Deal Survey [11] (März 2022, 300 Unternehmen in 13 europäischen Ländern) ergab, dass **49 Prozent der Unternehmen auf den EU Green Deal vorbereitet sind**.

Green Deal, 66 Prozent haben bereits Kapital für Nachhaltigkeit vorgesehen und 51 Prozent beabsichtigen, ihre Lieferkette in naher Zukunft umzustellen. Leider ist **nur weniger als die Hälfte der befragten Unternehmen mit dem EU Green Deal vertraut**. Es wurde festgestellt, dass Nachhaltigkeitsinitiativen eher auf einer Ad-hoc-Basis und nicht als Teil eines integrierten Plans ergriffen werden. Zu den Prioritäten gehören der Verbrauch von mehr sauberer Energie (78 Prozent der Unternehmen), die Senkung des Energieverbrauchs (60 Prozent), die Verringerung

Die PwC-Umfrage ergab, dass 70 Prozent der Unternehmen Möglichkeiten zur Aufarbeitung oder Wiederverwendung von Produkten mit begrenzter Lebensdauer oder zu erwartender Veralterung untersucht haben, davon 28 Prozent in hohem Maße und 42 Prozent in gewissem Maße. Bei diesen Unternehmen handelt es sich mit größerer Wahrscheinlichkeit um solche, die mit der Umsetzung des EU Green Deal vertraut und/oder darauf vorbereitet sind. Darüber hinaus gaben 50 Prozent der Befragten an, dass sie sich bemühen, die Menge an gefährlichen Abfällen, die durch ihre Produktionsprozesse entstehen, zu reduzieren und die Menge an recyceltem Abfall zu erhöhen [11].

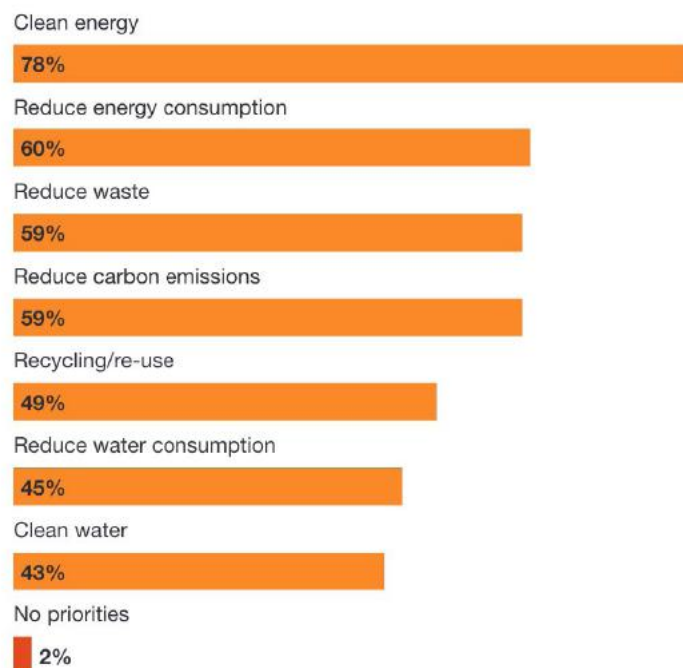


Abbildung 17. Prioritäten, die sich an den Auswirkungen von Umweltsteuern orientieren, PwC EU Green Deal Survey. Quelle: [11]

von Abfall und Plastikverbrauch (59 Prozent) und die Reduzierung von Kohlenstoffemissionen (59 Prozent). Bei den befragten Unternehmen verursachen die Bereiche Herstellung (44 Prozent), Vertrieb (27 Prozent) und Beschaffung (18 Prozent) die höchsten Emissionen und stehen daher im Mittelpunkt der größten Nachhaltigkeitsanstrengungen.

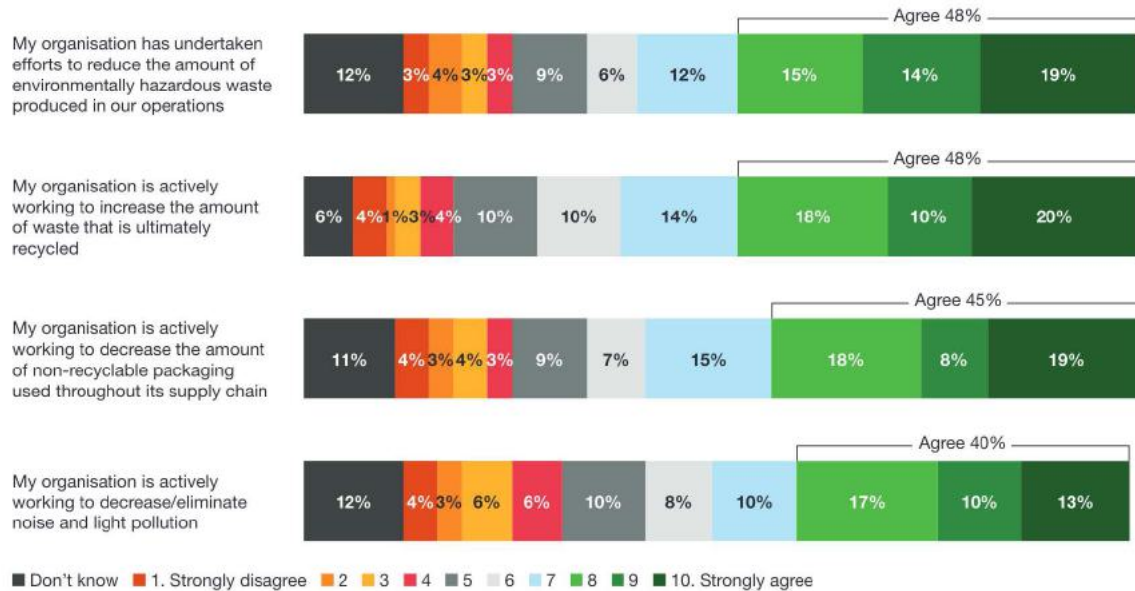


Abbildung 18. Bemühungen zur Verringerung der Menge des erzeugten gefährlichen Abfalls und/oder zur Erhöhung die Menge an Abfall, die recycelt wird, PwC EU Green Deal Survey. Quelle: [11]

Kreislaufwirtschaft und ihre Elemente

Die meisten Automobilunternehmen und -betriebe verfolgen derzeit einen linearen Ansatz, d.h., wenn ein Fahrzeug sein Lebensende erreicht hat, landen viele Komponenten des Fahrzeugs auf der Mülldeponie. Eurostat (2021) berichtete, dass das Gewicht von Altfahrzeugen Ende 2015 allein in der Europäischen Union 5,2 Millionen Tonnen erreicht hatte und bis 2019 auf 6,9 Millionen ansteigen wird. Mehr als 260.000 Tonnen Fahrzeugteile wurden entsorgt und ohne weitere Verarbeitung auf Deponien verbracht. Die OECD schätzt, dass wir bei gleichbleibender Förderung und Nutzung von Metallen, Mineralien und Energie bis 2060 die doppelte Menge an Ressourcen benötigen würden, um den weltweiten Bedarf zu decken. Daher hat sich die Kreislaufwirtschaft als ein Ansatz herauskristallisiert, der die Umweltkrise auf allen Ebenen angeht [20].

Im Jahr 2015 hat die Europäische Kommission den Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft angenommen. Er besteht aus konkreten und ehrgeizigen Aktionen mit Maßnahmen, die den gesamten Lebenszyklus abdecken: von der Produktion und dem Verbrauch bis hin zur Abfallbewirtschaftung und dem Markt für Sekundärrohstoffe sowie einem überarbeiteten Legislativvorschlag für Abfälle. Er sollte dazu beitragen, den Übergang Europas zu einer Kreislaufwirtschaft zu fördern, die globale Wettbewerbsfähigkeit zu steigern, ein nachhaltiges Wirtschaftswachstum zu unterstützen und neue Arbeitsplätze zu schaffen. Für das Jahr 2019 wurde berichtet, dass alle 54 Maßnahmen angenommen oder umgesetzt wurden [48]. Von einem wenig bekannten Konzept aus dem späten 20. Jahrhundert wird die Kreislaufwirtschaft heute von der Europäischen Union als „unumkehrbarer, globaler Megatrend“ anerkannt und wurde zum Bestandteil des europäischen Green Deal [49]. Die Kommission hat für den Zeitraum 2016-2020 öffentliche Mittel in Höhe von über 10 Mrd. EUR für den Übergang bereitgestellt, darunter:

- „1,4 Mrd. EUR aus Horizont 2020 (bis 2018) für Projekte der Kreislaufwirtschaft in Bereichen wie nachhaltige Prozessindustrien, Abfall- und Ressourcenmanagement, geschlossene Produktionssysteme oder die Kreislauf-Bioökonomie, davon 350 Mio. EUR speziell für die Kreislaufwirtschaft von Kunststoffen,
- mindestens 7,1 Mrd. EUR aus der Kohäsionspolitik, davon 1,8 Mrd. EUR für die Einführung öko-innovativer Technologien in KMU und 5,3 Mrd. EUR zur Unterstützung der Umsetzung der EU-Abfallgesetzgebung, wobei zusätzliche Unterstützung durch die so genannten

intelligenten Spezialisierungsstrategien der EU-Regionen und -Mitgliedstaaten für markt-orientierte Innovation und Einführung bereitgestellt wird,

- 2,1 Mrd. EUR durch Finanzierungsfazilitäten wie den Europäischen Fonds für strategische Investitionen und Innovfin,
- mindestens 100 Millionen EUR, die über LIFE in mehr als 80 Projekte investiert wurden, die zu einer Kreislaufwirtschaft beitragen“ [50].

Einige Automarken haben in letzter Zeit verschiedene Aktionen durchgeführt, um den Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft zu ermöglichen. Sie sind in der nachstehenden Tabelle aufgeführt.

Renault	Creation of 'Refractory', the first European factory dedicated to a circular economy mobility. Target to become carbon neutral in Europe by 2040.
Volkswagen	Closed material loop goals. Become carbon neutral by 2050. Battery recycling pilot project. Development of sustainable waste management. Circular Economy KPI's are under development.
Jaguar Land Rover	Net zero carbon emissions across their supply chain, products and operations by 2039. Use of alternative materials such as plant-based textiles and recycled plastic. Recovery of premium grade aluminum from scrapped vehicles to reduce the use of virgin aluminum.
Daimler	In support of the Waste Management Hierarchy, they aim to avoid waste by reusing (with a focus on HV batteries), recycling, and re-manufacturing their materials.
Volvo	To become a circular business with circular products by 2040. Increased use of remanufactured parts.
BMW	Efficient use of raw materials and their reuse and recycling. Use of pilot digital tools that could enable them to trace critical raw materials to improve the flow of goods globally.

Tabelle 2. Automarken, die in letzter Zeit Aktionen mit dem Ziel durchgeführt haben zum Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft. Quelle: eigene Ausarbeitung auf der Grundlage von [20]

Die Kreislaufwirtschaft gilt als eine der effektivsten Möglichkeiten für die Automobilindustrie, nachhaltiger zu werden. Sie umfasst viele Schlüsselbereiche der Nachhaltigkeit, von der Lieferkette über das Recycling und die Beschaffung bis hin zum After-Sales-Bereich. Nicht nur die Automobilhersteller, sondern auch die Zulieferer werden in die Analyse einbezogen. Michelin beispielsweise verwendet 85 % der Altreifen wieder, indem es sie in seinem britischen Werk neu einfädelt, wodurch 60 kg Kohlenstoffemissionen pro Reifen eingespart werden [51].

Implementierung bei Organisationsebene

Kein Einzelner, aber Führungskräfte können die Bemühungen ihres eigenen Unternehmens um den Klimawandel unterstützen, Mitarbeiter in Aktionen einbinden, sich dafür einsetzen, dass externe Organisationen Maßnahmen zur Bekämpfung des Klimawandels ergreifen, und branchen- und disziplinübergreifend bei Nachhaltigkeitslösungen zusammenarbeiten und diese innovativ gestalten. Laut einer von Deloitte durchgeführten Studie nimmt die Wahrnehmung des Klimawandels und die Besorgnis darüber bei Führungskräften von Jahr zu Jahr zu. Von den **2.083 C-Level-Führungskräften**, die im September und Oktober 2021 an der Umfrage teilnahmen (Befragte aus 21 Ländern: 44 Prozent aus Europa/Südafrika, 31 Prozent aus Nord-, Mittel- und Südamerika und 24 Prozent aus dem asiatisch-pazifischen Raum, alle wichtigen Industriesektoren), **sehen 79 Prozent die Welt an einem Wendepunkt des Klimawandels** - eine Zahl, die bei einer ähnlichen Deloitte-Umfrage acht Monate zuvor (Anfang 2021) bei 59 Prozent lag. **88 Prozent stimmten zu, dass die schlimmsten Auswirkungen des Klimawandels durch sofortiges Handeln begrenzt werden können.** In der vorangegangenen Umfrage waren es noch 63 Prozent. Mehr als 66 Prozent der Befragten gaben an, dass ihre Unternehmen mehr nachhaltige Materialien verwenden und die Effizienz der Energienutzung steigern. **Mehr als 50 % haben energieeffiziente oder klimafreundliche Maschinen, Technologien und Geräte eingeführt. Und die Mehrheit reduziert bewusst Flugreisen.** 19 Prozent der befragten Führungskräfte setzen mindestens 4 der 5 folgenden Maßnahmen um:

- Entwicklung neuer, klimafreundlicher Produkte oder Dienstleistungen,
- Lieferanten und Geschäftspartner zur Einhaltung bestimmter Nachhaltigkeitskriterien zu verpflichten,
- Modernisierung oder Verlagerung von Einrichtungen, um sie widerstandsfähiger gegen Klimaauswirkungen zu machen,
- Einbeziehung von Klimaüberlegungen in Lobbyarbeit und politische Spenden,
- Bindung der Vergütung von Führungskräften an die Nachhaltigkeitsleistung [53].

Es ist erwähnenswert, dass die Führungskräfte auf Hindernisse hinwiesen, denen sie auf ihrem Weg zur Nachhaltigkeit begegnen.

Sie umfassen folgende Punkte:

- Schwierigkeiten bei der Messung der Umweltauswirkungen (30 Prozent),
- unzureichendes Angebot an nachhaltigen oder emissionsarmen Betriebsmitteln (27 Prozent),
- zu kostspielig (27 Prozent),
- Konzentration auf kurzfristige geschäftliche Fragen/Forderungen von Investoren/Aktionären (25 Prozent),
- das Ausmaß der erforderlichen Veränderungen ist zu groß (24 Prozent) [53].

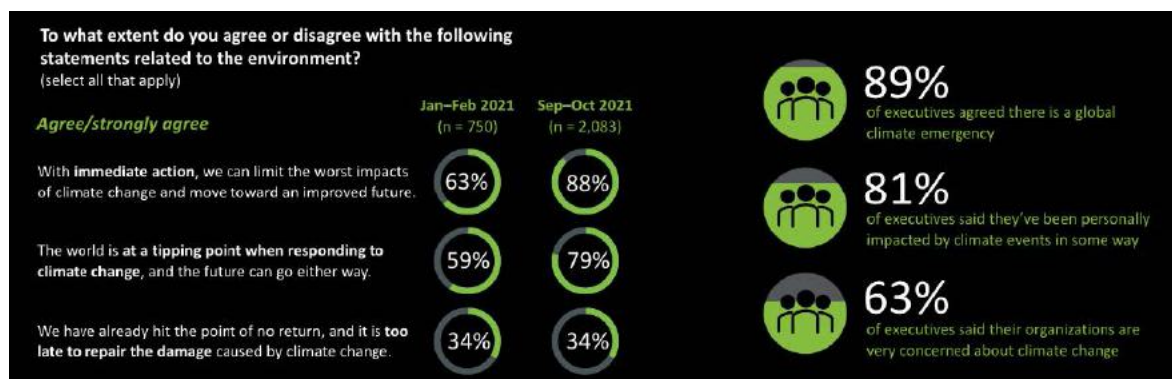


Abbildung 19. Quelle der Abbildung: [53]

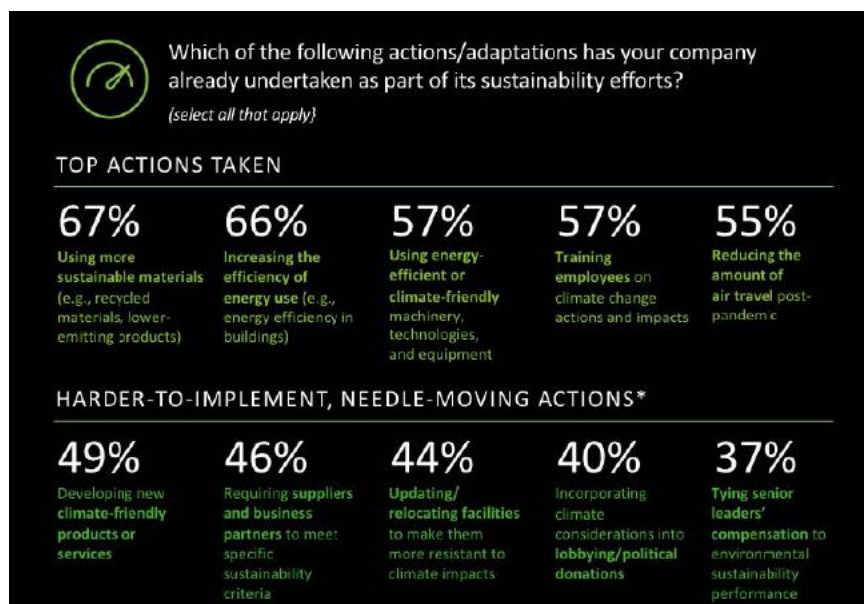


Abbildung 20. Quelle der Abbildung: [53]

Bereichen des Lebenszyklus eines Fahrzeugs wurden enorme Fortschritte erzielt, was die Dekarbonisierung von Produkten und Produktion, die Schonung von Ressourcen und die Verbesserung der lokalen Luftqualität angeht. Der Gesamtenergieverbrauch (Gas, Strom und Öl) der Fahrzeughersteller sank im Jahr 2021 um 7,9 Prozent auf 2,8 GWh, jedoch stieg die Energie pro Fahrzeug aufgrund des geringeren Produktionsvolumens im Vergleich zum Vorjahr um 4,5 Prozent auf 3.185 kWh. Der Anstieg der Energiekosten hat dafür gesorgt, dass das Thema Energie für die Automobilindustrie zunehmend an Bedeutung gewinnt. Energie ist in der Regel nach den Arbeitskosten der zweitgrößte Kostenfaktor in der Produktion und somit entscheidend für die Wettbewerbsfähigkeit [54].

Der Wert des verbrauchten Stroms sinkt und ist in den letzten Jahren um 39 Prozent zurückgegangen. Dies wirkt sich auf die CO₂-Emissionen aus, die auf der Grundlage der offiziellen Umrechnungsfaktoren für jeden von den Herstellern verwendeten Energiestrom berechnet werden. Der gesamte CO₂-Ausstoß (in Tonnen) aus der Fahrzeugherstellung und anderen Tätigkeiten ging um -12,8 Prozent zurück, während der CO₂-Ausstoß pro produziertes Fahrzeug aufgrund der weiteren Dekarbonisierung der Netze um -1,2 Prozent auf 0,63 Tonnen sank. Insgesamt ist er um -42,6 Prozent niedriger als 1999. Der Anteil der grünen Energie am gesamten Stromverbrauch lag im Jahr 2021 bei 44,6 Prozent [54].

Führende Vertreter der Automobilindustrie bekennen sich dazu, mehr und mehr nachhaltige Ressourcen zu nutzen und gleichzeitig gesunde Ökosysteme für künftige Generationen zu schaffen. Die Aktivitäten reichen von kleinen lokalen Projekten (d. h. sie investieren Zeit und Ressourcen in den Erhalt der Flora und Fauna in ihrer Umgebung) bis hin zu umfassenderen Kooperationen, die eine größere Bedeutung haben und dazu beitragen, das lokale Ökosystem zu erhalten und sogar zu verbessern (54).

Der Gesamtwasserverbrauch der Unterzeichner ging im Jahr 2021 im Vergleich zum Vorjahr um -17,3 Prozent zurück, während der Wasserverbrauch pro Fahrzeug um -6,3 Prozent sank, was auf eine höhere Effizienz trotz einer deutlich geringeren Anzahl produzierter Fahrzeuge zurückzuführen ist. Die zu deponierenden Abfälle pro Fahrzeug sanken im Vergleich zum Vorjahr um 2,6 Prozent auf 1,3 kg pro Einheit. Im Jahr 2021 wurden 83,1 Prozent der Abfälle recycelt, während 15,2 Prozent wiederverwendet oder verwertet wurden [54].

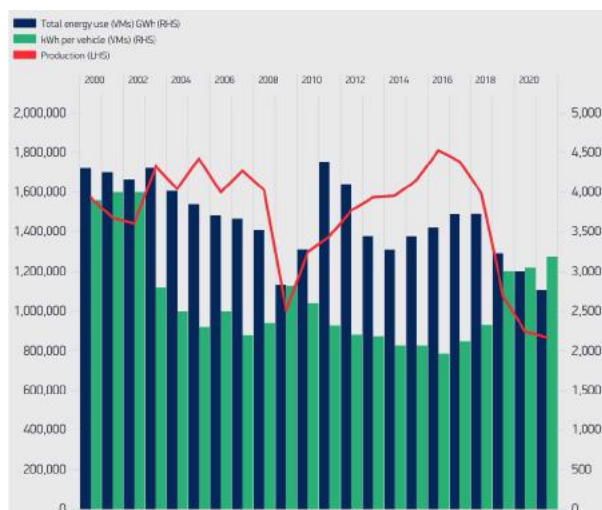


Abbildung 21. Energieverbrauch im Vergleich zur Produktion.
Quelle: [54]

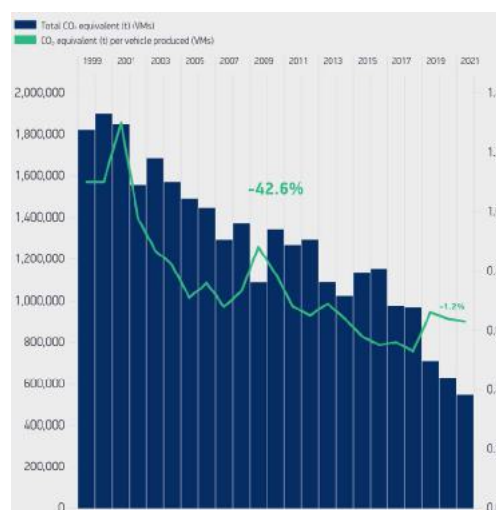


Abbildung 22. Gesamt-VM pro Fahrzeug CO₂.
Quelle: [54]

„Bewertung der Möglichkeit, bestehende Datenbanken zu nutzen“ -

einen Bericht mit einer Bewertung der ermittelten Indikatoren

„Industrielle Sektoren, die für Green PLM bereit sind, am Beispiel der Automobilindustrie (Automobile, Teile, Dienstleistungen)“

Die nachhaltige industrielle Entwicklung ist seit den 50er Jahren des XX. Jahrhunderts eines der Hauptthemen, die alle Länder beschäftigen [56]. Nach Vaz et al. erfordern nachhaltige Maßnahmen, einschließlich entsprechender Indikatoren, bestimmte Investitionen in Forschung und Entwicklung sowie einen gewissen Zeitrahmen, bis sie als neues Produktionsparadigma angenommen werden können [57]. Javaid et al. betonen, dass „die nachhaltige Produktion darauf abzielt, die grundlegenden Werte der nachhaltigen Entwicklung in den Industriesektor zu integrieren. Sie trägt zu einer höheren ökologischen, sozialen und wirtschaftlichen Effizienz bei. (...) Weltweit stehen die Hersteller unter dem Druck, ihre Umweltauswirkungen zu verringern. Es geht darum, die eingehenden Anfragen zu lernen, die geeignetsten umweltfreundlichen Aktivitäten zu identifizieren und anzuwenden und sie auf die Bedürfnisse der Industrie zuzuschneiden“ [58]. Der Produktumweltfußabdruck (Product Environmental Footprint, PEF) hat einen tiefgreifenden Einfluss auf die ökologische Nachhaltigkeit, doch die meisten der bestehenden PEF-Modelle sind für den Produktlebenszyklus nicht geeignet

Im Jahr 2018 startete die Europäische Kommission die Initiative „Single Market for Green Products“ und schlug im Jahr 2021 die Methoden „Product Environmental Footprint“ (PEF) und „Organisation Environmental Footprint“ (OEF) als gemeinsame Methode zur Messung der Umweltleistung vor [60]. PEF-Methode zur Modellierung der Umweltauswirkungen der Material-/Energieströme und der daraus resultierenden Emissionen und Abfallströme, die mit einem Produkt aus Sicht der Lieferkette verbunden sind (von der Gewinnung der Rohstoffe über die Nutzung bis hin zur endgültigen Abfallentsorgung) [61]. Der OEF wird anhand von aggregierten Daten berechnet, die die Ressourcen- und Abfallströme darstellen, die die definierten Organisationsgrenzen überschreiten [62]. Die endgültigen Product Environmental Footprint Category Rules (PEFCRs) und Organisation Environmental Footprint Sector Rules (OEFSRs) können zur Berechnung des Umweltfußabdruckprofils für Produkte und Organisationen verwendet werden. Laut der Europäischen Kommission wurden innerhalb der Environmental Footprint Impact Kategorien Gruppen von Indikatoren ausgewählt:

- **Der Klimawandel**
 - Zerstörung der Ozonschicht⁵⁶
 - Humantoxizität - Krebswirkungen
 - Humantoxizität - Nicht-Krebs-Wirkungen
- **Feinstaub**
 - Ionisierende Strahlung HH
 - Photochemische Ozonbildung
- **Acidification**
 - Eutrophierung - terrestrisch
 - Eutrophierung - Süßwasser
 - Eutrophierung - Meer
 - Ökotoxizität - Süßwasser
 - Landnutzung
 - Wasserknappheit
 - Ressourcennutzung, Mineralien
 - Ressourcenverbrauch, Energieträger

Die Bewertung der PEF-Lebenszyklusstadien sollte (mindestens) folgende Stadien umfassen:

1. Rohstoffbeschaffung und Vorverarbeitung (einschließlich Herstellung von Teilen und Komponenten);
2. Herstellung (Produktion des Hauptprodukts);
3. Vertrieb (Vertrieb und Lagerung des Produkts);
4. Verwendung;
5. Ende der Lebensdauer (einschließlich Produktrückgewinnung oder Recycling).

Marcon et al. weisen darauf hin, dass unter den Produkten mit nachhaltigen Eigenschaften - abgesehen von Lebensmitteln, Kleidung und Wohnraum - **Automobile** am häufigsten untersucht wurden [63]. Die Analyse verschiedener Sektoren zeigt, dass die Automobilindustrie aus ökologischer Sicht von entscheidender Bedeutung ist - laut der Veröffentlichung des Umweltprogramms der Vereinten Nationen (UNEP), die sich auf den Bericht „Resource Efficiency and Climate Change: Material Efficiency Strategies for a Low-Carbon Future“: „Die Herstellung und der effizientere Einsatz von Materialien für den Bau von Personenkraftwagen und Wohnhäusern könnte die CO₂-Äquivalent-Emissionen zwischen 2016 und 2060 in den Mitgliedsstaaten der Gruppe der Sieben (G7) um bis zu 25 Gigatonnen senken“ [64]. Laut [65] trägt der Straßenverkehr in hohem Maße zu den gesamten Umweltauswirkungen bei, da er etwa 20 % der Treibhausgasemissionen verursacht. Die Europäische Kommission geht in ihrer Strategie für

eine nachhaltige und intelligente Mobilität davon aus, dass bis 2030 mindestens 30 Millionen emissionsfreie Fahrzeuge auf den europäischen Straßen unterwegs sein werden [66]. Hannon et al. stellen fest, dass trotz der Elektrifizierung des Antriebsstrangs, um diese Erwartungen zu erfüllen, der größte Anteil der Kohlenstoffemissionen von Kraftfahrzeugen aus der Materialproduktion stammen wird - mindestens 30 % bis 2030 [66]. Die Analyse, die sich auf die Automobilindustrie konzentriert, zeigt, dass die Umsetzung von Änderungen im Zusammenhang mit der Materialeffizienz sich positiv auf die Verringerung der Treibhausgasemissionen bei leichten Nutzfahrzeugen auswirken kann - laut der in [67] vorgestellten Forschung könnten die Emissionen aus der Produktion von Materialien für die Herstellung von Autos bis 2050 um 30 bis 70 % gesenkt werden. Daher ist es für die Automobilindustrie und insbesondere für die Erstausrüster (OEMs) von entscheidender Bedeutung, ihre Produkte radikal umzugestalten.

Produkte und Prozesse. Automobilhersteller, die einem starken regulatorischen Druck in Bezug auf Nachhaltigkeit ausgesetzt sind, müssen den Ressourcenverbrauch in der Produktion reduzieren, die Recyclingfähigkeit von Materialien verbessern und die Auspuffemissionen während des Betriebs verringern [65]. Erwartet wird daher in erster Linie Transparenz: **„Die Hersteller müssen Transparenz über die in ihren vorgelagerten Aktivitäten enthaltenen Emissionen schaffen“**[66]. Darüber hinaus müssen sich die Automobilunternehmen auf nachhaltiges Design, Investitionen in saubere Technologien und Wertschöpfung für lokale und globale Gemeinschaften verlegen [65].

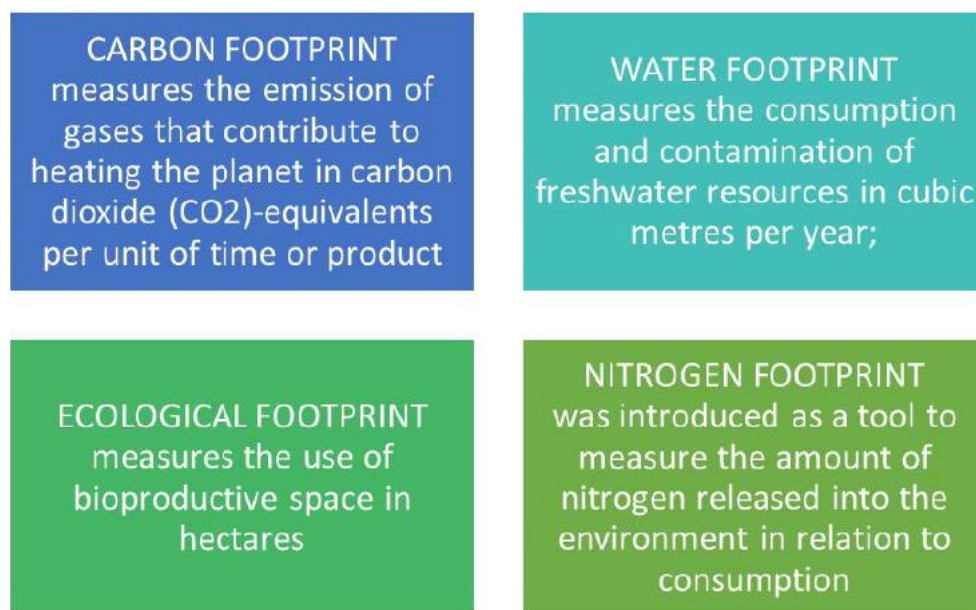


Abbildung 23. Fußabdruck-Definitionen; Quelle: [66]

Um die Transparenz der Treibhausgasemissionen (THG) von Produkten zu gewährleisten, wurde eine Reihe von Methoden entwickelt. Im Allgemeinen können sie in zwei Hauptgruppen unterteilt werden (alle aufgeführten Normen beruhen auf den Grundsätzen der ISO 14040 und ISO 14044) [68]:

- Einthemen-Methoden, die nur Emissionen und Auswirkungen des Klimawandels abdecken:
 - Die Norm ISO 14067 - die internationale Referenznorm für die Durchführung von PCF,
 - Nationale Normen (z. B. die vom British Standards Institute entwickelte PAS 2050, die als erste international verwendete Norm für den Carbon Footprint gilt),
 - Der GHG-Protokoll-Produktstandard;
- Methoden, die einen breiteren Anwendungsbereich haben und Umweltfragen über den Klimawandel hinaus abdecken:
 - Der Product Environmental Footprint (PEF) - eine von der EU empfohlene Methode zur Durchführung von Ökobilanzen,
 - Nationale Normen (z. B. BP X30-323-0),
 - EN 15804 - die europäische Norm mit grundlegenden Produktkategorieregeln für alle Bauprodukte und -dienstleistungen.

Das Konzept des „Wasserfußabdrucks“ wurde ursprünglich von Hoekstra eingeführt. Der Wasserfußabdruck wird in drei Hauptkategorien unterteilt [67]:

- **Blauer Wasserfußabdruck** - „die Menge an Oberflächen- und Grundwasser, die durch die Produktion einer Ware verbraucht (verdunstet) wird“,
- **Grüner Wasserfußabdruck** - „das verbrauchte Regenwasser“,
- **Fußabdruck des grauen Wassers** - „das Volumen an Süßwasser, das erforderlich ist, um die Schadstoffbelastung auf der Grundlage der geltenden Wasserqualitätsnormen zu absorbieren“.

Hirz und Brunner weisen darauf hin, dass **Ökodesign** in der **Automobilindustrie** eine umfassende Berücksichtigung zahlreicher Einflussfaktoren erfordert [68]. Laut Javaid et al. spart die Einführung neuer Fertigungstechnologien (z. B. additive Fertigung), die die Herstellung von Teilen ermöglichen, die komplizierte Baugruppen ersetzen können, Material [58] und macht die Fahrzeuge leichter, was zu einem geringeren Kraftstoffverbrauch führt. Dadurch werden die Herstellungsverfahren weniger schwierig als beispielsweise das Stanzen und Schweißen. In ähnlicher Weise werden verschiedene leichte Materialien (z. B. Aluminium) verwendet, um Stahl zu ersetzen [68]. Infolgedessen können die Hersteller nachhaltiger werden, indem sie Wege finden, weniger Ressourcen und Inhalte zu verwenden [58]. Aus Sicht des PLM besteht die dringende Notwendigkeit, entsprechende Indikatoren zu definieren, mit denen diese Veränderungen gemessen, verfolgt, überwacht und bewertet werden können, um die Richtlinien für eine nachhaltige Fertigung angemessen zu befolgen. Einer der wichtigsten Aspekte bei der Reduzierung des Energieverbrauchs in der Automobilindustrie ist die Verringerung des Gewichts eines Fahrzeugs [70]. Abgesehen vom Leichtbau sind die gängigsten Ansätze, die von OMEs in Bezug auf die Konstruktion umgesetzt werden, folgende [65]:

- Optimierung von Herstellungsverfahren/Technologien,
- Neukonstruktion von Fahrzeugbaugruppen/Komponenten,
- Effizientere Materialnutzung.

Die Ergebnisse der von Vaz et al. durchgeführten Studie zeigen, dass sich die Automobilindustrie zur Verringerung der mit der Produktion verbundenen Umweltauswirkungen auf [57] konzentriert hat:

- Auslagerung von erneuerbaren und recycelten Materialien,
- Einführung sauberer Technologien und Umweltmanagementsysteme in den einzelnen Produktionsstätten und in der gesamten Lieferkette,
- Reduzierung des Materialeinsatzes,
- Änderung der Herstellungsverfahren zur Wiederverwendung von Nebenprodukten und, wo möglich, von alternativen, weniger toxischen Materialien,
- Die Suche nach technologischen Alternativen zum Verbrennungsmotor (ICE).

In ähnlicher Weise zeigen die Analysen, die in dem oben erwähnten Bericht „Resource Efficiency and Climate Change: Material Efficiency Strategies for a Low-Carbon Future“ zeigen, dass die folgenden Materialkreislaufverbesserungen in der Automobilindustrie umgesetzt werden sollten, um negative Umweltauswirkungen zu reduzieren [67]:

- Höhere Produktionsausbeute und Vermeidung von Produktionsausschuss,
- Gewichtsreduzierung von Fahrzeugen durch Umstellung von Stahl auf Aluminium,
- Verlängerung der Lebensdauer und Steigerung der Wiederverwendung von Teilen und des Recyclings von Materialien aus Altfahrzeugen.

Nach Ciceri et al. können die oben genannten Voraussetzungen durch die Umsetzung des Konzepts des Sustainable Engineering erfüllt werden, das als **„eine Schicht von ingenieurwissenschaftlichen Ansätzen, Methoden und Werkzeugen verstanden wird, die die vier Säulen Gesellschaft, Wirtschaft, Umwelt und Technologie miteinander verbinden, um nachhaltigkeitsorientierte Ergebnisse zu erzielen“**. In der Praxis bedeutet dies die Anwendung wissenschaftlicher Erkenntnisse auf die Gestaltung und Umsetzung von Produkten, Materialien, Technologien und Prozessen unter Berücksichtigung der Besonderheiten jeder der vier Säulen der nachhaltigen Entwicklung, um Lösungen für gestalterische, betriebliche und organisatorische Aktivitäten im Zusammenhang mit Produkten, Prozessen, Dienstleistungen und Kultur in der verarbeitenden Industrie zu schaffen [71].

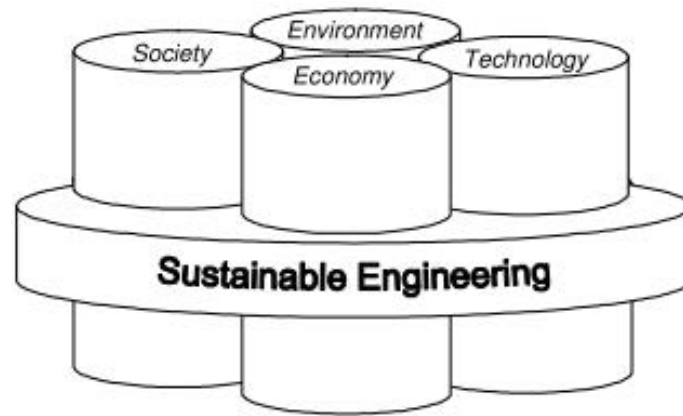


Abbildung 24. Säulen der nachhaltigen Entwicklung; Quelle: [71]

Heutzutage spielt die **nachhaltige Entwicklung in der Automobilindustrie zweifelsohne eine entscheidende Rolle**. Neben der rein wirtschaftlichen Sichtweise werden auch ökologische und gesellschaftliche Aspekte von Kunden und Vorschriften berücksichtigt und müssen daher von den Automobilherstellern eingehend berücksichtigt werden [70].

- Ökologiebezogene Faktoren konzentrieren sich auf:
 - den Verbrauch von Energie,
 - den Verbrauch von Ressourcen,
 - die Auswirkungen der produzierten Stoffe und Einflüsse auf die Umwelt;
- Gesellschaftsbezogene Faktoren werden berücksichtigt:
 - die Einbeziehung des Personals,
 - die Einflüsse auf die allgemeine Gesellschaft.

Die oben genannten Punkte müssen während des gesamten Lebenszyklus eines Automobils berücksichtigt werden [70]:

- Konzeptionsphase,
- Entwicklungsphase,
- Phase der Produktionstechnik,
- Herstellungsphase,
- In-use-phase,
- Recycling- und Entsorgungsphase.

Die nachstehende Abbildung zeigt die wichtigsten Schritte im Lebenszyklus eines Autos, die in Hauptphasen unterteilt sind.

Darüber hinaus werden die Einflüsse von Gesellschaft, Ökologie und Wirtschaft hervorgehoben [70].

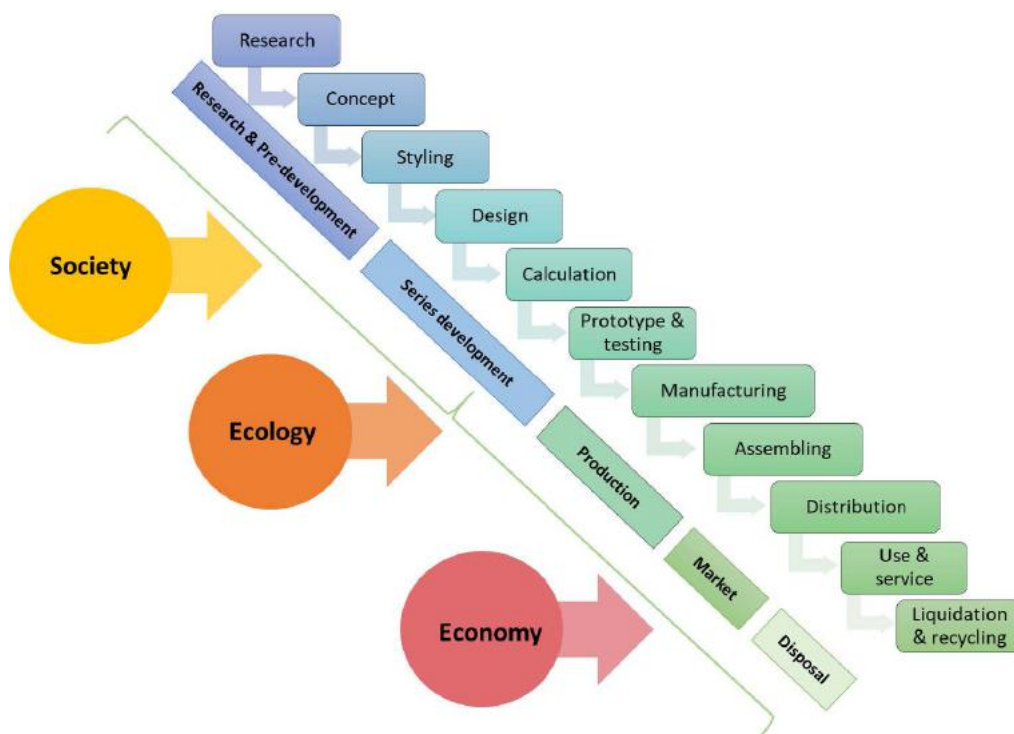


Abbildung 25. Lebenszyklus eines Autos und Einflussfaktoren; Quelle: [70]

Die ersten Phasen, in denen die Gestaltung neuer Produkte und der damit verbundenen Produktions- und Organisationsprozesse stattfindet, sind von besonderer Bedeutung. Entscheidungen, die in dieser Phase getroffen werden, wirken sich auf alle oben genannten Phasen aus. **Nachhaltige Produktgestaltung** bedeutet, Produkte und Prozesse so zu gestalten, dass sie die folgenden Anforderungen erfüllen [72]:

- Das gewonnene Rohmaterial entspricht den ökologischen und sozialen Kriterien.
- In der Lieferkette achten alle Beteiligten darauf, die Wege so kurz wie möglich zu halten und nur absolut notwendige Transporte durchzuführen.
- Die Produkte sind so konzipiert, dass sie eine maximale Lebensdauer haben.
- Die Produkte sind außerdem so konzipiert, dass sie leicht zu reparieren („refurbishing“) und auf dem Nachrüstungsmarkt wiederverwendbar sind.
- Sie können repariert und aufgerüstet werden, zum Beispiel durch den Austausch von Komponenten.

Die Entwicklung der **neuen digitalen Fabriken** und der Druck des Gesetzgebers erfordern eine **Anpassung der bestehenden PLM-Systeme**. Sie müssen die Unternehmen in Bezug auf kollaborative Prozesse und Arbeitsabläufe unterstützen, um den nachhaltigen Informationsaustausch zu verbessern. Nach Belkadi et al. besteht die **zentrale Herausforderung**

in diesem Zusammenhang nicht nur in der **Definition des Informationsflusses zwischen allen am Nachhaltigkeitsprozess beteiligten Einheiten**, sondern auch in der **Abbildung von Informationen zwischen verschiedenen Phasen des Produktionslebenszyklus** [73]. Im untersuchten Bereich wurde eine Reihe von Definitionen entwickelt, um den entstehenden Bereich genauer zu beschreiben, darunter:

- Nachhaltige Produkte [74],
- Closed Loop Lifecycle Management (CL2M)[75],
- Grüne Informationssysteme [75],
- Nachhaltiges PLM [75],
- Intelligente Produkte [75].

In der folgenden Abbildung sind die oben genannten Begriffe mit den entsprechenden Definitionen dargestellt:

TERM	DEFINITION
Sustainable products	products with positive social and/or environmental attributes
Closed Loop Lifecycle Management (CL2M)	attempts to extend PLM also to the usage, refurbishing, disposal and other lifecycle phases that product instances go through.
Green Information Systems	studies how to reduce the production of CO2 and other greenhouse gases through new combinations of people, processes, and technologies that enable the processing of digitized information
Sustainable PLM	a type of Closed Loop Lifecycle Management (CL2M) for the purpose of improving environmental sustainability during all phases of the lifecycle
Intelligent products	provide a model for how an information system can integrate supply and demand data to increase energy efficiency; Intelligent Products and messaging interfaces are the technological basis for introducing instance based architectures for Sustainable PLM

Abbildung 26. Definitionen im Zusammenhang mit Green PLM; Quelle: [74], [75]

In Bezug auf nachhaltige Produkte kann eine Reihe von Indikatoren in Betracht gezogen werden, um den Kunden die entsprechende Sicherheit und Informationen über ihre Nachhaltigkeitsleistung zu geben, zum Beispiel [74]:

- Nachhaltigkeitssiegel:
 - Bio,
 - Fair gehandelt,
 - Nicht gentechnisch verändert;
- Erzählerische Ansprüche und physisches Erscheinungsbild:
 - Biologisch abbaubare Verpackungen,
 - Weniger Verpackung.

Nach Främling et al. kann **nachhaltiges PLM** als eine Art von **Closed Loop Lifecycle Management (CL2M)** definiert werden. Das Hauptmerkmal ist die Möglichkeit, intelligente Produkte miteinander und gleichzeitig mit anderen Informationssystemen zu verbinden. Die Systeme, die als **grüne Informationssysteme** (Green IS) bezeichnet werden, zielen darauf ab, die Umweltauswirkungen zu verringern [75].

Ihr Ziel ist es, „die Produktion von CO₂ und anderen Treibhausgasen durch neue Kombinationen von Menschen, Prozessen und Technologien zu verringern, die die Verarbeitung digitalisierter Informationen ermöglichen“[75]. Främling et al. betonen, dass der Hauptzweck von CL2M darin besteht, Entwurf, Herstellung, Nutzung und Handhabung von Produkten am Ende ihrer Lebensdauer ständig zu verbessern, um „eine bessere Qualität, weniger Ausfälle, einen geringeren Bedarf an Ersatzteilen und einen Betrieb zu gewährleisten, der kontinuierlich auf dem energie- und ressourceneffizientesten Niveau gehalten wird“[75]. Nach Främling et al. sollte nachhaltiges PLM als CL2M verstanden werden, um die Umweltverträglichkeit in allen Phasen des Lebenszyklus zu verbessern. Ein Schlüsselthema im Zusammenhang mit nachhaltigem PLM ist die Messung der ökologischen Nachhaltigkeit und die Möglichkeiten zu ihrer Verbesserung. Daher ist es von entscheidender Bedeutung, Daten und entsprechende Indikatoren zu messen, zu sammeln und zu analysieren, die eine solide Grundlage und einen Auslöser für Unternehmen bei ihrer Umstellung auf eine umweltfreundliche Produktion darstellen können. Ein hilfreicher Ansatz in diesem Prozess ist die Lebenszyklusanalyse (LCA), die für **Life Cycle Assessment oder Life Cycle Analysis** steht und einen methodischen Rahmen für die Abschätzung und Bewertung der Umweltauswirkungen im Lebenszyklus eines Produkts definiert [75]. Nach Främling et al. ist es schwierig, bestehende ERP-Systeme zu erweitern und/oder an die Anforderungen eines nachhaltigen PLM anzupassen. Främling et al. stellen fest, dass „es wahrscheinlich ein einfacher, sicherer und skalierbarer Ansatz ist, intelligente produktbasierte Informationssysteme separat zu entwickeln und verstärkt zu nutzen und mit lagerbasierten Informationssystemen über ihre eigenen externen Schnittstellen zu kommunizieren. Die Realität und die Anforderungen an ein nachhaltiges PLM, das mehrere Organisationen, Hersteller usw. einbezieht, können nur dann in skalierbarer Weise erfüllt

werden, wenn eine lose gekoppelte Ad-hoc-Interoperabilität zwischen Geräten und anderen Informationssystemen technisch einfach und wirtschaftlich machbar ist. Wird die Bedeutung einer lose gekoppelten Integration nicht erkannt, kann sich die Geschwindigkeit der Entwicklung und Einführung eines nachhaltigen PLM verzögern“ [75].

Nach Vila et al. sollte eine **grüne PLM-Strategie** aus Mission, Vision und Ziel wie in der nachstehenden Abbildung dargestellt:



Abbildung 27. Abbildung Grüne PLM-Strategie; Quelle: [56]

Die folgenden Abbildungen zeigen Ansätze (56) für den Produktlebenszyklus mit grünen Kompetenzen [56], (57) Green Product Lifecycle Framework [56] und (58) ein Rahmenwerk von Gruppen grüner Produktattribute, die in die Phasen des Produktlebenszyklus unterteilt sind [63].

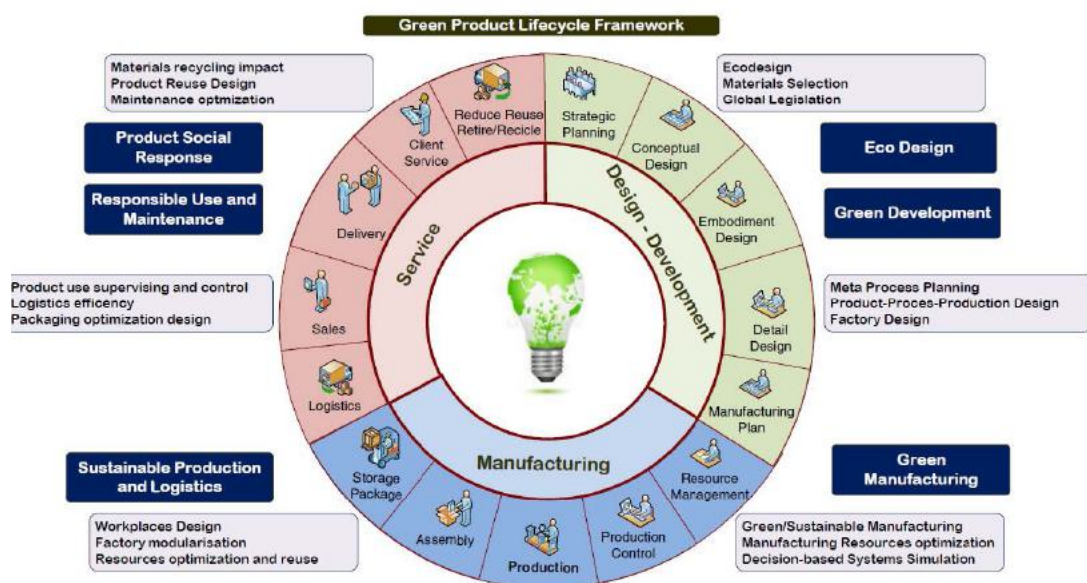


Abbildung 28. Ein von Vila et al. vorgeschlagener Ansatz für den Produktlebenszyklus mit grünen Kompetenzen; Quelle: [56]

Nach Vila et al. sollte der **Green Product Lifecycle Framework** aus 3 Hauptphasen bestehen [56]:

1. Entwurfs- und Entwicklungsphase mit Schwerpunkt auf Ökodesign und grüner Entwicklung, bestehend aus:

- Strategische Planung,
- Konzeptionelle Gestaltung,
- Verkörperung Design,
- Detail Design,
- Produktionsplan;

2. Produktionsphase mit Schwerpunkt auf umweltfreundlicher Produktion und nachhaltiger Produktion, bestehend aus:

- Speicherpaket,
- Montage,
- Produktion,
- Produktionskontrolle,
- Ressourcenmanagement;

3. Die Dienstleistungsphase, die sich auf nachhaltige Logistik, spezielle Produktreaktionen und verantwortungsbewusste Nutzung und Wartung konzentriert, besteht aus:

- Logistik,
- Verkäufe,
- Lieferung,
- Kundenbetreuung,
- Reduzieren/Wiederverwenden/Aussortieren/Recyceln;

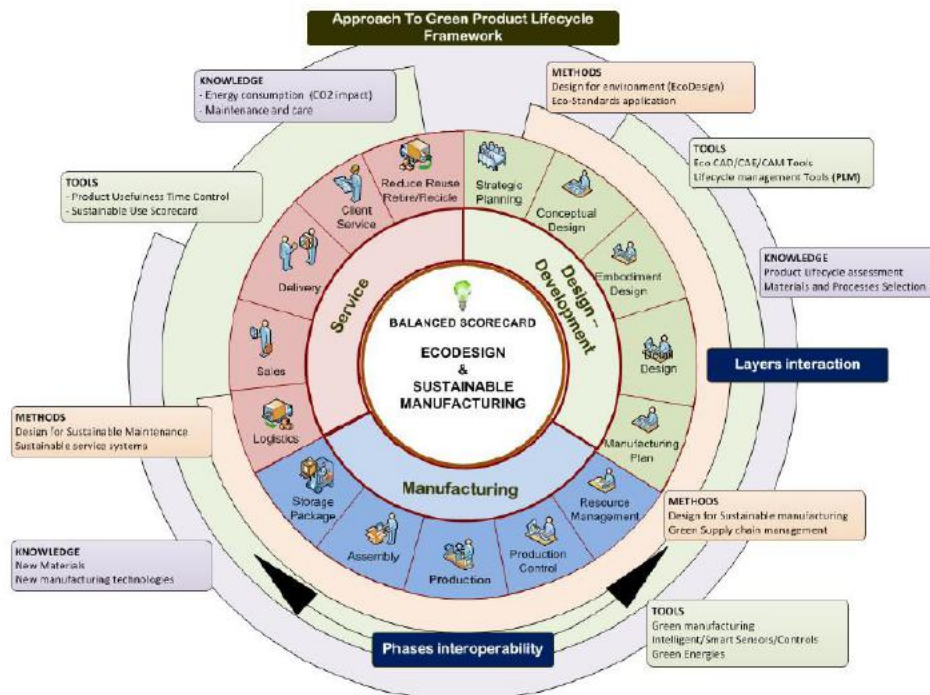


Abbildung 29. Ein von Vila et al. vorgeschlagener Ansatz für einen Rahmen für den grünen Produktlebenszyklus; Quelle: [56]

Für jede der drei oben genannten Phasen schlagen Vila et al. einen Ansatz vor, der auf speziellen Methoden, Werkzeugen und Wissen basiert [56]:

1. Entwurfs- und Entwicklungsphase:

• Methoden:

- Design für die Umwelt (Eco Design)
- Anwendung der Ökostandards

• Werkzeuge:

- Eco CAD/ CAE/ CAM-Werkzeuge
- Werkzeuge für das Lebenszyklusmanagement (PLM)

• Wissen:

- Bewertung des Produktlebenszyklus
- Auswahl von Materialien und Verfahren

2. Herstellungsphase:

• Methoden:

- Design für nachhaltige Produktion

- Grünes Management der Lieferkette
- **Werkzeuge:**
 - Grüne Produktion
 - Intelligente/ intelligente Sensoren/ Steuerungen
 - Grüne Energien
- **Wissen:**
 - Neue Materialien
 - Neue Fertigungstechnologien

3. Dienstleistungsphase:

- **Methoden:**
 - Design für nachhaltige Instandhaltung
 - Nachhaltiges Dienstleistungssystem
- **Werkzeuge:**
 - Produkt Nützlichkeit Zeitkontrolle
 - Scorecard für nachhaltige Nutzung
- **Wissen:**
 - Energieverbrauch (CO2-Belastung)
 - Wartung und Pflege.

Marcon et al. schlagen einen anderen Rahmen für ein grünes Produkt vor (siehe Abbildung unten). Sie unterteilen die Gruppen der grünen Produktattribute in 3 Hauptphasen des Produktlebenszyklus, nämlich - (56) Produktion, (57) Verwendung und (58) Ende der Nutzungsdauer [63].

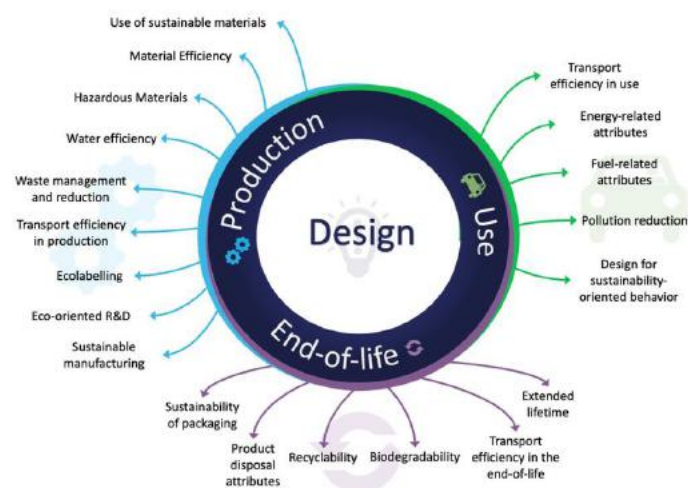


Abbildung 30. Ein Rahmen von Gruppen grüner Produkteigenschaften, unterteilt in die Phasen des Produktlebenszyklus vorgeschlagen von Marcon et al.; Quelle: [63]

Importance of intrinsic and extrinsic attributes for the purchase decision of cars and furniture.

	Importance level frequency					Avg.
	1	2	3	4	5	
Car attributes						
Economy	0	3	13	28	56	4.37
Design	2	1	16	50	31	4.07
Engine	1	1	19	38	41	4.17
New technologies for reducing emissions	3	8	22	27	40	3.93
Materials used for finishing	5	11	17	38	39	3.75

Respondents' preferences for green product attributes included in the experiment.

		Frequency
Car attributes		
Engine	Flexible-fuel	63%
	Hybrid	37%
New technologies	Emission reduction	61%
	Use of biomass for fuel	39%
Finishing materials	Natural fibers	43%
	Recycled materials	57%

Tabelle 3. Bedeutung von intrinsischen und extrinsischen Attributen für die Kaufentscheidung von Autos und Möbeln; Quelle: [72]

Identifizierung und Analyse der Indikatoren

Die Literaturrecherche zeigt, dass in vielen Studien Indikatoren und Konzepte für eine nachhaltige Entwicklung erforscht und auf der Grundlage von fünf Dimensionen definiert wurden: Wirtschaft, Ökologie, Gesellschaft, Technologie und Leistungsmanagement. Viele Organisationen unternehmen in dieser Hinsicht einige Anstrengungen. Das Ergebnis der Arbeit des Umweltprogramms der Vereinten Nationen (UNEP) und der US-amerikanischen NRO ist die Global Reporting Initiative (GRI), die mehr als 100 Indikatoren definiert hat und sich auf die ersten drei Dimensionen konzentriert. Eine weitere Bemühung des National Institute of Standards and Technology (NIST) ist das Repository of Sustainable Production Indicators (SMIR), das weithin verfügbare Indikatorensätze definiert und sich auf fünf Dimensionen konzentriert.

Auch die Hochschulen und Forschungszentren haben zahlreiche Untersuchungen zu diesem Thema durchgeführt und führen sie auch weiterhin durch. Auf der Grundlage der Analyse der Ergebnisse der oben genannten Aktivitäten ist es möglich, eine erste allgemeine Einteilung von Indikatoren zu definieren, die die Nachhaltigkeit des Produkts bestimmen [77].

Dimensions	Sustainability indicators	Dimensions	Sustainability indicators
Economy	Investment	Society	Labor Practices
	Economic performance		Human Rights
	Product Presence in the market		Social influence
	Green Process Design		Product Responsibility
	Green Manufacturing		Eco-design Responsibility
Ecology	Energy emissions	Technology	Innovative new materials care
	Carbon Foot Print		Life Cycle Assessment
	Waste Reduction		Design for Environment tools
	Water Usage		Zero Emissions & Waste
	Compliance		

Tabelle 4.c. Erfolgreiche Nachhaltigkeitsindikatoren.

Was die Ökologie betrifft, so hat die Europäische Kommission 2012 einen Multistandard-Indikator, den sogenannten Produkt-Umwelt-Fußabdruck (PEF), vorgeschlagen, um die Umwelt-

leistung eines Produkts während seines gesamten Lebenszyklus zu messen [78]. Das PEF-Bewertungssystem umfasst 14 Arten von Auswirkungen: Klimawandel, Ozonabbau, Ökotoxizität - Süßwasser, Humantoxizität - Krebseffekte, menschliche Toxizität - nicht krebserzeugende Wirkungen, einatembare anorganische Stoffe, ionisierende Strahlung, photochemische Ozon-synthese, Versauerung, Eutrophierung - Land, Eutrophierung - Gewässer, Wasserverbrauch, Verbrauch von Mineralien und Fossilien sowie Landtransfer. He et al. entwickelten eine Methode zur Bewertung dieser Auswirkungen auf den Produktlebenszyklus, die bei der Produktentwicklung in verschiedenen Branchen angewendet werden kann [59].

Khan et al. haben ein Lebenszyklus-Indexierungssystem - LInX - vorgeschlagen, das die Anwendung der Ökobilanz bei der Prozess- und Produktevaluierung und Entscheidungsfindung erleichtert [79]. Es umfasst vier Hauptgruppen von Indikatoren: Umwelt, Gesundheit und Sicherheit (EHS), Kosten, technische Machbarkeit und sozio-politische Faktoren. Jede dieser Gruppen wurde in spezifischere Attribute unterteilt:

1. Umwelt, Gesundheit und Sicherheit:

- Erschöpfung der Ressourcen;
- Treibhauseffekt;
- Zerstörung der Ozonschicht;
- Versauerungspotenzial;
- Oxidationspotenzial;
- Masse der freigesetzten Luftschadstoffe;
- Masse des freigesetzten Wasserschadstoffs;
- Masse der entsorgten festen Abfälle;
- Risiko für die menschliche Gesundheit;
- Ökologisches Risiko;
- Sicherheitsrisiko;

2. Technologie

- Technische Durchführbarkeit;
- Prozessbedingungen;
- Energieeffizienz;
- Mensch-Maschine-Interaktion;

3. Kostenstelle

- Feste Kosten;
- Betriebs- und Wartungskosten;

- Gesundheits-, Sicherheits- und Umweltkosten;

4. Soziopolitisches Haus

- Sozialpolitische Akzeptanz;
- Anfälligkeit des Gebiets;
- Soziale Auswirkungen.

Nach Hirz und Brunner können vier Hauptgruppen von Einflussfaktoren auf die Lebenszyklusleistung eines Autos unterschieden werden [70]:

1. Technische Daten:

- a.** Fahrzeugtyp, Größe und Gewicht,
- b.** Antriebstechnik,
- c.** Fahrzeugtechnik,
- d.** Materialien,

2. Versorgung mit Ressourcen und Energie:

- a.** Art und Menge der Energie für Produktion und Nutzung,
- b.** Materialien mit hoher/geringer Schlagzähigkeit,

3. Rohmaterialien:

- a.** Produktions- und Recyclingtechnik
- b.** Effiziente Produktions-, Lieferanten- und Logistikprozesse,
- c.** Design für Recycling,
- d.** Recycling-Technologien,

4. Phase der Nutzung:

- a.** Transportanforderungen,
- b.** Nutzerprofile, Fahrverhalten,
- c.** Kraftstoff- und Energieverbrauch,
- d.** Aufwand für Wartung und Instandhaltung.

Die folgende Tabelle enthält die von Staniszewska et al. [80] vorgeschlagenen, in Phasen unterteilten Maßnahmen für die umweltgerechte Gestaltung.

Area	Measures	Current state	Potential improvement	Impact on environment
Design	Weight of the product and its parts	Mass of products has been increasing steadily	Lighter product means less material	Medium
	Consumption of fuel	Products use fuel and gas, bigger and bigger engines are produced	Using hybrid, biofuels, electric cars and lightweight constructions	High
	Number of parts	Complicated designs with a lot of features	Simplifying the design	Medium
Raw materials	Resources used	Use of coal plants and nuclear plants	Increased use of renewable energy	High
	Hazardous materials	Use of toxic paint	Use of eco and natural paint	High
	Use of materials from recycling	Use of newly produced materials	Reuse of materials from old cars (aluminium, plastics, etc.)	Medium
Manufacturing and distribution	Use of media (energy, water)	Use of coal plants and nuclear plants, use of fresh water	Increased use of renewable energy and wastewater treatment plant	High
	Amount of waste	Big amounts of waste from manufacturing, documentation, packaging	Use of multiuse products, electronical communication, lean manufacturing etc.	Medium
	Use of hazardous materials	Use of harsh and toxic	Use of eco and natural substances	High
	Pollution	Pollution from electricity and fuels	Use of filters and modern ecological machines	High
	Type of packaging	Single use packaging, multi packaging	Single, recyclable packaging	Medium
	Mode of transport	Use of trucks	Use of rail and multimodal	High
	Size and weight	Products are heavy	Producing lightweight vehicles	Low
	Documentation	Paper documentation	Electronical documentation	Low
	Stock	High stock of materials and products	Lean management	Low
	Intensity	Delivery of few vehicles at once, depending on mode of transport and customer order	More rare but higher quantity deliveries	Medium
End of life	Reuse of parts	Landfilling the parts due to difficult reprocessing	Use of new technologies that help with reprocessing	High
	Hazardous waste	Inappropriate handling due to high cost	Raising the knowledge about handling and its consequences	High

Abbildung 31. Von Staniszewska et al. vorgeschlagene, in Phasen unterteilte Maßnahmen für die umweltgerechte Gestaltung; Quelle: [80]

Zhao et al. konzentrierten sich auf die folgenden nachhaltigkeitsbezogenen Indikatoren [81]:

- „GRI (**Global Reporting Initiative**) Nachhaltigkeitsindikator - 1997 rief das Umweltprogramm der Vereinten Nationen (UNEP) gemeinsam mit der US-amerikanischen Nichtregierungsorganisation Coalition for Environmentally Responsible Economics (CERES) die GRI ins Leben mit dem Ziel, „die Qualität, die Strenge und den Nutzen der Nachhaltigkeitsberichterstattung zu verbessern“[82]. Die Berichterstattung ist daher der Schwerpunkt der Leitlinien. Die GRI verwendet einen hierarchischen Rahmen in drei Schwerpunktbereichen, nämlich Soziales, Wirtschaft und Umwelt. Die Hierarchie besteht aus Kategorien, Aspekten und Indikatoren. Der Leitfaden enthält mehr als 100 Indikatoren. Allerdings sind nicht alle

Indikatoren leicht zu bewerten, und es wird keine Anleitung für die Auswahl der Indikatoren gegeben[83]. Der Leitfaden gibt jedoch Hinweise darauf, was auf einer niedrigeren Ebene, d. h. auf der Betriebs- oder Projektebene innerhalb des Unternehmens, berücksichtigt werden sollte, insbesondere wenn das Unternehmen nach den GRI-Grundsätzen über Nachhaltigkeit berichtet“[84].

- **„Die Institution of Chemical Engineers (IChemE)** hat im Jahr 2002 eine Reihe von Nachhaltigkeitsindikatoren veröffentlicht, um die Nachhaltigkeit von Prozessen in der Prozessindustrie zu messen. Das IChemE stellt Standard-Berichtsformulare und Umrechnungstabellen zur Verfügung [85]. Dieser Rahmen ist weniger komplex und wirkungsorientiert. Allerdings liegt der Schwerpunkt des Rahmens auf Umweltaspekten und quantifizierbaren Indikatoren, die möglicherweise nicht in allen Betriebspraktiken anwendbar sind, z. B. in den frühen Phasen des Lebenszyklus eines Projekts [86]“.

Zhao et al. stützen sich bei den Elementen der nachhaltigen Entwicklung auf GRI-Berichte und IChemE-Berichte [87]. In der folgenden Abbildung sind die Elemente der nachhaltigen Entwicklung für nachhaltiges PLM in **ökologische, wirtschaftliche** und **soziale Indikatoren** unterteilt.



Abbildung 32. Nachhaltigkeitsindikatoren für nachhaltiges PLM; Quelle: [81]

Autoren:

- dr inż. Mariusz Cholewa, dr inż. Joanna Helman
- dr inż. Mateusz Molasy, dr inż. Maria Rosienkiewicz
- Breslauer Universität für Wissenschaft und Technik
- Fakultät für Maschinenwesen
- Zentrum für fortschrittliche Fertigungstechnologien

Referenzen:

1. Schlacke, S., Wentzien, H., Thierjung, E.-M., Köster, M.: Implementing the EU Climate Law via the 'Fit for 55' package. Oxf. Open Energy. 1, oiab002 (2022). <https://doi.org/10.1093/ooenergy/oiab002>.
2. EU responses to climate change | News | European Parliament, <https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/society/20180703STO07129/eu-responses-to-climate-change>, last accessed 2022/09/02.
3. Climate change in Europe: facts and figures | News | European Parliament, <https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/society/20180703STO07123/climate-change-in-europe-facts-and-figures>, last accessed 2022/09/12.
4. A European Green Deal. Striving to be the first climate-neutral continent, https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en, last accessed 2022/09/02.
5. New research study on Green Deal, <https://frontex.europa.eu/future-of-border-control/eu-research/news-and-events/new-research-study-on-green-deal-Y3EKx6>, last accessed 2022/09/02.
6. CO2 emissions from cars: facts and figures (infographics) | News | European Parliament, <https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/society/20190313STO31218/co2-emissions-from-cars-facts-and-figures-infographics>, last accessed 2022/09/12.
7. McKinsey & Company: This surprising change can help the auto industry tackle emissions goals, <https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability/our-insights/sustainabilityblog/this-surprising-change-can-help-the-auto-industry-tackle-emissions-goals>, last accessed 2022/08/30.
8. The automotive industry and climate change Framework and dynamics of the CO2 (r)evolution (PWC), <https://www.pwc.com/th/en/automotive/assets/co2.pdf?fbclid=IwAR22KpDBJ4y0kAOEmLQKNFYyogN5UfY9dOibavAsTb-Eqbl8ONZDzqm55aA>.
9. Paris Agreement, https://ec.europa.eu/clima/eu-action/international-action-climate-change/climate-negotiations/paris-agreement_en, last accessed 2022/09/06.
10. The European Green Deal & Fit for 55 - KPMG Global, <https://home.kpmg/xx/en/home/insights/2021/11/the-european-green-deal-and-fit-for-55.html>, last accessed 2022/09/06.
11. PricewaterhouseCoopers: EU Green Deal Survey, <https://www.pwc.com/gx/en/services/tax/publications/are-europes-businesses-ready-for-the-eu-green-deal.html>, last accessed 2022/09/07.
12. Fit for 55: A major step towards a decarbonized EU by 2050. | EIRIE, <https://ses.jrc.ec.europa.eu/eirie/en/news-and-events/news/fit-55-major-step-towards-decarbonized-eu-2050>, last accessed 2022/09/07.
13. Fetting, C.: The European Green Deal. ESDN Report, December 2020, ESDN Office, Vienna. 22.
14. Industry and the Green Deal, https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/industry-and-green-deal_en, last accessed 2022/09/06.
15. The EU Emissions Trading Scheme (ETS) and its reform in brief | News | European Parliament, <https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/society/20170213STO62208/the-eu-emissions-trading-scheme-ets-and-its-reform-in-brief>, last accessed 2022/09/12.
16. Fit for 55 będzie rewolucją dla transportu drogowego (Puls Biznesu), <http://pb.pl/fit-for-55-bedzie-rewolucja-dla-transportu-drogowego-1129041>, last accessed 2022/09/06.
17. Carbon Border Adjustment Mechanism, https://taxation-customs.ec.europa.eu/green-taxation-0/carbon-border-adjustment-mechanism_en, last accessed 2022/09/07.
18. European Council on Foreign Relations, Leonard, M., Pisani-Ferry, J., Bruegel European Think Tank, Peterson Institute, European University, Shapiro, J., European Council on Foreign Relations, Tagliapietra, S., Bruegel European Think Tank, Wolf, G., Bruegel European Think Tank: The geopolitics of the European Green Deal. Int. Organ. Res. J. 16, 204–235 (2021). <https://doi.org/10.17323/1996-7845-2021-02-10>.
19. Bassi, F., Dias, J.G.: The use of circular economy practices in SMEs across the EU. Resour. Conserv. Recycl. 146, 523–533 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.03.019>.
20. Hernandez, M.D.A., Bakthavatchalam, V.: Circular economy as a strategy in European automotive industries to achieve Sustainable Development: A qualitative study. 5 (2022).
21. PIE: Fit for 55 wpłynie na redukcję emisji z transportu pasażerskiego w Polsce nawet o 70 proc. (Puls Biznesu), <http://pb.pl/pie-fit-for-55-wplynie-na-redukcje-emisji-z-transportu-pasazerskiego-w-polsce-nawet-o-70-proc-1162767>, last accessed 2022/09/06.
22. Global Car Industry Must Shift to Low Carbon to Survive - CDP | UNFCCC, <https://unfccc.int/news/global-car-industry-must-shift-to-low-carbon-to-survive-cdp>, last accessed 2022/09/07.
23. Wellbrock, W., Ludin, D., Röhrle, L., Gerstlberger, W.: Sustainability in the automotive industry, importance of and impact on automobile interior – insights from an empirical survey. Int. J. Corp. Soc. Responsib. 5, 10 (2020). <https://doi.org/10.1186/s40991-020-00057-z>.
24. Salvado, M., Azevedo, S., Matias, J., Ferreira, L.: Proposal of a Sustainability Index for the Automotive Industry. Sustainability. 7, 2113–2144 (2015). <https://doi.org/10.3390/su7022113>.
25. Meuer, J., Koelbel, J., Hoffmann, V.H.: On the Nature of Corporate Sustainability. Organ. Environ. 33, 319–341 (2020). <https://doi.org/10.1177/1086026619850180>.
26. Upward, A., Jones, P.: An Ontology for Strongly Sustainable Business Models: Defining an Enterprise Framework Compatible With Natural and Social Science. Organ. Environ. 29, 97–123 (2016). <https://doi.org/10.1177/1086026615592933>.
27. Purvis, B., Mao, Y., Robinson, D.: Three pillars of sustainability: in search of conceptual origins. Sustain. Sci. 14, 681–695 (2019). <https://doi.org/10.1007/s11625-018-0627-5>.
28. Winter, M., Knemeyer, A.M.: Exploring the integration of sustainability and supply chain management: Current state and opportunities for future inquiry. Int. J. Phys. Distrib. Logist. Manag. 43, 18–38 (2013). <https://doi.org/10.1108/09600031311293237>.
29. Fit for 55: MEPs back objective of zero emissions for cars and vans in 2035 | News | European Parliament, <https://www.europarl.europa.eu/news/en/press-room/20220603IPR32129/fit-for-55-meps-back-objective-of-zero-emissions-for-cars-and-vans-in-2035>, last accessed 2022/09/12.
30. Reducing car emissions: new CO2 targets for cars and vans explained, <https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/society/20180920STO14027/reducing-car-emissions-new-co2-targets-for-cars-and-vans-explained>, last accessed 2022/09/02.
31. PLM Plays Part Tracking Carbon Footprint in DE, <https://plmgreenalliance.com/plm-green-examples/plm-plays-part-tracking-carbon-footprint-in-de/>, last accessed 2022/09/13.

32. Goldman Sachs: najlepsza droga do Fit for 55 to masowa elektryfikacja (Puls Biznesu), <http://pb.pl/goldman-sachs-najlepsza-droga-do-fit-for-55-to-masowa-elektryfikacja-1139688>, last accessed 2022/09/06.
33. Hertwich, Edgar, Lifset, Reid, Pauliuk, Stefan, Heeren, Niko, Ali, Saleem, Tu, Qingshi, Ardente, Fulvio, Berrill, Peter, Fishman, Tomer, Kanaoka, Koichi, Kulczycka, Joanna, Makov, Tamar, Masanet, Eric, Wolfram, Paul: Resource Efficiency and Climate Change: Material Efficiency Strategies for a Low-Carbon Future. Zenodo (2019). <https://doi.org/10.5281/ZENODO.3542680>.
34. Koplin, J., Seuring, S., Mesterharm, M.: Incorporating sustainability into supply management in the automotive industry – the case of the Volkswagen AG. *J. Clean. Prod.* 15, 1053–1062 (2007). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.05.024>.
35. Jasiński, D., Meredith, J., Kirwan, K.: Sustainable development model for measuring and managing sustainability in the automotive sector. *Sustain. Dev.* 29, 1123–1137 (2021). <https://doi.org/10.1002/sd.2207>.
36. Sharma, M.: The Role of Employees' Engagement in the Adoption of Green Supply Chain Practices as Moderated by Environment Attitude: An Empirical Study of the Indian Automobile Industry. *Glob. Bus. Rev.* 15, 255–385 (2014). <https://doi.org/10.1177/0972150914550545>.
37. Toth Arpad, Suta Alex: Global Sustainability Reporting in the Automotive Industry via the eXtensible Business Reporting Language. *Chem. Eng. Trans.* 88, 1087–1092 (2021). <https://doi.org/10.3303/CET2188181>.
38. Srivastava, S.K.: Green supply-chain management: A state-of-the-art literature review. *Int. J. Manag. Rev.* 9, 53–80 (2007). <https://doi.org/10.1111/j.1468-2370.2007.00202.x>.
39. El Baz, J., Iddik, S.: Green supply chain management and organizational culture: a bibliometric analysis based on Scopus data (2001–2020). *Int. J. Organ. Anal.* 30, 156–179 (2022). <https://doi.org/10.1108/IJOA-07-2020-2307>.
40. Bocken, N.M.P., Short, S.W., Rana, P., Evans, S.: A literature and practice review to develop sustainable business model archetypes. *J. Clean. Prod.* 65, 42–56 (2014). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.039>.
41. Global Sustainable Investment Review 2020, <http://www.gsi-alliance.org/>, last accessed 2022/09/02.
42. United Nations Sustainable Development Goals, <https://www.un.org/sustainabledevelopment/>, last accessed 2022/09/13.
43. The Sustainable Development Goals Report 2022, <https://unstats.un.org/sdgs/report/2022/>, last accessed 2022/09/13.
44. Greenhouse Gas Protocol, <https://www.wri.org/initiatives/greenhouse-gas-protocol>, last accessed 2022/09/13.
45. What are Scopes 1, 2 and 3 of Carbon Emissions?, <https://plana.earth/academy/what-are-scope-1-2-3-emissions>, last accessed 2022/09/13.
46. Kirchherr, J., Reike, D., Hekkert, M.: Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resour. Conserv. Recycl.* 127, 221–232 (2017). <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>.
47. Kirchherr, J., Piscicelli, L., Bour, R., Kostense-Smit, E., Muller, J., Huibrechtse-Truijens, A., Hekkert, M.: Barriers to the Circular Economy: Evidence From the European Union (EU). *Ecol. Econ.* 150, 264–272 (2018). <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.04.028>.
48. First circular economy action plan, https://environment.ec.europa.eu/topics/circular-economy/first-circular-economy-action-plan_en, last accessed 2022/09/06.
49. Calisto Friant, M., Vermeulen, W.J.V., Salomone, R.: Analysing European Union circular economy policies: words versus actions. *Sustain. Prod. Consum.* 27, 337–353 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.11.001>.
50. Circular Economy Action Plan I, <https://www.switchtogreen.eu/circular-economy-strategy/>, last accessed 2022/09/06.
51. The Automotive Industry in the Era of Sustainability report, <https://www.capgemini.com/news/press-releases/the-automotive-industry-in-the-era-of-sustainability-report/>, last accessed 2022/09/02.
52. Shannon, M.A., Bohn, P.W., Elimelech, M., Georgiadis, J.G., Marinas, B.J., Mayes, A.M.: Science and technology for water purification in the coming decades. *10* (2008).
53. 2022 Deloitte CxO Sustainability Report, <https://www2.deloitte.com/global/en/pages/operations/articles/deloitte-cxo-sustainability-report.html>, last accessed 2022/09/02.
54. Automotive Sustainability Report 2022, <https://www.smmmt.co.uk/industry-topics/sustainability/>, last accessed 2022/09/02.
55. #GetOutInFront. Global Research Report, December 2020 (Deloitte), <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/global/Documents/Risk/gx-get-out-infront-final.pdf>.
56. Vila, C., Abellán-Nebot, J.V., Albiñana, J.C., Hernández, G.: An Approach to Sustainable Product Lifecycle Management (Green PLM). *Procedia Engineering*. 132, 585–592 (2015). <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.12.608>.
57. Vaz, C.R., Rauen, T.R.S., Lezana, Á.G.R.: Sustainability and Innovation in the Automotive Sector: A Structured Content Analysis. *Sustainability*. 9, 880 (2017). <https://doi.org/10.3390/su9060880>.
58. Javaid, M., Haleem, A., Singh, R.P., Suman, R., Gonzalez, E.S.: Understanding the adoption of Industry 4.0 technologies in improving environmental sustainability. *Sustainable Operations and Computers*. 3, 203–217 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.susoc.2022.01.008>.
59. He, B., Shao, Y., Wang, S., Gu, Z., Bai, K.: Product environmental footprints assessment for product life cycle. *Journal of Cleaner Production*. 233, 446–460 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.078>.
60. European Commission: Recommendation on the use of Environmental Footprint methods, https://environment.ec.europa.eu/publications/recommendation-use-environmental-footprint-methods_en, last accessed 2022/08/26.
61. Product Environmental Footprint Guide.
62. Organisation Environmental Footprint Guide.
63. Marcon, A., Ribeiro, J.L.D., Dangelico, R.M., de Medeiros, J.F., Marcon, É.: Exploring green product attributes and their effect on consumer behaviour: A systematic review. *Sustainable Production and Consumption*. 32, 76–91 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.04.012>.
64. Materials used to build cars and homes key to tackling global warming, <http://www.unep.org/news-and-stories/press-release/materials-used-build-cars-and-homes-key-tackling-global-warming>, last accessed 2022/08/09.
65. Antonacci, A., Del Pero, F., Baldanzini, N., Delogu, M.: Holistic eco-design tool within automotive field. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 1214, 012045 (2022). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1214/1/012045>.

66. Erzin, A.E., Hoekstra, A.Y.: Carbon and water footprints: concepts, methodologies and policy responses. Elektronische Ressource. UNESCO, Paris (2012).
67. SimaPro database manual, <https://simapro.com/wp-content/uploads/2020/10/DatabaseManualMethods.pdf>, last accessed 2022/10/07.
68. Product Carbon Footprint standards: which one to choose?, <https://pre-sustainability.com/articles/product-carbon-footprint-standards-which-standard-to-choose/>, last accessed 2022/10/07.
69. Mekonnen, M., Hoekstra, A.: The Green, Blue and Grey Water Footprint of Crops and Derived Crop Products. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*. 15, (2011). <https://doi.org/10.5194/hess-15-1577-2011>.
70. Hirz, M., Brunner, H.: ECO-Design in the Automotive Industry – Potentials and Challenges. (2015).
71. Ciceri, N.D., Garetti, M., Terzi, S.: Product Lifecycle Management Approach for Sustainability. 8.
72. The Circular Economy as a Model for the Future.
73. Belkadi, F., Bernard, A., Laroche, F.: Knowledge Based and PLM Facilities for Sustainability Perspective in Manufacturing: A Global Approach. (2015). <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.01.065>.
74. Bangsa, A.B., Schlegelmilch, B.B.: Linking sustainable product attributes and consumer decision-making: Insights from a systematic review. *Journal of Cleaner Production*. 245, 118902 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118902>.
75. Främling, K., Holmström, J., Loukkola, J., Nyman, J., Kaustell, A.: Sustainable PLM through Intelligent Products. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 26, 789–799 (2013). <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2012.08.012>.
76. de Medeiros, J.F., Ribeiro, J.L.D., Cortimiglia, M.N.: Influence of perceived value on purchasing decisions of green products in Brazil. *Journal of Cleaner Production*. 110, 158–169 (2016). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.07.100>.
77. Zhang, H., Ouzrout, Y., Bouras, A., Savino, M.M.: Sustainability consideration within product lifecycle management through maturity models analysis. *IJSOM*. 19, 151 (2014). <https://doi.org/10.1504/IJSOM.2014.065330>.
78. Lehmann, A., Bach, V., Finkbeiner, M.: EU Product Environmental Footprint—Mid-Term Review of the Pilot Phase. *Sustainability*. 8, 92 (2016). <https://doi.org/10.3390/su8010092>.
79. Khan, F.I., Sadiq, R., Veitch, B.: Life cycle iNdeX (LiNX): a new indexing procedure for process and product design and decision-making. *Journal of Cleaner Production*. 12, 59–76 (2004). [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(02\)00194-4](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(02)00194-4).
80. Staniszevska, E., Klimecka-Tatar, D., Obrecht, M.: Eco-design processes in the automotive industry. *Production Engineering Archives*. 26, 131–137 (2020). <https://doi.org/10.30657/pea.2020.26.25>.
81. Zhao, W.-B., Park, Y.H., Lee, H.Y., Jun, C.M., Do Noh, S.: Design and Implementation of a PLM System for Sustainable Manufacturing. In: Rivest, L., Bouras, A., and Louhichi, B. (eds.) *Product Lifecycle Management. Towards Knowledge-Rich Enterprises*. pp. 202–212. Springer, Berlin, Heidelberg (2012). https://doi.org/10.1007/978-3-642-35758-9_18.
82. GRI - Home, <https://www.globalreporting.org/>, last accessed 2022/08/05.
83. Veleva, V., Ellenbecker, M.: A Proposal for Measuring Business Sustainability: Addressing Shortcomings in Existing Frameworks. *Greener Management International*. 101–120 (2000).
84. Labuschagne, C., Brent, A.C., van Erck, R.P.G.: Assessing the sustainability performances of industries. *Journal of Cleaner Production*. 13, 373–385 (2005). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2003.10.007>.
85. Institution of Chemical Engineers - IChemE, <https://www.icheme.org/>, last accessed 2022/08/05.
86. Labuschagne, C.: Sustainable project life cycle management: Criteria for the South African process industry, (2003).
87. Zhao, W.B.: A study on concept design of a PLM system for sustainable engineering. In: *Annual Conference of CAD/CAM*, PyeongChang (2012).

„Lassen Sie uns Ihr Wegweiser auf dem Weg zur digitalen Exzellenz sein

„Kontaktieren Sie uns!

**Übergang
Technologien PSC**

contact@ttpsc.com
www.ttpsc.com



TRANSITION
TECHNOLOGIES