

Qualitätshandbuch
für Fenster und Fassaden
aus Aluminium

Ein Leitfaden für Planung,
Ausschreibung und Ausführung

1	Allgemeines über Aluminium	5
1.1	Von den Anfängen und der Entwicklung eines modernen Metalls	6
1.2	Vom Rohstoff Bauxit zur Tonerde	8
1.3	Die Herstellung von Hüttenaluminium mittels Schmelzflusselektrolyse	10
1.4	Die Erzeugung von Umschmelzaluminium	12
1.5	Typische Eigenschaften von Aluminium	15
1.6	Verwendungsgebiete für Aluminiumwerkstoffe	18
2	Aluminium im Bauwesen	19
2.1	Anwendungsbereiche von Aluminium im Bauwesen	20
2.2	Arten von im Bauwesen bevorzugt verwendeten Aluminiumwerkstoffen und Halbzeugen	22
3	Die Herstellung von Aluminiumprofilen und -blechen (Halbzeug) für das Bauwesen	25
3.1	Die Herstellung von Strangpressprofilen	26
3.2	Wärmedämmte Verbundprofile aus Aluminium	28
3.3	Die Herstellung von Aluminiumblechen	31
4	Oberflächenbehandlung von Aluminium für Anwendungen im Bauwesen	33
4.1	Natürlicher Korrosionsschutz von blanken Aluminiumhalbzeugen	35
4.2	Möglichkeiten der Oberflächenbehandlung	37
4.2.1	Vorbehandlungsverfahren	37
4.2.2	Anodische Oxidation	38
4.2.3	Farbbeschichtung	41
5	Anwendung von Aluminiumprofilen und -blechen (Halbzeug) im Hochbau	43
5.1	Fensterbau	44
5.1.1	Fensterfunktionen und Anforderungen an Fenster	44
5.1.2	Statische und bauphysikalische Aspekte im Fensterbau	48
5.1.3	Die Eigenschaften eines Aluminiumfensters	54
5.1.4	Das Systemfenster	58
5.1.5	Bauteile und Typen von Aluminiumfenstern	58
5.1.6	Vergleiche von Fenstern mit unterschiedlichen Rahmenwerkstoffen	62
5.2	Fassadenbau	63
5.2.1	Grenze zwischen Fenster- und Fassadenbau	63
5.2.2	Die Anforderungen im Fassadenbau	65
5.2.3	Typen von Aluminiumfassaden und deren Aufbau	66
5.2.3.1	Fassadentypen in Abhängigkeit der Lage der Konstruktion zum Baukörper	67
5.2.3.2	Fassadentypen in Abhängigkeit der Lage von Regen- und Windbarriere	69
5.2.3.3	Fassadentypen in Abhängigkeit des konstruktiven Aufbaus	72
5.3	Lichtdächer, Wintergärten und ähnliche Konstruktionen	79
5.3.1	Der Wintergarten als Bauteil zur Verbesserung der Energiebilanz	80
5.3.2	Die besonderen Anforderungen an die Konstruktion und die Rahmenmaterialien ..	82
5.3.3	Beispiele für Erscheinungsformen und den konstruktiven Aufbau von wintergartenähnlichen Aluminium-Glas-Konstruktionen	85

6	Technische Innovationen und Forschungsaktivitäten im Bereich Aluminiumkonstruktionen	89
6.1	Hochwärmedämmende Profilsysteme	91
6.2	Aktive Energiefassaden	93
7	Ökologische Aspekte zum Baustoff Aluminium	101
7.1	Umweltrelevante Dimensionen von im Bauwesen verwendeten Aluminiumwerkstoffen in ihrem Lebenszyklus	103
7.1.1	Der geschlossene Aluminiumkreislauf	103
7.1.2	Die Rohstoffsituation	105
7.1.3	Energieverbrauch, Emissionen und Reststoffe	105
7.1.4	Das Recycling von Aluminiumprofilen	108
7.2	Ökologische Fenstervergleiche	111
8	Ökonomische Aspekte	113
	Literaturverzeichnis	117

1 Allgemeines über Aluminium

1.1 Von den Anfängen und der Entwicklung eines modernen Metalls

Die Herstellung und Nutzung von Metallen hat bei der Entwicklung der Zivilisation eine überragende Rolle gespielt. Die Entdeckung von Eisen, Kupfer, Blei, Zinn, Silber und Gold liegt bereits mehr als 3000 Jahre zurück. Dagegen ist Aluminium erst seit etwa 180 Jahren bekannt und wird seit zirka 100 Jahren industriell erzeugt. Trotz dieser kurzen Entwicklungszeit hat Aluminium aufgrund einer Vielzahl von günstigen Eigenschaften eine bedeutende Position unter den metallischen und nichtmetallischen Werkstoffen erlangt.

Die Erdkruste besteht zu ungefähr 8 % aus Aluminium. Damit ist es nach Sauerstoff (47 %) und Silizium (28 %) das dritthäufigste Element. Aluminium kommt in der Natur nicht metallisch, sondern nur in Form von Verbindungen mit verschiedenen anorganischen Stoffen vor. Für die derzeitigen Herstellungsverfahren ist der wichtigste Ausgangsstoff das Bauxit. Daraus wird die Sauerstoffverbindung Al_2O_3 (Aluminiumoxid) gewonnen und in einem weiteren Verfahrensschritt zu metallischem Aluminium reduziert.

Die Affinität zu Nichtmetallen ergibt sich aus dem besonderen elektrochemischen Charakter des Elementes. Dieser ist auch der Grund dafür, dass eine karbothermische Gewinnung von Aluminium aus oxidischen Verbindungen, wie sie bei den traditionellen Metallen schon seit langem angewendet wird (z. B. im Hochofenprozess zur Roheisengewinnung), unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten nicht möglich ist. Deshalb mussten die Forscher nach anderen Wegen zur Herstellung von Aluminium suchen.

Die Bezeichnung „alumium“ stammt von dem Engländer Sir Humphrey DAVY, der in den Jahren 1808 bis 1812 letztendlich erfolglos versuchte, das reine Metall aus den natürlichen Bindungen abzusondern. Das Wort „alumium“ wandelte sich später in „aluminium“ und daraus wurde die heutige Bezeichnung Aluminium. Auf den Forschungsergebnissen von Hans Christian OERSTED und Friedrich WÖHLER aufbauend, gelang es dem Franzosen Henri Sainte-Claire DEVILLE rund ein halbes Jahrhundert später, Aluminium mit einem Reinheitsgrad von zirka 96 % mittels eines chemischen Verfahrens herzustellen. Der erste derartig erzeugte Aluminiumblock wurde auf der Pariser Weltausstellung 1855 präsentiert und von den Besuchern bestaunt.

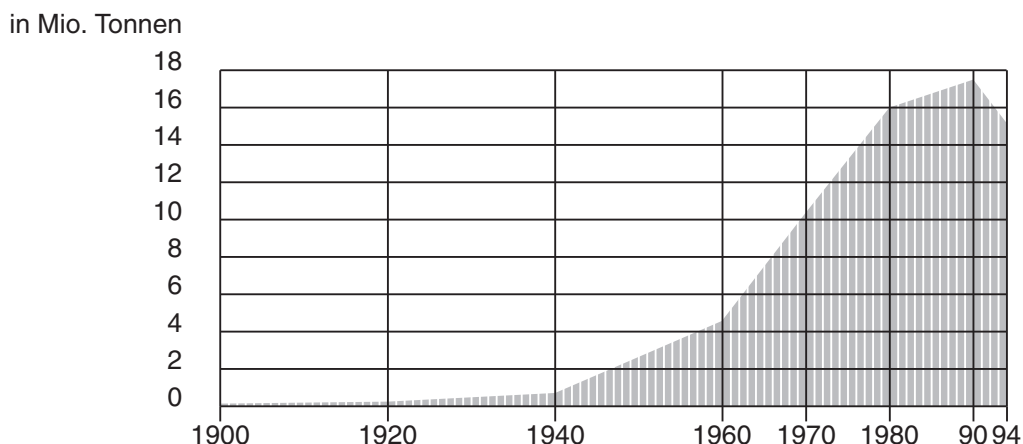
Im Jahre 1886 stellten der Franzose Paul T. HEROULD und unabhängig von diesem auch der Amerikaner Charles Martin HALL das neue Metall durch elektrolytische Zersetzung von Aluminiumoxid her. Die zu diesem Zeitpunkt bereits 20 Jahre zurückliegende Erfindung der Dynamomaschine zur Erzeugung von elektrischem Strom durch Werner von SIEMENS war für die Wirtschaftlichkeit des neuen Verfahrens von ausschlaggebender Bedeutung. 1892 entwickelte der Österreicher Karl Josef BAYER eine ökonomische Methode zur Gewinnung von Aluminiumoxid aus Bauxit.

Die modernen industriellen Aluminiumherstellungsverfahren arbeiten nach den von Heroult und Hall bzw. Bayer entwickelten Prinzipien und sind in Fachkreisen unter dem Namen Schmelzflusselektrolyse bzw. Bayer-Verfahren bekannt.

Im Laufe des letzten Jahrhunderts wurden diese Verfahren permanent verfeinert und verbessert, anfangs vor allem in Richtung erhöhter Wirtschaftlichkeit und Effizienz. Unter dem Druck des wachsenden Umweltbewusstseins breiter Gesellschaftsschichten waren die Aluminiumerzeuger in den letzten Jahrzehnten verstärkt bemüht, den Energieverbrauch und die Schadstoffemissionen ihrer Werke zu reduzieren. Vor rund 30 Jahren erforderte der Elektrolyseprozess zur Herstellung von einem Kilogramm Aluminium rund 21 kWh elektrischen Strom. Heute liegt dieser Wert bei durchschnittlich 13 kWh. Dies entspricht einer Verringerung um ein Drittel. Zudem ist der Anteil der Wasserkraft am weltweiten Energieeinsatz für die Primäraluminiumproduktion steigend.

Im Zeitraum zwischen 1856 und 1890 wurden rund 200 Tonnen Aluminium nach dem Deville-Verfahren hergestellt. Nach der Entwicklung der Schmelzflusselektrolyse kam es zu einem extrem raschen Anstieg der Produktion. Der Aluminiumpreis entwickelte sich währenddessen gegenläufig. Parallel dazu wurden immer mehr Anwendungsfelder des neuen Metalls entdeckt, und nach dem Zweiten Weltkrieg erwuchs Aluminium zu einer starken Konkurrenz gegenüber den traditionellen Werkstoffen. 1970 überschritt die weltweite Aluminiumhüttenproduktion die 10-Millionen-Tonnen-Grenze, und damit wurde Aluminium nach den Eisenwerkstoffen das meistverwendete Metall. Der überproportionale Produktionszuwachs erfuhr in den 80er Jahren erstmals einen Einbruch. Der zunehmende Anteil des Umschmelzaluminiums führte zu einer Verflachung und ab 1990 zu einer Abnahme der Produktionskurve für Hüttenaluminium (Abbildung 1). 1994 betrug die Weltproduktion von Hüttenaluminium rund 15,2 Millionen Tonnen.

Abbildung 1:
Weltproduktion von Hüttenaluminium im Zeitraum 1900–1994



1.2 Vom Rohstoff Bauxit zur Tonerde

Der Ausgangsstoff für die Aluminiumgewinnung ist fast ausschließlich Bauxit, ein rötlich gefärbtes Sedimentgestein. Vergleicht man die mineralische Zusammensetzung von Bauxiten unterschiedlicher Lagerstätten, ergeben sich zum Teil erhebliche Unterschiede. Die Gesteinsanalyse zweier ausgewählter Abbaustätten zeigt folgendes Bild (Zahlenangaben in Prozenten der Masse):

Tabelle 1:
Typische Zusammensetzung
von Bauxiten in Prozenten

Quelle: Aluminium-Zentrale,
Aluminium-Taschenbuch,
15. Auflage

Abbauort	Weipa (Australien)	Eleusis (Griechenland)
Zusammensetzung	in %	in %
Aluminiumoxid (Al ₂ O ₃)	55,0	51,0
Eisenoxid (Fe ₂ O ₃)	10,0	30,0
Siliziumoxid (SiO ₂)	5,0	2,0
Titanoxid (TiO ₂)	2,5	2,5
Kalziumoxid (CaO)	Spuren	2,0
Chemisch gebundenes Wasser	25,0	12,0

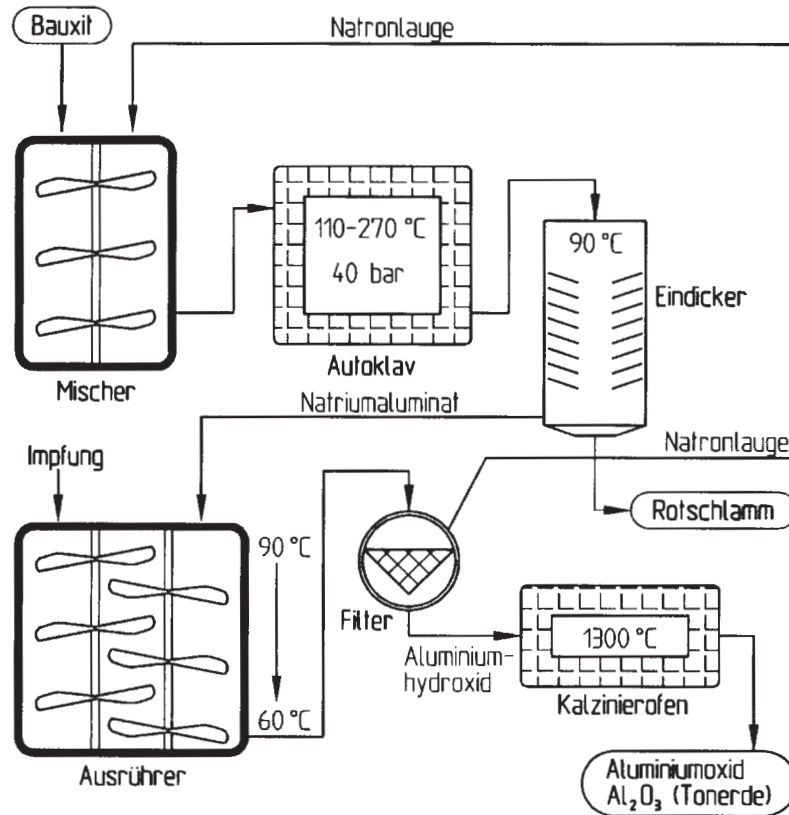
Hochwertiger Bauxit enthält, je nach Beschaffenheit, 50 bis 60 % Aluminiumoxid. Das ergibt nach der weiteren Reduktion 20 bis 30 Masseprozent Aluminium. Es ist damit das ergiebigste Gestein im Hinblick auf den Aluminiumgehalt und die zur Verfügung stehenden Mengen.

1994 wurden weltweit rund 100 Millionen Tonnen überwiegend im Tagbau gefördert. Die abbauwürdigen Bauxitvorkommen auf der ganzen Erde werden zur Zeit auf zirka 140.000 Millionen Tonnen geschätzt. Ein großer Teil der erschlossenen Lagerstätten liegt in den tropischen Gebieten der Erde. Die ergiebigsten Vorkommen in Europa befinden sich im Mittelmeerraum, u. a. im ehemaligen Jugoslawien, in Griechenland und Spanien. Es gibt darüber hinaus auch in den westlichen Industrieländern riesige Vorkommen von alternativen Aluminiumrohstoffen. Dies sind silikatische Mineralien wie Ton, Kaolin, Andalusit, Anorthosit usw. Die Aluminiumgewinnung aus diesen Erzen ist technisch möglich, aber hauptsächlich aufgrund des geringen Metallgehaltes bis heute nicht wirtschaftlich.

Das aus dem Bauxit herausgelöste Aluminiumoxid Al₂O₃ (Tonerde) ist ein Zwischenprodukt für die Aluminiumherstellung. Für seine Gewinnung wird weltweit fast ausschließlich das Bayer-Verfahren angewendet. Abbildung 2 zeigt den Prozess in schematischer Form.

Abbildung 2:
Schematische Darstellung
des Bayer-Verfahrens

Quelle: Aluminium-Zentrale,
Aluminium-Merkblatt W1:
Der Werkstoff Aluminium



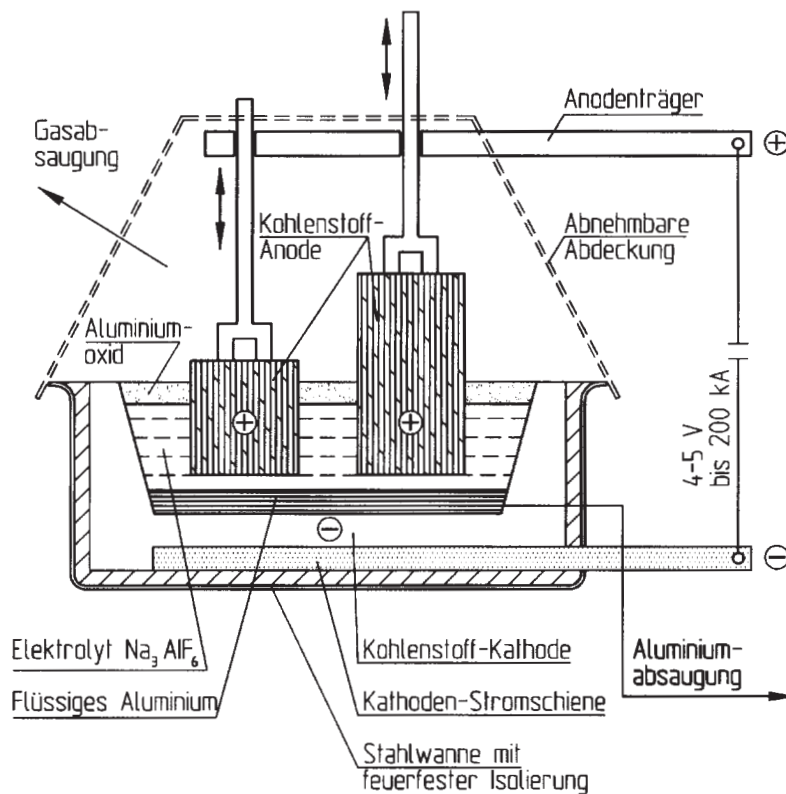
In einem ersten Schritt wird das Bauxit gemahlen und im Mischer in genau dosierter Konzentration mit der Aufschlusslauge NaOH (Natronlauge) vermischt. Dieses Gemisch kommt in den Autoklaven und wird dort unter Druck bei einer Temperatur bis zu 270 °C aufgeschlossen. Das Aluminiumoxid geht dabei als Natriumaluminat in Lösung. Druck und Temperatur sowie die Menge der zugesetzten Lauge hängt von der Beschaffenheit des Erzes ab. Im Eindicker werden die ungelösten Bestandteile ausgeschieden. Dies sind im wesentlichen Eisenoxid, Titanoxid und der größte Teil des Siliziumoxids. Diese Stoffe zusammen bilden den sogenannten Rotschlamm. In der Regel werden die ausgeschöpften Bauxitgruben mit sorgfältig von der Natriumsubstanz reingewaschenem Rotschlamm aufgefüllt. Diese Lagerstätten werden anschließend rekultiviert. Das Natriumaluminat wird im Ausrührer auf zirka 60 °C abgekühlt und mit geringen Mengen Aluminiumhydroxid „geimpft“. Dadurch entsteht eine Übersättigung, und der Großteil des Aluminiums fällt in Form von Aluminiumhydroxid aus, welches im nachfolgenden Vakuumfilter abgetrennt wird. Im Filter wird auch die Prozesslauge vom Aluminium gereinigt und wieder dem Mischer zur wiederholten Verwendung zugeführt. Schließlich wird das Aluminiumhydroxid in einem Drehrohr- oder Wirbelschichtofen (Kalzinierofen) auf etwa 1300 °C erhitzt (kalziniert). Dabei wird das noch enthaltene Wasser ausgetrieben. Als Ergebnis erhält man Aluminiumoxid (Tonerde) mit einem Reinheitsgrad von zirka 99 % in Gestalt eines trockenen, weißen Pulvers. Bei hochwertigen Bauxiten erhält man aus zwei Tonnen Rohmaterial eine Tonne Aluminiumoxid.

1.3 Die Herstellung von Hüttenaluminium mittels Schmelzflusselektrolyse

Die Schmelzflusselektrolyse ist ein Verfahren zur großtechnischen Reduktion von Aluminiumoxid in metallisches Aluminium. Der Schmelzpunkt von Aluminiumoxid liegt bei zirka 2050 °C. Durch den Einsatz von Kryolith wird die Schmelztemperatur auf etwa 950 °C gesenkt. Das Aluminiumoxid wird bis maximal 10% im Kryolith gelöst. Beim Durchgang von Gleichstrom scheidet sich das Aluminium am Minuspol (Kathode) ab. Der im Aluminiumoxid enthaltene Sauerstoff verbindet sich am Pluspol mit dem Kohlenstoff der Anode zu gasförmigem CO und CO₂. Die prinzipielle Anordnung eines modernen Elektrolyseofens ist in Abbildung 3 dargestellt.

Abbildung 3:
Prinzipschaubild einer modernen Elektrolysezelle

Quelle: Tritremmel,
Aluminiumprodukte im
Bauwesen

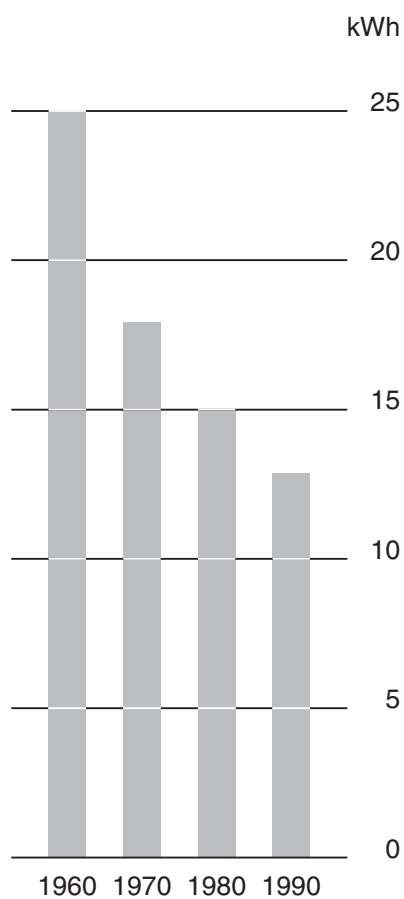


Die Elektrolysezelle besteht aus einer massiven Stahlwanne, die auf der Innenseite mit Schamotteziegeln ausgemauert ist. Der Boden und die Seitenwände der Wanne sind mit Kohlenstoffsteinen, welche als Kathode fungieren, ausgekleidet. Das abgeschiedene Aluminium ist schwerer als das Kryolith und lagert sich daher am Boden als flüssiges Metallbad ab. Dieses wird in regelmäßigen Abständen abgesaugt. Die Kohlenstoffanoden tauchen von oben in die Elektrolytschmelze ein und werden bei der Reaktion mit Sauerstoff verbraucht. Durch die kontinuierliche elektrolytische Zersetzung verarmt die Schmelze und muss daher laufend mit Aluminiumoxid angereichert werden. Um ständig die optimale Kryolithkonzentration aufrechtzuerhalten, erfolgt die Tonerdezufuhr bei modernen Elektrolysezellen computergesteuert. Um das unkontrollierte Entweichen der Abgase zu verhindern, ist die Zelle von der Umgebungsluft abgekapselt und an eine Gasreinigungsanlage angeschlossen.

Oft wird wegen des hohen Energieverbrauches an der Aluminiumproduktion mittels Schmelzflusselektrolyse Kritik geübt. Dazu ist festzuhalten, dass im Laufe der letzten Jahrzehnte das Verfahren u. a. durch den Einsatz von Computern permanent weiterentwickelt wurde und der Strombedarf für die elektrolytische Produktion von einem Kilogramm Aluminium in den letzten 30 Jahren um die Hälfte (auf rund 13 kWh) reduziert werden konnte.

Abbildung 4:
Sinkender Stromverbrauch
bei der Aluminiumherstellung

Quelle: Aluminium Initiative
Austria, Basis



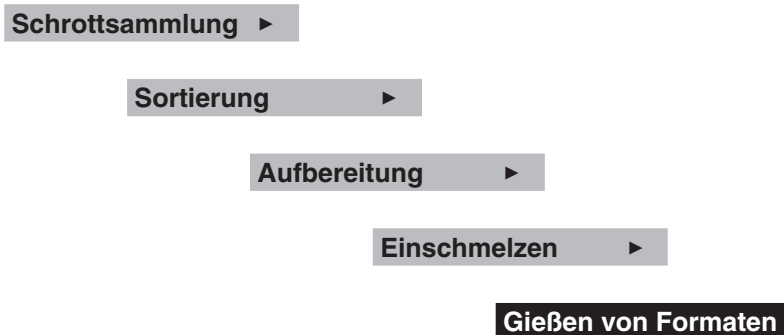
1.4 Die Erzeugung von Umschmelzaluminium

Ein Bauteil aus Aluminium kann grundsätzlich beliebig oft eingeschmolzen und zur Schaffung neuer Produkte verwendet werden. Die hohe Bedeutung von Umschmelzaluminium zeigt sich unter anderem daran, dass es derzeit bereits zirka 35 % des Gesamtaluminiumverbrauches in Europa abdeckt. Durch steigendes Altaluminiumaufkommen und durch den verstärkten wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Druck zum Übergang von der Durchfluss- zur Kreislaufwirtschaft und der damit einhergehenden Fortentwicklung der Verwertungstechniken wird dieser Wert in Zukunft weiter ansteigen.

Die Einsatzstoffe für Umschmelzaluminium sind im wesentlichen

- Neuschrotte, die bei der Herstellung von Zwischen- oder Endprodukten aus Aluminium anfallen,
- Altschrotte aus Produkten, die am Ende ihrer Nutzungsdauer angelangt sind und
- Abfallmaterial aus Aluminiumgießereien.

Der Prozess der Herstellung von Umschmelzaluminium setzt sich aus mehreren Teilschritten zusammen:



Bis in die siebziger Jahre waren die Schrotte, die in die Umschmelzhütten gelangten, eine Mischung aus den verschiedensten Aluminiumwerkstoffarten. Aufgrund der Schwierigkeiten, Legierungsbestandteile vom Aluminium abzutrennen, wurde das Umschmelzaluminium vorwiegend für Formgussteile verwendet. Heute werden sehr homogene Schrottfractionen bereitgestellt. Damit erhält man sogenannte „Legierungsfamilien“, aus denen gleiche oder zumindest ähnliche Produkte hergestellt werden. Dies erhöht die Anforderungen an die (getrennte) Sammlung und Sortierung von Alt- und Neuschrotten. Vergleichsweise günstig ist diese Situation bei der Verwertung von Aluminiumprofilen, die im Bauwesen für Fenster und Fassaden verwendet werden, weil sie in größeren Dimensionen anfallen und meist die gleiche Werkstofflegierung (in der Regel AlMgSi0,5) aufweisen.

Bei der Schrottaufbereitung fallen mechanische, chemische und thermische Vorbehandlungsverfahren an, die Verbundpartner, Beschichtungen und sonstige Anhaftungen vom Aluminium abtrennen. Beispiele für Arbeitsgänge bei derartigen Verfahren sind:

- Schreddern (Zerkleinern) des Schrottes
- Nassabtrennung (Schwimm-Sink-Scheidung) von Verunreinigungen
- Abschwelung nichtmetallischer, brennbarer Anhaftungen
- Magnetabscheidung von Eisenwerkstoffen
- Ausschmelzen des Aluminiums von anderen Metallkörpern

Beim Einschmelzen des aufbereiteten Aluminiumschrottes stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung.

Schmelzen im Trommelofen

Stärker verunreinigte Schrotte werden während des Schmelzvorganges mit einer Salzschiicht bedeckt. Das Salz (hauptsächlich Natriumchlorid NaCl und Kalziumchlorid CaCl) verhindert den Zutritt von Luftsauerstoff zur Schmelze. Dadurch wird die Oxidation des Aluminiums vermieden. Ein Teil der unerwünschten Stoffe wird sodann mit der auf dem flüssigen Aluminiumbad schwimmenden Salzschiacke abgezogen. Die Schiacke enthält rund 60 % Salzgemisch, 30 % Al₂O₃ und 10 % metallisches Aluminium. Die Wieder- bzw. Weiterverwertung der Substanzen ist aufwendig und problematisch, Teile davon werden deponiert.

Schmelzen im Zweikammerofen

Eine moderne Technologie zum Einschmelzen von Altaluminium mit geringer Verunreinigung durch Lacke oder Kunststoffbeschichtungen (z.B. Fensterrahmen) ist der Einsatz eines „Recyclingofens“ (Zweikammerofens). In der ersten Kammer wird die (energiereiche) Beschichtung mittels Schwefelgasen abgeschwelt. Das Gasgemisch wird anschließend als Brennstoff für das Heizen der zweiten, eigentlichen Schmelzkammer verwendet. Die Abgase müssen einer entsprechenden Reinigung (Staubfilter, thermische Nachverbrennung usw.) zugeführt werden. Salz ist bei dieser Methode, wenn überhaupt, nur in geringen Mengen erforderlich.

Schmelzen unter Einbeziehung spezieller Schrottreinigungstechnologien

Hier können Methoden wie Spülen mit Inertgas (Argon), Chlor oder Stickstoff zur Entfernung von Oxiden, Nitriden, Karbiden oder Gasen genannt werden. Die flüssige Aluminiumschmelze wird mittels eines Rotors in Bewegung gebracht und gleichzeitig mit dem jeweiligen Spülgas vermischt. Die Verunreinigungen werden an die Badoberfläche geschwemmt und können sodann entfernt werden (SNIF – Spinning-Nozzle-Inert-Flotation Method).

Das umgeschmolzene Aluminium wird schließlich in Formen gegossen. Gusslegierungen erstarren zu Gussmasseln. Aus Knetlegierungen werden Walzbarren oder Pressbolzen für die weitere Verarbeitung in Halbzeugwerken hergestellt.

1.5 Typische Eigenschaften von Aluminium

Der Werkstoff Aluminium wird heute auf sehr vielen verschiedenen Gebieten der Technik eingesetzt. In einigen Bereichen ist Aluminium unter technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten mit Abstand das geeignetste Material. Diese Stellung ergibt sich aus einer Reihe von vergleichsweise günstigen Eigenschaften. Darüber hinaus können diese Eigenschaften durch Legierungszusätze sehr stark variiert und verbessert werden, ein Umstand, den man in der Praxis bestmöglich zu nutzen versucht. Dabei ist jedoch zu beachten, dass die Verbesserung einer bestimmten Eigenschaft immer eine Verschlechterung anderer Eigenschaften zur Folge hat und die Legierung daher auf den Verwendungszweck abgestimmt werden muss. Aluminium wird folgendermaßen untergliedert:

Aluminium, unlegiert	
Reinaluminium	Der Reinheitsgrad beträgt zwischen 99 % und 99,9 %.
Reinstaluminium	Der Aluminiumanteil repräsentiert mindestens 99,99 %. Reinstaluminium kann durch weitere Reduktion von normalem Hüttenaluminium mittels der „Dreischichtenelektrolyse“ gewonnen werden.
Aluminiumlegierungen	
Gusslegierungen	Im Vordergrund stehen hier brauchbare Gusseigenschaften. Diese werden vornehmlich durch Siliziumzusätze von 5–20 % erreicht.
Knetlegierungen	Sie stellen den Basiswerkstoff für die durch Strangpressen oder Walzen usw. hergestellten Halbzeuge dar. Die bedeutendsten Legierungsmetalle für Aluminium im Bauwesen sind: Kupfer (Cu), Magnesium (Mg), Mangan (Mn), Silizium (Si) und Zink (Zn)

Charakteristische Eigenschaften von Aluminium:

Dichte bzw. Gewicht

Aluminium und seine Legierungen zählen zu den Leichtmetallen und haben spezifische Gewichte von $2700\text{--}2800\text{ kg/m}^3$. Dieser Wert liegt etwa bei einem Drittel der Dichte von Stahl. Der Gewichtsunterschied zu den Schwermetallen ist noch wesentlich größer. Hierin liegt ein in vielen Anwendungsbereichen genützter Vorteil zugunsten von Aluminium.

Festigkeitseigenschaften

Aluminium und seine Legierungen können, den jeweiligen Anforderungen entsprechend, innerhalb einer Bandbreite von etwa 60 bis 530 N/mm² Mindestzugfestigkeit hergestellt werden. Dazu gibt es eine Reihe von speziellen Verfahren, die Veränderungen im Metallgefüge bewirken. Die wichtigsten davon sind:

- Auswahl der Legierungen
- Kaltverfestigen von Reinaluminium oder legierten Aluminiumwerkstoffen durch Walzen, Ziehen, Schmieden usw.
- Warmaushärten bzw. Wärmebehandlung von Aluminiumlegierungen

Für Legierungen gilt die Faustregel: Je reiner das Metall, desto geringer ist seine Festigkeit und desto höher die chemische Beständigkeit.

Chemische Resistenz sowie Witterungs- und Seewasserbeständigkeit

Rein- und Reinstaluminium und auch die meisten Legierungen weisen eine hervorragende Beständigkeit gegenüber vielen flüssigen und gasförmigen Medien auf. Darüber hinaus gibt es mehrere Verfahren des zusätzlichen Oberflächenschutzes von fertigen Aluminiumprodukten.

Verhalten bei mechanischer Bearbeitung, Umform- und Schweißbarkeit

Aluminiumteile lassen sich mit nahezu allen herkömmlichen Methoden der spanabhebenden Bearbeitung (Drehen, Fräsen, Schleifen usw.) sowie spanlosen Trennverfahren (Stanzen, Schneiden) problemlos gestalten. Durch hohe Schnittgeschwindigkeiten können kurze Bearbeitungszeiten erreicht werden. Ähnlich günstig ist das Verhalten von Aluminium bei der Herstellung von Formteilen mit den üblichen Verfahren des Kalt- und Warmumformens. Zur Verbindung von Aluminiumteilen kommen verschiedene Varianten von Schutzgasschweißverfahren zur Anwendung.

Elektrische Leitfähigkeit

Aluminium hat eine hohe elektrische Leitfähigkeit und liegt im Vergleich mit anderen Gebrauchsmetallen hinter Silber, Kupfer und Gold an vierter Stelle.

Wärmeleitfähigkeit

Aluminium hat eine hohe Wärmeleitfähigkeit.

Wiederverwertung (Recycling)

Aluminium kann ohne Qualitätsverlust beliebig oft umgeschmolzen werden, d. h. beim Wiedereinschmelzen findet kein „downrecycling“ statt. Der Energieeinsatz beim Aluminiumrecycling beträgt zirka 5 % gegenüber der Herstellung von Hüttenaluminium. Der Anteil des eingesetzten Umschmelzaluminiums steigt in allen Anwendungsbereichen. In Österreich verzeichnete das Statistische Zentralamt von 1991 bis 1994 eine Steigerung von 80 %.

Sonstige Merkmale

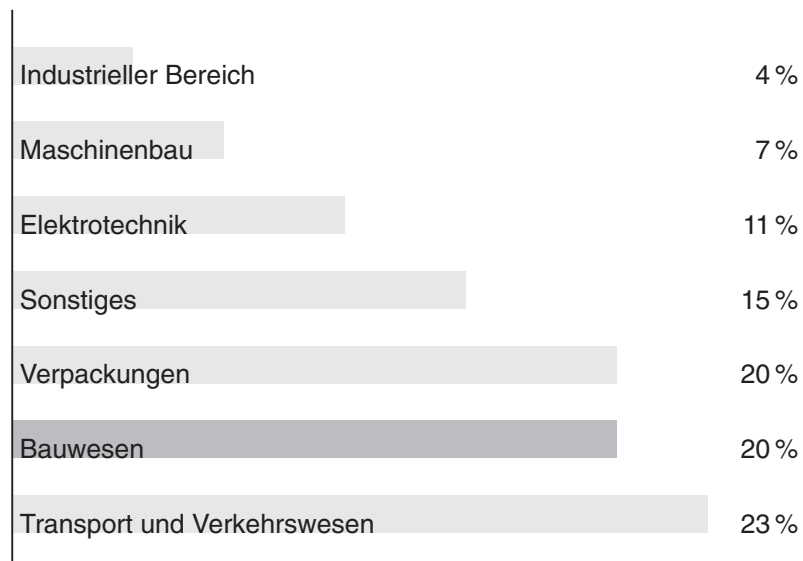
- Das optische Erscheinungsbild von blankem Aluminium ist durch sein hohes Reflexionsvermögen für Licht- und Wärmestrahlung gekennzeichnet.
- Aluminium ist antimagnetisch.
- Aluminium ist nicht brennbar.
- Aluminium ist ungiftig, d. h. der Kontakt menschlicher und tierischer Organismen mit dem Metall ist unbedenklich.

1.6 Verwendungsgebiete für Aluminiumwerkstoffe

Die Unternehmen der westlichen Industrieländer sehen sich heutzutage einer ständig wachsenden Zahl von Kundenbedürfnissen und immer kürzer werdenden Produktlebenszyklen gegenüber. Die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten in Bezug auf neue und kostengünstigere Produkte, Verfahren und Werkstoffe wurden nicht zuletzt deshalb im Laufe der letzten Jahrzehnte permanent verstärkt. Die Herstellungskosten von Aluminium sind seit Beginn seiner großtechnischen Produktion sukzessive gesunken. Vor diesem Hintergrund erscheint es plausibel, dass Aluminium angesichts seiner großen Zahl von vergleichsweise günstigen Eigenschaften viele traditionelle Werkstoffe zurückgedrängt hat und heute in einem breiten Spektrum Verwendung findet. Diese Bandbreite soll durch die nachstehende Graphik verdeutlicht werden.

Abbildung 5:
Aluminiumanwendungsbereiche in Österreich

Quelle: Tritremmel,
Aluminiumprodukte im
Bauwesen



2 Aluminium im Bauwesen

2.1 Anwendungsbereiche von Aluminium im Bauwesen

Ein plakatives Beispiel für die Langlebigkeit und Witterungsbeständigkeit von Aluminium ist die Kuppel der Kirche San Gioacchino in Rom, welche im Jahr 1897 mit Aluminiumblechtafeln eingedeckt wurde und heute noch völlig intakt ist. Auch der österreichische Architekt Otto Wagner hat bereits 1911 für die Fassade der Postsparkasse in Wien Aluminium verwendet. In der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts blieb die Anwendung von Aluminium im Hochbau weitgehend auf Dacheindeckungen beschränkt. Erst nach dem Zweiten Weltkrieg, als die Möglichkeiten der Oberflächengestaltung mittels anodischer Oxidation weiterentwickelt wurden, entdeckte man mit dem neuen Material vielfältige architektonische Gestaltungspotentiale. Dies führte in der Folge zur Herstellung von Schaufensterrahmen, Portalen, Gittern und Geländern sowie Beschlägen von Fenstern und Türen aus Aluminium. Das Verwendungsspektrum von Aluminium im Hochbau wurde zwischenzeitlich permanent ausgeweitet. Aluminium zählt heute zu den wichtigsten Baustoffen.

Der Erfolg von Aluminium basiert auch im Baubereich auf ständig erweitertem Fachwissen, das es ermöglicht, die vielfältigen Eigenschaften des Metalls gezielt zu nutzen. Vorteile des Einsatzes von Aluminium am Bau ergeben sich hauptsächlich aus dem günstigen Verhältnis Gewicht/Festigkeit, aus der Witterungsbeständigkeit und den Möglichkeiten der Farbgebung durch Beschichtung oder anodische Oxidation.

Die Bandbreite der Produkte und Bauteile aus Aluminium, soweit sie heute im Bauwesen Verwendung finden, erstreckt sich über die Bereiche:

- Fenster- und Türsysteme
- Fassadensysteme
- Fensterzubehör, Lüftungs- und Sonnenschutzelemente
- Treppen, Geländer und Zäune
- Dacheindeckungen und Mauerabschlüsse
- Profilsysteme für Ausstellungs- und Möbelbau
- Bauteile im Bereich Lüftungs- und Klimatechnik
- Baugruppen für die Nutzung alternativer Energie
- Aluminium zur architektonischen und künstlerischen Gestaltung
- Teile für den Ingenieurbau
(Masten, Gerüste, Brücken und Hallenbau)
- Sonstige spezielle Bauelemente

Die ersten drei der oben genannten Bereiche sind die klassischen Tätigkeitsfelder der Metallbauunternehmen (Aluminium-Fenster-Fachberater) und repräsentieren mengenmäßig den Hauptteil des im Bauwesen eingesetzten Aluminiums.

Metallbaubetriebe beschäftigen sich mit der Herstellung und der Montage von Konstruktionen aus Metall, soweit sie für den Einbau in Gebäude bestimmt sind. Verwendet werden überwiegend Systembauelemente, das sind standardisierte Profile, die nach Vorgaben im Baukastenprinzip zusammengefügt werden. Das technische Know-how und meist auch die Profile selbst werden von Anbietern, die auf Aluminiumprofilssysteme spezialisiert sind (Systemlieferanten), bezogen.

Fenster-, Tür- und Fassadenkonstruktionen sind raumabschließende Baugruppen, deren Rahmen aus stranggepressten Aluminiumprofilen bestehen. Bis in die 70er Jahre waren Aluminiumkonstruktionen aufgrund der hohen Wärmeleitfähigkeit des Metalls gegenüber dem traditionellen Fensterrahmenwerkstoff Holz keine ernsthafte Konkurrenz. Die Situation änderte sich mit dem umfassenden Einsatz von „wärmegeprägten Verbundprofilen“. Wärmegeprägte Verbundprofile aus Aluminium bestehen aus einem inneren und einem äußeren stranggepressten Aluminiumprofilteil. Diese beiden Teile sind durch Kunststoffisolierstege verbunden.

Der Bereich des modernen Metall-Glas-Fassadenbaus hat sich aufgrund der gehobenen technischen und gestalterischen Ansprüche (insbesondere durch die Forderung schlanker Ansichtsbreiten) zur Domäne des Werkstoffes Aluminium entwickelt. Aluminiumprofile bilden dabei entweder ein sichtbares Rahmengerüst, oder sie stellen die verdeckte Unterkonstruktion für die Befestigung der Glaselemente dar. Man kann heutzutage sehr viele verschiedene Profilquerschnitte auch in geringeren Mengen wirtschaftlich herstellen. Die Fassadensysteme werden dadurch äußerst variabel und ermöglichen individuelle Lösungen. Die damit gebotenen Möglichkeiten der Verbindung von Kreativität mit Funktionalität bei der Planung eines Bauwerkes werden insbesondere von Architekten und Bauingenieuren geschätzt.

Unter Fensterzubehör aus Aluminium fallen Sohl- und Fensterbänke oder Leibungsbekleidungen, da diese (je nach Einbausituation) nicht notwendigerweise Bestandteil eines Fensters sein müssen. Bei Sonnenschutzelementen, wie Rollläden, Jalousien oder Fensterläden, wird Aluminium in Form von Profilen oder gerollten bzw. geformten Blechen verarbeitet.

2.2 Arten von im Bauwesen bevorzugt verwendeten Aluminiumwerkstoffen und Halbzeugen

Aluminiumwerkstoffe lassen sich in Reinaluminium, Reinstaluminium und Aluminiumlegierungen unterteilen. Letztere stehen als Knet- und Gusswerkstoffe zur Verfügung.

Rein- und Reinstaluminium wird im Bauwesen kaum verwendet. Auch Gusslegierungen sind im Hochbau nur in sehr geringen Mengen vertreten. Anwendungsbeispiele hierfür sind dekorative Gussplatten für die Bekleidung von Wänden oder Fassaden und Beschläge aus Aluminium für Fenster und Türen.

Knetlegierungen repräsentieren den überwiegenden Teil des im Hochbau verarbeiteten Aluminiums. Unter den Begriff fallen alle Aluminiumwerkstoffe, die durch Kalt- oder Warmumformen (Walzen, Strangpressen, Ziehen, Schmieden) „durchgeknetet“ und zu Halbzeugen geformt werden.

ÖNORM EN 573-3 gibt Aufschluss über die metallische Zusammensetzung von handelsüblichen Aluminium-Knetlegierungen. Der Gesamtanteil der dem Aluminium beigefügten Legierungselemente liegt im Durchschnitt zwischen 0,5 % und 4,5 % (bei Gusslegierungen liegt dieser Wert bei durchschnittlich 12 %).

Tabelle 2:
Bedeutende Aluminiumwerkstoffe für das Bauwesen

Tabelle 2 enthält eine Auswahl von Aluminiumwerkstoffen, wie sie im Hochbau und in der Architektur bevorzugt eingesetzt werden.

Werkstoff DIN 1725	Typische Lieferzustände	Bevorzugte Lieferform	Eloxal- qualität	Eigenschaften und Anwendungsbeispiele
AlMgSi _{0,5}	F22	Profil	ja	Meistverwendete Legierungen für anodisierte Bauprofile
	F25	Profil	ja	
AlMgSi1	F28	Profil, Blech		Konstruktionswerkstoffe für erhöhte statische Beanspruchungen
	F31	Profil, Blech		
AlMg1	F15	Blech	ja	Anodisierte Bleche für Wand- und Fassadenverkleidungen
AlMg3	F18	Profil		Bevorzugt für handwerkliche Verarbeitung (Biegearbeiten, Schweißen)
AlMn1	F14	Blech		Unbehandelte Well- und Formbleche für Dacheindeckungen und Wandbekleidungen
Al99,5	F11	Blech		vorwiegend für industrielle und landwirtschaftliche Bauten
G-AlSi12	–	Formguss		Gegossene Beschläge, Brüstungsplatten, Reliefs, Kunstguss

Die in der Tabelle 2 angeführten genormten Werkstoffsymbole geben Hinweise auf die Hauptbestandteile der Legierung und zum Teil auch auf deren Eigenschaften: Beispielsweise bedeutet AlMgSi0,5, dass das Material neben Aluminium auch Magnesium und Silizium enthält, letzteres zu zirka 0,5 %. Darüber hinaus sind immer geringe Mengen anderer Metalle enthalten, deren Grenzwerte in ÖNORM EN 573-3 angegeben sind.

Al99,5 ist die Bezeichnung für Reinaluminium mit einem Reinheitsgrad von mindestens 99,5 %.

G-ALSi12 ist eine Aluminium-Gusslegierung (G für Guss) mit 12 % Silizium als Legierungskomponente. Fehlt das G, so handelt es sich immer um eine Knetlegierung.

Eine an das Werkstoffsymbol angehängte „Zustandszahl“ (F-Zahl) gibt Auskunft über die garantierte Mindestzugfestigkeit. So bezeichnet F22 eine Legierung mit mindestens 22 kp/mm² (entspricht rund 220 N/mm²) Zugfestigkeit.

Die Eloxalqualität eines Werkstoffes ist immer dann von Bedeutung, wenn ein dekoratives Aussehen von anodisch oxidierten Bauteilen gefordert wird. Bisweilen wird die Eloxalqualität auch mit dem Zusatz „dek“ oder „E“ zur übrigen Werkstoffbezeichnung angegeben.

Als Halbzeuge gelten Bleche, Bänder, Stangen, Drähte, Rohre, Profile und Schmiedestücke. Bleche in Tafelform, endlose Bänder und vor allem stranggepresste Profile in verschiedensten Querschnitten und Längen sind die bevorzugten Halbzeuge im Bauwesen bzw. im Metallbau.

Den hohen Stellenwert unter den im Baubereich eingesetzten Materialien hat Aluminium vor allem aufgrund der Weiterentwicklungen bei der Herstellung, Verarbeitung und dem Einsatz von stranggepressten Profilen erlangt.

3 Die Herstellung von Aluminiumprofilen und -blechen (Halbzeug) für das Bauwesen

3.1 Die Herstellung von Strangpressprofilen

Ausgangsmaterial beim Strangpressen ist Hütten- oder Umschmelzaluminium in Form von runden Pressbolzen. Der Rohling wird auf eine Temperatur von 400–500 °C erwärmt (Schmelzpunkt ≈ 650 °C) und bekommt dadurch die für den Umformvorgang notwendige Plastizität. Danach wird er in den ebenfalls erwärmten Rezipienten (Bolzenaufnehmer) eingesetzt. Das heiße Aluminium wird sodann mittels Pressstempel durch ein Werkzeug (Matrize) gepresst, welches durch seine Ausnehmungen die Querschnittsform des austretenden Profils bestimmt. Die Matrize ist eine Scheibe aus warmfestem Stahl, in welche durch Fräsen oder Funkenerodieren Durchbrüche, entsprechend dem gewünschten Profilquerschnitt, eingebracht sind. Der nach dem Pressvorgang austretende Strang wird abgekühlt, gereckt, das Profil in Stangenlänge abgetrennt und, wenn erforderlich, mechanisch gerichtet. Um eine entsprechende Festigkeit zu erreichen, wird das Profil einer Wärmebehandlung zugeführt.

Das Pressen eines einfachen Vollprofils ist in Abbildung 6 (Bild 1, links oben) dargestellt. Bei der Herstellung von runden oder anderen Hohlprofilen ist zusätzlich der Einsatz eines Dorns bzw. einer Brücke erforderlich (Abbildung 6, Bild 2 und 3). Dabei wird der erhitzte Bolzen geteilt, und das Aluminium fließt in mehreren Bahnen um die Brücke herum. Vor dem Eintritt in die Matrize werden die Aluminiumstränge wieder zusammengeführt und verschweißt. Dies ist auch die klassische Methode des Strangpressens von Fenster- und Fassadenprofilen.

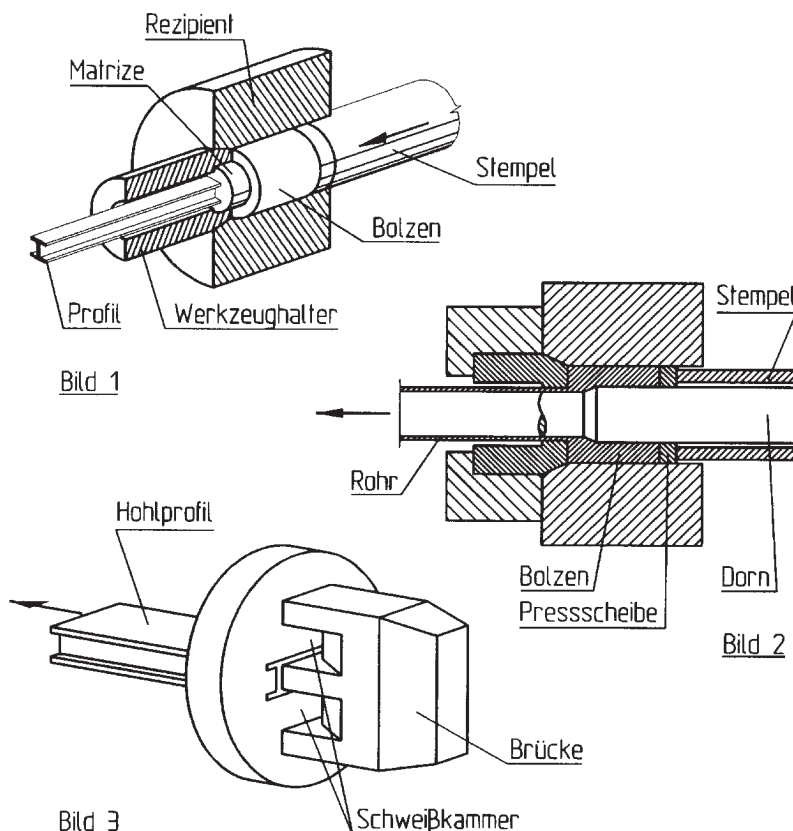
Abbildung 6:
Schematische Darstellung
des Strangpressverfahrens

Bild 1: Pressen eines Vollprofils

Bild 2: Pressen eines Rohres
mit Hilfe eines Dorns

Bild 3: Einsatz einer Brücke
zum Pressen eines eckigen
Hohlprofils

Quelle: Hartmann,
Handbuch für Architekten



Es gibt verschiedene Pressverfahren, z. B. direktes, indirektes oder hydrostatisches Strangpressen. Das erläuterte Grundprinzip gilt für alle Varianten.

Die Qualität eines Strangpressproduktes ist vom optimalen Zusammenspiel mehrerer Faktoren abhängig. So müssen beispielsweise die Art der Aluminiumlegierung, die Qualität des Pressbolzens, die Wärmebehandlung des Rohlings und des Rezipienten, die Gestaltung der Matrize, die Pressgeschwindigkeit, die Kühlung nach dem Pressen usw. sorgfältig aufeinander abgestimmt werden. Damit wird auch auf die Grenzen des Verfahrens hinsichtlich besonderer Werkstofflegierungen, Mindestwanddicken, Maßtoleranzen usw. hingewiesen.

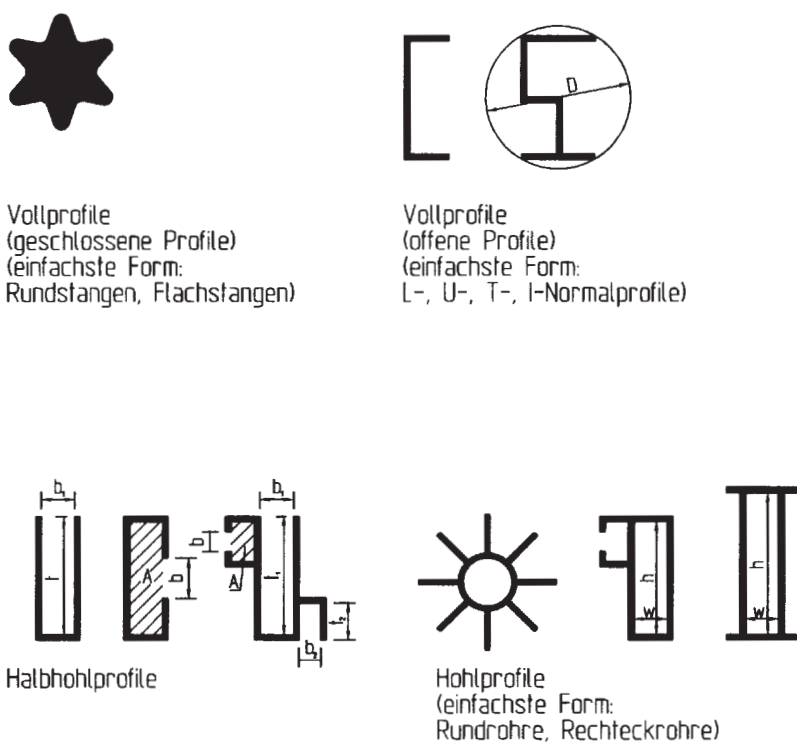
Um eine Vorstellung über Gestaltungsmöglichkeiten von stranggepressten Aluminiumprofilen zu bekommen, sind in Abbildung 7 einige Grundformen entsprechend DIN 1748-3 dargestellt.

Abbildung 7:
Grundformen für Strangpressprofile nach DIN 1748-3

Legende:

- b, b₁, b₂** Öffnungsbreite für Halbhohlprofile
- t, t₁, t₂** Größte lichte Tiefe für Halbhohlprofile
- A** Umschlossene Fläche bei Halbhohlprofilen
- h** Höhe des Hohlraums bei Hohlprofilen
- w** Weite des Hohlraums bei Hohlprofilen
- D** Durchmesser des umschreibenden Kreises

Quelle: Hartmann,
Handbuch für Architekten



An Strangpressprofile, die für die Weiterverarbeitung im Metallbau bestimmt sind, werden in der Regel relativ hohe Ansprüche gestellt. Aus diesem Grund wurden Strangpressprofile gemäß DIN 1748-4 (EN 755-9) durch eine Gruppe von Präzisionsprofilen ergänzt. Diese sind in DIN 17615-1 (EN 12020-1) und DIN 17615-3 (EN 12020-2) definiert. Sie unterscheiden sich von herkömmlichen Strangpressprofilen gemäß DIN 1748 durch die Beschränkung auf bestimmte Werkstoffzusammensetzungen, die grundsätzliche Eloxalqualität, erhöhte Anforderungen an die Oberflächenbeschaffenheit sowie eingeeingte Maß- und Formtoleranzen.

3.2 Wärmegedämmte Verbundprofile aus Aluminium

Wärmegedämmte Verbundprofile aus Aluminium (im weiteren bezeichnet als: wärmegedämmte Aluminiumprofile) bestehen aus zwei Profiltteilen, die durch ein Dämm- bzw. Isolierelement aus hochwertigem Kunststoff mit niedriger Wärmeleitfähigkeit (z. B. glasfaserverstärktem Polyamid) statisch verbunden und thermisch getrennt sind.

Für die Wärmedämmung des Verbundprofils ist neben der Wärmeleitfähigkeit des Isolierstoffes auch der Abstand zwischen den Profiltteilen und deren Querschnittsformen verantwortlich.

Tabelle 3:

Rahmenmaterialgruppen für wärmegedämmte Aluminiumfenster gemäß DIN 4108, Teil 4

Zur wärmeschutztechnischen Beurteilung können näherungsweise die Hinweise auf Rahmenmaterialgruppen für Fensterrahmen herangezogen werden (entspricht der Baupraxis in der BRD):

Rahmenmaterialgruppe	U-Bereich [W/m ² K]	Nachweis des Wärmedurchgangskoeffizienten durch
1	$U_R \leq 2,0$	Prüfzeugnis
2.1	$2,0 < U_R \leq 2,8$	Prüfzeugnis
2.2	$2,8 < U_R \leq 3,5$	Prüfzeugnis, oder die Einhaltung von konstruktiven Merkmalen in der Dämmzone laut DIN 4108, Tabelle 3. A
2.3	$3,5 < U_R \leq 4,5$	Prüfzeugnis, oder die Einhaltung von konstruktiven Merkmalen in der Dämmzone laut DIN 4108, Tabelle 3. B

Quelle: In Anlehnung an DIN 4108

Zur Herstellung der Verbindung zwischen dem Isoliermaterial und den beiden Aluminiumprofilen existieren grundsätzlich zwei Möglichkeiten:

- Einrollen von Isolierstäben bzw. -profilen zwischen die Aluminiumprofile
- Schäumen oder Gießen der Isolierzonen

Es gibt darüber hinaus noch Systeme, die beide Methoden kombinieren. Das Einrollen von Isolierprofilen hat sich am stärksten durchgesetzt und stellt heute auch den „Stand der Technik“ dar. Extrudierte Isolierstege aus Polyamid mit Glasfaserverstärkung werden – nach dem derzeitigen Wissensstand – den Anforderungen am besten gerecht.

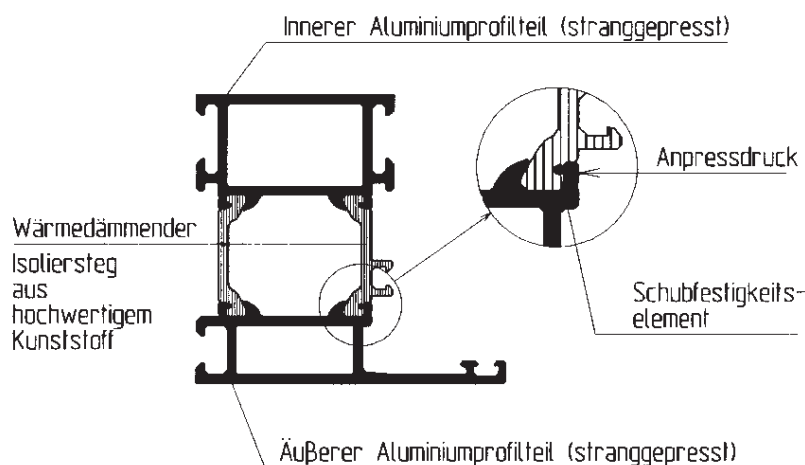
Zu Beginn des Einrollvorganges werden die Isolierprofile (-stäbe, -stege) in die Aufnahmenuten der Aluminiumprofilstangen (Standardlänge zirka sechs Meter) eingeschoben. Danach werden alle Teile zusammen der Rollanlage zugeführt. In der Maschine sind – je nach Profilquerschnitt – eine Reihe von Führungs- und Andruckrollen installiert. Beim Durchlauf der Teile pressen die Andruckrollen die an den Aluminiumprofilen vorgesehenen Stege fest gegen die Kunststoffstäbe, wodurch eine kraft- und formschlüssige Verbindung zwischen den Einzelteilen hergestellt wird. Als Ergebnis erhält man einen kompakten und stabilen Profilverbund. Dieser ist in der Lage, die an die fertigen Konstruktionen (Fenster, Türen usw.) einwirkenden Kräfte zuverlässig aufzunehmen und an das Bauwerk abzuleiten.

Die Mindestanforderungen an Längsschub- und Querkzugfestigkeiten sind zum Beispiel in den Richtlinien des DIBt (Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin) geregelt. Abbildung 8 zeigt ein fertiges wärmegeädämmtes Aluminiumprofil, das für den Einsatz als Fensterrahmen konzipiert ist. Der Pfeil zeigt auf die Stelle bzw. auf den Aluminiumsteg, an dem der mittels Andruckrollen aufgebrachte Anpressdruck wirksam wird.

Abbildung 8:

Beispiel für ein wärmegeädämmtes Aluminiumprofil

Quelle: Schüco



In der Regel erfolgt das Zusammenrollen der Aluminiumprofile mit den Isolierstegen im Strangpress- bzw. Halbzeugwerk auf qualitätsgesicherte und rationelle Weise. Erst anschließend werden die wärmegeädämmten Profile auf Bestellung der Metallbaubetriebe beschichtet oder anodisch oxidiert. Daraus ergibt sich auch die Notwendigkeit der Beständigkeit der Isoliermaterialien gegenüber den Einwirkungen im Eloxalbad bzw. gegenüber den hohen Beschichtungstemperaturen.

Das Einrollen kann auch nach der Profilbeschichtung oder -anodisation erfolgen. Diese Methode bringt den Vorteil, dass die beiden Teilprofile mit unterschiedlichen Oberflächen versehen werden können. Damit werden zusätzliche architektonische Gestaltungsmöglichkeiten eröffnet. Außen braun eloxierte und innen weiß beschichtete Fenster- oder Türkonstruktionen sollen hier nur als ein Beispiel genannt werden.

Diese Herstellung zweier verschiedener Oberflächen an wärmegeämmten Profilen ist aufgrund erhöhter Handling- und Transportkosten nur bei größeren Mengen gleichartiger Profile ökonomisch sinnvoll. Einige Profilsysteme bieten den Fensterherstellern auch die Option, das Zusammenfügen mit einfacheren und kleineren Maschinen in der eigenen Werkstatt vorzunehmen.

Grundsätzlich besteht die Möglichkeit der unterschiedlichen Oberflächenbehandlung der beiden Profiltteile auch nach dem Zusammenrollen. Durch zusätzliche Vorkehrungen beim Eloxieren bzw. Beschichten (Abkleben, Abdecken, Temperaturverringern usw.) entstehen jedoch beträchtliche Mehrkosten.

3.3 Die Herstellung von Aluminiumblechen

Aluminiumbleche und Aluminiumbänder werden durch Walzen hergestellt. Ausgangsmaterial ist Hütten- oder Umschmelzaluminium, das zu dicken Platten (Walzbarren) gegossen wird. Die Abmessungen dieser Walzbarren reichen bis 2500 x 3900 mm bei Dicken zwischen 300 und 600 mm. Erwärmt auf Walztemperaturen zwischen 400 und 540 °C werden Walzbarren „in einer Hitze“ auf die Enddicke der Warmwalzplatten oder Warmwalzbänder gewalzt. Die warmgewalzten Bänder werden bei Raumtemperatur auf die jeweilige Fertigungsdicke gewalzt und als Bänder oder Bleche der weiteren Verarbeitung zugeführt. Bänder verlassen das Walzwerk in Form aufgerollter Bunde (Coils). Bleche haben immer die Form von Tafeln.

Für die Verwendung im Bauwesen werden sowohl Bänder als auch Bleche produziert. Bänder in Dicken zwischen 0,5 und 1,2 mm werden als verformte Bauteile (z. B. als Trapez- oder Wellbleche) eingesetzt, bilden die Außenhaut von ebenen Verbundwerkstoffen (z. B. Paneelen) oder sind das Ausgangsmaterial für Spenglerarbeiten. Bleche stehen in Abmessungen bis 2200 x 4000 mm und Dicken von 1,5 bis 6 mm zur Verfügung. Ebene oder verformte Fassadenbekleidungen sowie Paneele, Sohl- und Fensterbänke, Blenden, Anschlussbauteile usw. werden vorwiegend in Dicken von 2–3 mm ausgeführt.

Für Bauteile mit eloxierter Oberfläche dürfen nur besonders vorbehandelte Walzprodukte benutzt werden. Abgefräste Oberflächen der Walzbarren und eine besondere Wärmebehandlung (Homogenisierung) sorgen neben den geeigneten Aluminiumwerkstoffen (Legierungen) für eine optisch gleichmäßige Oberfläche der eloxierten Bauteile.

Bei der Herstellung von großflächigen Bauteilen (z. B. Fassadenbekleidungen) ist die einheitliche Walzrichtung zu beachten.

4 Oberflächenbehandlung von Aluminium für Anwendungen im Bauwesen

Die Veredelung der Oberfläche von Aluminiumbauteilen und insbesondere auch von Fassadenprofilen erfüllt dreierlei Funktionen:

- Die optische und dekorative Gestaltung,
- die Steigerung der Korrosionsbeständigkeit des Metalls und
- die Erhöhung der Verschleiß- und Abriebfestigkeit des Bauelementes.

Es gibt heute eine Reihe von verschiedenen Möglichkeiten zur Erzeugung bestimmter Oberflächenschichten. Die Standardverfahren zur Oberflächenveredelung von Fenster- und Fassadenprofilen aus Aluminium sind die anodische Oxidation und die Farbbeschichtung. Diesen und auch allen anderen Verfahren ist gemeinsam, dass zur Erzielung der gewünschten Oberflächenqualität eine sorgfältige Vorbehandlung erforderlich ist.

4.1 Natürlicher Korrosionsschutz von blanken Aluminiumhalbzeugen

Korrosion ist die Bezeichnung für Anfrassungs- und Auflösungsprozesse, denen ein Metall durch den Kontakt mit anderen Stoffen ausgesetzt sein kann. Die Ursache dieses Phänomens liegt in der (je nach Metallart unterschiedlich intensiven) natürlichen Neigung von Metallen, chemische Verbindungen einzugehen. Korrosionsprozesse sind vorwiegend Oxidationsvorgänge, d. h. es bildet sich eine Verbindung zwischen dem Metall und Sauerstoff. Die korrodierende Wirkung besteht in einer von der Oberfläche ausgehenden Veränderung des Metallgefüges, welche in der Regel zu einer Beeinträchtigung der Funktionen und des Aussehens eines Bauteils führt.

Im Gegensatz zu vielen anderen Gebrauchsmetallen, z. B. Eisen, ist Aluminium in atmosphärischer Umgebung mit einem sehr guten natürlichen Korrosionsschutz ausgestattet. Durch die Verbindung des Metalls mit Luftsauerstoff wächst an der Oberfläche eine dünne, transparente Oxidschicht. Diese ist fest haftend und wird mit zunehmender Dicke mehr und mehr dicht schließend, sodass sich kurz nach Beginn der Reaktion ein Gleichgewichtszustand einstellt und der Zutritt weiterer Sauerstoffmoleküle versperrt wird, d. h. der Korrosionsprozess kommt allmählich zum Stillstand. Wird diese natürliche Oxidhaut beispielsweise durch mechanische Einwirkung verletzt, erneuert sie sich sozusagen von selbst. Im Gegensatz dazu ist die Korrosion von Eisen ein permanent fortschreitender Prozess, sodass sich das Metall nach einer größeren Zahl von Jahren unter ungünstigen Witterungseinflüssen zur Gänze in Eisenoxid zurückverwandelt.

Die Dicke der natürlichen Oxidschicht wird von den Umgebungsbedingungen bestimmt. Bei normalem Raumklima beträgt sie etwa $0,01 \mu\text{m}$ ($= 0,00001 \text{ mm}$). Ist ein Bauteil hohen Temperaturen und hoher Feuchtigkeit ausgesetzt, kann dieser Wert auf bis zu $0,1 \mu\text{m}$, also um das Zehnfache, anwachsen. In derartig dicken Schichten kann es zum Einschluss von Schmutzpartikeln kommen, die das Oberflächenaussehen stören. Dementsprechende Verfärbungen werden als Brunnenwasserschwärze bezeichnet. Die gute Korrosionsbeständigkeit von Aluminium ist weitgehend auf den chemisch neutralen Bereich ($\text{pH} = 5$ bis 8) beschränkt. Wird das Metall durch stark saure oder alkalische Medien angegriffen, so tritt Flächenkorrosion auf, d. h. es erfolgt eine fortlaufende Abtragung des Materials an der gesamten Berührungsfläche.

Insbesondere die Umgebungsluft in Meeresnähe und in Industriegebieten enthält aggressive, korrosionsfördernde Substanzen, vor allem Kochsalz und Schwefeldioxid. Ist Aluminium einer derartigen Atmosphäre ausgesetzt und kommt es infolge Taupunktunterschreitung häufig zu Kondenswasserbildung an der Metalloberfläche, entstehen viele kleine, muldenförmige Korrosionsstellen, die in der Folge wieder mit einer Oxidhaut bedeckt werden.

So bildet sich langsam ein dicker Oxidbelag, der zwar das Fortschreiten der Korrosion verhindert, jedoch das Oberflächenbild ungewollt verändert. Im Laufe der Zeit nehmen derart belastete Aluminiumteile ein mattgraues und glanzloses, schmutzig wirkendes Aussehen an.

Der natürliche Selbstschutz von unbehandeltem Aluminium ist für eine große Zahl von Anwendungen ausreichend. Bei stranggepressten Fenster- und Fassadenprofilen, die der Witterung ausgesetzt sind, gilt es jedoch durch entsprechende Behandlungsverfahren die erwähnten Veränderungen der Oberfläche zu verhindern.

4.2 Möglichkeiten der Oberflächenbehandlung

4.2.1 Vorbehandlungsverfahren

Zweck der Vorbehandlungsprozesse ist die Schaffung einer definierten Oberfläche als Basis für eine weitere Veredelung. Man unterscheidet zwei Arten von Vorbehandlungsverfahren, die mechanische und die chemische Oberflächenbehandlung.

Durch mechanische (oberflächenabtragende) Bearbeitung kann man herstellungs- oder transportbedingte Oberflächenfehler, wie Unebenheiten, Kratzer, Press- oder Feilriefen, entfernen, aber auch Oberflächen mit unterschiedlicher Rauigkeit sowie dekorative Strukturen und Effekte erzeugen. Bei Fassadenprofilen kommen hauptsächlich das Grob- und Feinschleifen, das Polieren und das Bürsten (Satinieren) zur Anwendung.

Die wichtigsten Verfahren der chemischen Vorbehandlung sind das Entfetten, das Beizen und die chemische Oxidation.

Meist ist die natürliche Oxidhaut eines Aluminiumprofils aufgrund seiner Vorgeschichte durch Fremdstoffen, wie Reste von Presshilfsmitteln, Transportschutzölen oder Ähnlichem, verunreinigt. Eine sorgfältige Reinigung durch Entfetten ist für nahezu alle nachfolgenden Behandlungen (auch die mechanischen) erforderlich. Entfetten kann man mittels organischer Lösungsmittel oder Emulsionsreiniger, mittels alkalischer Reinigungsmittel oder auf elektrolytischem Weg.

Das Beizen dient in erster Linie der Abtragung der auf dem Aluminium haftenden natürlichen Oxidschicht. Diese Art der Vorbehandlung schafft den geeigneten Untergrund sowohl für eine chemische als auch für eine anodische Oxidation sowie für die Aufbringung nichtmetallischer Überzüge.

Durch die chemische Oxidation entsteht an der Aluminiumoberfläche eine 2 bis 5 µm dicke Schutzschicht, deren Korrosionsbeständigkeit wesentlich höher ist als jene der natürlichen Oxidhaut. Darüber hinaus stellt sie einen ausgezeichneten Haftgrund für Lacke und Kunststoffpulverschichten dar, weshalb sich die chemische Oxidation als Vorstufe der Pulverbeschichtung von Aluminiumprofilen bestens bewährt hat. Im Wesentlichen kommen zwei Verfahrensvarianten zur Anwendung, das Gelbchromatieren und das Phosphatieren, die sich hauptsächlich durch die Zusammensetzung der Behandlungslösung, die Prozesstemperatur und die damit erzielbaren Schichtdicken unterscheiden.

**4.2.2
Anodische Oxidation**

Das Verfahren der anodischen Oxidation, auch Eloxalverfahren (elektrolytisch oxidiertes Aluminium) oder Eloxieren genannt, dient der Erzeugung einer künstlichen Oxidschicht an der Oberfläche von Aluminiumbauteilen oder -halbzeugen, deren im Vergleich zur natürlichen Oxidhaut wesentlich größere Dicke und Widerstandsfähigkeit die Korrosions- und Witterungsbeständigkeit beträchtlich erhöht. Durch die Transparenz dieser künstlich geschaffenen Oxidhaut und die kaum gegebene Gefahr von Schmutzeinschlüssen durch atmosphärischen Einfluss kann das ursprüngliche Aussehen und der metallische Charakter der Bauteile über lange Zeit konserviert werden. Dabei bleiben auch die durch chemische oder mechanische Vorbehandlungen (Polieren, Bürsten usw.) erzielten Effekte sichtbar. Überdies bietet die anodische Oxidation eine (im Vergleich zur Pulverbeschichtung allerdings beschränkte) Reihe von Möglichkeiten zur Farbgebung.

ÖNORM C 2531 enthält Regelungen über technische Lieferbedingungen für anodisch oxidierte Erzeugnisse aus Aluminium. Unter anderem fordert die Norm eine Oxidschichtdicke von mindestens 20 µm für alle der Witterung ausgesetzten Teile und minimal 10 µm für innenliegende, mechanisch nicht beanspruchte Teile. Tabelle 4 enthält die in ÖNORM C 2531 angegebenen Symbole für verschiedene Vorbehandlungen der anodischen Oxidation.

Tabelle 4:
Kurzzeichen für die anodische Oxidation in Abhängigkeit von der Art der Vorbehandlung

Art der Behandlung		
Kurzzeichen	Vorbehandlung	Haupt- und Nachbehandlung
A0	Keine oberflächenabtragende Vorbehandlung	Anodisiert und verdichtet
A1	Geschliffen	Anodisiert und verdichtet
A2	Gebürstet	Anodisiert und verdichtet
A3	Poliert	Anodisiert und verdichtet
A4	Geschliffen und gebürstet	Anodisiert und verdichtet
A5	Geschliffen und poliert	Anodisiert und verdichtet
A6	Chemisch vorbehandelt in Spezialmattbeizen	Anodisiert und verdichtet

Quelle: In Anlehnung an ÖNORM C 2531

Eine Voraussetzung für das einwandfreie dekorative Aussehen ist die Verwendung von Aluminiumlegierungen in Eloxalqualität. Die gebräuchlichste Legierung für zu anodisierende Fenster- und Fassadenprofile ist AlMgSi0,5 Eloxalqualität. Für zu anodisierende Bleche wird üblicherweise AlMg1 Eloxalqualität verwendet.

Bei der anodischen Oxidation gibt es mehrere Verfahrensvarianten, die alle auf dem Prinzip der elektrolytischen Umwandlung der Metalloberfläche in Aluminiumoxid beruhen. Das Aluminiumwerkstück wird in ein Bad aus verdünnter Säure getaucht und als positive Elektrode (Anode) geschaltet. Als negative Elektrode (Kathode) werden Aluminium-, Blei- oder Edelstahlplatten verwendet. Legt man an die Elektroden Gleichspannung, so wandern im Säurebad negativ geladene Anionen zur Anode, d. h. zum Werkstück, und geben dort Sauerstoff ab. Dieser reagiert mit dem Aluminium, und es bildet sich Aluminiumoxid (Al_2O_3). Es entsteht eine sehr dünne, porenlose oxidische Sperr- oder Grundschicht und darüber eine feinporige, festhaftende Deckschicht, deren Dicke mit zunehmendem Stromdurchgang, bezogen auf die ursprüngliche Oberfläche, etwa ein Drittel aus dem Metall heraus und zu zwei Dritteln ins Metall hineinwächst. Beide Schichten zusammen bilden eine kompakte Oxidhaut.

Die Eigenschaften der Oxidschicht, u. a. die Dicke, die Färbung, die elektrische Leitfähigkeit und die Härte, können durch unterschiedliche Anodisierverfahren variiert werden. Für die Eloxierung von Fassadenprofilen sind besonders die Möglichkeiten der Farbgebung von Bedeutung, weshalb sich die nachfolgenden Ausführungen auf die damit zusammenhängenden Verfahren beschränken.

Farblose Oxidschichten (Aluminium im Naturton) werden heute in der Regel nach dem GS- oder GSX-Verfahren (Standardverfahren) hergestellt. Ersteres arbeitet mit Gleichstrom und einer Schwefelsäurelösung als Elektrolyt, beim GSX-Verfahren wird der Lösung außerdem noch Oxalsäure zugefügt. Die Kosten für die benötigte Energie und die Elektrolyte sind bei beiden Methoden vergleichsweise gering.

Zur Erzeugung farbiger Oxidschichten kommen in der Praxis drei Methoden zur Anwendung: die Tauchfärbung, das elektrolytische Färben und die Farbanodisation.

Beim Tauchfärben (absorptives Einfärben) werden die mittels GS- oder GSX-Verfahren anodisierten Aluminiumprofile in ein Bad mit einer organischen oder anorganischen Farbstofflösung getaucht. Dabei werden die Farbstoffe von der porösen oxidischen Deckschicht absorbiert. Farbtöne in Blau, Rot, Gold und Schwarz sind bei dieser Methode erzielbar.

Das elektrolytische Färben erfolgt in einer der Standardanodisation folgenden Verfahrensstufe. Bei dieser zweiten Anodisierung werden metallsalzhaltige Elektrolyten verwendet. Unter Einwirkung von Wechselstrom (das Aluminiumwerkstück ist als Kathode geschaltet) lagern sich farbige Metalloxide auf der Basis von Zinn, Kobalt, Nickel oder Kupfer am Porengrund der zuerst erzeugten Deckschicht ab. Die so hergestellte Färbung ist im Vergleich zur Tauchfärbung besonders lichtecht und witterungsbeständig. Die Farbpalette reicht von Hellbronze über Rotbraun, Dunkelbronze und Grau bis hin zu Schwarz. In Abhängigkeit von der Badzusammensetzung, der Stromdichte und -spannung sowie der Färbedauer wurden von der Aluminiumindustrie und den Eloxalwerken verschiedene Verfahrensvarianten entwickelt, die unter diversen Markennamen (Anolok, Colinal, Colorox, Metoxal usw.) bekannt sind.

Der Prozess der Farbanodisation entspricht im Prinzip der Vorgangsweise bei der Erzeugung farbloser Oxidschichten. Der Unterschied bei der Farbanodisation liegt darin, dass durch die Eintragung spezieller Säuren in den Elektrolyten eine Eigenfärbung der Oxidschicht erzeugt wird. Diese Färbung kann weiters durch die Verwendung ausgewählter Aluminiumlegierungen beeinflusst werden, beispielsweise ruft ein hoher Mangengehalt eine Schwärzung der Oberfläche hervor. Mit derartigen Verfahren, die in der Regel unter Markennamen geschützt sind, produzierte Oxidschichten sind härter und abriebfester als die des GS- oder GSX-Verfahrens.

Die vielfältigen Farbkombinationen und -bezeichnungen sind in der ÖNORM C 2531 standardisiert. Die Bedeutung der dabei verwendeten Kurzzeichen verdeutlicht Tabelle 5.

Tabelle 5:
Standardfarbfächer nach
ÖNORM C 2531

	Kurzzeichen	Farbbezeichnung
Absorptive Einfärbung/ organisch oder anorganisch	C0	ungefärbt
	C2	hellgold
	C3	mittelgold
	C4	dunkelgold
	C5	hellbronze
	C6	mittelbronze
	C7	dunkelbronze
	C8	schwarz
Elektrolytische Einfärbung	C31	leichtbronze
	C32	hellbronze
	C33	mittelbronze
	C34	dunkelbronze
	C35	schwarz

Quelle: In Anlehnung an ÖNORM C 2531

Das Verdichten (Sealen) ist der abschließende Arbeitsgang bzw. die Nachbehandlung der anodischen Oxidation. Durch das Verdichten wird die offene, poröse und für Farbstoffe aufnahmefähige oxidische Deckschicht geschlossen (versiegelt). Erst damit erreicht die Eloxalschicht die optimale Korrosionsbeständigkeit sowie die Licht- und Wetterechtheit der Färbungen. Die zweckmäßigste Form des Verdichtens ist eine hydrothermische Behandlung des frisch anodisierten und eventuell gefärbten Aluminiumprofils. Durch den Kontakt des Aluminiums mit Wasserdampf wird die zuvor erzeugte Oxidschicht hydratisiert. Die damit verbundene Volumensvergrößerung bewirkt einen Porenverschluss.

4.2.3 Farbbeschichtung

In den letzten Jahren hat die Farbbeschichtung von Aluminiumprofilen und -blechen für das Bauwesen erheblich an Bedeutung gewonnen. Dies liegt nicht zuletzt an einem anhaltenden Trend zu farbbewussterem Gestalten in der Architektur. Die Möglichkeiten der Farbgebung sind beim Beschichten nahezu unbegrenzt, ohne dadurch Verluste bei der Witterungsbeständigkeit der Bauteile hinnehmen zu müssen. Beschichtete Profile sind gegenüber Alkalitäten durch Mörtel, Kalk oder Zement unempfindlich. Diese Eigenschaft ist in speziellen Situationen von Vorteil.

Hinsichtlich der Legierungszusammensetzungen bestehen seitens der Beschichtung kaum Einschränkungen.

Die einwandfreie Qualität und hohe Lebensdauer der Oberfläche erfordert sorgfältig durchgeführte Vorbehandlungsprozesse. Die Vorbehandlung mittels Entfetten, Beizen und chemischer Oxidation stellt eine gängige industrielle Verfahrenskombination dar. In jüngster Zeit gewinnt die anodische Oxidation auch als Vorbehandlungsverfahren für die Farbbeschichtung an Bedeutung.

Bei der Beschichtung von im Bauwesen verwendeten Aluminiumprofilen haben sich zwei Verfahren durchgesetzt, die Flüssiglackbeschichtung bzw. Nasslackierung sowie in besonderem Maße die Pulverbeschichtung.

a) Nasslackierung

Bei der Nasslackierung erfolgt die Applikation des flüssigen Lackes durch Aufspritzen mittels Druckluft oder durch elektrostatisches Spritzen. Heute werden lufttrocknende Lacke zum Beispiel Zwei-Komponenten-Polyurethan-Lacke oder ofentrocknende Lacke (zum Beispiel auf Basis von Silikon-Polyester bzw. PVDF) verwendet. Letztere benötigen Einbrenntemperaturen zwischen 150 °C und 240 °C.

b) Pulverbeschichtung

Das Beschichtungsmaterial bei der elektrostatischen Pulverbeschichtung ist trocken und pulverförmig mit Korngrößen zwischen 20 und 60 µm. Für Außenanwendungen (z. B. Fenster- und Fassadenprofile) hat sich Polyesterpulver durchgesetzt, für Innenbereiche sind es meist Epoxidpulver oder Epoxid-Polyester-Mischpulver.

Das Pulver wird mittels einer Sprühpistole durch ein elektrisches Feld mit hoher Feldstärke geschossen (somit elektrostatisch aufgeladen) und mit Druckluftunterstützung gegen das geerdete und kalte Aluminiumwerkstück gesprüht. In der Folge setzen sich die Pulverpartikel gleichmäßig an dessen Oberfläche fest. Anschließend wird der Pulverlack in einem Durchlauf- oder Standofen bei 160–220 °C eingebrannt. Dabei schmilzt das Pulver zu einem Kunststofffilm, und es tritt eine Vernetzungsreaktion ein. Nach dem Abkühlen ist der Aushärteprozess abgeschlossen.

5 Anwendung von Aluminiumprofilen und -blechen (Halbzeug) im Hochbau

5.1 Fensterbau

5.1.1 Fensterfunktionen und Anforderungen an Fenster

Durch ihren Einfluss auf die Wohnqualität, den Energiehaushalt und den Gebrauchswert eines Gebäudes müssen Fenster als zentrale Elemente in der Architektur angesehen werden.

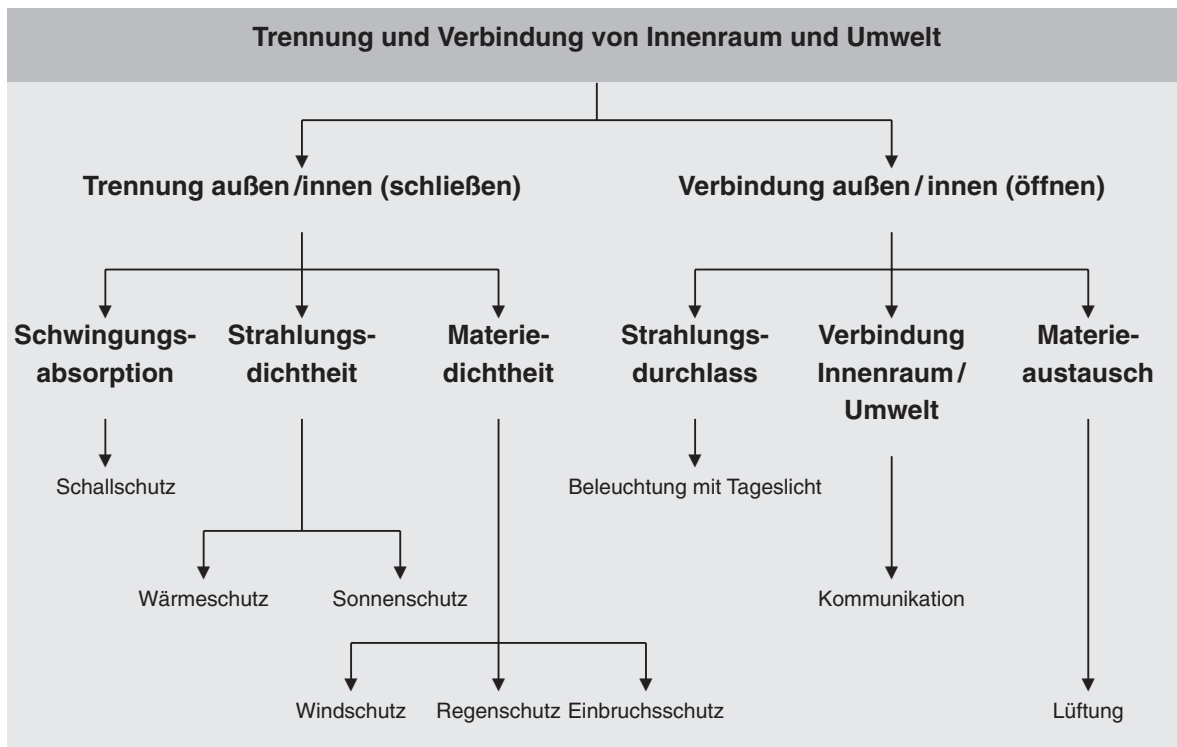
Ein Fenster unterscheidet sich von vielen anderen Bauteilen einer Gebäudehülle durch die Vielzahl seiner Funktionen. Unter dem Terminus „Funktion“ wird hier die „Fähigkeit eines Bauelementes, einen bestimmten Zweck zu erfüllen“, verstanden.

Geht man davon aus, dass der ureigenste Sinn eines Fensters einerseits in der Schaffung einer Verbindung zwischen Innenraum und Außenwelt und andererseits in der Trennung der beiden Sphären liegt, führt eine Funktionsanalyse zu mehreren Grundfunktionen. Werden diese auf einer nächsten Stufe weiter konkretisiert, ergeben sich die im Prinzipschaubild Abbildung 9 dargestellten Zusammenhänge.

Abbildung 9:
Systematik der Funktionen eines Fensters

Quelle: Wippel, Gegenüberstellung der verschiedenen Fensterkonstruktionen

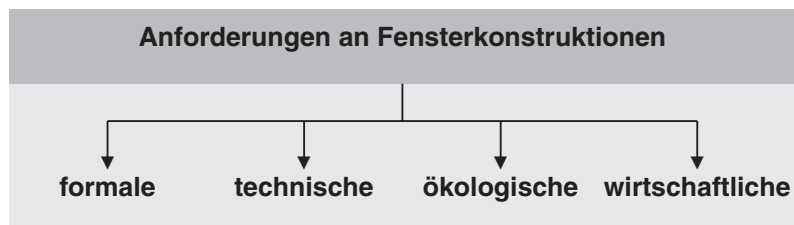
Darüber hinaus dienen Fenster der Gestaltung von Fassaden, und sie schaffen künstlerisch-ästhetische Möglichkeiten der Betonung einer landschaftsbezogenen Architektur.



Aus den Fensterfunktionen erwachsen eine Reihe von konkreten Anforderungen an das Bauelement (siehe Abbildung 10).

Abbildung 10:
Fensteranforderungen

Quelle: Tritremmel,
Aluminiumprodukte im
Bauwesen



Die Fachliteratur lässt eine einheitliche Systematik der Anforderungen an Fenster vermissen. Oft werden die formalen und manchmal auch die wirtschaftlichen Anforderungen unter die technischen gereiht. Die ökologischen Faktoren werden erst in der jüngeren Literatur – ihrer angestiegenen gesellschaftlichen Bedeutung entsprechend – besonders hervorgehoben.

Eine häufig anzutreffende Klassifizierung unterscheidet lediglich zwischen formalen und technischen Anforderungen:

Formale Anforderungen

- Größe, Format, Teilung
- Oberflächengestaltung
- Öffnungsart
- Rahmenwerkstoff

Technische Anforderungen

- Angriffshemmung (fallweise)
- Brandschutz (fallweise)
- Luftdurchlässigkeit
- Lüftung
- Mechanische Beanspruchung
- Nutzungssicherheit
- Schallschutz
- Schlagregendichtheit
- Wärmeschutz

Die formalen Anforderungen resultieren in erster Linie aus den subjektiven Bedürfnissen der Bauherren bzw. der Benutzer.

Die Erfüllung der technischen Anforderungen hingegen kann unter Berücksichtigung des Verwendungszweckes objektiv bewertet werden. Das Ergebnis wird im Allgemeinen als Gebrauchstauglichkeit bezeichnet. Mit anderen Worten, die Gebrauchstauglichkeit ist die (technische) Eignung eines Fensters für den vorgesehenen Verwendungszweck. Sie wird durch die Planung, die Auswahl der Werkstoffe, die Herstellung und die Instandhaltung bestimmt. Die technischen Anforderungen an Fenster- und Türkonstruktionen sind in den österreichischen Regelwerken (Normen, Richtlinien und Verordnungen) enthalten.

Die letzten Jahrzehnte waren gekennzeichnet durch einen permanenten Zugewinn an Erkenntnissen bezüglich der Umweltbelastung durch Produkte und deren Herstellung sowie einem steigenden gesellschaftlichen Umweltbewusstsein. Folgen davon sind eine größer werdende Anzahl von entsprechenden gesetzlichen Regulierungen und eine zunehmende Umweltorientierung der Bauherren und Architekten bei der Wahl der Baustoffe. Damit ist auch die wachsende Bedeutung der ökologischen Anforderungen an Fensterwerkstoffe angesprochen.

In die Diskussion um die Umweltbelastung durch Fenster, welche lange Zeit sehr emotional geführt wurde, sind hauptsächlich die verschiedenen Rahmenwerkstoffe einbezogen. „Diese Diskussion ist wichtig und – nachdem in den letzten Monaten eine Versachlichung zu beobachten ist – sicher auch wichtig für die weitere Entwicklung.“

Die ökologischen Anforderungen an Fenster können wie folgt formuliert werden:

- Umweltverträgliche Erzeugung und Bereitstellung der Werkstoffe
- Sparsamer und materialgerechter Einsatz der Werkstoffe
- Maßnahmen zur Verlängerung der Nutzungsdauer
- Wiederverwendung der Werkstoffe statt einer unwiederbringlichen Entsorgung

Der Anforderungskatalog muss schließlich noch ergänzt werden um die wirtschaftlichen Anforderungen, die seitens der Bauherren bzw. Verwender an Fenster gestellt werden. Sie bestehen in der Optimierung der Kosten einer Fensterkonstruktion mit bestimmten formalen, technischen und ökologischen Ausstattungsmerkmalen. Die von einem Fensterelement verursachten Kostenarten können in drei Gruppen gegliedert werden, und zwar in jene der Anschaffungs-, der Nutzungs- und der Abbruchphase. Die wichtigsten dieser Kostenarten sind:

- Investitionskosten
- Instandhaltungskosten
(Pflege, Reinigung und Ölen von beweglichen Teilen)
- Wartungskosten (Anstricherneuerung)
- Entsorgungskosten (Deponie, Verbrennung)
- Erlöse aus der Wiederverwertung (Recycling)

Die Abschätzung der Gesamtkosten und der ökonomische Vergleich alternativer Konstruktionen erfordert die Berücksichtigung aller kostenwirksamen Faktoren. Ein alleiniger Vergleich der Investitionskosten ist zwar sehr einfach durchzuführen, das Ergebnis entbehrt allerdings jeglicher Aussagekraft. Ein ganz wesentlicher Einflussfaktor ist die Lebensdauer der verwendeten Werkstoffe und Einzelteile bzw. die Nutzungsdauer der Fensterelemente.

Keine der zuvor erläuterten Anforderungsgruppen darf isoliert von den anderen betrachtet werden, und auch die Anforderungen innerhalb einer Gruppe sind oft miteinander verknüpft. Beispielsweise haben die durch die gewünschte Architektur oder durch Lüftungserfordernisse festgelegte Fenstergröße und Öffnungsart maßgebliche Auswirkungen auf technische Faktoren, wie die Schlagregendichtheit, die Fugendurchlässigkeit, den Wärmeschutz usw.

Die Wahl des Rahmenwerkstoffes beeinflusst eine Reihe anderer Faktoren, wie die Möglichkeiten der Oberflächengestaltung, die formale Erscheinung, den Wärme- und Schallschutz und den Wartungsaufwand. Nicht zuletzt bestimmt der Rahmenwerkstoff auch die Nutzungsdauer von Fensterkonstruktionen und die Dauerhaftigkeit ihrer Qualitätseigenschaften.

Diese Tatsache macht es notwendig, bei der Investitionsentscheidung sowie bei der Planung, Herstellung und Montage von Fenstern neben den technischen Belangen auch die übrigen Forderungen gleichberechtigt mit einzubeziehen. Eine seriöse Beurteilung alternativer Fensterwerkstoffe und -herstellungsverfahren ist nur möglich, wenn alle Anforderungen im Hinblick auf den Verwendungszweck der jeweiligen Konstruktion möglichst genau geprüft und adäquat berücksichtigt werden.

Letztendlich werden die formalen, technischen, ökologischen und ökonomischen Anforderungen an Fensterkonstruktionen aus den menschlichen Bedürfnissen abgeleitet. Das Ausmaß, in dem diesen Bedürfnissen Rechnung getragen wird, trägt wesentlich zur Schaffung eines hohen Wohn- und Gebrauchswertes eines gesamten Gebäudes bei.

5.1.2 Statische und bauphysikalische Aspekte im Fensterbau

Der gegenständliche Abschnitt soll nähere Informationen über einige bereits erwähnte, aber für die Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit von Fensterkonstruktionen besonders wichtige bauphysikalisch-technische Anforderungen vermitteln.

a) Mechanische Beanspruchung

Voraussetzung für die einwandfreie Funktion und den späteren Gebrauchswert eines Fensters ist die richtige statische Dimensionierung der Rahmenkonstruktion. Die statischen Anforderungen werden dann erfüllt, wenn alle Kräfte, die auf ein Fenster einwirken, aufgenommen und an die Tragwerke des Baukörpers abgegeben werden.

Die mechanische Beanspruchung entsteht in erster Linie durch Windbelastung, aber auch durch Lasten aus Eigengewichten und in besonderen Fällen auch durch Verkehrslasten.

Windlasten manifestieren sich in horizontal gegen Gebäude wirkende Kräfte und entfalten Druck- und Sogwirkungen. Diese hängen außer von der Windgeschwindigkeit auch von der Gestalt und Situierung des Bauwerkes ab. Die Lasten aus Eigengewichten resultieren hauptsächlich aus dem Gewicht von eingesetzten Glaselementen. Ein Beispiel für eine Verkehrslast ist das Auftreten von Seitenkräften bei in Bodennähe eingebauten Konstruktionen („verkehrsgefährdete Lage“, z. B. in einem Treppenhaus) durch unbeabsichtigtes Anstoßen oder durch Menschengedränge.

Die Fensterrahmenprofile müssen so dimensioniert werden, dass selbst bei Extrembelastung bestimmte Grenzwerte der rechnerischen Durchbiegung nicht überschritten werden. Für die Ermittlung von Mindest-Profilquerschnitten existieren mittlerweile verlässliche Berechnungsmethoden und Erfahrungswerte.

Ein Nachweis der Standsicherheit von Fenstern und Fensterwänden im Sinne der Bauordnung ist nur dann erforderlich, wenn sie in den Geltungsbereich der DIN 18056 (Angabe von Mindestgrößen, Mindestlängen der Haupttragglieder usw.) fallen. Eine Hilfestellung für die Wahl der für Windlasten einzusetzenden Berechnungsparameter (Belastungswerte in Abhängigkeit der Gebäudelage, -höhe und -form, Geländeform usw.) bietet ÖNORM B 4014, Teil 1, die auch die Grundlage für die Dimensionierung der Fensterprofile darstellt.

b) Wärmeschutz

Unter Wärmeschutz im Hochbau versteht man alle Maßnahmen, welche die Wärmeübertragung zwischen Innenräumen und der Außenluft oder zwischen Räumen mit verschiedenen Temperaturen behindern. Die Aufgaben des Wärmeschutzes an Gebäuden bestehen einerseits in der Senkung des Energiebedarfes für die Beheizung (winterlicher Wärmeschutz) bzw. Kühlung (sommerlicher Wärmeschutz) und andererseits in der Erzielung von physiologischer Behaglichkeit für die Bewohner.

Man unterscheidet zwei Hauptkriterien für den Wärmeschutz von Fenstern:

- Wärmeverluste durch Glas und Rahmenwerkstoffe in Form von Wärmeleitung, Konvektion und Wärmestrahlung (Transmissionswärmeverluste)
- Wärmeverluste durch Fensterlüftung und Fugendurchlässigkeit (Lüftungswärmeverluste)

Die wichtigste Kenngröße für die Berechnung und für Vergleiche von Transmissionswärmeverlusten ist der Wärmedurchgangskoeffizient. Der U-Wert (früher k-Wert) $[W/m^2K]$ ist ein Ausdruck für jene Wärmemenge, die in einer Stunde durch $1 m^2$ eines Bauteils von der Dicke s (m) bei einer Temperaturdifferenz zwischen der angrenzenden Raumluft und Außenluft von $1 K$ hindurchgelangt. Grundsätzlich gilt: Je niedriger der U-Wert (früher k-Wert) ist, umso geringer sind die Wärmeverluste. Mindestwärmedämmwerte in Form von Forderungen an den U-Wert (früher k-Wert) sind in der ÖNORM B 8110 (Hochbau, Wärmeschutz) empfohlen sowie in diversen Gesetzen und Verordnungen (Bauordnungen der Bundesländer) vorgeschrieben.

Den aktuellen Stand stellt eine am 9. Juni 1995 bekanntgemachte Vereinbarung zwischen der österreichischen Bundesregierung und den Ländern (gemäß Art. 15 a BVG) über den energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden dar. Von den darin enthaltenen Mindestanforderungen für die Wärmedämmung sind auch Fenster und Türen betroffen. Es heißt u. a.:

- Beträgt die Fensterfläche weniger oder gleich 30 % der Außenwandfläche, darf der U-Wert (früher k-Wert) der Außenwand höchstens $0,50 W/m^2K$ betragen.
- Beträgt die Fensterfläche mehr als 30 %, ist ein mittlerer U-Wert (früher k-Wert) über die Außenwand einschließlich aller Fenster und Türen von $0,90 W/m^2K$ einzuhalten.
- Der U-Wert (früher k-Wert) von Fenstern und Türen gegen Außenluft darf im Durchschnitt über Rahmen und Verglasung höchstens $1,90 W/m^2K$ betragen.

Der Wärmedurchgangskoeffizient eines Fensterelementes U_F (früher k_F) ist ein Mischwert und wird bestimmt aus dem U-Wert (früher k-Wert) der Verglasung und jenem der Rahmenkonstruktion. Er ist gemäß ÖNORM B 5300 an einem verglasten Fenster in den Abmessungen 1230 x 1480 mm durch Prüfung zu ermitteln. Für die Abschätzung der U-Werte (früher k-Werte) herkömmlicher Fenstergrößen können U_F -Werte (früher k_F -Werte) (Durchschnitts-U-Werte in Abhängigkeit der U-Werte verschiedener Glastypen und Rahmenmaterialgruppen) der DIN 4108, Teil 4, Tabelle 3, entnommen werden.

c) Fugendurchlässigkeit und Schlagregendichtheit

Lüftungswärmeverluste entstehen einerseits durch beabsichtigtes Öffnen von Fenstern zwecks Austausch von Raumluft gegen Außenluft (= Lüftung) oder durch Luftströme über Fugen bei geschlossenen Fenstern. Bei der Thematik Fensterlüftung besteht ein Konflikt zwischen zwei konkurrierenden Zielsetzungen: Zum Zwecke der Minimierung von Wärmeverlusten sollten die Elemente möglichst dicht schließen. Andererseits ist ein bestimmter Luftaustausch aus hygienischen und bauphysikalischen Gründen (Kondenswasserbildung bei zu hoher Luftfeuchtigkeit im Raum – siehe Unterpunkt d) notwendig. Der stündliche Austausch in einem Wohnbau soll im Mittel dem 0,8fachen Wohnungsvolumen entsprechen. Dies kann zwar nur durch regelmäßige Lüftung erreicht werden, dennoch ist es nicht zweckmäßig, eine gegen Null gehende Fugendurchlässigkeit der Fenster anzustreben, ausgenommen bei Räumen mit zusätzlicher Belüftung. Dem Zielkonflikt sollte insofern begegnet werden, als der Luftaustausch eines Innenraums kontrolliert werden kann. Diese Kontrollierbarkeit wird nur dann möglich, wenn die Fugendurchlässigkeit von Fenstern quantitativ bestimmt ist und diese auch dauerhaft eingehalten wird.

Die allgemein gebräuchliche Kennzahl für die Fugendurchlässigkeit eines Fensters ist der Fugendurchlässigkeitskoeffizient bzw. a-Wert. Der a-Wert [$\text{m}^3/\text{h m Pa}^{2/3}$] ist ein Maß für die Luftmenge, die auf einer Fugenlänge von 1 m zwischen Flügel- und Blendrahmen innerhalb einer Stunde bei einer Druckdifferenz zwischen Außen- und Innenatmosphäre von 10 Pa ausgetauscht wird. (Die Einheit $\text{Pa}^{2/3}$ kennzeichnet den nichtlinearen Zusammenhang zwischen Druckdifferenz und der Menge an durchströmender Luft.)

Um die Anforderungen an die Fugendurchlässigkeit und Schlagregendichtheit von Fenstern definieren zu können, sieht die ÖNORM B 5300 Beanspruchungsgruppen (A bis D) vor. Diese berücksichtigen die Winddruck- und Wetterverhältnisse am Einbauort. Die Norm enthält auch Bestimmungen über die Prüfung des Fugendurchlässigkeitskoeffizienten (a -Wert). Die Fugendurchlässigkeit eines Fensters wird durch seinen dichten Anschluss bestimmt. Bei modernen Fenstern ist ein a -Wert von $0,2 \text{ m}^3/\text{h m Pa}^{2/3}$ anzustreben. Dieser Wert darf nicht überschritten werden, sollte aber auch nicht wesentlich unterschritten werden.

Die Fugendurchlässigkeit ist nicht nur ein Kriterium für die Lüftungswärmeverluste über die Fensterfugen, sondern auch für die Dichtheit gegen Schlagregen. Die Forderungen nach Schlagregendichtheit sind nicht absolut. In Ausnahmefällen kann es vorkommen, dass die kalkulierte Beanspruchung überschritten wird und Wasser in geringen Mengen in die Konstruktion eintritt. Für derartige Situationen müssen konstruktive Vorkehrungen (z. B. Kanäle im Rahmenprofil) getroffen werden, die das Wasser kontrolliert wieder nach außen leiten und dadurch Schäden am Fenster und an den angrenzenden Bauteilen verhindern. Auf der Raumseite darf kein Wasser aus dem Fenster austreten.

Die Fugendichtheit bei Fenstern wird durch die Falzausbildung, vor allem aber durch die Qualität und die Lage der Dichtungen bestimmt werden. Entscheidend ist weiters die dauerhafte Formstabilität (keine Verkrümmung, Verformung oder Verspannung) der Rahmenprofile und die einfache Auswechselbarkeit der Dichtungen.

d) Tauwasserbildung

In bewohnten und in den meisten gewerblich genutzten Räumen wird laufend Wasserdampf erzeugt, z. B. durch die Atemluft von Menschen, durch Kochen, Baden usw. Unter ungünstigen Bedingungen kann es an bestimmten Stellen im Raum zu Tauwasserbildung kommen, in der Umgangssprache ist oft von „Schwitzwasser“ die Rede. Die Ursache liegt in der physikalischen Tatsache, dass die Luft in Abhängigkeit vom Luftdruck und der -temperatur nur eine begrenzte Menge an Wasser in Dampfform aufnehmen kann. Bei gleichem Luftdruck kann warme Luft mehr Wasserdampf aufnehmen als kalte. Ist die relative Luftfeuchtigkeit in einem Raum sehr hoch und wird die Luft unter die Sättigungstemperatur (Taupunkttemperatur) abgekühlt, fällt Tauwasser aus.

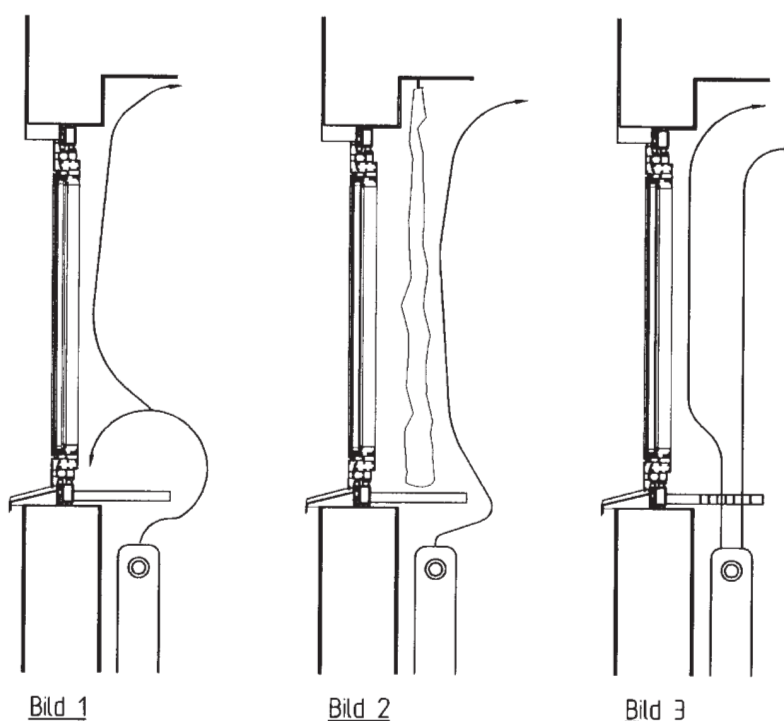
Die Tauwasserbildung tritt zuerst an den Stellen mit den niedrigsten Oberflächentemperaturen auf. In den meisten Räumen ist das Fenster einschließlich der angrenzenden Bereiche der Außenwand wärmeschutztechnisch die schwächste Stelle. Dies gilt grundsätzlich für alle gebräuchlichen Rahmenmaterialien und Verglasungen. Eine absolute Tauwasserfreiheit im Fensterbereich kann aufgrund von gelegentlich auftretenden kritischen Raumklimaverhältnissen auch bei den modernen Konstruktionen mit sehr guten Wärmedämmwerten nicht erreicht werden. Es ist durch konstruktive Maßnahmen sicherzustellen, dass an Fenster anschließende Bauteile nicht durchfeuchtet werden.

Abbildung 11:
Beispiel für eine Maßnahme zur Vermeidung von Tauwasser an Fenstern

Bild 1 und 2 neigen zu Kondenswasserbildung im unteren bzw. ganzen Fensterbereich

Im **Bild 3** ist die Warmluftführung optimal

Quelle: Hartmann,
Handbuch für Architekten



Um den Tauwasserniederschlag im Fensterbereich weitgehend zu vermeiden, werden verschiedene Maßnahmen empfohlen, unter anderem

- einen niedrigen U-Wert (früher k-Wert) der Fenster anstreben,
- Kältebrücken im Anschlussbereich des Fensters an den Baukörper vermeiden,
- Fenster möglichst weit innen in der Leibung plazieren,
- Heizkörper unter den Fenstern anordnen und den Warmluftstrom gegen die Fenster führen,
- Steuerung der relativen Luftfeuchtigkeit, z. B. durch Vermeidung unnötiger Dampfbildung.

Unabhängig von all diesen Maßnahmen, allerdings von ausschlaggebender Bedeutung ist die regelmäßige Abfuhr von Wasserdampf durch richtige Raumlüftung in Form von kurzzeitiger „Stoßlüftung“. In den meisten Wohnräumen wird sich die zur Vermeidung von Tauwasser notwendige Frischluftzufuhr mit dem aus hygienischen Gründen erforderlichen Luftwechsel in Einklang bringen lassen.

e) Schallschutz

Unter den Begriff Schallschutz im Hochbau fallen alle Maßnahmen, die eine Schallübertragung von einer Schallquelle zu den Bewohnern von Gebäuden vermindern. Die Forderung, einen durch Straßen- und Verkehrslärm verursachten hohen Außenlärmpegel auf einen der jeweiligen Nutzung der Räume entsprechenden Innenraumpegel zu reduzieren, gilt für Fenster ebenso wie für andere Außenbauteile eines Bauwerkes.

Die Schallschutzanforderungen an Außenwände und Fenster in Abhängigkeit von der Gebäudelage (Ruhe-, Wohn-, Industriegebiet usw.) und dessen Nutzung sind in der ÖNORM B 8115, Teil 2, geregelt.

Das Beurteilungskriterium für den Schallschutz von Fenstern ist das bewertete Schalldämmmaß R_w [dB], welches einem im Labor an einem Prüffenster ermittelten Wert entspricht. Für den praktischen Gebrauch wurden in der VDI-Richtlinie 2719 Schallschutzklassen (0 bis 6) aufgestellt. In die Klasse 0 werden Fenster mit Schalldämmwerten ≤ 24 dB eingestuft, danach folgen die Klassen 1 bis 5 im Abstand von jeweils 5 dB. Fenster mit Schalldämmwerten ≤ 50 dB fallen in die höchste Schallschutzklasse 6.

Die Schalldämmung von Fenstern kann in besonderem Maße durch die Wahl der Verglasung, insbesondere durch die Scheibendicke bzw. -masse und den Glasscheibenabstand beeinflusst werden. Weitere Einflussgrößen sind die Art der Randeinspannung der

Glaselemente, die Ausbildung des Baukörperanschlusses, die Fugendichtigkeit (siehe Unterpunkt c) und die Alterungsbeständigkeit der Fenstermaterialien.

Der Schalldämmwert der Glaselemente steigt mit zunehmender Glasdicke. Dickere Gläser verursachen eine Zunahme der Lasten aus ihrem Eigengewicht, woraus sich die Forderung nach einer stabilen Rahmenkonstruktion ableiten lässt.

Doppel- oder dreischalige Verglasungen bringen erst dann einen nennenswerten schalltechnischen Vorteil gegenüber einer Einfachscheibe, wenn der Scheibenzwischenraum (= Abstand der Gläser) wesentlich größer als bei normaler Isolierverglasung ausgebildet wird. Zur Vermeidung von Resonanzerscheinungen müssen die Glasscheiben außerdem noch unterschiedlich dick gewählt werden. Die Forderung nach großen Scheibenabständen kann durch spezielle Konstruktionen, und zwar durch Verbundflügel- oder Kastenfenster, erfüllt werden. Die besten Schallschutzergebnisse (Schallschutzklasse 6) werden in der Regel durch Kastenfenster erzielt.

5.1.3 Die Eigenschaften eines Aluminiumfensters

Ziel der folgenden Ausführungen ist es, aufzuzeigen, inwieweit sich wärmegeämmte Aluminiumprofile eignen, die an Fensterrahmen gerichteten Erwartungen zu erfüllen. Es wird versucht, die Eigenschaften von Aluminiumfenstern den in den vorangegangenen zwei Abschnitten dargestellten Anforderungen gegenüberzustellen. Dabei werden nur diejenigen Fenstereigenschaften behandelt, welche mit dem Rahmenwerkstoff direkt oder indirekt im Zusammenhang stehen. Die Funktionserfüllung anderer Fensterkomponenten, beispielsweise Verglasungen, Beschläge oder Zubehörteile, ist unabhängig von der Art des Rahmenmaterials und wird daher in die gegenständliche Betrachtung nicht einbezogen.

a) Stabilität

Wärmegeämmte Aluminiumprofile können problemlos und mit hoher Präzision in den verschiedensten Querschnitten hergestellt und damit an die statischen Erfordernisse unterschiedlicher Fenstergrößen angepasst werden. Die günstigen Festigkeitseigenschaften der Profile ermöglichen selbst bei großen Fensterabmessungen maximale Lichtflächen durch verhältnismäßig schlanke Rahmen- und Sprossenbreiten. Dies gilt grundsätzlich für Anwendungsfälle mit hohen Windlasten als auch für Fälle, bei denen große Rahmenbelastungen durch schwergewichtige Glaselemente (z. B. für den Schall-, Brand- oder Einbruchschutz) auftreten. Die Dimensionsstabilität der Aluminiumprofile bleibt selbst bei extremen Witterungseinflüssen (Feuchtigkeit, Frost, Sonneneinstrahlung usw.) auf

Dauer erhalten, d. h. es besteht keine Gefahr, dass das Material quillt, schwindet, sich verzieht oder erweicht. Unkontrollierte Veränderungen der Luftdurchlässigkeit und der Schlagregendichtheit werden damit verhindert.

Im Falle dunkler Farbgebung der Fensterrahmen kommt es aufgrund intensiver Sonneneinstrahlung zu hohen Oberflächentemperaturen, was große Wärmedehnungen der Aluminiumprofile zur Folge hat. Dies muss bereits bei der Planung der Elemente, z. B. durch Dilatationsfugen oder durch entsprechende Bewegungsräume im Verglasungs- und Baukörperanschlussystem, berücksichtigt werden.

b) Wärmeschutz

Die intensive Energiespardiskussion der letzten Jahre hat zu verstärkten Bemühungen geführt, die Fenster und Türen als wärmetechnisch schwächste Stellen einer Außenwand näher zu untersuchen und zu verbessern. Da die hohe Wärmeleitfähigkeit von Aluminium durch Modifikation der Legierung nur marginal verringert werden kann, mussten die Aluminiumfensterhersteller andere Lösungen suchen, um sich mit ihren Erzeugnissen gegenüber dem wärmetechnisch besseren Rahmenwerkstoff Holz behaupten zu können. Eine technisch einwandfreie und wirtschaftliche Lösung wurde mit der Entwicklung von thermisch getrennten Verbundprofilen gefunden.

Aluminiumfenster, die für Außenanwendungen bestimmt sind, werden heute fast ausschließlich aus wärmegeprägten Profilen gefertigt. In Verbindung mit guten Wärmeschutzgläsern (2-Scheiben-Isolierverglasung) als Füllelemente können die heute vorgeschriebenen Anforderungen an den Wärmeschutz im Hochbau erfüllt werden. Unter normalen klimatischen Raumverhältnissen wird damit auch die Kondenswasserbildung vermieden.

Die Hersteller von Aluminiumprofilen stehen zur Zeit im Wettbewerb um die weitere wärmedämmtechnische Aufwertung ihrer Erzeugnisse. Die meisten von ihnen haben bereits Neuentwicklungen mit verbesserten Wärmedämmwerten vorgestellt, welche bis vor kurzem nur Holz- und Kunststofffenster erfüllen konnten. Es ist damit zu rechnen, dass diese verbesserten Profile in näherer Zukunft auf breiter Basis eingesetzt werden. Nähere Ausführungen dazu sind im nachfolgenden Kapitel 6 „Technische Innovationen“ zu finden.

c) Brandschutz

Aluminiumprofile können in Verbindung mit anderen Materialien zum Bau von Brandschutzportalen, -fenstern und -türen verwendet werden. Der Einsatz derartiger Konstruktionen ist überwiegend auf Innenanwendungen mit hohen ästhetischen Ansprüchen konzentriert. Dabei gelten die Anforderungen der ÖNORM B 3800, welche zwischen den drei Kategorien brandhemmend, hochbrandhemmend und brandbeständig unterscheidet. Brandschutzelemente, deren Rahmen aus einer Kombination von Stahl- und Aluminiumprofilen bestehen, können die höchsten Brandschutzklassen erreichen. Dagegen wurden für T(Tür)-30- bzw. F(Fenster)-30-Elemente (brandhemmend) bereits Lösungen ohne Stahlkern entwickelt. Die Brandschutzanforderungen werden durch in Aluminiumprofile eingeschobene Brandschutzplatten erreicht. Die Vorteile dieser Bauart bestehen hauptsächlich in der Einsparung von Material- und Verarbeitungskosten sowie im deutlich geringeren Gewicht der Gesamtkonstruktion, welches die Montagearbeiten vereinfacht und das Öffnen und Schließen im eingebauten Zustand erleichtert. Die hohe Wärmeleitfähigkeit von Aluminium stellt bei Brandschutzelementen einen Vorteil dar.

d) Sicherheit

Eine für viele Anwendungsfälle wichtige Funktion von Fenstern und Türen ist der Einbruchschutz. Die Zielsetzung dabei lautet, das Element so zu gestalten, dass einem versuchten Aufbruch möglichst viel und lange Widerstand entgegengesetzt wird. Eine erhöhte einbruchshemmende Eigenschaft von Fenstern und Türen wird im Wesentlichen durch die Verwendung von Spezialverglasungen und besonderen Beschlägen (Spezialschlösser, Sicherheitsbänder, Mehrfachverriegelungen usw.) sowie durch einen sicheren Anschluss der Elemente an den Baukörper erreicht. Die Rahmenprofile sind deshalb von zentraler Bedeutung, weil durch ihre Stabilität und Steifigkeit die Möglichkeiten des Aushebelns und Verformens verringert werden.

Wärme gedämmte Aluminiumfenster und -türrahmen sind aufgrund der Festigkeit und Zähigkeit des Materials für die Erfüllung einbruchshemmender Forderungen besonders geeignet. In Verbindung mit entsprechendem Zubehör können Aluminiumfenster bis in die höchsten EF(Einbruchshemmende Fenster)- und ET(Einbruchshemmende Türen)-Klassen konstruiert und gebaut werden.

Aluminiumprofile ermöglichen darüber hinaus auch den Bau von durchschusshemmenden Sicherheitskonstruktionen, die – je nach konkreter Ausführung – den Widerstandsklassen nach ÖNORM S 1310 gerecht werden. Bei durchschusshemmenden Fensterrahmen sind die außenliegenden Profilwände – entsprechend der geforderten Widerstandsklasse – besonders dick ausgeführt. Dies kann durch eigens stranggepresste dickwandige Profile erfolgen oder durch Beplankung von normalen wärmegeämmten Profilen mit Platten aus speziellen Aluminiumlegierungen.

e) Oberflächenerscheinungsbild

Durch die modernen Techniken der anodischen Oxidation und der Beschichtung können Aluminiumfensterrahmen mit unterschiedlichen Oberflächenstrukturen (z. B. Schleifen oder Polieren) und in einer Vielzahl von Farbtönen hergestellt werden. Damit steht ein großes architektonisches Gestaltungspotential zur Verfügung.

f) Wartung und Reinigung

Die Erhaltung der Funktionstüchtigkeit (Luftdurchlässigkeit, Schlagregensicherheit, Wärme- und Schallschutz) eines Fensters setzt eine regelmäßige Wartung während seiner Nutzungszeit voraus. Beim Aluminiumfenster beschränkt sich diese auf vom Rahmenwerkstoff unabhängige Prüf- und Instandhaltungstätigkeiten, wie Beschläge ölen, Befestigungen nachziehen, Glas- und Falzdichtungen bzw. Anschlussfugen (an den Baukörper) ausbessern. Es sind grundsätzlich keinerlei Erneuerungsarbeiten an der Rahmenoberfläche erforderlich.

Eine regelmäßige Reinigung verhindert die Veränderung des Farbtones beschichteter oder eloxierter Aluminiumprofile durch Verschmutzung. Als Reinigungsmittel kommen neben reinem Wasser Spezialreiniger mit oder ohne Konservierungsmittel in Frage (siehe Aluminium-Merkblatt A5 der Aluminium-Zentrale). Kommt es zu Ablagerungen von Kalk- oder Zementmörtel, z. B. während des Fenstereinbaus, werden anodisch oxidierte Oberflächen bei längerem Einwirken verätzt und bleibend beschädigt. Eine Reparatur durch Reinigung ist danach nicht mehr möglich. Besteht diese Gefahr, sind die Fenster (z. B. mittels einer Kunststoffolie) vorbeugend abzudecken. Tritt dennoch eine Verschmutzung auf, muss diese schnellstmöglich beseitigt werden. Aus diesen Überlegungen resultiert auch die Empfehlung, Aluminiumfenster so spät wie möglich in ein Bauwerk einzubauen.

g) Lebensdauer

Aufgrund der natürlichen Korrosionsbeständigkeit von Aluminium, welche bei Fensterprofilen durch zusätzliche Oberflächenbehandlungen noch verstärkt wird, ist die Lebensdauer von Aluminiumfensterrahmen unbegrenzt.

h) Wiederverwertung

Gebrauchte Aluminiumprofile lassen sich durch Umschmelzen ohne Qualitätsverlust vollständig wiederverwerten (Recycling).

5.1.4 Das Systemfenster

Die systematische Entwicklung des Aluminiumfensters begann im deutschsprachigen Raum vor etwa 40 Jahren. Zuvor fehlten verlässliche Berechnungsgrundlagen und auch Erfahrungswerte, so dass häufig nach „Gefühl“ konstruiert und gebaut wurde. Die steigende Fensternachfrage gegen Mitte der fünfziger Jahre veranlasste die Aluminium-Halbzeugindustrie, Fenstersysteme zu entwickeln. Der Aufbau und die sukzessiven Verbesserungen von Profilsystemen haben auch kleinen und mittleren Handwerksbetrieben den Zugang zu den Fenstermärkten verschafft. Nicht zuletzt deshalb ist das Aluminiumfenster konkurrenzfähig geworden.

Systemkonstruktionen sind nach dem Baukastenprinzip konzipiert. Die Profile sind dabei auf möglichst wenige, dafür aber vielseitig verwendbare und kombinierbare Querschnitte begrenzt. Auch das Fensterzubehör (Befestigungsteile, Zusatzprofile usw.) und die Beschläge sind sorgfältig auf die Profile und aufeinander abgestimmt. Die Systemlieferanten bieten den Metallbaubetrieben ein mannigfaltiges Service in Form von Profilkatalogen, Statiktabelle, Zugschnittslisten, Vorrichtungen, Zeichnungen und Montageanleitungen, Verkaufsunterlagen, sonstige Fachberatungen bis hin zu speziell für das System entwickelten Computerprogrammen. Die Metallbauunternehmen werden damit in die Lage versetzt, auch ohne eigene Entwicklungstätigkeit qualitativ hochwertige Aluminiumfenster und -konstruktionen anzubieten.

5.1.5 Bauteile und Typen von Aluminiumfenstern

Abbildung 12 zeigt die Außenansicht und den Querschnitt durch ein einfaches, wärmegeämmtes Aluminiumfenster im eingebauten Zustand. Die abgebildete Einbausituation (glatte Leibung und Putzanschluss) wurde frei gewählt und stellt nur eine von vielen Möglichkeiten dar. Die Zeichnung veranschaulicht nur die wichtigsten Bauteile eines Aluminiumfensters und deren Anordnung.

Der wärmegegedämmte Blindstock (Zarge) wird direkt am Baukörper (in der Leibung) verankert. Der Fensterrahmen (Blendrahmen) aus einem wärmegegedämmten Aluminiumprofil wird im Blindstock verschraubt. Im Falle einer „Festverglasung“ wird das Glaselement direkt in den Fensterrahmen eingesetzt. Der ebenfalls wärmegegedämmte Flügel ist ein beweglicher Rahmen, der die Verglasung aufnimmt. Das Glaselement wird mittels von innen eingesetzter Glasleisten und beidseitig liegender Glasdichtungen im Flügelrahmen festgeklemmt. Glasleisten sind leichte Profile aus stranggepresstem Aluminium. Die Bewegungs- bzw. Öffnungsmöglichkeiten des Flügels (Drehen, Kippen, Drehen und Kippen usw.) werden in erster Linie durch die Art des Beschlages bestimmt. Blend- und Flügelrahmen sind an den Ecken auf Gehrung gestoßen und durch in die Profilhohlräume eingeschobene Eckwinkel miteinander verbunden. Eckwinkel sind druckgegossene oder stranggepresste Formstücke aus Aluminium.

Die Verbindung der Profile mit dem Winkel erfolgt mechanisch durch maschinelles Einstanzen der Profilveränderungen, durch Verschrauben oder durch Einschlagen von Keilstiften. Zusätzlich werden die Profile in den Gehrungsecken mittels Metallklebstoff verklebt und damit zugleich abgedichtet. Der wärmegegedämmte Blindstock wird vor der eigentlichen Fenstermontage in die Rohbauöffnung eingesetzt. Er fungiert als Anschlag für den Außenputz und erleichtert den späteren Einbau des Fensters. Das Kunststoff-Basisprofil dient der Wärmedämmung gegenüber den zur Fensteraufgabe erforderlichen Unterbauteilen, welche z.B. aus verzinktem Stahl hergestellt werden. Es dient weiters dem Anschlag und der Befestigung der Sohlbank (Außenfensterbank).

Die Mitteldichtung ist ganz wesentlich für die Fugendichtheit, die Schlagregensicherheit und die Verhinderung des Luftschalldurchganges verantwortlich. Bei ihrem Einbau ist auf die sorgfältige Verklebung an den Eckpunkten zu achten, viele Systeme verwenden fertig vulkanisierte Eckstücke, um die Dichtheit zu gewährleisten. Die Anschlagdichtung verbessert die Schalldämmung der Fenster. Als Dichtungsmaterial wird heute synthetischer Kautschuk auf der Basis Äthylen-Propylen-Terpolymer-Kautschuk verwendet. APTK (internationale Bezeichnung = EPDM)-Dichtungen zeichnen sich gegenüber Materialien aus Naturkautschuk durch eine höhere Beständigkeit gegen Feuchtigkeit, Ozon, UV-Strahlung, Wärme, Öl und viele Chemikalien aus.

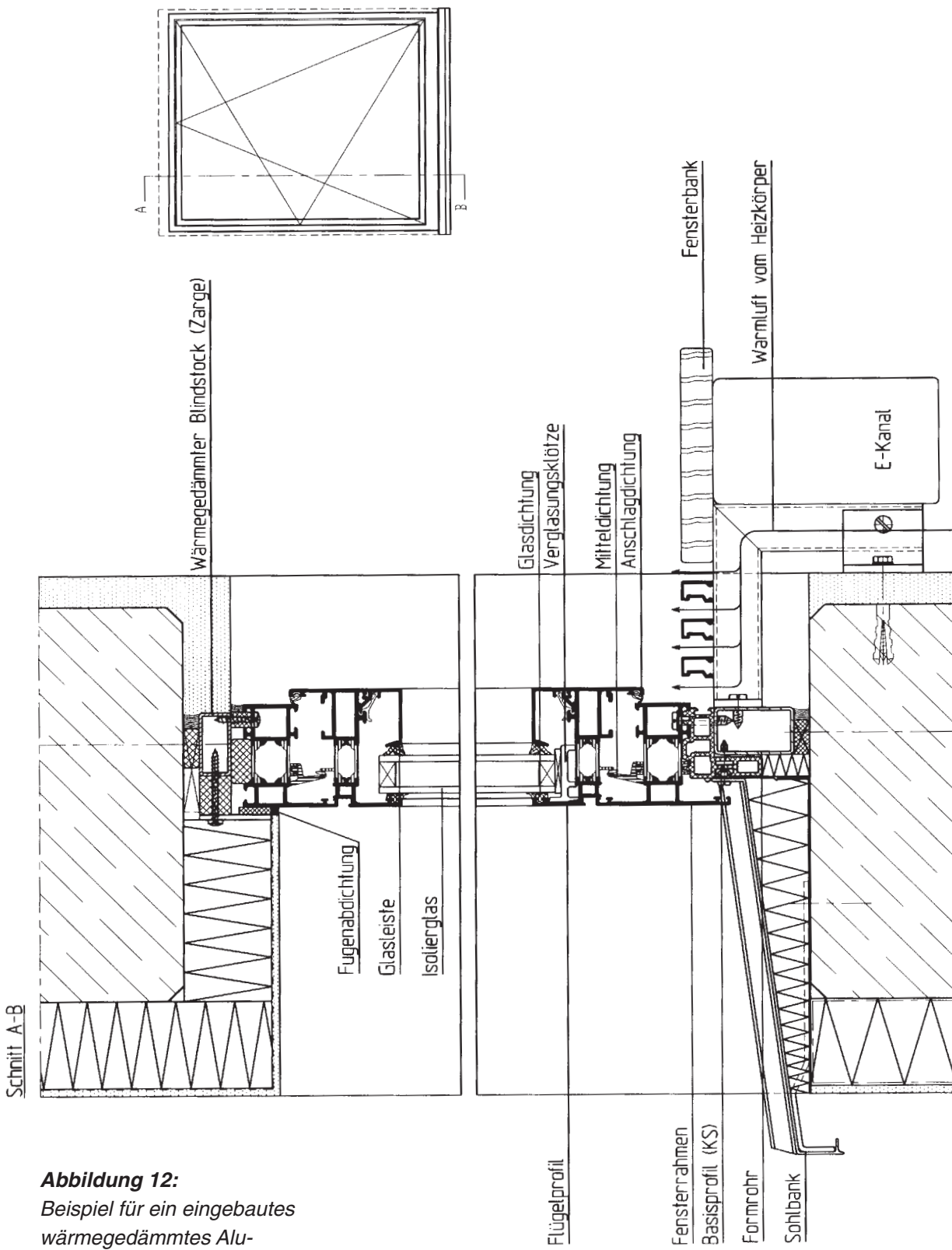


Abbildung 12:
 Beispiel für ein eingebautes
 wärmedämmtes Alu-
 miniumfenster

Quelle: Schüco

Abbildung 13:
Detailschnitte

Bild 1: Verbundfenster

Bild 2: Kastenfenster

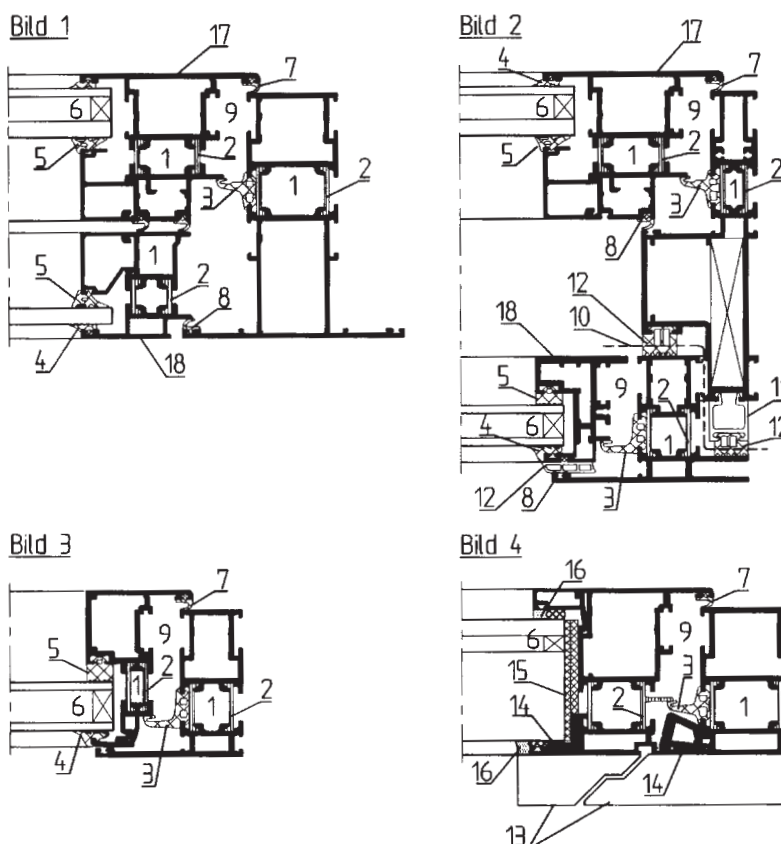
Bild 3: Integriertes Fenster

Bild 4: Durchschusshemmendes Fenster

Legende:

1. Isolierzone
2. Isoliersteg (Polyamid)
3. Mitteldichtung (EPDM)
4. Äußere Verglasungsdichtung (EPDM)
5. Innere Verglasungsdichtung (EPDM)
6. Scheibenzwischenraum
7. Innere Anschlagdichtung
8. Äußere Anschlagdichtung (EPDM)
9. Kammer für Beschlags-einbau
10. Entwässerung bzw. Belüftung
11. Dämmprofil (hochwertiger Kunststoff)
12. Dichtung (EPDM) (Wärmedämmung)
13. Außenbeplankung (Alu-Speziallegierung)
14. Verstärkungsprofile (Aluminium)
15. Klotzung und Hinterfütterung
16. Versiegelung
17. Innenflügel
18. Außenflügel

Quelle: Hartmann



Aluminiumfenster gibt es in verschiedenen Bauarten und Typen. Neben dem in der Abbildung 12 exemplarisch dargestellten einfachen Fenster, welches die Standardversion darstellt, wurden wärmedämmte Verbund- und Kastenfenster aus Aluminium entwickelt. Sie werden vor allem in Gebäuden eingesetzt, bei denen ein erhöhter Schall- und/oder Wärmeschutz gefordert wird. Ganzaluminiumfenster, das sind Fenster, die aus ungedämmten Aluminiumprofilen bestehen, werden heute nur mehr in geringer Zahl gefertigt und hauptsächlich für den Abschluss von unbeheizten Räumen und für Industriebauten verwendet. Ein wichtiges Anwendungsgebiet für ungedämmte Profile sind Türen und verglaste Wände für Innenbereiche.

Schließlich gibt es noch eine Reihe von Sonderkonstruktionen, nur zwei Beispiele dafür sollen hier genannt werden: Fenster mit „integriertem“ Flügel (von außen gesehen wird der Flügelrahmen durch das Fensterrahmenprofil verdeckt) oder durchschusshemmende Fenster. Die Abbildung 13 gibt Einblick in die Systematik derartiger Konstruktionen.

5.1.6 Vergleiche von Fenstern mit unterschiedlichen Rahmenwerkstoffen

Die bedeutendsten Rahmenwerkstoffe, aus denen heute Fenster hergestellt werden, sind Holz, Kunststoff (PVC) und Aluminium. Darüber hinaus werden noch Rahmen aus Werkstoffkombinationen eingesetzt (z. B. Holz / Aluminium).

Angesichts der zahlreichen Anforderungen, die an moderne Fenster gestellt werden, stellt sich für Bauherren, Architekten und Verwender die berechnete Frage, welche Art von Fenstern und insbesondere welcher Rahmenwerkstoff am besten geeignet ist, diese zu erfüllen.

Alle Fenstervergleichsstudien haben gemeinsam, dass sie jeweils nur Teilbereiche des gesamten Anforderungsspektrums erfassen. Dies liegt im Wesentlichen daran, dass bestimmte Anforderungen überhaupt nicht quantifiziert werden können, etwa das Oberflächenerscheinungsbild oder die Ästhetik, und es andererseits viele Anforderungen gibt, beispielsweise die Stabilität oder die Wartungsintensität, für die zwar Vergleichsmaßstäbe existieren, deren Kosten-Nutzen-Relation jedoch im Zusammenhang mit dem konkreten Anwendungsfall subjektiv verschieden bewertet werden muss.

Jeder Rahmenwerkstoff hat seine spezifischen Vor- und Nachteile, und es ist – ohne Berücksichtigung der konkreten Fenstereinbausituation – nicht möglich, diese gegeneinander aufzurechnen mit dem Ziel, „Sieger“ und „Verlierer“ bestimmen zu können. Es ist daher erforderlich, die Verwendung von Fensterrahmenmaterialien differenziert zu betrachten und Pauschalierungen zu vermeiden.

5.2 Fassadenbau

Die Verbesserung bekannter Eigenschaften und die Entdeckung neuer Anwendungsfelder von Werkstoffen sowie bahnbrechende Entwicklungen bei Fertigungs- und Montagesystemen haben neben dem traditionellen Vollwandbau eine neue Form von Fassaden entstehen lassen, die in vielerlei Variationen in Erscheinung tritt und das Bild der modernen Architektur mitbestimmt. Angesprochen sind Fassaden im Sinne von leichten Außenwandkonstruktionen, deren Aufbau und Aussehen im Wesentlichen durch Glas, Metallrahmen und Füllelemente geprägt wird. Der Werkstoff Aluminium nimmt dabei eine zentrale Rolle als konstruktives und gestalterisches Element ein.

Der Fassadenbau ist heute das wichtigste Anwendungsgebiet von Aluminium im Hochbau. Neben anodisierten oder beschichteten Aluminiumblechen kommen vor allem stranggepresste Profile in vielen Querschnittsvarianten als sichtbare oder verdeckt liegende Trägerkonstruktionen für Glas und andere Füllelemente zum Einsatz. In der neuen Fassadentechnik nehmen Aluminiumprofile in Relation zu anderen Rahmenwerkstoffen unter gestalterischen und funktionellen Gesichtspunkten die mit Abstand bedeutendste Position ein.

5.2.1 Grenze zwischen Fenster- und Fassadenbau

Im vorangegangenen Kapitel 5.1 wird das Fenster als ein Element einer Fassade betrachtet, welches sich hinsichtlich seiner besonderen Funktionen und der verwendeten Werkstoffe von der übrigen Außenwand relativ klar abgrenzen lässt. Der aus dieser Sichtweise typische Anwendungsfall ist ein in verputztes Ziegelmauerwerk eingebautes Einzel- oder „Lochfenster“.

In gleichem Maße, in dem Fenster zu großflächigeren Konstruktionen erweitert werden und dadurch einen zunehmenden Anteil der gesamten Außenfläche eines Gebäudes einnehmen, ersetzen sie die traditionelle Vollwand. Im einfachsten Fall geschieht dies durch Aneinanderreihung von Einzelfenstern und/oder Vergrößerung ihrer Außenabmessungen. Nun drängt sich die Frage auf, wo der Fensterbau endet und umgekehrt, wo der Fassadenbau beginnt.

Das eingehende Studium der Fachliteratur hat keine völlige Klarheit über den Verlauf dieser Grenze verschafft. Dennoch existieren einige Anhaltspunkte. Als mögliche Abgrenzungskriterien können die Größe der Konstruktion, die Höhe der Anforderungen bei der Planung, Herstellung und Montage sowie die verfügbaren Systemhalbzeuge herangezogen werden:

- Einen konkreten Ansatz zur Unterscheidung liefert DIN 18056, indem vom Hersteller für Fenster, die größer als 9 m² sind, ein statischer Nachweis über die tragenden Profile verlangt wird. Die Norm bezeichnet Elemente, die diese kritische Größe überschreiten, als Fensterwände.
- Geht man der Frage nach, welche Unternehmen sich mit der Herstellung von Aluminium-Glas-Fassaden befassen, wird deutlich, dass der Fassadenbau eine logische Weiterentwicklung des konventionellen Fensterbaus ist. Denn im Regelfall sind Fassadenbauer Metallbauunternehmen, die sich aus Fenster- und Türenbaubetrieben herausgebildet haben. Die fachlichen Anforderungen bei der Planung, Herstellung und Montage von Fassaden sind jedoch ungleich höher und vielseitiger. Grundlegende Kenntnisse im Bereich Statik und Bauphysik sind im Fassadenbau unerlässlich. Darüber hinaus müssen bei der Planung in verstärktem Maße bauaufsichtliche Normen und Richtlinien beachtet werden. Während die Ausführungsverantwortung des Fensterlieferanten an den ziemlich klar definierbaren Umrissen der Bauöffnung endet, umfasst diese bei Komplettfassaden die Außenwand eines Bauobjektes in ihrer Gesamtheit.
- Die im Kapitel 5.1.4 dargelegten Ausführungen bezüglich Profilsysteme gelten grundsätzlich für Aluminiumfassaden ebenso wie für Aluminiumfenster. So wurden im Laufe der Jahre parallel zu den Fensterkonstruktionen speziell für Fassaden konzipierte Systemhalbzeuge (z. B. Pfosten-Riegel-Systeme – siehe Kapitel 5.2.3.3) entwickelt. Die Systemhersteller bieten auch im Fassadenbereich entsprechende Arbeitsanleitungen, Zeichnungen, Berechnungsgrundlagen und darüber hinausgehende Beratungsdienste. Damit wird für die zunächst reinen Fensterbauer der Schritt zum Fassadenfachbetrieb wesentlich erleichtert.

Man kann grundsätzlich davon ausgehen, dass der Übergang von Aluminiumfenstersystemen zu modernen Fassadenkonstruktionen ein fließender ist. Vielfach werden bereits Fensterbänder, die horizontal durchgehend zwischen – von den verglasten Konstruktionen unabhängig verkleideten – Brüstungen und Rohbaudecken eingebaut sind, als Fassadenbaukonstruktionen bezeichnet, obwohl sie aus typischen Fensterprofilen gefertigt sind. Bei den „Integralfassaden“ werden Halbzeuge verwendet, die eine Art Mischbauweise zwischen Fenster- und Pfosten-Riegel-Profilen darstellen. Der klassische Fall einer Aluminiumfassade liegt dann vor, wenn diese die gesamte Außenwandfläche eines Gebäudes bildet bzw. bedeckt und mit Ausnahme der Tragfunktion alle Aufgaben von Wand und Fassade integriert.

5.2.2 Die Anforderungen im Fassadenbau

Die Funktionen und auch die daraus ableitbaren Anforderungen an Fassaden sind im Grundsatz die Gleichen wie bei Einzel- oder Lochfenstern. Das bedeutet, dass die an Fenster gestellten formellen, technischen, ökologischen und ökonomischen Anforderungen (siehe Kapitel 5.1.1) prinzipiell auch für Fassaden gelten.

Beim Bau von Fassadenkonstruktionen gewinnen jedoch einige Faktoren an Bedeutung. Sie betreffen insbesondere technisch-bauphysikalische Ansprüche, deren Erfüllung umfassende fach einschlägige Kenntnisse und Erfahrungen der Metallbauunternehmen verlangt. Den Fassadenbaubetrieben fällt die mitunter sehr komplexe Aufgabe zu, die ästhetischen und gestalterischen Vorgaben bzw. Vorstellungen der Bauherren und Architekten in konkrete Fassadenlösungen umzusetzen, die mit den technischen und bauphysikalischen Anforderungen sowie den Normen und baubehördlichen Auflagen zu vernetzen sind.

Die wichtigsten technischen Anforderungen an den Fassadenbau sind:

- Angriffshemmung (fallweise)
- Brandschutz (fallweise)
- Feuchteschutz
- Luftdurchlässigkeit
- Lüftung
- Mechanische Beanspruchung (Stand sicherheit)
- Nutzungssicherheit
- Schallschutz
- Schlagregendichtheit
- Sonnenschutz (winterlicher und sommerlicher Wärmeschutz)
- Wärmeschutz

Die Energiespardiskussion hat mit dem gesamten Hochbau auch den modernen Fassadenbau erfasst. Demzufolge rücken die energetischen Ansprüche an Gebäudehüllen immer mehr in den Mittelpunkt. Betrachtet man die derzeit in den Normen formulierten Anforderungen an die Wärmedämmung bei Fenstern, ist festzustellen, dass diese mit dem Wärmedurchgangskoeffizienten bzw. U-Wert (früher k-Wert) sehr einfach formuliert werden und ihre Erfüllung auch relativ leicht prüfbar ist. Wesentlich komplexer ist dies bei großen Aluminium-Glas-Fassaden: Bei der Konzeption von Fassaden sind die Bauplaner und Hersteller mit der Aufgabe konfrontiert, alle im Rahmen des wirtschaftlich Vertretbaren zur Verfügung stehenden baulichen Energiesparmöglichkeiten auszuschöpfen, um den vorgeschriebenen Anforderungen an die Wärmedämmung gerecht zu werden. Zu beachten sind dabei nicht nur die U-Werte (früher k-Werte) der transparent verglasten Bereiche, sondern auch jene von bekleideten Vollwand- oder Brüstungsbereichen. Beim Wärmeschutz durch Fassaden darf darüber hinaus ein sehr wichti-

ger Aspekt nicht vergessen werden: Durch große Glasflächen und eine günstige Gebäudelage sind deutliche Wärmegewinne durch die passive Nutzung der Sonnenenergie möglich.

Die dämmtechnische Planung von Aluminium-Glas-Fassaden sollte daher nicht allein die Wärmeverluste (Kenngröße = Wärmedurchgangskoeffizient bzw. U-Wert) der verwendeten Konstruktion, sondern auch die Wärmegewinne durch Sonneneinstrahlung berücksichtigen, d. h. maßgeblich ist die tatsächliche Energiebilanz. Der Jahresheizbedarf ist als sinnvolle Entscheidungs- bzw. Vergleichsgröße heranzuziehen.

In der jüngsten Entwicklung der Gesetzgebung und Normung versucht man diesem Aspekt verstärkt Rechnung zu tragen:

- Die am 9. Juni 1995 zwischen der österreichischen Bundesregierung und den Ländern getroffene Vereinbarung über den Wärmeschutz von Gebäuden („Wärmeschutzverordnung“) verlangt einen mittleren U-Wert (früher k-Wert) der Außenwand von höchstens $0,90 \text{ W/m}^2\text{K}$, sofern die verglaste Fläche mehr als 30 % beträgt (siehe Kap. 5.1.2). Anstelle dessen kann auch ein Nachweis erbracht werden, dass durch andere Maßnahmen sichergestellt ist, dass ein Gebäude höchstens einen jährlichen Heizbedarf aufweist, der bei Einhaltung der o. a. Mindestanforderung gegeben wäre.
- Die derzeit geltende ÖNORM konzentriert sich auf die Transmissionswärmeverluste. An einer Neufassung der ÖNORM B 8110, Teil 1, wird gearbeitet. Sie wird eine Beurteilung von Gebäuden nach ihrer Energiebilanz erlauben, d. h. sie stellt nicht mehr die Wärmedämmwerte der Einzelbauteile in den Mittelpunkt, sondern den Energieverbrauch des gesamten Gebäudes. Welche energiewirksamen Maßnahmen im konkreten Fall ergriffen werden ist von sekundärer Bedeutung, entscheidend ist das damit erzielbare Ergebnis.

Nähere Informationen bzw. Grundlagen zum Thema passive Sonnenenergienutzung sind im Zusammenhang mit Wintergärten im Kapitel 5.3 angeführt.

5.2.3 Typen von Aluminium- fassaden und deren Aufbau

Der Gestaltungsspielraum bei Aluminium-Glas-Fassaden ist außerordentlich groß. Dieser Umstand ist einerseits eine Aufforderung an die Kreativität bei der Planung, er forciert andererseits aber auch die Weiterentwicklung der Profilsysteme. Die Erscheinungsformen der Fassaden sind nicht zuletzt deshalb sehr breit gestreut.

Eine Beschreibung von Aluminiumfassaden erfordert daher die Reduktion der vielen konstruktiven und gestalterischen Möglichkeiten auf verschiedene Grundtypen. Die wichtigsten davon werden nach folgenden Kriterien erläutert:

- Lage der Konstruktion zum Baukörper
- Lage von Regen- und Windbarriere
- Konstruktiver Aufbau

5.2.3.1 Fassadentypen in Abhängigkeit der Lage der Konstruktion zum Baukörper

Insbesondere bei mehrgeschossigen Gebäuden ist der Platzbedarf einer mehrsteindicken Vollwand und die Abtragung ihrer Eigengewichte nicht mehr wirtschaftlich. Deshalb ist die tragende Konstruktion derartiger Bauwerke meist ein Skelett, bestehend aus Stahlbetondecken und Stahl- oder Stahlbetonsäulen. An diesen wird die leichte Außenwand befestigt. Durch die Skelettierung wird der Fluss der auf das Gebäude einwirkenden Kräfte über die Deckenrandträger bzw. Unterzüge in die Säulen geleitet.

a) Fassaden mit geschosshohen Fensterwänden oder Fensterbändern

Abbildung 14, Bild 1, zeigt schematisch den vertikalen Schnitt durch eine in Elemente gegliederte Fassade. Diese Elemente stellen von außen oder innen in das Tragskelett hineingestellte Ausfachungen dar. Sie sind gleichsam geschosshohe Fenster bzw. Fensterwände mit transparenten, d. h. durchsichtig verglasten, und nicht transparenten Feldern und werden zwischen den Rohbaudecken eingespannt und verankert. Zumeist sind es die vertikalen Aluminiumprofile (Pfosten oder Lisenen), die die Tragfunktion gegenüber Winddruck und -sog übernehmen und entsprechend der Stützweite (\approx Geschosshöhe) dimensioniert werden müssen. Die vertikalen Lasten der Fassade werden hierbei von den frei gespannten Geschossdecken übernommen. Auftretende Lasten aus dem Bauwerk und aus temperaturabhängigen Längenänderungen dürfen nicht in die Fassadenkonstruktion eingeleitet werden.

Die gleiche Fassadenbauweise kann angewendet werden, wenn das Rohbauskelett zusätzlich mit auf den Geschossdecken aufgesetzten massiven Brüstungen ausgestattet ist. Brüstungen werden beispielsweise dann vorgesehen, wenn die Bauordnung Anforderungen zur Erfüllung einer höheren Widerstandsklasse gegen Feuerüberschlag von Geschoss zu Geschoss vorschreibt. Die freie Stützweite der tragenden Profile reicht hier nur von der Brüstungsoberkante bis zur Deckenunterkante bzw. Unterkante eines Unterzuges. Die in der Höhe reduzierten Rohbauöffnungen werden mit mehrteiligen Fensterbändern geschlossen (siehe Abbildung 14, Bild 2).

Die Ausfachung eines Rohbauskeletts mit Elementen erfordert die nachträgliche Wärmedämmung und Bekleidung der Säulen und Deckenvorsprünge bzw. Brüstungen. Je nach architektonischer Gestaltung können für Bekleidungen verschiedene Materialien verwendet werden, z. B. farbig beschichtete Aluminiumblechkassetten oder Natursteinplatten. Häufig wird für den Brüstungsbereich eine hinterlüftete Konstruktion (siehe Kapitel 5.2.3.2 – Kaltfassade) gewählt.

b) Vorgehängte Fassade (Curtain Wall)

Wird die komplette Außenwandkonstruktion durchgehend, d. h. ohne Unterbrechungen durch Deckenvorsprünge oder Brüstungen, vor dem Tragskelett angeordnet, so spricht man von einer vorgehängten Fassade (siehe Abbildung 14, Bild 3). Sie ist eine leichte Außenwand, die das Bauskelett hautartig umspannt und mit Ausnahme der Tragfunktion alle Aufgaben (Dichtheit, Wärme- und Schalldämmung, Brandschutz usw.), die sonst eine Vollwand erfüllen muss, übernimmt.

Das Vorhängen der Fassade stellt höhere Ansprüche an das Montagesystem. Während die Verankerungsteile bei der Anordnung der Elemente innerhalb von Bauöffnungen in erster Linie die Wind- und Verkehrslasten aufzunehmen haben, werden sie bei der vorgehängten Konstruktion zusätzlich durch vertikal wirkende Eigenlasten beansprucht.

Der Hersteller einer Vorhangfassade hat in jedem Fall einen Nachweis über die Standsicherheit der Profile, Verglasungen, Füllungen und der Verankerungen am Baukörper zu erbringen. Die großflächige und geschlossene Konstruktion fordert vom Verankerungssystem auch Möglichkeiten zum Toleranzausgleich bei der Fassadenmontage und manchmal auch Vorkehrungen zur nachträglichen Verstellbarkeit zwecks Ausgleichs von Gebäude-setzungen. Bestimmte Befestigungspunkte müssen als „Gleitlager“ gebaut sein, die temperaturbedingte Längenänderungen der Aluminiumprofile (Dilatationen) ermöglichen und damit Knackgeräusche verhindern.

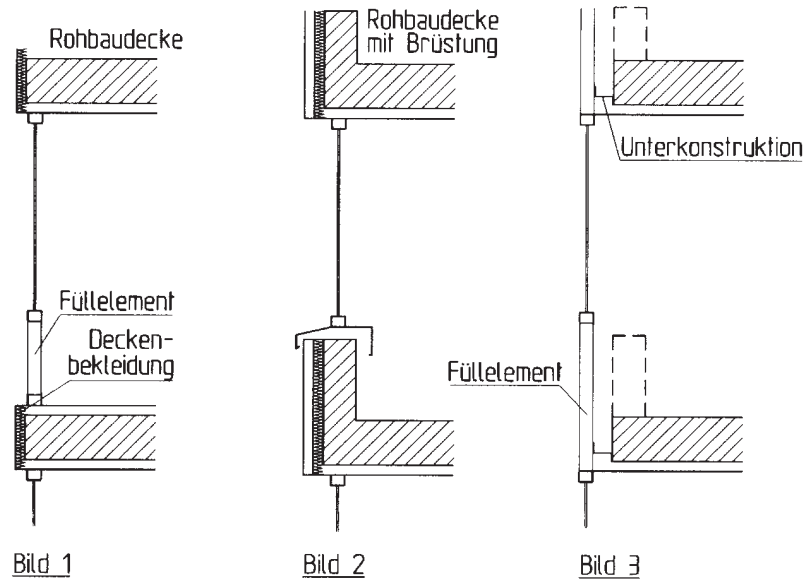
Abbildung 14:
Fassadentypen

Bild 1: Geschosshohe Fensterwand

Bild 2: Fensterband

Bild 3: Durchgehende vorgehängte Fassade

Quelle: Tritremmel,
Aluminiumprodukte im
Bauwesen



5.2.3.2
Fassadentypen
in Abhängigkeit der Lage
von Regen- und Wind-
barriere

a) Kaltfassade

Eine Kaltfassade ist der äußere hinterlüftete Teil einer mehrschaligen Wand, bei der die Regen- und Windsperrebene durch einen Luftzwischenraum voneinander getrennt sind. Diese äußere Wetterhaut bildet eine Barriere gegen Niederschlagswasser und ist ein Bauteil ohne thermische Trennung. Die innere Wand wirkt als Luftbarriere und trägt die Wärmedämmung. Das entscheidende Merkmal ist, dass die Fugen zwischen den wetterseitigen Fassadenteilen ganz oder zumindest teilweise unverschlossen bleiben. Dies ermöglicht eine Hinterlüftung, indem Luft von außen am Fuße der Bekleidung eintritt und – unter Ausnutzung des Kamineffektes – durch oben liegende Fugen oder Öffnungen wieder abzieht.

Die Fugen sind derart ausgebildet, dass der Großteil des Schlagregens außen an der Bekleidung abfließt. Geringe Wassermengen können jedoch infolge von Oberflächenspannung, Kapillarwirkung und durch Wind verursachte Luftdruckdifferenzen einsickern. Dies stellt insofern kein Problem dar, als das eingedrungene Wasser bei weiter unten liegenden Öffnungen rasch wieder abfließen kann und die Hinterlüftung die restliche Feuchtigkeit entfernt. Bei Nachlassen des Schlagregens wird damit der Luftzwischenraum wieder vollständig ausgetrocknet.

In Abbildung 15 ist das Grundprinzip einer hinterlüfteten Fassade mit Aluminiumblechbekleidung dargelegt. Zur Befestigung der Kassetten wird eine Unterkonstruktion benötigt, die in der Regel aus vertikal laufenden und blanken, stranggepressten Aluminiumprofilen zusammengebaut wird. In der dargestellten Fassade sind auch vertikale und horizontale Abschottungen vorgesehen. Damit wird ein Weg aufgezeigt, der in jüngsten Veröffentlichungen begangen

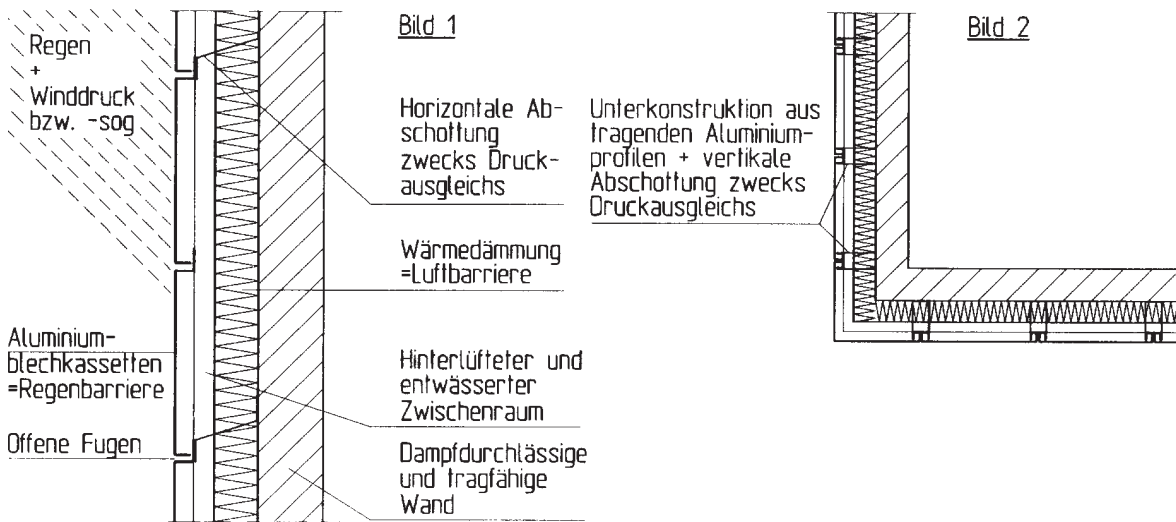


Abbildung 15:
Konstruktionsprinzip einer Aluminium-Kaltfassade

Bild 1: Vertikalschnitt
Bild 2: Horizontalschnitt durch eine Gebäudeecke

Quelle: Tritremmel,
Aluminiumprodukte im
Bauwesen

wird. Dabei werden im Luftzwischenraum begrenzte und definierte Zonen geschaffen, die einen raschen Ausgleich von vom Wind verursachten Luftdruckunterschieden zwischen der Außenseite und dem hinterlüfteten Bereich ermöglichen. Luftdruckunterschiede entstehen durch wechselnde Windverhältnisse. Sie hängen u. a. von der Gebäudeform ab, zumal der Winddruck bzw. -sog an exponierten Stellen eines Gebäudes (an den Eckbereichen) wesentlich höher als an der Gebäudemitte ist. Der Zweck des Druckausgleiches liegt in der Verringerung des Eintritts von windgetriebenen Wassertropfen in den durch die offenen Fugen zugänglichen Luftzwischenraum.

Die Technik der (reinen) Kaltfassade wird heute in großem Umfang sowohl für Neubauten als auch für die Renovierung von alten Gebäuden eingesetzt, meistens zur Bekleidung von Vollwänden aus traditionellen Baustoffen (Ziegelmauerwerk, Beton usw.). Als wasserundurchlässige Bekleidungen können verschiedenste Materialien verwendet werden, beispielsweise Faserzementplatten, Naturstein, Keramikplatten, Verbundplatten, gekantete Aluminiumbleche, aber auch Aluminiumprofilkonstruktionen mit opaken Glaseinsätzen.

Die Bekleidung von Wandteilen (z. B. Brüstungsbereichen) mit beschichteten oder anodisierten Aluminiumblechkassetten nach dem Kaltfassadenprinzip tritt oft in Kombination mit wärmegeprägten Aluminium-Glas-Konstruktionen auf (siehe Kalt-Warm-Fassade, Punkt c) und betrifft daher den Arbeitsbereich der Metallbaubetriebe.

Kaltfassaden haben folgende Vorteile

- Durch den Brüstungs- und Wandbereich diffundierender Wasserdampf wird durch die Kaminwirkung der Hinterlüftung abgeführt. Regel: mindestens 50 cm²/m.
- Die Hinterlüftung wirkt als sommerlicher Wärmeschutz, indem ein Hitzestau in Wand und Fassade vermieden wird. Dieser Aspekt ist bei Außenbekleidungen mittels hitzeempfindlicher opaker Glaselemente besonders wichtig.
- Hinterlüftete Fassadenbekleidungen können die Schalldämmung einer massiven Wand verdoppeln (bis + 10 dB).
- Die raumseitig massiv ausgeführten Brüstungs- und Wandbereiche wirken als Speichermasse und verbessern den Wärmeschutz.
- Fertigungs- und Bautoleranzen sowie thermische Bewegungen der Konstruktion sind weniger kritisch als bei Warmfassaden.
- Das Problem des Undichtwerdens durch Alterung von direkt der Witterung (u. a. der UV-Strahlung) ausgesetzten Dichtungsmaterialien tritt nicht auf.

b) Warmfassade

Eine Aluminium-Warmfassade hat keine Hinterlüftung. Sie ist einschalig konstruiert, sodass die äußeren wasserundurchlässigen Materialien (Aluminiumprofile, Glas- und Paneelfüllungen) das gesamte Regenwasser an der Außenfläche der Fassade ableiten. Diese äußerste Ebene ist gleichzeitig die Windbarriere. Um diese Funktionen erfüllen zu können, muss die gesamte Konstruktion dauerhaft wasser- und luftdicht ausgeführt sein. Warmfassaden verlangen daher einen sehr hohen Qualitätsstandard bei Fertigung sowie Montage und brauchen, da ihre Funktionstüchtigkeit von direkt der Witterung ausgesetzten Fugen- und Profildichtungen abhängig ist, intervallmäßige Kontrollen und Unterhaltsarbeiten während ihrer Nutzungsdauer. Wichtig ist darüber hinaus die sorgfältige und konsequent durchgehende thermische Trennung der gesamten Konstruktion.

Warmfassaden sind am besten geeignet, Energiegewinne aus der Sonneneinstrahlung zu realisieren. Bei hinterlüfteten Glaskonstruktionen geht dieser Einstrahlungsgewinn wieder weitgehend verloren. Mehrteilige Fensterwände in Element- oder Pfosten-Riegel-Bauweise, unabhängig davon, ob mit offenbaren Flügeln, Festverglasungen oder eingesetzten Paneelen, entsprechen dem Prinzip einer Warmfassade. Auch großflächige Vorhangfassaden können durchgehend als Warmfassade konzipiert werden.

c) Kalt-Warm-Fassade

Eine Kalt-Warm-Fassade ist eine Fassade mit Einzelfenstern oder mehrteiligen Aluminium-Glas-Elementen im Warmbereich sowie opaken bzw. undurchsichtigen Brüstungs- und/oder Wandbekleidungen im kalten Bereich. Die gesamte Konstruktion stellt somit – ihrer Bezeichnung entsprechend – eine Kombination zwischen einer Kalt- und einer Warmfassade dar.

Abbildung 16 zeigt ein als Beispiel ausgewähltes Segment der Ansicht einer vorgehängten Aluminium-Kalt-Warm-Fassade eines mehrstöckigen Gebäudes mit den zugehörigen Schnittdetails. Die abgebildete Konstruktion ist auch ein Beispiel für eine Integralfassade. Sie ist gekennzeichnet durch gleiche Rahmenansichtsbreiten, egal ob die Felder fix verglast oder mit öffenbaren Fensterflügeln ausgestattet sind.

Die Wetterschale im kalten Brüstungs- bzw. Vollwandbereich wird durch von außen eingesetzte, verspiegelte Einfachglasscheiben gebildet. Die Verglasung im Warmbereich erfolgt gleich wie bei normalen Fenstern, d. h. von innen. Im Gegensatz zu der in Abbildung 15 dargestellten Kaltfassade mit relativ ungeschützten Fugen ist bei der vorliegenden Konstruktion das Eindringen von Schlagregen in den hinterlüfteten Bereich kaum möglich. Unter bestimmten Witterungsverhältnissen kann aber auf der dem Luftzwischenraum zugewandten Seite der Glasscheiben Kondenswasser auftreten. Dessen kontrollierter Abfluss wird durch Entwässerungsschlitze in den horizontalen Profilen (Riegeln) gewährleistet.

Für die Gesamtbelüftung der Fassade ist der Querschnitt der Lüftungsschlitze in den Riegeln zu gering. Deshalb sind im unteren und oberen Bauabschlussbereich (in Abbildung 16 nicht dargestellt) zusätzlich größere Lüftungsquerschnitte vorgesehen. Regel: $50 \text{ cm}^2/\text{m}$. Durch Querbelüftung der Brüstungsbereiche unter Nutzung des Kamineffektes ist somit eine ausreichende Hinterlüftung im gesamten Kaltbereich gewährleistet.

5.2.3.3

Fassadentypen in Abhängigkeit des konstruktiven Aufbaus

a) Pfosten-Riegel-Fassade

Die Pfosten-Riegel- oder Rasterfassade verkörpert die Standardversion im Fassadenbau. Durch ihre universelle Anwendbarkeit und ein breites Angebot an systemkonformen Profilvarianten sowie Zusatzprofilen lassen sich viele verschiedene Fassadenlösungen, auch abgewinkelte und geneigte Fassaden sowie dreidimensionale Glasdachkonstruktionen, verwirklichen. Das Prinzip der Pfosten-Riegel-Fassaden wird schon seit vielen Jahren angewendet, weshalb der Entwicklungsstand in diesem Bereich als sehr hoch anzusehen ist. Durch konstruktive Teilung in raumseitig angeordnete,

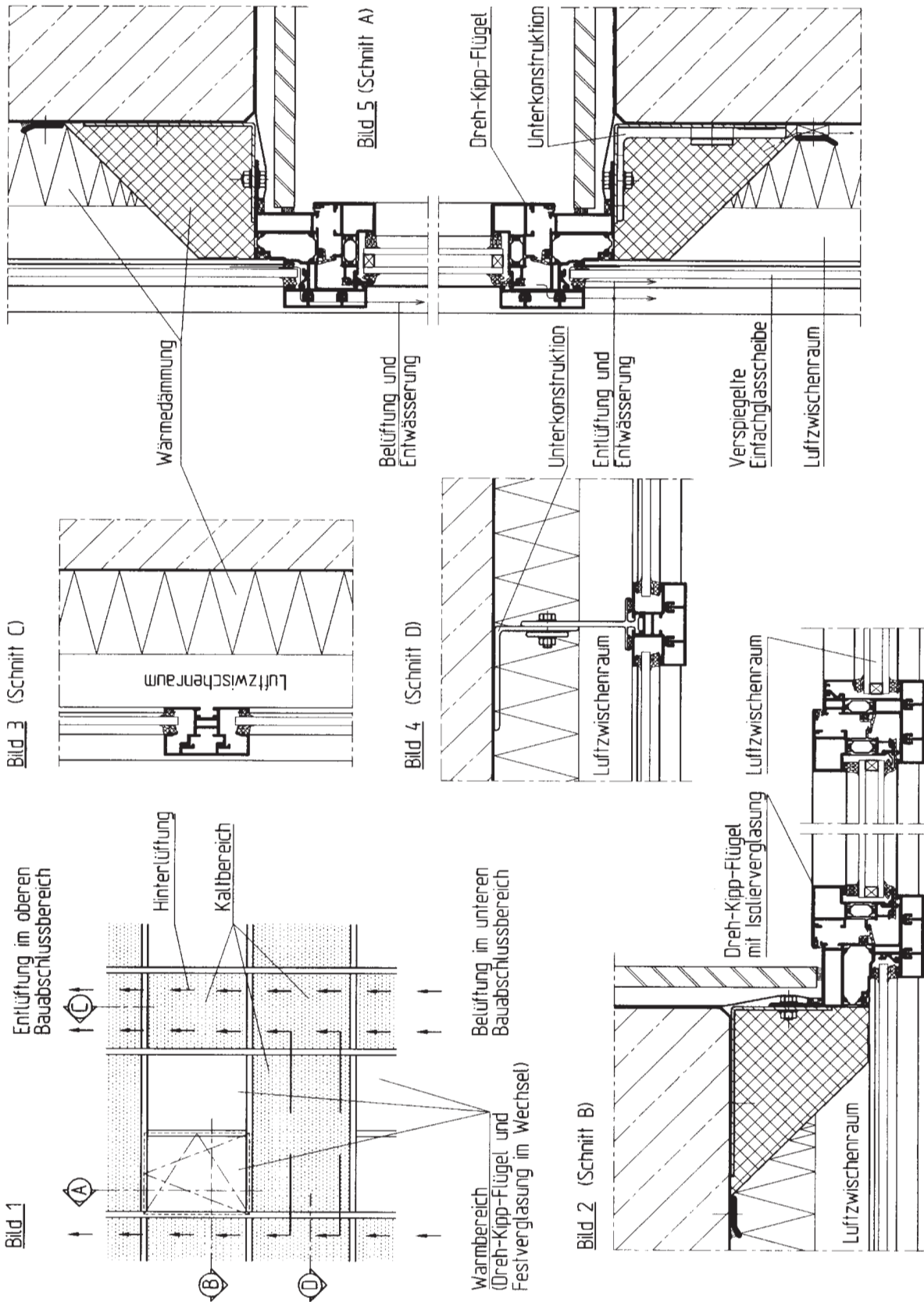


Abbildung 16:
 Beispiel für eine Aluminium-
 Kalt-Warm-Fassade

- Bild 1:** Ausschnitt Fassadenansicht
- Bild 2:** Horizontalschnitt Warmbereich (Fenster) zu Kaltbereich
- Bild 3:** Riegel im Kaltbereich
- Bild 4:** Pfosten im Kaltbereich
- Bild 5:** Vertikalschnitt Warmbereich (Fenster) zu Kaltbereichen

Quelle: Schüco

tragende Pfosten bzw. Riegel und wetterseitige Druckprofile, den Einbau von isolierenden Zwischenlagen und Dichtungen, den Einsatz von wärmegeämmten Füllelementen können die Pfosten-Riegel-Fassaden konsequent thermisch getrennt ausgeführt werden. Die wichtigsten Teile einer klassischen Pfosten-Riegel-Fassade sind in Abbildung 17 am Beispiel einer vorgehängten Konstruktion dargestellt.

Die senkrechten Profile werden als Pfosten bezeichnet. In der Mehrzahl der Fälle sind sie die Haupttragelemente der Fassade. Sie werden am Rohbau mittels Konsolen aus Aluminium oder verzinktem Stahl verankert. Die Pfostenprofile sind in verschiedenen Bautiefen erhältlich. Die richtige Dimension muss nach statischen Erfordernissen entsprechend den Abständen der Befestigungspunkte (Stützweiten) gewählt werden. Durch Einsetzen von waagrechten Verbindungsprofilen (Riegeln) zwischen die Pfosten mittels T-Verbinders wird die Fassade in Felder geteilt. In diese werden von außen Füllelemente eingebaut. Das können Fenster mit offenen Flügeln, Türen, feststehende Verglasungen oder Paneele sein. Die Füllelemente werden durch in die Pfosten und Riegel geschraubte Halte- bzw. Druckprofile festgehalten. Für die zuletzt von außen aufgesetzten Abdeckprofile bieten die Systemhersteller mehrere Varianten hinsichtlich Bautiefe und Form an. Dadurch ergeben sich zusätzliche Möglichkeiten zur Betonung der Gliederung einer Fassade. In Bezug auf die Profilbreiten stehen bei nahezu allen Systemen mehrere Varianten zur Verfügung.

Allgemein üblich sind Ansichtsbreiten zwischen 50 und 80 mm. Die standardmäßigen Pfosten- und Riegelprofile können unter Verwendung verschiedener Isolierprofile oder Verbindungselemente problemlos an verschiedene Glasdicken angepasst werden. Grundsätzlich wird die Fassade erst auf der Baustelle mittels in der Werkstätte vorgefertigter Pfosten, Riegel und Füllelemente zusammengefügt und komplettiert. Die Befestigung der Pfosten am Baukörper und das Einsetzen von Riegeln, Füllelementen, Klemmleisten und Abdeckprofilen erfolgen dabei Zug um Zug. Aus Rationalisierungsgründen sind die Fassadenhersteller jedoch bestrebt, möglichst wenige mit Einzelteilen bestückte Baugruppen an die Baustelle zu liefern, d. h. eine weitreichende Vormontage im Werk durchzuführen.

Abbildung 17:
Aufbau und Teile einer
Pfosten-Riegel-Fassade

Bild 1: Pfosten-Riegel-
Fassade Systematik

Bild 2: Pfosten

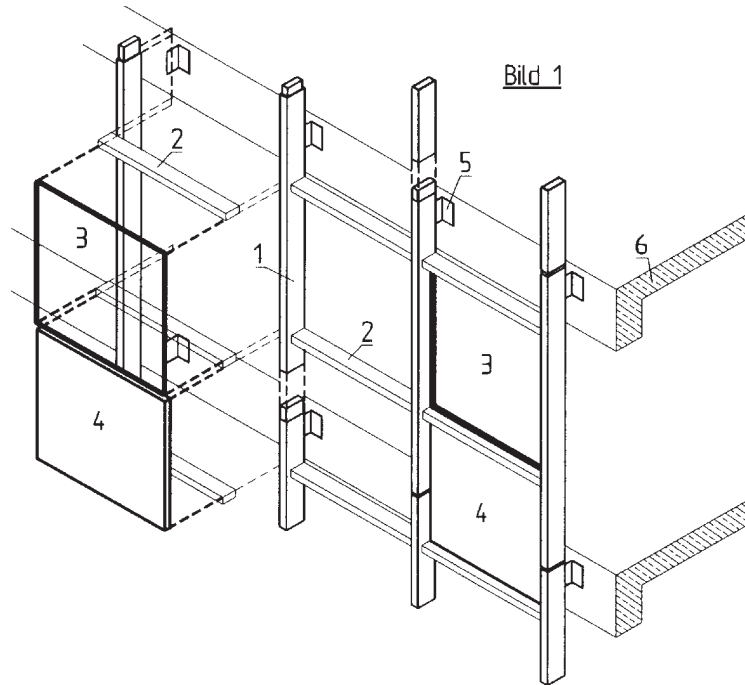
Bild 3: Pfosten-Riegel-Knoten

Bild 4: Riegel

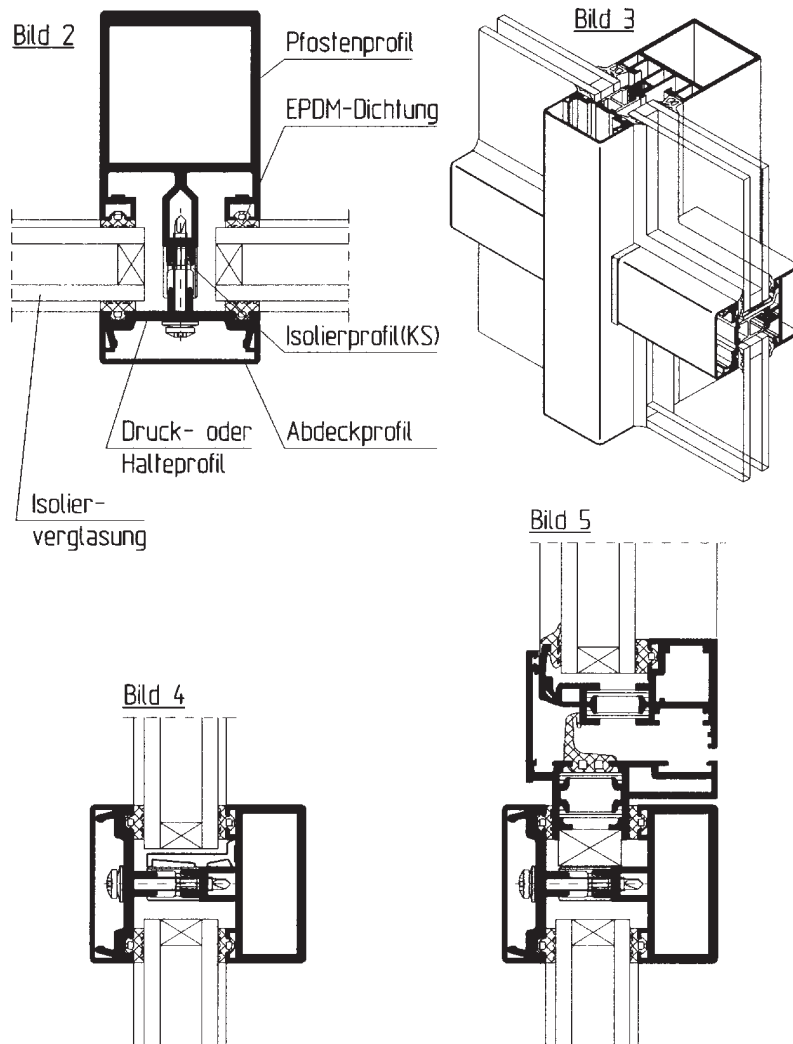
Bild 5: Riegel mit eingebau-
tem Fenster

Legende:

1. Pfosten
2. Riegel
3. Verglasung
4. Brüstungselement
5. Verankerung
6. Decke mit Unterzug



Quellen:
Keintzel (Bild 1),
Wicona (Bild 3),
Hartmann (Bild 2, 4 und 5)



b) Elementfassade

Bei diesem Fassadentyp steht die rationelle Montage im Vordergrund. Die Einzelteile der Fassade werden in der Werkstätte zu nahezu fertigen Elementen inklusive Fenster, Verglasungen und Brüstungspaneelen bzw. Brüstungsbekleidungen zusammengebaut. Diese Elemente sind normalerweise ein Geschoss hoch und eine oder mehrere Fensterteilungen breit. Nach dem Transport an die Baustelle werden sie außen am Gebäude hochgezogen, seitlich in die bereits montierten Elemente eingefädelt und in die vorher präzise ausgerichteten und justierbaren Fassadenanker eingehängt und fixiert. Die Kreuzungspunkte erfordern durchdachte Detaillösungen, um die Anforderungen an Statik, Dichtigkeit und dilationsbedingte Gleitfähigkeit sowie Wärme- und Schalldämmung zu erfüllen.

Die Elementbauweise eignet sich für den Bau von Fensterbändern und -wänden ebenso wie für komplette Fassaden aus ähnlichen Profilkonstruktionen.

Die wichtigsten Besonderheiten im Vergleich zur herkömmlichen Pfosten-Riegel-Bauweise sind:

- Eine gleiche Bautiefe von Pfosten und Riegeln.
- Die Pfosten und Riegel sind geteilt und bilden Dehnfugen bzw. Nuten zur Aufnahme von Dichtungen am Elementstoß.
- Die klassische Fensterrahmen-Verbindungstechnik: Gehrungsecken mit Eckverbindern, verklebt und mechanisch gesichert, kann angewendet werden.

c) Integralfassade

Der Terminus „Integralfassade“ bezeichnet eine wärme gedämmte Fassadenkonstruktion in Pfosten-Riegel- oder Elementbauweise, bei welcher in den tragenden Profilen öffnbare Fenster integriert sind. Die Fensterflügel sind verdeckt angeordnet. Dies ermöglicht umlaufend gleiche und dennoch sehr schlanke Profilsichtsbreiten (zirka 80 mm). Von außen kann man keinen Unterschied zwischen öffnbaren und festverglasten Feldern erkennen. Die in Abbildung 16 dargestellte Konstruktion ist ein Beispiel für eine Integralfassade in Element- bzw. Rahmenbauweise.

Die Integralfassade und ebenso die nachfolgend beschriebene Structural-Glazing-Fassade geben deutliche Hinweise auf die vielen – erst teilweise verwirklichten – Möglichkeiten, durch individuelle Gestaltung von wärme gedämmten Aluminiumprofilen innovative und architektonisch ansprechende Lösungen im Fassadenbau herzubringen.

d) Geklebte Ganzglasfassade (Structural-Glazing-Fassade)

Die Technik der geklebten Fassaden wurde in den USA entwickelt. Seit mehr als zehn Jahren wird sie, nicht zuletzt aufgrund von sicherheitstechnischen Weiterentwicklungen, auch in Europa mit zunehmendem Erfolg angewendet. Unter Structural Glazing versteht man das Anbringen von Glasscheiben auf eine Unterkonstruktion aus Aluminiumprofilen, sodass von außen nur der Glasstoß zu erkennen ist. Die Rahmen- bzw. Tragkonstruktion ist nur von innen sichtbar. Je nach Glasbeschichtung entsteht eine mehr oder weniger starke Lichtreflexion und eine meistens gewünschte Spiegelung der Gebäudeumgebung. Im Vordergrund steht der optische Eindruck einer glänzenden, nur von Glas bestimmten Fassade, die sich mit dem Wechsel der Jahreszeiten harmonisch an das Umfeld anpasst.

Die konstruktive Besonderheit bei Structural-Glazing-Fassaden ergibt sich dadurch, dass die bei anderen Fassaden typische mechanische Befestigung der Verglasung durch einen Silikonkleber ersetzt wird. Die Klebeverbindung muss alle aus den verschiedenen Belastungen herrührenden Kräfte sowie Verformungen der Glaselemente dauerhaft aufnehmen und an die Aluminiumkonstruktion ableiten. Zudem muss der Kleber besonders witterungsbeständig und einfach zu verarbeiten sein. Eine Modul- oder Elementbauweise bringt neben der verkürzten Montagezeit den Vorteil der Verklebung der Scheiben mit der Rahmenkonstruktion unter definierten Bedingungen in der Werkstätte. Damit kann die gleichbleibende Qualität der Verbindungen an der gesamten Fassade sichergestellt werden.

Grundsätzlich ist bei Structural-Glazing-Fassaden ein Nachweis über die Standsicherheit der Klebeverbindung zu erbringen. Eine definitive Norm oder gesetzliche Regelungen darüber sind in Österreich zur Zeit noch nicht vorhanden. Der bisherigen Praxis zufolge erfolgt eine baubehördliche Zustimmung dann, wenn Sicherheitsgläser verwendet und diese zusätzlich zur Verklebung mechanisch gesichert werden, sodass eine sich von der Unterkonstruktion lösende Scheibe nicht als ganzes Stück zu Boden fallen kann. Die mechanische Sicherung kann durch Klammern oder Sicherheitsprofile, die seitlich in den Scheibenrand eingreifen, erfolgen (siehe Abbildung 18).

Es gibt heute bereits Systeme, die den Einsatz von offenbaren Fenstern erlauben, ohne die Achsrasterung zu verletzen oder die „Nur-Glas“-Außenansicht zu beeinträchtigen. Seit einiger Zeit werden auch Structural-Glazing-Fassaden mit polygonalem oder gekrümmtem Grundriss gebaut. Neben der architektonischen Sonderstellung von Structural-Glazing-Fassaden können zwei wichtige Vorteile genannt werden: Aufgrund der elastischen Lagerung der

Abbildung 18:
 Detailausschnitte einer ge-
 klebten Ganzglasfassade
 (Structural-Glazing)

Bild 1: Vertikalschnitt
Bild 2: Horizontalschnitt

Legende:

1. Ausfachungselement
2. Anschlagdichtung (EPDM)
3. Pfostenprofil
4. Fugendichtung (EPDM)
5. Distanzprofil (EPDM)
6. Elementdichtung (EPDM)
7. Trageprofil
8. Riegelprofil
9. Halteprofil

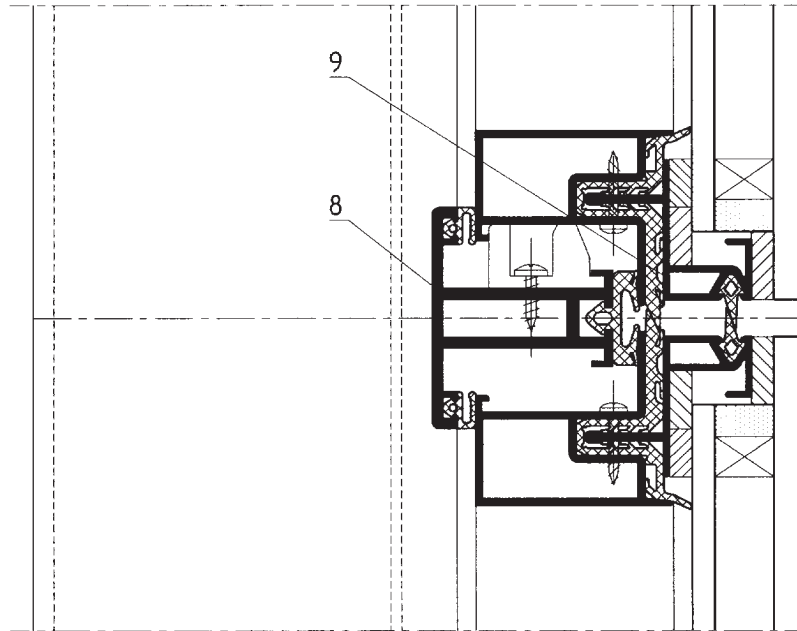


Bild 1

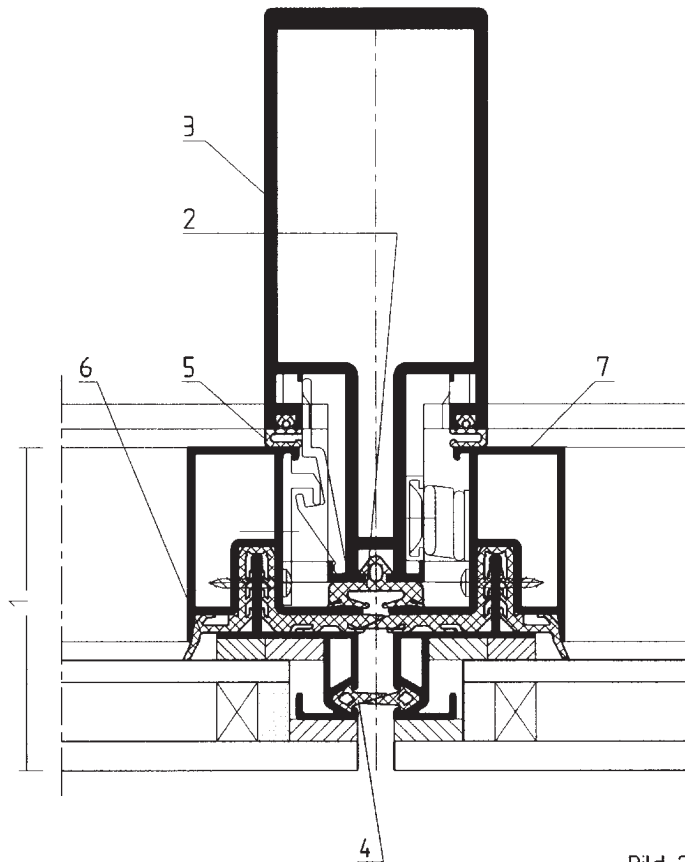


Bild 2

Quelle: Hueck

Gläser ergibt sich eine geringere Schallübertragung in das Gebäudeinnere, und durch die geschlossene, glatte Außenfläche ist der Selbstreinigungseffekt höher als bei herkömmlichen, gerahmten Konstruktionen.

5.3 Lichtdächer, Wintergärten und ähnliche Konstruktionen

Neben Fenstern und Fassaden ist das dritte wichtige Anwendungsgebiet für Aluminiumprofile der Bereich Glasdachkonstruktionen, Wintergärten, Solarveranden, Erker, Windfänge und ähnliche verglaste Bauwerke.

Derartige Konstruktionen können im Wesentlichen

- als Anbauten an massive Häuser,
- als in Massivkonstruktionen integrierte Teile,
- als Teile einer Fassade oder eines Daches oder
- als mehr oder weniger selbstständige Glashäuser

in Erscheinung treten.

Die wichtigsten übereinstimmenden Merkmale solcher Bauwerke bestehen in ihrer räumlichen Gestalt und darin, dass zumindest Teilbereiche schrägverglast sind. Abbildung 21 zeigt einige von vielen möglichen Formen, die solche Glaskonstruktionen annehmen können.

In den anschließenden Ausführungen innerhalb des gegenständlichen Kapitels wird immer wieder auf Wintergärten Bezug genommen, wengleich die meisten Aspekte auch für ähnliche Konstruktionen gültig sind. Wintergärten werden im Folgenden als repräsentative Vertreter der gesamten Palette von räumlichen Glaskonstruktionen betrachtet.

Die Frage nach dem Zweck bzw. der Nutzbarkeit eines Wintergartens muss in der Planungsphase immer unter zwei Aspekten untersucht werden:

1. Nach dem Gesichtspunkt des energetischen Gewinns, den der Glasbau für das Haus oder die Wohnung erbringen soll: Soll er bloß als Temperaturpuffer fungieren oder soll aus der Sonneneinstrahlung auch Wärme für das gesamte Haus gewonnen werden (passive Nutzung der Sonnenenergie)?
2. Nach dem Aspekt, wie er innerhalb des Wohnbereiches genutzt werden soll: Wünscht man sich eine ohne Einschränkung ganzjährig nutzbare Erweiterung des Wohnraumes, oder begnügt man sich mit der Nutzung des Wintergartens lediglich in der Übergangszeit oder zur Überwinterung von Pflanzen?

Die konkrete Ausführung eines Wintergartens hinsichtlich Größe, Standort, Verglasung, Rahmenkonstruktion, Beschattungs- und Entlüftungssystem kann nur nach situationsbedingter und individueller Bewertung der beiden Aspekte unter Einbezug der entstehenden Kosten entschieden werden.

5.3.1 Der Wintergarten als Bauteil zur Verbesserung der Energiebilanz

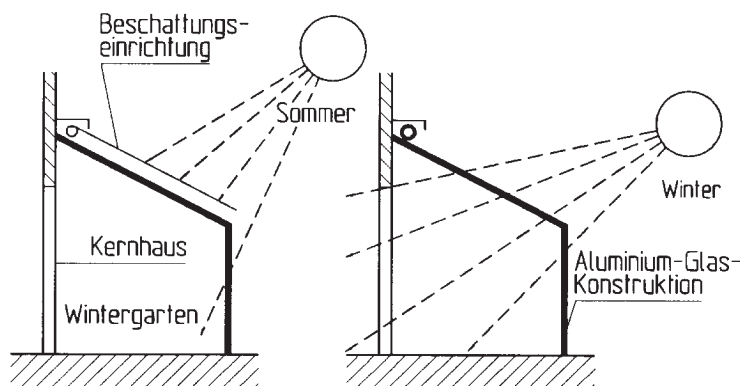
Die passive Nutzung der Sonnenenergie durch einen Wintergarten ist durch den extrem hohen Glasanteil an Dach und Wänden zu erklären. Glas hat die physikalische Eigenschaft, einen großen Teil der auftreffenden kurzwelligigen Strahlung der Sonne durchdringen zu lassen. Der restliche Teil wird reflektiert oder vom Glas absorbiert. Die durchgedrungenen Strahlen werden von den Flächen, auf die sie treffen, aufgenommen und in Form von langwelligigen Infrarotstrahlen (= Wärme) wieder abgegeben. Die langwelligigen Wärmestrahlen können das Glas nicht wieder durchdringen. Dieses Phänomen entspricht dem bekannten Treibhauseffekt.

Treffen die Sonnenstrahlen auf einen Wintergarten, werden die Luft und die Gegenstände im Innenraum erwärmt, und diese Energie bleibt – vereinfacht ausgedrückt – vorübergehend auch dort „gefangen“. Dies bewirkt ein relativ rasches Aufheizen im Glashaushaus. Bei nachlassender Einstrahlung und Abkühlung der Außentemperatur beginnt in Abhängigkeit der Dämmfähigkeit des Glases und der Rahmenkonstruktion eine Rückwanderung der Wärme von innen nach außen. Wird der Glasbau nicht wie bei den historischen Wintergärten mit Einfachglasscheiben, sondern mit Isolier- oder Wärmeschutzglas ausgestattet, so verringern sich durch den niedrigen U-Wert einerseits die Transmissionswärmeverluste, andererseits reduzieren sich aber auch die Einstrahlungsgewinne aufgrund einer geringeren (Sonnen-)Energiedurchlässigkeit.

Geringe Energiegewinne durch den eben beschriebenen Treibhauseffekt können schon bei diffusem Sonnenlicht erzielt werden. Eine wichtige Voraussetzung für hohe Gewinne (bei gegebenem U-Wert) ist die Ausrichtung des Wintergartens nach der Himmelsrichtung mit der besten Sonneneinstrahlung. In Mitteleuropa ist diese im Südosten, Süden und Südwesten am stärksten, hingegen weniger intensiv im Osten und Westen. Zu berücksichtigen ist weiters der unterschiedliche Sonnenstand im Laufe der Jahreszeiten. Während die flachen Sonnenstrahlen im Winter die gesamte Konstruktion erreichen und tief in das Gebäudeinnere eindringen, kann eine sommerliche Beschattungseinrichtung den Wintergarten vor der hoch stehenden Sonne abschirmen und damit Schutz vor Überhitzung bieten (siehe Abbildung 19).

Abbildung 19:
Schematische Schnittdarstellung eines Wintergartens bei unterschiedlichem Sonnenstand

Quelle: Hafer und Böhmer,
Glasarchitektur



Viele Untersuchungen haben gezeigt, dass Glasanbauten die Energiebilanz eines ganzen Hauses durch passive Sonnenenergienutzung verbessern können. Einen positiven energetischen Beitrag können sie aber auch in der Funktion eines Temperatur- oder Klimapuffers leisten. Solche „Energiepuffer“ stehen hinsichtlich ihrer Nutzungsmöglichkeiten (z. B. als Pflanzenhäuser mit beschränkter, jahreszeitbedingter Nutzung als Wohnfläche) den historischen Wintergärten am nächsten. Eine wesentliche Voraussetzung ist die Trennung des Wintergartens vom beheizten Kernhaus durch wärmegeämmte Fenster und Türen. Der Wintergarten wirkt in diesem Fall als zusätzliche Wärmedämmung in Form einer zwischengelagerten Pufferzone. Der Temperaturabfall in kalten Jahreszeiten vollzieht sich verlangsamt, wodurch weniger Heizenergie verloren geht. Zudem können die Energieverluste durch Lüftung erheblich reduziert werden, da vom beheizten Innenraum in einen Zwischentemperaturbereich und nicht direkt nach außen gelüftet wird.

Wird ein Wintergarten hauptsächlich als Temperaturpuffer konzipiert, dann sollte seine Platzierung auch an Stellen mit geringer Sonneneinstrahlung in Erwägung gezogen werden. Oft ist gerade an der Nordseite eine besonders große energetische Wirkung erzielbar. In der Regel liegt der Energiespareffekt durch den um bis zu 20 % höheren Heizenergiebedarf von nordorientierten Räumen absolut gesehen höher als im Süden.

Neben den Wärmeschutzaspekten können Glasanbauten auch als Schall- und Immissionsschutzzonen, insbesondere im dicht gedrängten innerstädtischen Wohnbau, von großem Nutzen sein. Die Anordnung eines Wintergartens vor lärmbelasteten Räumen kann zur Steigerung der Wohnqualität beitragen.

Soll ein Wintergarten ganzjährig als behaglicher Wohnraum genutzt werden, so sind insbesondere für die Sommermonate zwei Aspekte von höchster Bedeutung:

- eine wirkungsvolle Lüftung und
- ein ausreichender Sonnenschutz.

Beide Einrichtungen sind unerlässlich, da der Treibhauseffekt gerade in der Hitzeperiode am stärksten wirksam wird und ohne Vorkehrungen ein Hitzestau unvermeidlich ist. Durch ausreichende Zuluftöffnungen im unteren senkrechten Bereich der Glaskonstruktion und Abluftöffnungen im höchsten Punkt des Dachbereichs sollte die Innentemperatur auch im Hochsommer auf Höhe der Außentemperatur im Schatten gehalten werden. Ein optimales Raumklima kann darüber hinaus nur mit Hilfe von Beschattungseinrichtungen, z. B. Markisen, Jalousien oder Rollläden, erzielt werden. Im Idealfall werden durch Thermostate, Regen- und Windfühler gesteuerte Lüftungs- und Beschattungssysteme eingesetzt, die das Öffnen und

Schließen der Lüftungsklappen und die Betätigung des Sonnenschutzes vollautomatisch besorgen.

Der energetische Nutzen von Wintergärten und Glaskonstruktionen hängt vom Zusammenspiel einer Vielzahl von Faktoren ab. Nur die Wichtigsten davon wurden bereits erwähnt. Die Beantwortung der Frage, wieviel Energie durch Glasbauwerke eingespart werden kann, setzt die Existenz von entsprechenden Vergleichsbauten voraus. Mangels derer und aufgrund der vielfältigen, auch örtlich verschiedenen Einflüsse ist eine allgemein gültige Antwort nicht möglich. Eine Reihe von bauphysikalischen Untersuchungen zum Thema passive Sonnenenergiegewinnung haben bisher auch nur unzureichende Ergebnisse für die praktische Anwendung bringen können. Die Erfahrungen in der Praxis haben jedenfalls gezeigt, dass nachträglich angebaute Glaskonstruktionen zu einer wirkungsvollen Verringerung der Heizenergiekosten beitragen können, je nach Art und Größe bis zu 30 %.

Der Bauphysiker Prof. G. HAUSER kommt in seinen Studien zu dem Schluss: „Verglaste Baukörper im Dach- und Fassadenbereich steigern die Aufnahme von Sonnenenergie und schaffen zwischen Raum- und Außenklima eine Pufferzone. Glasaufbauten auf dem Dach bewirken, dass der Wärmeverbrauch der darunter gelegenen Dachräume nahezu den Wert zentral im Gebäude gelegener Räume erreicht. Bei Glasvorbauten in der Fassade kann der Wärmeverbrauch des dahinter liegenden Raumes je nach Belüftung des Raumes und des Glasvorbaus sowie der Anordnung der Verglasung annähernd halbiert werden.“

5.3.2 Die besonderen Anforderungen an die Konstruktion und die Rahmenmaterialien

Der überwiegende Teil der heute gebauten Wintergärten wird für die ganzjährige Nutzung als Aufenthaltsraum konzipiert. Damit stellen die meisten von ihnen einen unmittelbar mit dem Haupt- oder Kerngebäude verbundenen Bauteil dar. Unter diesem Umstand sind sie baugenehmigungspflichtig und müssen daher die länderspezifischen Auflagen hinsichtlich Statik, Wärme-, Schall-, Brand- und Einbruchschutz usw. erfüllen.

Um die volle Gebrauchstauglichkeit und auch die Zufriedenheit der Benutzer sicherzustellen, müssen bei Wintergärten einige spezielle Anforderungen berücksichtigt werden. Besonderheiten im Vergleich zu Fassaden oder Fensterkonstruktionen ergeben sich in erster Linie durch die exponierte Lage der Konstruktionen und durch die verglasten Schrägdachbereiche. Die besonderen Ansprüche beziehen sich im Wesentlichen auf die Aspekte Sicherheit, Statik, Feuchteschutz sowie Witterungsbeständigkeit.

a) Sicherheit

Aus Sicherheitsgründen müssen im Überkopfbereich und bei nicht ebenerdigen Glashäusern auch im Brüstungsbereich Sicherheitsverglasungen (ESG, VSG, Drahtspiegelglas) eingesetzt werden. Die Landesbauordnungen sind zu beachten.

b) Statik

Bei der Dimensionierung der Rahmenkonstruktion sind neben den Wind- und Eigengewichtslasten (Gewicht von Glas, Rahmenprofilen und einer eventuellen Beschattungsanlage) auch die möglichen Schneelasten zu berücksichtigen. Die Windbelastung muss ganz besonders beachtet werden, da Wintergärten zumeist exponiert vor bestehenden oder neu errichteten Bauwerken platziert werden und gerade dort sehr intensive Windangriffsmöglichkeiten mit hohen Druck- und Sogwirkungen bestehen.

c) Feuchteschutz

Auf frei liegenden Schrägflächen ist der Regenanfall naturgemäß wesentlich größer als bei senkrechten Fassaden. Unter Umständen bestehen auch Möglichkeiten des schnee- oder eisbedingten Wasserrückstaus in Rinnen und auf geneigten Dachflächen. Die praktischen Erfahrungen haben gezeigt, dass bei Dachverglasungen die Gefahr des Eindringens von Wasser besonders groß ist. Die problematischsten Konstruktionspunkte bei Wintergärten sind der Traufbereich, d. h. der Knickpunkt zwischen Schräg- und Vertikalverglasung, sowie der Bereich des Anschlusses der Schrägfläche an das Hauptgebäude. Kondensatproblemen kann man konstruktiv am besten durch eine konsequent durchgehende Wärmedämmung der gesamten Konstruktion unter Vermeidung jeglicher Kältebrücken begegnen. Das Risiko des Undichtwerdens und der starken Tauwasserbildung kann nur durch sorgfältigste Detailkonstruktion und Montage abgewendet werden. Die absolute Vermeidung von Kondensat unter allen klimatischen Bedingungen ist selbst bei bestem Wärmeschutz nur durch richtiges und ausreichendes Lüften und Beheizen des Wintergartens erreichbar.

d) Witterungsbeständigkeit

Glasbauten sind durch ihre exponierte und wenig geschützte Lage den Witterungseinflüssen in Form von Regen, Schnee, UV-Strahlen, Hitze und Kälte extrem stark ausgesetzt. Ihre Lebensdauer und Funktionstüchtigkeit hängt daher mehr als z. B. bei Fenstern von der Witterungsbeständigkeit der Rahmen- und Dichtungsmaterialien ab.

Aus den speziellen Anforderungen, die beim Bau von Wintergärten an die Werkstoffe gestellt werden, lassen sich Vorteile zugunsten von wärmegeämmten Aluminiumprofilen als Rahmenkonstruktion ableiten:

Bei den statischen Berechnungen fließt zumeist der Wunsch nach möglichst filigranen Stützen und Rahmenansichtsbreiten ein, zum einen aus gestalterischen Gründen und zum anderen, um die energetisch wirksamen Glasflächen zu maximieren. Die guten Festigkeitseigenschaften von Aluminium erlauben trotz der hohen Belastungen schlanke Rahmenbreiten hinunter bis zu 50 mm.

Die hoch entwickelten Profilsysteme ermöglichen eine lückenlose und dauerhafte Wärmedämmung und Abdichtung der Konstruktion in allen Detailpunkten. Sollte aber in den Profilhohlräumen dennoch Tauwasser entstehen, muss sichergestellt sein, dass dieses ungehindert nach außen abfließen kann. Speziell für die heiklen Anschluss- und Traufbereiche wurden von den österreichischen Anbietern, die auf Aluminiumprofilsysteme spezialisiert sind (Systemlieferanten), durchdachte und in der Praxis bewährte Detaillösungen entwickelt. Darüber hinaus stehen extra für Wintergärten und Schrägdachkonstruktionen konzipierte Systemhalbzeuge (z. B. für Lüftungsklappen) zur Verfügung. Die vergleichsweise gute Witterungsbeständigkeit von beschichteten oder anodisch oxidierten Aluminiumprofilen schafft die Voraussetzung für ein dauerhaft dekoratives Aussehen der Glaskonstruktion. Allerdings ist eine regelmäßige Reinigung sicherzustellen.

5.3.3 Beispiele für Erscheinungs- formen und den konstruk- tiven Aufbau von winter- gartenähnlichen Alumi- nium-Glas-Konstruktionen

In Abbildung 20 ist ein einfaches Beispiel für einen nachträglich an ein bestehendes Haus angebauten Wintergarten mit polygonalem Grundriss wiedergegeben. Die Vorderfront wurde aus einem auch für Aluminiumfassaden verwendbaren Pfosten-Riegel-System gefertigt. Mit einer Rahmenansichtsbreite von nur 50 mm wurde eine besonders filigrane Struktur geschaffen, die den Flächenanteil der Tragkonstruktion zugunsten der energetisch aktiven Glasfläche möglichst weit reduziert. Die Seitenteile enthalten je ein öffnenbares Element und bestehen aus einem wärmegeprägten Aluminiumfenster- bzw. -türrahmensystem (siehe Detail 1). Die senkrechten Pfosten sind mittels in die Profilkammern eingeschobener Konsolen auf dem Streifenfundament verankert. Die gleichen Profile wurden für die Sparren verwendet. Sie sind nach demselben Befestigungsprinzip mit der massiven Wand des Haupthauses verbunden. Die im Massivwand-, Trauf- und Fußbereich zwischen die Pfosten eingesetzten querlaufenden Riegelprofile dienen der Anschlussausbildung und der Glasauflage. Die thermische Trennung der Rahmenkonstruktion wird durch zwischen den äußeren Andruck- und den inneren Tragprofilen eingesetzte und auf die Glasdicke abgestimmte durchlaufende Dämmleisten aus Polypropylen erreicht. Die Abdichtung erfolgt mit zwischen den Aluminiumprofilen und den Füllelementen eingeklemmten EPDM(= APTK)-Dichtungsprofilen.

Die Abbildung 21 zeigt in schematischer Form Beispiele für die vielfältigen Gestaltungsmöglichkeiten, die mit wintergarten- oder lichtdachähnlichen Aluminium-Glas-Konstruktionen realisiert werden können.

Abbildung 20:
Beispiel für einen Wintergarten

Bild 1: Schrägansicht

Bild 2: Grundriss

Bild 3: Vertikalschnitt

Bild 4: Horizontalschnitt

Quelle: Wicona

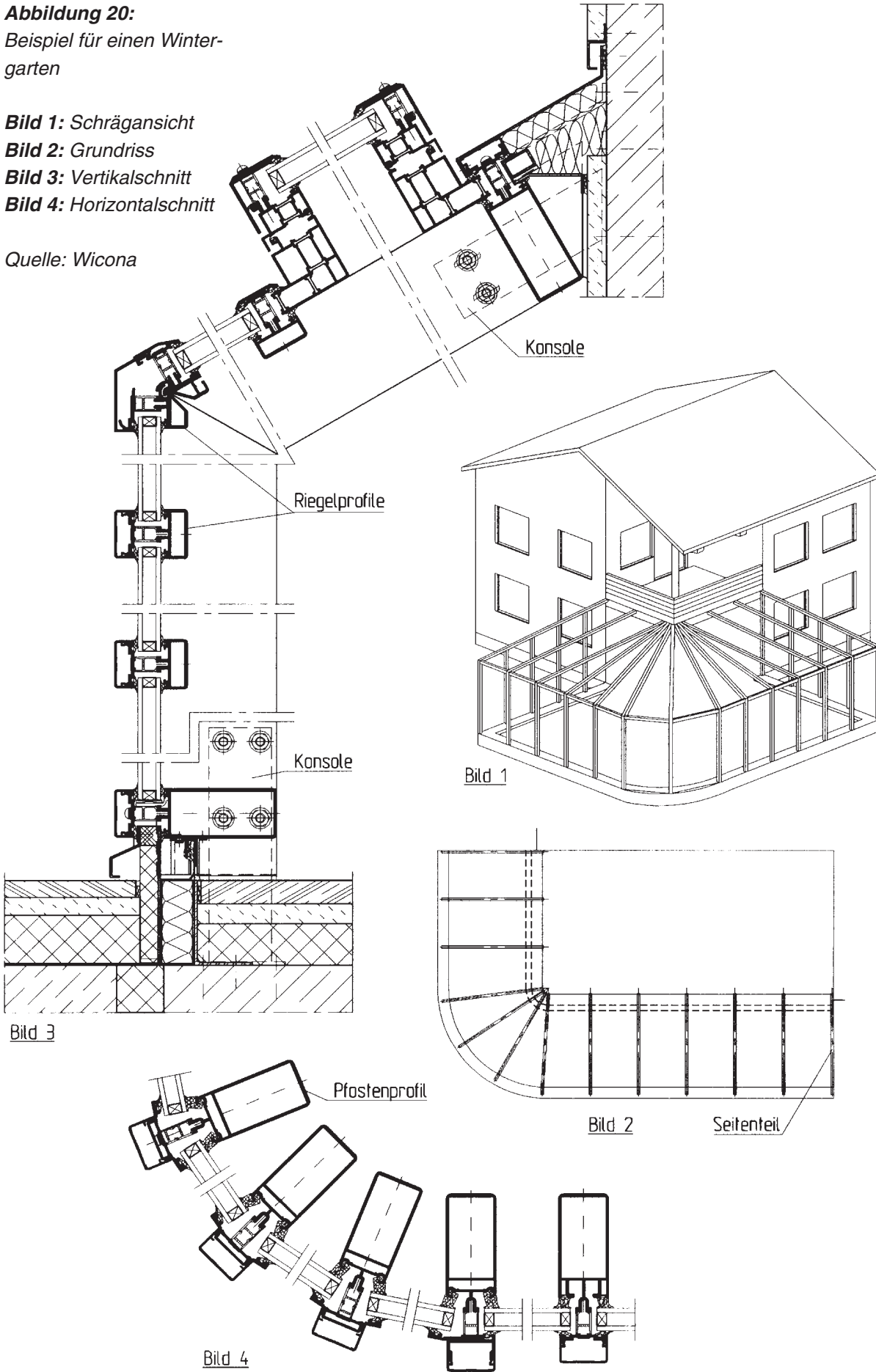
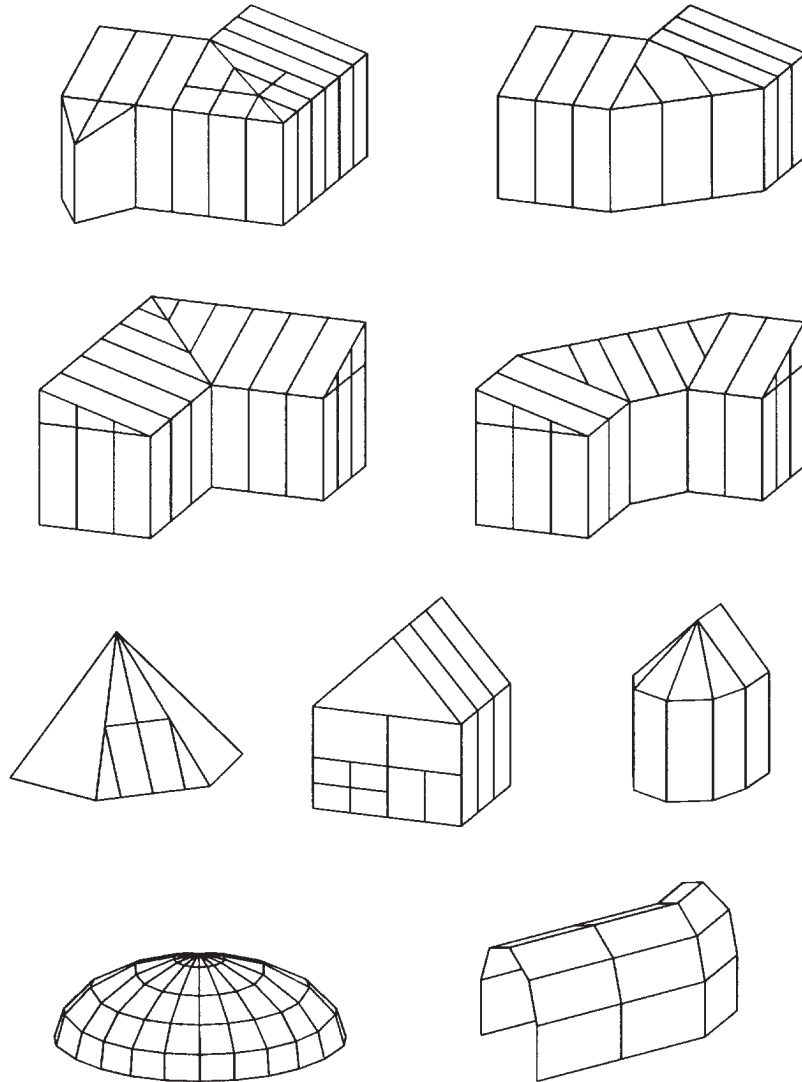


Abbildung 21:
Beispiele für räumliche Aluminium-Glas-Konstruktionen

Quelle: Wicona



6 Technische Innovationen und Forschungsaktivitäten im Bereich Aluminiumkonstruktionen

Die im Kapitel 5 beschriebenen Verwendungsbereiche von Aluminiumprofilen stellen die derzeit wichtigsten Standardanwendungsfälle dar. Die anschließenden Ausführungen beziehen sich auf jüngste Entwicklungen auf dem Sektor Aluminiumfenster und -fassaden, soweit sie von den Unternehmen bereits publiziert bzw. auf dem Markt eingeführt wurden.

6.1 Hochwärmedämmende Profilsysteme

Die Forderung nach Behaglichkeit in einem Arbeits- oder Wohnraum und der gesetzlich verstärkte Druck zur Einsparung von Betriebsenergie (Heizung, Kühlung) haben zu Weiterentwicklungen auch bei den wärmegeprägten Aluminiumprofilen geführt. Seit kurzem sind die namhaften Systemhersteller imstande, Aluminiumprofile mit einem U-Wert von weniger als $2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ anzubieten. Dies entspricht zum Beispiel auch dem Wärmedämmbereich der in Deutschland verwendeten Rahmenmaterialgruppe 1 nach DIN 4108. Zum Vergleich: Die normalen thermisch getrennten Profile fallen zumeist in die Gruppe 2.1 (U-Wert[früher k-Wert]-Bereich zwischen $2,0$ und $2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$; siehe Kapitel 3.1).

Die hier als hochwärmegeprägten bezeichneten Profile unterscheiden sich von den Standardversionen hauptsächlich durch Veränderungen der Isolierzone und bei manchen Systemen zusätzlich durch geänderte Glas- und Mitteldichtungen. Die höhere Wärmedämmung des Gesamtprofils wird im Wesentlichen durch die größere Zahl der luftgefüllten und isolierenden Kammern im Innenleben der Konstruktion erreicht. Die Querschnitte der äußeren und inneren Aluminiumprofilteile wurden zumeist unverändert von den bisherigen Profilserien übernommen. Eine wichtige Bedingung bei der Modifikation des Dämmbereiches eines bewährten wärmegeprägten Profils ist, dass die kraft- und formschlüssige Verbindung zwischen den Aluminiumteilen und den Isoliermaterialien bzw. -stegen die notwendige Schubfestigkeit aufweist und auch die Gesamtstabilität erhalten bleibt. Dies bedeutet, die Aufwertung der wärmedämmenden Eigenschaft darf nicht zu Lasten der statischen Werte erfolgen.

Für die Fertigung von Fenstern und Türen mit den neuen Profilen können grundsätzlich die bisher verwendeten Maschinen, Werkzeuge und Verfahren verwendet werden. Durch die unveränderte Geometrie der Aluminiumprofilteile ist auch die Möglichkeit gegeben, die gleichen Beschläge und Zubehörteile wie bisher einzubauen.

Um die Unterschiede an konkreten Beispielen zu verdeutlichen, sind in Abbildung 22 normal- und hochwärmegeprägte Aluminiumprofilsysteme verschiedener Hersteller dargestellt.

Abbildung 22:

Wärmegeämmte und hochwärmegeämmte Aluminiumprofilssysteme verschiedener Hersteller

Bild 1–5: Wärmegeämmte Aluminiumprofilssysteme

Bild 6–10: Hochwärmegeämmte Aluminiumprofil-systeme

Legende:

1. Isolierzone
2. Isoliersteg (verstärktes Polyamid)
3. Mitteldichtung (EPDM)
4. Äußere Verglasungsdichtung (EPDM)
5. Innere Verglasungsdichtung (EPDM)
6. Falzgrunddichtung (EPDM)
7. Innere Anschlagdichtung
8. Äußere Anschlagdichtung (EPDM, nur bei erhöhtem Schallschutz erforderlich)
9. Kammer für Beschlags-einbau

Quellen:

Alusuisse, Hartmann, Hueck, Schüco, Wicona

Bild 1

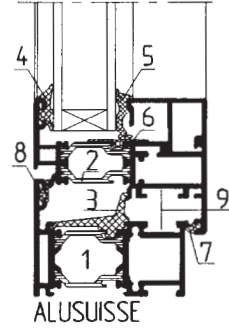


Bild 6

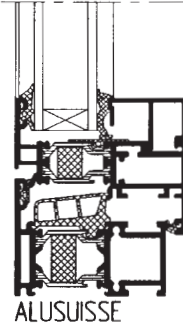


Bild 2

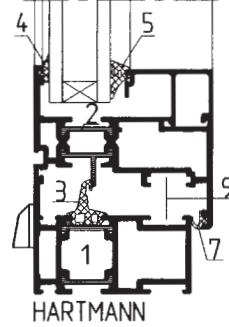


Bild 7

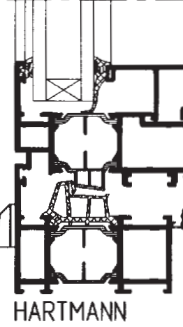


Bild 3

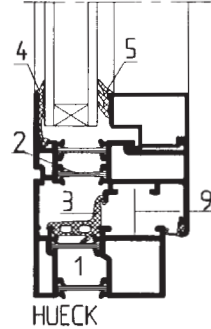


Bild 8

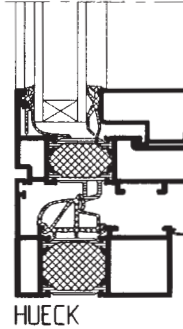


Bild 4

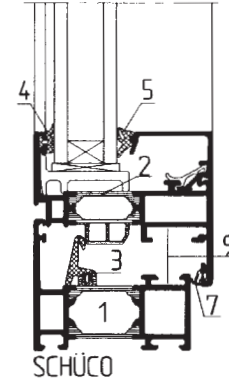


Bild 9

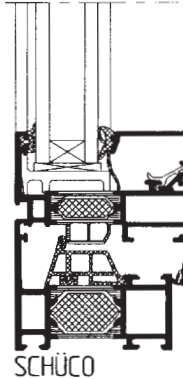


Bild 5

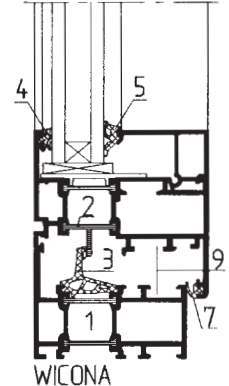
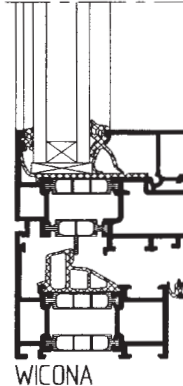


Bild 10



6.2 Aktive Energiefassaden

Eine erhöhte Sensibilität der Öffentlichkeit gegenüber alternativen Konzepten zur Energieerzeugung hat das Interesse von Bauherren und Architekten an neuen Technologien in der Gebäudetechnik geweckt. Dies hat zu einer Reihe von interessanten Innovationen im Fassadenbau geführt. Die Aluminiumprofilhersteller waren und sind an der Entwicklung von neuen, technisch anspruchsvollen Lösungen, die unter dem Sammelbegriff „aktive Energiefassaden“ subsumiert werden können, maßgeblich beteiligt. Das Wort aktiv bedeutet, dass der Energiefluss aus dem und in das Gebäude durch die Fassade mittels geregelter oder gesteuerter Subkomponenten beeinflusst werden kann.

Im Zusammenhang mit innovativen Fassadenlösungen begegnet man bisweilen auch dem Ausdruck „intelligente Glasfassaden“. Gemeint sind damit Konstruktionen, die sich auf dynamische, gleichsam lebendige Weise durch selbstregelnde Wärme- und Sonnenschutzmaßnahmen den wechselnden Licht- und Klimaverhältnissen anpassen, um den Bedürfnissen der Benutzer gerecht zu werden und zugleich den Verbrauch an Primärenergie für Heizung, Kühlung und Beleuchtung zu senken. Die wichtigsten bereits auf dem Markt befindlichen Techniken in Richtung energieaktive oder intelligente Fassaden werden in der Folge näher erläutert.

a) Photovoltaikfassaden

Unter Photovoltaik versteht man die direkte Umwandlung der Strahlungsenergie der Sonne in elektrischen Strom. Die Elektrizität wird in sogenannten Solarzellen durch das auf sie auftreffende Sonnenlicht erzeugt. Die heute verwendeten Solarzellen sind fast ausschließlich Siliziumhalbleiter mit kristalliner oder amorpher Gitterstruktur. Kristalline Zellen besitzen ein dunkleres, blaugraues Erscheinungsbild und erreichen einen Wirkungsgrad von 12 bis 15 %, das ist der Anteil an der eingestrahlten Sonnenenergie, der nach der Umwandlung in Form von Gleichstrom zur Verfügung steht. Der Wirkungsgrad der amorphen Zellen liegt demgegenüber bei nur 5 bis 8 %; ihr Aussehen ist rötlich durchschimmernd bzw. semitransparent.

Für den Einsatz im Fassadenbau werden die Solarzellen in Form von Plättchen (z. B. mit einer Abmessung von 100 x 100 x 0,5 mm) zwischen zwei Glasscheiben eingefügt und miteinander verkabelt. Der entstehende Gleichstrom wird über eine Sammelschiene zum Rand dieser als Photovoltaik(PV)-Modul bezeichneten Verbundeinheit abgeleitet (siehe Abbildung 23). Ein PV-Modul dient als äußerer Teil zum Bau eines in ein Fassadenfeld einsetzbaren Füll-elementes, d. h. eines Isolierglases oder eines Paneels.

Grundsätzlich können alle im Kapitel 5.2.3 beschriebenen Fassadenarten mit PV-Modulen ausgestattet werden. Ihr Einsatz erfolgt aufgrund der mangelnden Transparenz bevorzugt in Brüstungs-, Sturz- und Attikenbereichen, aber auch bei Treppenhausbekleidungen oder geneigten Dachflächen. Die Färbung der Solarmodule kann mit etwas Kreativität zu einem gestalterischen Vorteil genützt werden. Der größte Wirkungsgrad ist bei Fassadenflächen mit intensiver Sonneneinstrahlung (in Österreich im Bereich Südost bis Südwest) erzielbar. Unterschiede für den Fassadenbauer im konstruktiven Bereich ergeben sich vor allem durch die Erfordernisse der Führung von Stromleitungen. Bei Kaltfassaden oder Kalt-Warm-Fassaden kann dieses im hinterlüfteten Bereich geschehen. In diesem Fall sind die PV-Füllelemente nahezu wie normale Isoliergläser oder Paneele zu montieren. Bei Warmfassaden müssen die Leitungen durch den Glasfalz und die Aluminiumprofil-Hohlräume geführt werden. Bei vielen Pfosten-Riegel-Systemen gibt es Zusatzprofile, die innen an den Aluminiumrahmen als Kabelkanäle mit gleicher Oberflächenbeschaffenheit befestigt werden, sodass die Verkabelung auch in diesem Fall unsichtbar bleibt.

Abbildung 23 zeigt neben dem Aufbau eines PV-Moduls auch ein Schnittdetail einer im Brüstungsbereich mit Photovoltaikmodulen versehenen Warmfassade. Erwähnenswert ist die Notwendigkeit der sorgfältigen Abdichtung des Kabelführungsrohres im Glasfalzbereich, um das Eindringen von Wasser in das Brüstungspaneel zu verhindern.

Gebäude mit PV-Fassadentechnik sind kleine emissionsfreie Kraftwerke mit doppeltem Nutzen, deren Imagewirkung eine Chance eröffnet, zu Weiterentwicklungen in der Solartechnik anzuregen. Aus der Sicht des Fassadenbaus stellt die Integration einer Photovoltaikanlage in eine Aluminium-Glas-Fassade heute eine bereits bewährte Technik dar.

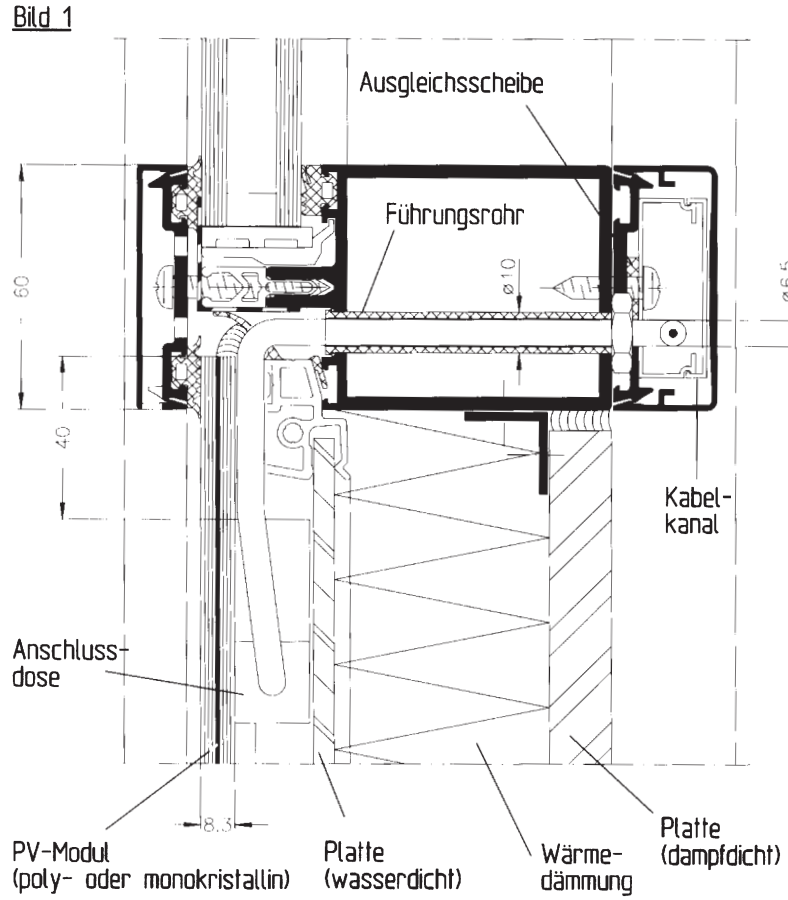
b) Zweite-Haut-Fassaden

Das besondere Merkmal dieser Fassaden besteht in einer zweiten Glasfront, die einer konventionellen Gebäudehülle mit offenbaren Fenstern außenseitig vorgelagert ist. In dem dazwischen liegenden Raum sind handelsübliche Sonnen- und Blendschutzsysteme (z. B. Jalousien) montiert. Der Luftspalt steht, ähnlich einer hinterlüfteten Konstruktion, ständig mit der Umgebungsluft in Verbindung, d. h. es sind geschossweise Zu- und Abluftöffnungen vorgesehen. Er wird im Gegensatz zu Abluffassaden (siehe weiter unten) nicht mechanisch, sondern durch natürliche Temperaturdifferenzen und durch Wind verursachte Druckunterschiede durchlüftet. Der Raumluftwechsel kann größtenteils durch normale Fensterlüftung durchgeführt werden.

Abbildung 23:
Photovoltaikfassade

Bild 1: Aufbau eines Photovoltaikmoduls (Vertikalschnitt)

Quelle: Schüco



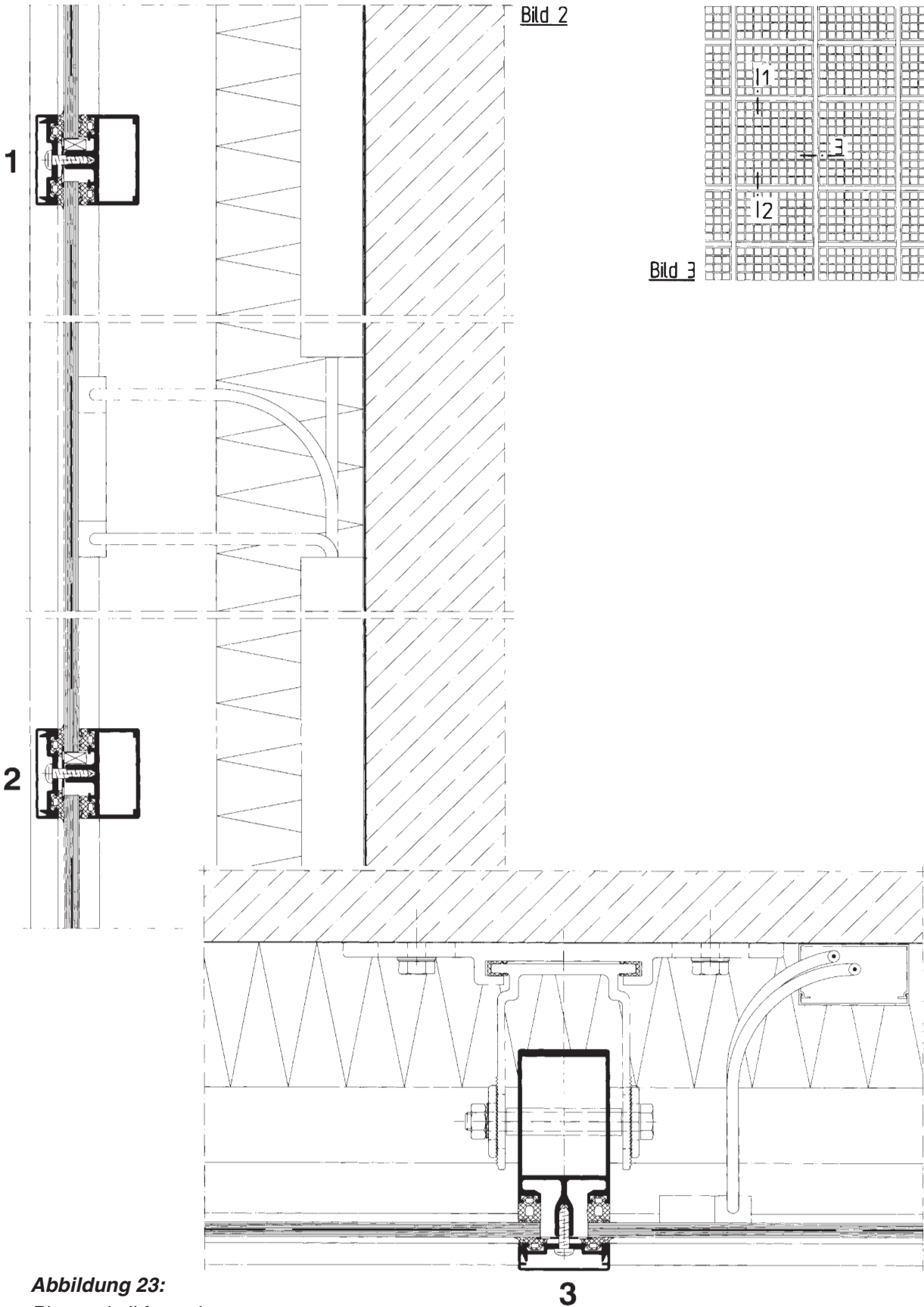


Abbildung 23:
Photovoltaikfassade

Bild 2: Schnittdetails durch
eine Photovoltaikfassade

Bild 3: Ausschnitt Ansicht
Fassade mit Photovoltaik-
modulen

Quelle: Schüco

Durch die natürliche Lüftung des Zwischenraumes lässt sich eine sommerliche Überhitzung infolge intensiver Sonneneinstrahlung vermeiden. Die vorgehängte Glashaut bildet darüber hinaus Schutz vor Wind und Regen. Hinzu kommen Vorteile bei der Schalldämmung und dem winterlichen Wärmeschutz. Versuche und Simulationsrechnungen haben gezeigt, dass eine Zweite-Haut-Fassade gegenüber einer herkömmlichen einschaligen Fassade einen bis zu 50 % geringeren U-Wert aufweist.

c) Fassaden mit automatisch gesteuertem Sonnenschutz

Eine Maximierung der passiven Energiegewinne an sonnigen Tagen in der kalten Jahreszeit kann durch möglichst große Glasflächen mit hohen Energiedurchlasswerten erreicht werden. Im gleichen Zuge entsteht jedoch die Gefahr der Überhitzung des Gebäudes im Hochsommer, welche nur durch wirksame an die Fassade angebrachte Sonnenschutzeinrichtungen abgewendet werden kann. Ein starrer Sonnenschutz, z. B. in Form von feststehenden Lamellen, bringt wiederum das Problem der Verdunkelung der Innenräume mit dem Resultat, dass unter Umständen die künstliche Beleuchtung auch bei Tag verwendet werden muss. Das erhöht einerseits den direkten Energiebedarf und steigert andererseits auch die sommerlichen Kühllasten. Diese unbefriedigende Situation hat zur Entwicklung von Fassaden mit beweglichen Sonnenschutzsystemen geführt.

Das Optimum stellt eine Fassade dar, die sich an die klimatischen Bedingungen der Jahreszeiten automatisch anpasst und eine bestmögliche Nutzung des Sonnen- und Tageslichtes ermöglicht. Sehr gute Ergebnisse kann man mit einer speziellen Form einer Zweiten-Haut-Fassade erreichen, die als autonome, multifunktionale Außenkonstruktion an der normalen Fassade angebracht wird. Sie besteht aus Glasbändern, die sich in Abhängigkeit von Licht und Wärme computergesteuert wie Klappflügel bewegen lassen. Die darin eingesetzten Isoliergläser tragen in ihrem Luftzwischenraum Prismenplatten, die die Sonnenstrahlen je nach Einfallswinkel umlenken oder durchdringen lassen. Durch Veränderung der Position der Flügel kann das in den Raum einfallende Licht gesteuert werden. Der sich ändernde Sonnenstand macht ein ständiges Nachführen der Klappflügel erforderlich. Die Hauptfunktion der vorgelagerten beweglichen Glashaut liegt in ihrer optimalen Sonnenschirmwirkung. Daneben kann sie vor allem bei zugeklappten Glasflächen auch Vorteile beim Schall- und Wärmeschutz bieten. Bei allen beweglichen Systemen besteht das Problem der äußerst hohen Investitionskosten durch Antriebs- und Steuerungssysteme und des damit verbundenen erhöhten Wartungsbedarfs.

d) Lüftungsfassaden

Die Besonderheit bei Lüftungsfassaden liegt darin, dass die ineinander greifenden Funktionen von Lüftung, Kühlung, Heizung und Schallschutz weitgehend dezentral in den einzelnen Räumen gesteuert bzw. beeinflusst werden können. Äußerst interessant ist der Einsatz einer derartigen Konstruktion bei Gebäuden, bei denen aufgrund hoher Anforderungen an den Schallschutz nicht durch Öffnen von Fenstern gelüftet werden soll und eine wirtschaftliche Alternative zu zentralen Lüftungsklimaanlagen gesucht wird.

Die Lüftung erfolgt in diesem Fall durch im Fensterbank- bzw. Brüstungsbereich eingebaute individuell bedienbare Lüftungsgeräte. Diese sind mit einem Wärmetauscher ausgestattet. Die Außenluft wird – bei Kalt-Warm-Fassaden aus dem hinterlüfteten Brüstungsbereich – angesaugt und, bevor sie in den Raum eintritt, im Wärmetauscher je nach Bedarf weiter erwärmt oder gekühlt. Die dafür notwendige Energie stammt aus der vom Innenraum abgesaugten und ebenfalls durch den Wärmetauscher geführten Abluft. Das heißt, im Wärmetauscher findet ein Energieaustausch zwischen Zu- und Abluft statt, was nichts anderes als eine Wärmerückgewinnung darstellt. Den höheren Investitionskosten und dem zusätzlichen Wartungsbedarf einer Lüftungsfassade stehen im Wesentlichen folgende Vorteile gegenüber:

- Ein hoher Schallschutz durch geschlossene Fenster (aus psychologischen Gründen, für die Lüftung in der Übergangszeit und für Reinigungszwecke werden meist dennoch öffnbare Fensterflügel vorgesehen).
- Die Einsparung von Heizkosten durch gute Ausnutzung der passiven Sonnenenergie und Wärmerückgewinnung.
- Durch die individuelle Steuerbarkeit der Lüftung kann ein von der Raumnutzung und von unterschiedlichen Behaglichkeitsbedürfnissen abhängiges Klima rasch angepasst werden.

e) Abluftfassaden

Eine Abluftfassade besteht, ähnlich einem Kastenfenster, aus zwei verglasten Ebenen, einer äußeren Isolierglaseinheit und einer – innen im Abstand von zirka 150 bis 200 mm angeordneten – meist einfachverglasten Konstruktion. Der Austausch der Raumluft erfolgt mittels Ventilatoren über den durch die beiden Glasebenen gebildeten Zwischenraum. Die Abluft kann zur Erwärmung der neuen Zuluft genützt werden, d. h. es erfolgt eine Wärmerückgewinnung. In dem zusätzlichen Luftraum werden zumeist Jalousien oder Lamellenstores für Sonnenschutz Zwecke eingebaut. Die Abluftfassade stellt eine Konstruktion dar, welche alle wichtigen bauphysikalischen Funktionen, nämlich den Sonnen-, Wärme- und Schallschutz sowie die Energierückgewinnung, auf einem hohen Niveau erfüllt. Wird die Fassade ohne öffnenbare Fensterflügel konzipiert, ist ganzjährig eine mechanische (üblicherweise zentral gesteuerte) Belüftung erforderlich.

7 Ökologische Aspekte zum Baustoff Aluminium

Die Anforderungen an Produktentwicklungen sind in den letzten Jahren um eine neue Komponente erweitert worden. Waren bisher Funktionalität, Herstellkosten und Sicherheit im Arbeitnehmerschutz sowie Bestimmungen zur Produkthaftung die bestimmenden Kriterien, gewinnen ökologische Aspekte zunehmend an Bedeutung.

7.1 Umweltrelevante Dimensionen von im Bauwesen verwendeten Aluminiumwerkstoffen in ihrem Lebenszyklus

Die nachfolgenden Ausführungen können die ökologischen Aspekte von Aluminium nicht in Form einer umfassenden und methodisch korrekten Ökobilanz beleuchten. Dies würde den Umfang des Handbuches sprengen. Sie konzentrieren sich daher auf besonders wichtige Aspekte, die auch im Zentrum vieler Diskussionen rund um das Thema „Rahmenwerkstoffe für Fenster und Fassaden“ stehen.

7.1.1 Der geschlossene Aluminiumkreislauf

Ausgangsstoff für die Aluminiumproduktion ist das Bauxit, aus dem das Zwischenprodukt Aluminiumoxid (Tonerde) gewonnen wird. Letzteres wird in der sogenannten Aluminiumhütte mittels Schmelzflusselektrolyse (siehe Kapitel 1.3) zu Hüttenaluminium reduziert. Das Hüttenaluminium wird nach Beigabe von Legierungszusätzen oder unlegiert zu Masseln oder Formaten gegossen. Formate gelangen als Walzbarren oder Pressbolzen in ein Halbzeugwerk. Masseln werden in Formgießereien wieder eingeschmolzen und zu Gussteilen vergossen.

Aus Halbzeugen (Blechen, Folien, Bänder, Profilen usw.) werden schließlich Aluminiumprodukte hergestellt.

Auf jeder Produktionsstufe fallen Reststoffe an, die im Umschmelzwerk wieder eingeschmolzen werden. Die Umschmelzwerke nehmen auch das nach der Produktnutzung anfallende Altaluminium auf. Das Umschmelzaluminium gelangt schließlich zur weiteren Verarbeitung wieder in die Halbzeugwerke oder in Formgießereien.

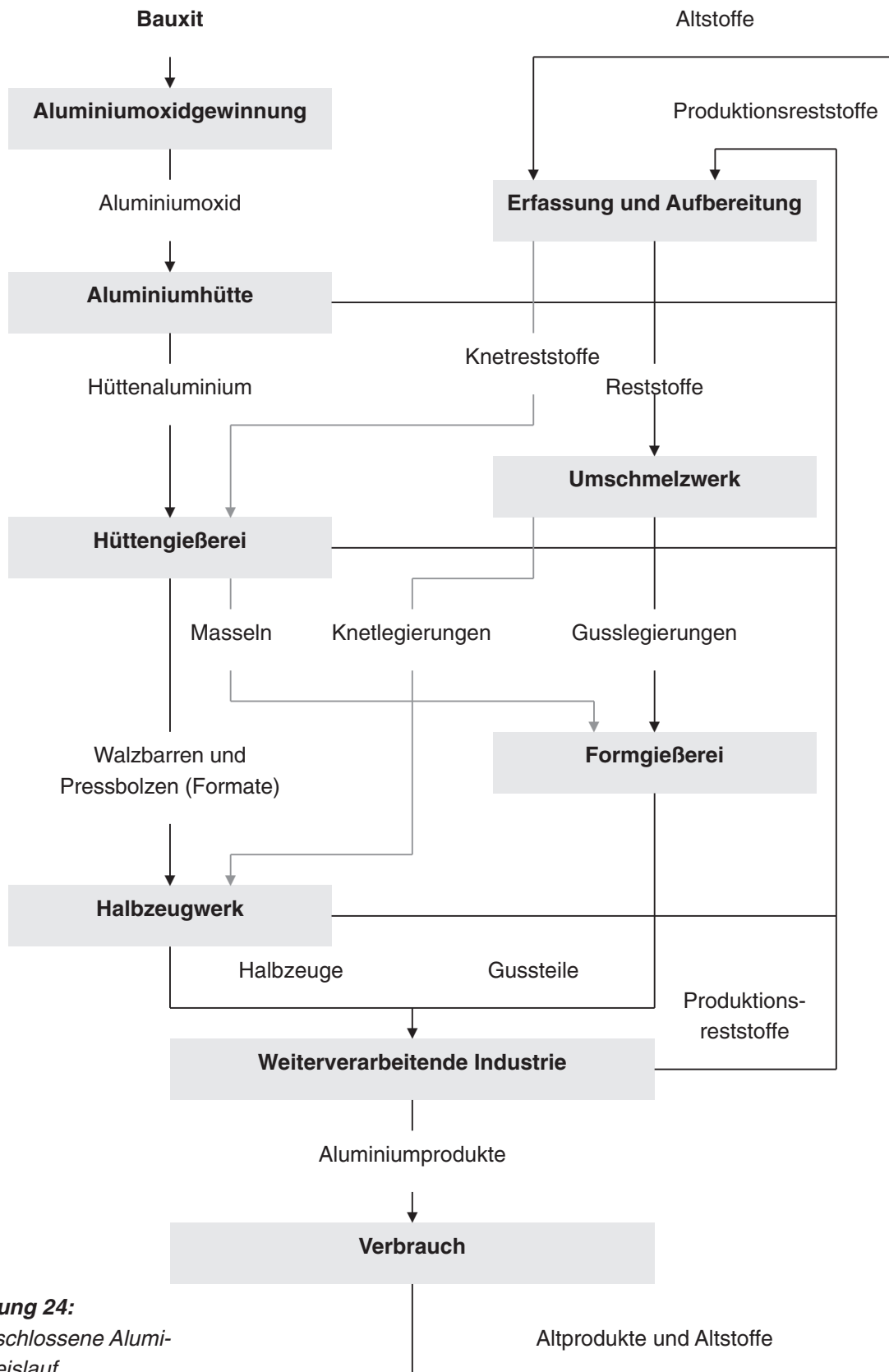


Abbildung 24:
Der geschlossene Aluminiumkreislauf

Quelle: Tritremmel,
Aluminiumprodukte im
Bauwesen

7.1.2 Die Rohstoffsituation

Der mengenmäßig mit Abstand wichtigste Rohstoff bei der Aluminiumherstellung ist Bauxit. Mit den heutigen Produktionsverfahren ist für eine Tonne Hüttenaluminium der Einsatz von durchschnittlich 4 Tonnen Bauxit erforderlich. Im Gegensatz zu manchen anderen Gebrauchsmetallen wird es bei Bauxit keine Verknappung geben. Man schätzt, dass der Bauxitvorrat noch mehrere hundert Jahre reichen wird. Dies deshalb, weil immer noch neue Lagerstätten entdeckt werden und zukünftig mit einem steigenden Altaluminiumaufkommen zu rechnen ist, was zu einem verringerten Wachstum des Bedarfs an Hüttenaluminium führen wird.

Das Bauxit liegt meist nur wenige Meter unter der Erdoberfläche und wird daher im Tagebau gewonnen. Die Reduktion vom Bauxit bis zum Aluminiumoxid wird in der Regel an Ort und Stelle des Abbaus durchgeführt. Dadurch werden lange Transportwege vermieden, und es wird die dort meist reichlich vorhandene Wasserkraft für die energieintensiven Herstellungsprozesse genützt. Der größte Teil der Bauxitlagerstätten liegt in Steppen- und Buschlandschaften. Um die Beeinträchtigungen der regionalen Ökosysteme zu minimieren, werden die ausgeschöpften Bauxitgruben in zunehmendem Ausmaß wieder mit den vorher entfernten und zwischengelagerten Erdmassen aufgefüllt und mit heimischen Pflanzen rekultiviert. Als Beispiel für derartige Aktivitäten wird des öfteren die australische Aluminiumindustrie „Alcoa of Australia“ genannt, welcher der Umweltpreis „Global 500“ der Vereinten Nationen für zwanzig Jahre vorbildliche Rekultivierung ihrer Bauxitminen zugesprochen wurde.

7.1.3 Energieverbrauch, Emissionen und Reststoffe

a) Energieverbrauch

Der gesamte Primärenergieverbrauch beträgt nach neuesten Berechnungen rund 133 MJ pro Tonne unlegiertes Aluminium, wobei der überwiegende Teil mit zirka 70 % auf die Schmelzflusselektrolyse entfällt.

Der Bedarf an Primärenergie kann durch Verbesserungen im Technologie- und Verfahrensbereich (siehe Kapitel 1.3, Abbildung 4) und die Art der Elektrizitätserzeugung (konventionell thermisch, hydraulisch, sonstige) beeinflusst werden. So liegt der Wirkungsgrad (Wirkungsgrad ist ein Maß für die Menge an Primärenergie in Megajoule „MJ“, die eingesetzt werden muss, um eine Kilowattstunde „kWh“ Nutzenergie zu erhalten) bei der Stromerzeugung durch Kohlekraftwerke nur bei etwa 33 %, während er bei der Nutzung von Wasserkraft bis zu 90 % beträgt. Dies bedeutet, die geringste Menge an Primärenergie ist bei ausschließlicher Verwendung von Elektrizität aus Wasserkraftwerken zu erzielen. Für die Aluminiumherstellung hat dieser Aspekt aufgrund des Strombedarfes eine besondere Bedeutung.

Damit wird verständlich, warum die Aluminiumhütten in den letzten Jahren vermehrt auf sogenannte „Energieinseln“, d. h. auf Standorte, an denen große Mengen an Hydroelektrizität zur Verfügung stehen, verlagert wurden. Der Vorteil ist, dass Wasser ein regenerativer Energieträger ist, dessen Nutzung keine Emissionen in Luft, Wasser und Boden verursacht.

Der Anteil der Wasserkraft lag 1980 bei zirka 50 %. Dieser wurde innerhalb von zehn Jahren – vor allem auf Kosten von Öl, Erdgas und Kohle – auf rund 60 % gesteigert.

Wird ein stranggepresstes Fenster- oder Fassadenprofil aus Aluminium ausschließlich anhand des durch seine Herstellung verursachten Energieverbrauches bewertet, müsste es im Vergleich zu Konkurrenzprodukten als umweltbelastendes Produkt eingestuft werden. Eine derartige punktuelle Betrachtungsweise widerspricht jedoch dem Grundprinzip der Ökobilanzierung, wonach eine Beurteilung der Umweltbeeinträchtigung eines Erzeugnisses die Analyse des gesamten Produktlebenszyklus voraussetzt. Hierunter fallen selbstverständlich auch alle übrigen Zyklusstufen wie z. B. Verwendung und Recycling.

Die bei der Aluminiumproduktion investierte Energie bleibt im Metall gespeichert und ist auf Grund der natürlichen Korrosionsbeständigkeit des Materials bis zum Ende der Nutzungsdauer verwendbar. Da Aluminiumprofile nach ihrer Verwendung ohne Qualitätsverlust recycelt werden, verlängert sich die Nutzungsdauer des Materials. Durch Umschmelzen kann das gleiche Produkt mit dem gleichen Gebrauchsnutzen unendlich oft wiederhergestellt werden, wobei allerdings jeweils nur ein Bruchteil der Primärenergie (hinunter bis zu 5 %), welche für den ursprünglichen Herstellungsprozess benötigt wurde, aufgewendet werden muss.

Ein entscheidendes Kriterium für die Umweltbelastung ist daher die Zahl der Nutzungsjahre, auf die der Energie- und Rohstoffverbrauch verteilt werden kann.

Da Aluminium tatsächlich hohe Recyclingquoten erzielt, ist der hohe Energie- und Stoffeinsatz bei der Herstellung eine Investition für die Zukunft, zumal die Lebensdauer des Metalls praktisch als unbegrenzt angesehen werden kann. Aluminium ist eine „Energiebank“. In Österreich werden derzeit rund 90 % des im Bauwesen anfallenden Altaluminiums wieder eingeschmolzen.

b) Emissionen

Hüttenaluminium verursacht Emissionen, einerseits direkt durch Rückstände aus in den Herstellungs- und Verarbeitungsprozessen verarbeiteten Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffen, andererseits indirekt durch die benötigte Prozessenergie.

In den letzten zwei Jahrzehnten wurden die Emissionen deutlich gesenkt. Die wichtigste Maßnahme dabei war die Erfassung des – in der Schmelzflusselektrolyse produzierten – Rohgases und die Reinigung desselben in speziellen Filteranlagen. Die modernen Elektrolysezellen sind daher von der Umgebung abgekapselt. In einer Gas-Sammelhaube wird das Abgas erfasst, abgesaugt und einer Trockenabsorptionsanlage zugeführt. Dabei wird ein Großteil der Emissionen absorbiert; Bestandteile des Rohgases z. B. bis zu 99 %.

Bei der Herstellung von Umschmelzaluminium sind die atmosphärischen Emissionen wesentlich geringer als bei der Hüttenaluminiumerzeugung (nur etwa 6 %).

c) Reststoffe

Die wichtigsten Reststoffe bei der Produktion von Hüttenaluminium sind Rotschlamm (siehe Kapitel 1.2), Ofenausbruch, Filterrückstände und Krätzen.

Die Bodenauskleidung einer Elektrolysezelle muss nach einigen Jahren erneuert werden. Das abgetragene Material (Ofenausbruch) besteht hauptsächlich aus Graphit und feuerfestem Material. Der Ofenausbruch wird heute üblicherweise nach entsprechender Vorbehandlung deponiert.

In modernen Anlagen wird das bei der Schmelzflusselektrolyse entstehende Rohgas unter Einsatz von Tonerde gefiltert, wobei die mit Gasen angereicherte Tonerde wieder in das Schmelzbad zurückgeführt wird.

Die Krätze wird in der Regel dem Schmelzprozess wieder zugeführt.

Bei der Produktion von Umschmelzaluminium fallen im Wesentlichen die Reststoffe Ofenausbruch, Filterstaub und Krätze an. Der Ofenausbruch ist wesentlich geringer als bei der Hüttenproduktion.

7.1.4 Das Recycling von Aluminiumprofilen

Grundsätzlich kann Aluminium ohne Qualitätsverlust immer wieder umgeschmolzen werden, d. h. es findet kein „downrecycling“ statt. Aluminiumbauteile besitzen im Vergleich zu anderen Abbruchmaterialien, die im Bauwesen anfallen (Bauschutt, Holz- und Kunststoffabfälle usw.), einen vergleichsweise hohen Wert. Mit dem Schrottpreis ist auch ein ökonomischer Anreiz gegeben, alte Fensterrahmen und Fassadenteile einer Wiederverwertung zuzuführen. Die bei der Weiterverarbeitung von Hütten- oder Umschmelzaluminium in den Strangpresswerken und Metallbaubetrieben entstehenden Prozessschrotte (Neuschrotte) gelangen praktisch zur Gänze zurück in die Umschmelzwerke. Bei den im Bauwesen anfallenden Altaluminiumschrotten werden zur Zeit etwa 90 % wieder verwertet. Insgesamt wurde in Österreich zwischen den Jahren 1991 und 1994 ein Anstieg der Produktion von Umschmelzaluminium von etwa 80 % festgestellt.

Verfahrensschritte beim Profilrecycling

In der Abbildung 24 („Der geschlossene Aluminiumkreislauf“) sind die einzelnen Prozessstufen im Lebenslauf eines Aluminiumproduktes dargestellt. Die nachfolgende Abbildung 25 verdeutlicht, welchen Weg im Detail ein Fenster- oder Fassadenprofil aus Aluminium beim Recycling nimmt, d. h. welche Teilprozesse zwischen dem Ende seiner Nutzung und dem Vorliegen von Umschmelzaluminium notwendig sind.

Die ersten Schritte, nämlich die sorgfältige Trennung und Zerlegung der Fenster in die Einzelteile aus verschiedenen Werkstoffen, sind wichtig für den Erhalt möglichst homogener Schrotte. Bei der Weiterverarbeitung gibt es grundsätzlich zwei Möglichkeiten (siehe Abbildung 25).

Variante 1

Die wärme gedämmten Rahmenteile werden in einer Schredderanlage zerkleinert. Danach werden die verschiedenen Werkstoffe sortiert. Der Magnetabscheider trennt die Eisen- und Stahlteile vom Schrott. Die leichteren Kunststoffteile werden durch eine Windsichtung oder mittels Wirbelstromsichtung von den Aluminiumstücken separiert. Letztere gelangen in einen Schmelzofen, in dem die restlichen Verunreinigungen mittels verschiedener Techniken (z. B. durch Abschwelen) entfernt werden.

Variante 2

Die zuvor in manipulierbare Längen geteilten Verbundprofile werden in einem speziellen Ofen bei zirka 400 °C abgeschwelt. Dabei löst sich einerseits die Farbbeschichtung von der Metalloberfläche und gleichzeitig lockern sich die Isolierstege so weit, dass sie in einem anschließenden Arbeitsgang unschwer von den Profilteilen getrennt werden können. Das derart gereinigte Altaluminium wird anschließend in den Schmelzofen eingebracht. Die im Schwelofen entstehenden Gase werden einer Reinigungsanlage zugeführt. Die separierten Isolierstege werden gesondert verwertet.

Die Variante 1 ist eine heute häufig angewendete Verarbeitungstechnik. Die Bedeutung der Variante 2 steigt mit den Mengen an farbbeschichteten Verbundprofilen, die einem Recycling zugeführt werden.

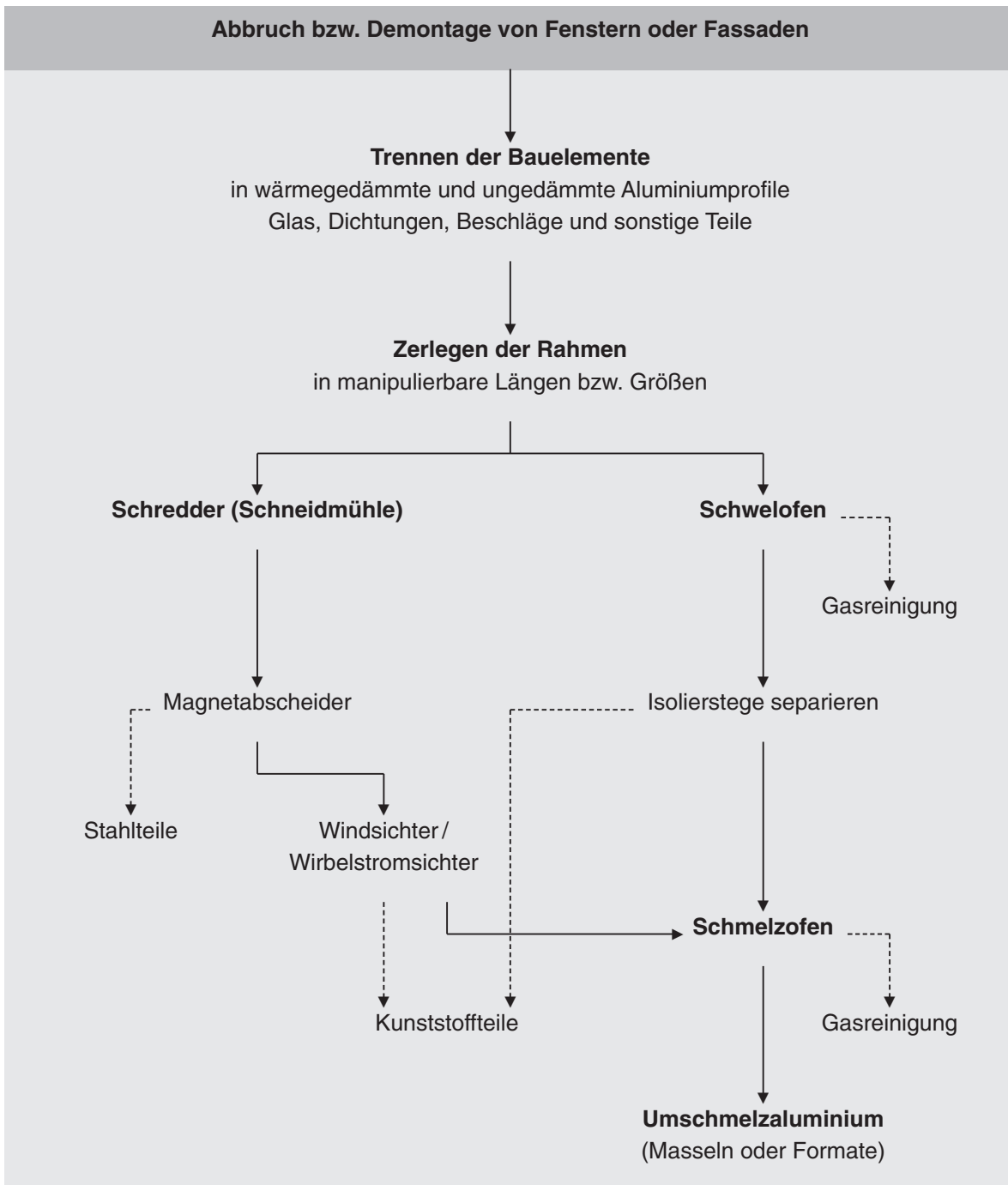


Abbildung 25:
Darstellung der Prozessstufen
beim Recycling von wärme-
gedämmten Aluminiumprofilen

Quelle: Eigendarstellung in
Anlehnung an Tritremmel,
Aluminiumprodukte im
Bauwesen

7.2 Ökologische Fenstervergleiche

Ökologie ist die „Lehre der Beziehungen von Lebewesen zur Umwelt“ (Duden). Jedes Produkt beeinflusst diese Beziehung und ist demzufolge ein „Ökologisches“.

Um unterschiedliche Auswirkungen der Produkte darzustellen, werden heute in vielen Bereichen Versuche unternommen, Ökologiebetrachtungen durchzuführen.

Schon diese grundsätzliche Betrachtung lässt erahnen, wie weit die Grenzen für Ökobilanzen, deren Interpretationen und ganz besonders deren pressemäßige Verwertung gesteckt sind.

Die grundsätzliche Sinnhaftigkeit und Notwendigkeit von Instrumenten wie Ökobilanzen, Ökopprofilen, Energiebilanzen oder Stoffstromanalysen wird heute nicht mehr bezweifelt. Trotzdem bestehen eine Reihe von Problemen, wie methodische Schwächen, Datenmängel usw., insbesondere wenn versucht wird, Produkte zu vergleichen.

Das schwierige Unterfangen, einheitliche Systemgrenzen zu definieren, wird zusätzlich erschwert, wenn der Auftraggeber einer Produktvergleichsstudie Vertreter nur eines der zu vergleichenden Produkte ist. Jedes Bemühen um vollständige Datensammlung und Objektivität stellt den jungen Wissenschaftszweig vor eine nahezu unlösbare Aufgabe.

Zudem zeigt sich, dass sich Szenarien in der Praxis kombinieren lassen. Durch derart geschickte Umsetzung kann für jedes der untersuchten bzw. verglichenen Produkte eine noch günstigere ökologische Gesamtbewertung erzielt werden.

Dem hohen Anspruch, eine sichere Aussage darüber zu machen, welches Produkt unter mehreren Alternativen das umweltfreundlichste darstellt, können Ökobilanzen bis dato nicht gerecht werden. Dazu fehlen, unabhängig von der Auftraggebersituation, trotz aller Anstrengungen objektivierbare Kriterien, die man für die Bewertung der Messgrößen heranziehen könnte. Allgemein anerkannte Standardverfahren oder einschlägige Normen liegen jedoch bis heute nicht vor. Derzeit wird versucht, eine gewisse Standardisierung und internationale Harmonisierung der Methoden (z. B. ISO) herbeizuführen.

Der Nutzen von Produktökobilanzen kann wie folgt zusammengefasst werden:

1. Aufzeigen des Zusammenhanges zwischen der Herstellung sowie der Verwendung von Produkten und Beeinträchtigungen der Umwelt.
2. Übergang von einer punktuellen Betrachtung ökologischer Probleme auf deren ganzheitliche Sicht.
3. Verknüpfung der verschiedenen Lebenszyklusstufen von Produkten, womit ökologische Problemverlagerungen vermieden werden.

Die wichtigsten konkurrierenden Werkstoffe bei modernen Fensterkonstruktionen sind Holz, Kunststoff (PVC) und Aluminium. Die Frage, welches Material „das beste“ ist, wurde in letzter Zeit verstärkt und kontrovers auch unter Umweltgesichtspunkten diskutiert. Wenngleich formale, technische und wirtschaftliche Belange in der Praxis große Bedeutung haben, konzentriert sich die Mehrzahl der Studien auf ökologische Fragestellungen.

Zahlreiche Studien zeigen, dass es keinen Werkstoff bzw. keine Konstruktion gibt, die in allen untersuchten Effekten deutliche Vorteile oder deutliche Defizite aufweist.

Die bisherigen ökologischen Bewertungen von Fenstern lassen demnach keine eindeutigen Aussagen zu, wenngleich sie Ansatzpunkte für umweltwirksame Schwachstellen und Verbesserungen geben. Die ökologischen Verbesserungspotentiale sind bei Fenstern im Vergleich zu anderen Baumaterialien jedoch eingeschränkt, da der Masseanteil der Rahmenmaterialien gering ist.

Es besteht die Gefahr, dass die Ergebnisse einer Studie von den jeweiligen Branchenvertretern auf ihre Interessenslage hin interpretiert werden. Selbst die Autoren der Studien weisen ausdrücklich darauf hin, dass die Ergebnisse ihrer Arbeiten, vor allem aufgrund der noch vorhandenen methodischen Unsicherheiten des Instrumentariums, eine generelle Entscheidung für oder gegen einen Werkstoff nicht rechtfertigen können. Hier kann als Beispiel die unterschiedliche Lebensdauer von Fensterrahmen aus verschiedenen Werkstoffen genannt werden.

Bei einer Materialentscheidung sind neben den ökologischen Kriterien insbesondere die technischen, standortbezogenen, gebäude-spezifischen, gestalterischen und ökonomischen Gesichtspunkte mit einzubeziehen.

8 **Ökonomische Aspekte**

Eine Investition ist eine „langfristige (Kapital-)Anlage“. Dieser Terminus trifft bei Fenstern und Konstruktionen aus Aluminium voll zu. Nicht der vergleichsweise höhere Anschaffungspreis, sondern alle Kosten während der gesamten Nutzungsdauer sind für den Investor relevant.

Es ist daher besonders wichtig, neben dem Anschaffungspreis auch die Kosten während der Nutzungsdauer und allfällige Entsorgungskosten zu berücksichtigen. Um die korrekte Funktion zu gewährleisten, müssen beispielsweise Holzfenster regelmäßig gestrichen werden. In Abhängigkeit der Lage, der Anstrichqualität und der Farbe sind deshalb Wartungsintervalle von drei bis zehn Jahren erforderlich.

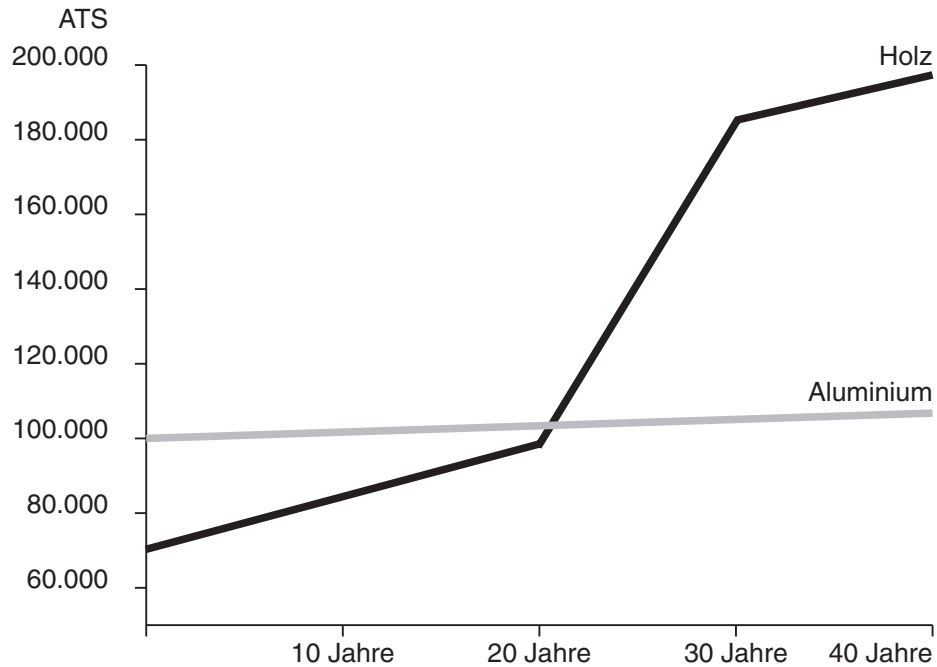
Die von einem Fensterelement verursachten Kosten- bzw. Erlösarten werden wie folgt unterschieden:

Aluminiumprofile		
1.	Investitionskosten	ja
2.	Instandhaltungskosten (Pflege, Reinigung und Ölen von beweglichen Teilen)	ja
3.	Wartungskosten (Anstricherneuerung)	nein
4.	Entsorgungskosten (Deponie, Verbrennung)	nein
5.	Erlöse aus der Wiederverwertung (Recycling)	ja

Ein ökonomischer Vergleich alternativer Rahmenwerkstoffe erfordert die Berücksichtigung aller kostenwirksamen Faktoren. Dies zeigt die Abbildung 26 am Beispiel des Vergleiches der Gesamtkosten von Holzfenstern und Aluminiumfenstern.

Abbildung 26:
Fensterkosten
nach Nutzungsdauer

Quelle: Eigendarstellung



**Gesamtkosten lt. angegebenen Prämissen bei einem Anschaffungspreis für 10 Fenster:
ATS 70.000,- (Holz) bzw. ATS 100.000,- (Aluminium)**

	Holz	Aluminium
1. Nutzungsjahr	70.000,-	100.000,-
20 Jahre Nutzungsdauer	99.360,-	104.000,-
30 Jahre Nutzungsdauer	184.040,-	106.000,-
40 Jahre Nutzungsdauer	198.720,-	108.000,-

Prämissen	Holz	Aluminium
Nutzungsdauer in Jahren ¹	25 Jahre	40 Jahre ²
Anschaffungspreis für 10 Fenster	70.000,-	100.000,-
Instandhaltungskosten (pro Jahr)	280,- ³	250,- ³
Wartungskosten (pro Jahr)	1.120,- ⁴	0,-
Entsorgungskosten (pro Jahr)	68,- ⁵	0,-
Erlöse aus Wiederverwertung (pro Jahr)	0,-	50,- ⁶

¹ Quellen: Ökologische Betrachtung der Fensterwerkstoffe, Österreichisches Forschungsinstitut für Chemie und Technik und Wirtschaftlichkeit von Fenstern, Topritzhofer/Leopoldseher, beide Wien 1994

² Bei Aluminium ist Nutzungsdauer nicht gleich Lebensdauer. Die Lebensdauer von Aluminiumfensterrahmen ist unbegrenzt!

³ Die Instandhaltungskosten (Pflege, Reinigung und Ölen von beweglichen Teilen) sind mit 10 % des Anschaffungspreises über die gesamte Nutzungsdauer angenommen.

⁴ Bei Holzfenstern fallen Wartungskosten (Kosten für die Anstrichererneuerung) an. Es wurden je 8 % des Anschaffungspreises für jedes Mal Streichen berechnet. Alle fünf Jahre ist zu streichen. Bei Aluminiumfenstern fallen keine Wartungskosten an. Betreffend dieser Annahme siehe auch: Technische Vorschriften für Fenster, MA 27, Wien 1994 (Kosten und Intervalle), und Wirtschaftlichkeit von Fenstern, Topritzhofer/Leopoldseher, Wien 1994 (Intervalle).

⁵ Bei Holzfenstern fallen Entsorgungskosten (Deponie oder Verbrennung) von rund ATS 170,- pro Fenster an. Damit betragen die Entsorgungskosten für zehn Fenster ATS 1.700,-. Bezogen auf 25 Nutzungsjahre wurden jährlich ATS 68,- als Aufwand berücksichtigt. Quelle: Wirtschaftlichkeit von Fenstern, Topritzhofer/Leopoldseher, Wien 1994.

⁶ Recycling: Bei Aluminiumfenstern ist ein Erlös von rund ATS 10,- pro kg Aluminium zu erzielen. Ein durchschnittliches Fenster wiegt 20 kg. Damit beträgt der Wiederverwertungserlös rund ATS 2.000,-. Bezogen auf 40 Nutzungsjahre wurden jährlich ATS 50,- als Ertrag berücksichtigt.

Literaturverzeichnis

Alber, S.

Life-Cycle-Assesment als Instrument der Umwelt- und Technikbewertung,
in: Tagungsband zum Seminar Ökobilanzen-Grundsätze, Methoden, Grenzen und Möglichkeiten
der Normung v. 15. April 1993, hrsg. v. Verbraucherrat des Österreichischen Normungsinstituts,
Wien 1993, S. 1–22

Altenpohl, D.

Aluminium von innen – Das Profil eines modernen Metalls, 5. Auflage,
Düsseldorf 1994

Aluminium Initiative Austria (Hrsg.)

Aluminium und Energie, in: Mit Aluminium kann man machen, was man will,
Wien 1993

Aluminium Initiative Austria (Hrsg.)

Aluminium und Rotschlamm, in: Mit Aluminium kann man machen, was man will,
Wien 1993

Aluminium Initiative Austria (Hrsg.)

BASIS – Informationsbroschüre,
Wien

Aluminium Initiative Austria (Hrsg.)

Das Recycling von Aluminium in der Praxis, in: Mit Aluminium kann man machen, was man will,
Wien 1994

Aluminium-Zentrale (Hrsg.)

Aluminium – Merkblatt O3: Beschichten von Aluminium, 7. Auflage,
Düsseldorf

Aluminium-Zentrale (Hrsg.)

Aluminium – Merkblatt O4: Anodisch oxidiertes Aluminium für dekorative Zwecke, 15. Auflage,
Düsseldorf

Aluminium-Zentrale (Hrsg.)

Aluminium – Merkblatt W1: Der Werkstoff Aluminium, 5. Auflage,
Düsseldorf

Aluminium-Zentrale (Hrsg.)

Bauen mit Aluminium '90/'91,
Düsseldorf 1990

Aluminium-Zentrale (Hrsg.)

Informationen über den Werkstoff Aluminium,
Düsseldorf

Aluminium-Zentrale (Hrsg.)

Aluminium-Taschenbuch, 14. Auflage
Düsseldorf 1988

Aluminium-Zentrale (Hrsg.)

Aluminium-Taschenbuch, 15. Auflage
Düsseldorf 1996

Breiding, A.

Anforderung an die moderne Fassade, Vortrag anlässlich des Fassadensymposiums der BAU 95, München, hrsg. v. Verband für Fassadentechnik e. V., Frankfurt am Main, 1995

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft – BUWAL (Hrsg.)

Ökobilanz von Packstoffen, Stand 1990 – Schriftenreihe Umwelt Nr. 132, Bern 1991

Compagno, A.

Intelligente Glasfassaden – Material, Anwendung, Gestaltung, Zürich 1995

Dubbel-Taschenbuch für den Maschinenbau,

hrsg. v. Beitz, W., u. Küttner, K.-H., 18. Auflage, Berlin – Heidelberg 1995

European Aluminium Association, EAA (Hrsg.)

European Aluminium Statistics 1992, Düsseldorf 1993

Fachverband der Österreichischen Metallindustrie (Hrsg.)

Datenblätter über den österreichischen Aluminiumverbrauch, Wien 1995

Gamerith, H.

Die Verantwortung der Architekten in der nachhaltigen Bauwirtschaft, in: Bauen und Umwelt: Der Beitrag der Planer zur Kreislaufwirtschaft – Vortrag anlässlich einer Informationsveranstaltung vom 20. Sept. 1994, hrsg. v. Österreichischen Baustoff-Recycling-Verband u. a., Wien 1994, S. 21–24

Geermann, R., u. Hauk, F., u. Schmid, J.

Fortschreibung des ökologischen Grundkonzeptes, in: Jahresbericht '94: Die Fensterbranche in einem offenen Europa, hrsg. v. Verband der Fenster- und Fassadenhersteller e. V., Frankfurt am Main 1995, S. 71–80

Gerhold, S.

Stoffstromrechnung: Aluminium, hrsg. v. Österreichischen Statistisches Zentralamt (ÖSTAT), Wien, in: Statistische Nachrichten (1996) 1, S. 48–52

Hafer, H., u. Böhmer, E.

Glasarchitektur – Bewohnte Glashäuser und Glasanbauten, Köln – Braunsfeld 1985

Hartmann & Co

Handbuch für Architekten, Hamburg 1985

Heusler, W.

Zweite-Haut-Fassaden: Energie- und komfortoptimierte Fassaden – Vortrag anlässlich der Rosenheimer Fenstertage 1995, hrsg. v. Institut für Fenstertechnik e. V., Rosenheim 1995, S. 9–17

Hopfenbeck, W., u. Jasch, C.

Öko-Design: umweltorientierte Produktpolitik, Landsberg am Lech 1995

Hydro Aluminium

Aluminium und Ökologie: Die Herstellung und Verwendung von Aluminium aus ökologischer Sicht, Oslo

Klindt, L., u. Frehse, H.

Fensterkonstruktionen,
Köln – Braunsfeld 1984

Krause, H.

Forschung und Entwicklung als Dienstleistung – Vortrag anlässlich der Rosenheimer Fenstertage 1995, hrsg. v. Institut für Fenstertechnik e. V., Rosenheim 1995, S. 88–106

Kreissig, J.

Ganzheitliche Bilanzierung von Baustoffen und Gebäuden, in: Jahresbericht '95: Der Weg zum wirtschaftlichen Bauen, hrsg. v. Verband der Fenster- und Fassadenhersteller e. V., Frankfurt am Main 1996, S. 155–159

Krewinkel, H. W.

Großzügiger wohnen mit Glasanbauten, in: Der BAKA-Modernisierungsberater – Glasanbauten, hrsg. v. Bundesarbeitskreis Altbauerneuerung e. V. und der Zeitschrift Althaus modernisieren, Fellbach

Landesinstitut für Bauwesen und angewandte Bauschadensforschung – LBB (Hrsg.)

Fenster aus Holz, Kunststoff oder Aluminium,
Aachen 1993

Loacker Recycling GmbH

Information über das Recycling von Aluminiumfenstern,
Götzis, 18. April 1995

Novak, E.

Ökologische Betrachtung der Fensterwerkstoffe Kunststoff, Aluminium, Holz,
hrsg. v. Österreichischen Forschungsinstitut für Chemie und Technik,
Wien 1994

Österreichisches Statistisches Zentralamt, ÖSTAT (Hrsg.)

Österreichische Produktionsstatistik von Fenstern – Auszug aus der Statistik der Sachgütererzeugung: Industrie u. Gewerbe,
Wien 1995

Richter, E. P.

Moderne Fenstertechnik, Dipl.-Arb. der TU Wien,
Wien 1986

Richter, K.

Objektive, vergleichende Ökobilanz für Fenstertypen aller Werkstoffgruppen, in: Jahresbericht '95: Der Weg zum wirtschaftlichen Bauen, hrsg. v. Verband der Fenster- und Fassadenhersteller e. V., Frankfurt am Main 1996, S. 139–154

Richter, K., u. Künninger, T., u. Brunner K.

Ökologische Bewertung von Fensterkonstruktionen verschiedener Rahmenmaterialien (ohne Verglasung), Studie im Auftrag der Schweizerischen Fachstelle für Fenster- und Fassadenbau SZFF und der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt EMPA in Zusammenarbeit mit dem Verband der Fenster- und Fassadenhersteller VFF, Frankfurt am Main, 1996

Schaupp, W.

Außenwandbekleidungen, hrsg. v. DIN, Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin – Wien – Zürich 1993

Schmid, J.

Entwicklungstendenzen bei Fenstern, Türen und Fassaden – Vortrag anlässlich der Rosenheimer Fenstertage 1995, hrsg. v. Institut für Fenstertechnik e. V., Rosenheim 1995, S. 3–8

Schmidt, W.

Fensterbau mit Aluminium, zweiter, ergänzter Druck, Düsseldorf 1985

Seifert, E., u. Schlick, F. (Hrsg.)

Der Fensterbau,
Schorndorf 1985

Systemhäuser-Informationen

Alusuisse, Hartmann, Hueck, Schüco, Wicona

Topritzhofer, E., u. Leopoldseher, T.

Wirtschaftlichkeit von Fenstern – Ein betriebswirtschaftliches Entscheidungsmodell für einen Vergleich der Profilwerkstoffe PVC, Holz und Holz-Aluminium, Wien 1994

Tritremmel, H.

Technische, ökologische und ökonomische Leistungen und Innovationspotentiale von Aluminiumprodukten im Bauwesen – Versuch einer ganzheitlichen Betrachtung, Dipl.-Arb. der WU Wien, Wien 1996

Weber, R.

Webers Taschenlexikon – Aluminium: Gewinnung, Anwendung, Umweltschutz, Oberbözberg 1990

Wippel, Ch.

Gegenüberstellung der verschiedenen Fensterkonstruktionen in bezug auf die Rahmenmaterialien und unter Berücksichtigung der Güte- und Qualitätssicherung, Dipl.-Arb. der WU Wien, Wien 1989

Impressum:

Qualitätshandbuch für Fenster und Fassaden aus Aluminium

Teil 1 Einleitung

Teil 2 Werkstoff

Teil 3 Ausschreibung

Teil 4 Checkliste Qualitätsbeurteilung

Herausgeber:

Verein zur Hebung der Information über Aluminiumfenster und -fassaden

Aluminium-Fenster-Institut (AFI)

A-1150 Wien

Johnstraße 4/8

Telefon (01) 983 42 05

Fax (01) 983 42 06

Redaktion:

Mag. Harald Greger, AFI

Lektor:

Walter Skoda

Produktionsabwicklung:

Dr. Brugger-Dengg Public Relations

Gestaltung:

Atelier Rudolf Fuchs

Druck:

Druck- und Verlagsanstalt Gutenberg

Fotos:

Aluminium-Fenster-Institut

Wien 1997

1. Auflage: 4000 Stück

Gedruckt auf chlorfrei gebleichtem Papier.

Zugunsten der besseren Lesbarkeit wird auf eine geschlechtsspezifische Titulierung verzichtet.