



IN4CLIMATE
.RR

Die Verwertung von Altfahrzeugen

Status Quo, Herausforderungen und Potentiale
im Hinblick auf eine effizientere Kreislaufwirtschaft
in Deutschland und dem Rheinischen Revier



NRW.ENERGY
4CLIMATE
Landesgesellschaft
für Energie und Klimaschutz



Wuppertal
Institut

IN4climate.RR | Kölner Straße 40 | 41515 Grevenbroich

Projektleitung: Dr. Dirk Petersohn, NRW.Energy4Climate; Christoph Zeiss, Wuppertal Institut

IN4climate.RR ist ein vom Land Nordrhein-Westfalen unterstütztes und durch einen Beschluss des Deutschen Bundestages vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz gefördertes Projekt. Das Projekt wird unter dem Dach der Landesgesellschaft NRW.Energy4Climate von der Initiative IN4climate.NRW und dem Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie durchgeführt. IN4climate.RR verfolgt das Ziel, die Industrie im Rheinischen Revier auf dem Weg zur Klimaneutralität zu unterstützen und in die Transformationsprozesse in NRW, Deutschland und Europa einzubinden.

Eine Kooperation von:



Bibliographische Angaben

Herausgeber: IN4climate.RR
Veröffentlicht: September 2023
Autor:innen: Silvia Proff, Alexander Scholz, Christian Welter
Mit Unterstützung durch Sven Marmulla
Kontakt: silvia.proff@wupperinst.org, alexander.scholz@wupperinst.org
Bitte zitieren als: IN4climate.RR 2023: *Die Verwertung von Altfahrzeugen: Status Quo, Herausforderungen und Potentiale im Hinblick auf eine effizientere Kreislaufwirtschaft in Deutschland und dem Rheinischen Revier*

Bildnachweis:

Titel: iStock.com

Impressum:

NRW.Energy4Climate GmbH

Kaistraße 5
40221 Düsseldorf

Tel: +49 211 822 086-555

kontakt@energy4climate.nrw

<https://www.energy4climate.nrw/>

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie
gGmbH (Hrsg.)

Döppersberg 19

42103 Wuppertal

Tel.: +49 202 2492-0

Fax: +49 202 2492-108

info@wupperinst.org

www.wupperinst.org

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Inhalt

Abbildungsverzeichnis	4
Tabellenverzeichnis.....	4
1 Einleitung.....	5
2 Prozess der aktuellen Fahrzeugverwertung	6
2.1 Stoffströme innerhalb der Fahrzeugverwertung.....	6
2.2 Prozess der Nachweisführung.....	9
3 Relevanz im Rheinischen Revier	10
4 Herausforderungen für eine intensivierete Fahrzeugverwertung.....	13
5 Exkurs: Verwertung von E-Autos	15
6 Lösungsansätze für eine effizientere Kreislaufwirtschaft.....	17
6.1 Vertiefung der aktuellen Demontagestruktur.....	17
6.2 Herstellerspezifische Demontagestruktur.....	18
6.3 Verbesserte (Post-)Schreddertechnologie	19
6.4 Fahrzeugverwertungsfabrik	20
6.5 Erneuerte Regulatorik	21
7 Fazit und Ausblick auf nächste Schritte im Projekt.....	24
Literaturverzeichnis	26

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schaubild des aktuellen Verwertungsprozesses von Altfahrzeugen mit Mengenangaben für Deutschland (oberer Wert) und für das Rheinische Revier (unterer Wert)..... 8

Abbildung 2: Akteurslandschaft im Rheinischen Revier entlang der Wertschöpfungskette von Fahrzeugen. 12

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Batteriespezifische Mindest-Recycling-Effizienzen basierend auf Durchschnittsgewicht, gem. EU-Kommission 2020..... 17

Tabelle 2: Materialspezifische Mindest-Recycling-Quoten basierend auf Durchschnittsgewicht, gem. EU-Kommission 2020..... 17

1 Einleitung

Die effiziente Verwertung von Altfahrzeugen ist vor dem Hintergrund einer notwendigen Transformation der Industrie in eine Kreislaufwirtschaft von hoher Relevanz für den Automobilstandort Deutschland. Mit rund 2,2 Millionen Beschäftigten ist die Automobilindustrie der beschäftigungsstärkste Industriezweig in Deutschland. Trotz der krisenbedingt rückläufigen Zahlen produzierten die deutschen Autohersteller im Jahr 2021 weltweit über elf Millionen PKW, davon gut drei Millionen in Deutschland (BMWK, o. J.). Bei aktuell rund 2,7 Millionen Neuzulassungen pro Jahr befindet sich der Fahrzeugbestand bundesweit auf einem Allzeithoch von 48,6 Millionen PKW. Hierin gebunden sind enorme Mengen an Materialien, angefangen bei energieintensiven Grundstoffen über Edelmetallen bis hin zu seltenen Erden. Die Potentiale zur Wiederverwendung dieser Rohstoffe werden jedoch bei weitem nicht ausgeschöpft.

PKW und eine kleinere Anzahl weiterer Fahrzeugklassen fallen in Deutschland nach einer Nutzungsdauer von durchschnittlich 17 Jahren als Altfahrzeuge zur Verwertung an. Insgesamt wurden im Jahr 2020 2,8 Millionen Fahrzeuge endgültig stillgelegt (UBA & BMUV, 2022). Allerdings wurden im gleichen Jahr lediglich etwa 400.000 Altfahrzeuge in anerkannten Demontagebetrieben behandelt. Mit rund 80 % wird der größte Anteil an stillgelegten Fahrzeugen bereits in der Nutzungsphase als Gebrauchtwagen in andere Länder exportiert, sodass diese nicht als Altfahrzeuge in Deutschland anfallen. Darüber hinaus ist der Verbleib von etwa 200.000 Altfahrzeugen statistisch nicht erfasst, was eine illegale Demontage in nicht anerkannten Betrieben sowie illegalen Export vermuten lässt (UBA & BMUV, 2022). Dadurch gehen signifikante Mengen an Sekundärrohstoffen für eine Verwertung in Deutschland verloren, was den Bedarf nach energieintensiver Primärproduktion erhöht und gerade bei kritischen Rohstoffen zur Abhängigkeit von globalen Lieferketten beiträgt.

Doch auch bei den in Deutschland verwerteten Altfahrzeugen setzen die bestehenden Strukturen nur geringe Anreize für eine umfassende Rückgewinnung wertvoller Ressourcen. So gibt es bundesweit zwar über 1000 anerkannte Demontagebetriebe für Altfahrzeuge, hier werden jedoch meist aus wirtschaftlichen Gründen neben der fachgerechten Entnahme von Betriebsmitteln nur vereinzelt Bauteile einer Wiederverwendung zugeführt. Der überwiegende Teil der Restkarosse wird 46 Schredderbetriebe¹ in Deutschland weitergegeben. Diese sortieren vorwiegend nach Eisen-, Nicht-Eisen- und Leichtfraktion. Bei der anschließenden Verwertung dieser Stoffströme handelt es sich jedoch meistens nicht um hochwertiges Recycling, sondern überwiegend um Downcycling und energetische Verwertung. Darüber hinaus wird von einer unbekannt Anzahl illegaler Demontagebetriebe ausgegangen, die in direkter Konkurrenz zu den anerkannten Demontagebetrieben stehen und durch deren Aktivitäten unbekannte Mengen an Sekundärrohstoffen dem Markt entzogen werden. Auch der aktuelle regulatorische Rahmen setzt nur bedingt Anreize für eine höherwertige Verwertung. Insgesamt führt dies dazu, dass trotz relativ hoher gesetzlicher Vorgaben der deutschen Altfahrzeug-Verordnung die tatsächlichen Quoten und Qualitäten seit Jahren rückläufig sind (UBA, 2023).

Das vorliegende Papier zielt daher darauf ab, ein umfassendes Verständnis für das gegenwärtige System der Fahrzeugverwertung und der damit verbundenen Rohstoffpotentiale in Deutschland zu schaffen, Lösungsansätze zur Verbesserung der Kreislaufführung aufzuzeigen und dabei mögliche Beiträge des Rheinischen Reviers zu diskutieren. Die Region ist sowohl von Ballungsgebieten mit einer hohen Anzahl an Altfahrzeugen umgeben als auch durch eine für die Fahrzeugproduktion relevante Industriestruktur gekennzeichnet – mit Grundstoffherstellern aus Bereichen wie Aluminium, Glas und

¹ Zahl bezieht sich auf das Jahr 2020

Kunststoffe. Daher soll insbesondere das Potential einer Kreislaufschließung durch eine effiziente und qualitativ hochwertige Verwertung von Altfahrzeugen diskutiert werden. Das Papier schafft somit eine wesentliche Grundlage, um die hier skizzierten Ansätze im weiteren Projektverlauf von IN4Climate.RR gemeinsam mit Revierakteuren zu konkretisieren.

Hierzu wird nach einer thematischen Einführung zunächst der gegenwärtige Prozess der Fahrzeugverwertung analysiert und die Relevanz des Themas für das Rheinische Revier aufgearbeitet. Anschließend werden zentrale Herausforderungen für eine intensiviertere Fahrzeugverwertung beleuchtet und verschiedene Ansätze zur Stärkung der Kreislaufwirtschaft im Automobilsektor skizziert. Diese werden sowohl hinsichtlich ihrer potentiellen Relevanz für das Rheinische Revier bewertet als auch in die gegenwärtige Überarbeitung des regulatorischen Systems eingeordnet. Das Papier schließt mit einer Zusammenfassung der wesentlichen Schlussfolgerungen und einem Ausblick auf die im weiteren Projektverlauf geplanten Arbeiten zum Thema.

2 Prozess der aktuellen Fahrzeugverwertung

Das folgende Kapitel gibt einen Überblick über den aktuellen Prozess der Fahrzeugverwertung in Deutschland. Dabei wird zum einen die Art der Verwertung bzw. Verwendung der einzelnen im Fahrzeug enthaltenen Komponenten und Stoffströme betrachtet (Kapitel 2.1) und zum anderen der Prozess der Nachweisführung erläutert (Kapitel 2.2).

2.1 Stoffströme innerhalb der Fahrzeugverwertung

Abbildung 1 zeigt die Prozessabläufe und Stoffströme der aktuellen deutschen Altfahrzeugverwertung. Rund 700.000 Altfahrzeuge sind in 2020 in Deutschland insgesamt zur Verwertung angefallen. Dies entspricht bei einem durchschnittlichen Fahrzeuggewicht von etwa 1,1 t einer Menge von 770.000 t an Sekundärrohstoffen. Rund 400.000 Fahrzeuge wurden in anerkannten Demontagebetrieben verwertet. In den Betrieben wird das Fahrzeug zunächst trockengelegt, d.h. alle Flüssigkeiten werden entnommen und entweder wiederverwendet oder fachlich entsorgt, bevor weitere wirtschaftlich lohnende und leicht demontierbare Teile ausgebaut werden. Dazu zählen beispielsweise Katalysatoren und Turbolader, sowie elektronische und andere Bauteile, welche häufig über ein eigenes Ersatzteillager weitervermarktet werden. Demontierte Teile, die aufbereitet werden müssen, werden zumeist von Zulieferern abgenommen und gelangen nach einer Aufbereitung schließlich in Werkstätten zum Verkauf, werden also insbesondere nicht in Neufahrzeugen verbaut. Andere Abnehmer für Ersatzteile sind häufig Privatpersonen oder Werkstätten (Sander et al., 2016). Stoßstangen aus Kunststoff oder Türen aus Aluminium sind Beispiele für Komponenten, die in manchen Fällen demontiert und recycelt werden. Verunreinigte ÖlfILTER und viele Altreifen werden hingegen energetisch verwertet. Laut einer Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes mit stichprobenartiger Untersuchung drei verschiedener Demontagebetriebe werden gut 100 kg Fahrzeugteile pro Altfahrzeug ausgebaut. Den größten Gewichtsanteil haben dabei Altreifen mit 25-30 kg sowie Stahl(-felgen) mit weiteren 30 kg. Außerdem wurden Starterbatterien (9 kg) und Kraftstoffe (10-15 kg) sowie Katalysatoren mit einem durchschnittlichen Gewicht von etwa 4 kg entnommen. Metallische Ersatzteile zur Wiederverwendung wurden in zwei der drei Demontagebetriebe mit einem Gesamtgewicht von circa 10 kg ausgebaut. Insgesamt ist der Ausbau von Ersatzteilen und Metallen zur Wiederverwendung laut dieser Studie jedoch rückläufig (Sander et al., 2020). Nach dem Jahresbericht über die Altfahrzeug-Verwertungsquoten des Umweltbundesamtes (UBA) und des

Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) macht die demontierte Menge in 2020 etwa 18 % des Gesamtgewichts der Altfahrzeuge aus (UBA & BMUV, 2022). Nach der Studie des Umweltbundesamtes werden hingegen bloß 10 % des Fahrzeuggewichts demontiert, welche zur Hälfte aus Metallen besteht (Sander et al., 2020). Nach der Demontage wird die Restkarosse an eine anerkannte Schredderanlage weitergegeben.

Entgegen der aktuellen Rechtslage, nach der ein Altfahrzeug über eine An- oder Rücknahmestelle an einen anerkannten Demontagebetrieb überführt werden muss, wurden im Jahr 2018 laut einem Bericht des Umweltbundesamtes über die Auswirkungen illegaler Altfahrzeugverwertung insgesamt 40 % der angefallenen Altfahrzeuge illegal verwertet (Zimmermann et al., 2022). Überträgt man diese Zahl auf das Jahr 2020, so entspricht dies bundesweit einer Menge von rund 270.000 Fahrzeugen bzw. 300.000 t. Durch die Akquise über Internetportale, Fahrzeughandel oder Anwerbung durch Kärtchen am Fahrzeug gelangt das Altfahrzeug zu privaten oder gewerblichen Akteuren, wie z.B. Werkstätten, Gebrauchtwagen- und Teilehändlern. Dort wird das Fahrzeug in unterschiedlicher Tiefe demontiert. Dabei handelt es sich um eine nicht anerkannte und nachvollzogene Demontage, bei der verschiedene Geschäftsmodelle verfolgt werden, wie etwa die Vermarktung oder der Export von Ersatzteilen und der Weiterverkauf des Metallschrotts. Die (teil)zerlegten Restkarossen werden anschließend entweder exportiert, in seltenen Fällen im öffentlichen Raum abgestellt, oder aber gelangen direkt oder indirekt über einen anerkannten Demontagebetrieb zu einer Schredderanlage. Dabei ist unklar, welchen Anteil der Export der Restkarossen ausmacht. (Zimmermann et al., 2022)

In der Schredderanlage angekommen werden die Restkarossen zusammen mit weiteren metallischen Abfällen, wie z.B. Elektrogroßgeräten, zertrümmert und zerkleinert. Restkarossen machen bei allen Schredderbetrieben mit Restkarosserieverwertung in Deutschland einen Anteil von etwa 10 % aus (UBA & BMUV, 2022). Der sich hieraus ergebende Mix aus Wertstoffen wird im Anschluss in die drei Fraktionen Schredderleichtfraktion (SLF), Schredderschwerfraktion (SSF) und Schredderschrott sortiert. Die SLF besteht aus Kunststoffen, Gummi, Glas, Faserstoffen, Restmetallen und Mineralien. Nach dem Bericht des Umweltbundesamtes, für welchen mehrere Verwertungs- und Schredderversuche mit Altfahrzeugen durchgeführt wurden, wird die SLF mit 63 % zu großen Teilen energetisch verwertet (Sander et al., 2020), siehe auch Abbildung 1. Der überwiegende restliche Teil wird als Bergversatz oder im Deponiebau verwendet. Insbesondere wird der Großteil der SLF damit nicht recycelt oder wiederverwendet. Die SSF umfasst Mischmetalle wie Aluminium und Kupfer, die häufig in der Metallrückgewinnung noch einmal aufbereitet werden, bevor sie stofflich wiederverwendet werden. Die dritte Fraktion des Schredderschrotts besteht ausschließlich aus Eisen und Stahl und macht mit circa 70 % den größten Anteil aus. Der Gesamtmetallanteil der Restkarossen liegt insgesamt bei etwa 80 %, von dem der überwiegende Teil stofflich verwertet, d.h. in Schmelzwerken recycelt und wiederverwendet wird. Die beim Prozess entstehenden Staubfraktionen werden deponiert.

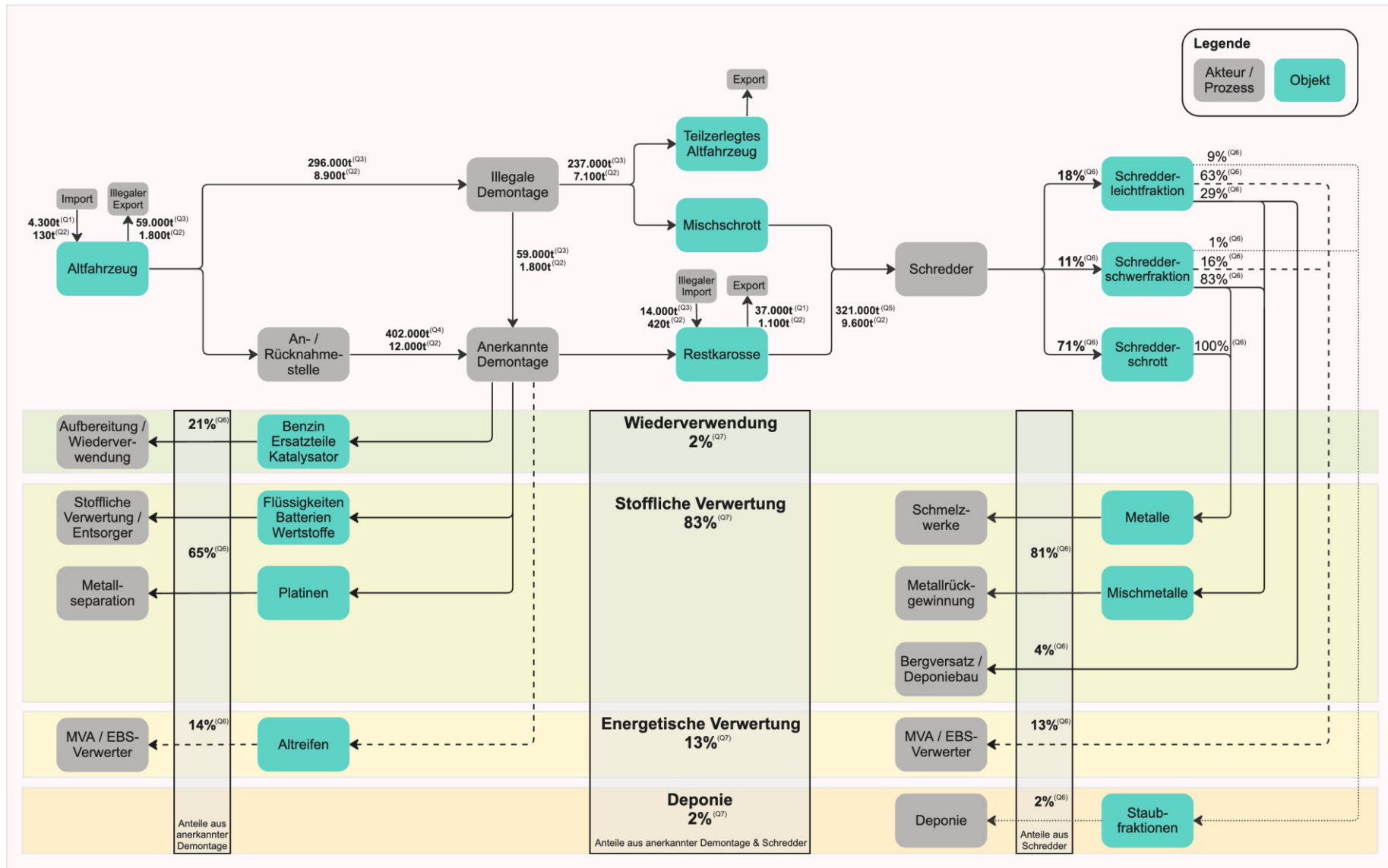


Abbildung 1: Schaubild des aktuellen Verwertungsprozesses von Altfahrzeugen mit Mengenangaben für Deutschland (oberer Wert) und für das Rheinische Revier (unterer Wert).
Bildquelle: Eigene Darstellung.

- (Q1) Werte für das Jahr 2020 laut UBA & BMUV (2022) mit einem Durchschnittsgewicht für Fahrzeuge von 1,124 t und einem Durchschnittsgewicht für Restkarossen von 0,879 t.
- (Q2) Berechnung der endgültig außer Betrieb gesetzten Fahrzeuge des Rheinische Reviers aus der Anzahl der außer Betrieb gesetzten Fahrzeuge des Jahres 2020 laut KBA (2022) mit Hilfe des deutschen Korrekturfaktors und der deutschen Stilllegungsquote desselben Jahres nach UBA & BMUV (2022). Alle weiteren Zahlen sind anteilig von den Deutschlandzahlen für das Rheinische Revier berechnet.
- (Q3) Berechnung der Werte für das Jahr 2020 als entsprechende Anteile aus den Zahlen der illegalen Demontage laut Zimmermann et al. (2022) im Vergleich zur Anzahl an Altfahrzeugen bzw. Restkarossen nach UBA & BMUV (2020) und UBA & BMUV (2022).
- (Q4) Berechnung aus Anzahl an Altfahrzeugen in anerkannter Demontage nach UBA & BMUV (2022) abzüglich der Anzahl an illegal verwerteten Altfahrzeugen in der anerkannten Demontage (Berechnung beschrieben in (Q3)) basierend auf Zimmermann et al. (2022).
- (Q5) Berechnung aus Anzahl an Restkarossen als Input in die Schredderanlagen aus dem Inland laut UBA & BMUV (2022) zuzüglich der Anzahl an illegal importierten Restkarossen laut Zimmermann et al. (2022).
- (Q6) Abgeleitete Werte aus Sander et al. (2020).
- (Q7) Berechnung des Gesamtanteils aus Anteilen der anerkannten Demontage und des Schredders laut Sander et al. (2020) bei einem durchschnittlich demontierten Gewichtsanteil von 10 %.

Seit 2015 müssen gemäß der deutschen Altfahrzeug-Verordnung, welche auf der europäischen Altfahrzeugrichtlinie 2000/53/EG beruht, 95 Gewichtsprozent bezogen auf das Leergewicht aller Altfahrzeuge wiederverwendet oder verwertet² werden, insgesamt 85 Gewichtsprozent müssen wiederverwendet oder stofflich verwertet werden (§ 5 Absatz 1 Satz 1 AltfahrzeugV). Die Werte aus Abbildung 1 von 98 % Wiederverwendung und Verwertung bzw. 85 % Wiederverwendung und stoffliche Verwertung ergeben sich aus dem Bericht des Umweltbundesamtes für das Jahr 2016 (Sander et al., 2020). Die geforderten Quoten wurden somit in diesem Jahr in den betrachteten Demontage- und Schredderbetrieben eingehalten, wobei die Mengen der illegalen Demontage jedoch nicht mit einbezogen sind. Im Jahr 2020 lagen die deutschen Demontage- und Schredderbetriebe laut Umweltbundesamt jedoch mit einer Wiederverwendungs- und Verwertungsquote von 94 % wie auch im Vorjahr unter der geforderten Quote (UBA, 2023).

2.2 Prozess der Nachweisführung

Letzthalter sind gemäß der Altfahrzeug-Verordnung dazu verpflichtet, Altfahrzeuge nur an anerkannte Annahme- bzw. Rücknahmestellen bzw. direkt bei einem anerkannten Demontagebetrieb abzugeben (§ 4 Absatz 1 AltfahrzeugV). Die Annahme-/Rücknahmestellen wiederum sind zur Weitergabe an einen anerkannten Demontagebetrieb verpflichtet. Diese müssen einen vierteiligen Verwertungsnachweis ausstellen. Die jeweiligen Kopien sind an folgende Adressaten gerichtet (Anlage 8 (zu § 15) Fahrzeug-Zulassungsverordnung):

1. "Weiß" an Annahme-/Rücknahmestelle
2. "Rosa" für den Letzthalter
3. "Altgold" verbleibt bei Demontagebetrieb
4. "Blau" für den Schredderbetrieb

Bei der Anlieferung an den Demontagebetrieb kommt es teilweise zu dem Problem, dass bereits illegal vor-demontierte Altfahrzeuge abgegeben werden. Bei der Überführung der Restkarosse vom Demontagebetrieb an den Schredder werden zudem teilweise Restkarossen Schrotthändlern überlassen, die als Akteure nicht im Gesetz vorgesehen sind. Ein solcher Zwischenhandel ist nur dann unschädlich, wenn die Restkarosse unbehandelt und zusammen mit der blauen Kopie des Verwertungsnachweises an einen anerkannten Schredderbetrieb weitergegeben wird. Demontagebetriebe beklagen jedoch, dass Schrotthändler die Annahme des Verwertungsnachweises häufig verweigern. Dabei begehen die

² Stoffliche oder energetische Verwertung

Demontagebetriebe ohne eine entsprechende vertragliche Vereinbarung eine Ordnungswidrigkeit. Durch diese unkorrekte Handhabung des Verwertungsnachweises gelingt es Schrotthändlern auch, Teile aus illegaler Demontage als Mischschrott an Schredderbetriebe zu verkaufen und zurück in den legalen Wertstoffkreislauf einzuschleusen (Kaerger & Steger, 2023).

Neben der Altfahrzeug-Verordnung wird die Außerbetriebsetzung von Fahrzeugen auch in der Fahrzeugzulassungsverordnung (FZV) geregelt. Die Durchsetzung des Zulassungsrechts und damit die Nachhaltung des Verwertungsnachweises ist Aufgabe der Kommunen. In den jeweiligen Bundesländern obliegt die Zuständigkeit den Behörden, die mit Kfz-Zulassungsangelegenheiten betraut sind, also überwiegend den Zulassungsbehörden. Jedoch führt das geltende Zulassungsrecht zu Problemen bei der Verbleibserfassung. (Sander et al., 2017)

Zwar ist der Letzthalter grundsätzlich dazu verpflichtet ein Altfahrzeug einer anerkannten Annahmestelle, Rücknahmestelle oder einem Demontagebetrieb zuzuführen. Wenn jedoch keine Entledigung des Fahrzeugs gemäß Altfahrzeugverordnung erfolgt, kann das Fahrzeug nach Außerbetriebsetzung anderweitig genutzt oder ins Ausland exportiert werden, ohne klare Vorschriften zur Erfassung des Verbleibs. Das Kraftfahrzeugzulassungsrecht enthält lediglich die Anforderung, dass das Fahrzeug nicht als Abfall entsorgt werden darf (§ 15 Absatz 5 FZV). Der Eigentümer kann das Fahrzeug ausschachten und die Restkarosse veräußern, ohne den Eigentumswechsel bei der Kfz-Zulassungsstelle anzuzeigen. Es besteht außerdem keine Pflicht, nachträglich einen Verwertungsnachweis für ein außer Betrieb gesetztes Fahrzeug vorzulegen (Sander et al., 2017).

Zusammenfassend ergeben sich Probleme im Zusammenhang mit der richtigen Handhabung des Verwertungsnachweises, fehlender Verantwortlichkeit bei nicht angezeigtem Eigentumswechsel und der mangelnden Verbleibserfassung.

3 Relevanz im Rheinischen Revier

Nordrhein-Westfalen hat sich als das Bundesland der Grundstoffindustrien etabliert, die eine bedeutende Rolle bei der Herstellung energieintensiver Materialien für den Fahrzeugbau spielen. Hierzu gehört insbesondere die Produktion von Stahl, Aluminium, Glas und Kunststoffen. Gleichzeitig sind diese Industrien stark von einer ausreichenden Versorgung mit Rezyklat abhängig, um ihre Produktion von Sekundärmaterialien aufrechtzuerhalten. Angesichts der zukünftig weiter steigenden Bedeutung der Sekundärproduktion wird der Bedarf an geeignetem Rezyklat zunehmen. Von den 400.000 Altfahrzeugen, die jährlich in Deutschland das Stadium der Verwertung erreichen, entfallen rund 12.000 Stück auf das Rheinische Revier. Hierin enthalten sind etwa 9.000 t Sekundärmetalle und 1.500 t Sekundärkunststoffe, hinzu kommen Textilien, Glas und seltene Edelmetalle. Die für ein regionales Recycling durch Export und illegale Verwertung verlorenen Altfahrzeuge sind hier noch nicht berücksichtigt. Vor diesem Hintergrund könnte das von Ballungsgebieten umgebene Rheinische Revier mit einer hohen Dichte an Altfahrzeugen in der Region einen noch stärkeren Beitrag zur Kreislaufschließung leisten.

Wie Abbildung 2 zeigt, lässt sich bereits heute im Rheinischen Revier eine vielfältige Akteurslandschaft entlang der Wertschöpfungskette von Fahrzeugen identifizieren. Zu den grundstoffindustriellen Herstellern im Rheinischen Revier zählen insbesondere die Aluminiumwerke von Speira und Alunorf. Den hohen Energiekosten geschuldet haben Erstgenannte bereits angekündigt, die Primärproduktion von Aluminium bis zum Ende des Jahres 2023 einzustellen und parallel in den weiteren Aufbau von Recyclingkapazitäten zu investieren. Hierzu gehört auch die Übernahme des Recycling-Unternehmens Real

Alloy mit Hauptsitz in Grevenbroich. Das von Speira und Novelis gegründete Joint Venture Alunorf betreibt in Neuss zudem das größte Aluminiumschmelz- und Walzwerk der Welt. Die genannten Betriebe befinden sich in unmittelbarer Nähe zu einer Vielzahl von weiteren Metallverarbeitern und Kunststoffherstellern, die nicht zuletzt Materialien für den Fahrzeugbau bereitstellen. Außerdem sind in der Region zahlreiche Zulieferbetriebe ansässig, die unter anderem Innenraumkomponenten, Autoglas, Fahrzeugtextilien, Antriebsstränge und Motorenblöcke für die Fahrzeugproduktion und -instandhaltung bereitstellen. Diese sind typischerweise sowohl Teil regionaler als auch globaler Lieferketten. Auch wenn die eigentliche Produktion von Fahrzeugen vor allem in Baden-Württemberg und Bayern angesiedelt ist, gibt es auch im Rheinischen Revier mehrere Unternehmen, die (Elektro-) Fahrzeuge herstellen. Dazu gehören die Unternehmen e.GO und B-ON, welche elektrische Nutzfahrzeuge und Streetscooter produzieren. In Köln und somit am Rande des Rheinischen Reviers betreibt Ford zudem ein Automobilwerk mit vollständigem Fertigungsprozess. Zur Verarbeitung am Ende der Nutzungsdauer finden sich im Rheinischen Revier zudem zahlreiche Demontage- und Verwertungsbetriebe. Diese stellen sowohl die Ausgangsbasis für eine Wiederverwendung von Fahrzeugkomponenten, die Logistik und den (Groß-)Handel mit gebrauchten Teilen als auch die stoffliche Verwertung von Materialien wie Metallen und Kunststoffen sowie Einzelbestandteilen wie Akkus von E-Autos dar. Aufseiten der Fahrzeugverwertung sind mindestens zwölf Betriebe im Rheinischen Revier verortet, die jeweils eigene Schwerpunkte hinsichtlich der Materialverarbeitung aufweisen. Am häufigsten werden verschiedene Metalle für die im weiteren Umfeld ansässigen Stahlwerke und Gießereien aufbereitet, die hochqualitativen Schrott für ihre Sekundärproduktion benötigen. Ein Verwerter im Rheinischen Revier hat sich auch auf das Recycling von Energiespeicherlösungen wie Blei- und Lithiumbatterien spezialisiert, welche in der Primärbleihütte Binsfeldhammer als Sekundärrohstoffe einfließen. Es befindet sich kein Schredderbetrieb in der Region, der nächste ist in Duisburg ansässig.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass im Rheinischen Revier eine vielfältige Akteurslandschaft entlang der Wertschöpfungskette von Fahrzeugen angesiedelt ist – auch wenn weder die Region noch Nordrhein-Westfalen insgesamt eine Fokussierung auf die eigentliche Produktion von Fahrzeugen legt. Aus einer systemischen Perspektive ergeben sich insbesondere mit der überregional ansässigen Grundstoffindustrie sowie den zahlreichen Grundstoffverarbeitenden Betrieben Synergiepotentiale zur Stärkung der Kreislaufwirtschaft. Als Strukturwandelregion inmitten des größten deutschen Ballungsgebiets bieten sich mit entsprechender politischer Flankierung durchaus Chancen, im Umfeld einer intensivierte Fahrzeugverwertung wirtschaftlich zu partizipieren und gleichzeitig die heimische Versorgung mit Sekundärrohstoffen und damit die Industrietransformation zu flankieren.

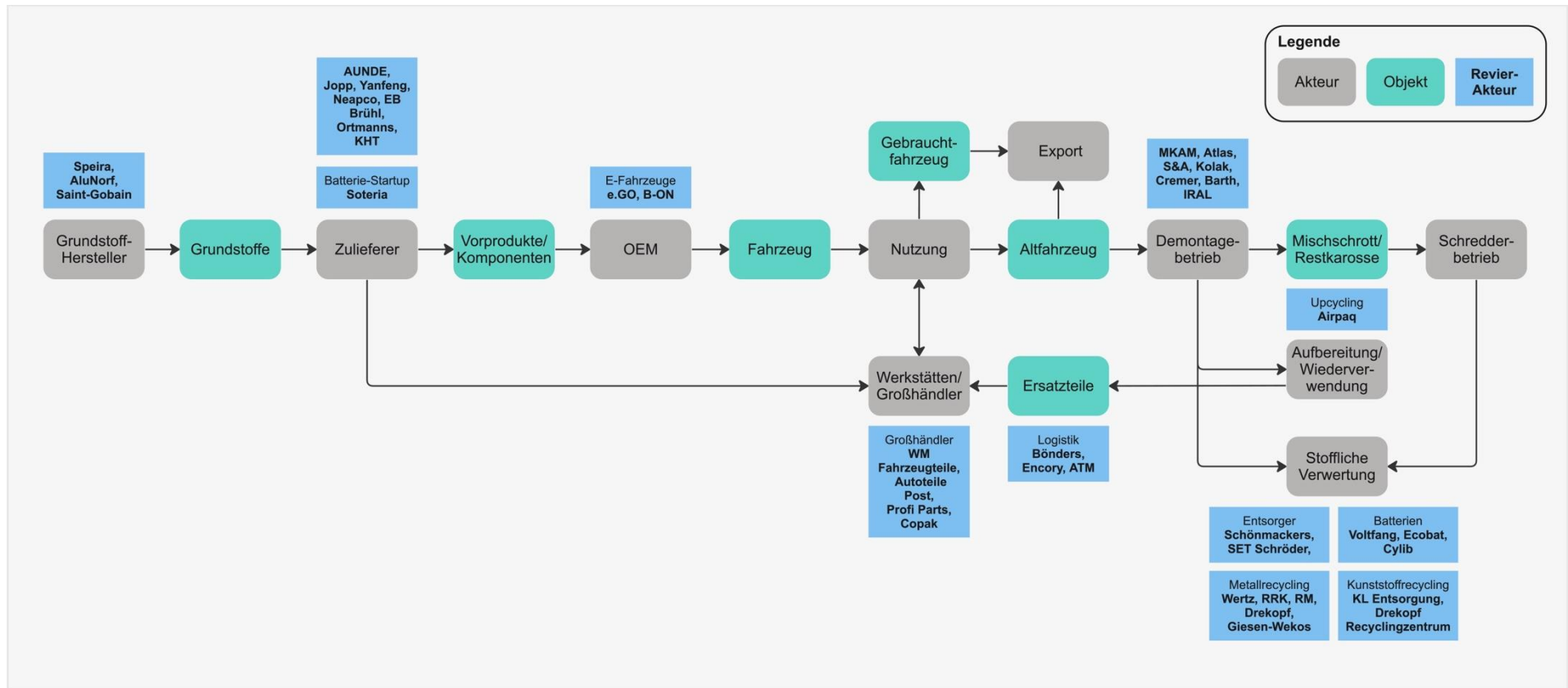


Abbildung 2: Akteurslandschaft im Rheinischen Revier entlang der Wertschöpfungskette von Fahrzeugen.
 Hinweis: Es wird kein Anspruch auf Vollständigkeit oder Priorisierung bei der Aufzählung der Akteure erhoben.
 Bildquelle: Eigene Darstellung.

4 Herausforderungen für eine intensiviertere Fahrzeugverwertung

Die Verwertung von Altfahrzeugen ist eine komplexe Angelegenheit, deren Intensivierung im Sinne einer Kreislaufwirtschaft mit zahlreichen Herausforderungen verbunden ist.

Zunächst ist festzuhalten, dass hierzulande etwa **78 % der Altfahrzeuge** aus der Nutzungsphase heraus **exportiert werden** und somit für eine Verwertung in Deutschland nicht mehr zur Verfügung stehen (UBA & BMUV, 2022). Zwar ist es aus Sicht einer Kreislaufwirtschaft zunächst begrüßenswert, wenn Fahrzeuge weitergenutzt werden, denn dies stellt eine Verlängerung der Produktlebenszeit dar und schont Ressourcen im Vergleich zum Neubau. Allerdings ist fraglich, was mit den ausgedienten Fahrzeugen im Ausland passiert – hier ist unbedingt zu vermeiden, dass als Gebrauchtwagen getarnte Altfahrzeuge in umweltbelastenden oder illegalen Deponien verwertet werden. Fast 90 % dieser Exporte aus Deutschland gehen in andere EU-Staaten (UBA & BMUV, 2022), weshalb EU-weite Strategien und Regelungen zur Wiederverwertung von Altfahrzeugen von zentraler Bedeutung sind. Allerdings geht auch ein bedeutender Teil der zunächst EU-intern gehandelten Fahrzeuge letzten Endes doch in den außereuropäischen Export. So wurden von den 11,5 Millionen Gebrauchtfahrzeugen, die zwischen 2015 und 2020 von EU-Ländern gehandelt wurden, rund fünf Millionen in Länder außerhalb der EU exportiert – ein Anteil von 42 % (UNEP, 2021). Es kann davon ausgegangen werden, dass sich darunter auch ursprünglich aus Deutschland stammende Fahrzeuge befinden, die aber durch den Zwischenhandel innerhalb der EU nicht als außereuropäische Exporte in der deutschen Außenhandelsstatistik erfasst sind. Grundsätzlich gehen mit diesen Exporten signifikante Mengen an Sekundärrohstoffen für eine Verwertung in Deutschland verloren, was den Bedarf nach energieintensiver Primärproduktion erhöht und gerade bei kritischen Rohstoffen zur Abhängigkeit von globalen Lieferketten beiträgt.

Ein weiteres Problem besteht darin, dass jährlich rund **150.000 Gebrauch- und Altfahrzeuge** und damit etwa 5 % aller endgültig stillgelegten Fahrzeuge in Deutschland statistisch überhaupt **nicht erfasst** sind, d.h. deren offizieller Verbleib ist unbekannt (UBA & BMUV, 2022). Hier besteht dringender Handlungsbedarf, um sicherzustellen, dass auch diese Fahrzeuge einer ordnungsgemäßen Verwertung zugeführt werden, einschließlich der fachgerechten Entsorgung von Betriebsmitteln. Die statistische Lücke des unbekanntem Fahrzeugverbleibs kann in Verbindung gebracht werden mit einer nicht anerkannten Demontage von Altfahrzeugen in illegalen Verwertungsbetrieben. Diese haben gegenüber den anerkannten Demontagebetrieben ökonomische Vorteile, da sie typischerweise geringere Behandlungs-, Verwaltungs- und weitere Kosten aufweisen (Zimmermann et al., 2022). Für die Behörden sind diese häufig schwer zu identifizieren und man kann davon ausgehen, dass insbesondere ökologische Vorschriften in diesen Betrieben häufig nicht eingehalten werden. Illegale Demontage wird dadurch ermöglicht, dass Behörden keine Verwertungsnachweise bei der Abmeldung von Fahrzeugen einfordern (siehe zum Prozess der Nachweisführung auch Kapitel 2.2). Eine Einbindung dieser illegalen Betriebe in Kreislaufsysteme gestaltet sich ohne rechtliche Anpassung als äußerst schwierig und stellt ein Hindernis für das Recycling von Altfahrzeugen dar.

Eine zentrale Herausforderung für eine intensive Verwertung von Altfahrzeugen ist die oft **fehlende Wirtschaftlichkeit**. Demontage ist eine manuelle und lohnintensive Arbeit, welche meist in Kleinunternehmen mit geringem Durchsatz von nur ein bis zwei Fahrzeugen pro Woche bewerkstelligt wird. Nur wenige große Betriebe verwerten mehrere tausend Fahrzeuge im Jahr (UBA & BMUV, 2022). Die Erlöse für Materialien wie Metalle, Kunststoffe und Glas sowie Rohstoffe wie seltene Erden bewegen sich häufig unterhalb der Demontageskosten. Gerade kritische Rohstoffe sind in einer Vielzahl an Komponenten wie Hilfsmotoren, Sensoren und Steuerungstechnik verbaut, die innerhalb des Fahrzeugs breit verteilt

sind. Deren Rückgewinnung ist mit einem hohen Aufwand verbunden und erzielt unter den heutigen Rahmenbedingungen kaum Rentabilität (Groke et al., 2017). Dieser Umstand wird verstärkt durch begrenzte Inputmengen aufgrund der hohen Exportzahlen sowie der illegalen Demontage, welche letztlich vor allem ein Hemmnis für die Bildung von größeren Betrieben mit entsprechenden Skaleneffekten darstellen. Dies führt auch dazu, dass trotz der seit 2018 geltenden Verpflichtung Teile aus Glas, Kunststoffen und Motoren größtenteils nicht demontiert werden (Sander et al., 2020). Dieses Vorgehen ist laut Altfahrzeug-Verordnung aber nur dann zulässig, wenn diese Materialien im Schredder getrennt und recycelt werden können (Anhang 3.2.3.3 AltfahrzeugV), was jedoch noch nicht gängige Praxis ist.

Ein weiteres Problem besteht darin, dass die **Abnehmerzahlen** für demontierte Teile seit Jahren **rückläufig** sind (Sander et al., 2020). Dies ist vermutlich auf die steigende Komplexität der Fahrzeuge und die zunehmend schlechtere Reparierbarkeit in Eigenregie oder kleineren Kfz-Werkstätten zurückzuführen. Mit Blick auf die angestrebte Marktdurchdringung der Elektromobilität ist davon auszugehen, dass sich dieser Trend verstärken wird. Zudem werden aufbereitete Teile nicht für Neufahrzeuge verwendet, wodurch die OEMs nicht in den Verwertungsteil der Fahrzeug-Wertschöpfungskette eingebunden sind, und keinen Anreiz haben, hier zu partizipieren. Eine Ausnahme bildet das Aftersales-Geschäft, in dessen Rahmen OEMs Ersatzteile an Werkstätten liefern sowie Vertragswerkstätten aufbereitete Ersatzteile aus Fahrzeugen in der Nutzungsphase zum Wiederverkauf anbieten. Insgesamt gesehen gibt es aber immer weniger Abnehmer für die demontierten Teile, was die Wirtschaftlichkeit des Prozesses weiter beeinträchtigt.

Nicht zuletzt setzen die **Schredderbetriebe** finanzielle Anreize für die Übergabe einer vollständigen Restkarosse (Sander et al., 2020). Dies hat zur Folge, dass Altfahrzeuge oft nicht umfangreich demontiert werden, wodurch viele wertvolle Materialien gar nicht erst rückgewonnen werden. Laut Kohlmeyer et al. (2015) stammen etwa 120.000 bis 150.000 Tonnen Schredderleichtfraktion aus der Behandlung von Altfahrzeugen. Hierin enthalten sind jedoch nach Duwe & Goldmann (2012) bedeutende Mengen an verwertbaren Materialien, wie Gummi (23 %), Kunststoffe (28 %), Glas (12 %) und Metalle (11 %). Derzeit werden energieintensive Materialien wie Kunststoffe und Glas aus Altfahrzeugen kaum recycelt, stattdessen gehen diese als Teil der Schredderleichtfraktion überwiegend in energetische Verwertungspfade – als Ersatzbrennstoff in Zementwerken oder in die thermische Abfallverwertung. Stofflich genutzt wird die Schredderleichtfraktion als Bergversatz im Deponiebau. Auch die Metallfraktion wird nicht ideal wiederverwendet. Denn durch die Mischung verschiedener Stahl-Legierungen können diese nach dem Recycling nicht mehr kaltgewalzt werden und eignet sich daher beispielsweise nicht mehr zur Herstellung von neuen Autotüren. Stattdessen wird dieser Stahlschrott bei der Herstellung von Baustahl genutzt und somit downgecycelt. Aluminiumlegierungen sind wiederum nicht mehr als Knetlegierungen verwendbar, sondern werden als Gusslegierung beim Gießen von Motorblöcken genutzt. Und auch bei den Edel- und Sondermetallen liegen grundsätzlich sehr große Potentiale zur Ressourceneinsparung, denn die in Fahrzeugen verbauten Mengen sind insbesondere bei Neodym, Silber, Platinmetallen, Gold und Tantal erheblich. Bei Elektroautos kommen signifikante Mengen an kritischen Rohstoffen wie Lithium, Kobalt, Nickel und Graphit für die Batterien hinzu. Zurzeit werden jedoch bei der Altfahrzeugverwertung in Demontage- und Schredderbetrieben die Edel- und Sondermetalle gewöhnlich nicht gezielt zurückgewonnen. Zwar gibt es bereits sogenannte Postschreddertechnologien, welche Restmetallgehalte von unter ein Prozent ermöglichen, diese kommen aufgrund von wirtschaftlichen Aspekten aber in der Regel nicht zum Einsatz (Kohlmeyer et al., 2015). Bestandsanlagen hingegen sind rein technisch nicht auf die Rückgewinnung von geringkonzentrierten Materialien ausgelegt.

Auch der aktuelle **regulatorische Rahmen** setzt nur bedingt Anreize für eine höherwertige Verwertung. Zwar sind die Hersteller zur flächendeckenden Rücknahme von Altfahrzeugen, zur Übernahme der Entsorgungskosten und zur Einhaltung von Umweltstandards bei diesem Prozess verpflichtet. Auch gelten mit der europäischen Altfahrzeug-Richtlinie bereits seit 2015 hohe gesetzliche Quoten für die Verwertung (95 Gew.-%) und das Recycling (85 Gew.-%) von Altfahrzeugen (Artikel 7 Absatz 2 Richtlinie 2000/53/EG). Da diese aber auf dem Gesamtgewicht beruhen und separate Zielvorgaben für die gezielte Wiederverwendung einzelner Materialien wie kritischen Rohstoffen oder Kunststoffen fehlen, haben sie bislang nicht zu einer erhöhten Recyclingqualität geführt. Die EU-Kommission verweist darauf, dass die existierenden Bestimmungen zur Verwertung kaum Auswirkungen auf die Konstruktion neuer Fahrzeuge haben, und bemängelt den Informationsaustausch zwischen Herstellern und Verwertern. Da es bei Fahrzeugen bislang keine ausdrückliche erweiterte Herstellerverantwortung gibt – wie es für andere Abfallströme z.B. bei Verpackungen üblich ist – bleibt die Rolle der Hersteller bei der Finanzierung und Ausgestaltung einer Kreislaufwirtschaft ungeklärt (Europäische Kommission, 2021).

5 Exkurs: Verwertung von E-Autos

Bisher konzentriert sich die Verwertung von Altautos vorwiegend auf solche mit Verbrennungsmotoren, welche mit 93 % den größten Anteil am PKW-Bestand ausmachen. Knapp 5 % hatten einen Hybrid-Motor (HEV) und gut 2 % einen batterieelektrischen Antrieb (BEV) (KBA, o. J.-b). Die Zahl der Neuzulassungen von Verbrennerfahrzeugen sank jedoch in den letzten Jahren drastisch. Allein im Jahr 2022 verzeichnete das Kraftfahrtbundesamt (KBA) einen Rückgang der Neuzulassungen von Benzin- und Dieselfahrzeugen um rund 20 %, während bei den neuen Antriebsarten ein Zuwachs von 11,3 % (HEV) bzw. 32,2 % (BEV) beobachtet werden konnte (KBA, o. J.-a). Mit diesem Trend gehen zahlreiche Auswirkungen auf die Altfahrzeugverwertung einher.

Veränderte Materialzusammensetzung

Die Umstellung auf Elektromobilität wird sich vorwiegend durch einen höheren Anteil wertvoller und kritischer Materialien bemerkbar machen, die für Elektromotoren und Batterien benötigt werden. So könnte sich in der EU bis 2030 die Nachfrage nach Lithium, Kobalt und Graphit um den Faktor 25 und für seltene Erden um den Faktor 10 im Vergleich zu 2015 erhöhen (European Commission, 2018). Eine Schätzung von Glöser-Chahoud et al. (2021) geht davon aus, dass der Anteil an Elektroautos bei den Neuzulassungen in Deutschland bei 35-55 % im Jahr 2030 sowie 60-80 % im Jahr 2040 in Deutschland liegen wird. Unter der Annahme einer durchschnittlichen Nutzungsdauer einer BEV-Batterie von 10 bis 15 Jahren werden im Jahr 2040 theoretisch etwa 0,7 bis 1,5 Millionen Altbatterien jährlich aus Elektroautos in Deutschland anfallen. Dabei werden heutzutage nahezu ausschließlich Lithium-Ionen-Batterien (LIB) in BEV verbaut (Maisel et al., 2023).

Laut Schmaltz (2023) werden momentan ungefähr 50 Kilotonnen (kt) LIB pro Jahr in Europa recycelt. Die Menge der anfallenden LI-Alt-batterien könnte, je nach Szenario, bis 2030 auf 200-800 kt und bis 2040 auf 1100-3300 kt steigen. Entsprechende Recyclingkapazitäten müssen aufgebaut werden. Während bisher Altbatterien aus Kleingeräten dominierten, dürfte mittelfristig der größte Anteil des zu recycelnden Batteriematerials von Ausschüssen der Batterieproduktion stammen. Langfristig, ab etwa 2035, werden Altbatterien aus PKW den größten Anteil stellen. Dabei wird mit einer kumulierten restlichen Batteriekapazität von jährlich 50 bis 70 GWh gerechnet (Schmaltz, 2023). Der Restmetallwert eines typischen Fahrzeugbatteriepacks mit 70 kWh liegt bei etwa 1.300 € (Neef et al., 2021). Unter der

Annahme, dass die Rohstoffpreise bis 2035 in etwa konstant bleiben und sich die Materialzusammensetzung nicht grundlegend ändert, birgt das Batterierecycling in der EU somit theoretisch ein wirtschaftliches Potenzial von 0,9 bis 1,3 Milliarden Euro. Neben der stofflichen Verwertung bestehen außerdem Möglichkeiten der Zweitnutzung für Altautobatterien (siehe unten: Second-Life-Konzepte).

Recyclingverfahren und Second-Life-Konzepte

Es gibt verschiedene Verfahren zum Recycling von gebrauchten LIB, die jeweils eine Demontage voraussetzen und sich in ihrer Recyclingeffizienz unterscheiden. Die beiden relevantesten Recyclingverfahren sind zum einen pyrometallurgische Verfahren, welche sehr robust sind und für viele verschiedene Zellmaterialien sowie kleinere Batterien geeignet sind, und zum anderen eine Kombination aus mechanischen und hydrometallurgischen Prozessen, dessen Einsatz aufgrund hoher Recyclingeffizienzen (insbesondere hinsichtlich des Lithiums) vor allem für das gezielte Recycling größerer Traktionsbatterien wie bei BEV in Betracht gezogen wird (Glöser-Chahoud et al., 2021; Neef et al., 2021). Die größten Kosten einer Autobatterie-Recyclinganlage sind zurzeit die Arbeitskosten (ca. 25 %) aufgrund der manuellen Demontage, die Beschaffung der Altbatterien und Transportkosten (jeweils ca. 30 %) (Sattar et al., 2020). Diese Kosten müssten erheblich reduziert werden, um ein wirtschaftlich rentables Recycling zu ermöglichen. Neben einem erhöhten Mengendurchsatz könnte die Wirtschaftlichkeit auch über eine automatisierte Demontage verbessert werden (Glöser-Chahoud et al., 2021).

Darüber hinaus gehören auch Second-Life-Konzepte zu den möglichen Verwertungswegen von Altbatterien aus BEV in Deutschland. Dabei kann zwischen der Aufbereitung mit Wiedereinsatz im Automobilbereich und der Umwidmung der Batterie, bspw. als stationärer Speicher, unterschieden werden. Eine Batterie mit einer Restkapazität von unter 70-80 % gilt für den Einsatz in einem Auto als ungeeignet. Dennoch können in einer solchen Batterie noch Zell-Module mit einer höheren und damit ausreichenden Leistung enthalten sein. Gebrauchte Batterien können, je nach Tiefe der Aufbereitung, durch sog. Refurbishment, Reconditioning oder Remanufacturing für den erneuten Einsatz in Gebrauchtfahrzeugen vorbereitet werden. Die Umwidmung einer Batterie, sog. Repurposing, ist mit einem geringeren Demontageaufwand verbunden (Glöser-Chahoud et al., 2021). Eine stationäre Zweitnutzung eignet sich aufgrund des zu erwartenden erhöhten Wartungsaufwand weniger für kleinere Heimspeichersysteme, sondern eher für industrielle und netzdienliche Speicher (Neef et al., 2021). Im Sinne einer funktionierenden Kreislaufwirtschaft ist ein möglichst langer Einsatz innerhalb des gleichen Sektors einer Umwidmung jedoch vorzuziehen.

Regulatorik

Während die Recyclingquoten von Altfahrzeugen in der EU-Richtlinie 2000/53/EG geregelt werden, gelten andere Vorgaben für Altbatterien. Anhang III Teil B der EU-Richtlinie 2006/66/EG schreibt gesonderte Recyclingeffizienzen für Batterien vor: 65 % für Blei-Säure-Batterien, 75 % für Nickel-Kadmium-Batterien und 50 % für sonstige Altbatterien, zu denen auch Lithium- und Lithium-Ionen-Batterien zählen. Die geforderten Recyclingeffizienzen konnten in Deutschland 2021 eingehalten werden (UBA, 2022). Die Recyclingeffizienz ergibt sich aus dem Quotienten der Masse der Inputfraktionen und der Outputfraktionen aus dem jeweiligen Recyclingverfahren. Bei den Outputfraktionen darf es sich nicht mehr um Abfall handeln oder sie müssen ihrem ursprünglichem oder einem anderen Zweck zugeführt werden, unter Ausschluss einer energetischen Verwertung (Artikel 2 Satz 5 EU-Verordnung/493/2012).

Im Rahmen des europäischen Circular Economy Action Plan wurde eine Überarbeitung der EU-Regeln zu Batterien und Altautos angekündigt (European Commission, 2020). Laut der neuen EU-Verordnung über Batterien, die im Juni 2023 vom EU-Parlament angenommen wurde, sollen schrittweise neue

Vorschriften für Produktion, Recycling und Wiederverwendung von Batterien eingeführt werden. Dazu zählen Anforderungen in Bezug auf den Rezyklat-Anteil in der Neuproduktion sowie materialspezifische Recyclingquoten und batteriespezifische Sammelquoten (European Parliament, 2023). Ein umfassender Rechtsrahmen für eine erweiterte Herstellerverantwortung soll voraussichtlich ab 2026 gelten, inklusive einer Rücknahme- und Recyclingpflicht für sämtliche Batterien. Dabei sollen höhere Verwertungsquoten erreicht werden, insbesondere bei wertvollen Materialien wie Kupfer, Kobalt, Lithium, Nickel und Blei. Die Zielvorgaben für die stoffliche Verwertung von Lithium liegen bei 50 % bis 2027 und bei 80 % bis 2031 (European Commission, 2022). Die batterie- und materialspezifischen Zielvorgaben sind in Tabelle 1 und Tabelle 2 dargestellt.

Darüber hinaus sollen gestaffelt steigende Sammelquoten für Batterien gelten. Bislang gilt bereits EU-weit eine Sammelquote von 45 % auf alle Arten von Batterien (Artikel 10 Absatz 2 EU-Richtlinie 2006/66/EG). Die Neuregelung sieht zwar steigende Sammelquoten für Batterien aus leichten Verkehrsmitteln (51 % bis Ende 2028 und 61 % bis Ende 2031) vor, für Batterien aus Elektroautos ist in der neuen Verordnung jedoch keine Erhöhung der Sammelquote vorgesehen (Europäisches Parlament, 2023). Vor dem Hintergrund, dass diese Art von Batterien in absehbarer Zeit den wahrscheinlich größten Stoffstrom der zu recycelnden Batterien ausmachen werden, könnte sich diese Ausnahme langfristig als Schwachstelle der neuen EU-Regeln herausstellen.

Tabelle 1: Batteriespezifische Mindest-Recycling-Effizienzen basierend auf Durchschnittsgewicht, gem. EU-Kommission 2020.

Jahr	Bleisäure-Batterien	Lithium-Batterien	Andere
Bis 2025	75 %	65 %	50 %
Bis 2030	80 %	70 %	

Tabelle 2: Materialspezifische Mindest-Recycling-Quoten basierend auf Durchschnittsgewicht, gem. EU-Kommission 2020.

Jahr	Kobalt	Kupfer	Blei	Lithium	Nickel
Bis 2026	90 %	90 %	90 %	35 %	90 %
Bis 2030	95 %	95 %	95 %	70 %	95 %

6 Lösungsansätze für eine effizientere Kreislaufwirtschaft

Im folgenden Kapitel werden verschiedene Lösungsansätze für eine effizientere Kreislaufwirtschaft in der Altfahrzeugverwertung mit ihren Pros und Contras diskutiert. Dabei wird für jeden Lösungsansatz auch die Relevanz für das Rheinische Revier unter Berücksichtigung der spezifischen Strukturen der Region aufgearbeitet. Das Kapitel gibt darüber hinaus einen Überblick und bewertet das Potential der neuen europäischen Altfahrzeugrichtlinie für die Bewältigung der in Kapitel 4 genannten Herausforderungen.

6.1 Vertiefung der aktuellen Demontagestruktur

Ein vielversprechender Lösungsansatz, um die Kreislaufwirtschaft im Automobilsektor zu stärken, liegt in der tiefergehenden Demontage von Altfahrzeugen noch vor dem Schredderprozess. Damit dies effizient umgesetzt werden kann, ist die Einführung eines Digital Product Passports (DPP) in Verbindung mit einer digitalen Plattform zur Vermarktung von großer Bedeutung. Im DPP werden detaillierte Informationen über die Materialien und Komponenten eines Fahrzeugs gespeichert, welche vom Demontagebetrieb abrufbar sind. Dies ist entscheidend, um eine gezielte Demontage und eine effektive

Weiterverarbeitung der demontierten Komponenten zu ermöglichen. Die digitale Plattform würde dabei durch die Vernetzung verschiedener Akteure eine Vermarktung innerhalb der Wertschöpfungskette erleichtern. Allerdings fordert dieser Lösungsansatz ein grundlegendes Umdenken der bisherigen Prozesse im Automobilssektor - vom Produktdesign durch Zulieferer und Hersteller bis zur Verwertung durch Demontagebetriebe, Aufbereiter und Recyclingunternehmen. Hier sind somit verstärkte Kooperationen über die gesamte Wertschöpfungskette hinweg gefordert, um eine effiziente Demontage und Verwertung von Altfahrzeugen zu gewährleisten.

Pro	Contra
<ul style="list-style-type: none"> • Derzeitige Strukturen bleiben erhalten. • Ermöglicht das Umsetzen verschiedener R-Strategien (Reuse, Remanufacture, Refurbish, Recycling). • Wird durch den Vorschlag der EU-Kommission zur neuen End-of-Life Vehicle Directive unterstützt, in der eine weitergehende Demontage angesprochen und ein Labelling für Komponenten durch die Hersteller vorgesehen ist (siehe auch Kapitel 6.5). • Ermöglicht die Rückgewinnung der – zum Beispiel in Elektronikkomponenten – enthaltenen kritischen Rohstoffe. • Digitale Plattform ermöglicht das Zusammenbringen von großen Materialmengen, derselben Spezifikationen aus verschiedenen Demontagebetrieben, um ein höherwertiges Recycling zu ermöglichen. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aufgrund des hohen manuellen Aufwands und teurer Anlagentechnik ist eine erweiterte Demontage in kleinen Betrieben in der Regel nicht wirtschaftlich. • Die dezentrale Struktur der Demontagebetriebe und die oft kleinen Betriebsgrößen erschweren technologische Innovationen. • Kooperationen über die gesamte Wertschöpfungskette hinweg sind herausfordernd bis hin zu schwer realisierbar, insbesondere wenn Teile der Wertschöpfungskette international bzw. außerhalb Europas angesiedelt sind. • Trotz digitaler Plattform ist das Weiterleiten der demontierten Teile an die geeigneten Abnehmer mit hohem logistischem Aufwand verbunden. • Die Qualität aufbereiteter Teile muss vor der Wiedervermarktung durch OEMs in der Regel von deren Zulieferern zertifiziert werden.

Relevanz für das Rheinische Revier

Durch die Anbindung des Rheinischen Reviers an in der Region ansässige Zuliefererbetriebe und die umgebende Grundstoffindustrie lassen sich viele potenzielle Abnehmer sowohl für demontierte Komponenten als auch für Sekundärrohstoffe finden. Zudem wird die Bedeutung der Demontagebetriebe in der Region durch diesen Ansatz gestärkt.

6.2 Herstellerspezifische Demontagestruktur

Eine weitere Möglichkeit, um das Potential einer Kreislaufwirtschaft auszuschöpfen, besteht darin, dass die Automobilhersteller selbst die Demontage ihrer Fahrzeuge übernehmen. Dieser Ansatz ermöglicht es den Herstellern, direkten Zugang zu Sekundärrohstoffen und -materialien zu erhalten, die bei der Demontage gewonnen werden. Ein Beispiel für die Umsetzung dieses Konzepts zeigt sich bereits bei Renault in Frankreich, wo solche Ansätze praktiziert werden (Renault Group, o. J.).

Pro

- Die Demontage kann so gesteuert werden, dass hochwertige Komponenten und Materialien effizient wiedergewonnen werden.
- Anbindung an Lieferkette der Automobilhersteller ist direkt gegeben.
- Anreiz für ein auf Recyclingfähigkeit ausgerichtetes Produktdesign.
- Potential für Einsatz von Kreislaufstrategien wie Refurbishment (Einsatz von aufbereiteten Teilen in der Produktion).
- Durch den Einsatz von Sekundärrohstoffen und –produkten gestalten OEMs ihre Produktion nachhaltiger, verringern Energie- und Rohstoffpreise und machen sich unabhängiger von globalen Lieferketten.
- OEMs können Kreislaufstrategien werbewirksam für sich reklamieren.
- Weniger komplexe Kooperation über die Wertschöpfungskette hinweg benötigt.

Contra

- Hoher logistischer Aufwand in der Beschaffung von Altfahrzeugen.
- Hohe Investitionskosten der OEMs nötig.
- Know-how für den Verwertungsprozess muss von den OEMs zunächst erworben werden, da sie bisher nicht daran beteiligt waren.
- Konkurrenz zu aktueller Demontagestruktur.
- Keine übergreifende Lösung, die für alle Altfahrzeuge in Deutschland zum Tragen kommen kann.
- Potenzielle Benachteiligung gegenüber OEMs mit Auslandssitz.
- OEMs müssen Anreize für die Rückgabe ihrer Fahrzeuge schaffen (z.B. durch Pfand).
- Materialien und Komponenten gehen in den Besitz der OEMs über und sind nicht mehr für den freien Markt zugänglich (siehe zum Vergleich Ansatz 6.1 und 6.4).
- Restkarossen müssen nach derzeitiger Rechtslage an einen Schredderbetrieb weitergegeben werden (siehe Kapitel 2.2).

Relevanz für das Rheinische Revier

Um Transportkosten so gering wie möglich zu halten, werden Fahrzeughersteller bei der Umsetzung einer solchen Demontagefabrik voraussichtlich die Nähe zu ihrer Produktion suchen. In Deutschland finden sich die großen Produktionsstätten überwiegend in Baden-Württemberg und Bayern und somit nicht in Nähe des Rheinischen Reviers. Ford unterhält einen Produktionsstandort in Köln, der an die Region angrenzt. Weitere Akteure sind e.GO und B-ON, die jedoch aufgrund ihrer Unternehmensgröße eine geringe Rücklaufquote an Altfahrzeugen haben.

6.3 Verbesserte (Post-)Schreddertechnologie

Ein dritter Lösungsansatz besteht in der Implementierung einer verbesserten Schreddertechnologie, wie sie seit diesem Jahr beispielsweise von TSR in Duisburg betrieben wird (TSR Recycling, 2023). Durch eine verbesserte Anlagentechnik wird hier das hochwertige Recyclingprodukt TSR40 gewonnen, welches Primärrohstoff in der Stahlindustrie ersetzt und den Qualitätsanforderungen der Automobilindustrie gerecht wird. Hierbei werden jedoch andere Schredderfraktionen – wie beispielsweise die SLF – nicht betrachtet. Ein hochwertiges Aufbereiten dieser Fraktion erweist sich aufgrund der Mischung verschiedenster Materialien als überaus schwierig. Die Zusammenarbeit mit der Grundstoffindustrie ist bei diesem Ansatz entscheidend, um die Abnahme und Integration der gewonnenen Sekundärrohstoffe zu gewährleisten.

Pro

- Derzeitige Strukturen können erhalten bleiben.
- Ermöglicht höherwertiges Recycling einzelner Stoffströme.

Contra

- Recycling ist die einzige R-Strategie, die gefördert wird, andere für eine effiziente Kreislaufwirtschaft zentrale Strategien wie Reuse und Refurbishment haben hierbei keine Relevanz.
- Technologien für ein hochwertiges Recycling aller Schredderfraktionen sind bislang nicht verfügbar.
- Kritische Rohstoffe werden nicht zurückgewonnen.

Relevanz für das Rheinische Revier

Aufgrund der räumlichen Nähe zu Duisburg, in dem der neue TSR-Schredder in Betrieb genommen wurde und da im Rheinischen Revier selbst kein Schredderbetrieb ansässig ist, ist dieser Ansatz für das Rheinische Revier weniger relevant. Nichtsdestotrotz würde sich durch eine verbesserte Aufbereitung der Schredderfraktionen – wie beispielsweise der Aluminiumfraktion – ein Potential für die im Rheinischen Revier ansässige Aluminiumherstellung ergeben.

6.4 Fahrzeugverwertungsfabrik

Einen weiteren Lösungsansatz zur Stärkung der Kreislaufwirtschaft im Automobilsektor bietet die Errichtung einer Fahrzeugverwertungsfabrik, in der Altfahrzeuge in hoher Stückzahl und weitgehend automatisiert zerlegt und nach Möglichkeit in sortenreine Stoffströme sortiert werden. Diese zentrale Fabrik ermöglicht ein hochwertigeres Recycling, indem Glas, verschiedene Kunststoffsorten und Metallfraktionen – und bei letzterem idealerweise auch verschiedene Legierungen – weitgehend getrennt gehalten werden. Im Gegensatz zu dem Ansatz, dass OEMs die Demontage ihrer eigenen Fahrzeuge übernehmen (vgl. Ansatz 6.2), würde diese zentrale Fabrik herstellerübergreifend Altfahrzeuge verarbeiten und die ausgebauten Komponenten und Materialien dem freien Markt bereitstellen.

Pro

- Idealerweise erhöhte Rückgewinnung von Sekundärmaterial in sortenreinen Stoffströmen.
- Höhere und konstantere Mengen vereinfachen das Finden von Abnehmern und ermöglichen bessere Verwertung/Recycling der demontierten Teile/Materialien.
- Möglichkeit der technologischen Innovation.
- Automatisierung einiger Prozesse sowie höherer Durchsatz fördert Wirtschaftlichkeit der Demontage.
- Zentrale Verwertungsstruktur lässt sich leichter in Wertschöpfungskette integrieren als dezentrale Kleinbetriebe.

Contra

- Aufgrund der insgesamt niedrigen Mengen an Altfahrzeugen, die in Deutschland zur Verwertung anfallen, ist der für die Fabrik nötige Input ggf. nicht verfügbar.
- Die effiziente Sammlung und Anlieferung der Fahrzeuge an die Verwertungsfabrik erfordert eine gut koordinierte Zusammenarbeit mit verschiedenen Partnern, wie Schrotthändlern und Autoverwertungsunternehmen.
- Hoher logistischer Aufwand und Kosten in der Beschaffung der Altfahrzeuge und der entsprechenden Weiterleitung der Outputströme.
- Die Automatisierung der Prozesse erfordert eine hochentwickelte und zuverlässige Technologie, die in der Lage ist, die Vielfalt der verschiedenen Fahrzeugtypen und -modelle zu bewältigen.

- Anbindung an Lieferkette der Automobilhersteller ist nicht garantiert.
- Konkurrenz zu aktueller Demontagestruktur.
- Prozesskosten können ggf. nicht gedeckt werden.
- Restkarossen müssen nach derzeitiger Rechtslage an Schredderbetriebe gegeben werden (siehe Kapitel 2.2).

Relevanz für das Rheinische Revier

Aufgrund der umgebenden Ballungsgebiete und der damit verbundenen vergleichsweise hohen Anzahl an Altfahrzeugen würde sich das Rheinische Revier als Standort für eine Fahrzeugverwertungsfabrik anbieten. Darüber hinaus bietet sich ein strategischer Vorteil der Region durch die in NRW ansässige Grundstoffindustrie, die mitunter als Abnehmer für manche der Outputströme fungieren könnten. Jedoch gilt es hierbei viele Detailfragen zu beantworten, welche mögliche Abnehmer der Stoffströme, die technische Umsetzbarkeit und die Wirtschaftlichkeit einer solchen Fabrik miteinschließen. Das Errichten einer Fahrzeugverwertungsfabrik im Rheinischen Revier bietet die Möglichkeit, neue Arbeitsplätze zu schaffen und neue Wertschöpfung in der Region zu generieren. Nichtsdestotrotz würde sie in direkter Konkurrenz zu den derzeit im Umland ansässigen Demontagebetrieben stehen und damit auch negative Auswirkungen in diesem Bereich mit sich bringen.

6.5 Erneuerte Regulatorik

Die Anpassung des regulatorischen Rahmens und politische Flankierung können maßgeblich bei der Realisierung der oben skizzierten Lösungsansätze helfen. Momentan wird daher eine grundlegende Überarbeitung der mehr als 20 Jahre alten EU-Altfahrzeug-Richtlinie 2000/53/EG (ELV-Directive, ELVD) vorbereitet. Ein entsprechender Vorschlag der EU-Kommission (European Commission, 2023) ist seit Juli 2023 öffentlich und muss nun im EU-Parlament verhandelt werden. Die vorgeschlagenen Regelungen zielen darauf ab, mehr Sekundärmaterialien in neuen Fahrzeugen einzusetzen, die Verwertung von Altfahrzeugen zu verbessern sowie insgesamt mehr Altfahrzeuge zu sammeln. Hierfür wurde ein umfangreiches Maßnahmenpaket vorgeschlagen, das eine Kombination der folgenden Optionen beinhaltet:

Zur **Verbesserung des zirkulären Designs** sollen Hersteller verpflichtet werden, den Behandlern von Altfahrzeugen kurzfristig leicht zugängliche und detaillierte Informationen zur Demontage und dem Recycling von Komponenten zur Verfügung zu stellen, einschließlich über den Verbleib von kritischen Rohstoffen in Fahrzeugen (Artikel 11). Außerdem sollen sie über den Anteil von verwendetem Recyclingmaterial in Neufahrzeugen berichten. Mittelfristig soll die Methode zur Berechnung der Recyclingfähigkeit und Wiederverwendbarkeit von Fahrzeugen im Rahmen der sog. 3R-Typgenehmigung überarbeitet und innerhalb von sieben Jahren ein digitaler Produktpass für Fahrzeuge eingeführt werden. Bereits vorher sollen bestimmte Komponenten, darunter E-Motoren, gekennzeichnet werden, um Teile und enthaltene Materialien identifizieren zu können (Artikel 12). Zudem darf das Fahrzeugdesign die Demontage von Teilen und Komponenten mit hohem Potenzial zur Wiederverwendung weder in der Nutzungsphase noch am Lebensende behindern – dies gilt insbesondere für EV-Batterien und E-Motoren (Artikel 7).

Für eine vermehrte **Verwendung von Sekundärmaterialien** soll ein Ziel von 25 % Rezyklatanteil in verbauten Kunststoffen bis Ende 2030 festgelegt werden, wovon wiederum 25 % aus Altfahrzeugen stammen sollen (Artikel 6). Rezyklat-Quoten für Stahl sollen in den nächsten zwei Jahren auf Grundlage einer Durchführbarkeitsstudie folgen und für weitere Materialien wie Aluminium und kritische Rohstoffe geprüft werden.

Um das Ziel der **besseren Verwertung von Altfahrzeugen** zu erreichen, wird eine strengere Definition von Recycling etabliert. Damit ist insbesondere eine genauere Abgrenzung zu “Reuse”, “Remanufacturing” und “Refurbishment” gemeint, die sich an der Abfallhierarchie in der europäischen Waste Management Directive orientiert (Artikel 3). Es soll zudem eine Methode zur Berechnung und Verifizierung der Wiederverwendbarkeit, Rezyklierbarkeit und Verwertbarkeit von Fahrzeugen eingeführt werden, die insbesondere beim Typgenehmigungsverfahren eine Rolle spielen. So sollen Komponenten bspw. dann als wiederverwendbar eingestuft werden, wenn sie sich in “leichter und zerstörungsfreier Weise” (Annex II) entfernen lassen. Ab Ende 2026 soll eine erweiterte Liste an Komponenten (Liste “C” des Annex VII; darunter EV-Batterien und E-Motoren) verpflichtend vor dem Schreddern demontiert werden, es sei denn, die Demontagebetriebe können nachweisen, dass Post-Shredder-Technologien die Materialien (der Positionen 13 bis 19, darunter Kabelbaum, elektronische Bauteile und größere Metall- und Plastik-Bauteile) genauso effizient trennen können (Artikel 30).

Außerdem sollen alle demontierten Komponenten gemäß der Abfallhierarchie darauf überprüft werden, ob sie bereit sind a) zur Wiederverwendung (funktioniert und kann gleich der ursprünglichen Verwendung zugeführt werden), b) zum Remanufacturing oder Refurbishment (komplett und kann nach einer Überprüfung wieder nutzbar gemacht werden und ist nicht stark korrodiert), c) zum Recycling oder d) zur gesonderten Behandlung (Batterien, Permanentmagneten, E-Motoren, elektronische Bauteile sowie Glass, dass mindestens in Glasbehälter, Fiberglass oder vergleichbare Qualität recycelt werden soll). Wenn sie unter a) oder b) fallen, sollen die Teile nicht als Abfall gelten und entsprechend gekennzeichnet werden. Liste “E” aus Annex VII gibt zudem Teile vor, die nicht wiederverwendet werden dürfen, darunter sicherheitsrelevante und schadstoffbelastete Bauteile wie z.B. Sitze mit Sicherheitsgurt-Verankerungen (Artikel 31).

Die Mitgliedstaaten werden außerdem verpflichtet, Anreize zur Wiederverwendung sowie zum Remanufacturing und Refurbishment einzuführen. Darunter fällt eine Angebotspflicht zur Reparatur mit gebrauchten Ersatzteilen oder ökonomische Anreize wie eine verringerte Umsatzsteuer auf gebrauchte Ersatzteile (Artikel 33). Es gelten jedoch weiterhin die bestehenden Verwertungsquoten von 95 % (mit Verwertung) bzw. 85 % (mit Recycling). Eine Deponierung von Schredderrückständen wird verboten (Artikel 34).

Zur **Verbesserung der Sammlung von Altfahrzeugen** werden Maßnahmen empfohlen, die eine klarere Zuständigkeit für die Verwertungsnachweise, verbindliche Kriterien für die Unterscheidung zwischen Gebraucht- und Altfahrzeugen und neue Durchsetzungsbestimmungen beinhalten. Außerdem wird die Ausfuhr von Fahrzeugen, die nicht mehr verkehrstauglich sind, verboten. Dazu werden Kriterien zur Feststellung der Verkehrstauglichkeit festgelegt. So erlischt die Verkehrstauglichkeit bspw. dann, wenn das Fahrzeug seit zwei Jahren keiner Prüfung mehr unterzogen wurde. Die Exporttauglichkeit soll entsprechend durch die Zollbehörden und mithilfe eines elektronischen Systems kontrollierbar werden (Artikel 38).

Hersteller, oder deren Vertreter, sollen Sammelsysteme einrichten, die Altfahrzeuge und auch kaputte Ersatzteile erfassen, jegliche Marken akzeptieren und diese entgeltfrei einer anerkannten Behandlung zuführen. Zudem sollen Informationskampagnen finanziert werden. Verwerter müssen ein digitales Dokument als Verwertungsnachweis ausstellen und neben dem Letzthalter auch der zuständigen Behörde übermitteln (Artikel 23). Diese wiederum soll das Fahrzeug nur dann endgültig abmelden können, wenn der Verwertungsnachweis vorliegt und sich dazu auch mit den Behörden der anderen Mitgliedstaaten austauschen (Artikel 25).

Durch die **Festlegung einer erweiterten Herstellerverantwortung (EPR)** sollen Anreize für die verstärkte Sammlung und bessere Verwertung von Altfahrzeugen geschaffen werden. Die Hersteller sind dafür verantwortlich, dass in der EU vermarktete Fahrzeuge entsprechend den Vorgaben gesammelt und behandelt sowie die Recyclingquoten eingehalten werden (Artikel 16). Sie müssen die Kosten der Sammlung und Behandlung übernehmen, die nicht durch den Wert der zurückgewonnenen Materialien und Bauteile ausgeglichen werden können. Darüber hinaus sollen Kampagnen zur Förderung des Bewusstseins für eine verbesserte Sammlung, das Informationssystem zum Verwertungsnachweis sowie die Kosten der Datensammlung und -bereitstellung an die zuständigen Behörden von den Herstellern finanziert werden (Artikel 20). Die zu entrichtenden Gebühren sollen dabei an Kriterien wie bspw. dem Fahrzeuggewicht, der Antriebsart, der Rezyklierbarkeit und Wiederverwendbarkeit, der Zeit, die zur Demontage benötigt wird und dem Anteil an verunreinigten Materialien, die das hochwertige Recycling behindern, bemessen werden (Artikel 21).

Abschließend sollen schrittweise **mehr Fahrzeugklassen** (darunter Motorräder, Lastkraftwagen, Busse und Anhänger) von der neuen ELVD erfasst werden.

Der neue Vorschlag der EU-Kommission zur ELVD stellt somit ein umfassendes Maßnahmenpaket dar, um EU-weit die Verwertung von Altfahrzeugen effizienter zu gestalten. Ein strengeres Nachhalten des Verwertungsnachweises soll die illegale Verwertung und den illegalen Export von Altfahrzeugen reduzieren, was nicht nur ökologische, sondern auch ökonomische Vorteile birgt. Auch dadurch, dass nun mehr Fahrzeuge von der neuen ELVD erfasst werden, fallen höhere Mengen an Altfahrzeugen zur Verwertung an, wodurch mehr Sekundärrohstoffe zur nachhaltigen Nutzung zur Verfügung stehen. Die neue Verordnung unterstützt den von uns skizzierten Lösungsansatz eines Ausbaus der aktuellen Demontagestrukturen durch die Einführung des digitalen Produktpasses und das verstärkte Design zirkulärer Produkte, was eine einfachere Demontage und die Wiederverwertbarkeit der demontierten Komponenten ermöglicht. Durch die Vorgabe von Recyclingquoten wird ein Absatzmarkt für recycelte Materialien geschaffen und es entstehen Anreize für die Demontage und das Recycling von Kunststoffen aus Altfahrzeugen. Jedoch muss betont werden, dass die Wirksamkeit der Regulatorik stark von der Überprüfung und Durchsetzung durch die entsprechenden Organe der Mitgliedsstaaten abhängt. Hier besteht nicht nur in Deutschland noch Verbesserungsbedarf.

7 Fazit und Ausblick auf nächste Schritte im Projekt

Dieses Papier zielt darauf ab, ein umfassendes Verständnis für das gegenwärtige System der Fahrzeugverwertung zu schaffen, die Herausforderungen bei der Ausschöpfung von Rohstoffpotenzialen aufzuzeigen und erste Lösungsansätze für eine Verbesserung in Richtung Kreislaufwirtschaft zu diskutieren.

Hierfür wurde zunächst der aktuelle **Prozess der Fahrzeugverwertung** in Deutschland beleuchtet. Die Ergebnisse der Stoffstromanalyse in Kapitel 2 zeigen, dass die bereits relativ hohen stofflichen Verwertungsquoten von insgesamt 83 % maßgeblich durch das Metallrecycling bestimmt werden. Die Wiederverwendung von demontierten Teilen oder das Recycling nicht-metallischer Rohstoffe wie Glas, Kunststoffe und Textilien spielen hingegen aktuell kaum eine Rolle. Auch werden gegenwärtig rund 40 % aller zur Verwertung anstehenden Fahrzeuge in illegalen Betrieben mit unklaren Demontage- und Recyclingquoten verarbeitet. Hier gibt es erhebliche Verbesserungspotentiale. Die anschließende **Akteursanalyse** zeigt, dass im Rheinischen Revier bereits eine vielfältige Akteurslandschaft entlang der Wertschöpfungskette von Fahrzeugen angesiedelt ist – auch wenn weder die Region noch Nordrhein-Westfalen insgesamt eine Fokussierung auf die eigentliche Produktion von Fahrzeugen legt. Aus einer systemischen Perspektive ergeben sich insbesondere mit der überregional ansässigen Grundstoffindustrie sowie den zahlreichen Grundstoffverarbeitern Synergiepotentiale zur Stärkung der Kreislaufwirtschaft. Dass eine intensiviertere Verwertung von Altfahrzeugen jedoch komplex und mit zahlreichen **Herausforderungen** verbunden ist, zeigt Kapitel 4. Als wichtigste Hürden wurden die sehr hohen Exportquoten für Altfahrzeuge in Höhe von 78 %, der hohe Anteil illegaler Verwertung sowie die häufig fehlende Wirtschaftlichkeit für eine tiefe Demontage und die Rückgewinnung kritischer Rohstoffe identifiziert. Auf diese Weise gehen sehr große Mengen an energieintensivem Material und seltenen Ressourcen für eine Wiederverwendung in Deutschland und Europa verloren. Wie der **Exkurs zur Elektromobilität** zeigt, stellt eine besondere Herausforderung das Batterierecycling dar, welches bislang kaum praktiziert wird, jedoch binnen kurzer Zeit den Aufbau massiver Kapazitäten zum Refurbishment, Repurposing und Recycling von E-Akkus erfordert. Dass bereits **Lösungsansätze** zur Verbesserung des gegenwärtigen Systems der Altfahrzeugverwertung bestehen, zeigt Kapitel 6 – hier werden vier verschiedene Ideen zur Stärkung der Kreislaufwirtschaft skizziert, hinsichtlich ihrer potentiellen Relevanz für das Rheinische Revier bewertet und in die gegenwärtige Überarbeitung des regulatorischen Systems auf EU-Ebene eingeordnet.

Die Erkenntnisse dieses Überblickspapiers werden im Projektverlauf von IN4Climate.RR **weiter konkretisiert**. Hierzu sollen die skizzierten Herausforderungen und Lösungsansätze zunächst projektintern weiterentwickelt und anschließend gemeinsam mit relevanten Revierakteuren diskutiert werden. Eine zentrale Rolle spielt dabei die Frage, wie sich verschiedene Akteure über die Wertschöpfungskette von Fahrzeugen und angrenzenden Industrien besser miteinander vernetzen lassen, um sowohl Kreislaufwirtschaft zu fördern als auch ökonomisch tragfähige Geschäftsmodelle zu entwickeln. Hierfür bieten sich insbesondere Workshop-Formate mit Stakeholdern von unterschiedlichen Stufen der Wertschöpfungsketten an, wie Grundstoffproduzenten und Verarbeitern, Zulieferern, Demontagebetrieben und Verwertern. Perspektivisch wird der Anspruch einer tiefergehenden Demontage von Altfahrzeugen und einer Intensivierung der Kreislaufführung von Rohstoffen eine integrative Aufgabe bleiben, bei der wir gesamtgesellschaftlich einen anderen Umgang mit wertvollen Ressourcen lernen müssen. Hierzu gehört auch eine Flankierung vonseiten der Politik durch eine echte Kreislaufstrategie für kritische Rohstoffe in Europa, die gerade mit Blick auf die Versorgungssicherheit und die Umsetzung der Energiewende von zentraler Bedeutung ist. Die gegenwärtige Überarbeitung der ELVD durch die europäische Kommission stellt hierfür eine wichtige Voraussetzung dar, bei der es jedoch auf die konkrete

Umsetzung der einzelnen Maßnahmen ankommen wird und die gleichzeitig einzubetten ist in eine übergeordnete und sektorenübergreifende Kreislaufstrategie.

Literaturverzeichnis

- BMWK. (o. J.). *Automobilindustrie*. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. Abgerufen 26. Juli 2023, von <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Textsammlungen/Branchenfokus/Industrie/branchenfokus-automobilindustrie.html>
- Duwe, C., & Goldmann, D. (2012). Stand der Forschung zur Aufbereitung von Shredder-Sanden. In *Recycling und Rohstoffe* (Bd. 5, S. 495–506). TK Verlag.
- Europäische Kommission. (2021). *Arbeitsunterlage der Kommissionsdienststellen: Evaluierung (Zusammenfassung) der Richtlinie 2000/53/EG vom 18. September 2000 über Altfahrzeuge*. <https://op.europa.eu/de/publication-detail/-/publication/9216f390-858e-11eb-af5d-01aa75ed71a1/language-de>
- Europäisches Parlament. (2023). *Gesetzgebungsakte und andere Rechtsinstrumente zur Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates über Batterien und Altbatterien, zur Änderung der Richtlinie 2008/98/EG und der Verordnung (EU) 2019/1020 und zur Aufhebung der Richtlinie 2006/66/EG*. <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/PE-2-2023-INIT/de/pdf>
- European Commission. (2018). *Raw materials scoreboard 2018: European innovation partnership on raw materials*. Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2873/08258>
- European Commission. (2020). *Circular economy action plan: For a cleaner and more competitive Europe*. Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2779/05068>
- European Commission. (2023). *Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on circularity requirements for vehicle design and on management of end-of-life vehicles, amending Regulations (EU) 2018/858 and 2019/1020 and repealing Directives 2000/53/EC and 2005/64/EC*.
- European Commission. (2022, Dezember 9). *Green Deal: EU agrees new law on more sustainable and circular batteries to support EU's energy transition and competitive industry*. European Commission. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_22_7588
- European Parliament. (2023, Juni 14). *Making batteries more sustainable, more durable and better-performing*. News - European Parliament. <https://www.europarl.europa.eu/news/en/press-room/20230609IPR96210/making-batteries-more-sustainable-more-durable-and-better-performing>
- Glöser-Chahoud, S., Huster, S., Rosenberg, S., & Schultmann, F. (2021). Rücklaufmengen und Verwertungswege von Altbatterien aus Elektromobilen in Deutschland. *Chemie Ingenieur Technik*, 93(11), 1805–1819. <https://doi.org/10.1002/cite.202100112>
- Groke, M., Kaerger, W., Sander, K., & Bergamos, M. (2017). *Optimierung der Separation von Bauteilen und Materialien aus Altfahrzeugen zur Rückgewinnung kritischer Metalle (ORKAM)*. Umweltbundesamt. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/optimierung-der-separation-von-bauteilen>
- Kaerger, W., & Steger, S. (2023). *Reduzierung illegaler Altautozerlegung in Deutschland*. Wuppertal Institut.

- KBA. (o. J.-a). *Jahresbilanz 2022*. Kraftfahrt-Bundesamt. Abgerufen 27. Juli 2023, von https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Neuzulassungen/Jahresbilanz_Neuzulassungen/jahresbilanz_node.html
- KBA. (o. J.-b). *Jahresbilanz 2023*. Kraftfahrt-Bundesamt. Abgerufen 27. Juli 2023, von https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/Jahresbilanz_Bestand/fz_b_jahresbilanz_node.html?yearFilter=2023
- KBA. (2022). *Neuzulassungen, Besitzumschreibungen und Außerbetriebsetzungen von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Zulassungsbezirken: Jahr 2020* [dataset]. https://www.kba.de/DE/Statistik/Produktkatalog/produkte/Fahrzeuge/fz5_nua_uebersicht.html
- Kohlmeyer, R., Groke, M., Sander, K., & Bergamos, M. (2015). Perspektiven der zunehmenden Fahrzeugelektronik für das Altfahrzeugrecycling. In *Recycling und Rohstoffe* (Bd. 8, S. 183–205). TK Verlag.
- Maisel, F., Neef, C., Marscheider-Weidemann, F., & Nissen, N. F. (2023). A forecast on future raw material demand and recycling potential of lithium-ion batteries in electric vehicles. *Resources, Conservation and Recycling*, 192, 106920. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.106920>
- Neef, C., Schmaltz, T., & Thielmann, A. (2021). *Recycling von Lithium-Ionen-Batterien: Chancen und Herausforderungen für den Maschinen- und Anlagenbau*. <https://doi.org/10.24406/PUBLICA-FHG-301299>
- Renault Group. (o. J.). *Flins Plant—Refactory*. Renault Group. Abgerufen 27. Juli 2023, von <https://www.renaultgroup.com/en/our-company/locations/flins-plant-2/>
- Sander, K., Rödiger, L., Wagner, L., Jepsen, D., Holzhauer, R., Baberg, L., Spiecker, T., Zwisele, B., & Winterstein, M. (2020). *Evaluierung und Fortschreibung der Methodik zur Ermittlung der Altfahrzeugverwertungsquoten durch Schredderversuche unter der EG-Altfahrzeugrichtlinie 2000/53/EG*. Umweltbundesamt. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/altfahrzeuge-monitoring>
- Sander, K., Wagner, L., Sanden, J., & Wilts, H. (2017). *Entwicklung von Lösungsvorschlägen, einschließlich rechtlicher Instrumente, zur Verbesserung der Datenlage beim Verbleib von Altfahrzeugen*. Umweltbundesamt. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/entwicklung-von-loesungsvorschlaegen>
- Sander, K., Wagner, L., Wilts, H., & Steger, S. (2016). *Verwertung von Altfahrzeugen in Rheinland-Pfalz* [Abschlussbericht]. Rheinland-Pfalz Landesamt für Umwelt. https://lfu.rlp.de/fileadmin/lfu/Startseitenbeitraege/Oeffentlicher_Abschlussbericht_Verwertung_von_Altfahrzeugen_in_Rheinland-Pfalz.pdf
- Sattar, A., Greenwood, D., Dowson, M., & Unadkat, P. (2020). *Automotive Lithium ion Battery Recycling in the UK*. WMG, University of Warwick. https://warwick.ac.uk/fac/sci/wmg/business/transportelec/22350m_wmg_battery_recycling_report_v7.pdf
- Schmaltz, T. (2023, Januar 19). *Recycling von Lithium-Ionen-Batterien wird in Europa stark zunehmen*. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI.

<https://www.isi.fraunhofer.de/de/blog/themen/batterie-update/recycling-lithium-ionen-batterien-europa-starke-zunahme-2030-2040.html>

TSR Recycling. (2023, April 27). *Meilenstein für eine konsequent kreislaufgeführte Wirtschaft*. TSR Recycling. <https://www.tsr.eu/presse/einzelmeldung/meilenstein-fuer-eine-konsequent-kreislaufgefuehrte-wirtschaft/>

UBA. (2022, November 15). *Altbatterien*. Umweltbundesamt. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehlter-abfallarten/altbatterien>

UBA. (2023, Februar 6). *Altfahrzeugverwertung und Fahrzeugverbleib*. Umweltbundesamt. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehlter-abfallarten/altfahrzeugverwertung-fahrzeugverbleib>

UBA & BMUV (Hrsg.). (2020). *Jahresbericht über die Altfahrzeug-Verwertungsquoten in Deutschland im Jahr 2018*. <https://www.bmuv.de/download/jahresberichte-ueber-die-altfahrzeug-verwertungsquoten-in-deutschland>

UBA & BMUV (Hrsg.). (2022). *Jahresbericht über die Altfahrzeug-Verwertungsquoten in Deutschland im Jahr 2020*. <https://www.bmuv.de/download/jahresberichte-ueber-die-altfahrzeug-verwertungsquoten-in-deutschland>

UNEP. (2021). *Used Vehicles and the Environment – Global Overview on Used Light Duty Vehicles: Flows, Scale, and Regulations—Progress and Updates 2021*. United Nations Environment Programme. <https://www.unep.org/resources/report/used-vehicles-and-environment-progress-and-updates-2021>

Zimmermann, T., Sander, K., Memelink, Knode, M., Freier, M., Porsch, L., Schomerus, T., Wilkes, S., & Flormann, P. (2022). *Auswirkungen illegaler Altfahrzeugverwertung: Ermittlung der ökologischen, volkswirtschaftlichen und betriebswirtschaftlichen Auswirkungen der nicht anerkannten Demontage von Altfahrzeugen und der illegalen Altfahrzeugverbringung sowie Ableitung von Maßnahmen zur Adressierung möglicher Auswirkungen*. Umweltbundesamt. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/auswirkungen-illegaler-altfahrzeugverwertung>