



Reparatur vs. Austausch bei Unfallschäden an Pkw

Zwei Varianten der Instandsetzung im
ökologischen Wettbewerb

REPARATUR VS. AUSTAUSCH BEI UNFALLSCHÄDEN AN PKW ZWEI VARIANTEN DER INSTANDSETZUNG IM ÖKOLOGISCHEN WETTBEWERB

Autor*innen: Jürgen Bertling*, Anna Schulte, Janek Röttgen

Kontakte: **Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und
Energietechnik UMSICHT**
Osterfelder Straße 3, 46047 Oberhausen
www.umsicht.fraunhofer.de

*Jürgen Bertling
juergen.bertling@umsicht.fraunhofer.de

Titelfoto: ©Moritz Feller 2023

Auftraggeber: **Innovation Group AG**
Rotebühlstraße 121
70178 Stuttgart

Ansprechpartner:
Matthew Whittall

Ausgabe: Juni 2023

Im Internet verfügbar: publica.fraunhofer.de
DOI: 10.24406/publica-1307

Nutzungsbedingung: CC-BY-NC-SA 4.0

Zitierweise: Bertling, J.; Schulte, A., Röttgen, J.: Reparatur vs. Austausch bei Unfallschäden an Pkw: Zwei Varianten der Instandsetzung im ökologischen Wettbewerb, Oberhausen 2023; DOI: 10.24406/publica-1307

	Erklärung zu Finanzierung, Verantwortlichkeiten und Nutzungsbedingungen	1
1	Zusammenfassung	3
2	Reparatur oder Austausch von Karosserieteilen	7
2.1	Worum geht es?	7
2.2	Rahmendaten und ökonomische Aspekte	7
2.3	Reparatur und Austausch in Kfz-Werkstätten	9
2.4	Was bestimmt die Entscheidung für Reparatur oder Austausch?	12
2.5	Vorrang der Reparatur?	16
3	Ökologischer Vergleich	18
3.1	Was sagen bisherige Studien?	18
3.2	Ziel und Untersuchungsrahmen dieser Studie	18
3.3	Zusammenfassung der Berechnungsergebnisse an den Fallbeispielen	20
3.3.1	Basisszenario	23
3.3.2	Übersicht zu den Szenarien	24
3.4	Ergebnisse der Ökobilanzierung	25
3.4.1	Ergebnisübersicht für das Basisszenario in den betrachteten Wirkungskategorien	25
3.4.2	Beitragsanalyse der Treibhausgasemissionen	29
3.4.3	Szenarioanalyse der Treibhausgasemissionen	36
3.5	Fazit zur ökologischen Bewertung	43
4	Verzeichnisse	46
4.1	Abbildungsverzeichnis	46
4.2	Tabellenverzeichnis	47
5	Anhang	48
5.1	Anhang A - Glossar	48
5.2	Anhang B – Interviews	50
5.3	Anhang C – Ökobilanz im Detail	50
6	Literaturverzeichnis	51

Erklärung zu Finanzierung, Verantwortlichkeiten und Nutzungsbedingungen

Die Erstellung des vorliegenden Berichts wurde von der Innovation Group AG auf Basis des von Fraunhofer UMSICHT unterbreiteten Angebots Nr. 097/2022/441-14 beauftragt. Die Bearbeitung fand durch Fraunhofer UMSICHT im Zeitraum von 06/2022 bis 04/2023 statt.

Im Rahmen der Studie wurden Instandsetzungsmaßnahmen in der Werkstatt des Unternehmens Bultink GmbH¹ begleitet. Der Kontakt zur Werkstatt wurde vom Auftraggeber in Zusammenarbeit mit dem Netzwerk IDENTICA², einem Zusammenschluss von Karosserie- und Lackierbetrieben, hergestellt. Im Rahmen der Werkstattbesuche wurden für verschiedene Reparatur- und Austauschprozesse Daten zum Einsatz von Material und Energie sowie benötigter Arbeitszeiten erhoben. Von dem Unternehmen Bultink wurden darüber hinaus relevante Unternehmensdaten (Energieverbrauch, Materialeinsatz, Abfallmengen, Gesamtarbeitsstunden etc.) zur Verfügung gestellt. Ergänzend zur Vor-Ort-Datenaufnahme wurden Internet- und Literaturrecherchen sowie wenige Interviews zur Vertiefung durchgeführt. Die Studie ist als erster Schritt zu einer ökologischen Bewertung von Reparaturprozessen zu verstehen, die Datenbasis für die Berechnungen ist noch unsicher und Modelle teils stark vereinfacht. Die Ergebnisse und Schlussfolgerungen dieser Studie sind daher vorläufig und sollten in zukünftigen Studien vertieft und abgesichert werden.

Die Ökobilanz orientiert sich an den Normen zur Ökobilanzierung (DIN EN ISO 14040; DIN EN ISO 14044). Abweichend von den Normen wurde die Ökobilanz keiner kritischen Prüfung durch Dritte unterzogen, da dies nicht im Rahmen der Zielstellung durch den Auftraggeber definiert wurde. Dieser Bericht fasst die Ergebnisse der Ökobilanz zusammen und unterliegt selbst nicht den Anforderungen der ISO 14040/14044. Die Ergebnisse einer ökologischen Bewertung hängen maßgeblich von der Datenverfügbarkeit und -genauigkeit ab. Die Aussagekraft der Ergebnisse ist zudem stark abhängig von den getroffenen Annahmen der Ökobilanzstudie, welche eine transparente und umfangreiche Berichterstattung erfordern. Diese werden in Anlehnung an die geltenden ISO-Normen im Anhang C dieser Studie im Detail beschrieben und dienen der Nachvollziehbarkeit und Reproduzierbarkeit der Ergebnisse.

Jürgen Bertling erstellte als Hauptautor das Konzept für die Studie, recherchierte Hintergrundinformationen, führte Interviews und erstellte die Kapitel 1 und 2. Anna Schulte und Janek Röttgen erstellten die Ökobilanz und führten Kapitel 3 aus. Janek Röttgen führte die Datenaufnahmen vor Ort durch. In der Formulierung des Berichts waren die Verfassenden frei: Eine Einflussnahme durch den Auftraggeber, befragte Experten und Expertinnen oder andere Dritte fand nicht statt. Dennoch hatte die Auftraggeberin sowie ein Projektbeirat, in

¹ Bultink GmbH, Eckeseyer Str. 101, 58089 Hagen; <https://www.identica.de/partner/bultink-gmbh>; Letzter Zugriff: 08.05.2023

² <https://www.identica.de/>; Letzter Zugriff: 08.05.2023

dem auch Experten der Firma Axalta Coating Systems Germany GmbH & Co. KG vertreten waren, die Möglichkeit, Ergebnisse und Vorversionen des Berichts kritisch zu kommentieren. Die Ergebnisse des Berichts stellen nicht in jedem Fall die Sicht der beauftragenden Organisationen oder des Fraunhofer-Instituts UMSICHT dar, sondern in erster Linie die Sichtweise der beteiligten Autorinnen und Autoren.

Fraunhofer haftet nicht für Verluste, Schäden, die Dritten dadurch entstehen, dass diese sich auf die in diesem Bericht enthaltenen zum Teil generischen Informationen verlassen. Die Unsicherheiten dieser wissenschaftlichen Meinungsäußerung verlangen stattdessen eine vertiefende Überprüfung im Einzelfall. Referenzierungen dieser Studie dürfen sich nicht nur auf isolierte Textpassagen beziehen, sondern müssen ausreichend und sinngemäß kontextualisiert sein und mit einem Verweis auf den vollständigen Bericht inklusive eines Hinweises auf kostenlosen Download und Angabe des Downloadlink versehen werden.

Das Werk ist in allen seinen Teilen urheberrechtlich geschützt. Des Weiteren ist es unter einer Creative-Commons-Lizenz nutzbar (CC-BY-NC-SA 4.0 DE; zur Zitierweise siehe Bibliografische Daten auf Seite I). Das Werk oder Teile davon dürfen für nicht kommerzielle Zwecke vervielfältigt, verbreitet und öffentlich zugänglich gemacht werden, sofern auf die Urhebenden (Verfassende, Herausgeber) verwiesen wird. Im Falle einer Verbreitung sind die gleichen Lizenzbedingungen, unter welche dieses Werk fällt, anzuwenden. Jede kommerzielle Verwertung ohne schriftliche Genehmigung der Verfassenden ist unzulässig. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in Systeme(n) der elektronischen Datenverarbeitung.

1 Zusammenfassung

Fragestellung

»Reparatur oder Austausch? – Was ist die nachhaltigere Praktik bei der Beseitigung eines Karosserieschadens an einem Pkw?« Dies ist die zentrale Frage, die wir im vorliegenden Bericht beantworten wollen.

Hintergründe

Die durchschnittlichen Ausgaben der privaten Haushalte für Mobilität sind nach den Ausgaben für Wohnen und Ernährung die dritthöchsten.³ Für die Instandsetzung von Fahrzeugen wird durchschnittlich fast genau so viel ausgegeben wie für Kraftstoffe und deutlich mehr als für den öffentlichen Nahverkehr. Höhere Einkommensgruppen geben überproportional viel für die Instandsetzung aus, der Erhalt der Mobilität wird offenbar zunehmend zum Luxusgut. Die Kosten von Haftpflichtschäden sind im Zeitraum von 2013 bis 2021 jährlich um 4,4 Prozent gestiegen, was in diesem Zeitraum deutlich über der Inflationsrate (1,2 Prozent) lag (vgl. Kapitel 2.2).

Grundsätzlich sind bei der Instandsetzung eines Unfallschadens »Reparatur« und »Austausch« zu unterscheiden. Auch wenn der Austausch eines defekten Teils mit Blick auf das gesamte Fahrzeug häufig als Reparatur bezeichnet wird, handelt es sich letztendlich um den Ersatz durch ein Neuteil oder geeignetes Gebrauchtteil – in dieser Studie als Austausch bezeichnet. Eine exakte begriffliche Abgrenzung steht bis heute noch aus.

In vielen Fällen sind die ausgetauschten Teile deutlich größer, als die schadhafte Fläche dies erfordern würde. Aus technischer Perspektive ist der Austausch sinnvoll, wenn komplexe Bauweisen die Reparierbarkeit beeinträchtigen (bspw. Carbonteile) oder der Schaden nicht reparierbar ist (z. B. bei großen Rissen in der Karosserie). Es gibt aber auch sehr gute Gründe für eine Reparatur: Auf die Demontage von bspw. Elektronik, Zierleisten, Innenverkleidungen oder Dichtungen kann verzichtet werden und es treten seltener Begleitschäden der Reparatur auf. Handelt es sich um kleine Schäden auf großflächigen Karosserieteilen, werden weiterhin durch die Reparatur Karosserieschnitte und Schweißarbeiten, die nachfolgend die Gefahr von Korrosion erhöhen können, vermieden (vgl. Kapitel 2.3).

Die Entscheidung »Reparatur vs. Austausch« wird durch eine Vielzahl von Stakeholdern beeinflusst. Es ist für den Fahrzeughaltenden häufig schwierig, zwischen deren Interessen die sinnvollste Lösung zu finden. Vor allem die Sichtweise von Herstellern bzw. Ersatzteillieferanten einerseits und Versicherungen und Schadensabwicklern andererseits weichen häufig voneinander ab (vgl. Kapitel 2.4). Gutachten, Label und auch die Kalkulationssoftware geben nur selten eine geeignete Hilfestellung, um die beste Variante festzulegen. Im Sinne einer

³ Quellenangaben zu den Aussagen in der Zusammenfassung finden sich in den folgenden Kapiteln.

nachhaltigen Entwicklung sollte die Instandsetzung nicht nur zu einer funktionsfähigen, sichereren und optisch einwandfreien Lösung bei geringen Kosten führen, sondern auch ökologischen Anforderungen genügen (vgl. Kapitel 2.4).

Im deutschen Kreislaufwirtschaftsgesetz spielt die Abfallhierarchie eine prominente Rolle. Sie priorisiert die Reparatur (Vorbereitung zur Wiederverwendung) vor anderen Verwertungsoptionen. In der Praxis wird die Abfallhierarchie im Fahrzeugbereich bislang aber kaum umgesetzt. Es gibt weder Anforderungen an die Reparierbarkeit, noch spielt sie nach einem Unfallschaden bei der Entscheidung zwischen Reparatur und neuem Ersatzteil eine Rolle (vgl. Kapitel 2.5).

Ergebnisse

Ökobilanzen, die die Umweltwirkungen von Reparatur und Austausch bewerten, gibt es bislang erst wenige. Für den vorliegenden Bericht wurden für drei Unfallschäden an Karosserieteilen (Tür, Seitenteil und Stoßfänger) vertiefende Ökobilanzen durchgeführt. In allen untersuchten Fallbeispielen wurde für die Reparatur eine Reduktion der Treibhausgasemissionen im Vergleich zum konkurrierenden Austausch der defekten Teile berechnet. Ein ähnliches Ergebnis ergibt sich mit wenigen Ausnahmen auch für alle anderen untersuchten Umweltwirkungskategorien (vgl. Kapitel 3.4).

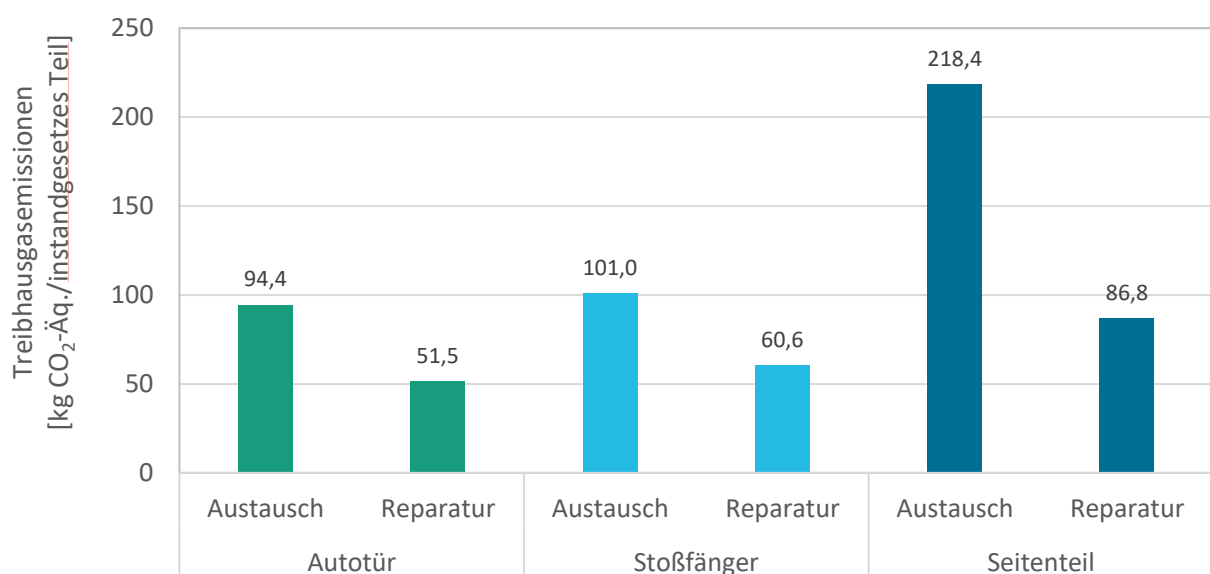


Bild 1: Treibhausgasemissionen für alle drei Untersuchungsbeispiele.

Im Rahmen einer Szenarioanalyse wurde gezeigt, dass auch bei variierenden Randbedingungen die Präferenz zugunsten der Reparatur robust ist. Grundsätzlich lässt sich feststellen, dass der Aufwand für beide Instandsetzungsprozesse vom Energiebedarf (Strom und Wärme) dominiert wird. Beim Austausch kommt ein hoher Aufwand für die Herstellung des Ersatzteils hinzu. Die Umweltbelastung kann deutlich reduziert werden, wenn die Energieeffizienz der Werkstatt gesteigert und auf erneuerbare Energien umgestellt wird. Diese

Maßnahmen würden sich bei der Reparatur stärker positiv auswirken als beim Austausch.

Im Ergebnis dieser Studie zeigt sich, dass niedrige Umweltwirkungen in zwei von drei Fällen auch mit geringeren Kosten der Instandsetzung einhergehen (Bild 2). Vereinfacht ausgedrückt: Eine kostengünstige Instandsetzung ist häufig auch eine umweltfreundliche Instandsetzung - und dies, ohne technische Nachteile in Kauf nehmen zu müssen (vgl. Kapitel 3.5).

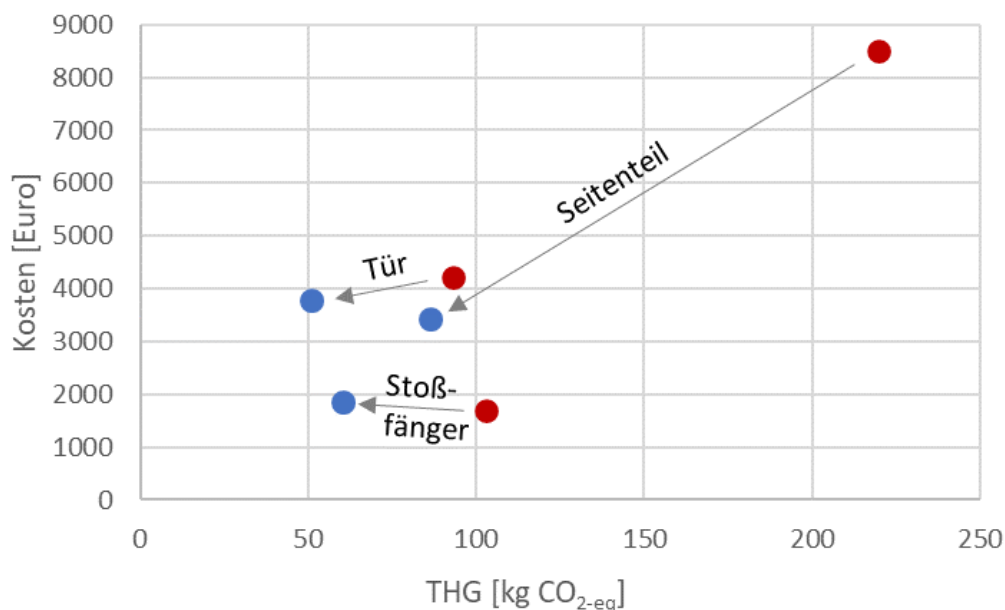


Bild 2: Kosten und Treibhausgasemissionen (THG) der untersuchten Anwendungsbeispiele (blau = Reparatur, rot = Austausch).

Empfehlungen

Vor dem Hintergrund der durch unsere Analyse gezeigten ökologische Vorteile der Reparatur gegenüber dem Austausch möchten wir folgende vier Empfehlungen an die Stakeholder geben:

1. **Wissenschaft:** Die begriffliche Trennung von »Instandhaltung«, »Instandsetzung«, »Reparatur« und »Austausch« als konkurrierende Instandsetzungsmaßnahmen sollte in Normen oder Richtlinien ausgeführt und präzisiert werden. Die in Kapitel 2.3 aufgezeigte Unschärfe wirft insbesondere die Frage auf, ob der Austausch eines Teiles deutlich von dessen Reparatur abzugrenzen ist. Ihre Beantwortung dürfte für regulatorische Prozesse zur Reparatur, wie sie auf europäischer und nationaler Ebene vorangetrieben werden, relevant sein.
2. **Hersteller:** Pkw sollten, wie alle Investitionsgüter, in Bezug auf ihre Reparierbarkeit optimiert werden. Die heutigen integralen Bauweisen sind zu überdenken und die Reparierbarkeit muss wie die Recyclingfähigkeit

im Entwicklungsprozess besser berücksichtigt werden. Die ökonomischen und ökologischen Einsparpotenziale der Reparatur sollten sich dadurch gegenüber dem Austausch weiter steigern lassen.

3. **Werkstätten, Versicherungen, Gutachter:** Die Entscheidung zwischen Reparatur und Austausch sollte neben ökonomischen und technischen auch auf ökologischen Kriterien beruhen. Diese Studie zeigt, dass durch die Wahl der Instandsetzungsvariante negative Umweltwirkungen verringert werden können. Dazu sollten eine ausreichende Datenbasis geschaffen und Methoden für eine einzelfallspezifische Bewertung entwickelt werden, sodass werkstattspezifische, fahrzeugspezifische und schadensspezifische Faktoren berücksichtigt werden können. Die einzelfallspezifische Bewertung sollte Eingang in Gutachten und Schadenskalkulationen finden. Nutzende sollten einen Anspruch auf Informationen haben, die eine Auswahl der Lösungsoptionen auch nach ökologischen Kriterien erlauben.
4. **Politik:** Politisch-regulatorische Maßnahmen wie Reparaturquoten, erniedrigte Mehrwertsteuersätze auf Reparaturen etc. sollten zur Aktivierung der ökologischen Potenziale der Reparatur und damit der Durchsetzung der Abfallhierarchie geprüft und forciert werden. Diese Studie hat gezeigt, dass verschiedene Instandsetzungsvarianten sehr unterschiedliche Umweltwirkungen haben, dies sollten politisch-regulatorische Instrumente angemessen berücksichtigen.

2 Reparatur oder Austausch von Karosserieteilen

2.1 Worum geht es?

Das Leitbild der Nachhaltigen Entwicklung (Sustainable Development) hat sich zum zentralen Bewertungsmaßstab sämtlicher menschlicher Aktivitäten entwickelt und hält Einzug in alle Bereiche von Wirtschaft, Technik, Forschung und Gesellschaft (RNE 2021). Seine Umsetzung zielt darauf ab, die Bedürfnisse der heutigen Generationen zu befriedigen, ohne zukünftigen Generationen die Möglichkeit zu nehmen, ihren Bedürfnissen nachgehen zu können (WCED 1987).

Die Circular Economy bildet dabei ein wichtiges Konzept, um unseren Ressourcenverbrauch von der Wirtschaftstätigkeit zu entkoppeln (EMF 2023). Sie bedient sich dazu unterschiedlicher Strategien, zu denen das Recycling, die Wiederverwendung und die Reparatur gehören (Potting et al. 2017). Die Reparatur gilt dabei als besonders leistungsfähige Strategie, deren Potenziale aber systematisch vernachlässigt werden, da sie mit dem dominierenden Produktionssystemen und Konsummustern nur schwer vereinbar ist (Bertling und Leggewie 2016). Die Automobilbranche war lange Zeit die Vorzeigebbranche für die Reparatur, ähnlich wie im Bereich Textilien und Bekleidung ist sie aber auch hier auf dem Rückzug. Einerseits sind hierfür sinkende Unfallzahlen verantwortlich, andererseits aber auch komplexe Bauweisen und Materialien, die die Reparatur erschweren und verteuern (Matthiss 2001; Kiebach 2021). Statt der manuellen Reparatur dominiert der Austausch defekter Teile durch neue; nicht selten werden ganze Baugruppen gewechselt. Das Werkstattgeschäft wird von den Hersteller- und Zuliefererbetrieben und deren Interesse an einem florierenden After-Sales-Markt dominiert.

An dieser Stelle setzt die vorliegende Studie an. In einer Ökobilanz (Lebenszyklusanalyse, LCA) werden die Umweltwirkungen bei der Instandsetzung beschädigter Pkw untersucht und die beiden Varianten »Reparatur« und »Austausch« gegenübergestellt. Ziel ist es, über die nachhaltigere, umweltfreundlichere Praktik entscheiden zu können. Während mit dem Austausch eines defekten Karosserieteils immer auch die ressourcenintensive Herstellung des Neuteils und auch die nachgelagerte Verwertung der defekten Teile verbunden ist, ist die Reparatur zumeist zeitintensiver und erfordert mehr handwerkliche Arbeiten. In Kapitel 0 werden zunächst die Rahmenbedingungen für die Reparatur erläutert. Anschließend werden in Kapitel 3 die Ergebnisse der Ökobilanz zusammenfassend dargestellt. Die Details der Ökobilanz findet sich im ergänzenden Material, das im Anhang verlinkt ist.

2.2 Rahmendaten und ökonomische Aspekte

In Deutschland gab es 2021 über 48,5 Millionen Pkw, hinzukommen 3,5 Millionen Lkw und 4,7 Millionen Motorräder. 65,8 Milliarden Euro werden jährlich für neue Fahrzeuge ausgegeben und immerhin 25,9 Milliarden für deren Wartung und Reparatur (Kfz-Gewerbe 2022). Für einen privaten Haushalt ergeben

sich für den Bereich Mobilität Ausgaben von durchschnittlich 322 Euro pro Monat. Auch wenn diese Ausgaben coronabedingt 2021 und 2022 leicht gesunken sind, stellt der Bereich Mobilität nach Wohnen und Nahrungsmitteln mit 12,3 Prozent weiterhin die drittgrößte Ausgabengruppe für die privaten Haushalte dar (Statistisches Bundesamt (Destatis) 2022).

Etwa 2,3 Millionen Fahrzeuge waren 2021 an einem polizeilich gemeldeten Unfall beteiligt, dies entspricht 4 Prozent der Fahrzeuge im Bestand. In den meisten Fällen handelte es sich dabei glücklicherweise um reine Sachschäden (Statistisches Bundesamt (Destatis) 2023). Der Gesamtverband der deutschen Versicherungswirtschaft hat für das Jahr 2021 ca. 8,5 Millionen Kfz-Verschädigungen erfasst, die auch eine Vielzahl kleiner nicht meldepflichtiger Unfälle umfasst (GDV 2022b, 2022c). Die typische Schadenshöhe beträgt 2400 Euro, im Falle von Haftpflichtschäden steigt dieser Wert auf 3375 Euro. Im Zeitraum von 2013 bis 2021 nahm die durchschnittliche Schadenshöhe jährlich um 4,4 Prozent zu, während der Verbraucherpreisindex im gleichen Zeitraum nur um jährlich 2,1 Prozent stieg. Der Gesamtverband der Versicherer GDV sieht vor allem in den Ersatzteilkosten einen wesentlichen Preistreiber (GDV 2022a).

Wartungs- und Reparaturkosten inklusive der Ersatzteile sind nach den Anschaffungskosten eines Pkw sowie den Kraftstoffkosten und noch deutlich vor den Ausgaben für den öffentlichen Nah- und Fernverkehr die drittgrößte Kostenposition der privaten Haushalte im Bereich Mobilität (Bild 3). Sie betragen im Durchschnitt 2,3 Prozent der gesamten Konsumausgaben der privaten Haushalte und summieren sich auf jährlich 708 Euro pro Haushalt. Die Ausgaben für Reparatur und Ersatzteile steigen mit dem Haushaltsnettoeinkommen relativ zu den gesamten Konsumausgaben. Die Möglichkeit, Fahrzeuge instand zu setzen und zu halten, wird offensichtlich zunehmend zu einem Luxusgut (Bild 4).

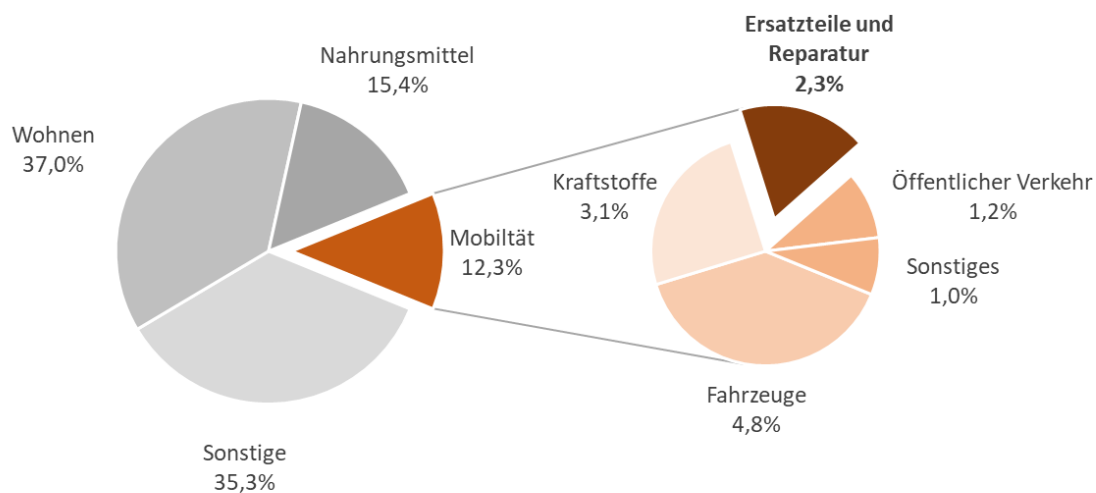


Bild 3: Verteilung der Konsumausgaben der privaten Haushalte in Deutschland 2021 [eigene Abbildung auf Basis von (Statistisches Bundesamt (Destatis) 2022)].

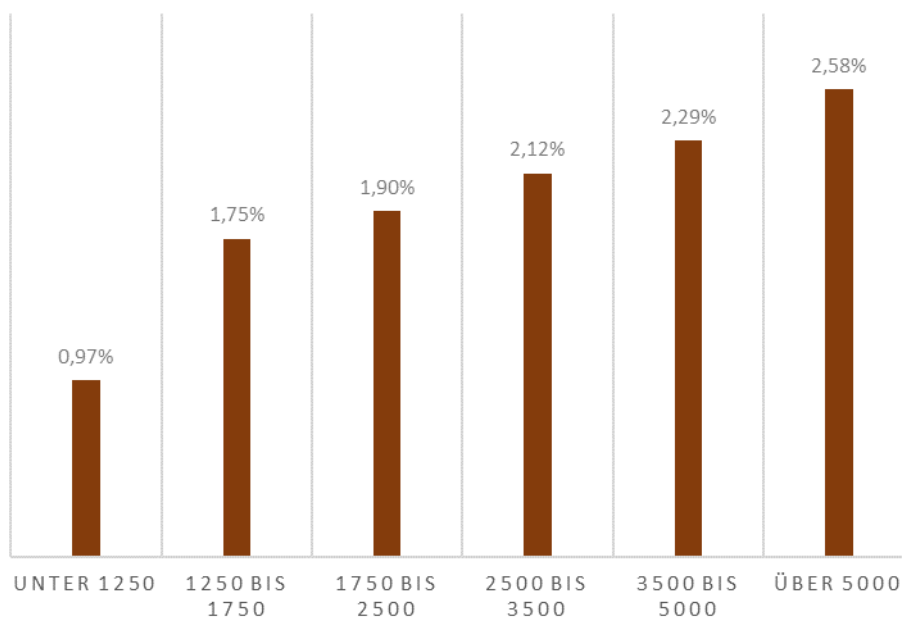


Bild 4: Prozentualer Anteil der Ausgaben für Reparatur und Ersatzteile der privaten Haushalte nach Haushaltsnettoeinkommen in Deutschland 2021 [eigene Darstellung auf Basis von (Statistisches Bundesamt (Destatis) 2022)].

2.3 Reparatur und Austausch in Kfz-Werkstätten

Es gibt in Deutschland 39 620 Kfz-Werkstätten, von denen 3200 Karosserie- und Lackierbetriebe mit dem Schwerpunkt Instandsetzung sind. Unfallschäden werden vor allem in Karosserie- und Lackierbetrieben instandgesetzt. 90,6 Prozent des Branchenumsatzes entfallen auf Reparatur, Ersatzteile und Lackierung. Die Kostenstruktur der Branche wird vom Materialeinsatz (36,3 Prozent) und den Personalkosten (38,7 Prozent) bestimmt (ZKF 2022b). Der Materialeinsatz ist damit im Vergleich zum verarbeitenden Gewerbe in Deutschland eher unterdurchschnittlich, der Personaleinsatz überdurchschnittlich. Der Energieverbrauch wird vor allem durch die Lackieranlagen verursacht. Vor der Energiekrise betragen die Energiekosten typischerweise ca. ein Prozent der unternehmerischen Gesamtkosten.⁴ In Anbetracht der Tatsache, dass die Preise für Heizöl, Gas und Strom erheblich gestiegen sind, dürfte die Branche allerdings zunehmend auch die Kriterien für energieintensive Unternehmen erfüllen (ZKF 2022a).

Die wichtigste Aufgabe von Kfz-Werkstätten ist es, Fahrzeuge instand zu setzen oder instand zu halten (Bild 5). Während die Instandhaltung – bestehend aus Inspektion und Wartung – ein regelmäßiger Prozess ist, bei dem bekannte

⁴ Dies entspricht dem Wert, der sich aus Bultink Angaben zurückrechnen lässt. Die Reparaturbranche insgesamt besitzt laut DESTATIS 0,7 %.

Verschleißteile (Filter, Dichtungen, Zahn- und Keilriemen, Reifen etc.) ausgetauscht oder Betriebsmittel (Motor-, Getriebe- und Hydrauliköl, Bremsflüssigkeit, Wischwasser oder Harnstofflösung etc.) ersetzt werden, dient die Instandsetzung zur Beseitigung massiver Schäden. Diese Schäden können aus Unfällen, Vandalismus, Extremwetterereignissen oder dem nicht planmäßigem Versagen von Fahrzeugkomponenten resultieren.

Grundsätzlich können Schäden auf zwei Arten beseitigt werden: durch Reparatur oder durch Austausch des defekten Teiles. Beim Austausch wird die schadhafte Komponente vollständig entfernt und durch ein Neuteil (seltener Gebrauchtteil) ersetzt, dabei ist das ausgetauschte Karosserieteil oder die Baugruppe häufig sehr viel größer als die eigentliche Schadstelle. In vielen Fällen lässt sich das schadhafte Karosserieteil an vorgesehenen Trennebenen ein- und ausbauen. Einen reinen Austausch gibt es bspw. bei defekten Windschutzscheiben oder Scheinwerfern. Karosserieteile oder Stoßfänger hingegen werden in der Regel unlackiert geliefert und müssen noch an die äußere Gestaltung des Fahrzeugs angepasst werden. Bei der Reparatur wird im Gegensatz zum Austausch der Schaden direkt an der Schadstelle bearbeitet – es wird ausgebeult, gespachtelt und geschliffen (Bultink 2022). Nicht immer lassen sich die beiden Varianten scharf voneinander trennen. So ist die Begriffsverwendung häufig auch eine Frage des betrachteten Systems. Beschränkt man die Betrachtung auf den defekten Bereich, ist der Unterschied zwischen Reparatur und Austausch deutlich; wird die Betrachtung hingegen auf das gesamte Fahrzeug ausgeweitet, könnte auch der Austausch als Reparatur des Fahrzeugs aufgefasst werden. Auch in technischen Berichten oder Normen existiert keine scharfe begriffliche Abgrenzung oder gar einheitliche Verwendung. Die DIN 31051 ordnet die Instandsetzung, wie die Verbesserung der Instandhaltung unter, nimmt gleichwohl keine Unterscheidung zwischen Reparatur und Austausch vor (DIN 31051). Der vorliegende Bericht verwendet die von der Norm abweichende begriffliche Einteilung gemäß Bild 5.

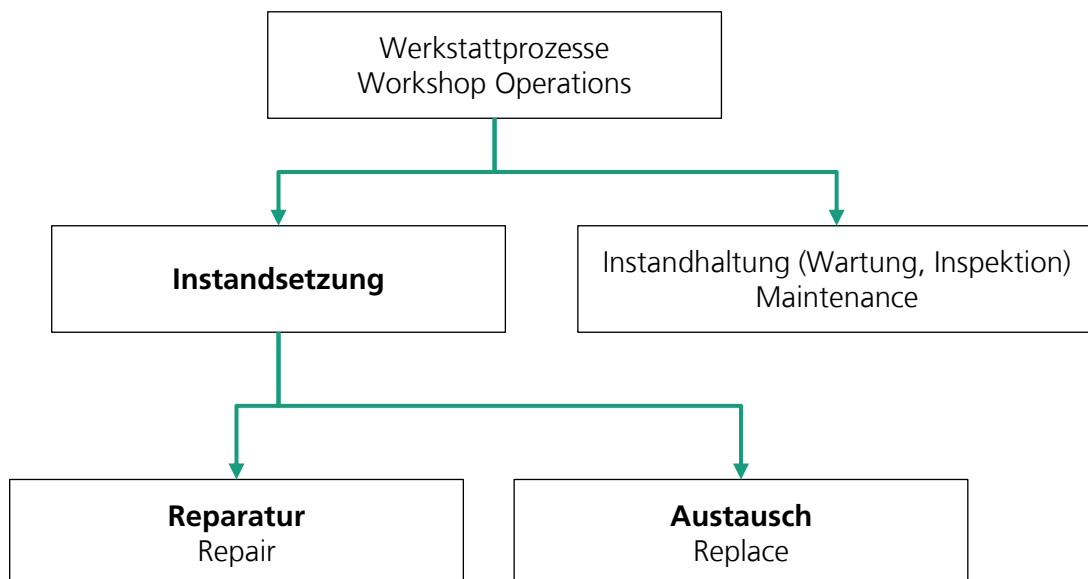


Bild 5: Einteilung der Werkstattprozesse mit den deutschen und englischen Begriffen (für den deutschen Begriff Instandsetzung existiert keine adäquate englische Entsprechung [eigene Darstellung]).

Zu den wichtigsten Grundoperationen der Instandsetzung gehören

- Ausbeulen (Entfernung von Dellen durch Drücken oder Ziehen)
- Richten
- Trennen und Schweißen
- Spachteln und Schleifen
- Lackieren (inkl. Primer, Füller, Basislack und Klarlack)

Methoden wie »Smart/Spot Repair« erlauben es, Kleinschäden ohne Ausbau der Teile instand zu setzen und gleichzeitig Lackierarbeiten zu vermeiden oder lokal zu begrenzen. Bei größeren Unfallschäden wird der beschädigte Karosserieabschnitt ausgebaut. Beim Ausbau müssen nicht selten Dichtungen, Innenverkleidungen, Zierleisten und Elektronik entfernt werden. Beim Ersatz der defekten Karosserieteile durch Neuteile ist der Aufwand zur Montage und Demontage häufig deutlich umfangreicher. Gründe sind die Zunahme nicht und nur schwer lösbarer Klebeverbindungen, die Verwendung von Verbundmaterialien sowie der Einbau von Sensorik. Vor allem bei Schäden an geschweißten, geklebten oder großflächigen Teilen wie Seitenteilen sind beim Einbau Karosserieschnitten an Fahrzeug und Neuteil notwendig. Dies führt zu hohen Schnittverlusten und erfordert auch an den zusätzlichen Trenn- und Schweißstellen einen erheblichen Nachbearbeitungsaufwand. Tabelle 1 gibt eine Übersicht über technische Argumente zugunsten von Reparatur bzw. Austausch (Bultink 2022).

Ein weiterer wichtiger Aspekt bei der Instandsetzung ist die Schadenskalkulation. Hierfür wird heute üblicherweise eine Software (bspw. Audatex, DAT oder Schwacke/Eurotax) eingesetzt. Dort sind feste Arbeitszeiten und Preise für viele Instandsetzungsprozesse hinterlegt. Während für Austauschprozesse feingliederte und umfangreiche Daten verfügbar sind, sieht es bei Reparaturarbeiten anders aus; hier findet häufig eine individuelle, werkstattspezifische Kalkulation statt. Diese erfordert viel Erfahrung und ist ggf. mit höheren Unsicherheiten und Risiken verbunden (Brinster 2022).

Tabelle 1: Technische Argumente pro Reparatur und pro Austausch (Instandsetzungsvariante ist: vorteilhaft ✓, eingeschränkt vorteilhaft (✓), nachteilig x, eingeschränkt nachteilig (x))

Technisches Argument	Reparatur	Austausch
Im geschädigten Teil ist Sensorik verbaut (muss ein- und ausgebaut und ggf. neu kalibriert werden)	✓	x
Dichtungen, Innenverkleidung im Schadensbereich (werden bei Austausch gelöst, Wiederherstellung aufwendig)	✓	x
Der Schaden befindet sich auf großen Teilen (erfordert bei Austausch Karosserieschnitte, Schweißnähte und deren Versiegelung)	✓	x
Schaden weist Risse oder Löcher in Karosserieteilen auf	x	✓
Schaden liegt im Randbereich von Karosserieteilen (bspw. eingedrückte Türkante)	x	✓
Schadhaftes Karosserieteil liegt an Designkanten (teilweise abhängig von der nachzubildenden Kontur)	(✓)	(x)
Schadhaftes Karosserieteil ist hybrid (bspw. verklebte Kotflügelinnenverkleidung aus Kunststoff)	✓	x
Günstige Nachbauten oder Gebrauchtteile sind verfügbar	x	✓
Carbonkarosserien, warmumgeformte Stähle etc.	x	✓

2.4 Was bestimmt die Entscheidung für Reparatur oder Austausch?

In Bezug auf die Frage »Reparatur oder Austausch?« gibt es verschiedene und zum Teil gegenläufige Interessen der relevanten Stakeholder:

Private Nutzerinnen und Nutzer: Laut einer Allensbach-Umfrage zur Mobilität halten 72 Prozent der in Deutschland lebenden Personen das Auto für unverzichtbar. 47 Prozent nutzen es täglich, weitere 23 Prozent mehrmals wöchentlich. Im öffentlichen Nahverkehr sehen nur 22 Prozent eine echte Alternative (Acatech 2023). Mehr als ein Drittel der Menschen geben ihrem Auto sogar einen Kosenamen (ADAC 2021). Das Verhältnis der Menschen zum Fahrzeug kann daher als eng und nicht immer rational angesehen werden. Werkstattmitarbeitende berichten über Nutzer und Nutzerinnen, die auf einen Austausch bestehen, selbst wenn dies technisch wenig sinnvoll ist, da beispielsweise Folgeschäden durch den Austausch wahrscheinlich sind. Über den umgekehrten Fall, dass jemand auf Reparatur statt Austausch besteht, wird hingegen selten berichtet (Bultink 2022). Dies zeigt, dass die Nachteile und technischen Risiken, die mit dem Austausch von geklebten oder genieteten Teilen und solchen, die schneidend herausgetrennt werden müssen sowie mit den notwendigen umfangreichen Demontearbeiten von Elektronik, Innenverkleidungen, Dichtungen und Zierleisten einhergehen, nur wenig bekannt sind. Gleichzeitig fehlt das Wissen über die Weiterentwicklung und Leistungsfähigkeit moderner Reparaturtechniken. Ein Aspekt, der aus Nutzersicht für die Reparatur sprechen sollte, ist, dass diese zeitlich besser planbar ist. Während der Coronakrise und nach dem Beginn des russischen Krieges gegen die Ukraine gab es für viele Ersatzteile Lieferengpässe, die zum Teil zu langen Werkstattaufenthalten führten (Schoch 2022). Aus Eigentümersicht spricht im Weiteren die sogenannte »merkanthile Wertminderung« für die Reparatur. Mit dem Begriff wird der Effekt be-

zeichnet, dass sich der Marktwert eines Fahrzeugs nach einem Unfall trotz vollständiger Instandsetzung mindert (verivox 2023). Die merkantile Wertminderung ist direkt von der Schadenshöhe abhängig. Aus Eigentümersicht wäre es daher sinnvoll, eine vollständige, aber gleichwohl kostengünstige Beseitigung des Unfallschadens anzustreben; dies gilt auch dann, wenn es sich um einen Haftpflichtschaden handelt. Es kann davon ausgegangen werden, dass die merkantile Wertminderung wie die technischen Randbedingungen von Reparatur und Austausch privaten Eigentümern nur wenig bekannt sind.

Leasingunternehmen: Bei Leasingunternehmen kann ein professionelles und rationales Vorgehen bei der Reparatur von Fahrzeugen unterstellt werden. Gleichwohl wirkt die zuvor beschriebene merkantile Wertminderung hier genau entgegengesetzt, da höhere Kosten einer Instandsetzung die Restwerte der Fahrzeuge zum Ende der Leasingzeit herabsetzen und dadurch entsprechend höhere Ausgleichszahlungen seitens des Leasingnehmers zum Ende der Leasingzeit geleistet werden müssen.

Hersteller (OEM): Die Anzahl der Modellreihen und die Häufigkeit von Modellwechseln bei Pkw hat sich in den letzten Jahren deutlich erhöht und selbst innerhalb einer Modellreihe ist es üblich, vor allem die äußere Form und Gestaltung in noch kürzeren Zeiträumen aufzufrischen (Facelift), um Markttrends zu entsprechen. Gleichzeitig sind Lebensdauer und erreichbare Laufleistung der Pkw gestiegen (heyca 2020). Dies stellt die Hersteller vor die Herausforderung, eine Vielzahl unterschiedlicher Ersatzteile vorzuhalten. Lösungen wie die Produktion der Ersatzteile erst bei Bedarf («Spare-Parts on demand») sind bis heute noch eher die Ausnahme (Zhang et al. 2021). Die Kosten für die individuelle Fertigung bspw. über den 3D-Druck dürften hier bestimmend sein. Prinzipiell wäre es sinnvoll, wenn die Hersteller die Reparierbarkeit von Fahrzeugen und Karosserieteilen durch dezentrale Werkstätten unabhängig von auszutauschenden Ersatzteilen ermöglichen und bereits bei der Fahrzeugkonstruktion ein »Design for Repairability« berücksichtigen. Auf der anderen Seite gibt es seitens der Hersteller zunehmend Bemühungen, neue Leichtbauweisen zu etablieren, vor allem um die Reichweite von Elektrofahrzeugen zu optimieren (Ahlers 2016; Köth und Reichhardt 2020; Autoform 2023). Dieser Trend wird eher zu einer abnehmenden Reparierbarkeit und einem vermehrtem Komponentenaustausch führen. Auf der anderen Seite hat die Europäische Union im Rahmen der Novellierung der Ökodesignrichtlinie damit begonnen, die langfristige Verfügbarkeit von Ersatzteilen zu regulieren (Handwerksblatt 2019). Auch wenn die Automobilbranche von den Regelungen bislang noch nicht betroffen ist, würden sie im Falle ihrer Anwendung eine Lenkungswirkung in Richtung Austausch statt Reparatur bewirken.

Die Zukunft der Reparierbarkeit

„Was wäre, wenn wir darauf bestehen würden, ein Auto mehr als zehn Jahre lang zu behalten und es gut zu warten, ohne Rücksicht auf all die Marketing- und Techniktricks? [...] Da die Löhne steigen und die Reparatur schwieriger wird, sind die Gesamtkosten [...] höher als in der Vergangenheit, vor allem bei Autos, die älter als zehn Jahre sind und eine Generalüberholung benötigen. Einige Teile können heute nicht mehr einzeln bestellt werden, sondern werden in Paketen geliefert, die auch nicht benötigte Teile enthalten. Wenn man die Wartungskosten mit dem Kaufpreis eines Neuwagens vergleicht, würden viele ihr altes Auto einfach aufgeben und sich einen neuen Wagen kaufen. Wie sieht die Zukunft der Reparierbarkeit aus? Lassen Sie uns den Nullpunkt anpeilen!“

Willson, 30.04.2021

(automurmur.medium.com, übersetzt aus dem Englischen)

Ersatzteilhersteller und -lieferanten: Der Markt für Autoteile inkl. Ersatzteilen («After-Sales-Markt») erreicht allein in Deutschland ein Volumen von 26,5 Milliarden Euro (GVA 2023). Die Hersteller von Ersatzteilen – sowohl die Originalhersteller (Original Equipment Manufacturer OEM) als auch Hersteller freier Teile – haben verständlicherweise wenig Interesse an einer Reparatur. Die hohen Preise, die zum Teil für Ersatzteile erzielt werden, stellen ein attraktives Geschäftsfeld dar. Die Ersatzteilpreise sind in den letzten 10 Jahren um durchschnittlich 4,7 Prozent gestiegen, während der Verbraucherpreisindex nur um 2,1 Prozent zunahm (Tabelle 2). Die Hersteller definieren in ihren Herstellervorgaben auch Instandhaltungswege und führen damit zu einer Vorfestlegung in ihrem Sinne. Diese Herstellervorgaben finden sich in Reparaturanleitungen, die in der Software zur Schadenskalkulation zum Teil bereits integriert sind und eine automatisierte Kalkulation im Sinne der Hersteller mit Originalersatzteilen unterstützen (DAT 2023). Es gibt weiterhin das Werkstattlabel »Eurogarant«, welches explizit darauf ausgelegt ist, dass die Labelnehmer sich zu einer Reparatur nach Herstellerangaben verpflichten. Andererseits wird in der Labelbeschreibung darauf hingewiesen, dass auch Ausbeulen und Auswechseln Bestandteile der Leistungen der Eurogarant-Fachbetriebe sind (ZKF 2023a, 2023b). Es stellt sich die Frage, wie zwischen diesen beiden Varianten entschieden wird. In der Rechtsprechung geht man davon aus, dass Austausch und Reparatur zu gleichen Ergebnissen führen können und daher keine Variante auch bei entsprechenden Herstellervorgaben zum Austausch zu bevorzugen ist (Auto.de 2012).

Tabelle 2: Entwicklung der Ersatzteilpreise von 2013 bis 2022 [Daten aus (GDV 2022a)]

Ersatzteil	Preise in Euro		Preisanstieg
	2013	2022	
Seitenteil hinten	440	818	+71 %
Stoßfänger hinten	322	515	+60 %
Kotflügel vorn	191	294	+53 %
Tür hinten	496	753	+51 %
Windschutzscheibe	367	500	+36 %
Rückleuchte	144	257	+79 %

Werkstätten: Aus der Sicht der Werkstätten wären personalintensive gegenüber vorleistungsintensiven Dienstleitungen eigentlich zu bevorzugen, um die eigene Wertschöpfung zu steigern. Dies würde in den meisten Fällen zugunsten der Reparatur und gegen einen Austausch sprechen – sofern beide zu technisch gleichwertigen Ergebnissen führen. Margen können aber auch durch die Differenz zwischen kalkuliertem Ersatzteilpreis und tatsächlichem Ersatzteilpreis erzielt werden. Die Margen auf Ersatzteile erreichen nicht selten 30 Prozent und gelegentlich sogar über 50 Prozent des Verkaufspreises (Kfz-Betrieb 2023, 2014). Seit 2020 wird aber auch über eine »Margenkrise« berichtet, die insbesondere einige Markenwerkstätten betrifft (BVDP 2020). Die Margenkrise könnte sich zugunsten der Reparatur auswirken. Auch die Ersatzteilverfügbarkeit ist ein relevanter Aspekt. Vor der Coronakrise und dem russischen Angriffskrieg war die Ersatzteilversorgung weitgehend unproblematisch und in kürzesten Zeiten möglich. Dies hat sich in den letzten zwei Jahren allerdings deutlich geändert (Schoch 2022; Bruns. C. 2016).

Versicherungen: Kfz-Versicherungen sind naturgemäß an niedrigen Kosten der Instandsetzung interessiert. Dies dient nicht zuletzt auch dem Kreis der Versicherten, denn letztlich werden die durch die Versicherungsfälle entstandenen Kosten auf sämtliche Versicherten umgelegt. Allerdings hat sich in den Jahren 2020 und 2021 die Schaden-Kosten-Quote in der Kfz-Versicherung für die Versicherungen sehr positiv entwickelt. Als Schaden-Kosten-Quote wird das Verhältnis von Bruttoaufwendungen für Versicherungsfälle und Versicherungsbeitrag zu den Bruttobeiträgen beschrieben. Je niedriger diese Quote, desto profitabler ist die Versicherung. Während die Schaden-Kosten-Quote in den Jahren 2015 bis 2019 bei 96 bis 99 Prozent schwankte, betrug sie 2020 nur 90 Prozent und 2021 immerhin 95 Prozent (GDV 2022b). Allerdings gab es andere Versicherungsbereiche, die sich zeitgleich ungünstig für die Versicherungen entwickelt haben. Im Jahr 2021 lag die Schaden-Kosten-Quote über alle Schadens- und Unfallversicherungen bei 102 Prozent. Die Steigerung bei den Leistungen im Zeitraum 2015 bis 2021 betrug für alle Unfall- und Schadensarten 4,7 Prozent und lag damit deutlich über der Inflationsrate. Im gleichen Zeitraum stiegen die Leistungen in der Kfz-Versicherung allerdings unterdurchschnittlich mit 1,8 Prozent (während gleichzeitig die Schadenshöhe im Haftpflichtbereich deutlich anstieg, vgl. Kapitel 2.1). Aus Sicht der Versicherungen kann daher von nicht einer problematischen Kostenentwicklung gesprochen

werden, gleichwohl können Einsparungen in diesem Segment zu einer Begrenzung der Kostenanstiege für Versicherungen insgesamt beitragen. Darüber hinaus sehen die Versicherungen große Unterschiede zwischen den Werkstätten, was die Reparaturquote, bedingt durch die Bereitschaft bzw. Befähigung zur Reparatur, angeht. Allerdings argumentieren die Versicherungen auch aus ökologischen Gründen für mehr Reparaturen und weniger Austausch, weil auch sie hier eine Möglichkeit zur Reduktion von Treibhausgasemissionen sehen (Versicherungsbote 2022).

Gutachter: Gutachtende sind zur Objektivität und Neutralität verpflichtet, dies gilt unabhängig davon, durch wen der Sachverständige bestellt und bezahlt wird. Problematisch ist, dass sich das Honorar an der Schadenshöhe orientiert (Bussgeldkatalog.de 2022), was zu Interessenskonflikten führen könnte oder zumindest bei zwei technisch gleichwertigen Wegen zur Instandsetzung wenig Anreize für die Auswahl des günstigeren schafft. Es gibt auch kaum Möglichkeiten, entsprechende Anreize zu schaffen, da die heutige Honorarpraxis mehrfach bestätigt wurde (Rechtslupe 2022). Darüber hinaus stellt sich allerdings die Frage, ob Gutachtende, sofern sie eine Instandsetzung nach Herstellervorgaben a priori als qualitativ überlegen bewerten, auch ökologische Aspekte im Blick haben (vgl. bspw. (B&B 2019).

2.5 Vorrang der Reparatur?

Das deutsche Kreislaufwirtschaftsgesetz hat seinen Geltungsbereich nicht nur in Bezug auf den Umgang mit Abfällen, sondern auch bereits bei der Vermeidung ihrer Entstehung (KrWG 2012). In §6 des Gesetzes ist die als Abfallhierarchie bekannte Priorisierung von Maßnahmen enthalten. Hier wird die Vermeidung der Abfallentstehung und die Vorbereitung zur Wiederverwendung, zu der die Reparatur gehört, eindeutig gegenüber andern Verwertungsoptionen wie das stoffliche Recycling oder die thermische Verwertung priorisiert. Es ist eine spannende Frage, ob die Verwendung eines Ersatzteils unabhängig davon, ob es aus Neumaterial oder Sekundärrohstoffen besteht, bereits durch die Möglichkeit der Reparatur als alternativer Maßnahme ein Abweichen von der Abfallhierarchie darstellt. Dies würde bedeuten, dass eben nicht das ganze Fahrzeug, sondern der defekte Teil in den Blick zu nehmen ist. Instandsetzungsmaßnahmen in Form des Austausches eines Ersatzteiles würden dann weder als Praxis zur Abfallvermeidung noch als Vorbereitung zur Wiederverwendung (Reparatur) deklarierbar. Im Weiteren wäre ebenfalls im Sinne der Vermeidung zu prüfen, ob die Hersteller bereits beim Fahrzeugdesign reduzierte Abfallmengen und Reparierbarkeit ausreichend berücksichtigen, indem sie auf irreversible Füge-techniken und komplexe manuell nicht bearbeitbare Verbundmaterialien soweit möglich verzichten. In der praktischen Anwendung spielt die Abfallhierarchie trotz Verankerung im Kreislaufwirtschaftsgesetz bislang kaum eine Rolle. Ergänzend zum Kreislaufwirtschaftsgesetz adressiert auch die Altfahrzeugverordnung in §8, dass bereits bei der Konstruktion und Herstellung sowohl der Demontage, der Wiederverwendung als auch der stofflichen Verwertung von Karosserieteilen genügend Rechnung zu tragen ist. Im Gegensatz zum Kreislaufwirtschaftsgesetz formuliert sie aber keine Priorität im Sinne der Abfallhie-

rarchie (AltfahrzeugV 2020). Auch die aktuelle Bundesregierung hat sich zu einem Recht auf Reparatur bekannt und will dies durch geeignete Maßnahmen unterstützen (BMUV 2022).



Bild 6: Einordnung von Reparatur und Austausch in der Instandsetzung von Fahrzeugen nach Unfallschäden.

Eine wichtige Beschränkung der Abfallhierarchie findet sich in Absatz 2 des §6 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes. Hier wird ausgeführt, dass von der Abfallhierarchie abgewichen werden kann, wenn eine lebenszyklusweite Betrachtung belegt, dass durch ein Abweichen von der Hierarchie Mensch und Umwelt besser zu schützen sind als bei ihrer Einhaltung (KrWG 2012). Dies wäre beispielsweise denkbar, wenn durch die Reparierbarkeit Leichtbaupotenziale nicht erschlossen werden und infolgedessen der Energieverbrauch und die damit verbundenen Emissionen die etwaigen ökologischen Vorteile der Reparatur überkompensiert. Das folgende Kapitel untersucht, ob die Praktik der Reparatur oder des Austausches ökologisch vorteilhaft sind.

3 Ökologischer Vergleich

3.1 Was sagen bisherige Studien?

Wursthorn et al. (2010) haben eine Studie durchgeführt, in der für Seitenteil, Stoßfänger und Windschutzscheibe die Varianten »Austausch« und »Reparatur« betrachtet wurden. In allen Fällen hat die Reparatur in Bezug auf sämtliche untersuchten Umweltkategorien besser abgeschnitten. Bei einer ergänzenden Analyse zu kleineren Lackschäden zeigte sich, dass auch die Art der Reparatur nochmals deutlich Einsparpotenziale aufweist; so besitzt eine »Spot-Repair« im Vergleich zu einer konventionellen Reparatur deutliche Vorteile. Die zentralen Ergebnisse von Wursthorn et al. werden in Kapitel 3.5 den eigenen Ergebnissen gegenübergestellt.

3.2 Ziel und Untersuchungsrahmen dieser Studie

Im Rahmen dieser Studie wird bewertet, ob die Umweltwirkungen der Reparatur ausgewählter Fahrzeugbauteile der Karosserie im Vergleich zum Austausch derselben Karosserieteile zu ökologischen Vorteilen führen. Dies wird in Fallstudien für drei typische Unfallschäden an ausgewählten Karosserieteilen untersucht. Dies sind:

- Stoßfänger
- Autotür
- Seitenteil

Die ökobilanzielle Bewertung wurde in Anlehnung an die Normen DIN EN ISO 14040/14044 durchgeführt (DIN EN ISO 14040; DIN EN ISO 14044). Ein wichtiger Punkt einer Ökobilanz ist die Festlegung der funktionellen Einheit, welche als Vergleichsgröße den Nutzen des zu bewertenden Systems beschreibt. Für eine funktionelle Einheit wird zusätzlich der Referenzfluss definiert, welcher dessen physische Realisierung darstellt (Peyrl 2014). In dieser Studie ist die funktionelle Einheit als »eine durchgeführte Instandsetzung an einem beschädigten Karosserieteil nach einem Unfallschaden mittels Reparatur oder Austausch in einer deutschen Werkstatt« definiert. Der Vergleich und die verwendete funktionelle Einheit beziehen sich nur auf Schäden, die nach der Instandsetzung (Reparatur oder Austausch) in einen funktionsfähigen Zustand gesetzt werden, d. h. keine sicherheitsrelevanten Qualitätseinbußen und die Wiederherstellung der Form und Funktion gewährleistet sind. Als Zeitraum wird das Referenzjahr 2022 der Datenerhebung betrachtet. Daraus resultiert, dass der Referenzfluss des Systems ein instandgesetztes Karosserieteil an einem Pkw mit Unfallschaden ist.

Das zu bewertende System der beiden Instandsetzungsvarianten (Bild 7) unterteilt sich in Vordergrund- und Hintergrundsystem. Innerhalb der Systemgrenzen des Vordergrundsystems werden sämtliche Prozesse berücksichtigt, die innerhalb der Werkstatt stattfinden, d. h. von der Annahme eines Fahrzeugs mit Karosserieschaden bis zur Aushändigung des instandgesetzten Fahrzeugs.

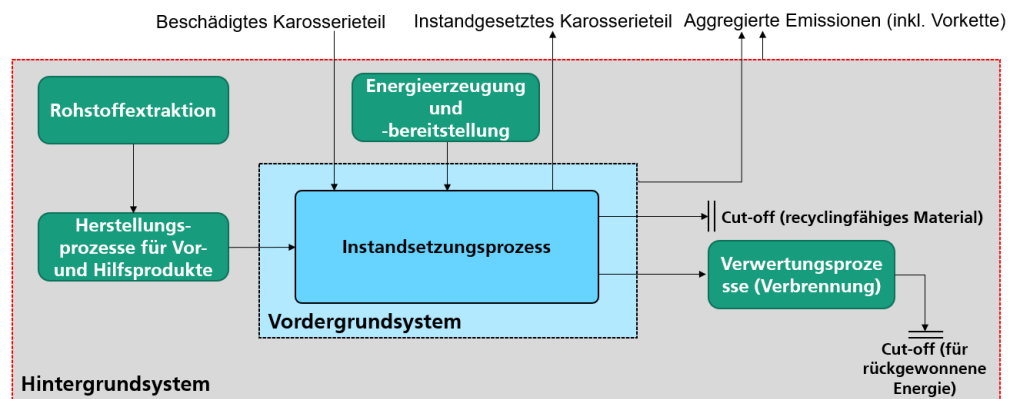


Bild 7: Definierte Systemgrenzen für die Instandsetzung von beschädigten Pkw-Karosserieteilen.

Die Daten für das Vordergrundsyste m wurden vor Ort in einer Karosserie- und Lackierwerkstatt für jeweils einen typischen Schaden der Untersuchungsbeispiele erhoben, welche im Detail in Anhang C beschrieben werden. Einige Input- und Outputflüsse, wie die Energie- und Abfallmengen, konnten nur aggregiert für die gesamte Werkstatt oder mehrere Prozessschritte erhoben werden und mussten daher einem spezifischen Instandsetzungsprozess anteilig zugeordnet werden. Dies schließt auch die Berücksichtigung eines Leihwagens und des Werkstattgebäudes für den Zeitraum der Reparatur bzw. des Austauschs ein. Die Zuordnung (Allokation) von Input- und Outputflüssen wird anteilig für den betrachteten Instandsetzungsprozess oder eines einzelnen Prozessschrittes berücksichtigt (siehe Anhang C »Umgang mit Multifunktionalität«).

Das Hintergrundsyste m beinhaltet alle Prozesse zur Bereitstellung der verwendeten Materialien und Energien zur Instandsetzung, wie z. B. die Herstellung des Neuteils und der verwendeten Lacke oder die Bereitstellung des Stroms für den Werkstattbetrieb. Dies schließt auch die nachgelagerte Abfallbehandlung von Abfällen entsprechend des gewählten Modellierungsansatzes ein (Cut-off-Ansatz). Für die Bilanzierung des Hintergrundsyste ms wird auf verfügbare Datensätze aus der Ökobilanzdatenbank Ecoinvent 3.8, Cut-off by classification zurückgegriffen. Wenn nicht explizit im Anhang C erläutert, wurden die generischen Marktmixe verwendet, die möglichst repräsentativ für den Zielmarkt Deutschland sind. Fehlende Hintergrunddatensätze wurden durch Literaturrecherchen auf Basis der gesammelten Informationen vor Ort ergänzt, wie z. B. die Bereitstellung von Arbeitshandschuhen (siehe Anhang C für weitere Informationen). Die Bewertung der Abfallbehandlung erfolgte entsprechend der Klassifizierung des Cut-off Ansatzes, in dem generell am Lebensende zwischen Abfällen und recyclingfähigen Materialien unterschieden wird.

- **Recyclingfähige Materialien**, an denen ein Interesse an einer Sammlung zur stofflichen Verwertung besteht, wie z. B. ausgebaute Metallteile, werden ab der Anfallstelle vom betrachteten System abgeschnitten. Ein Recycling inklusive ggf. Sammlung und Sortierung werden entsprechend dem Cut-off-Ansatz vollständig dem nächsten Produktionssystem zugeordnet

und hier bilanziell nicht berücksichtigt. Dies gilt auch für anderweitige Wiederverwendung von Karosserieteilen in einem anderen Produktsystem. Beispiele sind das ausgebaute Seitenteil oder die defekte Autotür.

- **Abfälle**, für die kein Interesse an einer Sammlung zur stofflichen Verwertung vorliegt, werden einer Abfallbehandlung der verfügbaren (repräsentativen) Marktdatensätze aus Ecoinvent, cut-off 3.8 zugeführt. Entsprechend dem Cut-off-Ansatz werden die Belastungen vollständig der Instandsetzung zugeordnet, da die Abfälle in diesem System anfallen (siehe Dokumentation in Anhang C). Beispielsweise werden ausgebaute Kunststoffteile im Basisszenario einer Verbrennung zugeführt, da es für Kfz-Kunststoffteile in den Werkstätten in der Regel keine separate Erfassung mit Zuführung zu einem Recycling oder anderweitigen Wiederverwendung gibt.

Entsprechend dem Cut-off-Ansatz erhält das untersuchte System keine Gutschriften für substituierte Prozesse wie z. B. die Bereitstellung von Strom und Wärme aus der energetischen Verwertung. In dieser Studie orientiert sich die Auswertung an den empfohlenen Wirkungsabschätzungsmethoden des »EU-Product Environmental Footprint 3.0« (PEF), welche insgesamt 16 Wirkungskategorien und weitere Unterkategorien umfasst (Zampori und Pant 2019; Europäische Kommission 2021). Darüber hinaus weicht diese Studie aber von der PEF-Methodik in einzelnen Punkten ab.

Zunächst wird eine Berechnung sämtlicher Umweltwirkungskategorien nach PEF 3.0 durchgeführt und für die Basisszenarien der untersuchten Fallbeispiele ausgewiesen. Anschließend werden die mit den Instandsetzungsprozessen verbundenen lebenszyklusweiten »Treibhausgasemissionen« – gemessen in Kilogramm Kohlendioxid-Äquivalenten [kg CO₂-Äq.] – als wichtigster ökologischer Indikator in verschiedenen Szenarien genauer untersucht. Das bedeutet, dass neben CO₂ auch andere klimaschädliche Emissionen über festgelegte Charakterisierungsfaktoren in ihrem Beitrag zum Klimawandel erfasst werden (Pachauri und Mayer 2015). Die Interpretation weiterer von der EU in der PEF-Methode empfohlenen Umweltwirkungskategorien wie Ozonabbau, Versauerung von Boden und Wasser, Eutrophierung, photochemische Ozonbildung, Verknappung von abiotischen Ressourcen (Stoffe, fossile Energieträger) werden im Anhang C beschrieben, sofern sie von der Ergebnisrichtung der Treibhausgasemissionen abweichen.

3.3 Zusammenfassung der Berechnungsergebnisse an den Fallbeispielen

Für diese Studie haben wir Daten für drei exemplarische Unfallschäden an Autotür, Seitenteil und Stoßfänger erhoben. Beide Instandsetzungsprozesse wurden für die Untersuchungsbeispiele Stoßfänger und Autotür am selben Pkw bzw. für denselben Unfallschaden durchgeführt. Dadurch sollten mögliche Unterschiede durch fallspezifische Unfallschäden weitestgehend ausgeschlossen werden, sodass das Schadensbild für die Reparatur und den Austausch identisch waren. Zuerst wurde die Reparatur durchgeführt, wobei das beschädigte Teil – falls notwendig – ausgebaut wurde und anschließend vollständig wieder eingebaut wurde. Im Nachgang wurde der Austausch durchgeführt. Für die Reparatur bzw. den Austausch des Seitenteils war dies aufgrund der Komplexität

der Instandsetzung innerhalb der Werkstatt nicht realisierbar (jedoch wurde in beiden Fällen ein Kombi gewählt).

Für die Datenerhebung wurden jeweils die verwendeten Materialien, der Umgang mit Abfällen und die Dauer der einzelnen Instandsetzungsschritte dokumentiert. Die Zeit wurde erhoben, um später Eingangs- und Ausgangsströme der Sachbilanz, wie z. B. die Bereitstellung von Leihwagen oder das Abfallaufkommen im Betrieb anteilig zuordnen zu können. Die Zuordnung über die Zeit wird im Detail in Anhang C erläutert. Zusätzlich haben wir mit den Kfz-Fachleuten vor Ort und den Fachleuten der Innovation Group gesprochen, um mögliche Spannbreiten bzw. typische Werte der Energie- und Materialverbräuche abzufragen. Dadurch war es möglich, von einem spezifischen Unfallschaden auf einen typischen Unfallschaden zu schließen, der möglichst repräsentativ ist. Alle ermittelten Werte und Annahmen sind im Anhang erläutert.

Dennoch merken wir an dieser Stelle an, dass Unfallschäden in der Regel sehr individuell sind und in der Praxis stark variieren. Aus diesem Grund werden ergänzend zum Basisszenario im Nachgang weitere Szenarien analysiert, bei denen signifikante Einflussfaktoren, wie z. B. die Art der Bereitstellung von Energie oder das Gewicht eines ausgetauschten Neuteils variieren (siehe Kapitel 3.3.2).

Bild 8 (folgende Seite): Fotografien der verglichenen Fallbeispiele, aufgenommen im Rahmen der Werkstattbesuche bei der Bultink GmbH in 2022 (Bilder Tür und Stoßstange © Janek Röttgen 2023, Seitenteil: © Moritz Feller 2023)

Autotür
Reparatur



Austausch



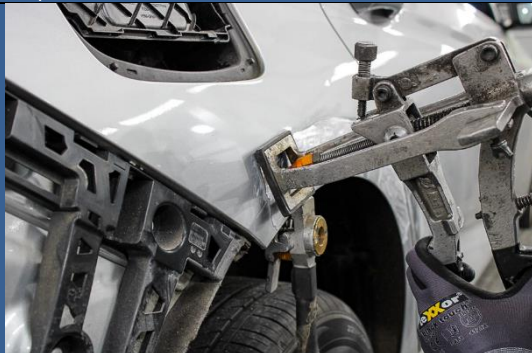
Stoßfänger
Reparatur



Austausch



Seitenteil
Reparatur



Austausch



3.3.1 Basisszenario

Die wesentlichen Annahmen des Basisszenarios sind nachfolgend in Tabelle 3 beschrieben. Die verwendeten Datensätze und Parameterwerte befinden sich im Anhang C.

Tabelle 3: Annahmen im Basisszenario für alle drei Untersuchungsbeispiele

Annahme	Beschreibung
Bereitstellung von Energie	Durchschnittliche Zusammensetzung des Strommixes für Deutschland und den Wärmemix für Erdgas in Europa (ohne die Schweiz).
Eingesetzte Materialien und Rohstoffe	Zur Bilanzierung der eingesetzten Materialien und Rohstoffe in Form von z.B. Arbeitshandschuhen, Ersatzteilen und benötigtem Werkzeug wurden – sofern nicht abweichend begründet festgelegt - der jeweilige möglichst repräsentative Markt-mix verwendet. Dort berücksichtigt sind auch verschiedene Herstellungsrouten für den Zielmarkt, z.B. auch der Einsatz von recycelten Materialien, falls im Markt-mix enthalten.
Werkstattgebäude	Die notwendige Fläche zur Durchführung eines Instandsetzungsprozesses, wie z. B. die Demontage eines defekten Karosserieteils, wurde erfasst bzw. abgeschätzt. Das Gebäude wurde anteilig über die für den jeweiligen Instandsetzungsschritt benötigte Zeit und Fläche zugeordnet. Dabei wurde eine wirtschaftliche Nutzungsdauer der Werkstatt von 50 Jahren angenommen.
Leihwagen	Ein Leihwagen wurde anteilig für die Zeit der Zurverfügungstellung des Leihwagens bei einer angenommenen Lebensdauer eines Pkw von 18 Jahren ermittelt (Statista 2014)
Gewichte und Materialien der Neuteile	Die Art und Masse der verwendeten Materialien wurden aus Datenblättern entnommen oder gewogen, wo möglich. Wenn weder Datenblätter vorlagen oder Messungen möglich waren, fand eine Abschätzung mit Hilfe der Experten vor Ort statt. Im Basisszenario wurde das Gewicht einer Stahltür mit 20 kg, das eines Stoßfängers aus Polyethylen mit 10 kg und das eines Seitenteils aus Stahl mit 19 kg angenommen. Materialien und Gewichte aller anderen verwendeten Produkte inklusive deren Zuordnung zu einzelnen Arbeitsschritten sind dem Anhang C zu entnehmen.
Lacke, Primer, Spachtelmasse und Farben	Für verwendete Lacke, Primer, Spachtelmasse und Farben wurden vor Ort die Mengen erhoben oder alternativ mittels Experteneinschätzung vor Ort abgeschätzt. Die Modellierung der Lacke, Primer, Spachtelmasse und der Farben wurde auf Basis vorhandener Datensätze und Literaturangaben durchgeführt (siehe Anhang C).
Transportdistanzen	Im Basisszenario wurde eine Transportstrecke für die Lieferung des Neuteils von 500 km mit einem Lkw angenommen. Transporte der Vorprodukte und der Transport des Neuteils bis nach Europa sind über die verwendeten Markt-mixe abgedeckt.

3.3.2 Übersicht zu den Szenarien

Abweichend vom Basisszenario wurden verschiedene Szenarien untersucht, die entweder einen einzelnen Einflussparameter oder mehrere Einflussparameter berücksichtigen. Eine zusammenfassende Darstellung der Szenarien findet sich in Tabelle 4.

Tabelle 4: Übersicht zu den Szenarien für alle Untersuchungsbeispiele

Szenarioname	Beschreibung
PV-Anlage	Die Werkstatt erzeugt 50 % des Stroms mittels einer eigenen Photovoltaikanlage und die übrigen 50 % entsprechen dem deutschen Strommix.
BHKW	Ca. 54 % des Stroms und gleichzeitig 50 % des Wärmebedarfs werden über ein erdgasbetriebenes BHKW bereitgestellt (entsprechend der Berechnungen der Referenzwerkstatt, welches einen Gesamtwirkungsgrad von über 90% hat).
Recycling Stoßfänger	Beim Austausch wird der defekte und aussortierte Stoßfänger einem Recycling (alternativ Wiederverwendung) anstatt einer Verbrennung zugeführt. Entsprechend wird der Stoßfänger als recyclingfähiges Material definiert (siehe Abfallbehandlung im Basisszenario).
Leichtes Neuteil	Da die Massen der Neuteile je Pkw-Typ variieren können, werden in diesem Szenario für alle beim Austausch eingesetzten Neuteile eine 30 % geringere Masse angenommen als im Basisszenario.
Material Autotür	Alternativ wurde hier für den Austausch eine Aluminiumtür anstatt einer Stahltür angenommen. Diese Annahme geht gleichzeitig mit einer Reduktion des Gewichts der Tür von 10 auf 20 kg einher, da Aluminium leichter als Stahl ist.
Recycltes Neuteil (nur Stoßfänger und Autotür)	Hier wird angenommen, dass die Neuteile (Autotür und Stoßfänger) ganz oder teilweise aus recycelten Materialien bestehen (100 % recyceltes Aluminium bei der Autotür und 60 % recycelter Kunststoff beim Stoßfänger). Das Seitenteil aus Stahl wurde hier nicht berücksichtigt.
Ideales Szenario	Kombination der zuvor beschriebenen Szenarien, die zu Einsparungen führen (dies sind die Szenarien »leichtes Neuteil«, »recycelter Stoßfänger« und »recycltes Neuteil« sowie »PV-Anlage«).
Andere Lackfarbe	Verwendet wurde ein alternativer Datensatz für einen grauen Lack.
Lange Transportwege	Eine Erhöhung der Transportstrecken für die Lieferung des Neuteils, um den Einfluss der Transportwege zu analysieren (2 000 km per Schiff, plus 1 000 km per Zug und 1 000 km per Lkw).

3.4 Ergebnisse der Ökobilanzierung

Vor dem Hintergrund der beschriebenen Zielsetzung, Methodik, Systemgrenzen und Szenarien (Kapitel 3.2) werden im vorliegenden Kapitel die Ergebnisse für die drei Fallbeispiele zum Vergleich von Reparatur und Austausch dargestellt. Details zur Ökobilanz finden sich in Anhang C

3.4.1 Ergebnisübersicht für das Basisszenario in den betrachteten Wirkungskategorien

Die Reparatur hat im Basisszenario niedrigere negative Umweltwirkungen als der Austausch des defekten Teils. Entsprechend der Empfehlungen der europäischen Kommission wurden hier 17 relevante Wirkungskategorien der PEF-Methode ausgegeben⁵ (EU 2021/2279 2021). Dies gilt für

- 17 von 17 Wirkungskategorien bei der Autotür
- 15 von 17 Wirkungskategorien beim Stoßfänger
Ausnahme: Eutrophierung (Frischwasser) und Ozonabbau
- 17 von 17 Wirkungskategorien beim Seitenteil

Die prozentualen Reduzierungen der Umweltwirkungen durch eine Reparatur im Vergleich zum Austausch sind in Tabelle 5 dargestellt.

In Tabelle 5 ist zu erkennen, dass deutliche ökologische Vorteile durch eine Reparatur im Vergleich zu einem Austausch beim Seitenteil erreicht werden können. In allen analysierten Wirkungskategorien für das Seitenteil ist die Reparatur um mindestens 55 Prozent besser als der Austausch. Auch bei der Autotür liegen die Einsparungen durch die Reparatur im Vergleich zum Austausch im signifikanten Bereich und betragen in allen Wirkungskategorien mindestens 25 Prozent. Wir weisen darauf hin, dass die Reduzierungen einzelfallspezifisch abweichen können. Es ist jedoch zu erwarten, dass vor allem bei Reduzierungen über 20 Prozent die Ergebnisse der Fallbeispiele als robust bezeichnet werden können. In der Szenarioanalyse für die Treibhausgasemissionen in Kapitel 3.4.3. bestätigt sich diese These, da in allen untersuchten Szenarien, die sich zugunsten des Austauschs auswirken, die Reparatur weiterhin insgesamt vorteilhaft bleibt.

⁵ Neben den 16 Wirkungskategorien wurde entsprechend der Empfehlungen zusätzlich noch die Wirkungskategorie Klimawandel, fossil separat ausgegeben, da sie einen Beitrag größer 5 % zur Kategorie Klimawandel, insgesamt ausweist und im Weiteren detaillierter untersucht wird.

Tabelle 5: Prozentuale Einsparungen der Reparatur im Vergleich zum Austausch für alle berechneten Wirkungskategorien. Die Farben zeigen von grün nach rot eine Vorteilhaftigkeit der Reparatur im Vergleich zum Austausch an.

Verringerung der Umweltwirkungen durch Reparatur im Vergleich zum Austausch			
	Autotür	Stoßfänger	Seitenteil
Versauerung	65,9%	42,6%	70,1%
Klimawandel, gesamt	45,5%	40,0%	60,3%
Klimawandel, fossil	44,4%	40,2%	60,1%
Ökotoxizität, Frischwasser	85,2%	32,4%	78,2%
Ressourcennutzung, fossil	32,8%	35,7%	57,2%
Eutrophierung, Frischwasser	25,7%	-32,3%	54,7%
Eutrophierung, marin	67,4%	32,5%	71,3%
Eutrophierung, terrestrisch	68,2%	40,0%	72,3%
Humantoxizität, krebserregend	94,1%	13,5%	92,9%
Humantoxizität, nicht-krebserregend	77,3%	19,1%	77,1%
Ionising radiation: human health	27,8%	6,4%	57,3%
Landnutzung	95,6%	34,1%	96,9%
Ressourcennutzung, Mineralien und Metalle	59,3%	0,7%	68,3%
Stratosphärischer Ozonabbau	34,7%	-8,8%	58,3%
Feinstaub	84,6%	54,6%	82,8%
Bildung von fotochemischem Ozon	71,7%	41,9%	72,5%
Wassernutzung	72,8%	48,4%	75,7%

Ein nicht so eindeutiges Bild zeigt der Vergleich beider Instandsetzungsvarianten beim Stoßfänger. Hier wurden in 2 von 17 Wirkungskategorien Umweltvorteile für den Austausch berechnet. Die Kategorien Eutrophierung, Süßwasser (-32,3 Prozent) und Bildung von fotochemischem Ozon (-8,8 Prozent) zeigen im erhobenen Basisszenario Vorteile für einen Austausch. Zusätzlich liegen die Einsparungen durch Reparatur in vier weiteren Wirkungskategorien bei unter 20 Prozent und gelten entsprechend unserer Einschätzung als nicht robust. Untersuchungen von anders gearteten Schadensbildern am gleichen Karosserieteil oder veränderte Hintergrundprozesse könnten hier ergeben, dass diese Wirkungskategorien zugunsten des Austauschs ausfallen. Betrachtet man alle Wirkungskategorien gemeinsam, ist aber auch beim Stoßfänger die Reparatur in den meisten Wirkungskategorien signifikant vorteilhaft und führt zu Einsparungen von bis zu 55 Prozent in der Kategorie Ressourcennutzung, fossil.

Wir weisen darauf hin, dass die zur Verfügung stehenden Methoden zur Abschätzung der Umweltwirkungen sehr unterschiedlich weit entwickelt sind, so dass die Unsicherheiten in den einzelnen Wirkungskategorien sich jeweils stark unterscheiden können. Beispielsweise befinden sich derzeit die Wirkungskategorien zur Untersuchung der Toxizität noch in der Entwicklung. Die Ergebnisse dieser Kategorien gelten als wenig robust bzw. belastbar, werden jedoch aufgrund der Vollständigkeit aufgeführt. Die Wirkungskategorie »Klimawandel, gesamt« (Climate change, total) gilt als relativ robuste Wirkungskategorie, deren Charakterisierungsfaktoren im IPCC-Bericht⁶ hinterlegt sind (Zampori und Pant 2019; IPCC 2007, 2022, 2022). Auf diesem Grund sowie der Tatsache, dass die Klimawirkung, die derzeit am häufigsten diskutierte Umweltwirkungskategorie ist, wird diese Kategorie im Weiteren genauer betrachtet. Die Ergebnisse der Wirkungsabschätzung aller Kategorien sind im Anhang C detailliert dargestellt, dabei werden auch die absoluten Werte der Berechnungen angegeben.

Die Ergebnisse einer Wirkungskategorie werden in einzelnen Indikatoren ausgedrückt; für den Klimawandel sind dies die Treibhausgasemissionen. Sie werden in der Einheit Kilogramm CO₂-Äquivalente [kg CO₂-Äq.] angegeben. Die in diesem Bericht ausgewiesenen Wirkungskategorien werden als so genannte »Midpoints« bezeichnet, da sie den Effekt eines Umweltproblems messen bevor der Schaden in einem der drei zentralen Schutzbereiche (menschliche Gesundheit, Ökosysteme, Ressourcen) – auch »Endpoints« genannt – eingetreten ist. Da die Midpoint-Wirkungskategorien keine gemeinsame Einheit haben (siehe Anhang C), kann die Interpretation der Ergebnisse schwierig sein, wenn versucht wird, die Ergebnisse aller Wirkungskategorien als Ganzes zu analysieren und die wichtigsten Auswirkungen zu identifizieren, die im Entscheidungsprozess berücksichtigt werden müssen.

Um die Interpretation der LCA-Ergebnisse und ihre Kommunikation an Entscheidungstragende und Politik zu erleichtern, können zwei zusätzliche optionale Schritte durchgeführt werden, nämlich die Normalisierung und die Gewichtung (Hauschild et al. 2018). In dieser Studie wurde auf die Schritte »Normalisierung« und »Gewichtung« verzichtet, da ein aggregierter Indikatorwert zu einem Informationsverlust führt und in diesem Fall keine wesentlichen neuen Informationen liefert.

Im Weiteren wird die Interpretation nur für die Wirkungskategorie »Klimawandel« durchgeführt. Diese gilt als robust und ist eine der meist diskutiertesten Wirkungskategorien in Politik, Wirtschaft und Gesellschaft. Sie hat weiterhin den Vorteil, dass immer mehr Menschen in der Lage sind, die Zahlenwerte für Treibhausgasemissionen zu kontextualisieren und zu bewerten (bspw. aufgrund von Erfahrungen aus der CO₂-Kompensation von Flugreisen oder aus der Heizkostenabrechnung von Wohnraum).

In Tabelle 6 sind sowohl die gesamten Treibhausgasemissionen als auch nur die fossilen Treibhausgasemissionen angegeben, welche hier zwischen 97,3 Prozent

⁶ Intergovernmental Panel on Climate Change, zu Deutsch Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen (oft als Weltklimarat bezeichnet).

und 99,7 Prozent der gesamten Treibhausgasemissionen ausmachen. Die fossilen Treibhausgasemissionen sind eine Unterkategorie der gesamten Treibhausgasemissionen und werden entsprechend der Empfehlungen der europäischen Kommission zur Anwendung der PEF-Methode hier separat ausgegeben⁷ (EU 2021/2279). Im Weiteren konzentrieren sich alle Erläuterungen auf die gesamten Treibhausgasemissionen. Mit Fokus auf die gesamten Treibhausgasemissionen hat die Reparatur im Vergleich zum Austausch

- 45,5 Prozent geringere Auswirkungen bei der Autotür
- 40,2 Prozent geringere Auswirkungen beim Stoßfänger
- 60,1 Prozent geringere Auswirkungen beim Seitenteil

Auch für diese Wirkungskategorie zeigt sich der zuvor bereits identifizierte Trend, dass das Seitenteil die höchsten Einsparungen bei der Reparatur gegenüber dem Austausch aufweist, gefolgt von der Autotür und schließlich dem Stoßfänger. Die absoluten Ergebnisse der Treibhausgasemissionen in Kilogramm Kohlendioxid-Äquivalenten pro instandgesetzten Schaden sind in Bild 9 dargestellt.

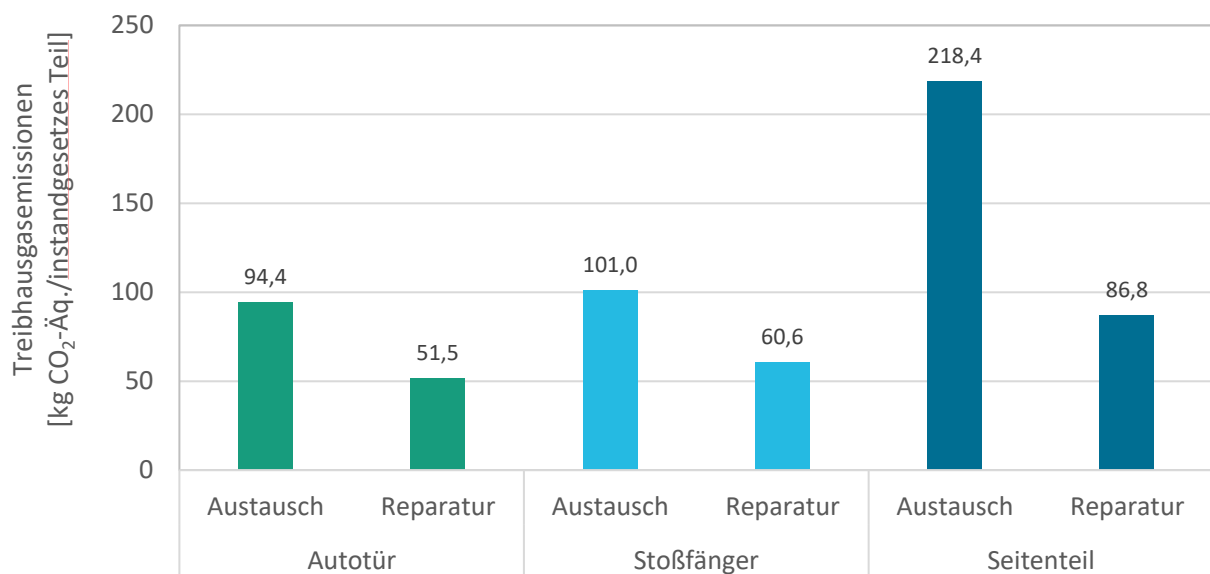


Bild 9: Treibhausgasemissionen für alle drei Untersuchungsbeispiele.

Wir halten fest, dass vor allem das Seitenteil und die Autotür recht eindeutige Ergebnisse liefern, wobei die Reparatur im Vergleich zum Austausch in allen Wirkungskategorien ökologische Vorteile aufweist. Für den Stoßfänger ist hingegen eine einzelfallspezifische Entscheidung sinnvoll. Dies wird auch durch die Szenarioanalyse bestätigt (vgl. Kapitel 3.4.3).

⁷ Die Unterkategorien müssen für eine Produktökobilanz nach PEF separat ausgewiesen werden, wenn ihr jeweiliger Beitrag zum Gesamtwert des Klimawandels 5 % übersteigt. Bei Zwischenprodukten (Cradle-to-Gate) muss der Gehalt an biogenem Kohlenstoff am Werkstor (physischer Gehalt) stets als zusätzliche technische Information⁷ ausgewiesen werden.

3.4.2 Beitragsanalyse der Treibhausgasemissionen

Die Beitragsanalyse wird nur für die Treibhausgasemissionen durchgeführt. Für jedes Untersuchungsbeispiel werden einmal die Treibhausgasemissionen nach den Prozessschritten, d. h. die Arbeitsschritte, wie sie in der Werkstatt stattfinden, und einmal nach den Hintergrundprozessen, d. h. aus welchen vor- und nachgelagerten Produktions- und Abfallbehandlungsschritten die Belastungen resultieren, analysiert. Innerhalb der Ökobilanz sind die Beiträge anteilig den einzelnen Prozessschritten zugeordnet (siehe Erläuterung zu Allokation und Umgang mit Multifunktionalität in Anhang C). Jedoch entsteht die Belastung einiger Beiträge in der Praxis nicht nur im direkten Zusammenhang mit einem Arbeitsschritt und sind deshalb separat ausgewiesen. Dies betrifft die Bereitstellung des Leihwagens, die Herstellung des Neuteils und die nachgelagerte Abfallbehandlung.

Für die **Autotür** ist die Beitragsanalyse der Treibhausgasemissionen nach Prozessschritten in Bild 10 dargestellt-

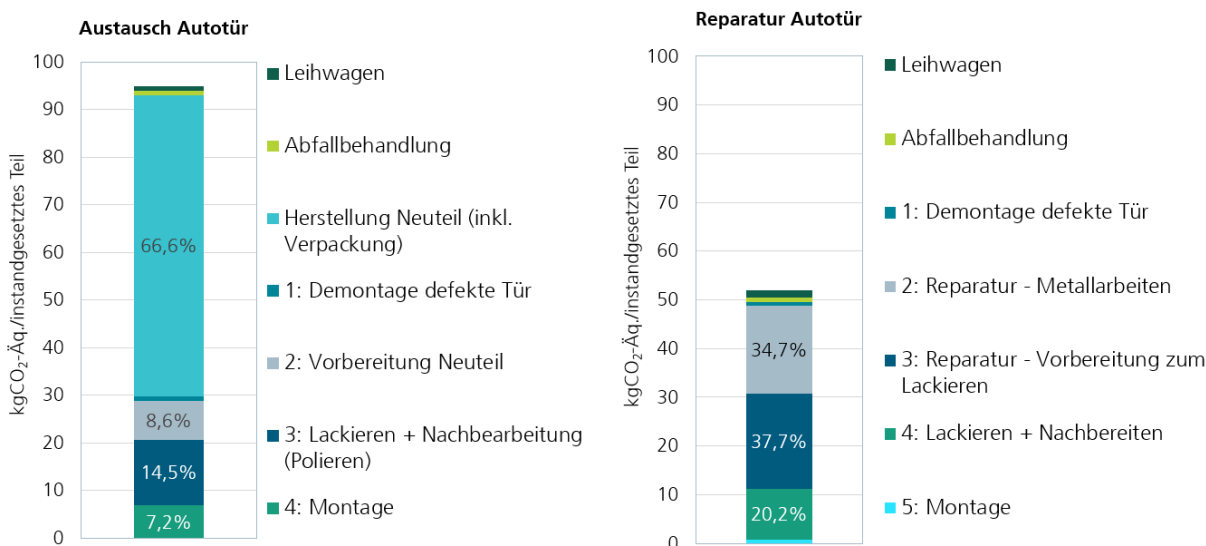


Bild 10: Beitragsanalyse zur Autotür der Treibhausgasemissionen nach Prozessschritten in der Werkstatt (Leihwagen, Abfallverwertung und die Herstellung des Neuteils sind separat aufgeführt).

Bem Austausch der Autotür ist die Herstellung des Neuteils mit ca. 66,6 Prozent der größte Treiber für die Treibhausgasemissionen. Die Herstellung verursacht in etwa 63 Kilogramm CO₂-Äquivalente pro instandgesetztem Pkw. Im Basisszenario wurde eine Stahltür mit einer Masse von 20 Kilogramm angenommen. Die Masse kann je Pkw-Typ variieren. Unter der Annahme, dass die Tür ca. 30 Prozent leichter wäre, wie für das Szenario »leichtes Neuteil« angenommen, würde die leichtere Tür immer noch ca. 44 Kilogramm CO₂-Äquivalente pro instandgesetztem Pkw verursachen. Die emittierten Treibhausgasemissionen würden sinken, jedoch bleibt der Herstellungsprozess des Neuteils der wichtigste Treiber für die Emissionen des Austauschprozesses.

Im Vergleich dazu sind die wesentlichen Treiber (größer als 20 Prozent) für die Treibhausgasemission bei der Reparatur der Autotür die Metallarbeiten, die Vorbereitung zum Lackieren sowie die Lackierung inklusive Nacharbeiten. In diesen Arbeitsschritten werden vor allem Energie sowie weitere Materialien und Werkzeuge zur Durchführung der Arbeiten benötigt. Die Beiträge durch die verwendete Energie und Materialien werden in Bild 11 gezeigt, in dem die Instandsetzung nach den Hintergrundprozessen aufgeschlüsselt ist. Für die Darstellung der Beitragsanalyse nach Hintergrundprozessen werden alle Prozesse, die weniger als 1 Prozent zu den Gesamtemissionen beitragen, unter den Punkt »Sonstiges« gefasst.

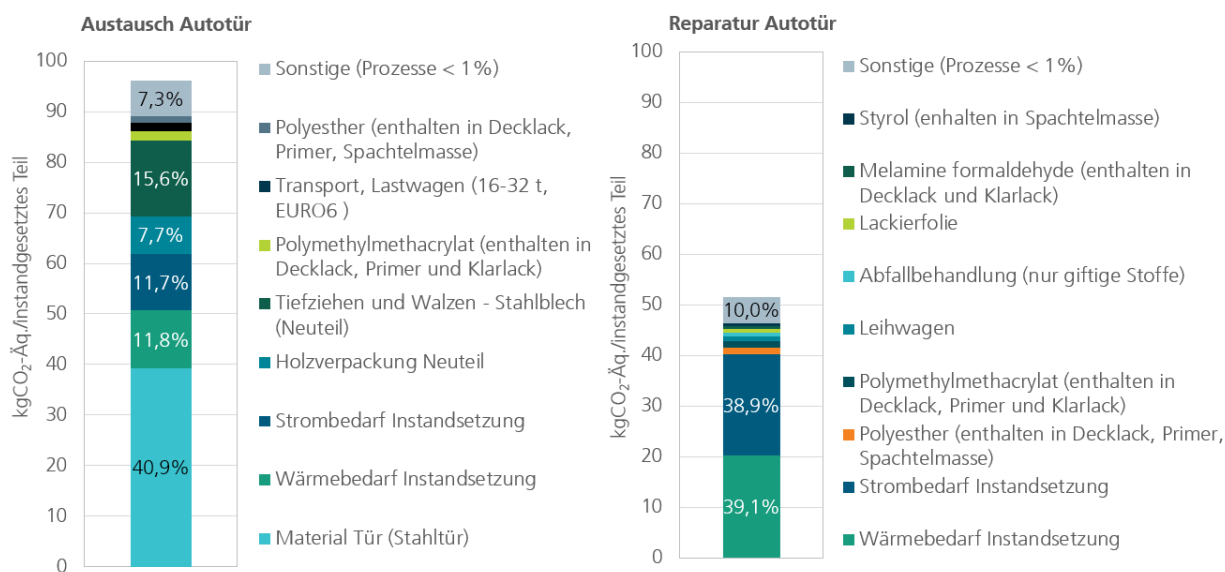


Bild 11: Beitragsanalyse der Treibhausgasemissionen für die Instandsetzung einer Autotür der bereitgestellten Materialien und Energien

Bild 11 zeigt weiterhin, dass die Reparatur viel stärker von der Bereitstellungsart der Energie (Strom und Wärme) abhängt als der Austausch. Dies hat im Wesentlichen mit der Dauer der Reparatur im Vergleich zum Austausch zu tun. Für die Studie haben wir den Jahresenergieverbrauch der Werkstatt auf einen einzelnen Instandsetzungsprozess umgelegt. Dazu wurden als Umlageschlüssel die kalkulierten Arbeitsstunden in Form der Personalkosten für den jeweiligen Instandsetzungsprozess auf die gesamten Personalkosten der Werkstatt berechnet. Dadurch wird der Energiebedarf an Strom und Wärme für den gesamten Werkstattbetrieb auf einen einzelnen Instandsetzungsschritt anteilig bestimmt. Dies schließt alle Energieverbraucher ein, also auch die Beleuchtung oder den Betrieb der Kaffeemaschine im Büro. Dies ist konsequent, da diese auch den eigentlichen Instandsetzungsprozess ermöglichen.

Wir haben für diese Studie ebenfalls versucht, den Energieverbrauch durch die Messung einzelner Geräte vor Ort zu ermitteln. Die Datenaufnahme aller Geräte ist jedoch sehr zeitaufwändig und auch nur eingeschränkt durchführbar, da nicht jeder Verbraucher oder Arbeitsschritt erfassbar ist. Grundsätzlich ist

unserer Auffassung nach der Umlage aller Energieverbraucher, die im Werkstattbetrieb anfallen, plausibel. Schließlich müssen alle Aktivitäten, die mit der Instandsetzung verbunden sind, in die Betrachtung mit einbezogen werden. Dazu gehört in der Praxis auch die Kalkulation des Schadens an einem Rechner und die Beleuchtung der Halle sowie alle weiteren Verbraucher innerhalb der Werkstatt als gesamte lebenszyklusweite Energieaufwendungen der Instandsetzung. Weitere Erläuterungen dazu befinden sich im Anhang C.

Während alle anderen Hintergrundprozesse, z. B. die Herstellung der Lacke, Polierpasten und anderer Arbeitsmaterialien in der Reparatur keine signifikante Rolle spielen, sind für den Austausch neben der Energiebereitstellung weitere Hintergrundprozesse zu berücksichtigen. Vor allem die Herstellung des Neuteils, welche hier aufgeteilt werden in Emissionen durch den Rohstoff (Stahl) und durch die Verarbeitung und Formgebung, sind zu berücksichtigen. Das Walzen und Tiefziehen der Stahltür zusammen machen ca. 15,6 Prozent aus. Die Bereitstellung des Stahls liegt bei ca. 40,9 Prozent.

Auch die Verpackung in Form von Holzpanelen zum Transportschutz fällt ins Gewicht. Die Transportverpackung wird nach (ggf. mehrfachem) Gebrauch entsorgt und ähnlich wie Einweg- und Mehrwegpaletten größtenteils einer thermischen Verwertung zugeführt. Für Holzpackmittel gibt es laut dem Bundesverband Holzpackmittel, Paletten, Exportverpackung e. V. unterschiedliche Verwertungspfade am End-of-Life je nach werkstofflicher Basis (z. B. Spanplatten, oder Zellstoff) (HPE o. J.). Wir nehmen für diese Studie an, dass die anfallenden Holzpackmittel nach ihrer ersten Nutzung energetisch verwertet werden, da es sich hier um dünne Holzbretter handelt, die eher einen geringen Wert in einer Wiederverwendung haben. Da differenzierte Informationen fehlen, wird vereinfacht angenommen, dass der Holzanteil zu 100 Prozent thermisch verwertet wird. Informationen zur Verwertung von Metallbestandteilen, wie Nägeln in Holzpackmitteln, konnten nicht erhoben werden und wurden vernachlässigt.

Die nachgelagerte Abfallbehandlung einzelner Abfälle ist nicht signifikant. Die Autotür selbst wurde im Falle des Austauschs als recyclingfähiges Material angenommen und daher werden mögliche Belastungen aus einem Recycling dem nächsten Produktionssystem zugeschrieben.

Für den **Stoßfänger** zeigt sich in der Beitragsanalyse nach Prozessschritten ein etwas anderes Bild (siehe Bild 12).

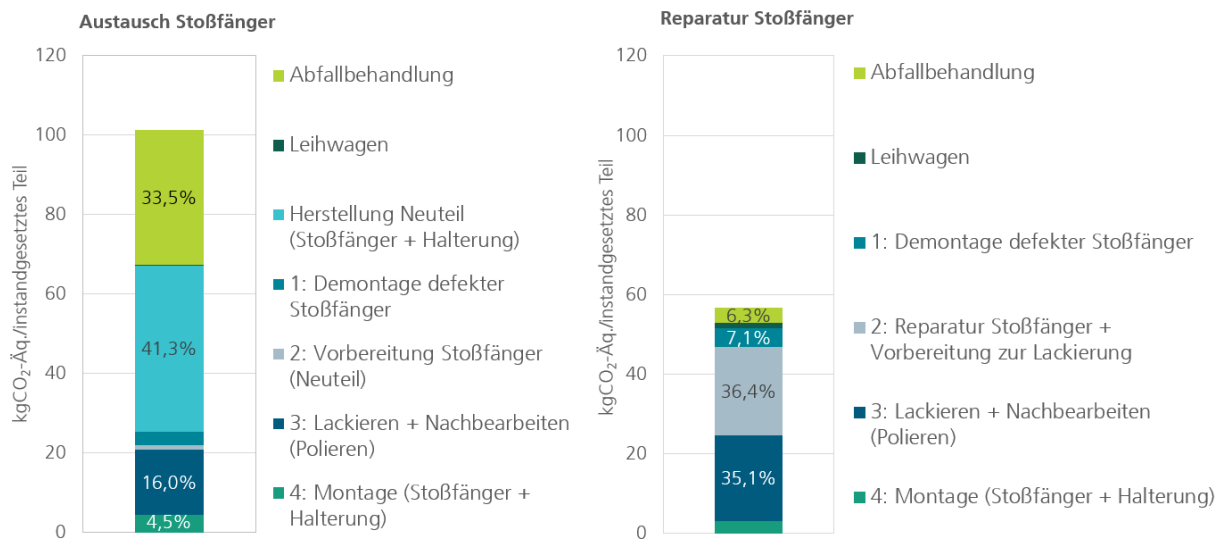


Bild 12: Beitragsanalyse der Treibhausgasemissionen für den Stoßfänger nach Prozessschritten in der Werkstatt (Leihwagen, Abfallverwertung und die Herstellung des Neuteils sind separat aufgeführt).

Ähnlich wie bei der Autotür sind auch für den Austausch eines defekten Stoßfängers die größten Treiber die aggregierten Emissionen aus der Bereitstellung des Neuteils. Daneben fällt allerdings die nachgelagerte Abfallbehandlung ebenfalls mit ca. 33,5 Prozent ins Gewicht. Der Großteil der Belastungen aus der Abfallbehandlung ist auf die thermische Verwertung des Stoßfängers zurückzuführen. Die Klassifizierung eines defekten und ausgebauten Stoßfängers als Abfall, welcher einer thermischen Verwertung zugeführt wird, ist diskutabel. In der Praxis unterscheiden sich die möglichen Verwertungspfade und sind abhängig davon, ob es ein grundsätzliches Interesse an einer Sammlung gibt und, ob der Zustand des Abfalls (hier der Stoßfänger) den Kriterien für die (werk-)stoffliche Verwertung oder Wiederverwendung entspricht. Da entsprechende Informationen fehlen bzw. in der Werkstatt eine werkstoffliche Verwertung oder Wiederverwendung eher als Ausnahme bezeichnet wurden und, da keine explizite Sammelstelle für Kunststoffteile existiert, wird vereinfacht angenommen, dass der Stoßfänger für Kunststoffe zu 100 Prozent thermisch verwertet wird. In einem weiteren Szenario wurden jedoch die Konsequenzen eines Recyclings auf den Carbon Footprint untersucht (Szenario: Recyclingstoßfänger), welches ebenfalls im idealen Szenario berücksichtigt wird. Weiterhin fallen die Arbeitsschritte des Austauschprozesses weniger ins Gewicht als Bereitstellung des Neuteils und die nachgelagerte Abfallbehandlung. Lediglich der Lackiervorgang zeigt mit ca. 16,0 Prozent noch eine etwas höheren Beitrag im Vergleich zu den anderen Prozessschritten.

Bei der Reparatur des Stoßfängers ist weder ein Neuteil noch die Abfallbehandlung des Stoßfängers erforderlich, da der gleiche Stoßfänger aufbereitet und wieder eingesetzt wird. Demnach fällt vor allem der Prozessschritt »Vorbereitung zur Lackierung« sowie das Lackieren selbst und die Nacharbeiten in Form von Polierarbeiten ins Gewicht. Hierfür verantwortlich ist genauso wie bei der Reparatur der Tür die Bereitstellung der Energie über die längere Dauer der Arbeitsschritte, die aktiv am Auto stattfinden (Bild 12).

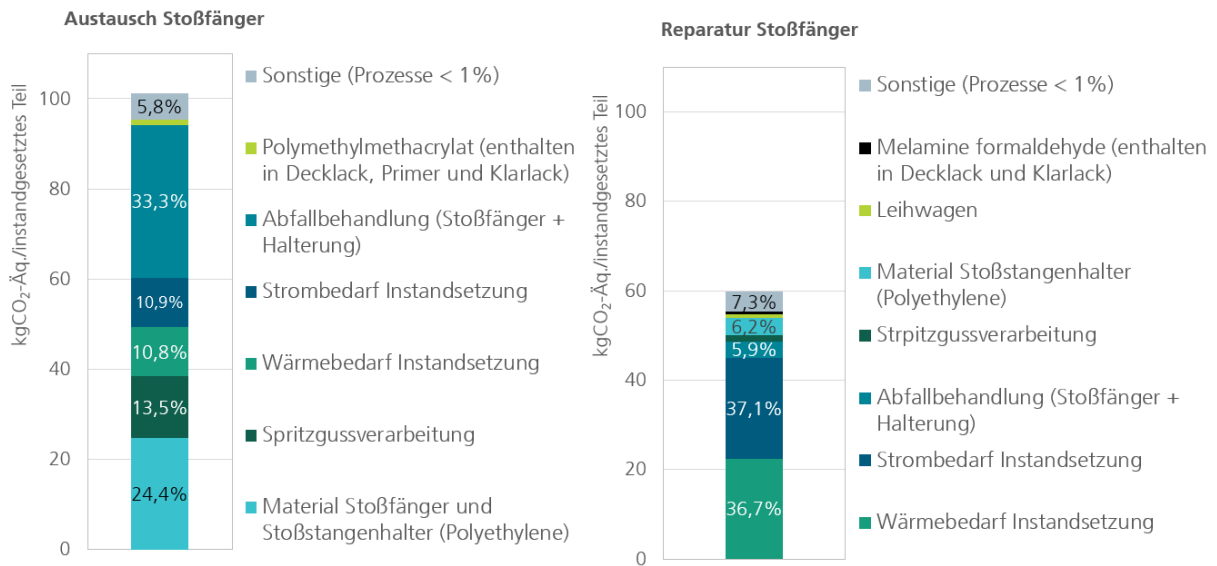


Bild 13: Beitragsanalyse der Treibhausgasemissionen für die Instandsetzung eines Stoßfängers der bereitgestellten Materialien und Energien.

Bei den Beiträgen der Hintergrundprozesse zeigt sich für die Reparatur des Stoßfängers ein ähnliches Bild wie für die Autotür. Die Beiträge durch die Energiebereitstellung für Strom und Wärme für die Reparatur decken für den Stoßfänger zusammen ca. 73,8 Prozent und für die Autotür sogar ca. 78 Prozent der gesamten Treibhausgasemissionen ab (vgl. Bild 11 für die Autotür und Bild 13 für den Stoßfänger).

Für den Austauschprozess bestätigt sich die Relevanz der Abfallbehandlung des Stoßfängers. Wir weisen grundsätzlich darauf hin, dass andere Bilanzierungsansätze zum Umgang mit Koppelprodukten und Abfällen als der in dieser Studie gewählte Cut-off-Ansatz zu abweichenden Ergebnissen in der Beitragsanalyse kommen, vor allem, was die End-of-Life-Prozesse betrifft.

Zuletzt wird die Beitragsanalyse für das Seitenteil durchgeführt. Hier zeigt sich im Vergleich von Reparatur und Austausch ein eindeutiges Ergebnis (Bild 14).

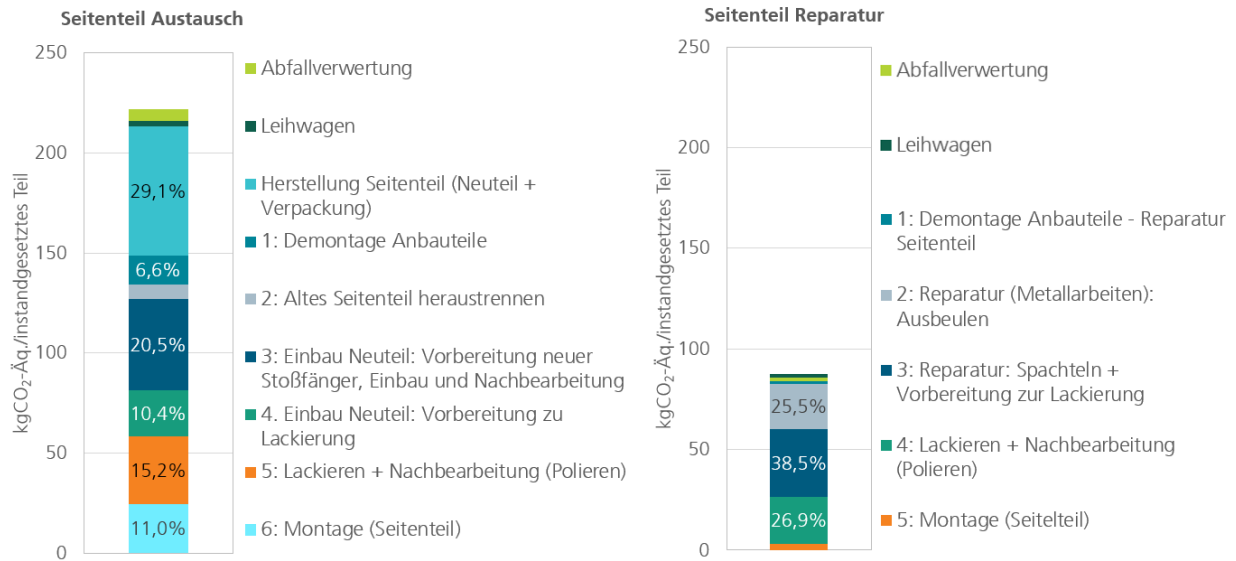


Bild 14: Beitragsanalyse der Treibhausgasemissionen für ein Seitenteil nach Prozessschritten in der Werkstatt (Leihwagen, Abfallverwertung und die Herstellung des Neuteils sind separat aufgeführt).

Auch beim Seitenteil trägt bei einem Austausch die Herstellung des Neuteils am meisten zum Klimawandel bei. Im Vergleich zu den anderen Untersuchungsbeispielen fallen jedoch auch hier die Arbeitsschritte drei bis sechs (Vorbereitung neuer Stoßfänger, Einbau und Nachbereitung, Vorbereitung zur Lackierung, Lackieren und Polieren sowie Montage) mit je über 10,0 Prozent ins Gewicht. Dies liegt vor allem daran, dass hier der Austausch des Seitenteils ebenfalls zeitintensiv ist, wodurch dem Instandsetzungsprozess eine hohe Menge Energie zugerechnet wird. Bei der Reparatur fallen zwar auch die Reparaturarbeiten der Schritte drei bis fünf ins Gewicht, jedoch sind die gesamten Treibhausgasemissionen deutlich geringer als beim Austausch. Die Abfallverwertung fällt in beiden Varianten nicht ins Gewicht, da angenommen wird, dass das Seitenteil aus Stahl einem Recycling zugeführt wird.

Wird die Analyse aufgeschlüsselt in die jeweiligen Hintergrundprozesse, verdeutlicht dies noch einmal die Relevanz die Bereitstellung des netto Energiebedarfs für die Instandsetzung (siehe Bild 15).

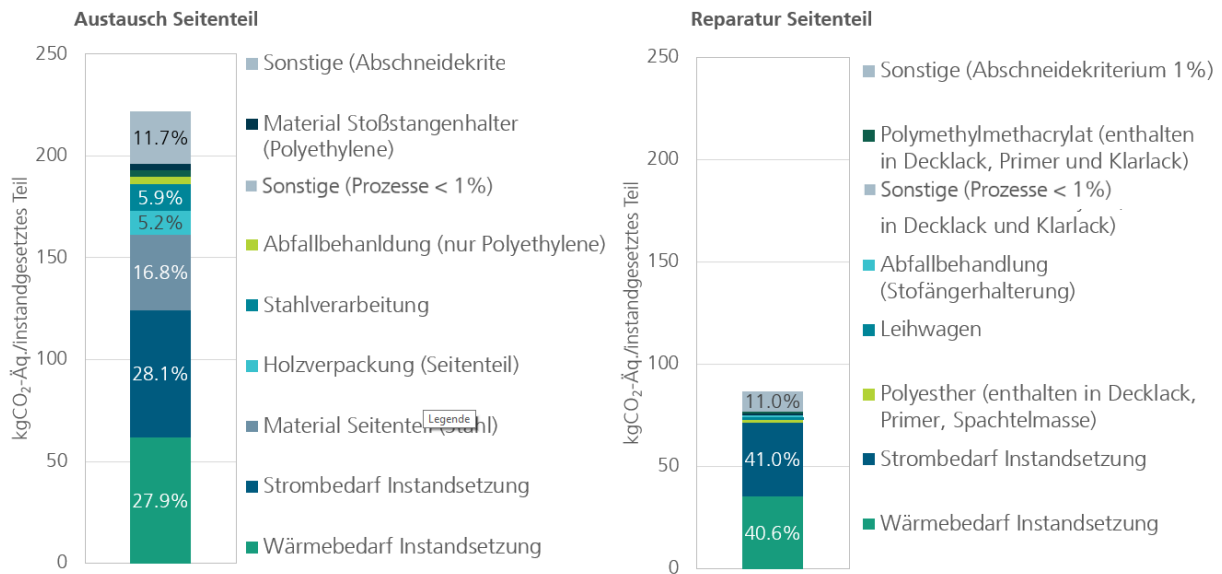


Bild 15: Beitragsanalyse der Treibhausgasemissionen für die für die Instandsetzung eines Seitenteils der bereitgestellten Materialien und Energien.

Die Instandsetzung des Seitenteils durch einen Austausch dauert im Vergleich zur Reparatur in etwa 72 Prozent länger (bezogen auf die erhobenen aktiven Arbeitsschritte am Fahrzeug)⁸. Dadurch sind die aggregierten Beiträge durch die Bereitstellung von Strom und Wärme für den Austausch des Seitenteils deutlich höher als bei der Reparatur.

Die Beitragsanalysen zeigen für alle Untersuchungsbeispiele, dass die Bereitstellung von Energie und Wärme das Ergebnis signifikant beeinflusst. Für die Reparatur des Stoßfängers und der Autotür wird weniger Strom und Wärme benötigt als für den Austausch. Der Grund dafür liegt darin, dass die Reparatur länger dauert. Im Vergleich dauerte der Austausch der Autotür ca. 287 Minuten bezogen auf die aktive Arbeitszeit, wohingegen die Reparatur ca. 611 Minuten dauerte. Beim Seitenteil dauert der Austausch länger, sodass hier die Treibhausgasemissionen allein aus der Bereitstellung der Energie bereits höher sind als die Emissionen des gesamten Reparaturprozesses. Die zeitbasierte Umlegung der gesamten Energiemengen, die in der Werkstatt verbraucht werden, ist also tendenziell eher nachteilig für Instandsetzungen, die tendenziell länger dauern. Von einer kürzeren Dauer der Instandsetzung würden vor allem Reparaturprozesse bilanziell profitieren, die aufgrund ihres Schadensbild nicht besonders zeitaufwendig sind.

Gleichzeitig wurden auch die Verwertungsart und die Klassifizierung von Abfällen entsprechend dem Bilanzierungsansatz von Abfällen sowie die Herstellung des Neuteils als signifikante Parameter identifiziert. Überlegungen zum Einsatz

⁸ Wartezeiten, in denen das Auto nicht aktiv repariert wurde, wurden hier nicht berücksichtigt, da in dieser Zeit andere Arbeiten durchgeführt werden können. Grundsätzlich ist für einen Instandsetzungsprozess mehr als nur die aktive Arbeitszeit am Auto zu berücksichtigen, da auch Bürotätigkeiten oder zum Beispiel das Annehmen und Lagern von Ersatzteilen sowie das Hin- und Herfahren der Autos einkalkuliert werden muss. Dies wurde über den Top-Down Ansatz berücksichtigt (siehe Anhang C).

recycelter Materialien sowie der Einfluss des Gewichts des Neuteils und mögliche andere Szenarien werden in der nachfolgenden Szenarioanalyse detailliert untersucht.

3.4.3 Szenarioanalyse der Treibhausgasemissionen

Um den Einfluss bestimmter Parameter zu untersuchen, wurde eine Szenarioanalyse durchgeführt. Eine Übersicht zu den untersuchten Szenarien befindet sich in Tabelle 4 (siehe Kapitel 3.3.2). Die Ergebnisse der Szenarioanalyse werden immer als prozentuale Abweichung zum Basisszenario und durch den resultierenden neuen Absolutwert angeben.

Bild 16 zeigt das erste Szenario, bei dem ein Teil des **Stroms über eine PV-Anlage** der Werkstatt abgedeckt wird (Autarkiegrad 50 Prozent).

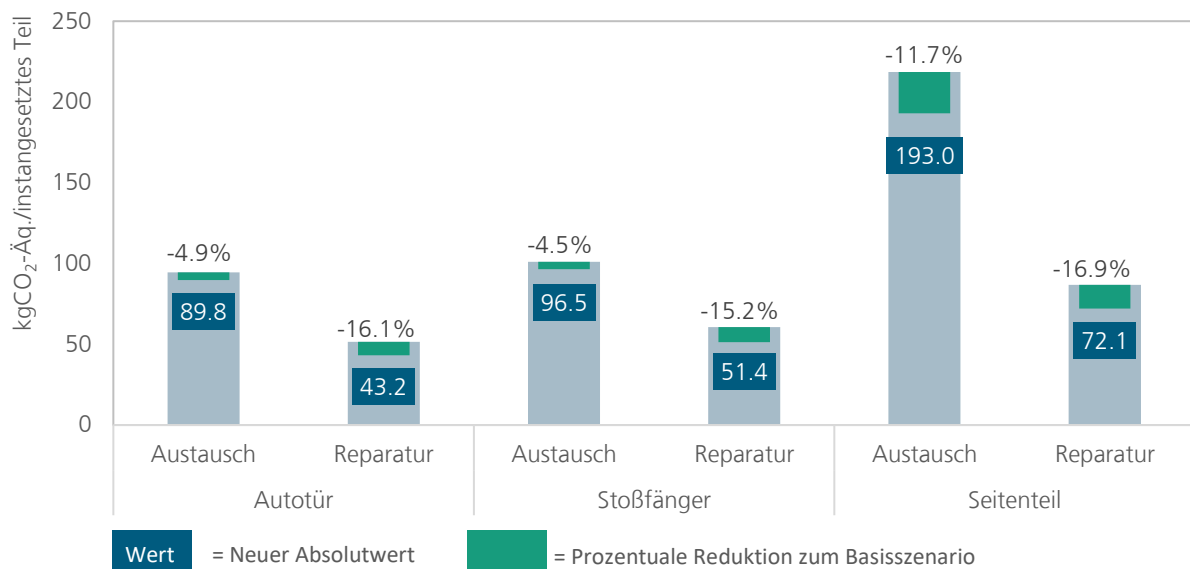


Bild 16: Treibhausgasemissionen im Szenario PV-Anlage für alle drei Untersuchungsbeispiele.

Durch den Einsatz von PV-Strom sinken die Treibhausgasemissionen in allen untersuchten Fällen. Es kommt sowohl in den Reparaturfällen als auch im Austauschfall zu Treibhausgaseinsparungen zwischen ca. 4,5 Prozent und 16,9 Prozent im Vergleich zum Basisszenario. Von einer Teilbereitstellung durch Strom über eine PV-Anlage direkt bei der Werkstatt profitieren vor allem die Varianten, in denen viel Strom verbraucht wird, da die Treibhausgasemissionen pro bereitgestellte Kilowattstunde sinken. Aus diesem Grund zeigt die Reparatur der Autotür und des Stoßfängers höhere Einsparungen als jeweilige Austausch. Beim Seitenteil ist der Beitrag des Stromverbrauchs (absolut betrachtet) für den Austausch höher, wodurch hier der Austausch stärker von der Deckung des Strombedarfs zu 50 Prozent durch eine PV-Anlage profitiert. Prozentual betrachtet sinken die Treibhausgasemissionen bei der Reparatur des Seitenteils stärker, da die Reparatur des Seitenteils relativ gesehen stärker vom Stromverbrauch abhängt (Bild 16).

Die Grundannahme des Szenarios, durch eine PV-Anlage einen Autarkiegrad von durchschnittlich 50 Prozent zu erreichen, wird als realistisch angesehen, da Energiebereitstellung und Lastgang gut zueinander passen. In Werkstätten wird überwiegend tagsüber gearbeitet, also dann, wenn die Sonne scheint oder zumindest in Form von diffuser Solarstrahlung einen Teil des Stroms erzeugt. In der Nacht wird erwartet, dass der Strombedarf einer Werkstatt eher gering ist. Zudem bieten Werkstätten durch ihre notwendigen Lager- und Grundflächen zum Durchführen der Arbeiten eine ausreichende Dachfläche zur Installation von PV-Anlagen. Auch die Referenzwerkstatt besitzt eine PV-Anlage, sodass dieses Szenario realistisch ist. Für das Basisszenario wurde die Energiebereitstellung durch PV aber herausgerechnet. Zusätzliche Maßnahmen, den Autarkiegrad durch Strom- und Wärmespeicher zu erhöhen, bieten weiteres Potenzial.

An dieser Stelle merken wir an, dass energetische Sanierungsmaßnahmen, die den Stromverbrauch von Kfz-Werkstätten insgesamt senken, wie z. B. eine bessere Wärmeisolierung oder Umrüsten auf energieeffiziente Geräte, in allen Fällen zu Einsparungen führen würde. Der Gesamtverbrauch an Energie in der Werkstatt wurde hier auf einen einzelnen Instandsetzungsprozess über die Zeit umgelegt (siehe Top-Down Ansatz im Anhang C). Da die Reparatur im Vergleich zum Austausch länger dauert, würde diese durch den gewählten Ansatz zur Umlegung des Energieverbrauchs hier anteilig bei einer Reduktion des Gesamtenergieverbrauchs stärker profitieren. Im Zusammenhang mit einer PV-Anlage und/oder ggf. einer Speicherlösung können auch weitere Maßnahmen, wie z. B. im Rahmen eines Energiemanagements den Stromverbrauch aktiv zu planen, zusätzliche Einsparungspotenziale aktivieren. Diese Potenziale sind aber standortspezifisch zu prüfen und ggf. zu aktivieren.

Auch die Installation von Blockheizkraftwerken (BHKWs), welche hier angenommen mit Erdgas betrieben werden und nach dem Prinzip der Kraft-Wärme-Kopplung arbeiten, ist eine mögliche Option, um in Werkstätten Energie zu sparen. Durch Nutzung des mittels eines Gasmotors und Generators erzeugten Stroms sowie die zusätzliche Nutzung der anfallenden Abwärme wird ein Gesamtwirkungsgrad von über 90 Prozent erreicht. Auch hierzu haben wir ein Szenario berechnet, welches im Anhang dargestellt ist. Die Ergebnisse zeigen, dass ein BHKW (wie in der Referenzwerkstatt vorhanden) zu höheren Treibhausgasemissionen pro Kilowattstunde Strom im Vergleich zum deutschen Strommix führt (wie im Basisszenario). Dieser Effekt gleicht sich teilweise, jedoch nicht vollständig, durch die Nutzung der Abwärme im BHKW zur Wärmebereitstellung aus. Dies führt zu einem besseren Gesamtwirkungsgrad von über 90 Prozent bei der Bereitstellung von Energie über Erdgas im Vergleich zu den deutschen Marktdatensätzen für Strom und Wärme. Daraus resultieren dennoch insgesamt keine Einsparungen in der Kategorie Treibhausgasemissionen.

Da die Herstellung der Autotür und des Stoßfängers besonders treibhausgasrelevant war, werden in einem weiteren Szenario die Treibhausgasemissionen von **leichteren Neuteilen** untersucht. Das Material wird nicht verändert, sondern ausschließlich die Gewichtsreduktion. Dieses Szenario soll den Einfluss des Fahrzeugtyps abbilden. Bei den untersuchten Fahrzeugklassen in den Werkstät-

ten vor Ort handelte es sich zum Teil um Kompaktklassen. Kleinere Fahrzeugtypen wie Klein- und Kleinstwagen haben durch ihre Bauweise per se leichtere Ersatzteile als größere Fahrzeugklassen. Der Markt für leichtere Pkw wird vermutlich in den nächsten Jahren um ca. 4,5 Prozent wachsen⁹ (Mordor Intelligence o. J.) Das Szenario des leichteren Neuteils wird durch eine steigende Nachfrage nach Leichtbaumaterialien aus der Automobilindustrie und einen zunehmenden Fokus auf Kraftstoffeinsparung begründet, die voraussichtlich wichtige Wachstumstreiber für den Markt sein werden.

In Bild 17 ist ein Szenario dargestellt, nach dem das ausgetauschte Neuteil im Vergleich zum Basisszenario zu 30 Prozent leichter ist.

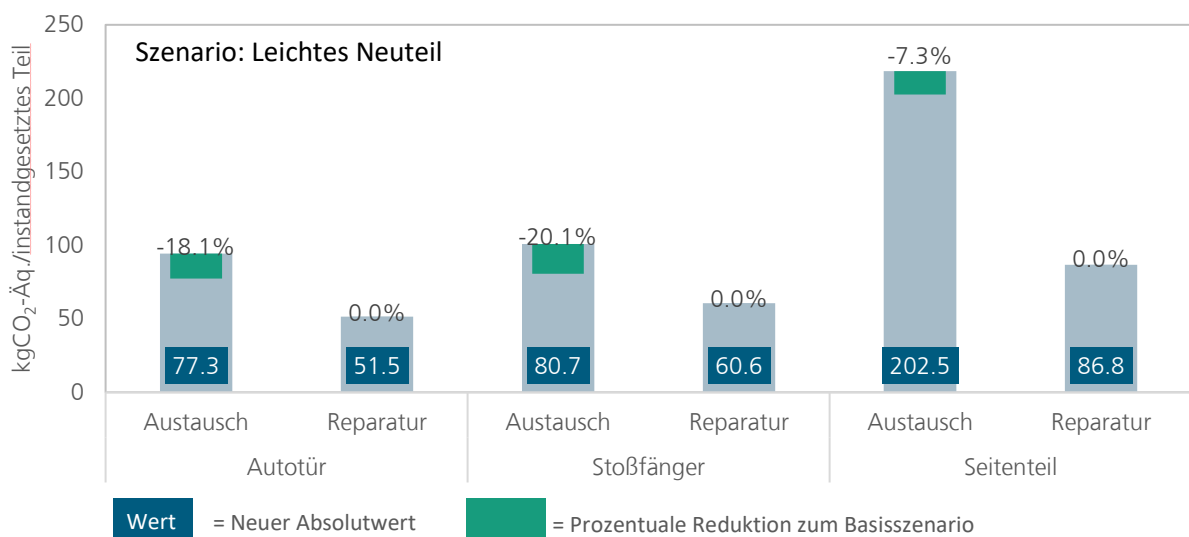


Bild 17: Szenarioanalyse der Treibhausgasemissionen bei einem zu 30 Prozent leichteren Neuteil für den Austausch für alle drei Untersuchungsbeispiele.

Einsparungen ergeben sich hier verständlicherweise nur für den Austausch. Grundsätzlich bleibt trotz der Reduktion der Treibhausgasemissionen durch das leichtere Neuteil die Reparatur in allen Fällen vorteilhaft. Im gewählten Szenario leichtes Neuteil kommt es zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen zwischen 7,3 Prozent und 20,1 Prozent. Für das Seitenteil zeigt sich hier prozentual der geringste Effekt im Vergleich zum Basisszenario (7,3 Prozent). Beim Stoßfänger sind die Einsparungen absolut und prozentual im Vergleich zu den beiden anderen Beispielen am höchsten (20,1 Prozent), obwohl die tatsächliche Gewichtsreduktion am geringsten ist. Die Einsparungen resultieren hier zusätzlich aus der verminderten Menge an Abfall des defekten Stoßfängers, der hier einer thermischen Verwertung zugeführt wird. Da sowohl die defekte Komponente als auch das Neuteil leichter sind, sinken sowohl die Belastungen durch die Verwertung als auch durch die Neuproduktion.

Wie bereits diskutiert, ist die Behandlung des Stoßfängers am Lebensende nicht eindeutig festgelegt und kann in der Praxis variieren. Aus diesem Grund haben

⁹ Der Prognosezeitraum lag hier zwischen den Jahren 2021 und 2017 mit dem Ergebnis, dass der Markt für leichte Autos von etwa 70 Milliarden US-Dollar auf ca. 76 Milliarden US-Dollar steigen wird (Mordor Intelligence o. J.).

wir ein weiteres Szenario untersucht, indem wir den **Stoßfänger als recyclingfähiges Material** am Lebensende klassifiziert haben. Dies ist zusammen mit einem Szenario, welches den Einfluss der Wahl des **Materials für die Autotür (Aluminium statt Stahl)** analysiert, in Bild 18 dargestellt.

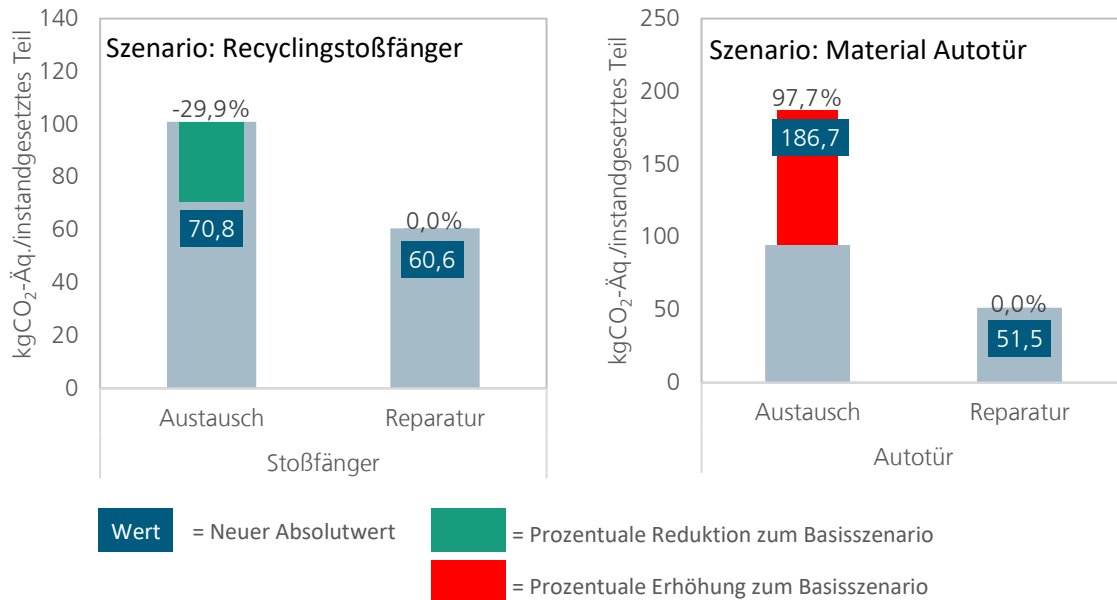


Bild 18: Szenarioanalyse der Treibhausgasemissionen bei Verwertung der ausgetauschten Komponenten am Lebensende, wenn der Stoßfänger einem Recycling zu sortiert wird (links) oder eine Autotür aus Aluminium anstatt Stahl verwendet wird (rechts).

Links in Bild 18 werden in dem Szenario »Recycling Stoßfänger« Einsparungen von etwa 29,9 Prozent erzielt. In diesem Szenario wurde nur die mögliche Sammlung für ein Recyclingverfahren untersucht. Falls der Stoßfänger eine Wiederverwendung zugeführt wird, müssten die Umweltwirkungen aus dem Austausch allokiert werden, wenn das defekte Teil noch einen wirtschaftlichen Wert hat. Der Unterschied zwischen dem Basisszenario und dem hier untersuchten Szenario Recycling liegt in der Klassifizierung des Materials als zu behandelndem Abfall oder recyclingfähiges Material. Ein recyclingfähiges Material ist durch das Vorhandensein einer Sammlung zur stofflichen Verwertung charakterisiert.

Die Automobilbranche inklusive der Produktion nachgelagerter Prozesse, wie die Instandsetzung, muss zukünftig auf den zunehmenden gesellschaftlichen Druck und die gesetzlichen Anforderungen zum Recycling der verwendeten Ressourcen reagieren. Die Richtlinie über Altfahrzeuge (2000/53/EG) enthält seit 2015 die Zielvorgabe einer Recyclingquote von mindestens 85 Prozent und zielt unter anderem darauf ab, das Recycling der Kunststoffe aus Altfahrzeugen zu verbessern. Dies sollte auch für Kunststoffteile gelten, die in Werkstätten anfallen, wenn diese für einen Austauschprozess ausgebaut und entsorgt werden müssen. Das Recycling der im und am Auto verbauten Kunststoffe wird an Bedeutung gewinnen und entwickelt sich zum erkennbaren Wettbewerbsvorteil, insbesondere im internationalen Vergleich (Kraus et al. 2021)

Während Metalle im Automobilbereich bereits heute in hohem Maße recycelt werden, wird dies für Kunststoff derzeit noch unzureichend realisiert. Hier besteht vor allem die Herausforderung, die Kunststoffkomponenten fachgerecht zu recyceln, abgesehen von großen Teilen wie Stoßfänger aus Polypropylen (Betz et al. 2022) Einige Unternehmen konnten identifiziert werden, die das Recycling von Stoßfängern (in Warm- und/oder Kaltwaschanlagen, einschließlich des Verfahrens zur Lackentfernung) als Spezialverfahren der fachgerechten stofflichen Verwertung bewerben (Sorema o.J.). Aus diesem Grund wird das Szenario »Recycling Stoßfänger« als plausibel erachtet und illustriert den Einfluss der nachgelagerten Behandlung von defekten Autoteilen für die ökologische Bewertung der Instandsetzungsoption »Austausch«.

Rechts in Bild 18 wird gezeigt, dass die Wahl eines leichteren Materials (Aluminium statt Stahl) zu Erhöhungen der Treibhausgasemissionen beim Austausch der Autotür führt (97,7 Prozent). Obwohl wir gleichzeitig angenommen haben, dass sich das Gewicht um ca. 50 Prozent reduziert, da Aluminium im Vergleich zu Stahl leichter ist, führt der Einsatz von Aluminium hier nicht zu Einsparungen. Es sei an dieser Stelle angemerkt, dass keine genauen Daten zum Gewicht der Tür aus Aluminium vorlagen. Die Halbierung des Gewichts ist ein Schätzwert, welcher sich aus den Annahmen ergibt, dass die Dichte von Aluminium ($2,7 \text{ kg/m}^3$) nur ca. ein Drittel der Dichte von Stahl ($7,8 \text{ kg/m}^3$) beträgt und der Tatsache, dass eine Tür vermutlich nie zu 100 Prozent aus Aluminium hergestellt wird sowie die Blechdicke von Aluminium aus Stabilitätsgründen unter Umständen höher ist.

Ein weiterer wichtiger Punkt für eine ganzheitliche Betrachtung ist hier, dass leichtere Karosserieteile auch immer in der nachgelagerten Nutzung des Pkw zu Emissionseinsparungen führen. Als Folge verringert sich der Kraftstoffverbrauch, was die nachgelagerten CO_2 -Emissionen in der Nutzungsphase minimiert. Laut einem Lackierbetrieb gehen aus diesem Grund einige Autohersteller vermehrt dazu über, Leichtmetalle im Auto einzusetzen, unter anderem Audi (zu 100 Prozent bei A2 und A8), BMW, Jaguar, Mercedes-Benz, Peugeot, Porsche, Renault, Tesla und Volkswagen (Jürs 2019).

Eine Gesamtanalyse inklusive möglicher Einsparungen in der Nutzungsphase wurde hier nicht durchgeführt und ist für den Entscheidungsprozess »Austausch oder Reparatur« auch nicht relevant. Mögliche Emissionseinsparungen durch eine Aluminiumtür in der Nutzung des Pkw finden nicht aufgrund des Austauschs oder der Reparatur statt, da nach der Instandsetzung in beiden Varianten eine Aluminiumtür zu den gleichen Einsparungen in der nachgelagerten Nutzung führen würde. Der Vergleich zeigt jedoch, dass im Fall von Karosserieteilen aus Aluminium eine Reparatur noch stärker zu bevorzugen ist als bei Karosserieteilen aus Stahl, da jedes Ersatzteil aus Aluminium den sogenannten CO_2 -Rucksack des Autos erhöht.

Bereits im für das Szenario »Material Neuteil« verwendeten Datensatz für Aluminium zur Herstellung der Tür sind 30 Prozent Sekundäraluminium berücksichtigt. Recyceltes Aluminium verursacht deutlich weniger Emissionen in der Kategorie Klimawandel, gesamt. Trotzdem führt die Aluminiumtür im Szenario

»Material Neuteil« nicht zu Einsparungen im Vergleich zu einer Tür aus Stahl im Basisszenario. Grundsätzlich ist es technisch realisierbar, eine zu 100 Prozent recycelte Aluminiumtür einzusetzen. Auch der Stoßfänger, welcher im Basisszenario noch gar kein Rezyklat enthält, kann anteilig aus Kunststoffrezyklat hergestellt werden. Bild 19 zeigt den Einfluss durch den **Einsatz von recycelten Materialien** (60 Prozent Kunststoff beim Stoßfänger und 100 Prozent bei der Autotür).

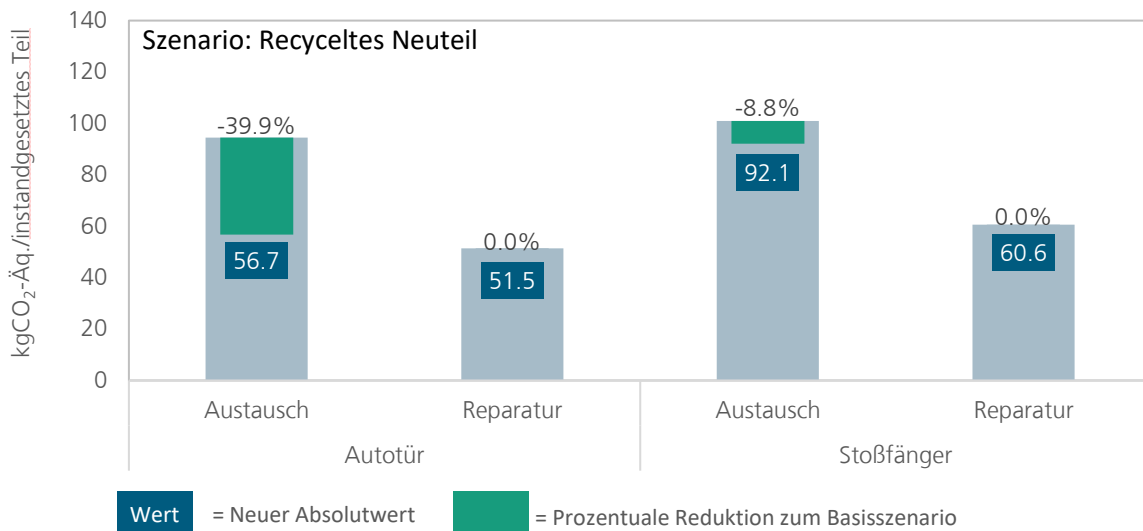


Bild 19: Szenarioanalyse der Treibhausgasemissionen durch den Einsatz von recycelten Materialien (60 % Kunststoff beim Stoßfänger und 100 % bei der Autotür).

Bei einer zu 100 Prozent recycelten Aluminiumtür sind die Treibhausgasemissionen signifikant geringer gegenüber dem Basisszenario, indem nur 30 Prozent recyceltes Aluminium berücksichtigt werden. Die Entscheidung, beim Austausch von Ersatzteilen auf recyceltes Material zurückzugreifen, kann im Regelfall weder von der Werkstatt noch von einer Versicherungsgesellschaft beeinflusst werden. Jedoch hat die Wahl der Herkunft der Materialien für die Entscheidung zwischen Austausch und Reparatur einen Einfluss. Durch die Entscheidung, mehr Rezyklat einzusetzen, würde tendenziell der Austausch profitieren, wenn er auch für die Untersuchungsbeispiele in diesem Szenario »Reparatur« in der Kategorie »Klimawirkung« weiter unterliegt.

Für die Stoßfänger aus Kunststoff ist ein Rezyklatanteil von 100 Prozent nicht realistisch. Auch wenn in den letzten Jahren eine Steigerung des Rezyklateinsatzes von Kunststoffen im Automobilbereich um ca. 7 Prozent erreicht wurde,¹⁰ liegt der Gesamtanteil der verbauten Rezyklate im Auto bei nur ca. 4,5 Prozent (Conversio 2020). Technisch sind mehr als 30 Prozent Rezyklat im Auto möglich, wobei einzelne Teile einen höheren Anteil haben können (Betz et al. 2022) Volvo möchte ab 2025 in allen neu eingesetzten Modellen mindestens 25 Prozent Rezyklat in allen Kunststoffkomponenten des Autos einsetzen (Volvo Car Austria 2018). Eine vermehrte Nutzung von recycelten Materialien in

¹⁰ 2017 wurden 77.000 Tonnen an Rezyklaten (post-consumer und post-industrielles Rezyklat) im Fahrzeugbereich eingesetzt, 2019 waren es 83.000 Tonnen. Der Anteil von post-industriellen Rezyklaten liegt schätzungsweise bei 95 Prozent. (Betz et al. 2022)

ausgetauschten Teilen könnte einen Austausch begünstigen. Im Fallbeispiel führt die Annahme, dass das Ersatzteil (Stoßfänger) zu 60 Prozent aus Rezyklat besteht, zu ca. 8,8 Prozent reduzierten Treibhausgasemissionen pro instandgesetzten Schaden. Trotz des Einsatzes von recycelten Materialien über das derzeitige Maß hinaus zeigt die Reparatur in dieser Studie in beiden Untersuchungsbeispielen in Bild 19 weiterhin niedrigere Treibhausgasemissionen.

Werden die Szenarien kombiniert, in denen für mindestens eine der Varianten eine Reduktion der Treibhausgasemissionen identifiziert wurde (ideales Szenario), kommt es zu einer signifikanten Verbesserung bei den Treibhausgasemissionen (für beide Instandsetzungsvarianten in allen Fallbeispielen). Dies beinhaltet die Szenarien »leichtes Neuteil«, »Recycling Stoßfänger« und »recyceltes Neuteil« sowie »PV-Anlage«. Durch die Kombination der Szenarien resultieren die Einsparungen zwischen 15,2 und 51,6 Prozent (Bild 20/Bild 20).

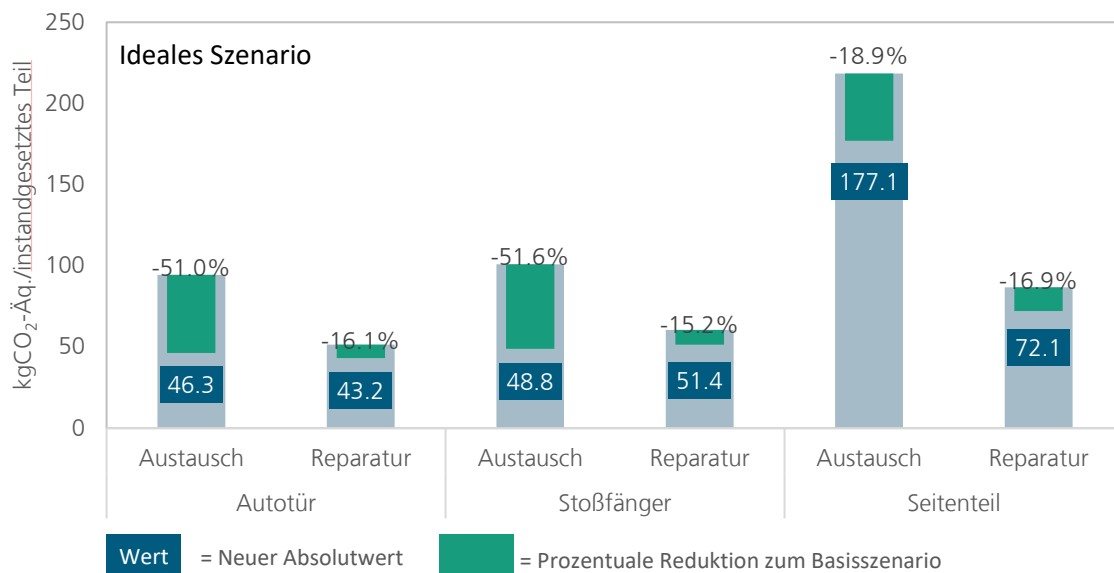


Bild 20: Szenarioanalyse der Treibhausgasemissionen durch Kombination der vorangegangenen Szenarien, die zu Einsparungen geführt haben (ideales Szenario).

Der Austausch profitiert von der Kombination der Szenarien mehr als die Reparatur, da das Neuteil leichter ist und recycelte Materialien eingesetzt werden. Weiter wird der Stoßfänger einem Recycling zugeführt (für Seitenteil und Tür wurde dies bereits im Basisszenario angenommen). Die Reparatur bleibt bei dem Seitenteil und der Tür aber trotz allem die bessere Variante, bezogen auf die Treibhausgasemissionen pro instandgesetzten Schaden. In beiden Fallbeispielen wird die Differenz zum Austausch jedoch geringer. Im Gegensatz dazu hat der Austausch des Stoßfängers hier etwas niedrigere Treibhausgasemissionen und wäre unter den Annahmen des idealen Szenarios ökologisch vorteilhafter bezogen auf die Treibhausgasemissionen.

Betrachtet man alle Wirkungskategorien im idealen Szenario, zeigt sich ein differenziertes Bild, da der Austausch des Stoßfängers in insgesamt sechs von 17 analysierten Kategorien niedrigere Umweltwirkungen zeigt. Im Basisszenario

hat der Austausch des Stoßfängers in lediglich zwei von 17 Kategorien niedrigere Umweltwirkungen. Dennoch ist für die Mehrheit der Wirkungskategorien auch im idealen Szenario weiterhin die Reparatur im Vergleich zum Austausch im Vorteil.

Bezüglich der Plausibilität des idealen Szenarios ist anzumerken, dass dieses wohl derzeit für einen Austauschprozess zu optimistisch dargestellt ist. Vor allem die Rahmenbedingungen zum Einsatz von recycelten Materialien sowie das Recycling von Kunststoffteilen am Lebensende sind in der Praxis noch nicht umgesetzt. Das ideale Szenario dient in dieser Studie vor allem der Validierung der Robustheit der Ergebnisse für die Reparatur, da Verbesserungen weitestgehend zugunsten des Austauschs in der Szenarioanalyse diskutiert werden. Einsparpotenziale der Reparatur wurden hier vornehmlich durch Energieeinsparmaßnahmen diskutiert, von denen die Reparatur stärker profitieren würde (siehe Szenario PV-Anlage). Weitere Optimierungen der Reparaturpraxis (bspw. Ansätze zur lokalen Reparatur, »Smart/Spot Repair«) könnten auch für die Reparatur zu deutlichen Reduzierungen bei den Umweltwirkungen führen.

Die Analyse der beiden Szenarien zu **längeren Transportdistanzen** und der Verwendung einer **alternativen Lackfarbe** führte zu keinen signifikanten Veränderungen der gesamten Treibhausgasemissionen. Der Vollständigkeit sind diese Szenarien im Anhang C beschrieben.

3.5 Fazit zur ökologischen Bewertung

Ziel der ökologischen Bewertung zwischen den beiden Varianten »Reparatur« und »Austausch« von beschädigten Fahrzeugteilen nach einem Unfallschaden war es, aus Einzelfalluntersuchungen generische Aussagen abzuleiten. Die drei untersuchten Beispiele (Autotür, Stoßfänger und Seitenteil) wurden sowohl im Hinblick auf ihre Haupttreiber als auch in einer Szenarioanalyse für die Treibhausgasemissionen genauer untersucht.

Die Reparatur führt auch in den meisten anderen Umweltwirkungskategorien in den untersuchten Fällen und auch bei variierenden Szenarien zu Vorteilen. In allen untersuchten Fallbeispielen wurde für die Reparatur eine Reduktion der Treibhausgasemissionen im Vergleich zum konkurrierenden Austausch der defekten Teile berechnet (Tabelle 6). Dies bestätigt und erweitert die Ergebnisse, die bereits von Wursthorn et al (2010) erzielt wurden.

Tabelle 6: Einsparungen bei Treibhausgasemissionen für Reparatur gegenüber Austausch der defekten Teile

Studie	Treibhausgaseinsparungen bei Reparatur statt Austausch		
	Seitenteil	Stoßfänger	Tür
Eigene Untersuchung	61 %	41 %	45 %
Wursthorn (2010)	60 %	72 %	n. a.

In Bild 21 sind die Kosten von Reparatur (blau) und Austausch (rot) dargestellt. Es wird deutlich, dass sich eine Tendenz zugunsten der Reparatur in Richtung

geringerer Kosten und gleichzeitig geringerer Treibhausgasemissionen ergibt. Die Datenlage bleibt allerdings auch nach der vorliegenden Studie noch dünn und es erscheint sinnvoll, entsprechende Untersuchungen für weitere Teile zu erstellen und im Idealfall sogar schadenspezifisch abzubilden. Sofern sich die Tendenz bestätigt, dass die Reparatur zu einem technisch gleichwertigen Ergebnis, niedrigeren Kosten und gleichzeitig geringeren Treibhausgasemissionen führt, sollte ihre Priorisierung gleichermaßen im Sinne von Kunden, Versicherung und Werkstatt sein.

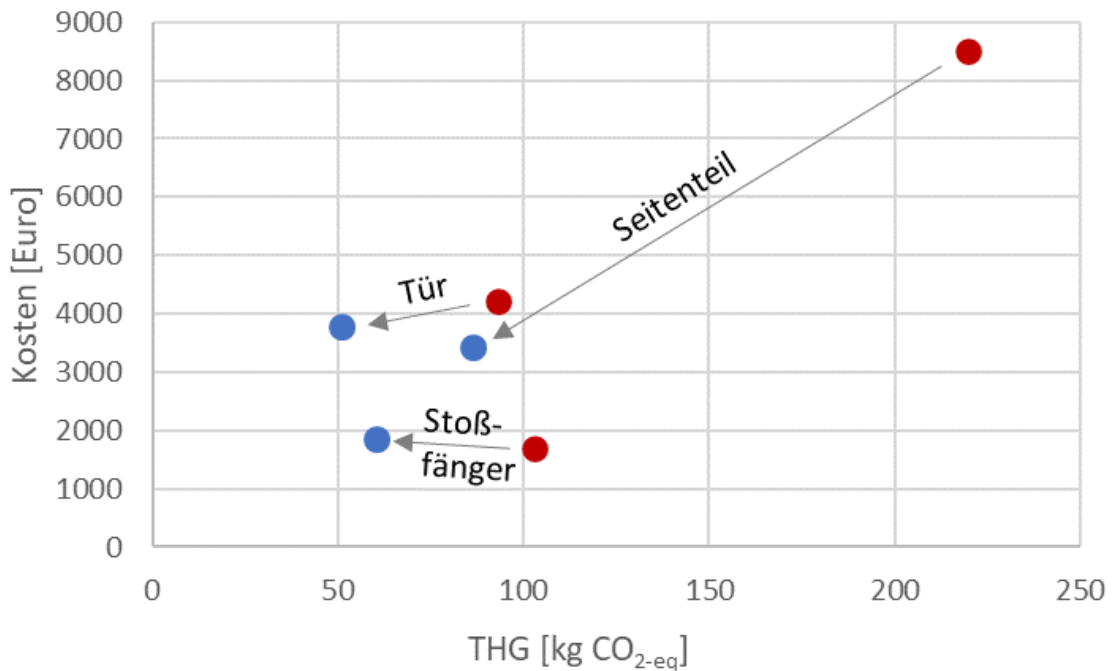


Bild 21: Kosten und Treibhausgasemissionen der untersuchten Anwendungsbeispiele (blau = Reparatur, rot = Austausch).

Die genauere Betrachtung der Treibhausgasemissionen zeigt, dass die Reparatur in einem hohen Maße von der Bereitstellung der Energie abhängt, während der Austausch eher von der vorgelagerten Herstellung des Ersatzteils sowie der nachgelagerten Abfallbehandlung – vor allem im Fall fehlender Recyclinginfrastruktur – beeinflusst wird. Abweichungen in den Sachbilanzdaten ergeben sich durch drei hauptsächliche Faktoren:

- Werkstattsspezifische Faktoren, z. B. Art der Bereitstellung der Energie
- Fahrzeugspezifische Faktoren, z. B. Fahrzeugdesign und verwendete Materialien oder Masse der Neuteile
- Schadensspezifische Faktoren, z. B. Größe und Position des Schadens

Die hier dargestellten Ergebnisse sind im Zusammenhang mit den getroffenen Annahmen und Randbedingungen der Bewertung zu interpretieren.

Individuelle Standortbedingungen, Fahrzeugmodell und der Einfluss eines spezifischen Schadensbildes, welches zu großen Teilen die Dauer der Instandsetzung und damit indirekt auch die zugeteilte Menge der bereitgestellten Energie be-

einflusst, konnten in dieser Studie nur eingeschränkt betrachtet werden. Fraunhofer UMSICHT und die Innovation Group als Auftraggeber sind sich der Tatsache bewusst, dass eine Verallgemeinerung der Aussagen für einen Vergleich zwischen Reparatur und Austausch nur bedingt möglich ist. Daher möchten beide Partner auch in Zukunft zusammenarbeiten, um eine Bewertung durch Werkstätten, Sachverständige und Versicherungen zu ermöglichen, die prozessbegleitend und fallspezifisch eine Empfehlung für die ökonomisch wie ökologisch sinnvollste Variante der Pkw-Instandsetzung liefert.

4 Verzeichnisse

4.1 Abbildungsverzeichnis

Bild 1:	Treibhausgasemissionen für alle drei Untersuchungsbeispiele.	4
Bild 2:	Verteilung der Konsumausgaben der privaten Haushalte in Deutschland 2021 [eigene Abbildung auf Basis von (Statistisches Bundesamt (Destatis) 2022)].	9
Bild 3:	Prozentualer Anteil der Ausgaben für Reparatur und Ersatzteile der privaten Haushalte nach Haushaltsnettoeinkommen in Deutschland 2021 [eigene Darstellung auf Basis von (Statistisches Bundesamt (Destatis) 2022)].	9
Bild 4:	Einteilung der Werkstattprozesse mit den deutschen und englischen Begriffen (für den deutschen Begriff Instandsetzung existiert keine adäquate englische Entsprechung [eigene Darstellung]).	10
Bild 5:	Einordnung von Reparatur und Austausch in der Instandsetzung von Fahrzeugen nach Unfallschäden.	17
Bild 6:	Definierte Systemgrenzen für die Instandsetzung von Pkw-Unfallschäden.	19
Bild 7:	Treibhausgasemissionen für alle drei Untersuchungsbeispiele.	28
Bild 8:	Beitragsanalyse zur Autotür der Treibhausgasemissionen nach Prozessschritten in der Werkstatt (Leihwagen, Abfallverwertung und die Herstellung des Neuteils sind separat aufgeführt).	29
Bild 9:	Beitragsanalyse der Treibhausgasemissionen für die Instandsetzung einer Autotür der bereitgestellten Materialien und Energien	30
Bild 10:	Beitragsanalyse der Treibhausgasemissionen für den Stoßfänger nach Prozessschritten in der Werkstatt (Leihwagen, Abfallverwertung und die Herstellung des Neuteils sind separat aufgeführt).	32
Bild 11:	Beitragsanalyse der Treibhausgasemissionen für die Instandsetzung eines Stoßfängers der bereitgestellten Materialien und Energien.	33
Bild 12:	Beitragsanalyse der Treibhausgasemissionen für ein Seitenteil nach Prozessschritten in der Werkstatt (Leihwagen, Abfallverwertung und die Herstellung des Neuteils sind separat aufgeführt).	34
Bild 13:	Beitragsanalyse der Treibhausgasemissionen für die für die Instandsetzung eines Seitenteils der bereitgestellten Materialien und Energien.	35

Bild 14:	Treibhausgasemissionen im Szenario PV-Anlage für alle drei Untersuchungsbeispiele.	36
Bild 15:	Szenarioanalyse der Treibhausgasemissionen bei einem zu 30 Prozent leichtem Neuteil für den Austausch für alle drei Untersuchungsbeispiele.	38
Bild 16:	Szenarioanalyse der Treibhausgasemissionen bei Verwertung der ausgetauschten Komponenten am Lebensende, wenn der Stoßfänger einem Recycling zu sortiert wird (links) oder eine Autotür aus Aluminium anstatt Stahl verwendet wird (rechts).	39
Bild 17:	Szenarioanalyse der Treibhausgasemissionen durch den Einsatz von recycelten Materialien (60 % Kunststoff beim Stoßfänger und 100 % bei der Autotür).	41
Bild 18:	Szenarioanalyse der Treibhausgasemissionen durch Kombination der vorangegangenen Szenarien, die zu Einsparungen geführt haben (ideales Szenario).	42
Bild 19:	Kosten und Treibhausgasemissionen der untersuchten Anwendungsbeispiele (blau = Reparatur, rot = Austausch).	44

4.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Technische Argumente pro Reparatur und pro Austausch	12
Tabelle 2:	Entwicklung der Ersatzteilpreise von 2013 bis 2022 [Daten aus (GDV 2022a)]	15
Tabelle 3:	Annahmen im Basisszenario für alle drei Untersuchungsbeispiele	23
Tabelle 4:	Übersicht zu den Szenarien für alle Untersuchungsbeispiele	24
Tabelle 5:	Prozentuale Einsparungen der Reparatur im Vergleich zum Austausch für alle berechneten Wirkungskategorien. Die Farben zeigen von grün nach rot eine Vorteilhaftigkeit der Reparatur im Vergleich zum Austausch an.	26
Tabelle 6:	Einsparungen bei Treibhausgasemissionen für Reparatur gegenüber Austausch der defekten Teile	43

5 Anhang

5.1 Anhang A - Glossar

Abfallhierarchie	Die Abfallhierarchie bestimmt eine Abfolge von Maßnahmen bei der Vermeidung bzw. Behandlung von Abfällen. Sie ist wesentlicher Bestandteil der Europäischen Abfallrahmenrichtlinie (Waste Framework Directive WFD Art. 4) sowie des deutschen Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG Art. 6). Im letzteren ist folgende Rangfolge definiert folgende Rangfolge: 1. Vermeidung, 2. Vorbereitung zur Wiederverwendung, 3. Recycling, 4. sonstige Verwertung, insbesondere energetische Verwertung und Verfüllung, 5. Beseitigung
Allokation	Zuordnung von Input- und Outputflüssen und deren Umweltwirkungen innerhalb des zu bewertenden Systems
Autarkie, Autarkiegrad	Selbstversorgung mit Energie, Anteil der Selbstversorgung am Energiebedarf
BHKW, Blockheizkraftwerk	Kleines dezentrales Kraftwerk, in dem gleichzeitig Strom und Wärme erzeugt und für die lokale Verwendung bereitgestellt wird. Basis ist die häufig die Umsetzung von Erdgas, Erdöl oder Biogas in einem Verbrennungsmotor mit nachgeschaltetem Generator zur Stromerzeugung.
Carbon Footprint	Maß für den Gesamtbetrag an Kohlendioxidemissionen pro Bezugsseinheit. Letzteres können Personen, Unternehmen, Länder etc. sein. Andere Treibhausgase werden in der Regel über geeignete Umrechnungsfaktoren auf Kohlendioxid umgerechnet und in den Fußabdruck einbezogen.
Circular Economy	Eine Circular Economy (dt. Kreislaufwirtschaft) ist ein regeneratives System, in dem versucht wird durch Verlängerung der Nutzungsdauern, Wiederverwendung und Recycling den Ressourcenbedarf zu verringern und die Stoffkreisläufe zu schließen.
CO ₂ -Äquivalent	Maßzahl für den relativen Beitrag eines Treibhausgases im Vergleich zu Kohlendioxid als Referenz, dient zur Vereinheitlichung und Aufsummierung der Wirkungen auf den Klimawandel.
CO ₂ -Rucksack	Treibhausgasemissionen, die nicht unmittelbar in der Nutzungsphase bspw. durch Energieverbrauch anfallen, sondern die bereits bei der Herstellung,

	Distribution angefallen sind oder zukünftig bei der Verwertung entstehen.
Cut-off-Ansatz	Bilanzierungsansatz, bei dem Abfälle in der Verantwortung des Herstellers bzw. Inverkehrbringers liegen («Verursacherprinzip») und stofflich verwertete Produkte am Lebensende dem nächsten Lebenszyklus ohne Belastung zur Verfügung gestellt werden (Cut-off - auch bekannt als »recycled content approach«). Im Gegensatz dazu steht der »Avoided burden«-Ansatz bei dem Last- und/oder Gutschriften für die Behandlung aus einem Folgeprozess berücksichtigt werden.
Design for repairability	Gestaltung eines Produkts, bei der die im Falle eines Schadens notwendige Reparatur berücksichtigt und durch geschicktes Design ermöglicht oder vereinfacht wird.
Endpoints (Wirkungsendpunkt)	Eigenschaft oder Aspekt der natürlichen Umwelt, der menschlichen Gesundheit oder der Ressourcen, die oder der ein Umweltthema identifiziert, das Grund zur Besorgnis darstellt. Umweltwirkungen können auf der Ebene eines einzelnen Umweltproblems (siehe Midpoint Wirkungskategorie) oder in aggregierten Schutzebenen, wie der menschlichen Gesundheit, Ressourcen oder Ökosystemen, zusammengefasst und quantifiziert werden.
Eutrophierung	Übermäßige Anreicherung von Nährstoffen in Gewässern, die in der Regel zu nachteilige ökologische Folgewirkungen führt.
Input-/Outputfluss	Eingangs- und Ausgangsströme eines Systems oder Prozesses
LCA, Ökobilanz	Life Cycle Assessment (dt. Ökobilanz) - Methode zur systematischen Analyse und Bewertung der Umweltwirkungen eines Produktes, Prozesses oder einer Dienstleistung über den gesamten Lebenszyklus. Das Vorgehen ist in ISO 14040/14044 normiert.
Kreislaufwirtschaftsgesetz	Deutsches Gesetz zur Schonung der natürlichen Ressourcen und den Schutz von Mensch und Umwelt bei der Erzeugung und Bewirtschaftung von Abfällen (seit 2012)
Midpoint	Wirkungsebene die definierte und nicht aggregierte Umweltkategorien enthält (wie Klimawandel, Eutrophierung, Ressourcenverknappung, etc.)
OEM	Original Equipment Manufacturer (dt. Erstausrüster), in der Automobilindustrie synonym mit dem Fahrzeughersteller verwendet.

Sekundärrohstoffe	Rohstoff, die durch Aufarbeitung von Abfällen entstehen, synonyme sind Rezyklate oder Recyclingrohstoffe
Szenarioanalyse	Untersuchung von Paramtervariationen auf das Ergebnis einer modellbasierten Berechnung mit Hilfe von Szenarien (hier das Berechnungsmodell für die Ökobilanz)
Smart/Spot Repair	Sammelbegriff für Reparaturmethoden, die zur Beseitigung von Kleinschäden zum Einsatz kommen. IN der Regel fallen dabei nur geringe Kosten an. Spot repair umfasst Smart repair-Methoden zur Beseitigung von Lackschäden.
Stoffliches Recycling	Recycling von Abfällen durch mechanische oder chemische Methoden
Thermische Verwertung	Verwertung von Abfällen durch Verbrennung unter Energierückgewinnung
Treibhausemissionen, Treibhausgas	In die Umwelt abgegebene Gase, die zum Treibhauseffekt eines Planeten beitragen. Man unterscheidet zwischen Treibhausgasemissionen, die durch natürliche Prozesse und solche die durch menschliche Aktivität (anthropogen) entstehen.

5.2 Anhang B – Interviews

Herr Behl (AZT), 07.12.20222

5.3 Anhang C – Ökobilanz im Detail

Der hier durchgeführte Vergleich wurde in Anlehnung an die ISO-Normen 14040 und 14044 durchgeführt. Diese erfordert eine ausführliche Berichterstattung und Erläuterungen, wie z.B. zur Sachbilanz und den verwendeten Annahmen, welche in einem elektronischen Anhang zum Download zur Verfügung stehen:

<http://publica.fraunhofer.de>
DOI:10.24406/publica-1478

Im Weiteren sind in der Fordatis-Datenbank Berechnungen zur Ökobilanz in Form von Exceldateien verfügbar:

DOI: <http://dx.doi.org/10.24406/fordatis/259>
Handle: <https://fordatis.fraunhofer.de/handle/fordatis/322>

6 Literaturverzeichnis

Acatech (2023): Umfrage Mobilitätsmonitor: Die Bevölkerung nimmt Klimaschutz im Verkehr wichtig und möchte Veränderungen. Hg. v. Acatech. Online verfügbar unter <https://www.acatech.de/allgemein/umfrage-mobilitaetsmonitor/>, zuletzt geprüft am 09.03.2022.

ADAC (2021): Umfrage: Das sind die beliebtesten Auto-Spitznamen der Deutschen. Hg. v. ADAC. Online verfügbar unter <https://www.adac.de/news/auto-spitznamen/>, zuletzt aktualisiert am 10.03.2021, zuletzt geprüft am 09.03.2023.

Ahlers, Michael (2016): Carbon Core ‐ die neue BMW 7er Karosserie. In: Gerhard Tecklenburg (Hg.): Karosseriebautage Hamburg 2016. 14. ATZ-Fachtagung. Beitr. teils in dt., teils in engl. Sprache. Wiesbaden: Springer Vieweg (Proceedings), S. 125–135.

AltfahrzeugV (2020): Verordnung über die Überlassung, Rücknahme und umweltverträgliche Entsorgung von Altfahrzeugen. AltfahrzeugV, vom 2020. Online verfügbar unter <https://www.gesetze-im-internet.de/altautov/index.html#BJNR166610997BJNE001402310>, zuletzt geprüft am 09.03.2023.

Auto.de (2012): <https://www.auto.de/magazin/Recht-Vollstaendige-Reparatur-auch-ohne-Befolgen-der-Herstellervorgaben-moeglich/>. Hg. v. Auto.de media GmbH. Online verfügbar unter <https://www.auto.de/magazin/Recht-Vollstaendige-Reparatur-auch-ohne-Befolgen-der-Herstellervorgaben-moeglich/>, zuletzt aktualisiert am 03.01.2012, zuletzt geprüft am 09.03.2022.

Autoform (2023): Leichtbau in der Automobilindustrie. Hg. v. AutoForm Engineering GmbH. Online verfügbar unter <https://www.autoform.com/de/glossar/leichtbau/>, zuletzt geprüft am 09.03.2023.

B&B (2019): Reparatur nach Herstellervorgaben in Fachwerkstätten. Online verfügbar unter <https://gutachter-kfz.expert/reparatur-nach-herstellervorgaben-in-fachwerkstaetten/>, zuletzt aktualisiert am 16.03.2019, zuletzt geprüft am 09.03.2023.

Bertling, Jürgen; Leggewie, Claus (2016): Die Reparaturgesellschaft. Ein Beitrag zur großen Transformation? In: Andrea Baier, Tom Hansing, Christa Müller und Karin Werner (Hg.): Die Welt reparieren. Open Source und Selbermachen als postkapitalistische Praxis. Erscheinungsort nicht ermittelbar: transcript Verlag, S. 275–286.

Betz, Johannes; Hermann, Andreas; Bulach, Winfried; Hermann, Christine; Diehoff, Juliane; Müller, Ria; Wiesemann, Eva (2022): Prüfung konkreter Maßnahmen zur Steigerung der Nachfrage nach Kunststoffrezyklaten und rezyklathaltigen Kunststoffprodukten. Hg. v. Umweltbundesamt.

BMUV (2022): FAQ Recht auf Reparatur. Hg. v. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz. Online verfügbar unter <https://www.bmuv.de/themen/nachhaltigkeit-digitalisierung/konsum-und-produkte/faq-recht-auf-reparatur>, zuletzt aktualisiert am 15.08.2022, zuletzt geprüft am 15.05.2023.

Brinster (2022): Erstellung und Diskussion zu Schadenskalkulationen mit entsprechender Software. Innovation Group AG, 2022. mündlich.

Bruns, C. (2016): Wie lange bekomme ich Ersatzteile? Hg. v. autobild. Online verfügbar unter <https://www.autobild.de/artikel/ratgeber-fahrzeugreparatur-8848555.html>, zuletzt aktualisiert am 30.03.2016, zuletzt geprüft am 09.03.2023.

Bultink (2022): Persönlicher Austausch zu technischen Voraussetzungen für Reparatur und Austausch mit Werkstattmitarbeitern. Bultink GmbH, Hagen, 2022. mündlich im Rahmen von Werkstattbesuchen im September und November 2022.

Bundesverband Holzpackmittel, Paletten, Exportverpackung e.V. (HPE) (Hg.) (o. J.): Recycling. Hier erhalten Sie weiterführende Informationen zu den Themen Recycling und Verpackungsverordnung. Online verfügbar unter <https://www.hpe.de/vhp-recycling.html>, zuletzt geprüft am 15.03.2023.

Bussgeldkatalog.de (2022): Versicherungsgutachter – Das sollten Unfallbeteiligte wissen. Online verfügbar unter <https://www.bussgeldkatalog.de/>, zuletzt aktualisiert am 17.10.2022, zuletzt geprüft am 09.03.2023.

BVDP (2020): Margenreduzierungen bei Ersatzteilen gehen an die Existenzgrundlage der Werkstätten. Hg. v. Bundesverband der Partnerwerkstätten. Online verfügbar unter https://sn-prod.s3.amazonaws.com/download/e94c27ffde2b5b9daed9ad6daaa75b7f0e4fd193/600168588e4de/bvdp_pm_teilegeschaeftpdf.pdf, zuletzt geprüft am 09.03.2023.

DAT (2023): Sicher und zeitsparend: Original Reparaturanleitungen per schnellem Klick. Hg. v. Deutsche Automobil Treuhand GmbH. Online verfügbar unter <https://www.dat.de/reparaturanleitungen/>.

EMF (2023): What is a Circular Economy? Hg. v. Ellen Macarthur Foundation. Online verfügbar unter <https://ellenmacarthurfoundation.org/topics/circular-economy-introduction/overview>, zuletzt geprüft am 20.03.2023.

EU 2021/2279 (2021): EMPFEHLUNG (EU) 2021/2279 DER KOMMISSION zur Anwendung der Methoden für die Berechnung des Umweltfußabdrucks zur Messung und Offenlegung der Umweltleistung von Produkten und Organisationen entlang ihres Lebenswegs. Hg. v. Europäische Union. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:32021H2279>, zuletzt geprüft am 23.03.2023.

Europäische Kommission (Hg.) (2021): Understanding Product Environmental Footprint and Organisation Environmental Footprint methods. Online verfügbar unter file:///C:/Users/slan/Downloads/EF%20simple%20guide_v7_clen.pdf, zuletzt geprüft am 23.03.2023.

GDV (2022a): Autohersteller erhöhen Ersatzteilpreise um acht Prozent. Hg. v. Gesamtverband der Versicherer. Online verfügbar unter <https://www.gdv.de/gdv/medien/medieninformationen/autohersteller-erhoehen-ersatzteilpreise-um-acht-prozent--103992>, zuletzt aktualisiert am 05.10.2022, zuletzt geprüft am 07.03.2023.

GDV (2022b): Schaden und Unfall. Online verfügbar unter <https://www.gdv.de/gdv/medien/zahlen-und-daten/beitraege-leistungen-vertragszahlen-der-einzelnen-versicherungsparten#beitr-geleistungen-vertr-ge-sch-den>, zuletzt aktualisiert am 13.09.2022, zuletzt geprüft am 09.03.2023.

GDV (2022c): Statistiken zur deutschen Versicherungswirtschaft. Hg. v. GDV. Berlin.

DIN 31051, 2019: Grundlagen der Instandhaltung.

GVA (2023): Marktakteure. Hg. v. Gesamtverband Autoteile-Handel. Online verfügbar unter <https://www.gva.de/branche/marktakteure.php>, zuletzt geprüft am 09.03.2023.

Handwerksblatt (2019): EU zwingt Hersteller, Ersatzteile zu liefern. Online verfügbar unter <https://www.handwerksblatt.de/betriebsfuehrung/eu-zwingt-hersteller-ersatzteile-zu-liefern>, zuletzt aktualisiert am 02/2019, zuletzt geprüft am 09.03.2023.

Hauschild, Michael Z.; Rosenbaum, Ralph K.; Olsen, Stig Irving (2018): Life Cycle Assessment. Hg. v. Cham: Springer International Publishing.

heycar (2020): Was ist die durchschnittliche Lebensdauer eines Autos? Hg. v. Mobility Trader GmbH. Online verfügbar unter <https://hey.car/magazine/was-ist-die-durchschnittliche-lebensdauer-eines-autos>, zuletzt aktualisiert am 11.06.2020, zuletzt geprüft am 09.03.2023.

IPCC (2007): IPCC Climate Change Fourth Assessment Report: Climate Change 2007. Online verfügbar unter <http://www.ipcc.ch/ipccreports/assessments-reports.htm>, zuletzt geprüft am 02.08.2013.

IPCC (2022): IPCC Climate Change Fourth Assessment Report: Climate Change 2022. Online verfügbar unter <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/about/how-to-cite-this-report/>, zuletzt geprüft am 16.05.2023.

Jürs (Hg.) (2019): Fahrzeuginstandsetzung bei Aluminiumbauteilen im Fahrzeug. Online verfügbar unter <https://www.juers-lackiererei.de/blog/fahrzeuginstandsetzung-bei-aluminiumbauteilen-im-fahrzeug/>, zuletzt aktualisiert am 15.06.2019, zuletzt geprüft am 23.03.2023.

Kfz-Betrieb (2014): Ersatzteilgeschäft bleibt profitabel. Hg. v. Vogel Communications Group. Online verfügbar unter <https://www.kfz-betrieb.vogel.de/ersatzteilgeschaeft-bleibt-profitabel-a-466963/>, zuletzt aktualisiert am 14.11.2014, zuletzt geprüft am 09.03.2022.

Kfz-Betrieb (2023): Günstige Konditionen sorgen für Marge bei Werkstätten. Hg. v. Vogel Communications Group. Online verfügbar unter <https://www.kfz-betrieb.vogel.de/guenstige-konditionen-sorgen-fuer-marge-bei-werkstaetten-a-ebe221a46032d2771b61674d1e4ea959/>, zuletzt aktualisiert am 13.02.2023, zuletzt geprüft am 09.03.2023.

Kfz-Gewerbe (2022): Kraftfahrzeuggewerbe - Zahlen & Fakten 2021. Hg. v. Wirtschaftsgesellschaft des Kraftfahrzeuggewerbes mbH.

Kiebach, H. (2021): Innovative Werkstoffe als Herausforderung für die Instandsetzung von Pkw-Karosserien. In: *VKU Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik* 59, S. 32–36. Online verfügbar unter <https://trid.trb.org/view/1906846>, zuletzt geprüft am 09.03.2022.

Köth, C.-P.; Reichhardt, M. (2020): Elektromobilität funktioniert nur mit Leichtbau. Hg. v. Automobilindustrie. Online verfügbar unter <https://www.automobil-industrie.vogel.de/elektromobilitaet-funktioniert-nur-mit-leichtbau-a-908391/>, zuletzt aktualisiert am 02.03.2020, zuletzt geprüft am 09.03.2023.

Kraus, Eduard; Achenbach; Hermann; Rudloff, Johannes; Erath, Johann (2021): Nachhaltigkeit in der Automobilindustrie. Hg. v. Plastverarbeiter. Online verfügbar unter <https://www.plastverarbeiter.de/verarbeitungsverfahren/nachhaltigkeit-in-der-automobilindustrie.html>, zuletzt aktualisiert am 28.05.2021, zuletzt geprüft am 23.03.2023.

KrWG (2012): Kreislaufwirtschaftsgesetz: Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen. KrWG, vom Zuletzt geändert durch Art. 1 G v. 23.10.2020. Online verfügbar unter <https://www.gesetze-im-internet.de/krwg/BJNR021210012.html>.

Matthiss, H. (2001): Repair with regard to design concept; material and material combinations; Reparatur im Karosseriebereich unter Berücksichtigung des Konstruktionskonzepts und ... Online verfügbar unter <https://www.osti.gov/etdweb/biblio/20543512>.

Mordor Intelligence (Hg.) (o. J.): Markt für leichte Autos – Wachstum, Trends, Auswirkungen von COVID-19 und Prognosen (2023 – 2028). Online verfügbar unter <https://www.mordorintelligence.com/de/industry-reports/global-market-for-lightweight-cars-industry>, zuletzt geprüft am 23.03.2023.

Pachauri, R. K.; Mayer, Leo (Hg.) (2015): Climate change 2014. Synthesis report. Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland: Intergovernmental Panel on Climate Change.

Peyrl, R. (2014): Ökobilanzen und Lebenszyklusanalysen. Möglichkeiten und Grenzen. Hg. v. Österreichische Zukunfts Akademie. Online verfügbar unter <https://docplayer.org/51205582-Oekobilanzen-und-lebenszyklusanalysen.html>, zuletzt geprüft am 23.03.2023.

Potting, José; Hekkert, M. P.; Worrell, E.; Hanemaaijer, Aldert (2017): Circular Economy: Measuring Innovation in the Product Chain. In: *Planbureau voor de Leefomgeving* (2544). Online verfügbar unter <https://dspace.library.uu.nl/handle/1874/358310>.

Rechtslupe (2022): Urteile zu den Kosten bei Kfz-Gutachten. Hg. v. Praetor Verlagsgesellschaft mb. Online verfügbar unter <https://www.rechtslupe.de/zivilrecht/urteile-zu-den-kosten-bei-kfz-gutachten-3237946>, zuletzt aktualisiert am 06.12.2022, zuletzt geprüft am 09.03.2023.

RNE (2021): Nachhaltigkeit in der Gesellschaft. Hg. v. Rat für Nachhaltige Entwicklung (RNE). Online verfügbar unter <https://www.nachhaltigkeitsrat.de/>.

Schoch, M. (2022): Lieferengpässe: Ersatzteile in Verzug. Hg. v. Springer Fachmedien München GmbH. Online verfügbar unter <https://www.autoservicepraxis.de/nachrichten/autobranche/lieferengpaesse-ersatzteile-in-verzug-3231721>, zuletzt geprüft am 09.03.2023.

Sorema (Hg.) (o.J.): Recycling von Kunststoffabfällen aus Autos. Online verfügbar unter http://sorema.it/de_DE/applications/other-recycling-solutions/car-plastic-waste-recycling/, zuletzt geprüft am 23.03.2023.

Statista (Hg.) (2014): Typische Lebensdauer von Autos in Deutschland nach Automarken. Online verfügbar unter <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/316498/umfrage/lebensdauer-von-autos-deutschland/>.

Statistisches Bundesamt (Destatis) (2022): Einkommen, Einnahmen und Ausgaben privater Haushalte - 2021. Hg. v. Statistisches Bundesamt (Destatis) (Laufende Wirtschaftsrechnungen, Fachserie 15 Reihe 1).

Statistisches Bundesamt (Destatis) (Hg.) (2023): Straßenverkehrsunfälle mit Personenschaden, Getöteten, Schwer- und Leichtverletzten: Deutschland, Jahre, Straßenklasse, Ortslage. 46241-0003. Online verfügbar unter <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=previous&levelindex=2&step=2&titel=Tabellenaufbau&levelid=1686059886045&acceptscookies=false#breadcrumb>, zuletzt geprüft am 06.06.2023.

DIN EN ISO 14044, Oktober 2006: Umweltmanagement - Ökobilanz - Anforderungen und Anleitungen (ISO 14044:2006); Deutsche und Englische Fassung EN ISO 14044:2006.

DIN EN ISO 14040, November 2009: Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen (ISO 14040:2006); Deutsche und Englische Fassung EN ISO 14040:2006.

verivox (Hg.) (2023): Merkantiler Minderwert. Online verfügbar unter <https://www.verivox.de/kfz-versicherung/themen/merkantiler-minderwert/>, zuletzt geprüft am 16.05.2023.

Versicherungsbote (2022): Kfz-Versicherung: Allianz fordert mehr Reparaturen statt Austausch von Teilen. Hg. v. Versicherungsbote GmbH. Online verfügbar unter <https://www.versicherungsbote.de/id/4908201/Kfz-Versicherung-Allianz-fordert-mehr-Reparaturen-statt-Austausch-von-Teilen/>, zuletzt aktualisiert am 20.10.2022, zuletzt geprüft am 09.03.2023.

Volvo Car Austria (Hg.) (2018): Volvo Cars: 25 Prozent recycelte Kunststoffe ab 2025 in jedem neuen Fahrzeug. Online verfügbar unter <https://www.media.volvocars.com/at/de-at/media/press-releases/230703/volvo-cars-25-prozent-recycelte-kunststoffe-ab-2025-in-jedem-neuen-fahrzeug>, zuletzt aktualisiert am 18.06.2018, zuletzt geprüft am 23.03.2023.

WCED (1987): Our Common Future, Chapter 2. Towards Sustainable Development. World Commission on Environment and Development. Hg. v. World Commission on Environment and Development (WCED). Geneva. Online verfügbar unter <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>.

Wursthorn, Sibylle; Feifel, Silke; Walk, Wolfgang; Patyk, Andreas (2010): An environmental comparison of repair versus replacement in vehicle maintenance. In: *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 15 (6), S. 356–361. DOI: 10.1016/j.trd.2010.02.011.

Zampori, L.; Pant, R. (2019): Suggestions for updating the Product Environmental Footprint (PEF) method. Joint Research Centre. Luxembourg.

Zhang, Shuai; Huang, Kai; Yuan, Yufei (2021): Spare Parts Inventory Management: A Literature Review. In: *Sustainability* 13 (5), S. 2460. DOI: 10.3390/su13052460.

ZKF (2022a): ZDH: Entlastungspläne der Bundesregierung – ZKF setzt sich für Kriterien innerhalb des Energiekostendämpfungsprogramms ein. Online verfügbar unter <https://www.zkf.de/aktuelles/news-detailseite/zdh-entlastungsplaene-der-bundesregierung-zkf-setzt-sich-fuer-kriterien-innerhalb-des-energiekostendaempfungsprogramms-ein>, zuletzt aktualisiert am 12.10.2022, zuletzt geprüft am 09.03.2023.

ZKF (2022b): ZKF Branchenbericht. Herstellender und reparierender Karosserie- und Fahrzeugbau. Zentralverband Karosserie- und Fahrzeugtechnik e. V. Online verfügbar unter https://www.zkf.de/files/user_upload/ZKF-Branchenbericht_2021.pdf, zuletzt geprüft am 08.03.2023.

ZKF (2023a): Der Eurogarant-Karosserie-Fachbetrieb Der Eurogarant-Karosserie-Fachbetrieb - Das Merkmal für Qualität! Hg. v. Zentralverband Karosserie- und Fahrzeugtechnik e. V. Online verfügbar unter <https://www.eurogarant.de/was-ist-eurogarant>.

ZKF (2023b): Eurogarant-Karosserie-Fachbetrieb. Zentralverband Karosserie- und Fahrzeugtechnik e. V. Online verfügbar unter <https://www.zkf.de/leistungen/eurogarant>, zuletzt geprüft am 09.03.2023.