



FH MÜNSTER
University of Applied Sciences



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

Kurzfassung Ergebnisbericht

Umsetzung der zirkulären Wertschöpfung bei Altfenstern

Auftraggeber:





Umsetzung der zirkulären Wertschöpfung bei Altfenstern

Der Bausektor ist eine der ressourcenintensivsten Branchen in Deutschland und verbraucht etwa 60 % der natürlichen Ressourcen [1]. Im Jahr 2022 fielen rund 400 Millionen Tonnen Abfall an, wovon rund 54 % Bau- und Abbruchabfälle ausmachten [2]. Angesichts von Materialknappheit, Lieferengpässen, steigenden Materialpreisen und erhöhten Entsorgungskosten besteht auch im Bausektor die Notwendigkeit, die Kreislaufwirtschaft weiter voranzubringen. Ein wesentliches Ziel hierbei ist es, geschlossene Materialkreisläufe zu etablieren, um Ressourcen effizienter zu nutzen und Abfälle zu minimieren. In diesem Kontext stellt auch das Bauteil Fenster einen bedeutenden Stoffstrom dar. Fenster bestehen aus unterschiedlichen Komponenten und Materialien: Rahmen (Kunststoff, Aluminium oder Holz), Glas, Beschläge und Dichtungen.

STUDIE ZUM VERWERTUNGSPOTENZIAL VON ALTFENSTERN

Die wesentlichen Verbände und Organisationen der Fensterbranche haben sich zusammengeschlossen, um in einer dreistufigen Studie ein Mengenszenario sowie das Abfall- und Recyclingpotenzial von Altfenstern in Deutschland zu analysieren.

In der Stufe 1 hat die Conversio GmbH Abfallmengenszenarien entwickelt. Demnach fielen im Jahr 2022 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 [3].

Im Weiteren wurde in Stufe 2 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.

1. Ergebnisse

1.1. Erfassung von Altfenstern

Altfenster fallen entweder beim Gebäuderückbau oder bei Sanierungen an. Im Rückbau werden Fenster oft von Abbruchunternehmen maschinell mit der Fassade abgebrochen, sodass das Glas zerstört und mit den mineralischen Fraktionen verwertet wird. 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 vorab aus dem Rahmen entfernt. Anschließend werden die befüllten Container in entsprechende Aufbereitungsanlagen verbracht.

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) [4]. Der A|U|F e. V. engagiert sich für die Rücknahme und das Recycling von Aluminiumprofilen aus dem Hochbau [5]. 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. Die Ergebnisse der Online-Umfrage zeigen, dass diese Systeme bei Fensterbau- und Montagebetrieben etabliert sind. Bei Architekten und Architektinnen, Projektentwickler/innen, Dachdeckerbetrieben und Abbruchunternehmen sind sie dagegen noch weitgehend unbekannt.

1.2. Verwertungswege

In Deutschland werden **Aluminiumprofile** 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 [6]. Der hohe monetäre Wert von Aluminiumfenstern führt jedoch häufig dazu, dass es direkt an Schrotthändler verkauft oder ins Ausland exportiert wird, wodurch es für den geschlossenen Recyclingkreislauf (Einsatz im Fenster- und Fassadenbereich) verloren geht.

Sortenrein erfasstes PVC aus **Kunststofffenstern** wird aufgrund der etablierten Aufbereitungsinfrastruktur und der Recyclinginitiative Rewindo GmbH werkstofflich verwertet. 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 [7]. Das Regranulat wird anschließend für neue Fensterprofile genutzt und aufgrund der Anforderungen an die Oberflächenqualität im Kern von Fensterrahmen eingesetzt [8]. Werden Kunststofffenster über den Baumischabfall entsorgt, erfolgt eine energetische Verwertung.

Das **Rahmenmaterial von Holzfenstern**, die i. d. R. mit Holzschutzmitteln behandelt wurden, wird in Deutschland als Altholz der Kategorie IV eingestuft und darf laut AltholzV nicht stofflich verwertet werden. Stattdessen erfolgt eine energetische Verwertung in Anlagen mit Genehmigung nach der 17. BImSchV [9]. Dagegen fallen die lackierten, schadstofffreien Holzprofile eines Holzaluminiumfensters in die Altholzkategorie A II und können, ebenso wie die Aluminiumschale, recycelt werden.

Das **Fensterglas** wird i. d. R. aus dem Fensterrahmen geschlagen. Geschieht dies auf der Rückbau-Baustelle, wird es 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.

Die **metallhaltigen Fraktionen**, wie Fensterbeschläge und die Armierung aus dem PVC-Rahmen, werden bei der Aufbereitung von Altfenstern aussortiert und stofflich verwertet. Dieses Recyclingmaterial gelangt jedoch nicht direkt in die Beschlagindustrie zurück.

Eine **Wiederverwendung** von Fenstern und deren Komponenten wird in der Praxis 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.

1.3. Ökobilanzielle Faktoren

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 Global Warming Potential (GWP), Primärenergiebedarf (PE) und Frischwasserverbrauch

(FW) haben. Eine detaillierte Betrachtung der Fensterkomponenten hinsichtlich dieser Phasen zeigt, 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.

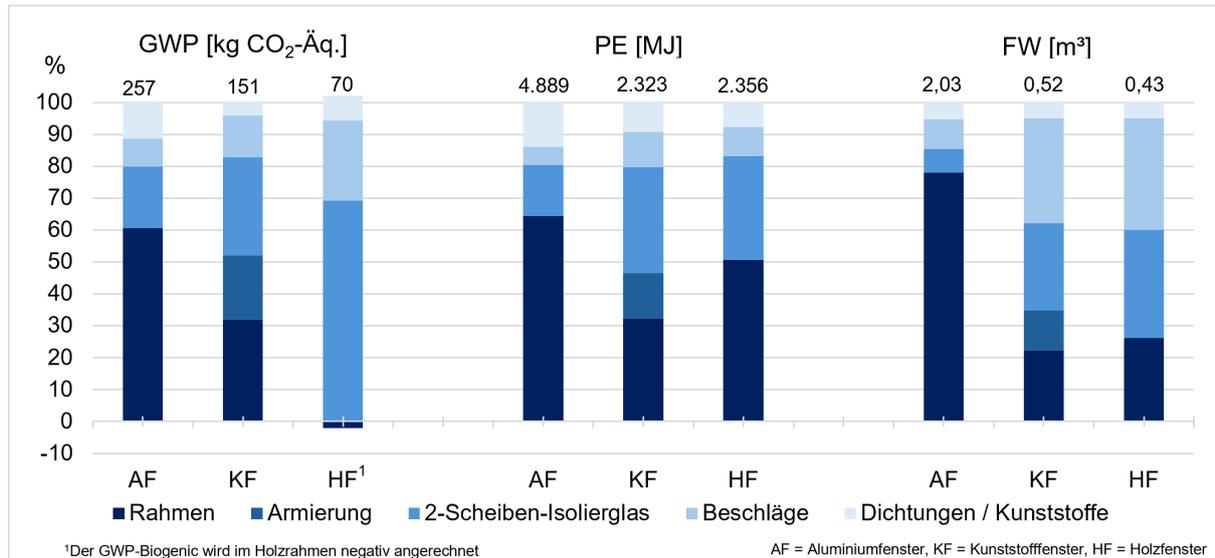


Abbildung 1: Anteile der Fensterkomponenten bei den Indikatoren GWP, Gesamtprimärenergiebedarf (PE) und Frischwasserverbrauch (FW) in den Herstellungsphasen (A1-A3) (Eigene Berechnungen)

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.

PVC-Rahmen enthalten bereits standardmäßig einen Rezyklatgehalt von 20 % [10], Aluminiumrahmen von etwa 30 - 40 % [11], 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 Pre-Consumer-Scherben [12]. Eine Erhöhung der Rezyklatanteile bei PVC und Aluminium kann deutliche Einsparungen bei den CO₂-Emissionen bewirken.

2. Datengrundlage zur Bearbeitung der Studie

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 Kunststofffenster, Aluminiumfenster und Holzfenster aus dem Mengenszenario der Conversio GmbH übernommen [3]. Als weitere Datengrundlage 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).

Zusätzlich wurde der Einfluss eines Sekundärmaterialeinsatzes für den Rahmen und das Glas hinsichtlich des Parameters GWP analysiert.

3. 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, sollte 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. Feste Ansprechpartner/innen könnten die Rückführung von Fenstern koordinieren und diese je nach Fensterart an die entsprechenden Rücknahmesysteme weiterleiten.

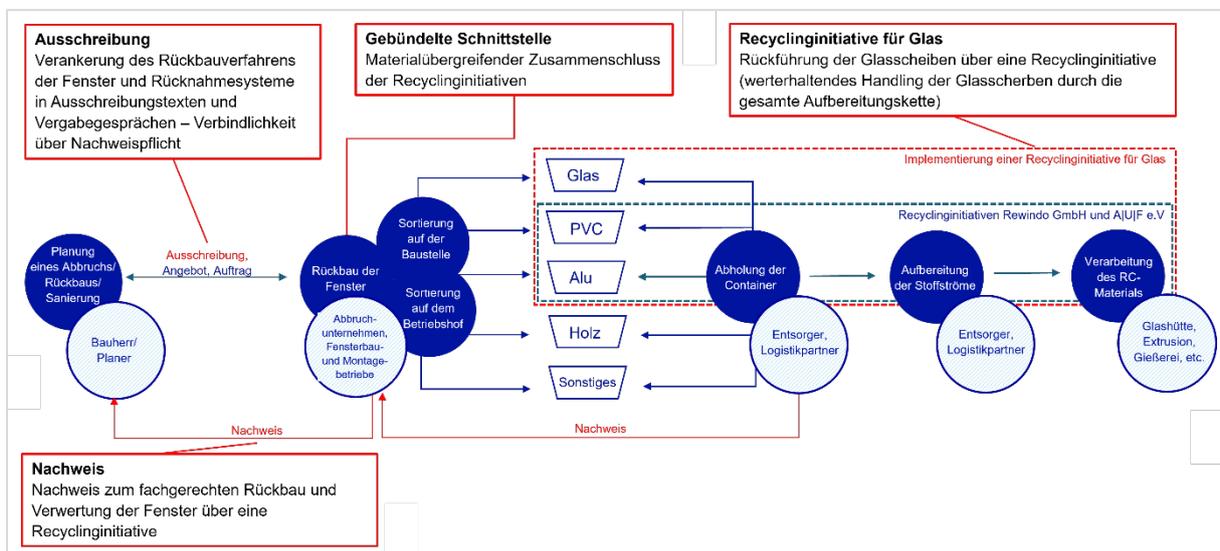


Abbildung 2: Optimierter Prozess zur Umsetzung einer zirkulären Wertschöpfung bei Altfenstern (Eigene Darstellung)

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.

4. Ausblick

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 Altfensterfall nicht möglich. In diesem Zusammenhang können zukünftig (digitale) Produktpässe von Fenstern ein hilfreiches Instrument darstellen.

Literaturverzeichnis

- [1] **Statistisches Bundesamt (Destatis) (2024)**: Umweltökonomische Gesamtrechnungen (UGR) Gesamtwirtschaftliches Materialkonto - Berichtszeitraum 1994-2022, Wiesbaden, 2024
- [2] **Statistisches Bundesamt (Destatis) (2024)**: Abfallbilanz 2022, Wiesbaden, 2024
- [3] **Conversio Market & Strategy GmbH (2023)**: Abfallmengenszenario und Value Chain für Fenstersysteme in Deutschland, Mainaschaff, 2023
- [4] **Rewindo GmbH (2024)**: Kunststofffensterrecycling heißt Wertstoffe erhalten und die CO₂-Belastung reduzieren, Rewindo GmbH, URL: <https://rewindo.de/>, Zugriff: 20.06.2024
- [5] **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
- [6] **Conversio Market & Strategy GmbH (2024)**: Mengenszenario für Aluminiumschrotte aus dem Hochbaubereich in Deutschland 2023, Mainaschaff, 2024
- [7] **Rewindo GmbH (2023)**: Kunststofffensterrecycling in Zahlen 2022, Bonn, 2023
- [8] **Moro, J. L.; Schlaich, J. (2021)**: Baukonstruktion - vom Prinzip zum Detail, 3. Auflage, Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, 2021; ISBN: 9783662641545
- [9] **Bundesregierung (D) (2020)**: Verordnung über Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Altholz (Altholzverordnung - AltholzV), Erstveröffentlichung: 15. Augst 2002 (BGBl. I S. 3302), Fassung: 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328)
- [10] **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
- [11] **A|U|F e.V. (2021)**: A|U|F-Wertstoff-Studie - Der geschlossene Wertstoffkreislauf für Aluminium-Altmaterial aus dem Hochbau, Frankfurt am Main, 2021
- [12] **Müller, A. (2018)**: Baustoffrecycling, Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2018; ISBN: 978-3-658-22987-0