

## **ALUMINIUM UND GLAS IN DER GEBÄUDEHÜLLE - MÖGLICHKEITEN ZUR ENERGIEEFFIZIENTEN GESTALTUNG**

Christina Radlbeck<sup>1</sup>, Michael Schlinz<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Fachgebiet Leichtmetallbau und Ermüdung, TU München, Deutschland

<sup>2</sup>Lehrstuhl für Stahlbau, TU München, Deutschland

### KURZFASSUNG

Um den Einfluss konstruktiver Maßnahmen auf die Stoff- und Energiebilanz von Gebäuden zu erforschen, wurde seitens des Bayerischen Umweltministeriums das BayFORREST-Verbundprojekt „Stoffflussmanagement Bauwerke“ initiiert. Ziel war es, entsprechende Daten und Werkzeuge zu bewerten um damit die Realisierung energieeffizienter Bauten zu ermöglichen.

Im Folgenden werden die Baustoffe Aluminium und Glas untersucht. Zu diesem Zweck wird der Energieverbrauch von transparenten Fassadensystemen mit Hilfe einer Ökobilanz und gemäß Energieeinsparverordnung (EnEV) ermittelt. Dabei ist es von maßgeblicher Bedeutung nicht nur die Herstellung, sondern den gesamten Lebenszyklus der Konstruktion zu berücksichtigen. Mit Hilfe der Ergebnisse können konkrete Maßnahmen abgeleitet werden, die den Energieverbrauch von Aluminium-Glas-Anwendungen signifikant verbessern.

### ABSTRACT

In order to explore the influence of design measures on the consumption of energy of buildings, the Bavarian Government initiated the BayFORREST-research project “Material Flows of Buildings”. The objective was to evaluate respective data and tools and thus to realize efficient structures in practice.

In this paper the building materials aluminium and glass are investigated. To this purpose the energy consumption of transparent façades is calculated by applying once Life-Cycle.-Analysis and second the German energy regulations (EnEV). The results underline the importance of evaluating the whole life-cycle of a structure. Based on the results, concrete measures can be derived, significantly improving the energy balance of aluminium-glass-applications.

### EINFÜHRUNG

Die Basis für nachhaltiges Bauen wird bereits in der Projektierungs- und Planungsphase gelegt. Die Wahl von passenden Baustoffen ist hier ein maßgeblicher Schritt.

Aluminium als Baumaterial ist oftmals sehr umstritten. Hauptgrund hierfür ist der hohe Energieverbrauch bei der Herstellung und die dadurch erhöhten Materialkosten. Tatsache ist, dass Aluminium sowohl Potentiale, als auch Schwachpunkte aufweist. Inwieweit sich diese allerdings die Waage halten oder gegenseitig übertreffen, insbesondere wenn der gesamte Lebenszyklus betrachtet wird, ist nach wie vor offen.

Glas gewinnt als Baustoff seit etwa 10 Jahren immer größere Bedeutung und wird zunehmend für tragende Bauteile eines Bauwerks eingesetzt. Die zielsichere Ausnutzung der Glaseigenschaften verlangt eine bis ins Detail reichende Betrachtung. Erst dann kann das Versagen durch lokal auftretende Überbeanspruchung ausgeschlossen und eine effektive Nutzungsphase gewährleistet werden. Hierfür sind allerdings noch signifikante Datenlücken vorhanden.

Im Folgenden wird daher die Position der Baustoffe Aluminium und Glas anhand einer Beispielkonstruktion umfassend analysiert. Zudem wird der Stellenwert von Aluminium gegenüber Stahlanwendungen erforscht. Der Fokus liegt dabei auf dem nicht erneuerbaren kumulierten Energieaufwand ( $KEA_{ne}$ ).

### BEISPIELOBJEKT: ALTER HOF

Der Alte Hof ist ein historisches Gebäude im Stadtzentrum von München und soll in ein Geschäfts- und Wohngebäude umfunktioniert werden. Im Zuge der Umbaumaßnahmen ist u. a. eine transparente Fassadenkonstruktion mit 300 m<sup>2</sup> Fläche geplant. Für die Gestaltung war bereits ein Vorschlag seitens des Architekten vorhanden (vgl. Fassade 1, Abbildung 1). Es galt nun die Eignung des vorgeschlagenen Systems zu überprüfen und alternative Systeme zu untersuchen.

Da der Querschnitt von Fassade 1 nicht auf die vorhandene Biegebelastung senkrecht zur Fassadenebene ausgelegt war, wurden die alternativen Systeme mit einer entsprechenden Orientierung des Querschnitts ausgewählt (vgl. alternative Fassaden, Abbildung 1).

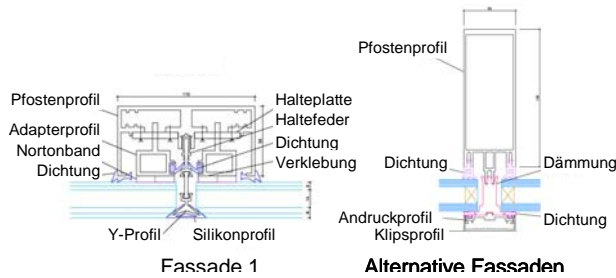


Abbildung 1 Ausgewählte Querschnitte zur Gestaltung der Fassade des Alten Hofes

Zusätzlich wurden unterschiedlichen Verglasungen untersucht, die durch ihre vielfältigen Funktionen, wie z.B. Wärme- oder Sonnenschutz, eine große Rolle spielen.

### ANALYSE UND BEWERTUNG VON ALUMINIUM-GLAS-FASSADEN

Um die Grundlage zur Durchführung einer Ökobilanz (ISO 14040, 1997) zu schaffen und die Folgen verschiedener Datenbanken zu veranschaulichen, wurden zunächst die drei Ökoinventare EAA ([www.eaa.net](http://www.eaa.net)), GEMIS ([www.oeko.de/service/gemis/](http://www.oeko.de/service/gemis/)) und EcoInvent ([www.ecoinvent.org](http://www.ecoinvent.org)) verglichen. Dabei ergaben sich signifikante Unterschiede (vgl. Abbildung 2).

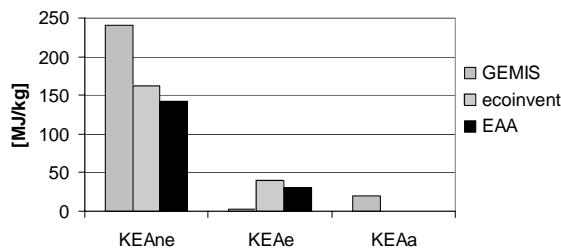


Abbildung 2 Kumulierter Energiebedarf für die Herstellung von Primäraluminium je nach Quelle

Dies ist auf unterschiedliche Annahmen bei der Modellierung des Aluminiumstoffstroms (z.B. Bezugsraum, Transport), verschiedene Zuordnungsverfahren, Energiemodelle und Kraftwerks-Technologien sowie die oft unbekannt Herkunft und Aktualität der Daten zurückzuführen. Die Differenzen sind detailliert in Radlbeck et al. (2005) erklärt. Aufgrund der Ergebnisse wurde schließlich für die Analyse der Fassadenkonstruktionen das von der Baustoffindustrie unabhängige Ökoinventar EcoInvent gewählt.

Zudem wurden die Fassadensysteme mit Hilfe der Energieeinsparverordnung (EnEV, 2004) während der Nutzungsphase bewertet. Unter anderem wurde der Zusammenhang zwischen Fensterausrichtung, Verglasungsanteil und nutzbaren solaren Gewinnen gemäß EnEV untersucht. Als anschauliche Bezugsgröße wurde hierfür der jährliche Heizwärmebedarf ermittelt und ausgewertet.

### ERGEBNISSE

Insgesamt wurden vier Aluminium-Glas- (Fassade 1, 2, 4, 5) und zwei Stahl-Glas-Systeme (Fassade 3, 6) von vier verschiedenen Herstellern A, B, C und D untersucht. Die sechs Konstruktionen wurden in Abhängigkeit des statischen Ausnutzungsgrades und der Durchbiegung gewählt.

Bei den Vergleichen wurden die Oberflächenbeschichtung und die daraus resultierenden Recyclingraten variiert: Für Aluminium wurden blanke, eloxierte und pulverbeschichtete Profile bilanziert. Für Stahl wurde die Feuerverzinkung, die Pulverbeschichtung sowie das Duplexverfahren angesetzt. Beschichtungserneuerungen wurden sowohl für Aluminium als auch Stahl lediglich für die jeweiligen Oberflächen unter Witterungseinfluss angesetzt. Einige der maßgebenden Ergebnisse sind nachfolgend dargestellt.

Der KEA<sub>ne</sub> aller Fassaden ist nach Metall-, Glas-, und Dämmungsanteil in Abbildung 3 enthalten.

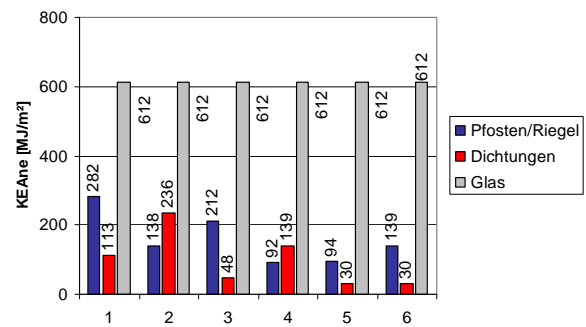


Abbildung 3 Fassadensysteme pro m² Wirkkategorie KEA nicht erneuerbar

Die ursprünglich geplante Fassade 1 hat in jedem Fall die höchsten Bilanzierungswerte. Da die Querschnitte hier nicht belastungsorientiert ausgebildet sind, ergibt sich der größte Materialverbrauch und folglich die entsprechenden ökologischen Werte. Die Ergebnisse von allen anderen Aluminiumsystemen (Fassade 2, 4, 5) sind hingegen deutlich günstiger als für die Stahlfassaden 3 und 6. Dies ist in erster Linie auf das geringe Gewicht der Aluminiumkonstruktionen und auf die Berücksichtigung des gesamten Lebenszyklus zurückzuführen. Insbesondere das effektive Einschmelzen beim Recycling kompensiert einen Großteil der im Vergleich zu Stahl umweltbelastenderen Herstellung von Aluminium.

Dies wird anhand von Abbildung 4 veranschaulicht. Beispielsweise ist bei einer gewährleisteten Recyclingrate von 0% die Stahlfassade 3 energetisch deutlich günstiger. Ab einer Recyclingrate von ca. 80% sind allerdings die Aluminiumsysteme energieeffizienter. Hierbei ist anzumerken, dass die

durchschnittliche Recyclingquote bei Fassaden aus Aluminium bereits über 90% beträgt (vgl. www.a-u.f.com).

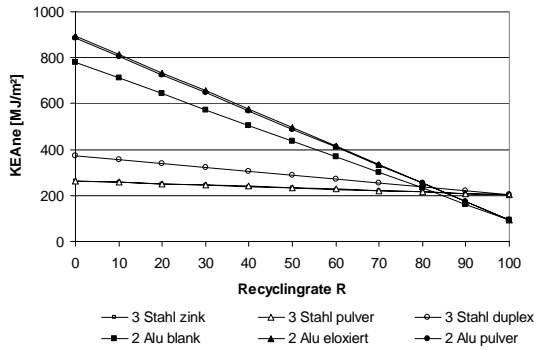


Abbildung 4 Vergleich des  $KEA_{ne}$  von Aluminium-Fassade 1 und Stahlfassade 3

Nachstehend ist der Einfluss unterschiedlicher Verglasungen, d. h. mit wechselnden  $U_g$ -Werten gemäß EnEV abgebildet (vgl. Abbildung 5)

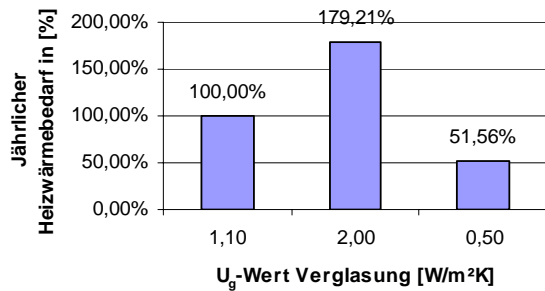


Abbildung 5 Einfluss unterschiedlicher Verglasungen, Fassade A

Für die gewählten Verglasungen mit einem  $U_g$ -Wert von 1,1  $W/m^2K$  ergeben sich im Vergleich zu einer Verglasung mit einem  $U_g$ -Wert von 2,0  $W/m^2K$  Heizenergieeinsparungen von ca. 80% im Jahr. Im Vergleich zu einem  $U_g$ -Wert von 1,1  $W/m^2K$  sinkt der jährliche Heizenergiebedarf bei einer Verglasung mit einem  $U_g$ -Wert von 0,5  $W/m^2K$  um 50%.

Der Einfluss des Rahmens wird in Abbildung 6 aufgezeigt.

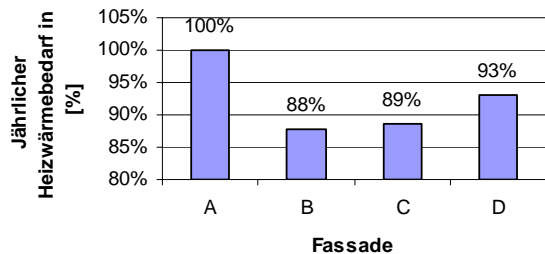
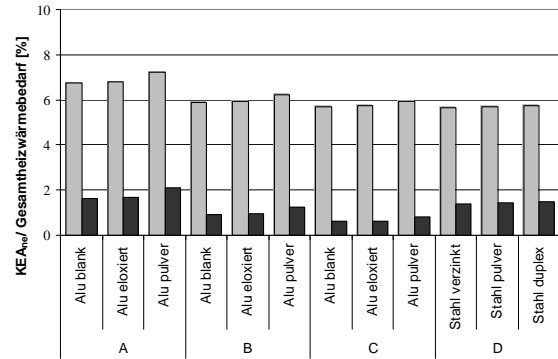


Abbildung 6 Einfluss des Rahmens (Breite,  $U_f$ -Wert) auf den Heizwärmebedarf bei gleichbleibendem  $U_g$ -Wert ( $U_g=1,1W/m^2K$ )

Die Fassadenprofile B, C und D erfordern dabei ca. 10% weniger Heizwärme als die geplante Fassade A.

In Abbildung 7 wird der Heizwärmebedarf während der Lebensdauer mit dem  $KEA_{ne}$  der Fassadensysteme verglichen.



□  $KEA_{ne}$  Fassade/ Heizwärmebedarf ■  $KEA_{ne}$  Metallkonstruktion/ Heizwärmebedarf

Abbildung 7 Anteil des  $KEA_{ne}$  für Erstellung, Wartung und Recycling der Fassadensysteme vs. Heizwärmebedarf

Der  $KEA_{ne}$  der Fassadensysteme beträgt während der Lebensdauer lediglich 6% bis 7% des Heizwärmeverbrauchs. Der Anteil der Metallkonstruktion ist mit 0,6% bis 2% noch geringer. Insgesamt ist die ökologische Bedeutung von Errichtung, Wartung und Entsorgung der Fassadenkonstruktion angesichts des Heizaufwands während der Nutzungsphase äußerst gering.

## ZUSAMMENFASSUNG

Die durchgeführten Arbeiten zeigen, dass durch die optimale Ausnutzung des geringen Gewichts, des natürlichen Korrosionsschutzes, der Funktionalität sowie der Rezyklierbarkeit der Energiebedarf von Primäraluminium kompensiert werden kann. In vielen Fällen sind daher die ökologischen Bilanzen günstiger als von entsprechenden Stahlanwendungen. Angesichts des Energieverbrauchs von Heizwärme während der Nutzungsphase ist der Anteil der Metallkonstruktion am Energieverbrauch allerdings als gering einzustufen. Hier gilt es vielmehr die Verglasung in energetischer Hinsicht zu optimieren, z. B. mit einem minimalen U-Wert. Nicht zu vergessen ist der sommerliche Wärmeschutz. Die benötigte Kühlenergie sollte minimiert werden.

## LITERATUR

DIN EN ISO 14040: 1997: Life cycle assessment Principles and framework, European Committee for Standardization, Brussels

Radlbeck C., Schlinz M. Dienes E., 2005: Nachhaltiges Bauen mit Aluminium und/oder Glas, F235, [www.sfm-bauwerke.de/](http://www.sfm-bauwerke.de/).

EnEV, Energieeinsparverordnung, Bundesgesetzblatt vom 7.12.2004