In die Zukunft navigieren

Die AutoRess-Roadmap für ressourcenschonende und kreislaufwirtschaftsfähige E-Kraftfahrzeuge



Für Mensch & Umwelt

Umwelt Bundesamt

Impressum

Herausgeber:
Umweltbundesamt
Fachbereich I Umweltplanung und Nachhaltigkeitsstrategien
Fachbereich III Nachhaltige Produktion und Produkte, Kreislaufwirtschaft

Postfach 14 06
06813 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
buergerservice@umweltbundesamt.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

Autoren:
Jürgen Sutter, Öko-Institut

Redaktion:
Martin Kortschack, Umweltbundesamt
Fachgebiet I 2.2 Schadstoffminderung und Energieeinsparung im Verkehr

Regina Kohlmeyer, Umweltbundesamt
Fachgebiet III 1.2 Produktverantwortung – Elektrogeräte, Fahrzeuge und Batterien

Satz und Layout:
Gerda Palmetshofer

Publikationen als pdf:
www.umweltbundesamt.de/publikationen

Bildquellen:
© istock, gremlin

Stand: Oktober 2025

ISSN 2363-832X

In die Zukunft navigieren

Die AutoRess-Roadmap für ressourcenschonende und kreislaufwirtschaftsfähige E-Kraftfahrzeuge

Maßnahmen zur Reduktion des Rohstoffbedarfs im Verkehrssektor durch zirkuläre Ökonomie parallel zu einer Energiewende im PKW-Verkehr

Öko-Institut e.V.

ifeu
INSTITUT FÜR ENERGIE- UND UMWELTFORSCHUNG HEIDELBERG

team ewen
| Konflikt- und Prozessmanagement

Mehlhart Consulting

Inhalt

Die AutoRess-Roadmap 4

1 PKWs der Zukunft 6

2 Modellierung des AutoRess-Referenzszenarios 8

3 Treibhausgasemissionen und Materialbedarf des PKW-Verkehrs in Deutschland 10

4 Vision eines ressourcenschonenden E-Fahrzeuges 12

Maßnahmen

5 Maßnahmen Fahrzeuggröße 14

6 Maßnahmen Energieverbrauch bzw. THG-Emissionen 16

7 Maßnahmen Langlebigkeit 18

8 Maßnahmen Recycling 20

AutoRess-Roadmap

Die Roadmap zeigt auf, welche politischen und anderen Maßnahmen relevante Verringerungen der Treibhausgasemissionen und des Rohstoffverbrauchs aus dem PKW-Verkehr erreicht werden können.

Welche Hebel gibt es?

- Fahrzeuggröße
- Energieverbrauch/ THG-Emissionen
- Langlebigkeit
- Recycling

bereits umgesetzt

- Energieeffizienz-kennzeichnung

› kurzfristig

- Bonus-Malus-System Fahrzeuggröße (++)
- Firmenwagen-Besteuerung (++)
- Umweltbonus in KfZ-Versicherung (++)
- Richtlinien für öffentliche Beschaffung (+)

›› mittelfristig

- Garantie Fahrzeug-Lebensdauer (+++)
- Garantie Batterie-Lebensdauer (+++)
- Austausch von Komponenten (+++)
- Informationen Batterie-Reparatur (++)
- Garantie Ersatzteil-Lebensdauer (++)
- Extender Producer Responsibility (EPR)-System (+++)
- Vorgaben für Schredder (+++)
- Rezyklateinsatzquote für Kunststoffe (++)
- Rezyklateinsatzquote für Stahl (++)
- Info-Material Recyclingfähigkeit (++)
- Demontage von Komponenten (+++)
- Fahrzeug-Kreislaufwirtschaftspass
- Recyclingziele für Glas und Kunststoffe (++)
- Informationen gefährliche Stoffe (++)

Maßnahmen, die auf EU-Ebene unmittelbar vor der Einführung stehen.

››› langfristig

- LCA Flottenzielwerte (+++)
- Product Carbon Footprint (PCF) (+++)
- Mindestwerte Energiedichte von Batterien (+++)
- CO_2-Flottenziel (+++)

2025 2045

Wen adressiert diese Maßnahme?

Beschaffung & Nutzung
Kaufentscheidung
KfZ-Versicherungen

Produktion
Fahrzeughersteller
Batteriehersteller
Zulieferer

Reparatur
Reparatur-Werkstätten
Remanufacturing-Betriebe

Entsorgung & Recycling
Altfahrzeug-Demontagebetriebe
(Post-)Schredderanlagenbetreiber
Recyclingbetriebe

Auf welcher Ebene wird die Maßnahme umgesetzt?

EU | Deutschland

Wie wirksam ist die Umsetzung der Maßnahme?

nicht bemessbar | + gering | ++ mittel | +++ hoch

Wie ist die Maßnahme umsetzbar?

leicht | mittel | schwierig

1 PKWs der Zukunft

Diese Roadmap ist Teil des Refoplan-Projekts ***„AutoRess – Ressourcenschonende und kreislaufwirtschaftsfähige Kraftfahrzeuge: Instrumente und Maßnahmen zur Reduktion des Rohstoffbedarfs im Verkehrssektor durch zirkuläre Ökonomie parallel zu einer Energiewende im Verkehr“*** *(FKZ 3722 57 101 0), das Öko-Institut, ifeu, Mehlhart Consulting und team ewen im Auftrag des Umweltbundesamts durchgeführt haben.*

In AutoRess wurden Optionen zur Verringerung der Auswirkungen des PKW-Verkehrs in Deutschland auf das Klima und den Ressourcenverbrauch analysiert. Der Schwerpunkt in AutoRess lag auf den Fahrzeu-gen, insbesondere E-Fahrzeugen, nicht auf übergrei-fenden Themen wie Verkehrsvermeidung- und verlagerung, Car-Sharing usw. Es wurden 10 Handlungsfelder für zusätzliche Treibhausgas- und Materialeinsparungen definiert und anschließend eingehend analysiert:

- Antriebswechsel
- Verkleinerung der Fahrzeuge
- Leichtbau
- Kreislauforientiertes Design
- Reparatur und Wiederaufbereitung von E-Fahrzeug-Batterien
- Reparatur und Wiederaufbereitung der Fahrzeugkarosserie
- Rezyklateinsatz von Batterierohstoffen
- Rezyklateinsatz von Metallen der Fahrzeugkarosserie
- Kreislaufführung von Kunststoffen
- Altfahrzeugentsorgung

Ziel dieser Roadmap ist es, Wege aufzuzeigen, mit welchen politischen und anderen Maßnahmen relevante Verringerungen der Treibhausgasemissionen und des Rohstoffverbrauchs aus dem PKW-Verkehr erreicht werden können.

Wesentliche Schritte, um CO_2-Emissionen und andere Umweltlasten aus der Fahrzeugproduktion und Rohstoffabhängigkeiten zu senken, sind *Downsizing* (Verkleinerung der Fahrzeuge), die Steigerung der Nutzungsdauer, sowohl des gesamten Fahrzeugs als auch der einzelnen Komponenten (z. B. durch *Re-Use*, *Re-Manufacturing* oder andere *Second-Life*-Anwendungen), die Verringerung des Energieverbrauchs und die Steigerung des Recyclings der einzelnen Materialien im Rahmen einer Kreislaufwirtschaft (*Circular Economy*).

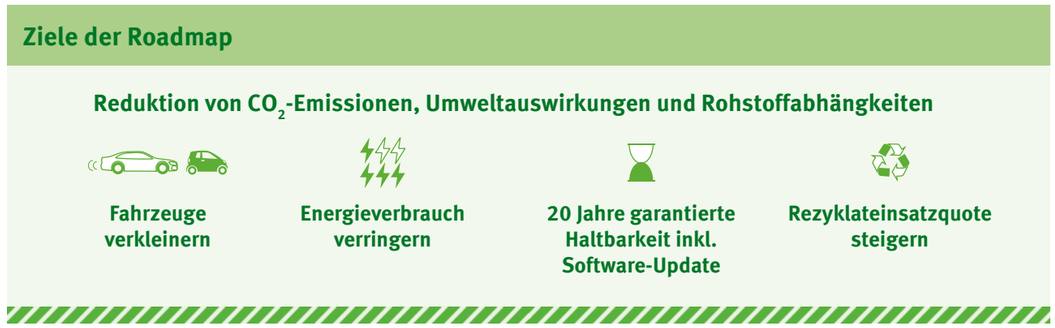
Abbildung 1



Quelle: eigene Darstellung AutoRess, Öko-Institut/ifeu

› Detaillierte Darstellung zu den PKWs der Zukunft siehe Kapitel 4 des AutoRess-Abschlussberichtes.

Abbildung 2



Quelle: eigene Darstellung AutoRess, Öko-Institut/ifeu

Mit der zunehmenden Marktdurchdringung elektrischer Antriebskonzepte im Verkehrsbereich steigt der Bedarf an kritischen Rohstoffen signifikant. Viele dieser kritischen Rohstoffe sind in ihrer Primärgewinnung mit erheblichen ökologischen und sozialen Auswirkungen verbunden (z. B. Kobalt, Nickel, Lithium, Seltene Erden usw.). Für einen durchschnittlichen elektrischen PKW der Kompaktklasse werden ca. 1.800 kg an Rohstoffen benötigt, von denen die meisten importiert werden müssen.

Im Jahr 2018 verursachte die Fahrzeugherstellung mit 82 Millionen Tonnen Rohstoffäquivalenten 6,2 % des gesamten Rohstoffverbrauchs in Deutschland. Zusätzlich erfordert die Herstellung verschiedener Materialien und Komponenten oft einen hohen Energieaufwand, z. B. die Fertigung von Zellmaterial für die Batterien. Aber auch andere Metalle, die im Fahrzeug in größeren Mengen verwendet werden, wie zum Beispiel Kupfer, Aluminium und Stahl, zeigen relevante Umweltauswirkungen in ihrer Primärproduktion (im Bergbau, der Erzaufbereitung, der Verhüttung und der Raffination).

Die *Übereinkunft von Paris* und der *Klimaschutzplan 2050* setzen auch im Verkehrssektor klare CO_2-Minderungsziele. Diese sind nur mit einem deutlichen Anstieg bei der Elektrifizierung der Fahrzeuge zu erreichen.

Die Elektrifizierung zusammen mit der Defossilisierung der Stromerzeugung führen langfristig zu einer Verringerung der Treibhausgasemissionen im Verkehrssektor während der Nutzungsphase. Damit steigt die relative Bedeutung des Verbrauchs an primären Rohstoffen in der Produktion der Fahrzeuge in den Auswirkungen auf die Umwelt. Der Circular Economy kommt bei der Einsparung von Treibhausgasemissionen und Rohstoffverbräuchen eine wichtige Rolle zu.

Bereits die *RESCUE-Studie*[1] von 2019 zeigte auf, wie ein ressourcenschonender und treibhausgasneutraler Verkehr bis zum Jahr 2050 aussehen sollte. Für die beiden Grundstrategien *Substitution von Techniken und Produkten* sowie *Vermeidung durch Effizienz, Suffizienz bzw. Konsistenz* empfahl die *RESCUE-Studie* im PKW-Bereich einen vollständigen Ausstieg aus Verbrennungsmotoren, die Markteinführung von Post-Lithium-Ionen-Akkus sowie eine Steigerung der Energie- und Materialeffizienz und des Recyclings.

2023 veröffentlichte die Europäische Kommission die Neufassungen der *Richtlinie 2000/53/EG über Altfahrzeuge* (*ELV*) und der *Richtlinie 2005/64/EG über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen*. Die Vorschläge zielten darauf ab, die Verwendung von recycelten Materialien in der Automobilindustrie zu fördern. Die Verabschiedung der *EU-Altfahrzeug-Verordnung* steht kurz bevor. Die Roadmap greift die wichtigsten der absehbaren Aspekte auf. Weitere in diesem Zusammenhang wichtige politische Regelungen sind die neue *EU Batterie-Verordnung (EU) 2023/1542*, die unter anderem Vorgaben für das Design, die Rückgewinnung von spezifischen Materialien und zu Rezyklateinsatzquoten macht, und der *EU Critical Raw Materials Act (EU) 2024/1252*, mit dem das Recycling von kritischen Rohstoffen in der EU gefördert werden soll, um die Abhängigkeit von Importen zu verringern und die Kreislaufwirtschaft zu stärken. Diese Regelungen bilden die Basis dieser AutoRess-Roadmap. Auch verschiedene Fahrzeughersteller haben Pläne vorgestellt, wie die Kreislaufwirtschaft in der Automobilherstellung gestärkt werden kann.

1 Purr K., Günther J., Lehmann H., Nuss Ph. (2019): *Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität – RESCUE-Studie*. UBA-CLIMATE CHANGe 36/2019, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/rescue_studie_cc_36-2019_wege_in_eine_ressourcenschonende_treibhausgasneutralitaet_auflage2_juni-2021.pdf

2 Modellierung des AutoRess-Referenzszenarios

*Im Rahmen von AutoRess wurden **Treibhausgasemissionen und der Rohstoffbedarf** für PKWs in Deutschland über den gesamten Lebensweg modelliert, von der Gewinnung von Rohstoffen, der Produktion von Fahrzeugteilen und Vorprodukten, der Endmontage der Fahrzeuge bis zur Nutzungsphase und der Entsorgung von Fahrzeugen, einschließlich des Recyclings von Materialien.*

Für AutoRess wurde ein detailliertes Modell des Autoverkehrs in Deutschland erstellt, das alle Phasen des Fahrzeuglebenszyklus umfasst. Anhand dieses Modells wurden für verschiedene Handlungsfelder (Antriebswechsel, Verkleinerung der Fahrzeuge, Leichtbau, Kreislauforientiertes Design, Reparatur und Wiederaufbereitung von E-Fahrzeug-Batterien und der Fahrzeugkarosserie, Rezyklateinsatz von Batterierohstoffen und Massenmetallen, Kreislaufführung von Kunststoffen und Altfahrzeugentsorgung) für bis zu fünf Varianten Treibhausgas- und Materialeinsparpotenziale bis 2045 abgeleitet.

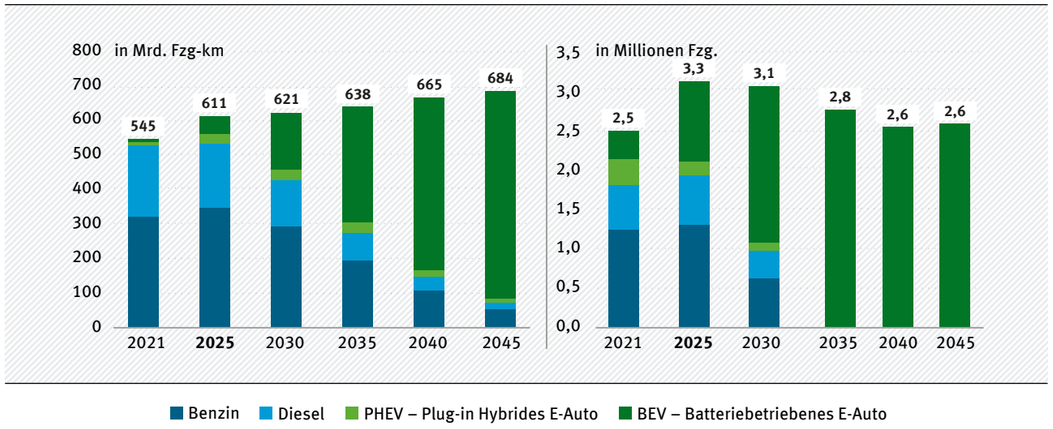
In das Referenz-Modell gingen verschiedene Größen ein:

Die zukünftige **Zahl der Neuzulassungen** der PKWs in Deutschland wurde aus dem *Projektionsbericht 2024*[2] übernommen. In den Jahren 2025 und 2030 werden danach jährlich 3,3 bis 3,1 Millionen neue PKW zugelassen, wobei der Anteil batterieelektrischer Fahrzeuge kontinuierlich zunimmt. Nach 2030 sinken die jährlichen Neuzulassungen auf 2,8 Millionen Fahrzeuge (2035) und 2,6 Millionen Fahrzeuge (ab 2040). Ab 2035 werden nur noch BEV neu zugelassen (Abb. 3, rechts).

2 Harthan, R. O., Förster, H. et al. (2024): *Technischer Anhang der Treibhausgas-Projektionen 2024 für Deutschland (Projektionsbericht 2024)*. Öko-Institut, IREES GmbH, Thünen-Institut, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/projektionen_technischer_anhang_0.pdf.

Abbildung 3

Jährliche Fahrleistung (links) und Neuzulassungen (rechts) von PKWs in Deutschland nach Antriebstyp

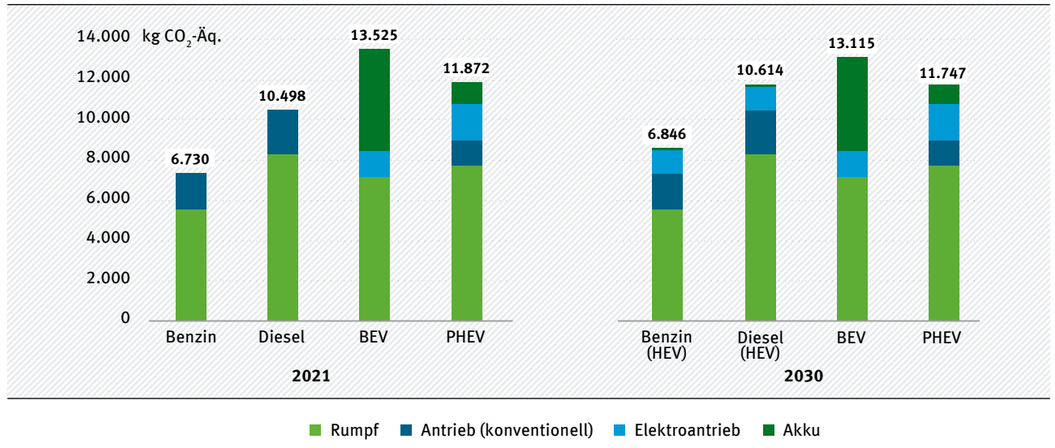


Quelle: eigene Berechnungen AutoRess, ifeu

Detaillierte Darstellung zur Modellierung siehe Kapitel 3.1.2.1 des AutoRess-Abschlussberichtes.

Abbildung 4

Treibhausgasemissionen der PKW-Produktion 2021 und 2030



Quelle: eigene Berechnungen AutoRess, ifeu

Die **Fahrzeugabmessungen und -gewichte** sowie die Motorleistung sind in den letzten Jahrzehnten kontinuierlich gestiegen. Es ist davon auszugehen, dass sich dieses Wachstum in den kommenden Jahren ohne weitere Maßnahmen fortsetzen wird. Das *AutoRess-Modell* basiert im Referenzszenario auf den durchschnittlichen Leergewichten der Neuzulassungen im Jahr 2021 mit einer weiteren Gewichtszunahme von 1,2 % pro Jahr bis 2030.

Die **Batteriekapazitäten** von Elektroautos stammen aus einer aktuellen Ökobilanzstudie[3] und werden mit durchschnittlich 61 kWh (Bruttokapazität) angenommen mit einem Anstieg auf 88 kWh bis 2030. Die Zellchemie verschiebt sich von NMC622-Batterien im Jahr 2021 zu NMC811-Batterien ab 2030, darüber hinaus wird eine teilweise Umstellung auf Lithium-Eisenphosphat-Batterien (LFP) berücksichtigt.
Die **spezifischen Treibhausgasemissionen** der Automobilproduktion wurden ebenfalls aus Biemann et al. 2024 übernommen (Abb. 4). Berücksichtigt wurde in der Strombereitstellung die zunehmende Umstellung auf erneuerbare Energien in Europa, hingegen nicht eine langfristige Defossilisierung der globalen Materialversorgung.

Die durchschnittlichen prozentualen **Materialzusammensetzungen** des Fahrzeug-Gliders und des Antriebsstrangs (basierend auf Biemann et al. 2024) bleiben in allen Jahren konstant.

Die **Nutzungsphase** umfasst einerseits den Energieverbrauch und die daraus resultierenden Treibhausgasemissionen während des Betriebs von Kraftfahrzeugen und andererseits die Emissionen und den Materialbedarf während der Wartung und Reparatur von Kraftfahrzeugen. Die Daten für die Gesamtfahrleistung des PKW-Verkehrs, die Flottenzusammensetzung nach Antriebstyp, den durchschnittlichen spezifischen Energieverbrauch und die Treibhausgasfaktoren der Energiequellen (Kraftstoffe, Strom) wurden aus dem *Projektionsbericht 2024*[4] übernommen, ergänzende Faktoren für die vorgelagerten Emissionen von Kraftstoffen (*Well-to-Tank*) aus dem *TREMOD-Modell*[5]. Von 2021 bis 2030 steigt die PKW-Fahrleistung um 14 %, der Fahrleistungsanteil von batterieelektrischen PKWs steigt auf 26 %. Auch nach 2030 steigt die PKW-Fahrleistung im Referenzszenario weiter stetig an und liegt 2045 um 10 % höher als 2030. Batterieelektrische Autos haben 2045 einen Fahrleistungsanteil von 88 %.

3 Biemann, K.; Helms, H.; Münter, D.; Liebich, A.; Pelzeter, J.; Kämper, C. (2024): *Analyse der Umweltbilanz von Kraftfahrzeugen mit alternativen Antrieben oder Kraftstoffen auf dem Weg zu einem treibhausgasneutralen Verkehr*. UBA-TEXTE 13/2024. ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung, Dessau-Roßlau. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/13_2024_texte_analyse_der_umweltbilanz_von_kraftfahrzeugen_0.pdf

4 Siehe oben Harthan et al. 2024.

5 Allekotte, M.; Biemann, K.; Colson, M.; Knörr, W.; Heidt, C.; Kräck, J. (2024): *Aktualsierung TREMOD/TREMOD-MM und Ermittlung der Emissionsdaten des Verkehrs nach KSG im Jahr 2023*. UBA-TEXTE 126/2024. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/126_2024_texte_aktualisierung_tremod_.pdf.

3 Treibhausgasemissionen und Materialbedarf des PKW-Verkehrs in Deutschland im AutoRess-Referenzszenario ohne zusätzliche Maßnahmen

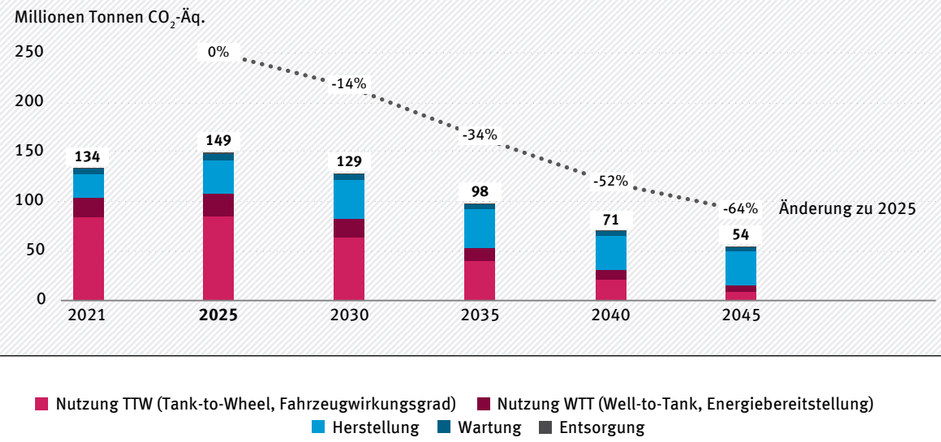
Das Referenzszenario zeigt die absehbare künftige Entwicklung der Treibhausgasemissionen aus Produktion und Nutzung von PKWs in Deutschland.

Im Referenzszenario werden die **Treibhausgasemissionen aus dem PKW-Verkehr in Deutschland** bis 2030 um 4 % von 134 Millionen Tonnen auf 129 Millionen Tonnen sinken, bis 2045 durch die zunehmende Elektromobilität und die Dekarbonisierung der Stromversorgung jedoch um fast 60 % auf 54 Millionen Tonnen.

Dabei werden die Emissionen aus der PKW-Produktion (Abb. 5, hellblauer Balken) zwischen 2021 und 2030 zunächst von 24 Millionen Tonnen CO_2-Äq. auf 40 Millionen Tonnen CO_2-Äq. steigen, bevor sie bis 2045 wieder auf 34 Millionen Tonnen CO_2-Äq. sinken. Der Anstieg der Emissionen bis 2030 resultiert gleichermaßen aus der höheren jährlichen Zahl der Neuzulassungen und dem steigenden Anteil der Neuzulassungen von Elektroautos. Von 2030 bis 2035 wird die Zahl der jährlichen Neuzulassungen von Elektroautos zunächst weiter steigen, nach 2035 jedoch sinken (s. S. 8, Abb. 3 rechts). Gleichzeitig werden die spezifischen Emissionen aus der Automobilproduktion nach 2030 sinken, da in den Produktionsprozessen zunehmend erneuerbare Energien zum Einsatz kommen.

Abbildung 5

Treibhausgasemissionen des PKW-Verkehrs in Deutschland im AutoRess-Referenzszenario

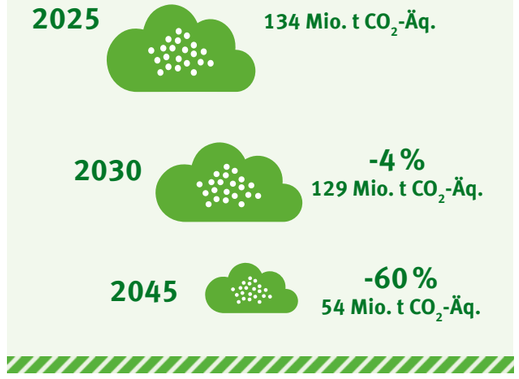


Quelle: eigene Berechnungen AutoRess, ifeu

Detaillierte Darstellung zu den Treibhausgasemissionen siehe Kapitel 3.1.2.2 des AutoRess-Abschlussberichtes.

Abbildung 6

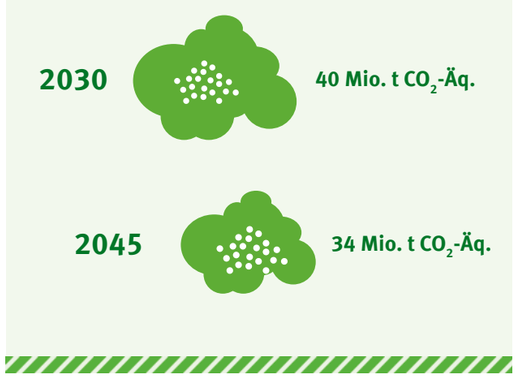
THG-Szenarien PKW-Verkehr



Quelle: eigene Darstellung AutoRess, Öko-Institut/ifeu

Abbildung 7

THG-Szenarien der PKW-Produktion

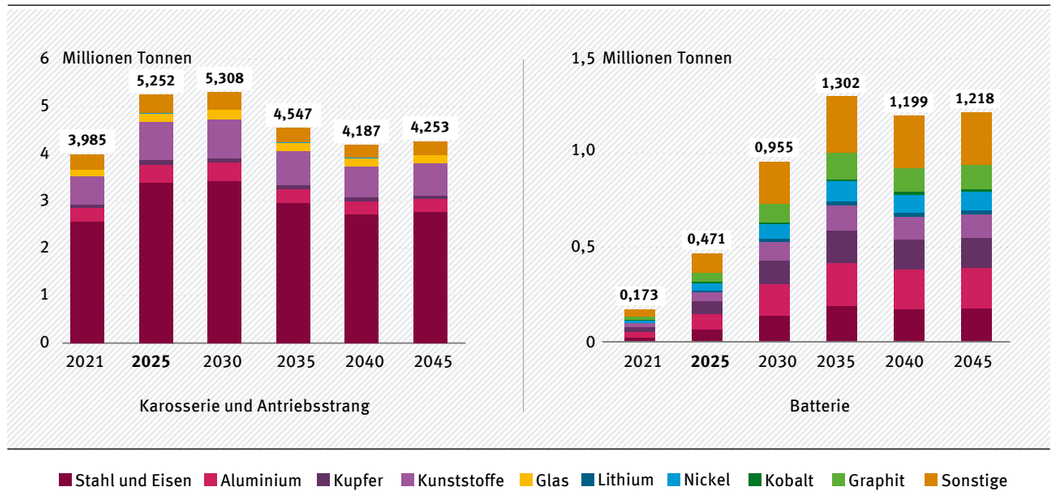


Quelle: eigene Darstellung AutoRess, Öko-Institut/ifeu

Der jährliche **Gesamtmaterialbedarf in der Automobilproduktion** wurde nach Materialgruppen, differenziert nach Glider & Antriebsstrang und Batterien, berechnet. Der Materialbedarf für Glider und Antriebsstrang wird hauptsächlich durch die Gesamtzahl der Neuzulassungen und den Anstieg des Fahrzeuggewichts bestimmt. Die Verlagerung der Neuzulassungen hin zu Elektroautos spiegelt sich vor allem im starken Anstieg des Materialbedarfs für Batterien wider. Der Materialbedarf für Glider und Antriebsstränge wird von Stahl und Eisen sowie Aluminium und Kunststoffen dominiert. Zusammen machen diese ca. 88 % des Gewichts aus. Weitere gewichtsrelevante Materialgruppen sind Kupfer und Glas. Stahl, Aluminium und Kunststoffe machen zusammen auch 42 % des Materialbedarfs in Batterien aus. Kupfer, Nickel und Graphit haben ebenfalls bedeutende Anteile von jeweils 8-14 %. Demgegenüber ist der Anteil der Zellmaterialien Lithium und Kobalt mit jeweils 1-3 Gewichtsprozent in der Gesamtmaterialbilanz gering (Abb. 8).

Abbildung 8

Rohstoffbedarf des PKW-Verkehrs in Deutschland (Neuwagen) im AutoRess-Referenzszenario



Quelle: eigene Berechnungen AutoRess, ifeu

4 Vision eines ressourcenschonenden E-Fahrzeuges

Im Projekt AutoRess wurde die Vision eines ressourcenschonenden elektrisch betriebenen Fahrzeuges entwickelt.

Die AutoRess-Vision eines ressourcenschonenden Fahrzeugs geht von rein **batterieelektrischen PKWs** aus. Sie gelten als ressourceneffizient und kreislaufwirtschaftsfähig, wenn sie folgende Bedingungen erfüllen:

- Über den gesamten Lebenszyklus werden möglichst wenige Primärrohstoffe benötigt.
- Über den gesamten Lebenszyklus wird möglichst wenig Energie verbraucht.
- Über den gesamten Lebenszyklus werden möglichst wenig Treibhausgase emittiert.
- Das Fahrzeug ist möglichst langlebig.
- Die Bestandteile lassen sich am Lebensende möglichst vollständig und ohne Downcycling wieder dem Stoff-/Materialkreislauf zuführen.
- Die zusätzlichen Umwelt- und Sozialwirkungen über den gesamten Lebenszyklus sind möglichst minimal.

Die im *Projekt AutoRess* durchgeführte Modellierung zu Ressourcennutzung und Treibhausgasemissionen in der Fahrzeugbranche in zehn ausgewählten Handlungsfeldern ergab vier Hebel, die sich besonders stark auf die Ziele auswirken: Reduktion von Fahrzeug- und Batteriegröße, Verringerung des Energieverbrauches, Verlängerung der Lebensdauer sowie höhere Menge an Rezyklaten.

Während Kleinstwagen (Klasse M1) aufgrund von Sicherheitsvorschriften in der Regel mehr als 1.000 kg wiegen, werden Elektrofahrzeuge der Klassen L7E/L6E, die sehr strengen Gewichtsbeschränkungen (max. 450 kg) unterliegen, von den Nutzer*innen oft als nicht sicher genug empfunden. Es wurde daher vorgeschlagen, diese Lücke durch die Einführung einer neuen Fahrzeugklasse („M0“) zu schließen, die besonders für städtische und vorstädtische Regionen geeignet ist, Gewichts- und Größenbeschränkungen unterliegt und dennoch grundlegende Sicherheitsmerkmale aufweist.

Abbildung 9

Wirksame Hebel zur Zielerreichung „ressourcenschonender E-PKW“



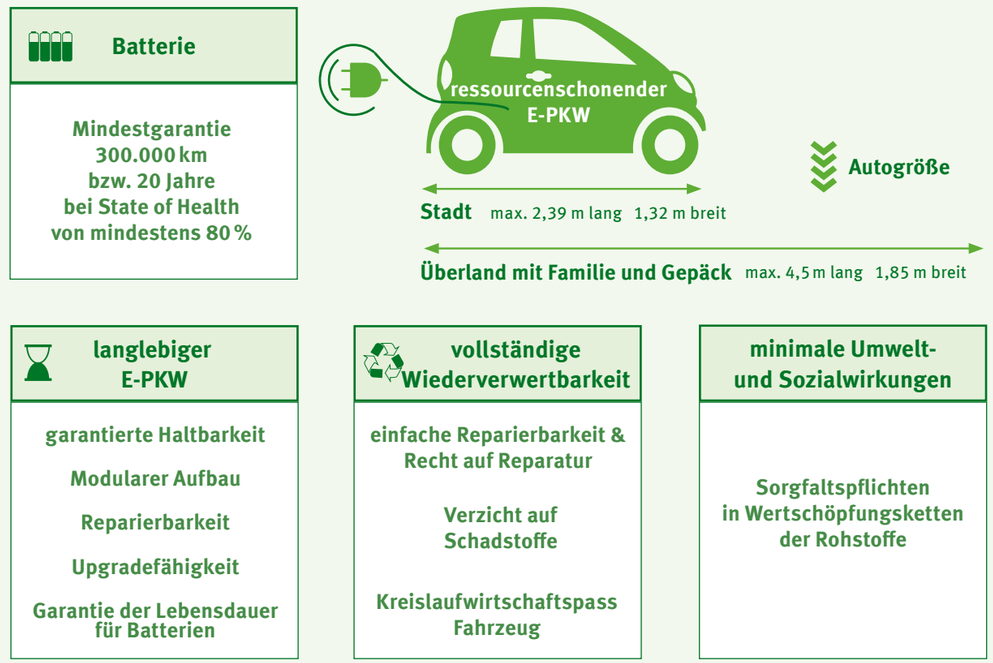
Quelle: eigene Darstellung AutoRess, Öko-Institut/ifeu

Detaillierte Darstellung der Vision eines ressourcenschonenden Fahrzeuges siehe Kapitel 5 des Abschlussberichtes.

Um dies zu erreichen, wäre ein ideales batterieelektrisches Fahrzeug für den Stadtverkehr unter 2,39 m lang und 1,32 m breit und für den Überlandverkehr einer Familie mit Gepäck maximal 4,5 m lang und 1,85 m breit, würde zu 100 % aus Sekundärmaterialien bestehen, eine garantierte Mindestlebensdauer von 20 Jahren auf- weisen und auch hinsichtlich seiner Reparierbarkeit optimiert sein. Dies erfordert, dass alle Fahrzeugteile (insbesondere diejenigen, die schnell kaputt gehen oder verschleißen können) leicht zugänglich und austauschbar sind. Diese totale Modularität wird auch die Kreislauffähigkeit der im Fahrzeug einge-setzten Komponenten und Materialien fördern, indem sie die Demontage von Teilen vor dem Schreddern der Karosserie am Ende ihrer Lebensdauer erleichtert. Für die gesamte Lebensdauer des Fahrzeugs werden Upgrades von Software und Hardware garantiert.

Abbildung 10

Vorgaben für einen ressourcenschonendes E-PKW



Quelle: eigene Darstellung AutoRess, Öko-Institut/ifeu

5 Maßnahmen Fahrzeuggröße

In AutoRess wurden Maßnahmen für Ressourcenschonung und Kreislaufwirtschaft bei PKWs abgeleitet. Fokus hierbei waren Maßnahmen für die Fahrzeuge, nicht für Verkehrsvermeidung und -verlagerung, Car-Sharing usw. Es wurden vier wirksame Haupthebel identifiziert, die durch die Maßnahmen adressiert werden (s. Kapitel 4).
Um die Hebel realisieren zu können, wurden regulatorische und weitere Maßnahmen recherchiert und entwickelt und dann nach Wirksamkeit, Umsetzbarkeit und anderen Kriterien bewertet. Folgende Rechtsgrundlagen wurden schon als gegeben vorausgesetzt: BattV, CRM Act, Euro-7, Verbrenner-Aus. Die EU-Altfahrzeug-Vo steht kurz vor der Verabschiedung.
In der Roadmap (s. Seiten 4/5) wurden Maßnahmen, die bereits umgesetzt sind oder kurz vor der Umsetzung stehen, die aber auch für AutoRess als besonders wichtig erachtet werden, durch Umrandung gekennzeichnet.

Bonus-Malus-System auf Basis der Fahrzeuggröße

In einem Bonus-Malus-System erhalten Käufer eines kleineren Autos einen Bonus, während beim Kauf eines Autos mit größeren Abmessungen ein Malus zu zahlen ist, der ebenfalls mit zunehmender Größe steigt. Einmalige Zahlungen beim Kauf eines Autos haben eine größere Wirkung als jährliche KFZ-Steuern. Vorgeschlagene Werte für den Bonus liegen bei einem batterieelektrischen Fahrzeug für den Stadtverkehr bei unter 2,39 m Länge und 1,32 m Breite und für den Überlandverkehr einer Familie mit Gepäck bei unter 4,5 m Länge und unter 1,85 m Breite.

LEGENDE

Wann wird die Maßnahme umgesetzt?
bereits umgesetzt | kurzfristig | mittelfristig | langfristig | unmittelbar vor der Einführung auf EU-Ebene

Auf welcher Ebene wirkt die Maßnahme?
EU | Deutschland

Wen adressiert diese Maßnahme?
Beschaffung & Nutzung
Kaufentscheidung
KFZ-Versicherungen
Produktion
Fahrzeughersteller
Batteriehersteller
Zulieferer
Reparatur
Reparatur-Werkstätten
Remanufacturing-Betriebe
Entsorgung & Recycling
Altfahrzeug-Demontagebetriebe
(Post-)Schredderanlagenbetreiber
Recyclingbetriebe

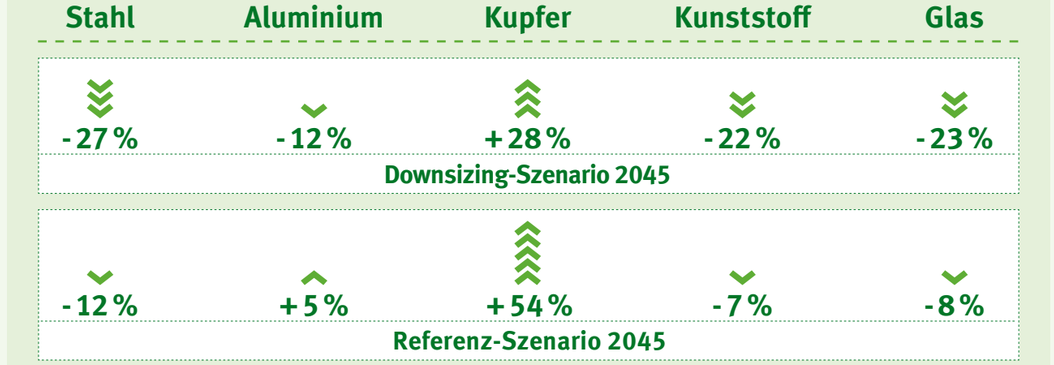
Wie wirksam ist die Umsetzung der Maßnahme?
nicht bemessbar | gering (+) | mittel (++) | hoch (+++)

Wie umsetzbar ist die Maßnahme?
leicht | mittel | schwierig

› Detaillierte Darstellung aller Maßnahmen siehe Kapitel 5 des AutoRess-Abschlussberichtes.

Abbildung 11

Mögliche Rohstoffeinsparungen (Primärrohstoffe) in der PKW-Produktion in Deutschland durch Downsizing im Jahr 2045 im Vergleich zu 2025



Quelle: eigene Berechnungen in AutoRess, Öko-Institut/ifeu, siehe AutoRess-Abschlussbericht Kapitel 3.3

Besteuerung von Firmenwagen

Schätzungsweise 20-25 % der Neuzulassungen in Deutschland sind Firmenwagen, die auch privat genutzt werden.[6] Der Grund für die Attraktivität des Autos als Gehaltsbestandteil ist die geringe Besteuerung: Für Arbeitnehmer ist der steuerpflichtige geldwerte Vorteil deutlich günstiger als die Kosten für ein privat gekauftes Auto. Unternehmen können den Kauf von Autos für geschäftliche Zwecke ohne Höchstpreisgrenze und unabhängig von den CO_2-Emissionen der Fahrzeuge als Betriebsausgaben absetzen. In dieser Maßnahme werden ressourcenschonende Elektroautos, z. B. solche mit geringen Dimensionierungen, geringer besteuert als andere Fahrzeuge.

Umweltbonus in der KfZ-Versicherung

In Bezug auf die CO_2-Emissionen eines Autos bieten viele Kfz-Versicherungen mittlerweile Umweltrabatte an, wenn ein umweltfreundliches Fahrzeug versichert werden soll. Ein Beispiel aus Deutschland ist der *R+V Umweltbonus*[7]: 10 % Rabatt auf die Versicherungsprämie für Elektro- und Hybridautos und 5 % für Autos mit geringen CO_2-Emissionen (bis 95 g/km). Weitere solche Umweltrabatte können kurzfristig eingeführt werden.

Förderung nachhaltiger Fahrzeuge in den Richtlinien für die öffentliche Beschaffung

Im Gesetz über die *Beschaffung sauberer Straßenfahrzeuge (SaubFahrzeugBeschG)* werden nachhaltige Aspekte im gesamten Lebenszyklus von Fahrzeugen abgedeckt, u. a. die Einhaltung der Sorgfaltspflichten in den Wertschöpfungsketten der Rohstoffe, die Nutzung von Sekundärmaterialien in der Produktion, die Reparaturfähigkeit in der Nutzung sowie die Recyclingfähigkeit. Analog zu anderen *Leitfäden für umweltorientierte Beschaffung* des Umweltbundesamts wird ein *Leitfaden mit Empfehlungen für Fahrzeuge* erstellt.

6 Blanck, R.; Zimmer, W. (2021): Klimaschutzinstrumente im Verkehr. Umgestaltung der Kfz Steuer Bonus Malus System. Umweltbundesamt (Hrsg.). Dessau-Roslau. S. 8. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/366/dokumente/uba-kurzpapier_bonus-malus-system_kliv.pdf.
7 https://www.ruv.de/kfz-versicherung/autoversicherung/e-auto.

6 Maßnahmen Energieverbrauch bzw. Treibhausgas-Emissionen

Product Carbon Footprint (PCF) für Fahrzeuge

Die Fahrzeughersteller werden verpflichtet, einen CO_2-Fußabdruck (*Product Carbon Footprint*, *PCF*) für Neufahrzeuge anzugeben. Eine abgestimmte Methode ist noch nicht verfügbar. Langfristig werden Begrenzungen des maximalen CO_2-Fußabdrucks eingeführt.

Flottenzielwerte auf Basis von Ökobilanzen

Analog zu den CO_2-Emissionsnormen für PKW und leichte Nutzfahrzeuge, die die durchschnittlichen CO_2-Emissionen der Neufahrzeugflotte regelt, werden Flottenzielwerte eingeführt, die sich an den Ergebnissen einer Ökobilanz (*LCA*) orientieren. Diese Flottenzielwerte werden langfristig eingeführt, wenn die Neufahrzeugflotte vollständig auf Elektrofahrzeuge umgestellt ist. Eine abgestimmte Methode ist noch nicht verfügbar. Langfristig werden Begrenzungen des maximalen Umwelt-Fußabdrucks von E-Fahrzeugflotten eingeführt.

Europäische CO_2-Emissionsnormen für PKW und leichte Nutzfahrzeuge (Verordnung (EU) 2019/631)

Diese Verordnung regelt die durchschnittlichen CO_2-Emissionen der Neufahrzeugflotte eines Automobilherstellers. Mit dem *Fit for 55*-Paket hat die EU-Kommission einen Vorschlag für eine Verschärfung des bestehenden Zielwerts der Verordnung der CO_2-Flottenzielwerte vorgelegt: für das Jahr 2030 auf -55 % (zuvor -37,5 %) gegenüber den Werten des Jahres 2021 und eine Fortschreibung der Zielwerte bis zum Jahr 2035 (-100 %).

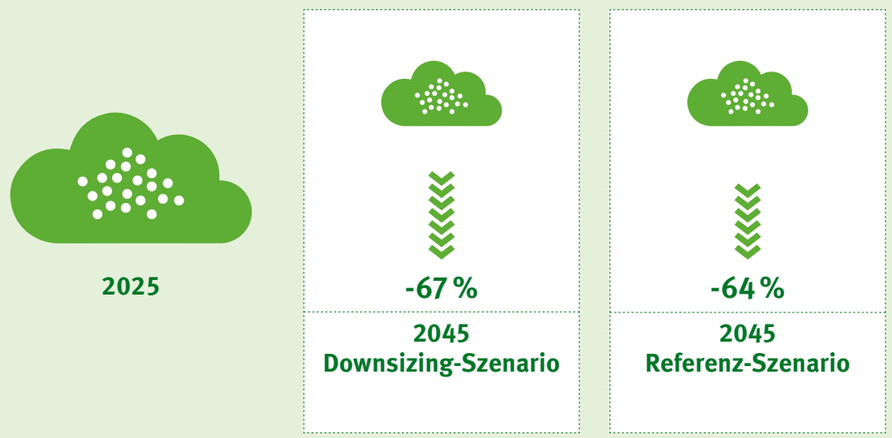
Mindestwerte für die Energiedichte von Batterien

Mit dieser Maßnahme werden Mindestanforderungen an die Energiedichte von Antriebsbatterien festgelegt. Die *Batterieverordnung* definiert den Energieumsatz als Funktionseinheit, was bereits einen Anreiz in diese Richtung darstellt – mit festen Grenzwerten könnte dies an Bedeutung gewinnen. Grenzwerte für das Batteriegewicht pro Auto könnten durch eine Begrenzung der Batteriekapazität sowie durch höhere Energiedichten erreicht werden.

Detaillierte Darstellung aller Maßnahmen siehe Kapitel 5 des AutoRess-Abschlussberichtes.

Abbildung 12

Mögliche Reduktion der Treibhausgasemissionen aus der Produktion von PKWs in Deutschland durch die untersuchten zusätzlichen Maßnahmen im Jahr 2045 im Vergleich zu 2025



Quelle: eigene Berechnungen in AutoRess, Öko-Institut/ifeu, siehe AutoRess-Abschlussbericht Kapitel 3.2

Energieeffizienzkennzeichnung

Aufnahme der Batterie-Fußabdrucks in die Energieverbrauchskennzeichnungsverordnung für Personenkraftwagen (Energieeffizienzlabel). Diese Maßnahme ist bereits in der geltenden *Batterieverordnung* vorgesehen.

7 Maßnahmen Langlebigkeit

Mindestlebensdauer-Garantie für Fahrzeuge inkl. Batterie

Einführung einer gesetzlichen lebenslangen Garantie für das gesamte Fahrzeug auf der Grundlage realistisch erreichbarer Lebensdauern, vorgeschlagen wird eine Garantie von 20 Jahren. Hiervon werden Verschleißteile ausgenommen.

Mindestlebensdauer-Garantie für Batterien

Eine obligatorische Mindestgarantie für Batterien von 300.000 km bzw. 20 Jahren wird festgelegt, nach dieser Zeit muss der *State of Health* (*SOH*) noch 80 % betragen. Derzeit gibt es keine gesetzlichen Verpflichtungen für weitere Anreize für lange Garantiezeiten für Batterien, außer der allgemeinen zweijährigen Produktgarantie und den Anforderungen für Antriebsbatterien für M1- und N1-Fahrzeuge in der Euro-7-Verordnung (Anhang II: Hauptlebensdauer fünf Jahre und 100.000 km bei 80 % SOH, erweiterte Lebensdauer 8 Jahre und 160.000 km bei 72 % SOH), sowie freiwilligen Herstellergarantien.



Austausch und Ausbau von Teilen und Komponenten

Die Fahrzeughersteller werden verpflichtet, detaillierte Anleitungen zum Austausch und Ausbau von Fahrzeugteilen und Fahrzeugkomponenten bereitzustellen. Fahrzeuge müssen so konstruiert werden, dass Komponenten mit Potenzial zur Wiederverwendung ausgebaut werden können, wenn die Fahrzeuge entsorgt werden. Dies gilt auch für Antriebsbatterien und Elektromotoren.



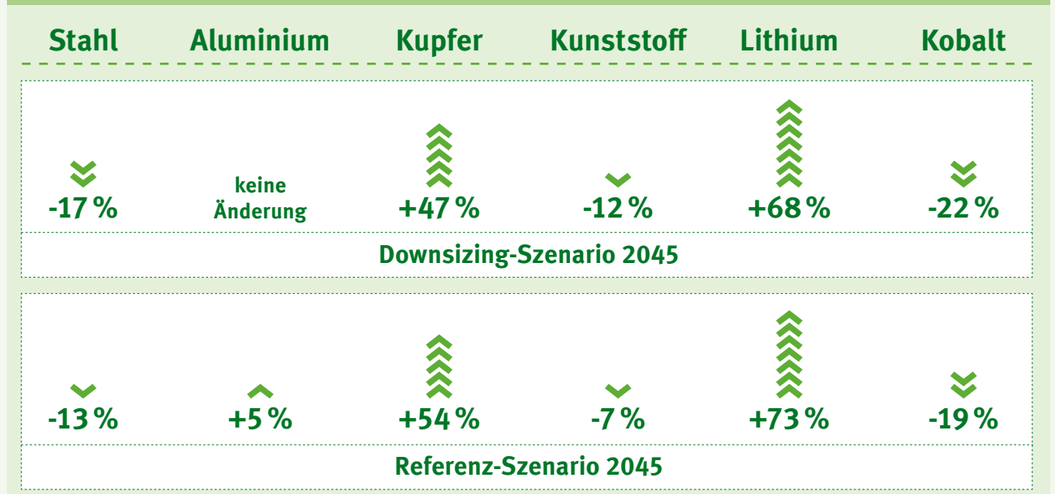
Mindestlebensdauer-Garantie für Ersatzteile

Eine obligatorische Mindestgarantie von zwei Jahren für Ersatzteile wird festgelegt.

Detaillierte Darstellung aller Maßnahmen siehe Kapitel 5 des AutoRess-Abschlussberichtes.

Abbildung 13

Mögliche Rohstoffeinsparungen (Primärrohstoffe) in der PKW-Produktion in Deutschland im Jahr 2045 durch die untersuchten zusätzlichen Maßnahmen zur Langlebigkeit im Vergleich zu 2025



Quelle: eigene Berechnungen in AutoRess, Öko-Institut/ifeu, siehe AutoRess-Abschlussbericht Kapitel 3.5



Zugang zu Informationen über die Reparatur und Wartung von EV-Batterien

Die Fahrzeughersteller werden verpflichtet, für 20 Jahre einen erschwinglichen Zugang zu Software-Updates und Ersatzteilen zu gewähren und damit Wiederaufbereitungsaktivitäten von EV-Batterien zu unterstützen. Ein Recht auf Reparatur gewährleistet, dass unabhängige Reparaturbetriebe ohne rechtliche oder technische Einschränkungen Zugang zu den Informationen, Werkzeugen und Teilen haben, die für die Reparatur und Wartung von EV-Batterien erforderlich sind.



Software-Updates für andere Steuerelemente

Fahrzeughersteller werden verpflichtet, für 20 Jahre auch für andere Steuerelemente jenseits der EV-Batterien Software-Updates bereitzustellen.

8 Maßnahmen Recycling



EPR-System zur Finanzierung einer ordnungsgemäßen Behandlung von Altfahrzeugen

Um eine angemessene Finanzierung der vorgeschriebenen Altfahrzeugbehandlung zu gewährleisten und Recyclingunternehmen Anreize zur Qualitätsverbesserung zu bieten, wird das EPR-System ausgeweitet, in dem die Fahrzeughersteller entsprechend der *Erweiterten Herstellerverantwortung* (*Extended Producer Responsibility*, *EPR*) für die Finanzierung der Altfahrzeugbehandlung verantwortlich gemacht werden.



Vorgaben für Schredder- und Postschredder-Anlagen

Insbesondere Kupfer stellt im Stahlrecycling einen Störstoff dar, der die Qualität des Recyclingstahls vermindert. Um eine hohe Qualität des zurückgewonnen Stahls zu gewährleisten, wird für Fahrzeugsschredderanlagen ein Maximalwert von 0,1 % Kupfer in der Stahlfraktion festgesetzt. Hierbei geht es vor allem darum, Kupferpartikel abzutrennen, die im Schredderprozess in die Stahlfraktion gelangen. Das in der Stahllegierung enthaltene Kupfer kann hingegen nicht mit ökonomisch darstellbarem Aufwand abgetrennt werden. Durch die höhere Qualität des Stahlschrotts kann dieser dann im Rahmen eines *closed-loops* für die Herstellung von Flachstahl für PKWs verwendet werden. Für Aluminiumschrott wird eine Auftrennung nach Legierungsgruppen vorgeschrieben.



Obligatorische Demontage von wertvollen Komponenten

Artikel 30 des Vorschlags der EU-Kommission für eine *Altfahrzeug-Verordnung* verpflichtet zugelassene Behandlungsanlagen, eine Reihe von wertvollen Bauteilen, Komponenten und Materialien vor dem Schreddern zu demontieren, um sie einer Zweitnutzung oder einem hochwertigeren Recycling zuzuführen. Zu demontieren sind insbesondere der Motor, der Hauptkabelstrang, die Glasfenster und elektronische Komponenten.



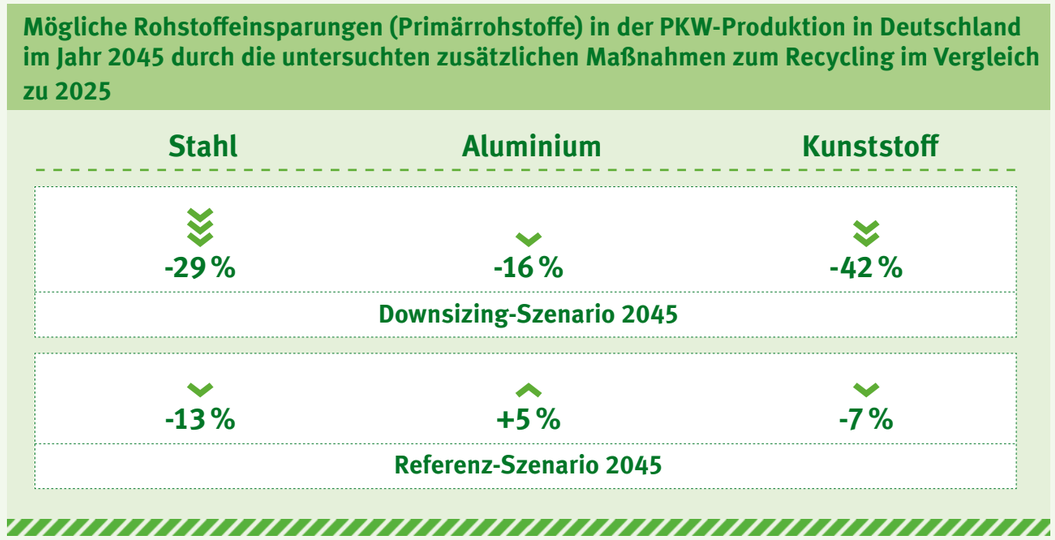
Meldepflicht zur Verwendung von Materialien, die sich auf die Demontage und Recyclingfähigkeit auswirken

Die Verwendung eines bestimmten Materials oder einer bestimmten Technik bei der Montage einer Komponente kann für eine spätere Wiederverwendung bzw. das Recycling vorteilhaft sein, aber in anderen Fällen diese behindern. Der Schwerpunkt dieser Maßnahme liegt auf der Entwicklung eines Feedback-Mechanismus, der sicherstellt, dass Informationen darüber, wie sich bestimmte Konstruktionselemente auf das Ende der Lebensdauer auswirken, kommuniziert und in den Konstruktionsprozess integriert werden.

Detaillierte Darstellung aller Maßnahmen siehe Kapitel 5 des AutoRess-Abschlussberichtes.

Abbildung 14

Mögliche Rohstoffeinsparungen (Primärrohstoffe) in der PKW-Produktion in Deutschland im Jahr 2045 durch die untersuchten zusätzlichen Maßnahmen zum Recycling im Vergleich zu 2025



Quelle: eigene Berechnungen in AutoRess, Öko-Institut/ifeu, siehe AutoRess-Abschlussbericht Kapitel 3.9 und 3.10



Festlegung einer Rezyklateinsatzquote für Kunststoffe

Vorgeschriebene Rezyklateinsatzquoten für Kunststoffe (ausgenommen biobasierte Kunststoffe): Mindestens 25 % Rezyklatanteil in Kunststoffen für Kraftfahrzeuge (ausgenommen biobasierte Materialien, Artikel 6 des *ELV-Verordnungs*-Vorschlags), um den Bedarf an Primärressourcen zu senken. Anreize sollten vorrangig auf Post-Consumer-Kunststoffrezyklate aus Altfahrzeugen ausgerichtet sein, um den Materialkreislauf zu schließen.



Festlegung einer Rezyklateinsatzquote für Stahl

Es wird ein Ziel für den Einsatz von Recyclingstahl bei der Fahrzeugproduktion eingeführt. Eine Herausforderung hierbei ist eine ausreichend hohe Qualität des Stahlschrotts aus den Fahrzeugschredderanlagen. Störstoffe, wie Kupfer, vermindern die Qualität des Recyclingstahls und verhindern aktuell einen höheren Recylinganteil bei der Erzeugung von hochwertigen Flachstahlprodukten. Eine gesetzliche Mindestquote für den Recyclingstahlanteil im Fahrzeug würde den Markt in Richtung einer höheren Qualität verschieben. Laut Berechnungen wäre ein Rezyklatanteil von 25 % bis 2030 und 30 % bis 2035 mit einem geschlossenen Recyclingkreislauf erreichbar.[8]



Festlegung von Recyclingzielen für Glas und Kunststoffe

In dieser Maßnahme wird neben der im Vorschlag für eine neue Altfahrzeugverordnung vorgesehenen Recyclingzielvorgabe für Kunststoffe von 30 % eine Recyclingvorgabe für Glas von 25 % eingeführt. Da Kunststoffe und Glas nur einen geringen Anteil am Fahrzeuggewicht ausmachen, werden sie oft entsorgt oder maximal zu einem geringen

8 Sutter, J.; Adjei, F.; Baron, Y.; Kosinska-Terrade, I. (2025): *Boosting the use of recycled steel in the EU automotive industry under the ELV Regulation*. Öko-Institut. Berlin. https://www.transportenvironment.org/uploads/files/2025_04_Report_Recycled_steel_EU_automotive_industry_final.pdf

Anteil nach dem Schreddern zurückgewonnen, was zu einer verminderten Qualität des zurückgewonnenen Materials führt.



Informationen zu gefährlichen Stoffen

Für die Wiederverwendung von Komponenten und das Recycling von Materialien sind Informationen über eventuell darin vorhandene gefährliche Stoffe notwendig. Für Recyclingunternehmen besteht ein Bedarf an zusätzlichen Demontageinformationen, die über die derzeitigen Informationen von *SCIP* (S*ubstances of Concern In Products*) und *IMDS* (*International Material Data System*) hinausgehen, z. B. zu Flammschutzmitteln. Die vorgeschlagene Maßnahme sieht vor, eine Verpflichtung einzuführen, wonach Informationen über den Gehalt an Stoffen mit einer Gefahreneinstufung entlang der Wertschöpfungskette dokumentiert werden müssen.



Einführung eines Fahrzeug-Kreislaufwirtschaftspasses

In dem in der Altfahrzeug-Verordnung vorgesehenen Fahrzeug-Kreislaufwirtschaftspass erklärt der Fahrzeughersteller zur Information der Verbraucher ergänzend, wie hoch die jeweiligen prozentualen Anteile an Recyclingmaterialien im Fahrzeug verbaut sind.

Der AutoRess-Abschlussbericht und alle weiteren AutoRess-Veröffentlichungen stehen alle auf der UBA-Website zur Verfügung: http://umweltbundesamt.de/themen/verkehr/ressourcenschonung-im-verkehr.



▸ **Unsere Broschüren als Download**
Kurzlink: bit.ly/2dowYYI