



FH MÜNSTER
University of Applied Sciences



IWARU Institut für
Infrastruktur · Wasser ·
Ressourcen · Umwelt
Arbeitsgruppe Ressourcen

Zusammenfassender Ergebnisbericht

Umsetzung der zirkulären Wertschöpfung bei Altfenstern

Projektlaufzeit:

01.01.2024 bis 31.01.2025

Auftraggeber:



BIOTRANS



Fachverband
Schloss- und
Beschlag-
industrie e.V.





Inhalt

Vorwort	4
Zusammenfassung der Ergebnisse	5
1. Erfassung von Altfenstern	5
1.1. Analyse zur Erfassung von Altfenstern	5
1.2. Darstellung bestehender Rücknahmesysteme	6
1.3. Auswertung der Umfrageergebnisse	8
2. Verwertung von Altfenster(komponenten)	10
2.1. Darstellung der Verwertungswege	10
2.2. Betrachtung ökobilanzieller Faktoren	13
3. Optimierungspotenziale	16
3.1. SWOT-Analyse zur Bewertung der Logistik, Erfassung und Verwertung	16
3.2. Optimierungspotenziale und Handlungsempfehlungen	20
Ausblick	21
Anhang	24



Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Erfassung von Altfenstern bei einer Sanierung (eigene Darstellung)	5
Abbildung 2: Erfassung von Altfenstern bei einem Rückbau (eigene Darstellung).....	5
Abbildung 3: Prozess zur Erfassung von PVC-Fenstern über die Rewindo GmbH (eigene Darstellung)	7
Abbildung 4: Prozess zur Erfassung von Aluminiumfenstern über den A U F e. V. (eigene Darstellung)	7
Abbildung 5: Massenanteile der modellierten Referenzfenster (Berechnungen nach [1], eigene Darstellung)	13
Abbildung 6: Anteile der Fensterkomponenten bei den Indikatoren GWP, Gesamtprimärenergiebedarf (PE) und Frischwasserverbrauch (FW) in den Herstellungsphasen (A1-A3) (Eigene Berechnungen)	14
Abbildung 7: Einfluss des Einsatzes von Sekundärmaterial auf das GWP (Eigene Berechnungen) .	15
Abbildung 8: Optimierter Prozess zur Umsetzung einer zirkulären Wertschöpfung bei Altfenstern (Eigene Darstellung).....	20

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Kernaussagen je Stakeholder aus der Online-Umfrage sowie den Interviews zur Erfassung und zum Umgang mit Altfenstern sowie zur Bekanntheit von Recycling-initiativen	8
Tabelle 2: SWOT-Analyse für das Fenster allgemein	16
Tabelle 3: SWOT-Analyse für den Aluminiumrahmen	17
Tabelle 4: SWOT-Analyse für den Kunststoffrahmen	17
Tabelle 5: SWOT-Analyse für den Holzrahmen	18
Tabelle 6: SWOT-Analyse für das Flachglas.....	18
Tabelle 7: SWOT-Analyse für die Beschläge	19



Vorwort

Die wesentlichen Verbände und Organisationen der Fensterbranche, darunter der Bundesverband Flachglas (BF), Bundesverband ProHolzfenster, Fachverband Schloss- und Beschlagindustrie (FVSB), Verband Fenster + Fassade (VFF), A|U|F e. V., Rewindo GmbH, European PVC Window Profiles and related Building Products Association (EPPA) sowie die Biotrans GmbH haben sich zusammengeschlossen, um in einer dreistufigen Studie die Mengenbilanz und das Abfall- und Recyclingpotenzial von Altfenstern in Deutschland zu analysieren. Dabei wird das Fenster sowohl als Gesamteinheit als auch in Bezug auf seine einzelnen Fensterkomponenten (Rahmenmaterialien, Glas, Beschlag, Armierung, etc.) untersucht.

In der Stufe 1 hat die Conversio GmbH Abfallmengenszenarien entwickelt. Im Jahr 2022 fielen in Deutschland beim Rückbau und der (energetischen) Sanierung von Gebäuden etwa 9 bis 10 Millionen Altfenster an, was einer Gesamtmasse von 460.000 bis 480.000 Tonnen entspricht. Derzeit ergeben sich die höchsten Abfallmengen im Bereich der Holzfenster. Da jedoch zunehmend Kunststoff- und Aluminiumfenster eingebaut werden, wird in Zukunft ein Anstieg der Altfenstermengen aus diesen Materialien erwartet [1].

In der Stufe 2 wurde das Recyclingpotenzial von Altfenstern durch das Institut für Infrastruktur · Wasser · Ressourcen · Umwelt (IWARU) identifiziert. Hierbei analysierte das IWARU die aktuellen Erfassungs- und Logistikprozesse sowie die Verwertungswege für Altfenster und deren Komponenten. Ziel der Studie war es, auf Basis der Ergebnisse, Optimierungspotenziale und Handlungsempfehlungen abzuleiten.

Zur Bearbeitung der zweiten Studienstufe wurden intensive Literaturrecherchen, Besichtigungen von Aufbereitungsanlagen, Experten- und Expertinneninterviews sowie eine Online-Umfrage unter den relevanten Stakeholdern entlang der Wertschöpfungskette von Fenstern durchgeführt. Zu diesen Stakeholdern zählen Architekten und Architektinnen, Projektentwickler/innen, Abbruchunternehmen, Dachdeckerbetriebe sowie Fensterbau- und Montagebetriebe. Dabei wurden Erkenntnisse über die Erfassung, den Umgang mit Altfenstern sowie den Bekanntheitsgrad von Recyclinginitiativen wie Rewindo GmbH (Kunststofffenster) und A|U|F e. V. (Aluminiumprofile) gesammelt und ausgewertet.

Zusätzlich erfolgte eine Betrachtung von ökobilanziellen Faktoren der einzelnen Fensterkomponenten in Abhängigkeit von ihrem Massenanteil zur Bewertung der Klima- und Ressourcenrelevanz des Stoffstroms. Hierfür wurden die im Durchschnitt modellierten Kunststoff-, Aluminium- und Holzfenster aus der Massenbilanzierung der Conversio GmbH übernommen. Als weitere Datengrundlagen wurden Umwelt-Produktdeklarationen (EPDs) sowie Datensätze aus der Datenbank der ökobau.dat verwendet. Die Bilanzierung berücksichtigt die Indikatoren Global Warming Potential (GWP), Primärenergiebedarf (PE) und Frischwasserverbrauch (FW) und erfolgte für die Lebenszyklusphasen: Herstellung und Errichtung (A1-A5), Entsorgung (C1-C4) sowie das Recyclingpotenzial (D).

Basierend auf der Analyse der aktuellen Erfassung und Verwertung von Fenstern wurden die Stoffströme der Fenster im Rahmen einer SWOT-Analyse untersucht. Abschließend wurden Empfehlungen zur Optimierung für eine zirkuläre Wertschöpfung von Altfenstern gegeben.

Zusammenfassung der Ergebnisse

1. Erfassung von Altfenstern

1.1. Analyse zur Erfassung von Altfenstern

Altfenster fallen entweder bei Sanierungen oder beim Gebäuderückbau an. Im Rahmen von Sanierungsmaßnahmen tauschen im Regelfall Fensterbau- und Montagebetriebe die Fenster aus. Abhängig von der Größe der Sanierungsmaßnahme werden die rückgebauten Fenster entweder direkt auf der Baustelle oder auf den Betriebshöfen der ausführenden Unternehmen gesammelt (Ausnahme: Für den Austausch von Dachfenstern sind dagegen Dachdeckerbetriebe zuständig. Diese Fenster werden i. d. R. aufgrund der geringen Menge als Bauabfall entsorgt). Je nach Annahmebedingungen des Entsorgungsunternehmens wird das Glas oft vorab aus dem Rahmen entfernt. Die Abbildung 1 stellt die Erfassung von Altfenstern bei einer Sanierung dar.

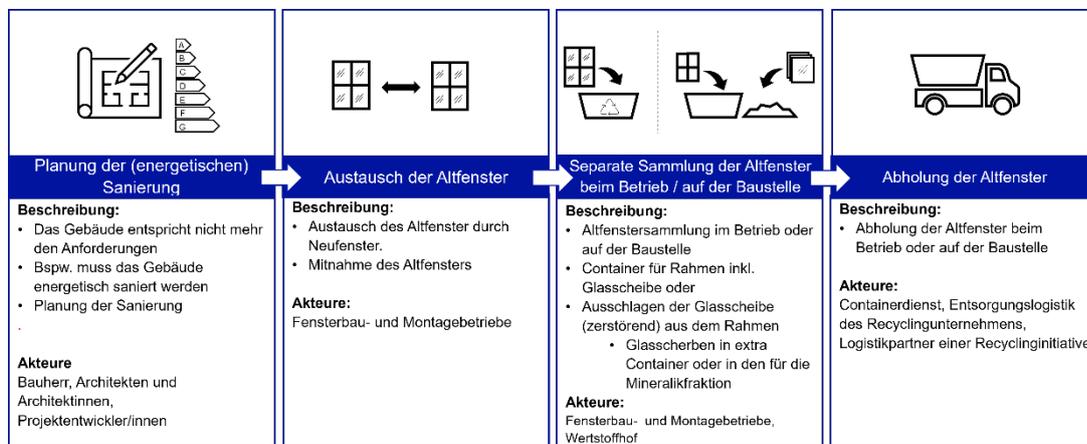


Abbildung 1: Erfassung von Altfenstern bei einer Sanierung (eigene Darstellung)

Im Gebäuderückbau werden Fenster oft von Abbruchunternehmen maschinell mit der Fassade abgebrochen, sodass das Glas zerstört und mit den mineralischen Fraktionen verwertet wird. Die Rahmenmaterialien werden i. d. R. separat gesammelt, allerdings kann es in Einzelfällen vorkommen, dass das Fenster mit dem Baumischabfall entsorgt wird. Die Abbildung 2 stellt die Erfassung von Altfenstern bei einem Rückbau dar.

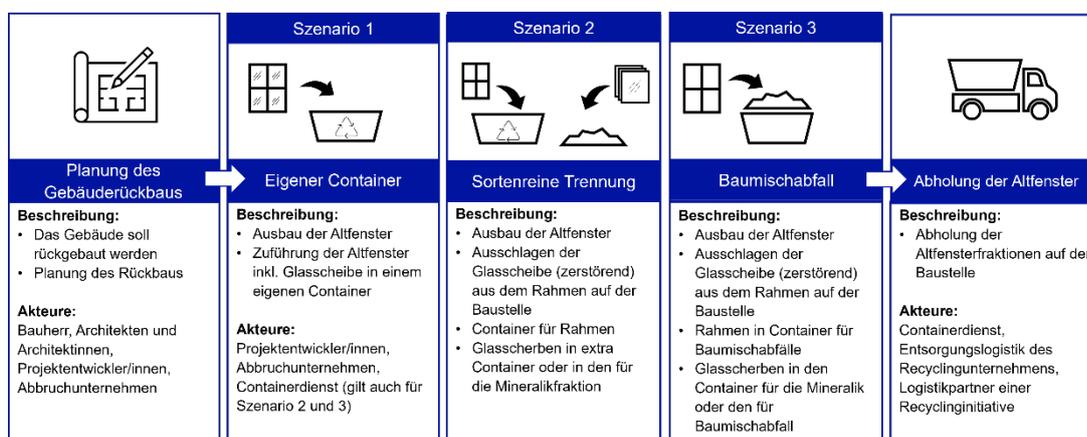


Abbildung 2: Erfassung von Altfenstern bei einem Rückbau (eigene Darstellung)



Die Abholung der Container wird von Entsorgungsunternehmen durchgeführt, welche die Altfenster bzw. Rahmenmaterialien anschließend zu entsprechenden Aufbereitungsanlagen transportieren.

Derzeit liegen keine spezifischen Angaben zu den Mengen an Altfenstern aus Sanierungsmaßnahmen oder Rückbauarbeiten vor.

1.2. Darstellung bestehender Rücknahmesysteme

In Deutschland bestehen bislang Rücknahmesysteme für Kunststoff- und Aluminiumfenster. Die Rewindo GmbH organisiert die Erfassung und das Recycling von Fenster, Rollläden und Türen aus Kunststoff (PVC) [2]. Der A|U|F e. V. engagiert sich für die Rücknahme und das Recycling von Aluminiumprofilen aus dem Hochbau [3]. Für Holzfenster und Flachglas existieren derzeit noch keine spezifischen Rücknahmesysteme, jedoch werden separat erfasste Holzfenster oder Flachglas von lokalen Entsorgungsbetrieben gesammelt und anschließend einer Aufbereitung und Verwertung zugeführt. Die bestehenden Recyclinginitiativen agieren als Vermittler zwischen den verschiedenen Akteuren der Branche. Zu den Partnern der Initiativen zählen u. a. Abbruchunternehmen, Architekten und Architektinnen, Entsorger, Fensterbau- und Montagebetriebe, Sammelpartner, Recycler, Wohnungsbaugesellschaften. [4; 5].

Während der Planungsphase von Sanierungsmaßnahmen oder Gebäuderückbauprojekten können Planende, wie Architekten und Architektinnen oder Projektentwickler/innen Kontakt zu den Recyclinginitiativen wie der Rewindo GmbH (s. Abbildung 3) und dem A|U|F e. V. (s. Abbildung 4) aufnehmen. Diese vermitteln dann bspw. zu einem Fensterbau- und Montagebetrieb, einem Abbruchunternehmen oder einem Sammelpartner weiter. Erfolgt die Übergabe des Rahmenmaterials erfolgreich an eine Aufbereitungsanlage, die Partner der Initiative ist, bleibt das Material im geschlossenen Kreislauf. Im Prozess der Erfassung, Logistik und Verwertung sind viele verschiedene Akteure beteiligt, wodurch zahlreiche Schnittstellen entstehen und das Verfahren komplex wird.

Die Biotrans GmbH ist ein Entsorgungs- und Recyclingunternehmen, das Altfenster unterschiedlicher Rahmenmaterialien gemeinsam in einem Container von Baustellen sammelt [6]. Das Einzugsgebiet erstreckt sich über einen Umkreis von 500 km. Durch die gemischte Sammlung werden sowohl der Platzbedarf als auch der Transportaufwand für Auftraggeber wie Fensterbaubetriebe oder Abbruchunternehmen reduziert. In der Aufbereitungsanlage in Schwerte werden die Altfenster in einem Aufbereitungsprozess so bearbeitet, dass die Rahmenmaterialien für die Weitergabe an einen finalen Recyclingprozess vorbereitet werden. Das Glas kann jedoch aufgrund des derzeit vorliegenden umgesetzten Aufbereitungsprozesses nicht einem hochwertigen Flachglasrecycling zugeführt werden.

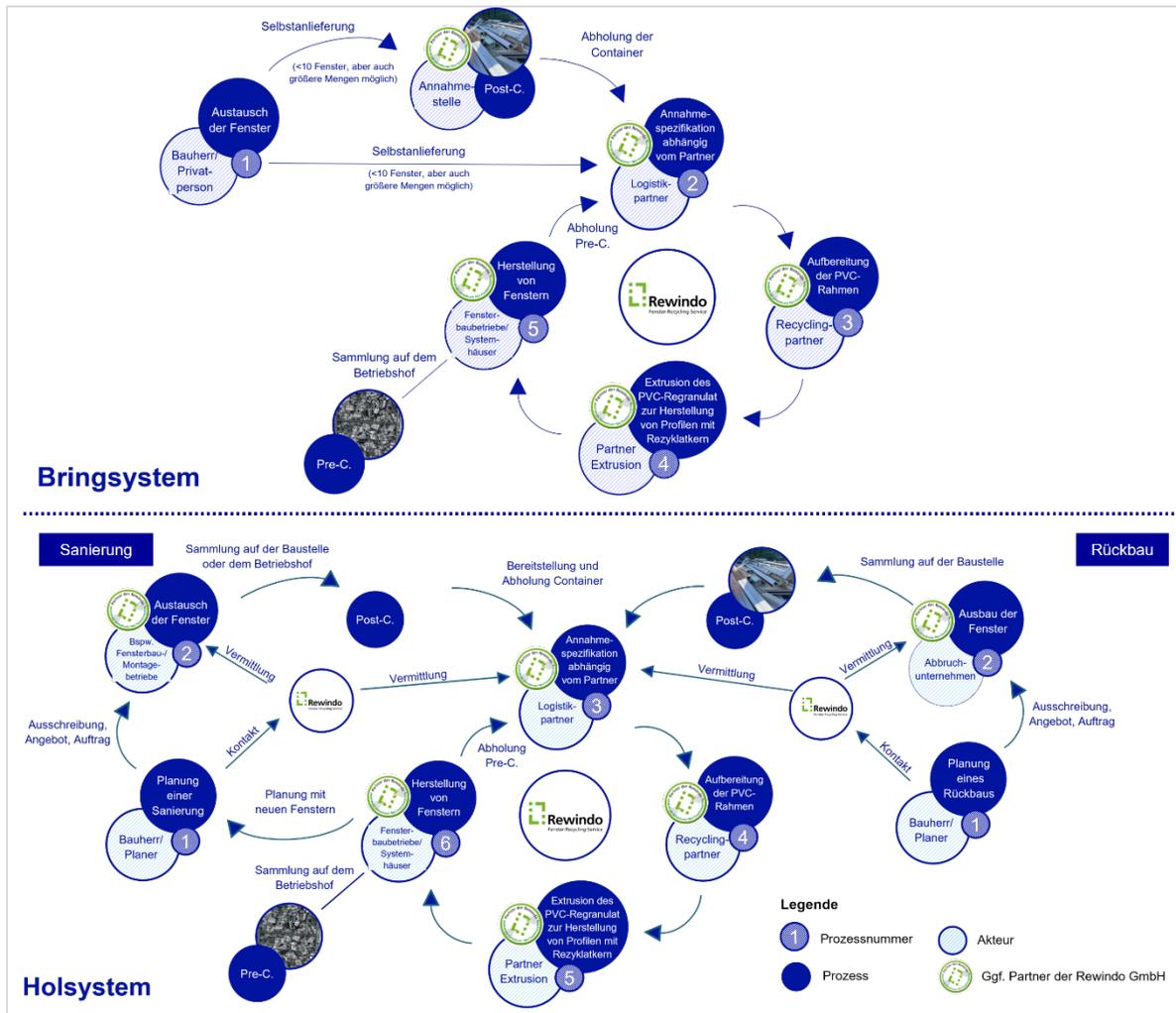


Abbildung 3: Prozess zur Erfassung von PVC-Fenstern über die Rewindo GmbH (eigene Darstellung)

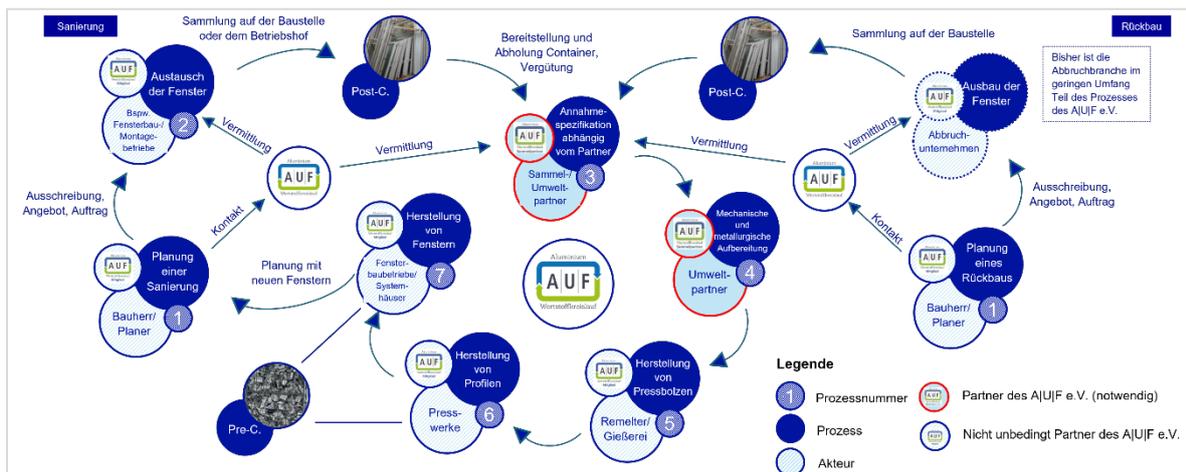


Abbildung 4: Prozess zur Erfassung von Aluminiumfenstern über den A|U|F e. V. (eigene Darstellung)



1.3. Auswertung der Umfrageergebnisse

Die Verbreitung der Online-Umfrage zur Erfassung und zum Umgang mit Altfenstern sowie zur Bekanntheit von Recyclinginitiativen erfolgte über Newsletter einiger Landesarchitektenkammern, des Deutschen Abbruchverband e. V., des VFF, des Bundesverband ProHolzfenster sowie über eigene erstellte E-Mail-Verteiler. Die Umfrage enthielt Fragen über die Erfassung, den Umgang mit Altfenstern sowie über den Bekanntheitsgrad von Recyclinginitiativen. In den zusätzlich geführten Interviews wurden hingegen spezifischere Fragestellungen zur Rücknahme und Entsorgung der Altfenster diskutiert. Zudem wurden Hemmnisse, die in der Praxis auftreten, erfragt. Aus den Ergebnissen der Online-Umfrage und den Experten- und Expertinneninterviews ergaben sich folgende Kernaussagen je Stakeholder:

Tabelle 1: Kernaussagen je Stakeholder aus der Online-Umfrage sowie den Interviews zur Erfassung und zum Umgang mit Altfenstern sowie zur Bekanntheit von Recyclinginitiativen

Stakeholder	Kernaussagen
Architekten und Architektinnen Projektentwickler/innen	<ul style="list-style-type: none"> Betrachtung des gesamten Lebenszyklus bzw. der Rückbau und die Verwertungswege der Baumaterialien werden in der Vorplanung noch nicht in die Praxis umgesetzt Vorschriften aus Normungen schränken den Planungsprozess ein Fehlende Informationen und Dokumentationen über das Fenster im Bestand behindern oft eine Wiederverwendung Kein Trend für ein bestimmtes Fensterrahmenmaterial, abhängig von der Bauaufgabe und vom Bauherrn Recyclinginitiativen sind weitgehend unbekannt
Abbruchunternehmen	<ul style="list-style-type: none"> Der Ausbau von Fenstern ist i. d. R. nicht getrennt ausgeschrieben Für den Ausbau von Fenstern wird i. d. R. nur wenig Zeit eingeplant Daher werden Fenster mit der Fassade abgebrochen, Glas wird zerstört, Rahmen werden separat entsorgt Strikter Zeitplan auf der Baustelle behindert eine Wiederverwendung Recyclinginitiativen sind weitgehend unbekannt
Dachdeckerbetriebe	<ul style="list-style-type: none"> Für den Ein- und Ausbau von Dachfenstern sind Dachdeckerbetriebe zuständig Im Schnitt fallen 1-2 Altfenster pro Baustelle an Sammlung der Fenster im Betrieb Entsorgung der alten Dachfenster über den Baumischabfall Keine separate Sammlung des Glases Recyclinginitiativen sind weitgehend unbekannt
Fensterbau- und Montagebetriebe	<ul style="list-style-type: none"> Händischer Ausbau der Fenster Bei großen Sanierungsprojekten Sammlung der Fenster auf der Baustelle; bei kleineren Bauvorhaben Sammlung der Fenster im Betrieb Steigende Anforderungen an Fenster verhindern eine Wiederverwendung Bei Holzfenstern ist durch den Einsatz von biozidfrier Grundierung ("ökologische Holzschutzmittel") die Oberflächenbeschichtung nicht konform zur DIN 68 800 Recyclinginitiativen sind weitgehend etabliert



Darüber hinaus sehen die befragten Stakeholder Optimierungspotenziale bei der Rückführung von Altfenstern, in Bezug auf:

- **Ausschreibungen**
 - Die Ausschreibungstexte für den Aus- und Rückbau von Altfenstern sollten bzgl. der Demontage und der Rücknahme spezifischer und detaillierter verfasst werden
- **gesetzliche Verpflichtungen**
 - Bevor Baumaterialien ausgebaut werden, sollten sie überprüft werden, ob eine Wiederverwendung oder ein Recycling möglich ist
 - Verpflichtungen zur Rücknahme würde zu einer Erhöhung von Recyclingquoten führen
 - Verpflichtung von realistischen Recyclingquoten für Profilverhersteller
 - Normen und Verordnungen in Bezug auf den Holzschutz müssten überarbeitet und angepasst werden
- **Produktdesign**
 - Fensterkomponenten sollten so eingebaut sein, dass sie einfacher demontiert und voneinander getrennt werden können
 - Weniger Klebstoffe verwenden
- **technische Systeme**
 - Zur Trennung des Fensterrahmens von der Glasscheibe und der Einbauteile
- **Prozesse**
 - Rücknahme durch den Hersteller
 - Baubeteiligte müssen den ganzen Prozess kennen
 - Bewusstsein schärfen
 - Mehr Informationen über Rücknahmesysteme



2. Verwertung von Altfenster(komponenten)

2.1. Darstellung der Verwertungswege

Für die Darstellung der Verwertungswege sind für die drei Fenstertypen sowie für Flachglas und Beschläge/Stahlarmierungen zusammenfassende Steckbriefe erstellt worden (s. Anhang). Die Altfensterkomponenten werden i. d. R. verwertet. Je nach Stoffstrom variieren die Verwertungswege aufgrund ihrer spezifischer Materialeigenschaften und der geforderten Qualitätsanforderungen.

Aluminiumfenster

Aluminium lässt sich ohne Qualitätsverlust bei sortenreiner Sammlung stofflich verwerten. Die Aluminiumprofile werden mechanisch und metallurgisch aufbereitet, um Aluminiumchips der spezifischen Fensterprofil-Legierung AlMgSi 0,5 (EN EW 6060) herzustellen. Diese werden in einer Gießerei zu Pressbolzen geschmolzen, aus denen neue Fensterprofile hergestellt werden können. Mit Unterstützung des A|U|F e. V. und einer etablierten Aufbereitungsinfrastruktur wird bereits ein erheblicher Anteil von Aluminium aus dem Hochbau im Kreislauf geführt. Rund 54 % der im Jahr 2023 in Deutschland angefallenen Aluminiumschrotte wurden über das System des A|U|F e. V. erfasst [7]. Der hohe monetäre Wert von Aluminiumfenstern führt jedoch häufig dazu, dass es direkt an Schrotthändler verkauft, in der Automobil- oder Elektrobranche verwertet oder ins Ausland exportiert wird, wodurch es für den geschlossenen Recyclingkreislauf (Einsatz im Fenster- und Fassadenbereich) verloren geht. Sekundäraluminium aus anderen Herkunftsbereichen ist nur bedingt für Fensterrahmenprofile geeignet, da es in anderen Legierungen vorliegt und somit die Qualitätsanforderungen für Hochbauprodukte nicht erfüllt. Um die Zielspezifikation im neuen Produkt zu erreichen, müsste dann ggf. mehr Primäraluminium im Aufbereitungs- und Einschmelzprozess beigemischt werden [8].

Kunststofffenster

Sortenrein erfasstes PVC aus Kunststofffenstern wird werkstofflich recycelt. Das Material wird zerkleinert, sortiert, klassiert und zu Regranulat verarbeitet. Im Jahr 2022 wurden ca. 64 % der anfallenden Kunststoffprofile aus Fenstern, Rollläden und Türen über das System der Rewindo GmbH erfasst [9]. Das Regranulat wird anschließend für neue Fensterprofile genutzt und aufgrund der Anforderungen an die Oberflächenqualität im Kern von Fensterrahmen eingesetzt [10]. Darüber hinaus muss das Granulat aus alten PVC-Fenstern Grenzwerte für Cadmium und Blei einhalten. Seit 1991 ist die Verwendung von Cadmium als Stabilisator in PVC verboten [11]. Entsprechend der REACH-Verordnung erlaubt eine Ausnahmeregelung den Einsatz von PVC-Rezyklaten mit bestimmten Cadmium- und Bleigehalten in neuen PVC-Anwendungen. PVC-Rezyklate dürfen einen Cadmiumgehalt von max. 0,1 Gew.-% (1.000 ppm) aufweisen [12]. Eine weitere Ausnahmeregelung, die seit 2023 gilt, erlaubt den Einsatz von zurückgewonnenem Hart-PVC mit einer maximalen Blei-Konzentration von 1,5 Gew.-% (15.000 ppm) für einen Zeitraum von 10 Jahren [13]. Werden Kunststofffenster über den Baumischabfall entsorgt, erfolgt eine energetische Verwertung.



Holzfenster

Das Rahmenmaterial von Holzfenstern, die i. d. R. mit Holzschutzmitteln behandelt wurden, wird in Deutschland als Altholz der Kategorie A IV eingestuft und darf laut AltholzV nicht stofflich verwertet werden. Stattdessen erfolgt eine energetische Verwertung in Anlagen mit Genehmigung nach der 17. BImSchV [14]. Dagegen fallen die lackierten, schadstofffreien Holzprofile eines Holzaluminiumfensters in die Altholzkategorie A II und können, ebenso wie die Aluminiumschale, recycelt werden.

Ein Vergleich der Holzschutzmittelverzeichnisse von 1995 und 2003 zeigt, dass sich die Anzahl der Holzschutzmittel und der Wirkstoffe in acht Jahren nahezu verdoppelt hat. Allerdings geben die Holzschutzmittelverzeichnisse keine Aussagen zum konkreten Einsatz bei Fenstern, sondern unterscheiden den Anwendungsbereich nach Gefährdungsklassen (GK). Für die Analyse der Wirkstoffe werden nur die Holzschutzmittel der GK 3 „Außenbauteile mit Wetterbeanspruchung ohne ständigen Erd- und/oder Wasserkontakt und Innenbauteile in Nassräumen“ herangezogen. Ein Abgleich dieser Wirkstoffe mit den genehmigten Wirkstoffen nach dem Anhang I der Biozidverordnung sowie der SVHC-Liste der REACH-Verordnung ergab, dass der Großteil der Wirkstoffe als genehmigt oder als nicht besorgniserregend eingestuft werden. Fenster, die mit Holzschutzmitteln nach 2003 behandelt wurden, werden zukünftig als Altfenster anfallen. Hier stellt sich die Frage, wie diese genehmigten und nicht besorgniserregenden Wirkstoffe sich in Bezug auf die Grenzwerte für eine stoffliche Verwertung der AltholzV auswirken. Hierfür müssen neue Daten über die Behandlung von Holzfenstern erhoben werden, um im Rahmen einer Novellierung der AltholzV ggf. eine Einordnung in eine andere Altholzkategorie zu erreichen.

Flachglas

Glas ist ein Werkstoff, der sich grundsätzlich gut recyceln lässt. Der Scherbenanteil im Flachglas liegt z. B. bei ca. 20 - 40 Gew.-%, jedoch handelt es sich dabei überwiegend um Pre-Consumer-Scherben (Eigenscherben/Verschnittreste aus dem Herstellungs- und Verarbeitungsprozess) [15; 16]. Post-Consumer-Scherben werden dagegen kaum in der Flachglasproduktion eingesetzt. Die o. g. Prozesse zur Erfassung von Altfenstern zeigen, dass das Fensterglas i. d. R. aus dem Fensterrahmen geschlagen wird. Geschieht dies auf der Rückbau-Baustelle, wird es oft mit der mineralischen Fraktion verwertet. Sofern komplette Fenster einer Aufbereitung zugeführt werden, wird das Glas bei der Aufbereitung der Rahmenmaterialien aussortiert. Auf Grund der Scherbengröße und den z. T. vorhandenen Verunreinigungen werden die Anforderungen für ein Flachglasrecycling überwiegend nicht erfüllt. Die Glasscherben werden stattdessen nach einem mehrstufigen Aufbereitungsprozess in der Hohlglas- und Glasperlenindustrie oder als Dämmmaterial verwertet.

Beschläge und Armierung

Die Fensterbeschläge bestehen i. d. R. aus Stahl, Edelstahl oder Messing. Teilweise sind die Beschläge mit Kunststoff ummantelt. Eine Stahlarmierung wird i. d. R. zur Verstärkung im Rahmen eines Kunststofffensters eingesetzt. Bei einer stichprobenartigen Befragung unter den Mitgliedern des FVSB zum Einsatz von Legierungen wurde die vorhandene Legierungsvielfalt in der Beschlagindustrie deutlich [17]. In der Aufbereitung der Rahmenmaterialien werden die Metalle und Kunststoffe aussortiert. Die Fe- und NE-Metalle werden zur Aufbereitung an einen Metallverwerter weitergegeben und dort stofflich verwertet. Dieses Recyclingmaterial gelangt jedoch nicht direkt in die



Beschlagindustrie zurück. Trotzdem haben Beschläge bereits einen Sekundärmetallanteil von bis zu 30 - 40 % [18]. Kunststofffraktionen werden dagegen energetisch verwertet [1].

Im Abfallmengenszenario hat die Conversio GmbH eine Menge von rund 17 kt an Beschlägen und rund 29 kt Stahlarmierungen bilanziert [1]. Eine Vorsortierung der Legierungen durch technische Systeme wie Röntgenfluoreszenz (XRF), Röntgentransmission (XRT) oder Laserinduzierte Plasmaspektroskopie (LIPS) wäre für ein funktionales Recycling grundsätzlich möglich. Dennoch ist die o. g. genannte anfallende Menge für ein funktionales Recycling zu gering, da die Beschläge nicht an einem zentralen Ort anfallen und dort sortiert werden können [19].

Wiederverwendung von Fenstern

Eine Wiederverwendung von Fenstern und deren Komponenten wird in der Praxis bisher selten realisiert. Die regelmäßig steigenden Anforderungen an Fenster(komponenten), strikte Zeitpläne beim Rückbau sowie fehlende Informationen und Dokumentationen über das Fenster im Bestand behindern oft eine Wiederverwendung.

2.2. Betrachtung ökobilanzieller Faktoren

Für die Betrachtung von ökobilanziellen Faktoren zur Bewertung der Klima- und Ressourcenrelevanz wurden die im Durchschnitt modellierten Kunststofffenster, Aluminiumfenster und Holzfenster aus der Massenbilanzierung der Conversio GmbH übernommen. Die als Datengrundlage verwendeten EPDs und Datensätze sind überwiegend nach der DIN EN 15804+A2, in vereinzelt Ausnahmen auch nach der DIN EN 15804+A1 erstellt. Je nach Verfügbarkeit wurden generische, durchschnittliche oder herstellerspezifische Datensätze verwendet. Der Einsatz von Sekundärstoffen wurde gemäß den Angaben in den Datensätzen berücksichtigt.

Die Abbildung 5 zeigt die Massenanteile der modellierten Kunststofffenster, Aluminiumfenster und Holzfenster.

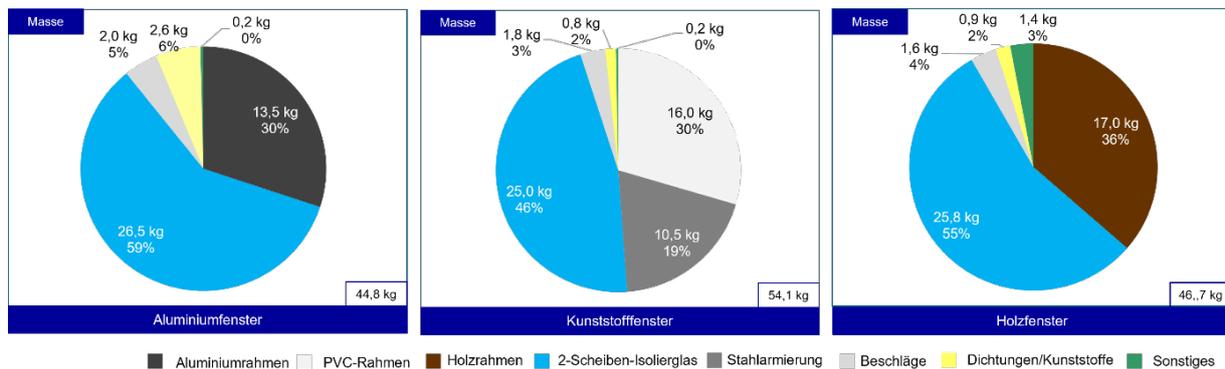


Abbildung 5: Massenanteile der modellierten Referenzfenster (Berechnungen nach [1], eigene Darstellung)

Aus der ökologischen Bilanzierung resultiert, dass die Herstellungsphasen (A1-A3) beim Kunststoff-, Aluminium-, Holzfenster den größten Einfluss auf den Lebenszyklus des jeweiligen Fensters in den drei Indikatoren haben. Eine detaillierte Betrachtung der Fensterkomponenten hinsichtlich dieser Phasen zeigt (s. Abbildung 6), dass insbesondere der reine PVC-Rahmen (ohne Stahlarmierung) und der reine Aluminiumrahmen (ohne Isoliersteg) maßgeblich zur Bilanz des jeweiligen Fensters beitragen. Aufgrund seines hohen Massenanteils hat auch das Glas einen erheblichen Einfluss. Beim Holzrahmen wird im Hinblick auf das GWP der biogene CO₂-Speichereffekt negativ angerechnet, dafür wird die enthaltene Energie als Primärenergiebedarf angesetzt. Beschläge weisen trotz ihres geringen Masseanteils einen vergleichsweise hohen Frischwasserverbrauch auf.

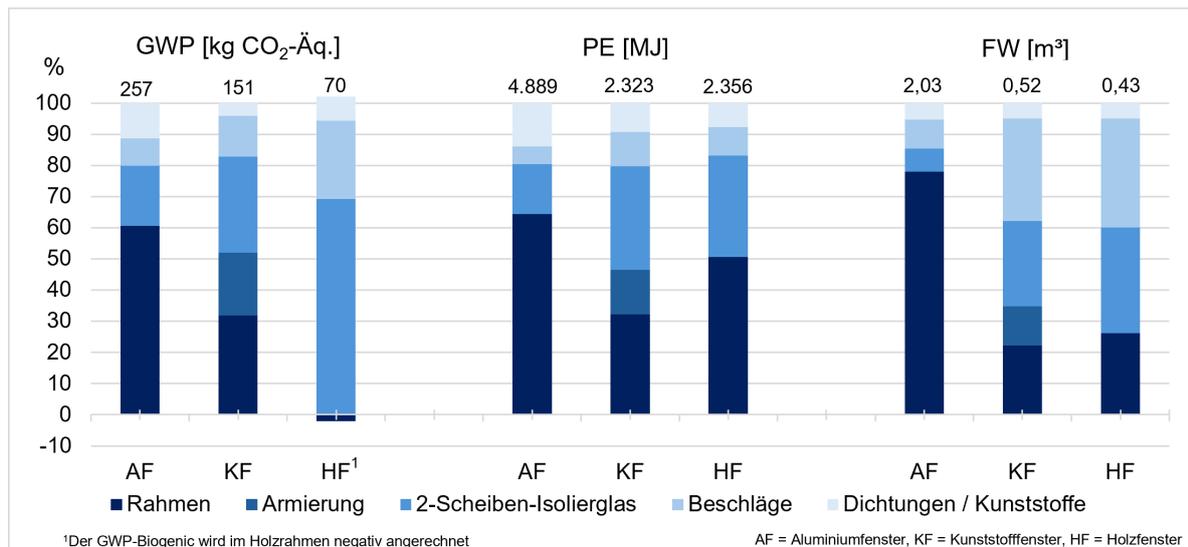


Abbildung 6: Anteile der Fensterkomponenten bei den Indikatoren GWP, Gesamtprimärenergiebedarf (PE) und Frischwasserverbrauch (FW) in den Herstellungsphasen (A1-A3) (Eigene Berechnungen)

Das Holzfenster zeigt in den Herstellungsphasen (A1-A3) im Vergleich zu Kunststoff- und Aluminiumfenstern ein geringeres GWP. In den späteren Lebenszyklusphasen hat jedoch die Abfallbehandlung (C3) als Teil der Entsorgung einen erheblichen Einfluss auf den Indikator GWP für das Holzfenster (s. Anhang).

Im Rahmen der Studie wurde der Einfluss von Sekundärmaterial für den Rahmen und das Glas hinsichtlich des Parameters GWP in den Herstellungsphasen (A1-A3) analysiert. PVC-Rahmen enthalten bereits standardmäßig einen Rezyklatgehalt von etwa 20 % [20], Aluminiumrahmen von etwa 30 - 40 % [8], während Holzrahmen i. d. R. keinen Rezyklatanteil aufweisen. Bei der Produktion von Flachglas werden etwa 20 - 25 % Glasscherben eingesetzt, jedoch handelt es sich dabei überwiegend um Eigenscherven aus dem Floatglasprozess und um Pre-Consumer-Scherben [16]. Die Abbildung 7 zeigt den Einfluss von einem erhöhten Sekundärmaterialeinsatz im Aluminiumrahmen, PVC-Rahmen und im Glas. Der verstärkte Einsatz von Sekundäraluminium und PVC-Rezyklat führt zu erheblichen CO₂-Einsparungen für das gesamte Fenster, während der Einsatz von Sekundärglas im Vergleich dazu nur geringere CO₂-Einsparungen bewirkt. Die hier dargestellten Bilanzierungen berücksichtigen Einsparpotenziale pro Kilogramm Sekundärmaterial, Faktoren wie CO₂-Einsparungen z. B. durch Änderungen im Herstellungsprozess oder den Umstieg auf alternative Energieträger, etc. bleiben unberücksichtigt.

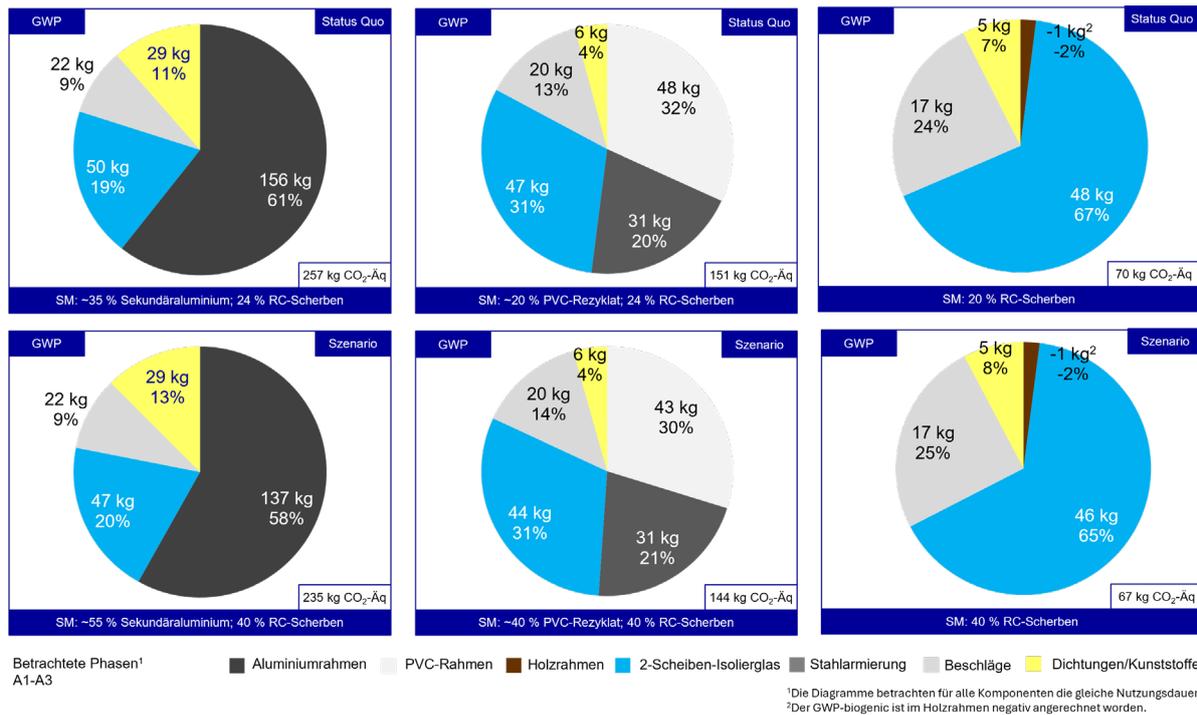


Abbildung 7: Einfluss des Einsatzes von Sekundärmaterial auf das GWP (Eigene Berechnungen)

Für eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse sind klare Angaben zu den Anteilen beim Einsatz von Sekundärmaterial erforderlich. Diese waren jedoch nicht immer den vorliegenden Datengrundlagen zu entnehmen. Es ist zu beachten, dass die zugrundeliegenden Referenzfenster aus der Massenbilanzierung der Conversio GmbH [1] den heute durchschnittlich recycelten Altfenstern entsprechen. Neue Fenster erfordern üblicherweise mehr Materialeinsatz und es können sich abweichende Materialanteile der jeweiligen Komponenten ergeben.

Laut Norm ist es nicht zulässig, Vorteile oder Belastungen durch Wiederverwendung, Rückgewinnung oder Recycling eines Produkts mit den Aufwendungen am Anfang des Lebenszyklus zu verrechnen und als einen einzigen Wert darzustellen. Stattdessen werden diese Potenziale in einem separaten Modul D abgebildet [21]. Dieses sollte als ergänzende Information zur Bewertung berücksichtigt werden.



3. Optimierungspotenziale

3.1. SWOT-Analyse zur Bewertung der Logistik, Erfassung und Verwertung

Die Analyse hinsichtlich Stärken (Strengths), Schwächen (Weakness), Chancen (Opportunities) und Risiken (Threats) zur Bewertung der Logistik, Erfassung und Verwertung erfolgt für das Fenster allgemein, den Aluminium-, Kunststoff-, Holzrahmen, das Flachglas, sowie für die Beschläge.

Tabelle 2: SWOT-Analyse für das Fenster allgemein

Stärken
<ul style="list-style-type: none"> • Ein Fenster lässt sich mit technischen Arbeitsmitteln gut aus dem Gebäude demontieren • Fenster stellen ein mengenrelevanten Stoffstrom dar (s. Studienstufe 1 [1])
Schwächen
<ul style="list-style-type: none"> • Die materialspezifische Struktur von Rücknahmesystemen (z. B. PVC, Aluminium) bei der Erfassung auf der Baustelle erschwert die Koordination für Abbruch- und Logistikunternehmen. Da diese nicht immer Mitglied aller relevanten Initiativen sind, wissen sie ggf. nicht, welcher Fenstertyp welchem Rücknahmesystem zugeführt werden muss. • Fenster werden im Gebäuderückbau oft nicht gesondert im Ausschreibe- und Vergabeverfahren aufgeführt, sodass für Abbruchunternehmen keine Nachweispflicht besteht, wie die Fenster auszubauen sind • Individuelle Produktmaße von Fenstern schränken eine Wiederverwendung ein
Chancen
<ul style="list-style-type: none"> • Standard-Fenstergrößen würden eine Wiederverwendung fördern • Anpassung des Produktdesign (demontagefreundlicher und zerlegbarer Fensterbau) • Ein Zusammenschluss der Rücknahmesysteme sowie eine materialübergreifende Sammlung könnte die Organisation für beteiligte Unternehmen erleichtern • Einführung neuer Geschäftsmodelle, etwa in Form von Leasing, Serviceangeboten oder organisierten Rücknahmesystemen können sowohl ökonomische Mehrwerte schaffen als auch eine Wiederverwendung der Materialien ermöglichen • Einführung von Nachweisen über Einsparungen, beispielsweise bei CO₂-Emissionen, für Bauherren, Planer, Abbruchunternehmen und Fensterbauer, etc.
Risiken
<ul style="list-style-type: none"> • Verbundwerkstoffe und unlösbare Verbindungen begrenzen oder verhindern die Recyclingfähigkeit • Beim Rückbau wird die Demontage ganzer Fenster aufgrund des höheren Zeit- und Personalaufwands für den Auftraggeber kostenintensiver sein als ein konventionelles Abbruchverfahren


Tabelle 3: SWOT-Analyse für den Aluminiumrahmen

Stärken
<ul style="list-style-type: none"> • Gute Recyclingfähigkeit von Aluminium; Aluminiumrahmen verfügen bereits über Rezyklatanteile von 30 - 40 % • hohe Werthaltigkeit des Materials • Vorhandene Rücknahmesysteme und etablierte Aufbereitungsinfrastruktur u. a. durch den A U F e. V.
Schwächen
<ul style="list-style-type: none"> • Herstellung von Aluminiumprofilen ist mit einem hohen Energiebedarf und GWP verbunden • Vorhandene Rücknahmesysteme sind noch nicht in allen Stakeholdergruppen etabliert
Chancen
<ul style="list-style-type: none"> • Vorhandene Netzwerke zur Förderung des Aluminiumrecyclings ausbauen • Gesteigerter Einsatz von Sekundärmaterial reduziert den Energieaufwand und das GWP (Eine Steigerung ist technisch möglich, aber z. Z. keine ausreichende Verfügbarkeit von hochwertigem Sekundäraluminium) • Das Recycling von Aluminium bietet einen ökonomischen Mehrwert, sodass die Anreize für eine Rückgewinnung steigen
Risiken
<ul style="list-style-type: none"> • Der hohe monetäre Wert von Aluminiumfenstern führt dazu, dass es direkt an Schrotthändler verkauft, in der Automobil- oder Elektrobranche verwertet oder ins Ausland exportiert wird • Eine Nennung des Rücknahmesystems in Vergabe- und Ausführungsprozess reicht nicht immer für eine Umsetzung aus, sondern hier sind Nachweise über die Verwertung mit dem System erforderlich

Tabelle 4: SWOT-Analyse für den Kunststoffrahmen

Stärken
<ul style="list-style-type: none"> • Gute Recyclingfähigkeit von PVC; PVC-Rahmen enthalten standardmäßig einen Rezyklatgehalt von 20 - 25 % • Vorhandene Rücknahmesysteme und etablierte Aufbereitungsinfrastruktur u. a. durch die Rewindo GmbH
Schwächen
<ul style="list-style-type: none"> • Cadmium- und Bleigehalte im Rezyklat aus Altfenstern (Aber Einsatz des PVC-Rezyklat durch Ausnahmeregelung nach REACH-Verordnung und nach Verordnung (EU) 2023/923 geregelt) • Sekundärmaterial wird derzeit nur im Rahmenkern eingesetzt • Vorhandene Rücknahmesysteme sind noch nicht in allen Stakeholdergruppen etabliert
Chancen
<ul style="list-style-type: none"> • Vorhandene Netzwerke zur Förderung des PVC-Recyclings ausbauen • Einsatz von höheren Anteilen an Sekundärmaterial (Eine Steigerung ist technisch möglich, aber z. Z. keine ausreichende Verfügbarkeit von hochwertigem Granulat) • Langfristig werden sich die Cadmium- und Bleigehalte im Fensterrahmen reduzieren
Risiken
<ul style="list-style-type: none"> • Die Cadmium- und Bleigehalte, die in älteren Fenstern noch enthalten sind, könnten die Akzeptanz von recyceltem Material beeinträchtigen • Neue PVC-Entwicklungen mit unterschiedlichen Zusammensetzungen (z. B. Additive, GFK, Verbundmaterialien) gelangen auf den Markt, erschweren jedoch die Recyclingfähigkeit von PVC • Eine Nennung des Rücknahmesystems in Vergabe- und Ausführungsprozess reicht nicht immer für eine Umsetzung aus, sondern hier sind Nachweise über die Verwertung mit dem System erforderlich


Tabelle 5: SWOT-Analyse für den Holzrahmen

Stärken
<ul style="list-style-type: none"> • Als nachwachsender Rohstoff weist die Herstellung von Holzrahmen aufgrund des biogenen CO₂-Speichereffekt ein niedriges GWP auf, während die im Holz gespeicherte Energie als erneuerbarer Primärenergiebedarf (PERT) ausgewiesen wird • Lackierte, schadstofffreie Holzprofile eines Holzaluminiumfensters fallen in Deutschland gemäß der AltholzV in die Altholzkategorie A II und können, ebenso wie die Aluminiumschale, recycelt werden • Einfache Instandsetzungsmaßnahmen durch Handwerksarbeiten in Bezug auf den Rahmen (z. B. Schleifen, Streichen) sind möglich
Schwächen
<ul style="list-style-type: none"> • Rahmenmaterial von Holzfenstern, die i. d. R. mit Holzschutzmitteln behandelt wurden, wird als Altholz der Kategorie IV eingestuft und darf in Deutschland laut AltholzV nicht stofflich verwertet werden
Chancen
<ul style="list-style-type: none"> • Der Holzschutz für Neufenster kann angepasst oder modifiziert werden (bspw. können thermisch behandelte Fensterrahmen den Einsatz von chemischem Holzschutz verringern) • Untersuchungen zur Behandlung von Holzfenstern ermöglichen evtl. eine rechtliche Verankerung einer stofflichen Verwertung • Verwertung von Altholz im Fensterbau
Risiken
<ul style="list-style-type: none"> • vereinzelte Hersteller von Holzschutzmitteln vermarkten derzeit schon „ökologische“ Holzschutzmittel, allerdings muss der Holzfensterbaubetrieb bei Verwendung dieser Holzschutzmittel den Kunden darauf hinweisen, dass das Produkt nicht den Holzschutz nach DIN 68 800 gewährleistet • Die Analyse zur Schadstoffbelastung und Einstufung für eine stoffliche Verwertung erfordert zusätzlichen Aufwand

Tabelle 6: SWOT-Analyse für das Flachglas

Stärken
<ul style="list-style-type: none"> • Gute Recyclingfähigkeit von Glas allgemein • Durch eine etablierte Aufbereitungsinfrastruktur werden Flachglasscherben verwertet
Schwächen
<ul style="list-style-type: none"> • Herstellung von Flachglas ist mit einem hohen Energiebedarf und GWP verbunden • In der Flachglasindustrie werden aufgrund der hohen Qualitätsanforderungen kaum Post-Consumer-Scherben eingesetzt • Die Entnahme und die separate Erfassung des Flachglases sind mit hohem Aufwand verbunden
Chancen
<ul style="list-style-type: none"> • Gesteigerter Einsatz von Sekundärmaterial reduziert den Energieaufwand und das GWP, wenn auch nur im geringen Maße – insbesondere im Vergleich zu PVC und Aluminium. (Eine Steigerung ist technisch möglich, aber z. Z. keine ausreichende Verfügbarkeit von hochwertigen Scherben) • Entwicklung von Aufbereitungstechniken zur zerstörungsfreien Entnahme der Glasscheibe, sodass diese sortenrein und sauber erfasst werden kann • Die Einführung eines Rücknahmesystems kann die Rahmenbedingungen für eine sortenreine Erfassung und entsprechende Logistik verbessern und Flachglasrecycling fördern.
Risiken
<ul style="list-style-type: none"> • Der Produktionsprozess von Flachglas stellt hohe Qualitätsanforderungen an Scherben • Die Qualität der Flachglasscherben ist abhängig von den Sammelprozessen • Bei gesteigertem Einsatz von Sekundärmaterial im Kunststoff- und Aluminiumrahmen, rückt das Flachglas verstärkt in die ökologische Betrachtung • Mittel- bis langfristige eingeschränkte Verfügbarkeit von Quarzsand [22]

**Tabelle 7: SWOT-Analyse für die Beschläge**

Stärken
<ul style="list-style-type: none">• Gute Recyclingfähigkeit von Metallen; Beschläge erhalten bereits relevante RC-Anteile• Durch eine etablierte Aufbereitungsinfrastruktur werden die Metalle verwertet
Schwächen
<ul style="list-style-type: none">• Herstellung von Beschlägen ist mit einem hohen Energiebedarf und GWP verbunden• Beschläge weisen eine hohe Legierungsvielfalt auf• Die anfallende Menge an Metallen aus Beschlägen ist für ein funktionales Recycling speziell für Beschläge zu gering
Chancen
<ul style="list-style-type: none">• Gesteigerter Einsatz von Sekundärmaterial reduziert den Energieaufwand und das GWP
Risiken
<ul style="list-style-type: none">• Fehlende Steuerungsmöglichkeiten für den speziellen Stoffstrom beim Recycling

3.2. Optimierungspotenziale und Handlungsempfehlungen

Auf Basis der ausgewerteten Erkenntnisse wurden u. a. folgende Optimierungsansätze abgeleitet, die dazu beitragen können, eine Kreislaufführung von Fenstern in der Praxis zu verbessern:

Zur Steigerung der Bekanntheit der Rücknahmesysteme (Rewindo GmbH, A|U|F e. V., etc.) sollten vorhandene Netzwerke ausgebaut werden. Die Einführung eines zentralen Rücknahmesystems für Glas könnte dazu beitragen, dass Glasscherben in hoher Qualität gesammelt werden. Die Sammlung sowie Aufbereitung müsste durch die gesamte Kette so gestaltet werden, dass die Scherben nicht verunreinigt werden, damit sie den Qualitätsanforderungen der Flachglasindustrie genügen. Damit die Verwertung über die Rücknahmesysteme in der Praxis gelingt, sollten die Fensterdemontage und die Rücknahmesysteme in Ausschreibungstexten und Leistungsverzeichnissen bei Sanierungen sowie Rückbauvorhaben verbindlich verankert werden. Die Rückgabe kann über einen Nachweis erfolgen, der den beteiligten Stakeholdern ausgehändigt wird. Eine materialübergreifende Bündelung der Rücknahmesysteme könnte die Organisation für beteiligte Unternehmen erleichtern. Ansprechpartner/innen könnten die Rückführung von Fenstern koordinieren und diese je nach Fensterart an die entsprechenden Rücknahmesysteme weiterleiten. Die Abbildung 8 zeigt einen optimierten Prozess zur Umsetzung einer zirkulären Wertschöpfung bei Altfenstern.

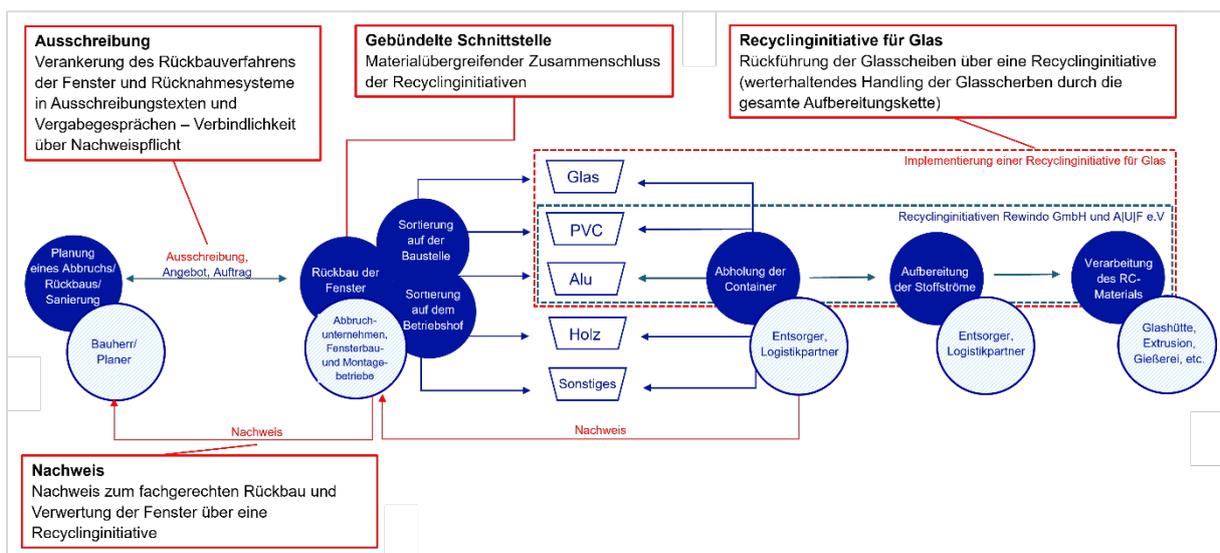


Abbildung 8: Optimierter Prozess zur Umsetzung einer zirkulären Wertschöpfung bei Altfenstern (Eigene Darstellung)

Ausgebaute Dachfenster können hingegen über den Dachdeckerhandel zentral erfasst, auf dem Betriebshof gesammelt und als größere Menge einer Aufbereitungsanlage zugeführt werden.

Für die Verwertung von Holzfensterrahmen sind die tatsächlichen Belastungen durch Holschutzmittel zu überprüfen (Datenmonitoring) und mit den Grenzwerten der Altholzkategorien der AltholzV zu vergleichen, um ggf. die Möglichkeit einer stofflichen Verwertung rechtlich zu verankern.



Ausblick

Im Rahmen der Stufe 2 der Studienreihe wurden die aktuellen Erfassung- und Logistikprozesse sowie die Verwertungswege für Altfenster und deren Komponenten analysiert. Eine Umfrage unter den relevanten Stakeholder entlang der Wertschöpfungskette von Fenstern lieferte Erkenntnisse über die Erfassung und den Umgang mit Altfenstern sowie über den Bekanntheitsgrad bestehender Recyclinginitiativen. Die Befragten identifizierten dabei praxisbezogene Hemmnisse und Defizite, zeigten jedoch auch konkrete Optimierungspotenziale auf.

Die Wertschöpfungskette von Altfenstern setzt bereits in der Planungsphase von Sanierungs- und Rückbaumaßnahmen an, wird jedoch dort bisher nicht ausreichend berücksichtigt. Während die Rücknahme von Altfenstern bei Sanierungen durch Fensterbau- und Montagebetriebe gängige Praxis ist, ist sie im Gebäuderückbau bisher kaum etabliert. Bestehende Recyclinginitiativen verfolgen zwar richtige Ansätze, sollten jedoch ihre Netzwerke erweitern, um Rohstoffe effizienter im Kreislauf zu halten. Ein wichtiger Aspekt ist hier die Verankerung des Rückbauverfahrens der Fenster und Rücknahmesysteme im Ausschreibungs- und Vergabeprozess. Die Verbindlichkeit erfolgt über eine Nachweispflicht.

Auf diesen Ergebnissen aufbauend, soll in Stufe 3 der Studienreihe eine praxisnahe Umsetzung erfolgen. Ziel ist es, den Recyclingprozess für Fenster und deren Komponenten in einem technisch umsetzbaren und wirtschaftlich machbaren Rahmen zu untersuchen. Ein weiterer Teil der Untersuchung soll die Entwicklung eines Ansatzes für einen Herstellerbezug sein. Die Voraussetzungen hierfür umfassen unter anderem eine Übersicht aller aktiven und ehemaligen Fensterhersteller, Absatzzahlen pro Hersteller für den deutschen Markt sowie eine herstellerbezogene Kennzeichnung der Fenster. Aufgrund der aktuellen unzureichenden Datenlage und unbekannter Variablen ist dies über den derzeitigen Altfensteranfall nicht möglich. In diesem Zusammenhang können zukünftig (digitale) Produktpässe von Fenstern ein hilfreiches Instrument darstellen.



Literaturverzeichnis

- [1] **Conversio Market & Strategy GmbH (2023)**: Abfallmengenszenario und Value Chain für Fenstersysteme in Deutschland, Mainaschaff, 2023
- [2] **Rewindo GmbH (2024)**: Kunststofffensterrecycling heißt Wertstoffe erhalten und die CO2-Belastung reduzieren, Rewindo GmbH, URL: <https://rewindo.de/>, Zugriff: 20.06.2024
- [3] **A|U|F e.V. (2023)**: Nachhaltigkeit und Verantwortung - Ökologie und Ökonomie - Eine Broschüre des A|U|F e.V. - Aluminium und Umwelt im Fenster- und Fassadenbau, Frankfurt am Main, 2023, URL: https://a-u-f.com/wp-content/uploads/2023/05/Imagebroschuere_AUF_2023_web.pdf, Zugriff: 27.06.2024
- [4] **A|U|F e.V. (2024)**: Über 200 Partner - Welche Unternehmen engagieren sich im A|U|F, A|U|F e.V., 20.06.2024, URL: <https://a-u-f.com/a-u-f/mitglieder-partner/#top>, Zugriff: 20.06.2024
- [5] **Rewindo GmbH (2020)**: Partner der Rewindo - Ihr Partner mit Zukunft für eine saubere Umwelt, Bonn, 2020
- [6] **Biotrans GmbH (2023)**: Fensterbau / Altfensterrecycling, Biotrans GmbH, 11.07.2023, URL: <https://www.biotrans-gmbh.de/fensterbau/>, Zugriff: 29.01.2025
- [7] **Conversio Market & Strategy GmbH (2024)**: Mengenszenario für Aluminiumschrotte aus dem Hochbaubereich in Deutschland 2023, Mainaschaff, 2024
- [8] **A|U|F e.V. (2021)**: A|U|F-Wertstoff-Studie - Der geschlossene Wertoffkreislauf für Aluminium-Altmaterial aus dem Hochbau, Frankfurt am Main, 2021
- [9] **Rewindo GmbH (2023)**: Kunststofffensterrecycling in Zahlen 2022, Bonn, 2023
- [10] **Moro, J. L.; Schlaich, J. (2021)**: Baukonstruktion - vom Prinzip zum Detail, 3. Auflage, Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, 2021; ISBN: 9783662641545
- [11] **Bräutigam, K.-R., et al. (2008)**: Ressourcen- und Abfallmanagement von Cadmium in Deutschland, Forschungszentrum Karlsruhe GmbH (Hrsg.), Karlsruhe, 2008
- [12] **Europäische Kommission (2023)**: VERORDNUNG (EG) Nr. 1907/2006 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 18. Dezember 2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH), zur Schaffung einer Europäischen Chemikalienagentur, zur Änderung der Richtlinie 1999/45/EG und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 793/93 des Rates, der Verordnung (EG) Nr. 1488/94 der Kommission, der Richtlinie 76/769/EWG des Rates sowie der Richtlinien 91/155/EWG, 93/67/EWG, 93/105/EG und 2000/21/EG der Kommission, Erstveröffentlichung: 18.12.2006, Fassung: 01.12.2023 ()
- [13] **Europäische Kommission (Hrsg.) (2023)**: VERORDNUNG (EU) 2023/923 DER KOMMISSION vom 3. Mai 2023 zur Änderung des Anhangs XVII der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates in Bezug auf Blei und seine Verbindungen in PVC, 2023
- [14] **Bundesregierung (D) (2020 (BGBl. I S. 1328))**: Verordnung über Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Altholz (Altholzverordnung - AltholzV), Erstveröffentlichung: 15.08.2020 (BGBl. I S. 3302), Fassung: 19.06.2020 (BGBl. I S. 1328) ()
- [15] **Umweltbundesamt (UBA)**: Flachglas - Factsheet, Umweltbundesamt (UBA), URL: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/3521/dokumente/factsheet_flachglas_fi_barrierefrei.pdf, Zugriff: 13.01.2025
- [16] **Müller, A. (2018)**: Baustoffrecycling, Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2018; ISBN: 978-3-658-22987-0
- [17] **Koppers, S. (2024)**: EPD und weitere Informationen, E-Mail, Mitteilung vom: 04.03.2024, Münster



[18] **Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU) (2024):** ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION - ARGE - The European Federation of Locks and Buildings Hardware Manufactures, Berlin, 02.04.2024

[19] **Kölking, M. (2024):** Legierungen, Münster

[20] **Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU) (2022):** UMWELT-PRODUKTDEKLARATION nach ISO 14025 und EN 15804+A2 - Kunststofffenster (1,23 m x 1,48 m) mit 2-Scheiben-Isolierglas, Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU), 2022

[21] **Figl, H., et al. (2019):** ÖKOBAUDAT - Grundlage für die Gebäudeökobilanzierung, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (Hrsg.), Bonn, 2019, URL: https://www.oekobaudat.de/fileadmin/downloads/0068G_BF_200106ms.pdf, Zugriff: 29.01.2025

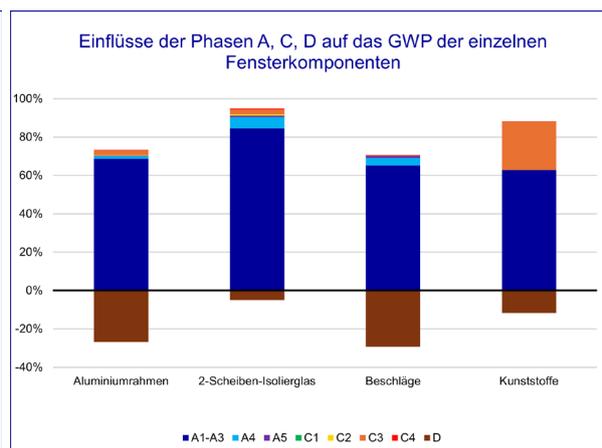
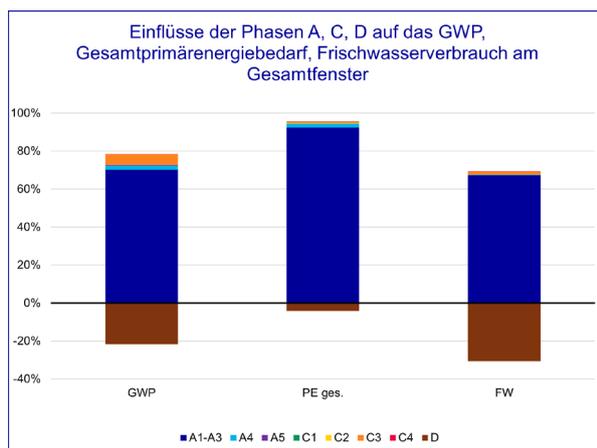
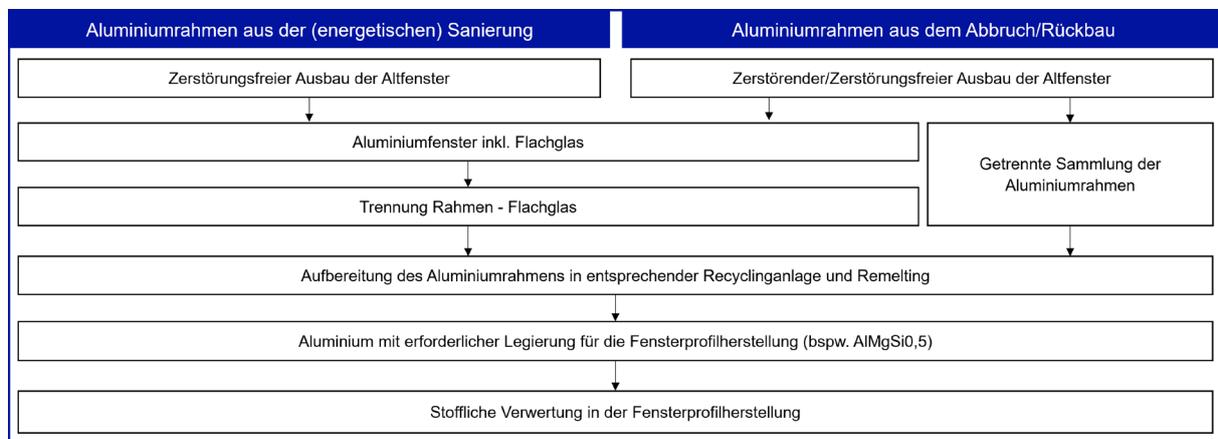
[22] **Elsner, H. (2018):** Sand - Auch in Deutschland knapp?, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), URL: https://www.bgr.bund.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/Commodity_Top_News/Rohstoffwirtschaft/56_sand.pdf?__blob=publicationFile&v=5, Zugriff: 30.01.2025



Anhang

Fensterart	Aluminiumfenster		Recyclingfähigkeit	<ul style="list-style-type: none"> Bereits Integration in eine Recyclinginitiative, A/U/F e.V.; deckt ~54% der anfallenden Aluminiumschrotte aus dem Hochbau ab Gute Recyclingfähigkeit bei gleichbleibender Qualität Aber nicht jedes Sekundärmaterial aus anderen Herkunftsbereichen qualitativ ausreichend für die Fensterbranche
Lebensdauer	~ 50 Jahre			Verwertung
Materialien	Fenster (Gew.-%): <ul style="list-style-type: none"> Aluminium (30,1%), Glas (59,2%), Beschläge (4,5%), Sonstiges¹ (6,3%) Aluminiumrahmen: <ul style="list-style-type: none"> AlMgSi0,5 		Hemmnisse	<ul style="list-style-type: none"> Konkurrenzmärkte für das Recyclingmaterial: Automobil- und Elektrobranche; Material wird nach Asien exportiert Nicht genug RC-Material, um den Bedarf zu decken Materialkombination (bspw. Kunststoffe) im Aluminiumrahmen
Marktentwicklungen	<ul style="list-style-type: none"> Aluminiumfenster primär in Nichtwohngebäuden 			

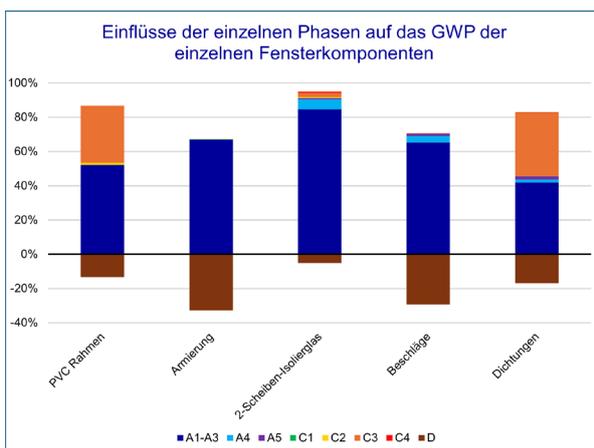
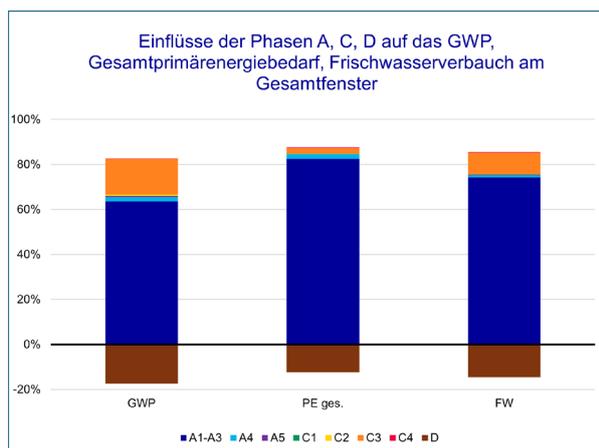
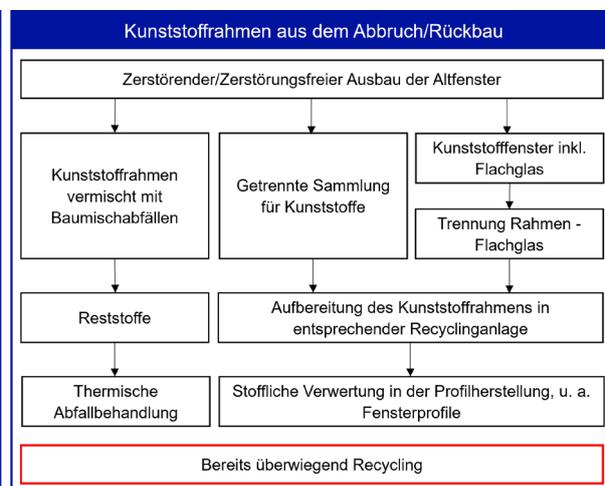
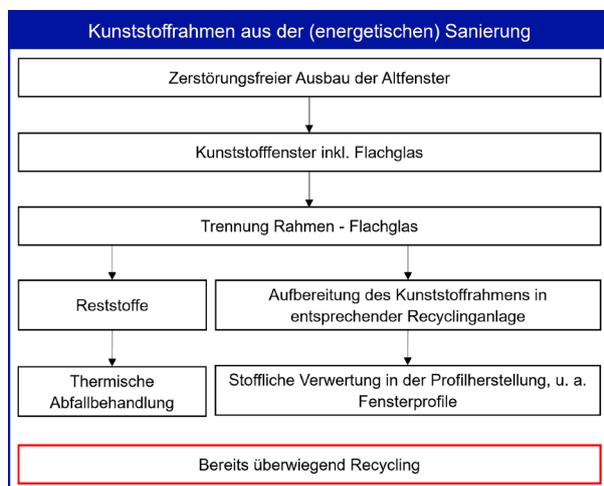
¹U.a. Dichtungen/Dichtungsmasse/Dichtungsprofile, Abstandhalter, Schrauben, Stahlnamierung/-verstärkung (z. B. bei Kunststofffenstern), Beschichtungen/Lacke/Farben etc.





Fensterart	Kunststofffenster		Verwertung	<ul style="list-style-type: none"> • Rezyklat für Fenster, Türen, Rohre, Bauprofile ... • Konjunkturell: Entsprechend nach Bausituation • Bei Fenstern überwiegend Profilkern aus PVC-Rezyklat • sortenreine Abfallfraktionen sind Voraussetzung
Lebensdauer	~ 50 Jahre		Wiederverwendung	<ul style="list-style-type: none"> • Früher: Wiederverwendung von Altfenstern in Plattenbauten in Osteuropa • Heute: Zurücklaufender Trend in Osteuropa aufgrund der energetischen Sanierung (Altfenster entsprechen nicht den energetischen Anforderungen)
Materialien	Fenster (Gew.-%): <ul style="list-style-type: none"> • PVC (29,5%), Glas (46,1%), Beschläge (3,3%), Sonstiges¹ (21,0%) Kunststoffrahmen: <ul style="list-style-type: none"> • PVC, (GFK), 		Hemmnisse	<ul style="list-style-type: none"> • Cadmium- und Bleigehalte in PVC-Rahmen nach der Richtlinie 91/338/EWG verboten (Aber Ausnahmeregelung für PVC-Rezyklat nach REACH-Verordnung und nach Verordnung (EU) 2023/923 von 2023 zunächst für 10 Jahre) • o. g. Thematik führt zu Vorhalten ggü. Sekundärmaterial • PVC mit unterschiedlicher Zusammensetzung (Additive, PVC-Compounds)
Marktentwicklungen	<ul style="list-style-type: none"> • Neuware aktuell kostengünstig • Konjunkturell: Entsprechend nach Bausituation 			
Recyclingfähigkeit	<ul style="list-style-type: none"> • Bereits Integration in eine Recyclinginitiative, Rewindo GmbH; deckt ~64 % des PVC-Altfensteranteils ab • Das PVC-Rahmenmaterial kann bis zu 7-mal recycelt werden 			

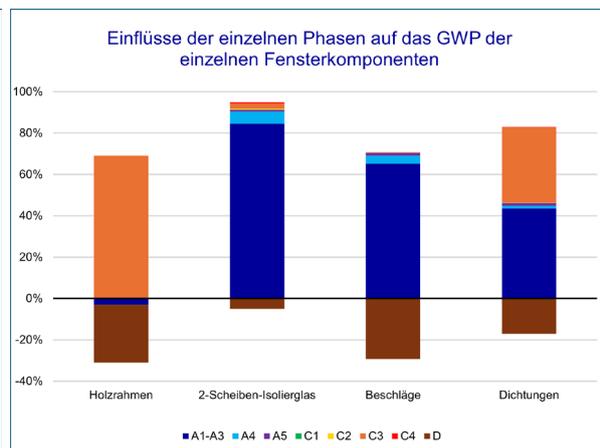
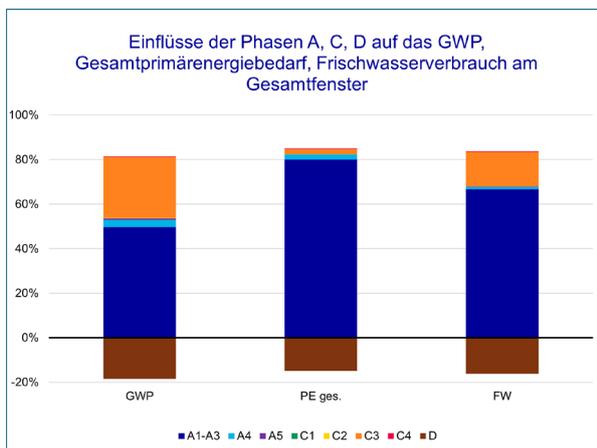
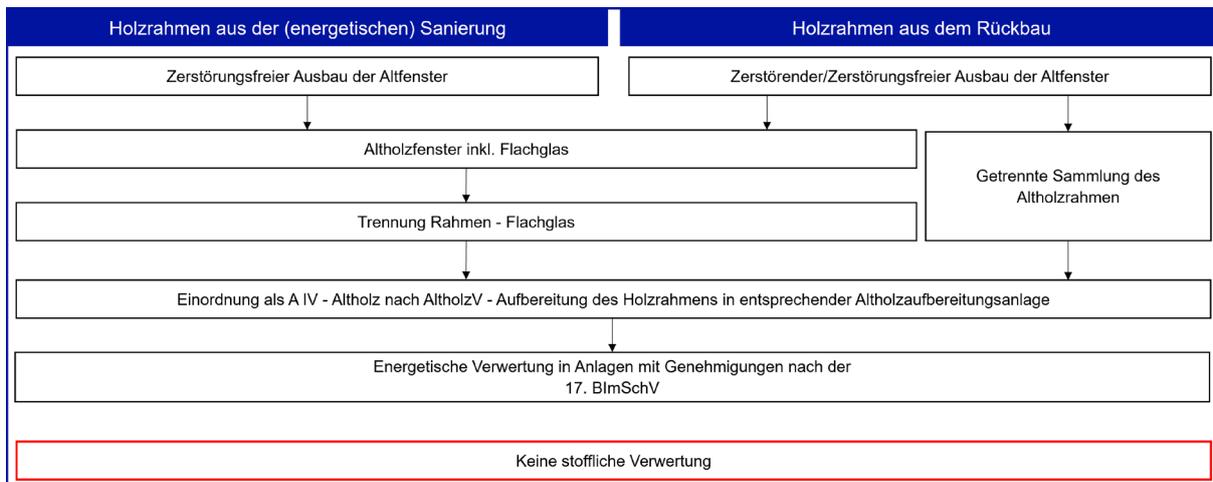
¹U.a. Dichtungen/Dichtungsmasse/Dichtungsprofile, Abstandhalter, Schrauben, Stahlarmierung/-verstärkung (z. B. bei Kunststofffenstern), Beschichtungen/Lacke/Farben etc.





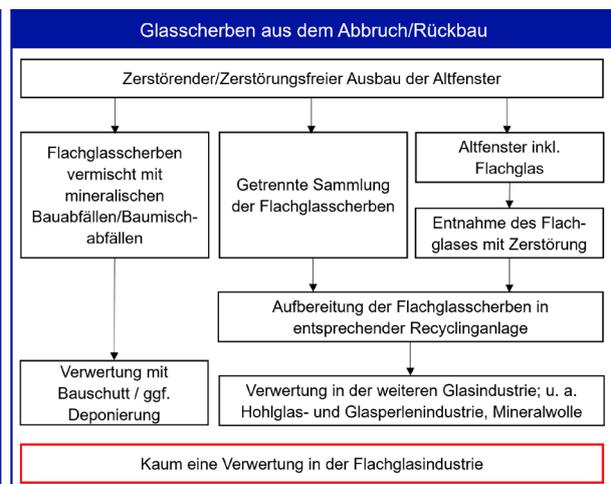
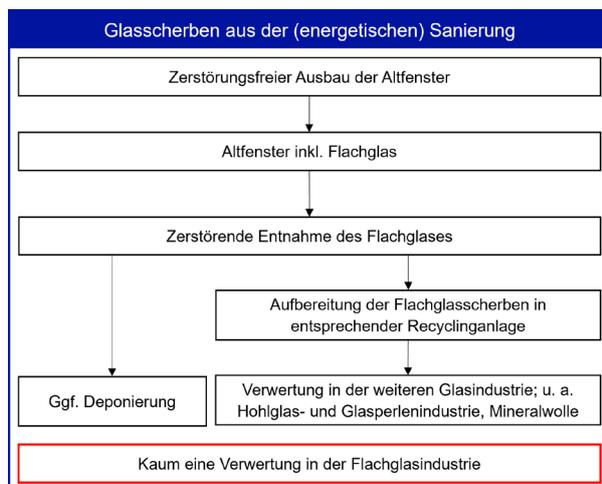
Fensterart	Holzfenster, Holzaluminiumfenster		<ul style="list-style-type: none"> Verwendung weniger im sozialen Wohnungsbau; mehr in Kitas und Schulen Regionale Unterschiede Holzaluminiumfenster: 5 - 6 % Marktanteil
Lebensdauer	~ 50 Jahre		
Materialien	<p>Holzfenster (Gew.-%):</p> <ul style="list-style-type: none"> Holz (36,4%), Glas (55,2%), Beschläge (3,4%), Sonstiges¹ (4,9%) <p>Holzaluminiumfenster (Gew.-%)</p> <ul style="list-style-type: none"> Holz (33,3%), Aluminium (9,8%), Glas (50,4%), Beschläge (3,1%), Sonstiges¹ (3,3%) <p>Holzrahmen:</p> <ul style="list-style-type: none"> Lokal unterschiedlich, bspw. Kiefer und Fichte und Meranti im Norden Keine Holzwerkstoffe 	<p>Verwertung</p> <ul style="list-style-type: none"> Derzeit keine stoffliche Verwertung des Holzrahmens, sondern energetische Verwertung Schadstofffreie Holzrahmen und Aluminiumschale beim Holzaluminiumrahmen recyclingfähig 	
Marktentwicklungen	<ul style="list-style-type: none"> Sehr kleinteilig, wenig große Systemhäuser Verwendung im gewerblichen und privaten Gebäudebau 	<p>Wiederverwendung</p> <ul style="list-style-type: none"> Ggf. durch Sanierung im Denkmalschutz Kanten der Blendrahmen und Flügel verleimt; möglicherweise schwer zu lösen Beschläge und Dichtungen i.d.R. trennbar Wiederverwendung der Rahmenteile unwirtschaftlich 	
		<p>Hemmnisse</p> <ul style="list-style-type: none"> Zuordnung A IV Holz → stoffliche Verwertung ausgeschlossen Holz mit Holzschutzmitteln wird z.z. generell der Kategorie A IV zugeordnet Keine Gewährleistung für biozidfreie Holzschutzmittel außerhalb DIN 68 800 	

¹U.a. Dichtungen/Dichtungsmasse/Dichtungsprofile, Abstandhalter, Schrauben, Stahlarmierung/-verstärkung (z. B. bei Kunststofffenstern), Beschichtungen/Lacke/Farben etc.





Werkstoff	Flachglas		Recyclingfähigkeit	<ul style="list-style-type: none"> Flachglasscherben werden recycelt und gelangen überwiegend in andere Glasindustrien, wie z. B. Hohlglas- und Glasperlenindustrie, Mineralwolle Geringe Verwertungsanteile der Glasscherben aus dem Post-Consumer-Material in die Flachglasherstellung
Lebensdauer	40-50 Jahre		Wiederverwendung	<ul style="list-style-type: none"> Bisher nur Forschungsthema aufgrund der energetischen Anforderungen an Fensterglas und da dieses bei Altfenstern nicht gegeben ist, werden Glasscherben kaum wiederverwendet
Materialien	Quarzsand, Soda, Kalk, Dolomit		Hemmnisse	<ul style="list-style-type: none"> Hohe Anforderungen bei der Produktion von Flachglas Scherben aus dem Fensterglas entsprechen derzeit nicht der Qualitätsstufe für eine Verwendung in der Flachglasproduktion Entnahme/ Erfassung des Flachglases/ der Scherben
Marktentwicklungen	<ul style="list-style-type: none"> Erhöhter Bedarf durch Zunahme von energetischen Sanierungsmaßnahmen bzw. zunehmender Dreifachverglasung 			





Werkstoff	Beschläge, Stahllamierungen		Verwertung	<ul style="list-style-type: none"> Maschinelle Sortierung in Aufbereitungsanlagen und Zuführung einer Verwertung Sekundärmetallanteil bei 30-40 %
Lebensdauer	~ 50 -100 Jahre		Wiederverwendung	<ul style="list-style-type: none"> Kaum eine Wiederverwendung, da Austausch von alten Beschlägen zeit- und kostenintensiv ist
Materialien	Stahl, Edelstahl, Messing, Kunststoff als Ummantelung der Beschläge		Hemmnisse	<ul style="list-style-type: none"> Keine geschlossene Kreislaufwirtschaft; Recyclingmaterial gelangt nicht unbedingt in die Beschlagindustrie zurück Legierungsunterschiede und -vielfalt
Marktentwicklungen	<ul style="list-style-type: none"> Konjunkturell: Entsprechend nach Bausituation Konstanz im Gewerbebau Fensterbeschläge v. a. auf dem Mittel- und südeuropäischen Markt Aber auch Export nach Asien (China) 			
Recyclingfähigkeit	<ul style="list-style-type: none"> Abhängig von der Legierungsart Hohe stoffliche Verwertung, aber noch keine Kreislaufwirtschaft 			

