

Ökobilanzen über Produkte der Gebäudehülle aus Aluminium

K. Buxmann

Zusammenfassung

Basierend auf neuen ISO-Normen, insbesondere ISO 14041, wurde eine Ökobilanz über Fassadenplatten durchgeführt. Dabei wurde vor allem auf unterschiedliche Recyclingszenarien eingegangen. Die Studie zeigte, dass hinsichtlich Umweltbelastung Aluminiumprodukte zumindest als gleichwertig mit Faserzement anzusehen sind.

Die ökologische Gleichwertigkeit von Aluminium für Fensterrahmen im Vergleich zu Materialien wie beispielsweise Holz, PVC und Stahl konnte durch eine weitere Studie nachgewiesen werden, die auf Recyclingszenarien im offenen Kreislauf basiert, welche die bestehende Situation widerspiegeln¹⁾.

Die Studien zeigten, dass es ökologisch von grosser Wichtigkeit ist, wenn die für Gebäude verwendeten Aluminiumkomponenten mit einer hohen Ausbeute und möglichst ohne Wertverlust recycelt werden können. Auf weitere Verbesserungsmöglichkeiten im Sinne einer recyclinggerechten Konstruktion und einer Verbesserung der Recyclingtechniken wird hingewiesen.

Dagegen ist es nur von geringer Bedeutung, wenn diese Bauteile einen hohen Rezyklatanteil besitzen. Es gibt keinen ökologischen Grund, in bestehende Recyclingkreisläufe einzugreifen, um Recycling im geschlossenen Kreislauf zu organisieren, beispielsweise Fensterrahmen zu Fensterrahmen.

Die Ergebnisse dieser Studien unterscheiden sich von denjenigen früherer Studien, bei denen Aluminium im Bausektor ökologisch oft ungünstiger bewertet wurde als alternative Materialien. Solche Studien, in denen zwar der Energieverbrauch für die Herstellung von Aluminium hervorgehoben, den ökologischen Vorteilen des Aluminium-Recyclings jedoch zu wenig Beachtung geschenkt wurde, hatten oft negative Reaktionen der Kunden und gelegentlich benachteiligende Aussagen der Behörden zur Folge, was den Vertrieb von Aluminium in der Bauindustrie beeinträchtigte.

1 Behandlung von Aluminium in Ökobilanzen - Prinzipien

1.1 Einführung

Der Grad der Marktdurchdringung von Aluminium bei einer vorgegebenen Anwendung ist von ökonomischen, ökologischen und sozialen Kriterien abhängig. Ökobilanzen tragen dazu bei, den Werkstoff Aluminium in der Umweltschutzdiskussion angemessen zu beurteilen.

Darüber hinaus verwendet die Aluminiumindustrie Ökobilanzen, um wesentliche Umweltaspekte ihrer Produkte zu erkennen und Möglichkeiten zu finden, die Ökoeffizienz dieser Produkte auf ihrem gesamten Lebensweg zu verbessern.

Die Kunden der Aluminiumindustrie, beispielsweise die Automobil- oder Bauindustrie, müssen bei der Konzeption ihrer Produkte zwischen verschiedenen Materialien, einschließlich dem Aluminium, wählen. Behörden verwenden Ökobilanzen oft als Basis für ökologisch motivierte Entscheidungen oder Vorschriften, welche den Aluminiummarkt wesentlich beeinträchtigen können.

In der Vergangenheit führten Ökobilanzen aufgrund unterschiedlicher methodischer Ansätze zu stark abweichenden Resultaten. In den Normen der Serie ISO 14040 wurden inzwischen gemeinsame Regeln festgelegt, welche allgemein angewandt werden sollten.

Im Folgenden wird versucht, die Festlegungen der ISO-Normen auf die Besonderheiten des Aluminiums anzuwenden: Aluminium ist zwar energieintensiv bei der Herstellung aus Bauxit, benötigt aber wenig Energie beim Recyclieren und ist als recyceltes Material dem Hüttenmetall meist gleichwertig.

1.2 Grundregeln bei der Erstellung von Ökobilanzen

Ökobilanzen, in denen für bestimmte Anwendungen Aluminium mit anderen Materialien verglichen wird, sollten sich an die Forderungen der internationalen Normen ISO 14040 – 14043 halten. Dabei legt ISO 14040 Prinzipien und allgemeine Anforderungen fest, während die übrigen Normen die Regeln beschreiben, die in den einzelnen Phasen einer Ökobilanz, nämlich

- der Festlegung des Ziels und des Umfangs (ISO 14041)
- der Sachbilanz (ISO 14041)
- der Wirkungsabschätzung (ISO 14042)
- der Auswertung (ISO 14043)

zu beachten sind.

Die Ökobilanz ist eine Technik, um die Umweltaspekte und mögliche Umweltauswirkungen auf dem gesamten Lebensweg eines Produktes abzuschätzen. Hierzu müssen verschiedene Prozesse, nämlich die Bereitstellung des Rohmetalls, die Produktherstellung, die Bereitstellung von Hilfsstoffen und Energie, die Transporte, die Nutzung sowie die Verwertung, das Recycling und die Entsorgung in einen Systemzusammenhang gebracht werden (Produktsystem).

Ein solches Produktsystem sollte idealerweise nur noch sogenannte Elementarflüsse als Inputs und als Outputs haben, d. h. nur noch Materialien und Energie, die ohne weitere menschliche Eingriffe aus der Natur in das System hineinfließen bzw. aus dem System in die Natur herausfließen.

In einer Ökobilanz, bei der Aluminium mit anderen Materialien verglichen wird, muss diese Vergleich auf derselben funktionellen Einheit basieren. Beispielsweise muss 1 kg Aluminium für eine Automobilkarosserie mit 1,5 - 2,5 kg Stahl verglichen werden, um dieselbe Funktion zu erfüllen.

Im Rahmen der Wirkungsabschätzung dürfen Daten, die Elementarflüsse kennzeichnen, nur dann zusammengefasst werden, wenn sie derselben Wirkungskategorie angehören. Die Zusammenfassung der Daten einer Wirkungskategorie zu einem Indikatorresultat erfolgt, nachdem sie jeweils mit einem Charakterisierungsfaktor, der die ökologische Auswirkung des jeweiligen Flusses beschreibt, multipliziert worden sind (s. auch Kapitel 2.5).

Eine quantitative Zusammenfassung der Indikatorresultate verschiedener Wirkungskategorien, beispielsweise die Berechnung einer einzelnen Bewertungsziffer für ein gesamtes Produktsystem, dürfen bei Studien für vergleichende Aussagen, die der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden, nicht verwendet werden. Hierzu zählen auch Studien, in denen Aluminium mit anderen Materialien verglichen wird..

Die ISO-Normen 14040 und 14043 verlangen eine sorgfältige Auswertung der Ergebnisse einer Ökobilanz-Studie. Hierzu können zusätzliche Informationen über die in der Studie verwendeten Daten erforderlich sein, beispielsweise die Datenqualität oder eine räumliche Differenzierung der potentiellen ökologischen Wirkungen.

1.3 Die Behandlung der Energieflüsse

Daten, welche Energie- und Stoffflüsse beschreiben, sollten nicht aufaddiert werden, wenn unterschiedliche potentielle ökologischer Wirkungen vermutet werden müssen. Eine "kumulative Energie", die als die Summe der erneuerbaren Energie, z. B. Wasserkraft, und der nicht-erneuerbaren fossilen Energie verstanden wird, ergibt ökologisch gesehen keinen Sinn. Statt dessen müssen, wie bereits oben beschrieben, im Rahmen der Sachbilanz die Elementarflussdaten aus den Energieflussdaten ermittelt werden.

Beispielsweise ist der Elektrizitätsverbrauch kein Elementarfluss, weil die Elektrizität nicht unmittelbar aus der Natur kommt, sondern aus der Steckdose bzw. dem Kraftwerk. Elementarflüsse sind vielmehr die fossilen Ressourcen, die ausgebeutet werden müssen, damit das Elektrizitätswerk eine gegebene Menge an Elektrizität bereitstellen kann, gemessen in Massen- oder Energieeinheiten.

Ebenso muss auch die Umweltbelastung der Brennstoffversorgung (*precombustion*) in das System einbezogen werden.

Die Daten bezüglich Ausbeutung der verschiedenartigen fossilen Energieressourcen, gemessen in Energieeinheiten, können im Rahmen der Wirkungsabschätzung der Wirkungskategorie "Ausbeutung von Energieressourcen" zugeordnet und dann zu einem Indikatorresultat "Gesamt-Energieinhalt der

ausgebeuteten Energieressourcen" aufaggregiert werden, weil hier eine Wirkungskategorie mit einem einheitlichen Wirkungsmechanismus vorliegt.

Elementarflussdaten, welche erneuerbare Energieflüsse beschreiben, beispielsweise Sonneneinstrahlung, Wasser- oder Windenergie, können dagegen nicht einfach der Wirkungskategorie "Ausbeutung von Energieressourcen" zugeschlagen werden. Überhaupt dürfte es kaum möglich sein, unter Einhaltung der Forderungen von ISO 14042 eine Wirkungskategorie einzuführen und zu rechtfertigen, welche die Elementarflüsse bei der Nutzung sowohl von erneuerbarer als auch von fossiler Energie, also Ausbeutung von Energieressourcen einerseits und Sonnen- Wind- und Wasserenergie andererseits umfasst.

1.4 Behandlung des Recyclings

1.4.1 Allgemeines

In den meisten Fällen, in denen Aluminium zur Anwendung kommt, wird dieses nicht verbraucht sondern genutzt. Aluminiumprodukte, die in Europa für Bauzwecke verkauft worden sind, über 1,6 Mio. Tonnen, werden nicht wie Holz oder Beton verbraucht, sondern sie werden vielmehr ausgeliehen, um nach dem Recycling an nachfolgende Verwender als *Aluminium für zukünftige Generationen* weitergegeben zu werden.

Auf die Lebensdauer eines Aluminiumproduktes trifft deshalb nicht die Bezeichnung "von der Wiege bis zur Bahre" zu, sondern eher "von der Wiege bis zum Recycling" oder "vom Recycling zum Recycling". Dies bedeutet, dass das "Leben" eines Aluminiumproduktes im Allgemeinen endet, wenn das rezyklierte Aluminium in einer für ein neues Aluminiumprodukt verwendbaren Form, z.B. als Aluminiumbarren, zur Verfügung steht. Das Leben des Aluminiums als Material ist dann aber noch lange nicht beendet.

1.4.2 Recycling im Sinne des geschlossenen Kreislaufs nach ISO 14041 – das Substitutionsverfahren

Die ISO-Norm 14041 verlangt, dass Recycling in Ökobilanzen als ein Allokationsproblem behandelt wird und legt nahe, die durch die Rohmaterialgewinnung und die Entsorgungsprozesse verursachten Umweltbelastungen zwischen dem untersuchten Produkt und dem Produkt, welches das daraus rezyklierte Aluminium verwendet, gerecht aufzuteilen.

Wenn Aluminium nach seinem Gebrauch zu sekundärem Rohmaterial rezykliert wird, das dieselben inhärenten Eigenschaften wie Primäraluminium besitzt, dann sieht die Norm die Systemerweiterung im Sinne des Substitutionsverfahren als die bevorzugte Option vor. Dies ist auch dann möglich, wenn das rezyklierte Metall für ein Produkt verwendet wird, das verschieden ist von dem Produkt, aus dem es wiedergewonnen wurde. Die Norm spricht dann vom Recyclingansatz im Sinne des geschlossenen Kreislaufs.

Die Systemerweiterung erfolgt dadurch, dass man alle Prozessschritte des Recyclings in das betrachtete Produktsystem aufnimmt, bis ein sekundäres Rohmetall entsteht, welches dieselben inhärenten Eigenschaften besitzt wie das primäre Rohmetall. Dieses sekundäre Rohmetall kann dann das primäre Rohmetall substituieren, d. h. von ihm subtrahiert werden.

Wenn beispielsweise 100 kg Primäraluminium für ein Produkt verwendet wird und nach Wiederverwertung und Umschmelzen 80 kg umgeschmolzenes Aluminium (mit denselben inhärenten Eigenschaften wie Primäraluminium) aus diesem Produkt rezykliert werden kann, dann können diese 80 kg eine identische Menge an Primäraluminium substituieren. Dies bedeutet, dass die durch die Herstellung entstehenden Umweltbelastungen nur für die restlichen 20 kg Primäraluminium, zusammen mit den sich aus der Wiederverwertung ergebenden Belastungen, diesem Produkt zugerechnet werden müssen.

Die in diesem Beispiel genannten 20 kg repräsentieren die Verluste aus der gesamten Recyclingkette, die vorwiegend beim Zerlegen, Schreddern oder Sortieren und Umschmelzen entstehen. Man kann hier auch vom "Aluminiumverbrauch des Produktsystems" von 20 kg bei einem Primäraluminiumeinsatz von 100 kg sprechen.

1.4.3 Recycling im Sinne des offenen Kreislaufs - das wertbereinigte Substitutionsverfahren

Im Gegensatz zu Materialien wie Holz, Papier, Kunststoff oder Beton besteht Aluminium aus Atomen mit einem metallischen Gitter. Deshalb werden die inhärenten Eigenschaften von Reinaluminium durch das reine Umschmelzen nicht verändert. Eine Veränderung der inhärenten Eigenschaften kann jedoch stattfinden, wenn metallische Verunreinigungen durch das Umschmelzen von unzureichend sortiertem Schrott eingeschleppt werden. Sie liegt aber auch schon vor, wenn man die chemische Zusammensetzung des rezyklierten Metalls durch Auflegieren absichtlich geändert hat. In diesem Falle ist der Ansatz des Recyclings im offenen Kreislauf angemessen.

Beim Recycling im offenen Kreislauf kann die in 1.4.2 beschriebene Substitutionsmethode nur angewendet werden, nachdem der Wert der umgeschmolzenen Aluminiumbarren, die durch die Wiederverwertung am Ende der Lebensdauer des Produktes erhalten werden, und das Umschmelzen selbst berücksichtigt worden sind. In solchen Fällen kann eine wertbereinigte Substitution vorgenommen werden.

Wenn beim Recycling im offenen Kreislauf der Wert der umgeschmolzenen Aluminiumbarren, die durch die Wiederverwertung am Ende der Lebensdauer des Produktes erhalten werden, dem Wert des Primäraluminiums entspricht, ist eine Wertbereinigung nicht erforderlich. In diesem Falle kann die Substitution wie bei gleichen inhärenten Eigenschaften erfolgen.

Ist der Wert der durch das Rezyklieren erhaltenen umgeschmolzenen Aluminiumbarren geringer als der Wert des Primäraluminiums, dann ist eine Wertbereinigung erforderlich. Wenn z.B. 100 kg Primäraluminium für ein Produkt verwendet werden und 80 kg umgeschmolzenes Aluminium, welches einem Wert von 90 % des Wertes der Primärmetallbarren entspricht, aus diesem Produkt rezykliert werden, dann können diese 80 kg eine Menge an Primärmetall von $80\text{kg} \times 0,9 = 72\text{ kg}$ ersetzen. Dies bedeutet, dass die durch die Herstellung entstehenden Umweltbelastungen für die restlichen 28 kg Primäraluminium zu dem in der Studie untersuchten Produkt hinzugerechnet werden müssen. Das Produktsystem verbraucht dann 28 kg Primäraluminiumeinheiten.

Verglichen mit zahlreichen anderen Metallen verfügt Aluminium über ausgezeichnete Eigenschaften, selbst wenn es beträchtliche Mengen an metallischen Verunreinigungen enthält. Aluminium mit Fremdstoffen von 1% Fe, 2% Cu und 1% Zn wird international mit einem Preisabschlag gegenüber Primäraluminium von lediglich 10% gehandelt, da dieses Material für das Druckgießen begehrt ist.

1.4.4 Produkte mit langer Lebensdauer

Die Substitutionsmethode für das Recycling gilt für jede Lebensdauer eines Produktes, also nicht nur für Aluminium Dosen, sondern auch für Aluminium, das in Gebäuden eingesetzt wird. Wegen der hohen Korrosionsbeständigkeit von Aluminium verfügen Aluminiumprodukte oft über eine lange Lebensdauer. Diese kann durch spezielle Maßnahmen des Korrosionsschutzes noch erhöht werden. Solche Produkte sollten in Ökobilanz-Studien nicht "bestraft" werden, indem man hier Recyclinggutschriften entsprechend der oben genannten Substitutionsmethode schmälert oder gar verweigert.

Der Ungewissheit bezüglich Recyclingausbeuten und Recyclingtechniken für langlebige Aluminiumprodukte in ferner Zukunft kann man damit Rechnung tragen, dass man unterschiedliche Recyclingszenarien - unter Einbeziehung der dem gegenwärtigen Stand der Technik entsprechenden Situation - in Form von Sensitivitätsanalysen anwendet.

1.4.5 Behandlung von Aluminiumprodukten, für die rezykliertes Aluminium verwendet wird.

ISO 14041 verlangt, dass die Allokationsmethoden zur Behandlung von Flüssen auf der Inputseite und der Outputseite eines Produktsystems gleich sein sollen. Dementsprechend müssen die Spielregeln, wie rezykliertes Aluminium, welches für ein Produkt verwendet werden soll, gleich sein wie die Regeln, nach denen rezykliertes Aluminium, welches ein Produktsystem verlässt, behandelt werden muss. Wenn das wertbereinigte Substitutionsprinzip für rezykliertes Aluminium auf der Outputseite verwendet wird, dann muss in entsprechender Weise auch der Wert des rezyklierten Aluminiums auf der Inputseite berücksichtigt werden.

Wenn beispielsweise 100 kg rezykliertes Aluminium das Produktsystem verlassen und 100 kg rezykliertes Aluminium mit gleichen inhärenten Eigenschaften für dieses Produkt verwendet werden, also in das System eintreten, dann sollten die Umweltbelastungen dieser beiden Metallflüsse als gleich angesehen werden und sich gegenseitig aufheben. Dies gilt auch dann, wenn man über die Herkunft des verwendeten rezyklierten Metalls nichts weiss.

Wenn 100 kg rezykliertes Aluminium mit demselben Wert wie Hüttenaluminium für ein Produkt verwendet werden, dann müssen diesem Produkt die Umweltbelastungen für die Herstellung von 100 kg Hüttenaluminium angerechnet werden. Recyclinggutschriften sind von diesen Lasten wiederum abzuziehen. Wenn dagegen diese 100 kg an rezykliertem Aluminium nur 90 % des Wertes des Hüttenaluminiums besitzen, dann müssen diesem Produkt die Umweltbelastungen für die Herstellung von nur 90 kg Hüttenaluminium angerechnet werden.

1.4.6 Der Ansatz bezüglich des Gehalts an rezykliertem Material (Cut-off-Methode)

In bestehenden Ökobilanzen wird das Recycling eines Produktes häufig nicht in Betracht gezogen. Auf der Output-Seite wird dann für das Recycling keine Gutschrift erteilt, selbst wenn es sich um ein Recycling im

geschlossenen Kreislauf handelt. Recyclinggutschriften werden nur auf der Input-Seite vergeben, wenn das Aluminiumprodukt eine gewisse Menge an rezykliertem Aluminium enthält. (Cut-off-Methode, Typ I)

Andere Ökobilanzen vergeben Recyclinggutschriften nach dem Substitutionsprinzip nur dann, wenn der Ansatz des Recyclings im geschlossenen Kreislauf angewandt werden kann. Bei einem Recycling im offenen Kreislauf wird das Recycling unberücksichtigt gelassen. Außerdem werden Recyclinggutschriften auf der Input-Seite vergeben, wenn das Aluminiumprodukt eine gewisse Menge an rezykliertem Aluminium enthält. (Cut-off-Methode, Typ II)

1.4.7 Die Cut-off-Methode im Lichte von ISO 14041

In ISO 14041 wird die Nichtberücksichtigung des Recyclings als Methode zur Allokationsvermeidung a priori nicht akzeptiert. Die Norm verlangt vielmehr, dass klare und plausible Grundsätze, unter denen gewisse Teilprozesse eines Produktsystems vernachlässigt werden können (Abschneidekriterien) in der Phase I der Ökobilanz, der Festlegung des Zieles und des Umfangs, aufgestellt werden müssen.

Das Recycling darf danach im allgemeinen vernachlässigt werden,

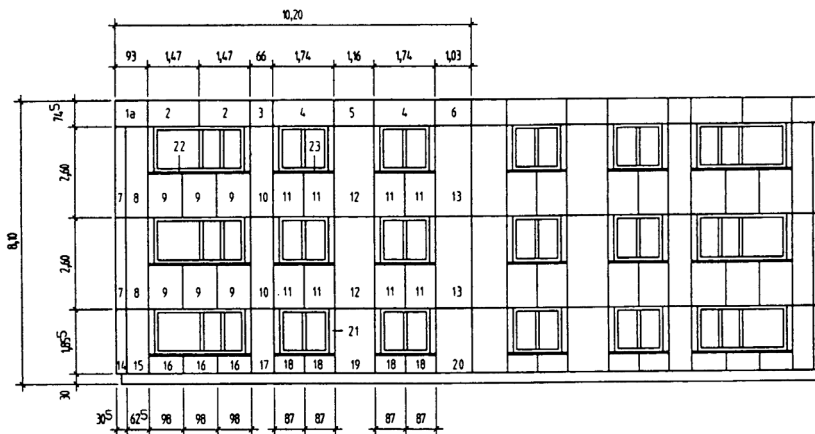
- wenn nichts rezykliert wird oder die Menge an rezykliertem Material vernachlässigbar klein ist
- wenn das rezyklierte Material praktisch wertlos ist (Allokationsfaktor Null im Falle einer ökologischen Allokation), z. B. wenn rezyklierter Beton kostenlos für den Straßenbau abgegeben wird.

Im Normalfall dürften jedoch aufgrund des hohen Werts von rezyklierten Aluminiumbarren Abschneidekriterien, die den Ansatz entsprechend dem Rezyklatanteil erlauben, schwer zu rechtfertigen sein. Aber ohne stichhaltige Rechtfertigung – Hinweise auf frühere Gepflogenheiten genügen sicherlich nicht - können die Forderungen der ISO-Norm nicht erfüllt werden.

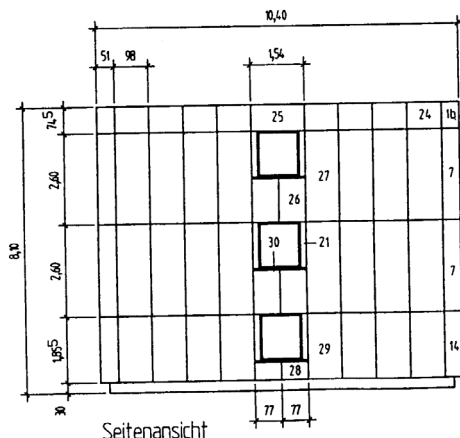
2 Ökobilanz-Studie über Fassadenverkleidungen

2.1 Allgemeine Voraussetzungen

Die funktionelle Einheit dieser Studie ist die Fassade eines Mehrfamilienhauses (Bild 1), welche mit Elementen der Materialien Aluminium, ALUCOBOND und Faserzement verkleidet werden sollten. Weitere Angaben gehen aus **Tabelle 1** hervor.



Vorderansicht



Seitenansicht

Bild 1 Die als funktionelle Einheit untersuchte Fassade

	Einheit	ALUCOBOND	Aluminium	Faserzement
Oberfläche der Fassade	m ₂	557	557	557
Dicke der Fassadenplatten	mm	4	3	7,5
Gewicht der Fassadenplatten	kg	3062	4597	6728

Tabelle 1 Oberfläche der Fassade und Gewichte der verschiedenen Materialien

Es wurde anhand der Methodik der Ökobilanz, wie in Kapitel 1 beschrieben, vorgegangen. Alle wesentlichen Prozesse im Rahmen des Produkt-Lebenszyklus wurden berücksichtigt, mit Ausnahme der Lackierverfahren. Hier wurde davon ausgegangen, dass es sich um äquivalente Lackierverfahren handelt. In zukünftigen Studien werden die Lackierverfahren eingehender analysiert werden. Die für die Befestigung der Platten benötigten Stahl- und Aluminiumteile wurden als äquivalent betrachtet und ebenfalls außerhalb der Systemgrenzen belassen.

2.2 Produktsysteme und Daten der Alternative "ALUCOBOND"

ALUCOBOND ist ein Verbundwerkstoff, bestehend aus einem 3 mm dicken Polyäthylenkern zwischen zwei Aluminiumdeckblechen von 0,5 mm Dicke, welcher durch ein kontinuierliches Kaschierverfahren erhalten wird.

Es wurden zwei Recyclingverfahren von ALUCOBOND in Betracht gezogen:

- Trennen der Aluminium- und Kunststoffbestandteile, nachdem das Material in kleine Stücke (3 – 10 mm) geschnitten wurde, Umschmelzen des Aluminiumbestandteils in einem Trommelofen zu Walzbarren und Wiederverwendung des Kunststoffbestandteils, nach einer Reinigung, zur Herstellung von ALUCOBOND (Verfahren A);
- Schreddern der Abfallplatten in Stücke von 50 – 100 mm Grösse, ohne Trennung der Bestandteile, danach Entfernen der PE-Phase durch Abschwelen in einem Autoklaven sowie Umschmelzen des Aluminiumbestandteils in einem Herdofen zu Walzbarren. (Verfahren B).

Beide Verfahren werden in der Industrie seit vielen Jahren eingesetzt, so dass ALUCOBOND-Schrotte daher selbst schon einen ziemlich hohen Handelswert besitzen.

Es sind demzufolge zwei Alternativen von Produktsystemen festgelegt worden (siehe **Tabelle 2**)

	Produktsystem PE1	Produktsystem PE2
Recycling von Abfällen aus der ALUCOBOND-Herstellung	Verfahren A	Verfahren A
Recycling von Schrott aus anderen Quellen	Verfahren B	Verfahren A

Tabelle 2 Festlegung von Produktsystemen anhand von Recyclingszenarien

Das Produktsystem PE1 basiert auf der (pessimistischen) Annahme, dass vom Kunden kein ALUCOBOND-Schrott bzw. demontierte Platten zur Wiederverwertung im geschlossenen Kreislauf an den Hersteller zurückgeführt wird. Das System PE2 ist eher optimistisch, sieht jedoch keine zukünftigen Verbesserungen, was die Recyclingrate sowohl für den Al- als auch für den PE-Bestandteil anbelangt, vor.

Die meisten Daten stammen aus dem Herstellungsbetrieb und aus Recyclinganlagen. Die Daten für die PE-Herstellung, Energieversorgungssysteme und Hilfsprodukte wurden der GaBi-Datenbank entnommen. Allgemeine Daten für die Aluminiumherstellung sowohl für ALUCOBOND als auch für die Aluminiumalternative stammen aus dem von der European Aluminium Association (EAA) veröffentlichten Datensatz.

2.3 Produktsysteme und Daten der Alternative "Aluminium"

Aufgrund seines PE-Kerns verfügt ALUCOBOND über ein höheres Schalldämpfungsvermögen als massives Aluminium. Wenn das Gebäude spezielle Lärmschutzmaßnahmen erfordert, werden die Aluminiumplatten nach Aufbringen eines bitumenartigen Materials, häufig "Antidröhn" bezeichnet, auf der Fassade befestigt. In anderen Fällen ist dies nicht erforderlich.

Aus diesem Grunde wurden für diese Studie zwei Produktsysteme für massives Aluminium verwendet, nämlich

- das Produktsystem AI1, gekennzeichnet durch die Verwendung von 1088 kg Antidröhn pro funktioneller Einheit;
- Produktsystem AI2 ohne Verwendung von Antidröhn.

Das Recycling der Fassadenplatten umfasst die Module "Demontieren" und "Umschmelzen". Darüber hinaus umfaßt das Produktsystem AI1 das Abschwelen, wodurch die Verbrennungsprodukte des Antidröhnmaterials entstehen. Für AI2 wurde die Verwendung eines speziellen Herdofens ohne separate Lackierung angenommen.

2.4 Produktsystem und Daten der Alternative "Faserzement"

Die Daten bezüglich Faserzement wurden der GaBi-Software entnommen und stellen Durchschnittswerte für die Produktion dieses Materials in Deutschland dar. Es wurde kein Recycling, sondern eine Entsorgung des Materials in Baumaterialdeponien angenommen.

Die Lebensdauer einer Fassade aus Faserzement ist aufgrund von Verwitterung, hauptsächlich in warmem und feuchtem Klima, im Vergleich zu Aluminium und ALUCOBOND eher kürzer. Es wurden deshalb zwei Werte für die Lebensdauer festgesetzt, d.h. als zweite Alternative (siehe FZx2 in Tabelle 3) wurde, entsprechend der halben Lebensdauer der übrigen Varianten, die doppelte Menge an Platten zugrunde gelegt.

2.5 Berechnung der Indikatorresultate

Für die oben genannten sechs unterschiedlichen Produktsysteme wurden Indikatorresultate von elf verschiedenen Wirkungskategorien und darüber hinaus die Mengen von sechs verschiedenen Kategorien von Abfall berechnet. Die Ergebnisse sind in **Tabelle 3** dargestellt.

Bei einigen Wirkungskategorien wie Energieressourcen, Treibhauspotential, photochemischen Oxidantien und humantoxischen Wasserverunreinigungen weisen die Aluminiumplatten AI2 ohne Verwendung von Antidröhn die niedrigsten Indikatorresultate auf, wohingegen die Produktsysteme PE1 und FZx2 die höchsten Werte ergeben. Die anderen drei Systeme zeigen in etwa gleiche Ergebnisse und liegen etwa im Mittelbereich. Der Unterschied zwischen dem Abschweilen und dem stofflichen Rezyklieren von PE bei den beiden ALUCOBOND-Alternative PE1 und PE-2 kommt hier klar zum Vorschein.

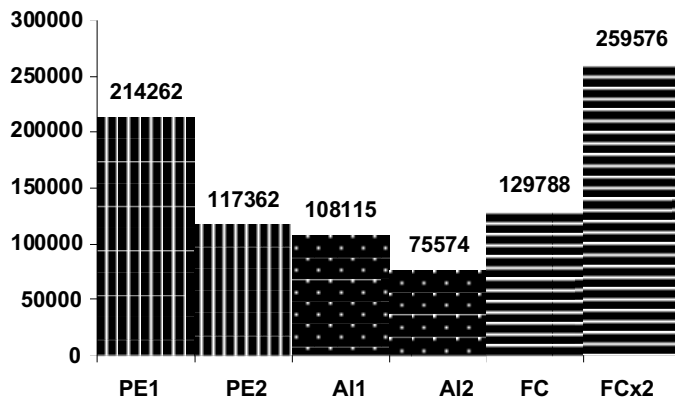


Bild 2: Indikatorresultat "Ausbeutung der Energieressourcen" der verschiedenen Produktsysteme (in MJ)

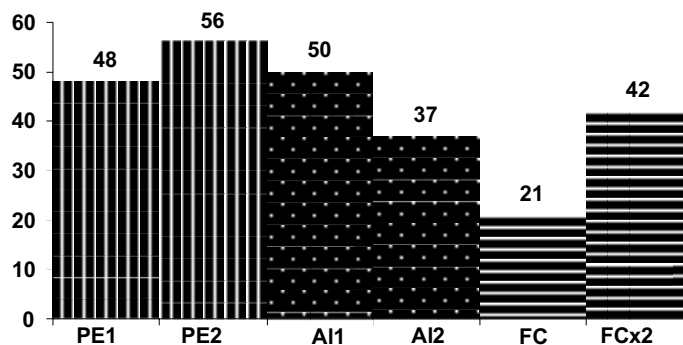


Bild 3: Indikatorresultat "Versauerung" der verschiedenen Produktsysteme (in kg SO₂-Äquivalenten)

Wirkungsprofil		PE1	PE2	AI1	AI2	FC	FZx2
Energieinhalt Energieressourcen	MJ	214262	117362	108115	75574	129788	259576
reichweitenbezogener Ressourcenverbrauch	kg	2,5	4,0	4,7	1,6	22,7	45
Wasserverbrauch	kg	461619	413709	182657	164942	886544	1773089
Treibhausgase (CO ₂ -Äquiv)	kg	14440	8484	9185	5914	11265	22529

Photooxidantien (Ethen-Äquiv.)	kg	13,7	4,1	4,0	3,2	4,6	9
Humantoxische Luftemissionen (HCA-Äquiv.)	kg	64	71	60	45	32	64
Humantoxische Wasseremissionen (HCW-Äquiv.)	kg	9,8	2,0	0,9	0,4	5,6	11
Umweltgifte nach CML 92 (Ökotox-Äquiv.)	kg	0,20	0,13	0,14	0,07	0,27	1
Versauerungspotential (SO ₂ -Äquiv.)	kg	48	56	50	37	21	42
Eutrophierungspotential (Phosphat-Äquiv.)	kg	3,6	3,2	3,4	2,6	3,0	6
freigesetzte Radioaktivität (Energieinhalt 1000Jahre)	mJ	37	56	47	28	6	13
Abraum	kg	8675	9503	8495	5558	5597	11194
Erzaufbereitungsrückstände	kg	446	618	677	289	524	1048
Siedlungsabfälle, Bauschutt und sonstige Inertabfälle zur Deponie	kg	51	51	39	10	8142	16284
Sonderabfälle zur Deponie	kg	183	306	881	56	79	158
Siedlungsabfälle, Bauschutt und sonstige Inertabfälle zur Verwertung	kg	139	106	118	116	3	7
Sonderabfälle zur Verwertung	kg	27	270	0	0	0	0

Tabelle 3 Zusammensetzung der Indikatorresultate für die untersuchten Produktsysteme

Weitere Wirkungskategorien, wie Versauerung und freigesetzte Radioaktivität, bei denen die Umweltbelastungen aus der Aluminiumherstellung und der Energieversorgung vorwiegen, zeigen bei der Alternative PE2 verglichen mit PE1 geringfügig höhere Werte. Die Ursache hierfür liegt darin, dass während des Recyclings mehr Aluminium verloren geht, da das Ausgangsmaterial stärker zerkleinert wird.

Bei anderen Wirkungskategorien, wie humantoxische Luftverunreinigungen und Eutrophierung, zeigen die verschiedenen Produktsysteme keine wesentlichen Unterschiede.

Ein Datenvergleich der verschiedenen Abfallkategorien zeigt spezifische Nachteile bei den Faserzementplatten, da große Mengen auf Deponien entsorgt werden müssen¹. Das Produktsystem AI1 hat den Nachteil, dass durch die pyrolytische Vorbehandlung der mit Antidröhn beschichteten demontierten Fassadenplatten viel Sonderabfall anfällt.

Eine detailliertere Analyse der Ergebnisse in der Auswertungsphase der Studie hat einige Verbesserungsmöglichkeiten innerhalb der einzelnen Produktsysteme ergeben. Andererseits kann, ökologisch gesehen, keinem der drei gewählten Materialalternativen ein Vorzug gegeben werden. Es besteht kein Grund, eines der Materialien aus ökologischen Gesichtspunkten zu diskriminieren.

3 Ökobilanz-Studie über Fensterrahmen

3.1 Die Schweizer Vergleichsstudie aus dem Jahre 1996

Die ökologischen Auswirkungen verschiedener Materialien für Fensterrahmen (Aluminium, Aluminium/Holz, Stahl, Kupfer, PVC) wurden 1996 von K. Richter et al. (1) untersucht. Die Studie basierte auf einem zweiflügeligen Fenster mit den Abmessungen 1650 x 1300 mm und einer Lebensdauer von 30 Jahren. Für die Aluminiumrahmen wurden die Wärmeübergangszahlen $k = 1,9$ und $k = 2,3$ und für Holz, Holz/Aluminium sowie PVC die Wärmeübergangszahl $k = 1,5$ verwendet. Für diese Studie wurde der Ansatz des Gehalts an rezykliertem Material, Typ II zugrunde gelegt.

¹ Die Annahme, dass sämtlicher Abfall aus zerlegten Faserzementplatten deponiert wird, ist vermutlich nicht angemessen. In Wirklichkeit könnte ein gewisser Prozentsatz wieder verwertet werden.

Für den Aluminiumrahmen mit einem Gewicht von 40 kg wurden zwei verschiedene Recyclingszenarien angenommen, nämlich

- ein "realistisches Szenario", ausgehend von einem Gehalt an rezykliertem Aluminium von 35% (Alternative 1);
- ein "zukünftiges Szenario", ausgehend von einem Gehalt an rezykliertem Aluminium von 85% nach Einführung eines Recyclingsystems im geschlossenen Kreislauf (Alternative 2).

Für die gesamte Lebensdauer der Produkte, einschließlich der Gebrauchsphase, in welchem der Einfluss zusätzlicher Erwärmung aufgrund der vorgegebenen Wärmeübergangszahlen berücksichtigt worden ist, wurden verschiedene Indikatorresultate, ähnlich den in **Tabelle 3** dargestellten, berechnet.

Die Studie zeigte keine generellen Nachteile der beiden Aluminiumalternativen im Vergleich zu anderen Materialien für Fensterrahmen. Für einige bedeutende Wirkungskategorien, wie beispielsweise das Treibhauspotential, zeigte nur Alternative 2 Ergebnisse, die mit denen der anderen Materialien äquivalent sind. Das Treibhauspotential der Aluminiumfensterrahmen der beiden Alternativen ist in den ersten beiden Spalten der **Tabelle 4** dargestellt.

Aus dieser Studie konnte die Schlussfolgerung gezogen werden, dass die Aluminiumindustrie sich vorwiegend darum bemühen sollte, am Ende der Lebensdauer von Fensterrahmen diese wieder zu Fensterrahmen zu verwerten, um deren Gehalt an rezykliertem Aluminium zu erhöhen. Strangpressbarren aus rezyklierten Fensterrahmen müssten dann speziell gekennzeichnet werden, damit sie auch wieder für Fensterrahmen eingesetzt werden können.

Dies würde das Recycling von Aluminium behindern, da in einem solchen Falle Schrott und Aluminiumbarren über längere Distanzen zu transportieren wären, um den Anforderungen des Recycling im geschlossenen Kreislauf gerecht zu werden.

Da es sich bei rezykliertem Aluminium um einen teuren Rohstoff in einer fest vorgegebenen Menge handelt, würde darüber hinaus eine Erhöhung des Gehalts an rezykliertem Aluminium in einem Fensterrahmen zu einer Verringerung des Gehalts an rezykliertem Aluminium in anderen Produkten führen, die folglich einen größeren Anteil an Primärmetall benötigen würden. Darüber hinaus weisen neuer und alter Schrott häufig dieselben inhärenten Eigenschaften auf und werden deshalb miteinander gemischt, wodurch die Bestimmung des Gehalts an rezykliertem Aluminium nicht mehr möglich ist.

Im übrigen sei auf die Ausführungen in 1.4.6 und 1.4.7 verwiesen.

3.2 Die neue, auf der Substitutionsmethode basierende Studie

Nach Veröffentlichung der Vergleichsstudie über Fensterrahmen wurde die ISO-Norm 14041 publiziert. Im Sinne dieser Norm war die bei dieser Studie verwendete Methodik nicht mehr ohne weiteres zu rechtfertigen (s. auch Kap. 1.4.6 und 1.4.7). Es wurde daher von K. Richter und F. Werner (2) eine zusätzliche Studie über Aluminiumfensterrahmen erstellt, in der die ISO-Vorschriften entsprechend der Anleitung in Kapitel 1 des vorliegenden Schriftstücks ordnungsgemäß angewendet wurden.

Da die Recyclingverfahren der Fensterrahmen in der ersten Studie nicht mit einbezogen worden sind, bestand ein wesentlicher Teil der zweiten Studie darin, die einzelnen Verfahren für das Recycling der Fensterrahmen am Ende deren Lebensdauer zu beschreiben und den Wert des rezyklierten Aluminiums beim Verlassen der Systemgrenzen zu bestimmen. Hierfür wurden verschiedene Recyclinganlagen besucht und Daten solcher Anlagen gesammelt.

Die Recyclingstudien ergaben, dass es zwei Arten von Aluminiumfenstern gibt, nämlich

- Typ 1: Fenster mit Eckenversteifern aus Zinkdruckguss, die nach dem Schreddern nicht durch magnetische oder elektromagnetische Kräfte von der Aluminiumfraktion abgetrennt werden können;
- Typ 2: Fenster, die neben dem Aluminium nur Stahl- und Kunststoff- bzw. Gummitteile enthalten, welche nach dem Schreddern über Magnetabscheider und über Wirbelstromabscheider von der Aluminiumfraktion abgetrennt werden können.

Beim Recycling der Fensterrahmen des Typs 1 muss das Material nach dem Schreddern und der Magnetabscheidung einem Schwimmsinkverfahren unterzogen werden, damit die nichtmagnetischen Schwermetallanteile abgetrennt werden können. Die danach erschmolzenen Masseln sind für das Druckgießen geeignet und können zu einem Preis von etwa 90% des Preises für Primärmetallbarren verkauft werden, so dass bei der Ökobilanz entsprechend Kap. 1.4.3 eine Wertbereinigung vorgenommen werden muss. Da Aluminium in verschiedenen Schritten des Recyclings verloren geht, wurde ein Gesamtverlust an Aluminium von 15% ermittelt.

Dagegen ist die Ausbeute beim Rezyklieren von Fensterrahmen des Typs 2 mit 90 % höher, und es entsteht nach dem Umschmelzen ein Metall von einer Reinheit, die ohne Preisabschlag für Knechtalbezug, auch für Fensterrahmen, wieder eingesetzt werden kann. Hier konnte also bei der Ökobilanz das Substitutionsverfahren ohne Wertbereinigung vorgenommen werden.

Am Beispiel des Treibhauspotentials zeigt **Tabelle 4**, welche Resultate sich bei Fensterrahmen der verschiedenen Typen nach den verschiedenen Methoden zur Behandlung des Recyclings ergeben. Dabei ergibt sich beim Fenster vom Typ 2 zwar ein erhöhter CO₂-Ausstoss bei der Primäraluminiumherstellung, weil hier mehr Aluminium zum Einsatz kommt. Andererseits ist der CO₂-Ausstoss bei den Prozessen der Herstellung des Rahmens aus dem Rohaluminium beim Fensterrahmen vom Typ 1 höher, weil hier die Herstellung der Zinkdruckgussteile aus den Rohstoffen mitbilanziert werden musste.

Bei einem Vergleich der Alternativen 1 und 3 in **Tabelle 4** kann festgestellt werden, dass die Anwendung der Vorschriften gemäß ISO 14041, d.h. Ersetzen der Cut-off-Methode durch die wertbereinigte Substitutionsmethode, das Treibhauspotential von Aluminiumfensterrahmen um ungefähr 50% reduziert. Durch Studien, bei welchen die Cut-off-Methode für Aluminium angewendet wird, wird Aluminium also wesentlich benachteiligt.

Bei einem Vergleich der Alternativen 2 und 4 in **Tabelle 4** kann festgestellt werden, dass die Verwendung der wertbereinigten Substitutionsmethode zu realistischen Verbesserungsszenarien führt, nämlich zu einer recyclinggerechten Konstruktion im Sinne des Fensters vom Typ 2.

Das durch das Cut-off-Verfahren vorgeschlagene Verbesserungsszenario kann keine Vorschläge zur recyclinggerechten Konstruktion berücksichtigen, weil das Recycling außer Acht gelassen wurde. Die Empfehlung, mehr rezykliertes Aluminium einzusetzen, ist ökologisch nicht sinnvoll. Rezykliertes Aluminium ist nämlich ein begehrtes Material, das nur in beschränkten Mengen vorhanden ist. Setzt man es vermehrt für Fensterrahmen ein, dann fehlt es bei anderen Produkten, so dass für diese vermehrt primäres Aluminium eingesetzt werden muss. Die Natur hat dadurch keinen Vorteil.

	Alternative 1	Alternative 2	Alternative 3	Alternative 4
Studie	1996 (1)	1996 (1)	2000 (2)	2000 (2)
Fenstertyp	Typ 1	Typ 1	Typ 1	Typ 2
Wert des rezyklierten Metalls	nicht bekannt	nicht bekannt	um 10 % niedriger als Hüttenmetall	wie Hüttenmetall
Behandlung des Recyclings in der Ökobilanz	Cut-off-Methode	Cut-off-Methode	wertbereinigte Substitution	Substitutionsmethode
Gehalt an rezykliertem Metall (%)	35 %	85 %	nicht bekannt	nicht bekannt
Metallausbringung nach dem Recycling	nicht bekannt	nicht bekannt	85 %	90 %
Herstellung von Primäraluminium	509	509	509	528
Herstellung von Rahmenmaterial	40	40	40	35
Vergütung durch Cut-Off-Methode	(178)	(433)	0	0
Vergütung durch wertbereinigte Substitution (Recyclingkredit)	0	0	(389)	(475)
Transporte von Al-Fenstern	0	0	9	9
Recycling von Altschrott	0	0	20	20
Gesamtes Treibhauspotential	371	116	189	117

Tabelle 4 Treibhauspotential verschiedener Alternativen von Aluminiumfensterrahmen (sämtliche Daten sind in kg CO₂-Äquivalenten angegeben)

4 Allgemeine Schlussfolgerungen

Die Herstellung von Primäraluminium ist mit Umweltbelastungen verbunden, wie beispielsweise Verbrauch von Energieressourcen oder Treibhausgasemissionen, die wesentlich grösser sind als die Belastungen durch viele andere in der Bauindustrie verwendete Materialien. Wird Aluminium jedoch für Gebäude verwendet, so wird dieses Material nicht verbraucht, sondern kann mit Hilfe moderner Verfahren ohne (bzw. fast ohne) Wertverlust rezykliert werden.

Die neuen, auf der ISO-Norm 14041 basierenden Ökobilanz-Studien berücksichtigen das Recycling in korrekter Weise. Solche Studien können darlegen, dass Aluminium, wie es im Bauwesen verwendet wird, in ökologischer Hinsicht mit anderen Materialien äquivalent ist. Darüber hinaus geben sie Hinweise, wie in ökologischer Hinsicht weitere Verbesserungen vorgenommen werden können.

Es gibt keine Gründe für eine Diskriminierung von Aluminium im Bauwesen aus ökologischen Gesichtspunkten.

5 Literaturangaben

- (1) K. Richter, T. Künninger and K. Brunner; *Ökologische Bewertung von Fensterkonstruktionen*, study, committed by SZFF (1996)
- (2) F. Werner and K. Richter: *Economic Allocation in LCA: A Case Study about Aluminium Window Frames*, The International Journal of LCA, Vol. 5, 2 (2000), p. 79