

Vorhangfassaden in Leichtbauweise

**Ein Überblick über Vorhangfassaden und
deren Relevanz für das nachhaltige Bauen**

Autor: Adrian Muskatewitz

Dezember 2025

Inhalt

Inhalt	0
Einleitung	1
Definition und Geschichte von Leichtbauweisen im Fassadenbau	1
Relevanz im Hinblick auf globale Klimaziele und nachhaltiges Bauen	2
Grundlagen der Leichtbauweisen	3
Prinzipien und Technologien von Vorhangfassaden	3
Aufbau und allgemeine Konstruktionstechniken von	4
Vorhangfassaden	4
Bedeutung für Energieeffizienz und CO ₂ -Reduktion	6
Grundprinzipien und allgemeine Konstruktionstechniken	6
(Element- und Modulbauweise)	6
Vorteile hinsichtlich Bauzeit, Qualitätssicherung und	7
Ressourcenverbrauch	7
Vergleich gegenüber anderen Bauweisen	8
Energieeffizienz	9
Reduktion des Energiebedarfs durch Passivhaus-Komponenten	10
Randverbund und Abstandhalter	12
Glasträg / Glasaufleger und Verschraubung von Anpressleisten	13
Luftdichtheit	14
Verschattung und Reduktion sensibler Kühlbedarf - Balance zwischen Transparenz und Effizienz	15
Berechnung der thermischen Kennwerte	17
Optimierung der thermischen Isolierung durch Vorfertigung	19
Klimaneutralität im Bauwesen durch Leichtbauweise	20
Reduktion des CO ₂ -Fußabdrucks bei Planung, Herstellung und Betrieb	20
Integration erneuerbarer Energien	21
Einsatzmöglichkeiten nachhaltiger Materialien und	22
Recyclingbaustoffe	22
Bedeutung der Leichtbauweise für eine nachhaltige Bauwirtschaft	24
Herausforderungen, Perspektiven und Ausblick	25
Technische Herausforderungen bei der Umsetzung von Leichtbauten	25
Innovationen und zukunftsweisende Entwicklungen	26

Einleitung

Definition und Geschichte von Leichtbauweisen im Fassadenbau

Das Leichtbauwesen im Fassadenbau beschreibt die Entwicklung und Anwendung von Konstruktionen, die bei reduziertem Materialeinsatz eine ausreichende Tragfähigkeit, Funktionalität und ästhetische Wirkung erzielen. Eine besondere Ausprägung davon ist die Vorhangfassade (engl. *Curtain Wall*), die nicht tragend ist, sondern als „Vorhang“ vor die tragende Struktur eines Gebäudes gehängt wird. Dieses Prinzip hat die Architektur des 20. und 21. Jahrhunderts maßgeblich geprägt. Das Leichtbauwesen zielt darauf, Material, Gewicht und Energieverbrauch zu minimieren, ohne die strukturelle Sicherheit oder Funktionalität zu beeinträchtigen. Die Vorhangfassade ist ein Paradebeispiel, weil sie das Eigengewicht der Gebäudehülle drastisch reduziert, architektonische Freiheit ermöglicht, ressourcenschonend vorgefertigt werden kann und auf nachhaltige Technologien und Ansprüche vorbereitet ist.

Die Vorhangfassade bildet die äußere Hülle eines Gebäudes und steht vor dem eigentlichen Tragwerk. Neben ihrem Eigengewicht nimmt Sie keine weiteren statischen Lasten aus dem Gebäude auf und leitet lediglich ihr Eigengewicht und windbedingte Lasten an die tragende Primärkonstruktion ab. Diese Bauweise ermöglicht große Glasflächen, hohe Flexibilität im Design und eine klare Trennung zwischen Struktur und Gebäudehülle.



In der Frühphase im 19. Jahrhundert wurde während der industriellen Revolution im Stahl- und Eisenbau erstmals große, selbsttragende Rahmen möglich, in die leichte Außenhüllen integriert werden konnten.

Abbildung 1 - Der ursprüngliche Crystal Palace im Hyde Park - 1851 von Joseph Paxton – eine revolutionäre Glas- und Eisenkonstruktion, die als Vorläufer der Vorhangfassade gilt. Kolorierte Lithografie der Gebrüder Dickinson, 1851 © [Wikipedia](#)

Mit dem Stahlskelettbau in den USA entstand erstmals die Möglichkeit, Außenwände komplett von der Tragfunktion zu entbinden. Die *Chicago School* der Architektur gilt als Geburtsort des modernen Curtain-Wall-Prinzips und bereitete den Weg zum Übergang in die Moderne mit der Bauhaus-Bewegung in den 1920er und 1930er Jahren, mit Architekten wie Walter Gropius und Ludwig Mies van der Rohe, die transparente Fassaden als Ausdruck moderner Architektur förderten. In dieser Zeit entstanden auch erste standardisierte Aluminium-Profile, wodurch die Fassade leichter und präziser montierbar wurde.

Ab den 1950er-Jahren führten Aluminium- und Isolierglas-Technologien zu einem Boom im Hochhausbau. Die Vorhangfassade wurde industriell vorgefertigt, was Bauzeiten verkürzte und die Qualität steigerte. Heute adressieren Vorhangfassaden energetische Aspekte durch Mehrfachverglasung, Isolationselemente, Sonnenschutzsysteme, Integration von Photovoltaik-Modulen, oder Doppelfassaden. Materialien werden zunehmend recyclingfähig, Leichtbauprinzipien setzen auf geringere Materialmassen bei höherer Leistung. Digitale Planungs- und Fertigungsmethoden (BIM, CNC, Roboter montage) erweitern Gestaltungs- und Effizienzpotenziale.

Die Vorhangfassade im Leichtbauwesen ist das Ergebnis einer über 150-jährigen Entwicklung – von den frühen Eisen-Glas-Hallen des 19. Jahrhunderts bis zu hochkomplexen, energieeffizienten Fassadensystemen der Gegenwart. Sie verkörpert die Trennung von Struktur und Hülle, ist Ausdruck architektonischer Leichtigkeit und steht für eine Bauweise, die Funktionalität, Ästhetik und Nachhaltigkeit verbindet.

Relevanz im Hinblick auf globale Klimaziele und nachhaltiges Bauen

Pfosten-Riegel-Fassaden (PR-Fassaden) sind ein wichtiges Gestaltungselement moderner Architektur. Sie bestehen im Wesentlichen aus einer tragenden Struktur aus vertikalen Pfosten und horizontalen Riegeln (meist Aluminium, Stahl oder Holz) sowie aus großflächigen Glas- oder Panelfüllungen. Ihre Relevanz im Hinblick auf globale Klimaziele und nachhaltiges Bauen lässt sich aus mehreren Perspektiven betrachten:

Moderne PR-Fassaden können mit hochwärmedämmenden Gläsern (z. B. Dreifachverglasung, Low-E-Beschichtungen) und thermisch getrennten Profilen ausgeführt werden. Dadurch wird der Heiz- und Kühlbedarf gesenkt, was direkt den CO₂-Ausstoß reduziert. U-Werte (Wärmedurchgangskoeffizienten) der Verglasung bis zu 0,50 W/(m²K) sind Stand der Technik. Energetisch hochwertige Pfosten- und Riegel Profile erreichen mit einem Dämmeinsatz U_t / U_m – Werte von 0,60 bis 1,00 W/(m²K), je nach Dämmeinsatz, Geometrie und Verschraubung der Anpressleiste. Neben den Einsparungen durch Reduktion der Transmissionswärmeverluste bzw. Reduktion von sensiblen Wärmeeinträgen in der Kühlperiode, weisen moderne effiziente Fassaden auch keine Einschränkungen hinsichtlich Komfort, insbesondere lokalem Diskomfort-Erscheinungen wie Kaltluftabfall, Strahlungsasymmetrie oder Stratifikation auf, sodass auch raumhohe Elemente ohne Komforteinbußen umsetzbar sind. Bei höherem thermischen Widerstand der Elemente steigen auch die Oberflächentemperaturen, sodass Kondensat am Glasrand durch Verwendung thermisch hochwertiger Abstandhalter vermieden wird.

Die großen Glasflächen ermöglichen eine hohe natürliche Belichtung. Weniger Kunstlichtbedarf bedeutet Energieeinsparung. Gleichzeitig muss aber Überhitzung im Sommer vermieden werden. Tageslichtsimulationen und Verschattungskonzeptionen (passiv und aktiv) sind erforderlich um eine effiziente Solarapertur nutzbar zu machen. Einerseits sind solare Einträge in der Heizperiode hilfreich um den Wärmebedarf zu reduzieren und auf Kunstlicht zu verzichten, andererseits müssen die Lasten im Sommerfall möglichst gering gehalten werden. Der Energiedurchlassgrad der

Verglasung ist entsprechend sinnvoll zu wählen und in Abhängigkeit des Gebäudes, Orientierung, Nutzung und Apertur zu dimensionieren. Da opake Wandkonstruktionen deutlich geringere Wärmedurchgangskoeffizienten aufweisen, ist die sinnvolle Dimensionierung von Glasflächen unter Berücksichtigung der Nutzungsprofile von maßgebender Bedeutung für die Gesamteffizienz des Gebäudes. Ein Gesamtkonzept mit passivem und aktivem externen Verschattungssystem erlaubt flexible Nutzung von Licht und Wärme und ist essenzieller Bestandteil des Konzepts. In Kombination mit Sensorik und Gebäudetechnik können Fassaden aktiv gesteuert werden (Z.B. durch adaptive Verschattung, natürliche Nachtauskühlung).

Leichtbaukonstruktionen weisen hinsichtlich der Lebenszyklusanalyse den Vorteil auf, dass die Fassadenelemente in der Regel modular aufgebaut sind und eine Demontage und Wiederverwertung der Materialien möglich ist – ein Vorteil für zirkuläres Bauen. Die in der Herstellung sehr energieintensiven Materialien Aluminium und Stahl sind fast vollständig recyclebar und haben eine sehr lange Lebensdauer. Holz-Pfosten-Riegel-Fassaden punkten besonders in Bezug auf Nachhaltigkeit, da Holz CO₂ speichert und eine gute Ökobilanz aufweist.

Grundlagen der Leichtbauweisen

Prinzipien und Technologien von Vorhangfassaden

Vorhangfassaden als Pfosten-Riegel Fassaden stellen eine Konstruktionsmöglichkeit von Fassaden dar, mit der sich filigrane i.d.R. Glasfassaden herstellen lassen. Der Lastabtrag erfolgt dabei über die senkrechten Pfosten, die daran angeschlossenen horizontalen Riegel nehmen die Glaslast auf. Der Baukörperanschluss kann über verschiedene Anschlussmöglichkeiten hergestellt werden, zumeist über Stahlkonsolen und Tragelemente in den Deckenbereichen. Die Füllungselemente werden über Glasträger und auf Pfosten und Riegel geschraubte Pressleisten gehalten, die mit Abdeckleisten verkleidet werden. Auch geneigte Pfosten-Riegel-Fassaden / Überkopfverglasungen können so realisiert werden. Eine Alternative stellt das sog. Structural-Sealant-Glazing (SSG) dar. Die Glasscheiben werden dabei ausschließlich durch Verklebungen gehalten - Pressleisten können entfallen, wobei zusätzliche Halteprofile erforderlich sind, die Dichtungsprofile sind dabei aus Silikon (s.a. Abschnitt Randverbund)

Das schlanke Design wird durch Ansichtsbreiten der Pfosten und Riegel zwischen 30 – 60 mm realisiert. Neben Verglasungen und Paneelen können auch Fenster- oder Türelemente eingespannt werden.

Aufbau und allgemeine Konstruktionstechniken von Vorhangfassaden

Vorhangfassaden zählen zu den nichttragenden Fassadensystemen. Sie übernehmen keine Lasten aus Geschossdecken oder anderen Bauteilen des Gebäudes, sondern sind ausschließlich an der Tragstruktur befestigt. Ihre Hauptaufgaben liegen in der Witterungsabschirmung, der Wärmedämmung sowie in gestalterischen Aspekten. Die statische Lastabtragung ist auf das Eigengewicht der Fassade sowie die auf sie einwirkenden Windlasten beschränkt. Diese Lasten werden über die Fassadenprofile in die Primärkonstruktion des Gebäudes – in der Regel Stahl- oder Stahlbetonskelette – eingeleitet.

Vorhangfassaden sind in den meisten Fällen modular aufgebaut. Das bedeutet, sie bestehen aus einem klar gegliederten Raster von Pfosten (vertikalen Profilen) und Riegeln (horizontalen Profilen). Diese Grundstruktur ermöglicht eine flexible Planung, einfache Anpassbarkeit an verschiedene Gebäudetypen und eine hohe Wirtschaftlichkeit in der Fertigung sowie Montage.

Die Pfosten übernehmen als tragende Elemente die wesentlichen Kräfte. Dazu zählen vor allem das Eigengewicht der Fassadenelemente sowie die Windlasten in Form von Druck- und Sogkräften. Typische Materialien für Pfosten sind Aluminium aufgrund seines geringen Gewichts und seiner Korrosionsbeständigkeit, Stahl wegen seiner hohen Tragfähigkeit oder Holz, wenn gestalterische und nachhaltige Aspekte im Vordergrund stehen.

Riegel verbinden die Pfosten miteinander und dienen gleichzeitig als Auflager für die Fassadenfüllungen. Sie gewährleisten die horizontale Aussteifung und schaffen die notwendige Unterkonstruktion für den Einbau von Verglasungen oder Paneelen.

Die Felder zwischen Pfosten und Riegeln werden mit unterschiedlichen Füllungen ausgestattet. Am weitesten verbreitet sind Verglasungen. Je nach Anforderung werden Isoliergläser hinsichtlich des Wärmeschutzes, Energiedurchlassgrades oder Lichtdurchlässigkeit ausgewählt. Sicherheitsglas für erhöhte Schutzfunktionen kann auch eingesetzt werden. Neben Glas lassen sich auch Paneele aus Metall, Naturstein, Holz oder Photovoltaikelementen in Kombination mit Wärmedämmelementen einsetzen, wodurch die Fassade nicht nur Funktionen des Witterungsschutzes, sondern auch der Energiegewinnung übernehmen kann. Auch transluzente Elemente sind marktverfügbar.

Um eine natürliche Belüftung oder den Rauch- und Wärmeabzug zu ermöglichen, können Fensterflügel, Dreh-Kipp-Elemente oder Lüftungsklappen in die Fassade integriert werden.

Befestigungen und Konsolen leiten die Lasten der Pfosten zuverlässig in die Geschossdecken oder die tragende Gebäudestruktur ab. Die fachgerechte Ausbildung dieser Anschlüsse ist entscheidend für die Standsicherheit der gesamten Fassadenkonstruktion.

Um die bauphysikalischen Anforderungen zu erfüllen, kommen mehrstufige Dichtungssysteme zum Einsatz. Schlitz- oder Kammersysteme verhindern das Eindringen von Schlagregen und minimieren die Luftinfiltration. Ergänzend wird Wärmedämmung eingebaut, sodass die Fassade den geltenden Energieanforderungen gerecht wird.

Im Wesentlichen haben sich zwei Grundtypen etabliert. Zum einen die klassische Pfosten-Riegel-Konstruktion. Bei dieser Bauweise werden zunächst die vertikalen Pfosten montiert. Anschließend folgen die horizontalen Riegel, bevor die Verglasung von außen eingesetzt wird. Dieses System gilt als äußerst flexibel und eignet sich daher für große Gebäudehöhen, komplexe Grundrisse sowie architektonisch anspruchsvolle Fassadengestaltungen.

Beim Konstruktionsprinzip Structural Glazing (SG) wird die Verglasung mit Silikon direkt an die Profile geklebt. Auf sichtbare Halterungen kann dadurch verzichtet werden, sodass eine nahezu durchgehende Glasfläche entsteht. Der besondere Vorteil liegt in der eleganten, homogenen Fassadenoptik, die sich für repräsentative Gebäude eignet.

Unabhängig von der gewählten Bauweise gelten für alle Vorhangfassaden bestimmte konstruktive Grundsätze. Die Fassade wird in mehrere Ebenen gegliedert – eine Regen-, eine Lüftungs- und eine Dichtungsebene. Dies verbessert die Schlagregendichtheit und die Luftdichtigkeit erheblich, das Mehrkammerprinzip.

Zur Vermeidung von Wärmebrücken sind die Profile mit Wärmedämmung und Isolierstegen ausgestattet. Dadurch werden Wärmeverluste reduziert und die Energieeffizienz des Gebäudes gesteigert. Da Gebäude ständigen Bewegungen durch Temperaturdehnungen, Setzungen oder Windlasten unterliegen, müssen die Anschlussdetails der Vorhangfassade diese Bewegungen aufnehmen können, ohne die Dichtigkeit oder Standsicherheit zu beeinträchtigen.

Die Befestigungen und Verankerungen müssen so ausgelegt sein, dass sie den Anforderungen an Absturzsicherheit und Brandschutz genügen. Hierzu werden beispielsweise Brandriegel in die Konstruktion integriert. Je nach Nutzung können zudem Maßnahmen zum Einbruchschutz erforderlich sein.



Abbildung 2 - Pfosten-Riegel-Fassade beim Passivhaus-Schwimmbad „Bambados“ in Bamberg. © Passivhaus Institut

Bedeutung für Energieeffizienz und CO₂-Reduktion

Weltweit machen Gebäude rund 36 % des Energieverbrauchs und 39 % der CO₂-Emissionen aus. Eine energieeffiziente Gebäudegestaltung ist deshalb essenziell für das Erreichen der Klimaziele. Durch optimierte Materialien wie Isolierverglasung, Low-E-Beschichtungen und thermisch getrennte Rahmen kann der Energieverbrauch von Gebäuden signifikant gesenkt werden, Passivhäuser verbrauchen nur ein Bruchteil der Energiemengen von konventionellen Gebäuden. Auch im Nichtwohnbereich – wo Vorhangfassaden meistens eingesetzt werden, konnten Gebäude Heizwärmebedarfswerte unterhalb von 15 kWh/m²a realisiert werden. Eine Vielzahl von Projekten aus dem Bereich Bürogebäude, Schulen aber auch Schwimmbädern kann hier eingesehen werden: <https://passivehouse-database.org/>

Transparente Fassaden können neben der Reduktion des Heizwärmebedarfs auch den Bedarf an Kunstlicht reduzieren. Eine sinnvolle Dimensionierung transparenter Flächen durch Bedarfssimulation ist dabei unerlässlich, um Kompromisse hinsichtlich Strahlungseintrag, Transmission und gestalterischer Wirkung zu erzielen.

Ökobilanz, Materialwahl & Recycling sind ein weiterer Aspekt, der in der Lebenszyklusanalyse, aber auch im Energie- und Umweltmanagement Beachtung finden sollten. Zudem ermöglicht eine lokale Lieferkette eine deutliche Reduktion der Transportemissionen. Vorgefertigte Module erhöhen Präzision und sparen durch optimierte Logistik Material.

Der globale Markt für Curtain Wall Systeme wurde 2024 auf ca. 25 Mrd. USD geschätzt und soll bis 2033 auf ca. 45 Mrd. USD anwachsen – mit einer CAGR von 7,5 %. Treiber sind insbesondere energieeffiziente Gebäudeanforderungen und regulatorische Vorgaben

1

Grundprinzipien und allgemeine Konstruktionstechniken (Element- und Modulbauweise)

Bei der Elementbauweise erfolgt die werkseitige Vorfertigung großer Fassadenelemente, die Pfosten, Riegel, Verglasungen und gegebenenfalls auch Verschattungselemente beinhalten. Diese werden transportiert und anschließend montagefertig an die Tragstruktur gehängt. Die Grundelemente bestehen aus einer Rahmenkonstruktion aus Aluminium oder Stahl, in die Verglasung oder Paneele bereits integriert sind. Dichtungen, Dämmung und gegebenenfalls Sonnenschutzelemente werden ebenfalls vormontiert, sodass lediglich die Befestigungselemente für ein schnelles Einhängen auf der Baustelle erforderlich sind. Die Merkmale dieser Bauweise liegen in der hohen Maßgenauigkeit, der kurzen Bauzeit und dem geringen Aufwand auf der Baustelle. Daher ist sie insbesondere für Hochhäuser und große Bauprojekte geeignet.

Die Modulbauweise geht noch einen Schritt weiter, da hier ganze dreidimensionale Raumzellen vorgefertigt werden, die Wände, Decken, Boden, Haustechnik und Fassade bereits vollständig enthalten. Grundelemente sind dabei ein Tragmodul aus

¹ <https://www.verifiedmarketreports.com/product/curtain-wall-system-market/>

Stahl- oder Holzrahmen, das mit Fassadenelementen wie Glas, Paneelen oder gegebenenfalls Vorhangfassaden ergänzt wird. Auch die Integration von Haustechnik, Fenstern, Türen und teilweise des Innenausbaus ist bereits Bestandteil der Module. Dadurch wird ein noch höherer Vorfertigungsgrad als bei der Elementfassade erreicht, was die modulare Erweiterbarkeit erleichtert. Diese Bauweise findet häufig im Wohnungsbau, in Hotels, Schulen und Krankenhäusern Anwendung.

In Deutschland unterliegen beide Bauweisen klaren rechtlichen Rahmenbedingungen. Grundlage ist das Bauordnungsrecht, das sich aus der Musterbauordnung (MBO) ergibt und von den Bundesländern in die jeweiligen Landesbauordnungen (LBO) umgesetzt wird. Für Fassaden sind dabei vor allem die Anforderungen an die Standsicherheit, wie Lastabtragung und Windlasten, sowie der Brandschutz, etwa durch Brandriegel, Baustoffklassen und Rauchabschnitte, von Bedeutung. Ebenso sind Vorgaben zum Wärmeschutz und zur Energieeffizienz nach dem Gebäudeenergiegesetz (GEG), zum Schallschutz sowie zur Lüftung und Dichtheit relevant.

Darüber hinaus spielen technische Baubestimmungen eine zentrale Rolle. Hierzu zählen DIN-Normen und Eurocodes sowie die notwendigen Zulassungen und Verwendbarkeitsnachweise. Dazu gehören die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ), das allgemeine bauaufsichtliche Prüfzeugnis (abP) sowie die Europäische Technische Bewertung (ETA).

Vorteile hinsichtlich Bauzeit, Qualitätssicherung und Ressourcenverbrauch

Die Element- und Modulbauweise im Fassadenleichtbau bietet im Vergleich zu konventionellen Bauweisen deutliche Vorteile in Bezug auf Bauzeit, Qualitätssicherung und Ressourcenverbrauch.

Durch den hohen Vorfertigungsgrad in industriellen Produktionsstätten können Fassadenelemente oder ganze Raumzellen parallel zur Rohbauerstellung gefertigt werden. Auf der Baustelle reduziert sich die Montagezeit erheblich, da die Elemente nur noch eingehängt bzw. Module versetzt werden müssen. Dadurch verkürzt sich die Gesamtbauzeit, Bauabläufe werden planbarer und witterungsbedingte Verzögerungen minimiert. Besonders bei Großprojekten oder Hochhäusern ist dieser Zeitgewinn ein entscheidender Vorteil.

Auch die Qualitätssicherung profitiert von der werkseitigen Fertigung. Unter kontrollierten Bedingungen können Maßhaltigkeit, Fugendichtigkeit, Wärmedämmung und Funktionsprüfungen (z. B. Schlagregen- und Luftdichtheit) wesentlich zuverlässiger gewährleistet werden als unter Baustellenbedingungen. Die standardisierten Fertigungsprozesse reduzieren das Risiko von Ausführungsfehlern, und der Einbau erfolgt oft nach dem Prinzip „Plug-and-Play“.

Hinsichtlich des Ressourcenverbrauchs ermöglicht die serielle Fertigung eine effizientere Materialnutzung. Verschnitt und Abfall werden durch präzise Planung und CNC-gestützte Fertigungsprozesse stark reduziert. Durch die modulare Bauweise

lassen sich zudem Bauteile leichter demontieren, reparieren oder wiederverwenden, was den Prinzipien der Kreislaufwirtschaft entspricht. Transport- und Montageaufwand sind geringer, da weniger Einzelkomponenten auf die Baustelle geliefert werden müssen. Gleichzeitig trägt die bessere Wärmedämm- und Dichtungsqualität zur langfristigen Reduktion des Energieverbrauchs im Betrieb bei.

Fassaden in Modulbauweise bieten ein hohes Maß an Flexibilität, wenn es um Umbauten oder Erweiterungen geht. Durch ihre vorgefertigten, standardisierten Elemente können einzelne Module schnell ausgetauscht, ergänzt oder neu angeordnet werden, ohne dass die gesamte Gebäudehülle aufwendig angepasst werden muss.

Ein großer Vorteil liegt in der Planungs- und Bauzeit: Da die Fassadenelemente industriell vorproduziert werden, lassen sie sich präzise an vorhandene Strukturen anschließen und bei Bedarf unkompliziert erweitern. Dies ermöglicht eine nachhaltige Nutzung von Gebäuden, da sie sich an veränderte Anforderungen – etwa neue Raumkonzepte, zusätzliche Geschosse oder veränderte Nutzungen – flexibel anpassen lassen.

Auch optisch eröffnet die modulare Bauweise Spielräume. Unterschiedliche Materialien, Farben oder Oberflächen können leicht integriert werden, sodass Erweiterungen oder Modernisierungen nicht nur funktional, sondern auch gestalterisch überzeugend wirken.

Vergleich gegenüber anderen Bauweisen



Abbildung 3 Raiffeisen-Tower-Wien © Passivhaus Institut; Laszlo Lepp

Neben Pfosten-Riegel-Fassaden und Elementfassaden werden bei Nichtwohngebäuden auch andere Fassadentechnologien, die in Leichtbauweise umgesetzt werden können, eingesetzt. Eine weitere Typologie ist die Doppelfassade (Double-Skin Facade). Hier werden zwei Glasfassaden mit einer Lüftungskammer konstruiert. Die Verglasungselemente sind so platziert, dass die Luft im Zwischenraum strömt. Die Belüftung des Zwischenraums kann natürlich, ventilatorgestützt oder mechanisch erfolgen. Neben der Art der Belüftung im Zwischenraum können Herkunft und Ziel der Luft variieren und hängen hauptsächlich von den klimatischen Bedingungen, der Nutzung, dem Standort, den Nutzungszeiten des Gebäudes und der HLK-Strategie ab.

Die Glashäute können aus Einfach- oder Doppelverglasung mit einem Abstand von 20 cm bis zu 2 Metern bestehen. Zum Schutz und zur Wärmeabfuhr während der Kühlperiode werden häufig Sonnenschutzvorrichtungen im Zwischenraum angebracht. Der Vorteil liegt in der Flexibilität auf saisonale Wärmeanforderungen – tagsüber ist ein kontrollierter Wärmegewinn, nachts Auskühlung durch Belüftung

möglich. Die komplexe Entwurfs- und Technikstruktur erfordert ein funktionierendes Zusammenspiel von Nutzerverhalten bzw. Gebäudeleittechnik. Doppelfassaden sind deutlich kostenintensiver im Initialinvestment, ermöglichen jedoch auch Einsparungen im Betrieb durch verbesserte Transmission und Lüftungskonzepte, sowie durch Wärmenutzung im Zwischenraum. Hervorzuheben ist zudem, dass die Verschattung durch die äußere Glashaut nicht windanfällig ist und auch bei hohen Gebäuden umgesetzt werden kann.

Einen ähnlichen Ansatz nutzen sogenannte Trombe-Wände (Passive Solar Wall). Diese setzen stark auf die Absorption von Sonnenstrahlung die in thermische Masse gespeichert und zeitversetzt abgegeben werden kann. Am Tag heizt sich die Wand durch die absorbierte Sonnenstrahlung und den durch die Glasscheibe bedingten Treibhauseffekt auf. Durch Lüftungsklappen kann die so erwärmte Luft bei Bedarf in die innenliegenden Räume geleitet werden. Nachts gibt die Wand einen Teil der gespeicherten Wärme zeitversetzt („Phasenverschiebung“) wieder ab. Solche Systeme funktionieren jedoch nur bei geeigneter Ausrichtung und tendenziell gering verglasten Gebäuden. Der Wärmeschutz ist deutlich geringer als bei konventionell gedämmten opaken Konstruktionen, eine Tageslichtnutzung muss durch Fenster und Fassaden übernommen werden. Der schlechte Wärmeschutz der einfach verglasten Trombewand kann durch die Verwendung von Isolierverglasung verbessert werden. Unter den in Nord- und Mitteleuropa üblichen klimatischen Bedingungen übersteigen zudem die Wärmeverluste durch die ungedämmte Wand die solaren Gewinne. Um einer sommerlichen Überhitzung vorzubeugen, sollte ein Sonnenschutz vorgesehen werden.

Vorgehängte hinterlüftete Fassaden (VHF) können ebenfalls in Leichtbauweise gestaltet werden. Diese bieten sich bei Skelettbauweisen als Komplementär zu transparenten Fassaden - Bauteilen an. Diese können in Massivbauweise, also mit einem Wandbildner, Dämmlage, Hinterlüftung und Fassadenbekleidung konzipiert werden, jedoch auch in Leichtbauweise als Ständerbauwerk.

Energieeffizienz

Vorhangfassaden spielen eine zentrale Rolle in der Energieeffizienz moderner Gebäude, da sie die Schnittstelle zwischen Innenraum und Umwelt bilden. Bereits bei der Materialwahl und Herstellung ergeben sich erhebliche Unterschiede in der ökologischen Bewertung: Aluminium ist aufgrund seines hohen Primärenergiebedarfs und der CO₂-intensiven Produktion zwar kritisch, überzeugt jedoch durch seine hervorragende Recyclingfähigkeit. Stahl weist eine ähnlich energieintensive Herstellung auf, bietet dafür aber eine hohe Langlebigkeit. Holz wiederum punktet mit seiner Eigenschaft als nachwachsender Rohstoff und CO₂-Speicher und erzielt eine sehr gute Ökobilanz, ist jedoch in seiner Anwendung bei Hochhäusern aufgrund statischer und brandschutztechnischer Einschränkungen teilweise begrenzt. Bei der Verglasung beeinflusst die Wahl zwischen Einfach-, Doppel- oder Dreifachverglasung maßgeblich den Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert). Ergänzend tragen spezielle Beschichtungen, etwa Low-E- oder Sonnenschutzschichten, zur Verbesserung der Wärmedämmung und zur Steuerung des solaren Energieeintrags bei. Auch die

Qualität von Dicht- und Dämmstoffen ist entscheidend, da sie Luftdichtheit, Wärmebrückenvermeidung und die Lebensdauer der Konstruktion beeinflussen.

Die konstruktiven Eigenschaften einer Vorhangsfassade bestimmen maßgeblich ihre energetische Leistungsfähigkeit. Ein niedriger U-Wert sorgt für geringe Wärmeverluste, während der g-Wert der Verglasung den solaren Wärmeeintrag reguliert – ein Schlüsselfaktor für den sommerlichen Wärmeschutz. Durch thermisch getrennte Profile lassen sich Wärmebrücken reduzieren, und eine hohe Ausführungsqualität bei Fugen und Dichtungen minimiert unerwünschte Luftleckagen.

Im Betrieb zeigt sich die Bedeutung der Fassade besonders deutlich: Eine gezielte Tageslichtnutzung reduziert den Bedarf an künstlicher Beleuchtung, während Verschattungssysteme den Kühlenergiebedarf erheblich senken können. Außenliegende oder automatisiert gesteuerte Verschattungselemente sind dabei besonders effektiv. Auch natürliche Belüftung und Nachtauskühlung tragen dazu bei, die Abhängigkeit von energieintensiver Klimatisierung zu verringern. Zunehmend an Bedeutung gewinnt zudem die Integration erneuerbarer Energien, beispielsweise durch gebäudeintegrierte Photovoltaik in Glasflächen.

Die Betrachtung über den gesamten Lebenszyklus zeigt, dass Langlebigkeit und Recyclingfähigkeit entscheidend für die Energiebilanz einer Vorhangsfassade sind. Aluminium lässt sich nahezu vollständig recyceln, Holz kann biologisch verwertet werden. Ein geringer Wartungsaufwand sowie die Austauschbarkeit einzelner Fassadenelemente verlängern die Nutzungsdauer und senken die Umweltbelastung. Gleichzeitig ist die sogenannte graue Energie – also der Energieaufwand für Herstellung, Transport und Montage – ein nicht zu unterschätzender Faktor.

Schließlich hängt die Effizienz einer Vorhangsfassade immer auch vom Gebäudekontext ab. Standort, Orientierung und Verschattung durch Nachbargebäude beeinflussen den solaren Eintrag, während die Gebäudenutzung unterschiedliche Anforderungen an Tageslicht, Kühlung und Heizung stellt. In Verbindung mit moderner Gebäudetechnik, etwa HLK-Systemen oder intelligenten Steuerungen im Smart-Building-Kontext, lässt sich das energetische Potenzial von Vorhangfassaden optimal ausschöpfen.

Reduktion des Energiebedarfs durch Passivhaus-Komponenten

Passivhäuser weisen bei sehr niedrigen Energiekosten eine optimale Behaglichkeit auf und liegen zudem bezüglich ihrer Lebenszykluskosten im ökonomisch rentablen Bereich. Um Behaglichkeit und die geringen Lebenszykluskosten zu erreichen, werden an die eingesetzten Komponenten strenge thermische Anforderungen gestellt, die sich aus Hygiene-, Behaglichkeits- und Effizienzkriterien sowie aus Wirtschaftlichkeitsstudien ableiten. Um hier Qualitäten zu definieren, die Verfügbarkeit hocheffizienter Produkte zu begünstigen, ihre Verbreitung zu fördern und um Planern und Bauherren zuverlässige Kennwerte zur Eingabe in Energiebilanzierungstools bereitzustellen, hat das Passivhaus Institut die Komponentenzertifizierung etabliert. Aus diesen Vorgaben lassen konkrete Ableitungen hinsichtlich der Wärmedurchgangskoeffizienten ableiten, in Abhängigkeit von der jeweiligen

Klimazone. Diese Werte können auch als Empfehlungswerte verstanden werden, um Anforderungen an Passivhäuser / energieeffiziente Gebäude zu erreichen. Die jeweiligen Element- U-Wert Anforderungen setzen den Fokus auf die nicht transparenten Bauteile, so wird mit einer Referenzverglasung gerechnet, sodass keine Kompensation über die Verglasung erfolgen kann und ausreichender thermischer Widerstand für den Pfosten, Riegel und Glasrandverbund sichergestellt werden kann. Die nachstehende Tabelle zeigt die Anforderungswerte.

Klimazone	Hygiene-Kriterium $f_{Rsi} = 0,25$ $m^2K/W \geq$	Element-U-Wert [W/(m ² K)]	U-Wert eingebaut [W/(m ² K)]	Referenz-Verglasung [W/(m ² K)]
1 Arktisch	0,80	0,40	0,45	0,35
2 Kalt	0,75	0,60	0,65	0,52
3 Kühl-gemäßigt	0,70	0,80	0,85	0,70
4 Warm-gemäßigt	0,65	1,00	1,05	0,90
5 Warm	0,55	1,20	1,25	1,10
6 Heiß	Keine	1,20	1,25	1,10
7 Sehr heiß	Keine	1,00	1,05	0,90

Tabelle 1 - Anforderungswerte Passivhauszertifizierung Pfosten-Riegel-Fassaden

Bei der energetischen Qualität der Gebäudehülle gelten derzeit folgende gesetzliche Anforderungen: Für Außenwände und Dächer ist ein Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) von maximal 0,24 W/(m²·K) zulässig. Fenster und Fenstertüren dürfen einen Uw-Wert von höchstens 1,3 W/(m²·K) aufweisen, während für Dachflächenfenster ein maximaler Uw-Wert von 1,4 W/(m²·K) gilt. Bei Vorhangfassaden in Pfosten-Riegel-Bauweise liegt der maximal erlaubte Ucw-Wert bei 1,5 W/(m²·K), wobei bei Sonderverglasungen Werte bis zu 2,3 W/(m²·K) zulässig sind.

Mit dem Einsatz hochwertiger Passivhaus-Komponenten lassen sich technisch deutlich bessere U-Werte realisieren, die die gesetzlichen Mindestanforderungen zum Teil erheblich unterschreiten und somit einen deutlich höheren energetischen Standard ermöglichen.

Randverbund und Abstandhalter

Ein besonderes Augenmerk gilt bei verglasten Vorhangfassaden dem Abstandhalter (Spacer) und dem Randverbund, insbesondere der Sekundärdichtung. Bei größeren Glasflächen und dunkler Oberfläche der Aluminiumoberfläche sind Mindeststärken von 5 mm zu berücksichtigen (ab 2m Seitenlänge, s. DIN 18545), sodass erhöhte Wärmebrückenverlustkoeffizienten des Glasrandverbunds im Vergleich zu anderen

Referenzrahmen berechnet mit Polysulfid					
Klima	Arktisch	Kalt ✓	Kühl-gemäßig ✓	Warm-gemäßig ✓	Warm ✓
Glas	4-fach	3-fach	3-fach	3-fach	2-fach
Glasaufbau	4/12/3/12/3/12/4	6/18/2/18/6	6/16/6/16/6	6/16/6/16/6	6/16/6
Glas-U-Wert	0,35 W/(m² K)	0,52 W/(m² K)	0,70 W/(m² K)	0,70 W/(m² K)	1,20 W/(m² K)
Holz-Alu integral					
U_i [W/(m² K)]	0,48	0,62	0,73	0,87	1,03
ψ_g [W/(m K)]	0,033	0,036	0,035	0,034	0,040
f_{Rsi} [-]	0,79	0,75 ✓	0,71 ✓	0,69 ✓	0,59 ✓
Holz-Alu					
U_i [W/(m² K)]	0,54	0,57	0,75	0,97	1,19
ψ_g [W/(m K)]	0,036	0,037	0,037	0,037	0,043
f_{Rsi} [-]	0,75	0,72	0,68	0,65 ✓	0,53
Holz					
U_i [W/(m² K)]	0,51	0,53	0,78	0,86	0,99
ψ_g [W/(m K)]	0,031	0,035	0,035	0,034	0,039
f_{Rsi} [-]	0,77	0,76 ✓	0,72 ✓	0,72 ✓	0,62 ✓
Kunststoff					
U_i [W/(m² K)]	0,70	0,75	0,82	1,02	1,16
ψ_g [W/(m K)]	0,036	0,038	0,039	0,040	0,045
f_{Rsi} [-]	0,77	0,75 ✓	0,72 ✓	0,72 ✓	0,60 ✓
Aluminium					
U_i [W/(m² K)]	0,60	0,61	0,71	0,73	1,17
ψ_g [W/(m K)]	0,038	0,041	0,043	0,043	0,049
f_{Rsi} [-]	0,78	0,78 ✓	0,75 ✓	0,75 ✓	0,62 ✓
Pfosten-Riegel Holz					
U_i [W/(m² K)]	0,60	0,65	0,66	0,71	1,11
ψ_g [W/(m K)]	0,051	0,050	0,052	0,051	0,063
f_{Rsi} [-]	0,73	0,72	0,69	0,69 ✓	0,55 ✓
Pfosten-Riegel Aluminium					
U_i [W/(m² K)]	0,67	0,73	0,73	0,79	1,33
ψ_g [W/(m K)]	0,059	0,059	0,063	0,062	0,086
f_{Rsi} [-]	0,81 ✓	0,80 ✓	0,78 ✓	0,78 ✓	0,66 ✓

transparenten Bauteilen zu erwarten sind. Dieser Effekt verstärkt sich durch etwaige Kopplungseffekte der angrenzenden Verglasungseinheit (Falzbreite beträgt zumeist nur 20 – 40 mm, je nach Glaseinstand), erhöhten Glasdicken im Vergleich zu Fenstern, und Kopplungseffekten mit Glasträger, Schraubkanal und Verschraubung der Anpressleiste. Eine effektive Überdämmung des Glasrandes ist zumeist nicht möglich, die Anpressleiste und Riegel- und Pfostenkonstruktion kann in der Regel nur durch EPDM-Dichtungen erfolgen, eine Überdämmung wie bei Fensterkonstruktionen ist nicht möglich. Eine Verdoppelung des linearen

Abbildung 4 - Glasrandwärmeverlustkoeffizienten in Abhängigkeit der Konstruktion und Verglasung. © Passivhaus Institut; Adrian Muskatowitz

Wärmeverlustkoeffizienten (ψ_g) gegenüber dem gleichen Abstandhalter bei einer Fensterkonstruktion ist das Resultat und entsprechend in der Energiebilanzierung zu berücksichtigen. Aus diesem Grund erstellt das Passivhaus Institut Datenblätter für verschiedene Konstruktionen um den Einfluss ermitteln zu können. (<https://database.passivehouse.com/de/components/list/glazingedgebond?>). Auch die Materialwahl der Sekundärdichtung (Polysulfid, Silikon, Butyl, etc.) spielt eine große Rolle und wird in den Simulationen gem. der DIN 10077-2 berücksichtigt. Energetisch hochwertige Abstandhalter sollten verwendet werden, mit Kantenwiderständen > 3 (mK) / W im kühl-gemäßigten Klima. Werden die Kennwerte nicht durch Simulation ermittelt, können die Tabellen der zertifizierten Produkte verwendet werden.

Glasträg / Glasaufleger und Verschraubung von Anpressleisten

Glasträger / Glasaufleger sind als statisch hochbeanspruchte Bauteile unverzichtbar, die jedoch auch eine Wärmebrücke darstellen. Zumeist sind zwei Glasträger je Feld verwendet, es gibt jedoch eine Vielzahl an Sonderformen und Arten, wie zum Beispiel Kreuzglasträger. Zumeist sind diese Elemente aus Aluminium, also einem hochleitendem Material, welches zudem in Richtung des Wärmestroms verbaut wird und einen Dämmeinsatz ersetzt, bzw. durchstößt. Wärmebrücken in der Größenordnung zwischen 0,02 und 0,04 W/K bzw. bis zu 0,1 W/K bei Kreuzglasauflegern sind bei Aluminium-Glasträgern keine Seltenheit und sollten berücksichtigt werden (s. dazu auch Abschnitt „Berechnung der thermischen Kennwerte“).

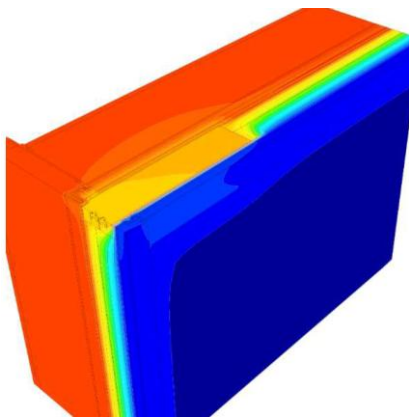


Abbildung 5 - Temperaturverlauf im Bereich eines Auflagers, Schnittebene durch Riegel und Pfosten, 3D FEM Simulation. © Passivhaus Institut, Adrian Muskatewitz

Es gibt jedoch auf Glasträger aus Edelstahl oder sogar glasfaserverstärkten Hartkunststoffen (Polyamid, Nylon, etc.), deren Wärmebrückenwirkung deutlich geringer ist. Die Erfassung der Werte kann jedoch nur über Messung (durch akkreditierte Institutionen) oder dreidimensionale FEM Simulation durchgeführt werden. Zertifizierte Passivhaus-Elemente weisen diese Kennwerte aus, sodass diese in der Energiebilanzierung berücksichtigt werden können.

Auch der Schraubeneinfluss (Verschraubung der Anpressleiste) resultiert in nicht zu vernachlässigbaren Zuschlägen auf den Wärmedurchgangskoeffizienten der Rahmenelemente. Die Werte bewegen sich im Bereich zwischen 0,1 – 0,4 W/(m²K), je nach Durchmesser und Abstand der Schrauben.

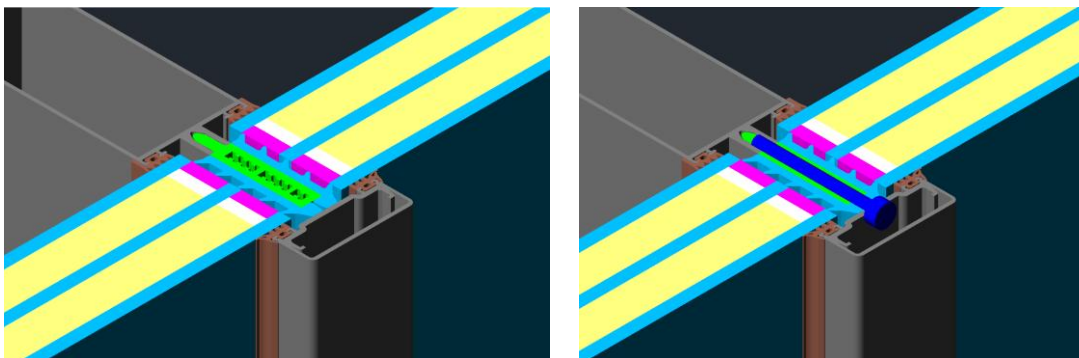


Abbildung 6 - Verschraubung der Anpressleiste – Simulationsmodell. © Passivhaus Institut; Adrian Muskatewitz

Die Werte können in Analogie zu den Glasträgern durch Simulation ermittelt werden, s. dazu auch Abschnitt „Berechnung der thermischen Kennwerte“, berücksichtigen jedoch auch den Abstand. Einige Fassadenkonstruktionen verwenden spezielle Dämmstoffe mit Schraubführung und Schraubkanal, auch mit festeren Dämmstoffen.

Luftdichtheit

Neben der Transmission spielt auch die Infiltration und Luftdichtheit der Elemente einen entscheidenden Einfluss auf die Energieeffizienz. Grundsätzlich sind Gebäude luftdicht zu errichten. Auf Gebäude Ebene werden dazu Differenzdruckverfahren nach DIN EN ISO 9972 / DIN 13829 („Blower-Door-Tests“) durchgeführt. Mit Über- und Unterdruck (meist 50 Pa) wird die Luftwechselrate bestimmt. Leckagen an der Fassade können durch ergänzend durch Thermografie oder Anemometer/ Rauchgas sichtbar gemacht werden. Das Gebäudeneergiegesetz schreibt keine bestimmten Grenzwerte hinsichtlich der bauteilbezogenen Dichtheit fest, jedoch maximale Luftwechselraten (n_{50} Werte in h^{-1}) sind zu begrenzen. Bei Gebäuden mit RLT-Anlagen beträgt der Grenzwert für den n_{50} -Wert höchstens 1,5 1/h (50 Pascal Druckdifferenz). Für KfW-Effizienzhäuser oder Passivhäuser gelten höhere Anforderungswerte, die aber insbesondere bei größeren Gebäuden durch sorgfältige Planung und Umsetzung gut erreichbar sind und vielfach unterschritten werden.

Typische Schwachstellen der Luftdichtheit entstehen beim Anschluss an die Bauwerksfuge, Abdichtungsbänder, Folien, Dichtstoffe müssen durchgängig und ohne Perforation eingebaut werden. Auch die Einbindung an Stahlschuhe, Tragwinkel etc. bedarf einer Detailplanung, insbesondere an Knotenpunkten und verdeckt liegenden Dichtungen. An Elementstößen und Dichtungsebenen muss die Mehrfachdichtung sauber umlaufend und ununterbrochen eingebaut sein. Gleiches gilt für die Dichtungsgummis an Verglasungen und Glasfalzen. Durchdringungen (z. B. Befestigungen, Sonnenschutz, Entwässerung) dürfen nicht die innere luftdichte Ebene durchstoßen.

Empfehlenswert ist eine frühzeitige Planung des Luftdichtheitskonzepts und die Definition der Ebenen unter Berücksichtigung der verschiedenen Gewerkegrenzen. Insbesondere die Übergänge zum Baukörper bedürfen einer Schnittstellenkoordination zwischen Metallbauer, Fassadenplaner und Rohbauer und sollte über die Baubegleitung sichergestellt werden.

Bauteilbezogene Tests werden gem. DIN EN 12153 „Luftdurchlässigkeit von Vorhangfassaden“ (Prüfung) durchgeführt. Diese beinhalten auch die Ermittlung der Luftdurchlässigkeit bei Windsog (negativem Druck). Die Klassifizierung (DIN EN 12152) erfolgt in verschiedene Klassen von A1 bis A4 und die Sonderklasse AE.

Verschattung und Reduktion sensibler Kühlbedarf – Balance zwischen Transparenz und Effizienz

Vorhangfassaden prägen das Erscheinungsbild moderner Architektur. Sie verbinden Gestaltungsspielraum mit hohen Anforderungen an Energieeffizienz und Nutzerkomfort. Ein zentrales Thema ist dabei die Verschattung: Ohne wirksamen Sonnenschutz können sich Gebäude im Sommer stark aufheizen, was zu erhöhter Kühllast und einem erhöhten sensiblen Kühlbedarf, unangenehmem Raumklima und höheren Betriebskosten führt. Bei der Planung spielt das Verhältnis von transparenten zu opaken Flächen eine entscheidende Rolle: Transparente Flächen ermöglichen Tageslichteinfall und Sichtbezug nach außen. Sie fördern Wohlbefinden und reduzieren den Bedarf an künstlicher Beleuchtung. Allerdings sind sie thermisch deutlich anfälliger gegenüber solaren Gewinnen, auch mit Sonnenschutzverglasung. Opake Flächen verbessern den Wärmeschutz (ca. fünfmal geringere Wärmedurchgangskoeffizienten möglich, zudem Sekundäreffekte wie thermische Speichermasse und Phasenverschiebung realisierbar), reduzieren solare Einträge und bieten Platz für Dämmung sowie integrierte Technik. Sie können jedoch die natürliche Belichtung einschränken.

Die Abwägung erfolgt daher projektspezifisch: Orientierung des Gebäudes, Nutzung der Räume, Klimazone und architektonische Zielsetzungen sind entscheidende Faktoren. Ein ausgewogenes Fassadenkonzept kombiniert transparente Flächen für Licht und Sicht mit opaken Zonen zur Energieoptimierung – ergänzt durch verschattungstechnische Maßnahmen wie außenliegende Lamellen, integrierte Sonnenschutzverglasung oder adaptive Systeme.

Dabei wird zwischen passiver Verschattung (baukörperintegriert, ohne Energiebedarf, oder durch benachbarte Gebäude, Vegetation oder Topographie, sehr robust, keine Betriebskosten, aber weniger flexibel) und aktiver Verschattung (beweglich, hohe Wirksamkeit, bedarfsgerecht steuerbar, erfordern Wartung & Steuerungstechnik) unterschieden.

Passive Verschattung kann bereits durch Fassadenorientierung und Geometrie, optimierte Ausrichtung realisiert werden. Überhänge und Vordächer sind effektiv bei Südfassaden, blockieren hochstehende Sommersonne, lassen Wintersonne herein.

Weitere Möglichkeiten der passiven Verschattung sind die Verwendung von fest montierten Lamellen & Brise Soleil (feststehend). Auch textile Vorsatzfassaden, bzw. semitransparente Gewebe reduzieren Strahlungsenergie und lassen Tageslicht durch.

Sonnenschutzverglasung (beschichtet, Low-E, IR-reflektierend) reduzieren solaren Wärmeeinträge und sind auch passive Elemente. Je nach Energiedurchlassgrad variiert die Transparenz, zudem lassen sich deutlich geringere solare Gewinne in der Heizperiode erzielen, eine flexible Steuerung ist nicht möglich.

Um die Flexibilität zu erhöhen und auf veränderliche Gegebenheiten zu reagieren bzw. den bedarfsgeführte handeln zu können, bieten sich aktive Verschattungsstrategien an, auch ergänzend bzw. komplementär zu passiven Strategien. Typische Sonnenschutzelemente sind Außenliegende Jalousien / Raffstores, die durch verstellbaren Lamellen einen hohen Wirkungsgrad ermöglichen, insofern die

Steuerung nach Sonnenstand erfolgt. Motorisierte Screens / Rollos oder textile Verschattung ist ebenfalls flexibel und steuerbar, jedoch nicht lenkbar. Diese Systeme lassen sich auch als Adaptive Fassadensysteme ausführen über die Gebäudeleittechnik und sich sich automatisch nach Sonnenintensität ausrichten (z. B. mit Sensoren). Weitere Abfragepunkte sind sinnvoll, z.B. Belegungszeiten oder Außentemperatur.

Chromatische und Sonnenschutzverglasungen bieten innovative Lösungen zur Steuerung von Licht- und Wärmeeintrag in Gebäuden und gewinnen insbesondere im Bereich energieeffizienter Fassadengestaltung zunehmend an Bedeutung. Eine zentrale Technologie in diesem Bereich ist die elektrochrome Verglasung (EC), bei der sich das Glas elektrisch steuerbar einfärbt. Dadurch lässt sich die Licht- und Wärmedurchlässigkeit stufenlos regulieren – ganz ohne mechanische Verschattungselemente.

Thermochrome Verglasungen (TC) hingegen reagieren selbstständig auf Temperaturveränderungen. Bei starker Hitze dunkelt das Glas automatisch ab und reduziert so den Wärmeeintrag. Der Vorteil liegt in der Selbstregelung ohne externe Steuerung, allerdings fehlt dem Nutzer die Möglichkeit, manuell einzugreifen. Ähnlich funktionierende photochrome Verglasungen (PC) reagieren auf UV-Strahlung – vergleichbar mit selbsttönenden Sonnenbrillengläsern. Aufgrund ihrer eingeschränkten Steuerbarkeit finden sie eher in Spezialanwendungen Anwendung und sind im Fassadenbau weniger verbreitet.

Darüber hinaus kommen zunehmend Kombinationssysteme zum Einsatz. So können etwa PV-Lamellen oder semitransparente Photovoltaik-Module sowohl den solaren Eintrag reduzieren als auch gleichzeitig Strom erzeugen. Dynamische Fassaden verbinden adaptive Verschattungselemente mit elektrochromem Glas und bieten dadurch eine besonders flexible Lösung. Kühlbare Fassaden, beispielsweise in Form von doppelschaligen Fassaden mit integrierter Luftführung, tragen zusätzlich zur Reduktion des Kühlbedarfs bei.

Insgesamt handelt es sich bei diesen aktiven Systemen – wie der chromatischen Verglasung oder dem hochentwickelten Sonnenschutzglas – um integrierte, langlebige Lösungen. Allerdings sind sie technisch komplex und mit vergleichsweise hohen Investitionskosten verbunden.

Berechnung der thermischen Kennwerte

Die europäische Norm EN 13830 legt Anforderungen und Prüfverfahren für Fassaden, einschließlich Pfosten-Riegel-Konstruktionen, fest. Sie behandelt Aspekte wie Windlast, Wasserdichtigkeit, Einbruchschutz, Schallschutz, Schlagregensicherheit und Widerstandsfähigkeit gegen Luftdruck.

Das wärmetechnische Verhalten von Vorhangfassaden bzw. die Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten wird gem. ISO 12631 festgestellt. Diese verweist für die Rahmenberechnungen auf die die Norm DIN EN ISO 10077-2, die auch als Grundlage für die Bestimmung durch FEM Simulation von Wärmedurchgangskoeffizienten für diverse weitere Komponenten wie Fenster, Türen oder auch Verschattungselemente dient.

In den meisten Fällen ist es möglich, die Fassade durch die Anwendung von Schnittebenen in mehrere Bereiche zu unterteilen, damit der Wärmedurchgangskoeffizient der gesamten Fassade anschließend als der flächengewichtete Mittelwert aus den Werten für den Wärmedurchgangskoeffizienten für jeden Bereich berechnet werden kann. Die erforderlichen Eingabedaten (d.h. die wärmetechnischen Eigenschaften für jeden Bereich) können durch Messung, zweidimensionale Finite-Element- oder Finite-Differenzen-Berechnungen mit der entsprechenden Software oder durch Tabellen und Graphiken beurteilt werden.

Es empfiehlt sich eine getrennte Ermittlung der einflussnehmenden Bestandteile (i.d.R. Verglasung, Rahmen (Pfosten, Riegel, Öffnungselement), Abstandhalter /

Randverbund, opake Einspannelemente, Verschattungselemente und punktuelle Durchdringungen) vorzunehmen. Verfahren zur Bestimmung der wärmetechnischen Kennwerte mittels Heizkasten sind für die Projektierung und Dimensionierung, sowie für die Analyse im Nachteil.

Die Unterteilung der Fassade ist in der Weise vorzunehmen, dass bedeutende Unterschiede zwischen den Berechnungsergebnissen für eine als Ganzes behandelte Fassade und dem Wärmestrom durch die unterteilte Fassade vermieden werden. Eine geeignete Unterteilung in mehrere geometrische Bereiche wird durch die Wahl passender Schnittebenen erzielt. Die Schnittebenen dürfen nur dort angeordnet werden, wo ein adiabatischer Zustand eindeutig vorhanden ist. Der Gesamtwärmestrom Φ_{tot} des gesamten Anschlusses ist mit einer Software in Übereinstimmung mit ISO 10211-1:2007 und ISO 10077-2:2012 zu berechnen oder nach ISO 12567-1:2010 zu messen; dabei werden die Füllungen zwischen den adiabatischen Linien angeordnet.

Der Anwendungsbereich von ISO 10077-2:2012 umfasst die wärmetechnischen Einflüsse infolge der dreidimensionalen Wärmeübertragung wie zum Beispiel durch punktförmige metallische Verbindungen nicht. Messungen an Vorhangfassaden haben jedoch ergeben, dass der wärmetechnische Einfluss von Schrauben nicht außer Acht gelassen werden darf.

Die Modellierung der Schrauben in der zweidimensionalen Berechnung ist mittels Ersatzverfahren (Anhang C) durchzuführen, der Einfluss kann jedoch auch durch Messung oder 3D Simulation ermittelt werden. Gleiches gilt für Glasträger und

Kreuzglasauflagen. Dieser Anhang enthält ein Verfahren zur Beurteilung der dreidimensionalen Wärmeübertragung durch Schrauben unter Anwendung einer zweidimensionalen Berechnung und der in ISO 10077-2:2012 angegebenen Verfahren. Die Schraube wird als „geglättete“ Schraube mit einer Dicke, die dem tatsächlichen Durchmesser entspricht, jedoch eine äquivalente Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{s,eq}$ aufweist, modelliert. Die äquivalente Wärmeleitfähigkeit wird nach nachstehender Gleichung berechnet.

$$\lambda_{s,eq} = \frac{\pi \cdot d_s}{4 \cdot l_s} \cdot (\lambda_s - \lambda_{r,eq}) + \lambda_{r,eq}$$

Die äquivalente Wärmeleitfähigkeit des Luftraumes um die Schraube ist auf Grundlage eines einzelnen Luftraums (ohne Schraube) zu berechnen.

Der Einfluss der Schrauben wird durch den Kennwert ΔU abgebildet und kann durch Messung nach DIN EN 1241-2 oder durch Berechnung mit einem 3D-Wärmestromprogramm ermittelt, oder nach dem oben genannten Ersatzverfahren berechnet werden. Der Zuschlagskoeffizient ΔU wird dann auf den U_t (U-Wert des Riegels) und U_m (U-Wert des Pfostens) zugerechnet.

$$\Delta U = \frac{(Q_s - Q_0)}{l \cdot \Delta \theta \cdot b_t}$$

Dabei ist Q_s der Wärmestrom mit Schrauben (ermittelt mit numerischem Verfahren oder durch Messung); Q_0 der Wärmestrom ohne Schrauben (ermittelt mit numerischem Verfahren oder durch Messung); l : Länge des Berechnungsmodells und $\Delta \theta$ die Temperaturdifferenz zwischen innen und außen (Randbedingungen aus numerischem Verfahren oder Messung) in Kelvin.

Alternativ wird bei vom Passivhaus Institut berechneten Fassaden bei einem Schraubenabstand zwischen 0,2 m und 0,3 m bei Schrauben aus Edelstahl ein Pauschalwert von $\Delta U = 0,300 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ angesetzt.

Der Einfluss der Glasträger wird durch den punktförmigen Wärmebrückenverlustkoeffizienten des Glasträgers χ_{GT} / χ_{gc} (engl.) abgebildet und kann durch Messung nach DIN EN 1241-2 oder durch Berechnung mit einem 3D-Wärmestromprogramm ermittelt werden. Alternativ wird pauschal bei Glasträger aus Metall mit $\chi_{GT} = 0,040 \text{ W/K}$, bei Glasträger aus Nichtmetall mit Verschraubung mit $\chi_{GT} = 0,004 \text{ W/K}$ und bei Glasträgern aus Nichtmetall mit $\chi_{GT} = 0,003 \text{ W/K}$ angesetzt und geht multipliziert mit der Anzahl, der im Modul vorhandenen Glasträger, in die Berechnung des U-Wertes der Fassade ein. Werden die Glasträger verschraubt oder auf Bolzen aufgesteckt, sind diese Schrauben bzw. Bolzen in die Berechnung einzubeziehen. Es müssen Glasträger angesetzt werden, die in der Lage sind, eine dem Modulmaß entsprechende Dreischeibenverglasung zu tragen.

χ_{gc} (χ_{GT}) [$\text{W}/(\text{mK})$] berechnet sich wie folgt:

$$\chi_{gc} = \frac{Q_{gc} - Q_0}{\Delta\theta} \cdot l$$

Und beinhaltet Q_{gc} , den Wärmestrom mit Glasträger [W], Q_0 , den Wärmestrom ohne Glasträger [W], und $\Delta\theta$, die Temperaturdifferenz [K].

Der gesamte Wärmedurchgangskoeffizient eines Fassadenelements lässt sich nach nachstehender Formel berechnen und enthält die gewichteten Anteile der einzelnen Elemente

$$U_{cw} = \frac{A_g \cdot U_g + A_t \cdot (U_t + \Delta U) + A_m \cdot (U_m + \Delta U) + l_g \cdot \psi_g + n_{GT} \cdot \chi_{GT}}{A_{cw}}$$

Dies sind die Wärmedurchgangskoeffizienten der Verglasungselemente (U_g) und deren Einflussfläche (A_g), die Wärmebrückenverlustkoeffizienten des Glasrands (ψ_g) und deren Einflusslänge (l_g), die Wärmedurchgangskoeffizienten vom Pfosten (U_m) und Riegel (U_t) mit den jeweiligen Flächenanteilen und der Zuschlag der Verschraubung (ΔU), sowie der Anzahl der Glasträger n_{GT} und derer punktuellen Wärmebrücke χ_{GT} .

Optimierung der thermischen Isolierung durch Vorfertigung

Die Vorfertigung von Bauelementen ermöglicht diverse Optimierungspotentiale hinsichtlich der Qualität. Unter Fabrikbedingungen ist eine höhere Präzision in der Fertigung möglich. Eine hohe Maßgenauigkeit reduziert z.B. Fugenbreiten und Passgenauigkeit zwischen Fassadenelementen und ermöglicht geringere Toleranzfehler als bei der Baustellenmontage. Eine bessere Luftdichtheit und geringere Wärmeverluste können erzielt werden.

Eine kontrollierte Integration der Dämmung kann im Werk passgenau und sauber vorgenommen werden. Insbesondere bei faserigen Dämmstoffen oder spröden Baustoffen können Hohlräume vermieden – eine lückenlose Dämmung ohne Wärmebrücken ermöglicht werden. Auch komplizierte Geometrien (z.B. Aussparungen um den Schraubkanal oder Verklotzung und Glasträger) können werkseitig sauber ausgefüllt werden.

Bei Elementfassaden werden werkseitig komplett aufgebaute Fassadenelemente mit Glas, Dämmung und Abdichtung zur Baustelle geliefert und in die Tragelemente eingehängt. In den Anschlussfugen sind vorgefertigte Dichtungssysteme vorhanden, die meist über Puffer-EPDM Dichtungen gestoßen werden und eine Hinterströmung verhindern.

Vorfertigung ermöglicht auch eine bessere Qualitätssicherung und bessere Identifikation bei Fehlersuche, bereits werkseitige Tests helfen bei der Sicherstellung

der Qualität und erlauben eine bessere Gewerke- und Verantwortlichkeitstrennung. Insbesondere die Reduktion von typischen Baustellenrisiken (Lagerung, Verunreinigung) und der Vormontage von sensiblen Bauteilen (Spezialgläser) ist ein Vorteil. Jedoch können durch Transportgrößen und - gewichte logistische und gestalterische Begrenzungen folgen, einhergehend mit der Ökonomie.

Klimaneutralität im Bauwesen durch Leichtbauweise

Reduktion des CO₂-Fußabdrucks bei Planung, Herstellung und Betrieb

Bei der Planung von Vorhangfassaden ist es entscheidend, bereits früh eine Lebenszyklus-Analyse (LCA) einzubeziehen, um die „graue Energie“ sowie die CO₂-Bilanz der verwendeten Materialien umfassend zu bewerten. Eine optimierte Materialwahl spielt hierbei eine zentrale Rolle: Aluminium sollte vorzugsweise mit hohem Recyclinganteil eingesetzt werden, da sekundäres Aluminium bis zu 95 % weniger Energie benötigt als die Primärproduktion. Wo möglich, können Holz- oder Hybridfassaden eine nachhaltige Alternative darstellen. Der Einsatz von Glasflächen sollte auf ein sinnvolles Maß begrenzt werden, um den Kühlenergiebedarf zu reduzieren. Eine Energiebilanzierung des gesamten Gebäudes ist unerlässlich um Potenziale aufzuzeigen und sinnvolle Abwägungen zwischen Tageslichtnutzung, Transmission, Strahlungseinträgen und gestalterischen Aspekten zu ermitteln.

Ergänzend empfiehlt sich ein „Design for Disassembly“ mit modularen und demontierbaren Systemen, die Rückbau und Wiederverwendung erleichtern. Am Ende des Lebenszyklus gewinnt die Rückbau- und Kreislaufwirtschaft an Bedeutung. Eine sortenreine Trennung von Glas, Metall und Dichtungen erleichtert das Recycling. Darüber hinaus können ganze Fassadenmodule oder Glaspaneele wiederverwendet werden. Hersteller-Rücknahmesysteme sichern, dass alte Elemente in den Materialkreislauf zurückgeführt werden.

In der Herstellung lassen sich weitere CO₂-Einsparungen erzielen. Regionale Produktion und kurze Transportwege senken die Emissionen durch Logistik, während ressourceneffiziente Fertigungsprozesse Abfälle minimieren. Der Einsatz von erneuerbaren Energien, beispielsweise Solar- oder Wasserkraft in Glas- und Aluminiumwerken, trägt zusätzlich zur Nachhaltigkeit bei. Eine konsequente Leichtbauweise reduziert den Materialbedarf und damit ebenfalls den CO₂-Fußabdruck.

Auch im Betrieb kann die Fassade wesentlich zur Energieeffizienz beitragen. Hocheffiziente Verglasungssysteme mit Dreifachverglasung, Low-E-Beschichtungen und Wärmeschutzgasfüllungen verbessern die Wärmedämmung erheblich. Ergänzt wird dies durch Sonnenschutz- und Verschattungslösungen wie außenliegende Jalousien oder adaptive Fassaden, die idealerweise über smarte Steuerungssysteme automatisiert werden. Tageslichtlenkung reduziert den Bedarf an künstlicher Beleuchtung, während energieaktive Fassaden mit integrierten Photovoltaik-Modulen zusätzliche Energiepotenziale erschließen. Hier empfiehlt sich die Nutzung von

Photovoltaik-Elementen, die gleichzeitig als Verschattungselemente dienen. Lebensdauer.

Insgesamt zeigt sich, dass sich der CO₂-Fußabdruck von Vorhangfassaden deutlich reduzieren lässt, wenn der gesamte Lebenszyklus berücksichtigt wird – von der frühen Planung mit Material- und Flächenoptimierung, über die Herstellung mit Recyclingmaterialien und energieeffizienten Prozessen, bis hin zum Betrieb mit moderner Verglasung, Verschattung, Tageslichtnutzung und Photovoltaik sowie einem konsequenten Kreislaufansatz beim Rückbau.

Integration erneuerbarer Energien

Photovoltaik-Elemente in Vorhangfassaden werden in der Regel als BIPV (*Building Integrated Photovoltaics*) integriert – also als funktionaler Bestandteil der Gebäudehülle, nicht nur als aufgesetzte Zusatzmodule. Die Fassade übernimmt neben Wetterschutz und Gestaltung auch die Aufgabe elektrischen Strom zu gewinnen. Mehrere Arten der Integration sind dabei denkbar und werden im Folgenden aufgeführt.

Zumeist werden opake PV-Elemente verwendet, die in geschlossen Fassadenbereichen (z.B. Brüstungsfeldern) verbaut sind. Diese sind entsprechend nicht lichtdurchlässig, und vereinigen PV-Modul, Dämmung und Trägerplatte in einem Fassadenelement.

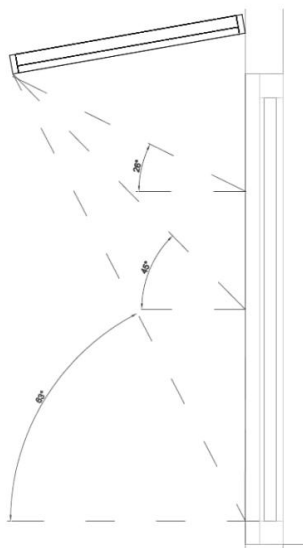


Abbildung 7 - Prinzipskizze
passive Verschattung
Photovoltaikmodule,
Ermittlung
Abschattungswinkel.
© Passivhaus Institut; Adrian
Muskatewitz

Senkrecht verbaute Module liefern weniger Energie als geneigte Module, sodass eine weitere sinnvolle Integration von (konventionellen) opaken Photovoltaikmodulen in die Gebäudehülle als passives Verschattungselement möglich ist. Dabei ist die Ermittlung der Abschattungswinkel sinnvoll, sodass geeignete Abstände, Modullängen und Neigungen ermittelt werden können die eine sommerliche Verschattung ermöglichen, in der Heizperiode jedoch auch solare Warmegewinne ermöglichen. Die technische Umsetzung von Photovoltaik in Vorhangfassaden erfolgt in modularer Bauweise: Die PV-Elemente werden als fertige Fassadenpaneele vormontiert und vor Ort eingehängt. Die Kabel- und Wechselrichterintegration ist dabei so gelöst, dass die Leitungen unsichtbar im Fassadenprofil verlaufen und der erzeugte Strom direkt in das Gebäudeenergiesystem eingespeist wird. Zum Schutz vor Witterungseinflüssen sind die Module fassadentypisch abgedichtet und hinterlüftet, wodurch eine Überhitzung vermieden wird. In Bezug auf die Leistungsfähigkeit gilt, dass senkrecht verbaute Module zwar weniger Energie liefern als Dachanlagen, bei geeigneter Ausrichtung – etwa an der Südseite – jedoch dennoch signifikante Erträge erzielen können.

Die Integration von PV in Vorhangfassaden bietet mehrere Vorteile. Zum einen übernehmen die Module eine Doppelfunktion als Energieerzeuger und Gebäudehülle. Zum anderen entsteht durch die flächenbündige Integration eine homogene Fassadengestaltung, ohne dass zusätzliche Dachflächen benötigt werden. Auch unter Nachhaltigkeitsaspekten ist der Ansatz interessant, da der CO₂-Fußabdruck des Gebäudes reduziert wird. Wirtschaftlich gesehen eröffnen sich langfristige Energieeinsparungen sowie die Möglichkeit zur Nutzung von Förderungen.

Allerdings bestehen auch Herausforderungen. Die Investitionskosten sind in der Regel höher als bei Standardfassaden. Zudem erfordert die Ertragsoptimierung durch die senkrechte Anordnung der Module häufig eine intelligente Kombination mit Dach-PV-Anlagen. Auch die Wartung stellt eine Hürde dar, da Zugang und Reinigung in großen Höhen mitgeplant werden müssen. Darüber hinaus ist die Integration ins gesamte Energiekonzept des Gebäudes komplex und bedarf einer genauen Abstimmung mit Energiespeicherung, Haustechnik und Netzanschluss.

Ein spannendes Feld innerhalb der Fassaden-PV sind semitransparente PV-Gläser. Sie sind teilweise lichtdurchlässig, entweder durch Abstände zwischen den Solarzellen oder durch den Einsatz spezieller Zelltechnologien wie Dünnschicht-PV. Dadurch eignen sie sich besonders für Fensterbänder, Atrien oder verglaste Fassadenbereiche, da sie Tageslichtnutzung und Energiegewinnung kombinieren.

Darüber hinaus existieren auch vollflächig transparente PV-Gläser. Diese nutzen Materialien wie organische PV oder transparente leitfähige Schichten, die Licht in bestimmten Wellenbereichen filtern und in Energie umwandeln. Zwar ist der Wirkungsgrad dieser Technologie noch geringer, gestalterisch eröffnet sie jedoch interessante Möglichkeiten für architektonisch anspruchsvolle Gebäude.

Einsatzmöglichkeiten nachhaltiger Materialien und Recyclingbaustoffe

Im Bereich der Pfosten-Riegel- und Elementfassaden bieten sich zahlreiche Möglichkeiten, nachhaltige Materialien und Recyclingbaustoffe einzusetzen. Besonders bei tragenden und rahmenbildenden Elementen kommen zunehmend umweltfreundliche Alternativen zum Einsatz. Recycling-Aluminium eignet sich hervorragend für Pfosten, Riegel und Rahmen. Es weist einen hohen Anteil an Sekundäraluminium auf, was im Vergleich zur Primärproduktion bis zu 95 % CO₂ einspart. Aluminium überzeugt generell durch seine Langlebigkeit, Korrosionsbeständigkeit und nahezu unbegrenzte Recycelbarkeit ohne Qualitätsverlust. Dennoch sollte, wenn möglich, auf energieintensiv erzeugtes Primäraluminium verzichtet und stattdessen Sekundäraluminium bevorzugt werden.

Auch Recycling-Stahl wird zunehmend für Unterkonstruktionen und Verbindungsteile genutzt. Stahl ist extrem robust, gut recycelbar und enthält bereits heute einen hohen Anteil an Schrott. Er eignet sich insbesondere für Tragprofile und Befestigungssysteme. Holz-Hybrid-Systeme stellen eine weitere vielversprechende Lösung dar: Hier wird ein Holztragwerk – das während seines Wachstums CO₂ speichert – mit einer witterungsbeständigen Aluminiumschicht kombiniert. Holz als

nachwachsender Rohstoff bietet eine gute Recyclingfähigkeit, entweder stofflich (z. B. in Form von Spanplatten oder Holzwerkstoffen) oder energetisch (z. B. als Biomasse). Zertifizierungen wie FSC oder PEFC gewährleisten zudem eine nachhaltige Forstwirtschaft. Solche Hybridlösungen sind besonders im Niedrig- und Mittelgeschossbau interessant.

Auch bei der Verglasung eröffnen sich nachhaltige Optionen. Der Einsatz von Recyclingglas mit hohem Scherbenanteil reduziert den Primärenergiebedarf erheblich. Neue Glastechnologien ermöglichen zudem dünneres und somit leichteres Glas sowie optimierte Beschichtungen mit geringerem Materialeinsatz. Isolier- und Sicherheitsglas kann grundsätzlich recycelt werden, etwa im Flachglas-Recycling. Herausforderungen bestehen jedoch bei beschichteten Gläsern (z. B. Low-E oder Sonnenschutz) sowie bei Verbundgläsern, deren Recycling aktuell noch durch neue Verfahren erschlossen wird. Vorteilhaft ist die theoretisch unbegrenzte Wiederverwendbarkeit von Glas durch Einschmelzen.

Bei Dichtungen und Abstandhaltern werden zunehmend Recycling-Kunststoffe oder Biopolymere eingesetzt, etwa als Alternative zu EPDM-Dichtprofilen. Im Randverbund von Isoliergläsern sorgen Abstandhalter aus Recyclingkunststoff („warme Kante“) für eine spürbare CO₂-Einsparung im Vergleich zu herkömmlichen Aluminiumlösungen. Dennoch bleiben Kunststoffe und Dichtstoffe insgesamt eine Herausforderung, da viele Varianten – beispielsweise Silikone oder PU-Schäume – nur schwer recycelbar sind. Nachhaltigere Alternativen wie thermoplastische Elastomere (TPE) oder Materialien mit hohem Recyclinganteil befinden sich im Aufwind, ebenso wie biobasierte Dicht- und Klebstoffe in der Entwicklung.

Die Vorteile dieser Ansätze liegen auf der Hand: Sie ermöglichen eine deutliche Reduktion der grauen Energie, insbesondere durch den Einsatz von Recycling-Aluminium, -Stahl und -Glas. Gleichzeitig kann durch Holz und Naturfasern aktiv CO₂ gespeichert werden. Diese Maßnahmen tragen zur Verbesserung der Ökobilanz bei und sind ein entscheidender Faktor bei Zertifizierungssystemen wie DGNB, LEED oder BNB.

Nachhaltige Materialien lassen sich bei Fassadenkonstruktionen vor allem in den Bereichen Rahmenprofile (z. B. Recycling-Aluminium, Stahl oder Holz-Hybrid-Systeme), Verglasung (Recyclingglas), Dämmung (biobasiert oder recycelt), Dichtungen sowie Fassadenverkleidung wirkungsvoll integrieren. Das größte Potenzial besteht aktuell im Einsatz von Recyclingaluminium und Holz-Hybridlösungen, da diese die tragenden Strukturen ökologisch signifikant verbessern können.

Innovative Materialien wie gebäudeintegrierte Photovoltaik-Module ermöglichen zusätzlich eine energetische Nutzung der Fassade und bieten somit einen Doppelnutzen. Schließlich garantieren Cradle-to-Cradle-zertifizierte Produkte die Rückführung in den Materialkreislauf und sichern langfristig eine zirkuläre Bauweise.

Die nachhaltigste Materialwahl bei Fassaden ergibt sich somit aus einer ausgewogenen Kombination recycelbarer Metalle (Aluminium, Stahl), nachwachsender Rohstoffe (wie Holz und Naturdämmstoffe) sowie wiederverwertbarem Glas – ergänzt durch innovative Lösungen wie PV-Fassaden oder

C2C-zertifizierte Systeme. Voraussetzung für Nachhaltigkeit bleibt jedoch die thermische Effizienz, Passivhaus-zertifizierte Komponenten vermeiden einen hohen Energieeinsatz für die thermische Konditionierung. Der Energieaufwand dafür ist in der Regel um ein Vielfaches höher als die graue Energie für die Herstellung.



Abbildung 8. Passivhaus und Holzbauweise: Schwimmbadbereich im St Sidwell's Point Passivhaus-Freizeitzentrum in Großbritannien, in dem außerdem ein Fitnessstudio sowie einen Wellness-Center untergebracht sind. [ID 7393](#) in der Passivhaus Datenbank © Exeter City Council

Bedeutung der Leichtbauweise für eine nachhaltige Bauwirtschaft

Die Leichtbauweise spielt eine zentrale Rolle in der Transformation hin zu einer nachhaltigeren Bauwirtschaft. Einer ihrer größten Vorteile liegt in der Materialeinsparung: Durch reduzierte Querschnitte und optimierte Tragwerksstrukturen wird der Einsatz von Rohstoffen wie Beton, Stahl oder Ziegeln deutlich reduziert. Dieser ressourcenschonende Ansatz wird zusätzlich dadurch unterstützt, dass viele Leichtbauelemente – insbesondere bei Vorhangfassaden – aus Materialien wie Aluminium, Stahl oder Glas bestehen, die gut recycelbar sind und sich somit hervorragend für den Einsatz von Sekundärrohstoffen eignen.

Auch im laufenden Betrieb eines Gebäudes leisten Leichtbausysteme einen wichtigen Beitrag zur Energieeffizienz. Moderne Vorhangfassaden können hochgedämmte Schichten und Mehrfachverglasungen integrieren, was den Heiz- und Kühlenergiebedarf erheblich senkt. Gleichzeitig ermöglichen großflächige Glasfassaden eine intensive Nutzung von Tageslicht, wodurch der Bedarf an künstlicher Beleuchtung reduziert wird. Dynamische Fassadensysteme, die mit integrierten Sonnenschutzlösungen, Photovoltaikmodulen oder adaptiven Komponenten arbeiten, steigern die energetische Leistungsfähigkeit zusätzlich und können aktiv zur Optimierung der Energiebilanz eines Gebäudes beitragen.

Ein weiterer wesentlicher Aspekt des Leichtbaus ist seine Flexibilität, insbesondere im Hinblick auf Kreislaufwirtschaft und Lebenszyklusdenken. Vorhangfassaden bestehen in der Regel aus vorgefertigten, modularen und demontierbaren Elementen. Diese Modularität erleichtert nicht nur Austausch und Reparatur, sondern auch die spätere Umnutzung oder den vollständigen Rückbau eines Gebäudes. Im Gegensatz zu

tragenden Fassadenkonstruktionen lassen sich die Materialien sortenrein trennen, was eine wichtige Voraussetzung für die Umsetzung zirkulärer Bauprozesse ist.

Auch der Bauprozess selbst profitiert vom Leichtbau. Viele Bauelemente werden industriell vorgefertigt, was nicht nur die Qualität erhöht, sondern auch Transport- und Montagezeiten verkürzt und die Abfallmengen auf der Baustelle reduziert. Darüber hinaus führt das geringere Gewicht der Konstruktionen zu einem reduzierten Materialbedarf für Fundamente und Tragwerke – und damit zu weiteren Einsparungen bei CO₂-Emissionen, insbesondere in der Herstellung und Logistik.

Trotz dieser zahlreichen Vorteile gibt es auch Herausforderungen. Die Herstellung bestimmter Materialien wie Aluminium oder Isolierglas ist energieintensiv, wodurch die sogenannte „graue Energie“ ein Faktor für die ökologische Gesamtbilanz wird. Der Nachhaltigkeitswert dieser Materialien hängt daher stark vom jeweiligen Recyclinganteil ab. Zusätzlich erfordert die Planung von glasreichen Vorhangfassaden eine besondere Berücksichtigung des sommerlichen Wärmeschutzes, um einer Überhitzung und erhöhtem Kühlbedarf vorzubeugen.

Leichtbau und Vorhangfassaden leisten einen wesentlichen Beitrag zu einer nachhaltigen Bauwirtschaft – vorausgesetzt, sie werden energetisch durchdacht, modular rückbaubar und mit einem möglichst hohen Anteil an Recyclingmaterialien realisiert. Sie ermöglichen nicht nur eine signifikante Reduktion von Ressourcen und Energie im Bauprozess, sondern fördern auch eine langfristige Kreislaufwirtschaft. Dabei ist es entscheidend, auch die energetischen Aufwände in der Herstellung und die Betriebsrisiken – etwa im sommerlichen Wärmeschutz – frühzeitig zu berücksichtigen, um die Potenziale des Leichtbaus voll auszuschöpfen.

Herausforderungen, Perspektiven und Ausblick

Technische Herausforderungen bei der Umsetzung von Leichtbauten

Bei Leichtbaukonstruktionen spielt die Standsicherheit und das Tragverhalten eine zentrale Rolle. Durch die geringere Masse steigt die Schwingungsanfälligkeit, sodass Wind, Verkehrslasten oder auch Schall stärkere Vibrationen verursachen können. Gleichzeitig erfordert die Stabilität dünnwandiger Elemente – etwa hinsichtlich Beulen oder Knicken – präzise Berechnungen und oftmals innovative Verbindungstechniken. Auch im Bereich des Brandschutzes ergeben sich Herausforderungen, da leichte Materialien wie Aluminium oder Verbundwerkstoffe häufig über einen geringeren Feuerwiderstand verfügen und daher zusätzliche Schutzmaßnahmen notwendig sind.

Auch die bauphysikalischen und klimatischen Eigenschaften stellen hohe Anforderungen an den Leichtbau. Schlankere Bauteile müssen trotz reduzierter Materialstärke sehr gute Wärme- und Schalldämmwerte erreichen. Zudem reagieren leichte Konstruktionen empfindlicher auf Feuchtigkeit, was Kondensatbildung, Undichtigkeiten oder eine beschleunigte Materialalterung begünstigen kann. Bei Glas- oder Metallfassaden besteht zusätzlich das Risiko der Überhitzung im Sommer, sofern keine Verschattungssysteme oder geeignete Klimatechnik vorgesehen sind.

In der Planung und Ausführung erfordern Leichtbauelemente höchste Präzision. Vorfertigung setzt eine exakte Planung sowie enge Toleranzen bei der Montage voraus. Besonders anspruchsvoll sind die Anschlüsse an die Tragstruktur, Abdichtungen oder Bewegungsfugen, die technisch komplex ausgeführt werden müssen. Zwar erleichtert das geringere Gewicht den Transport, dennoch verlangen die Elemente spezielle Befestigungssysteme, die eine dauerhafte Stabilität gewährleisten.

Die Materialwahl und Dauerhaftigkeit ist ein weiterer entscheidender Faktor. Metalle wie Aluminium oder Stahl benötigen einen wirksamen Korrosionsschutz, während Kunststoffe und Verbundwerkstoffe in Bezug auf UV-Beständigkeit und Alterungsprozesse sorgfältig geprüft werden müssen. Hinzu kommt die Frage der Recyclingfähigkeit: Viele Leichtbaumaterialien bestehen aus Verbundstoffen, die nur schwer sortenrein trennbar sind.

Darüber hinaus gewinnt die Integration moderner Technologien zunehmend an Bedeutung. Energieaktive Fassaden mit Photovoltaikelementen oder adaptiven Systemen stellen zusätzliche Anforderungen an Elektrotechnik, Verkabelung und Wartung. Auch das digitale Planen mittels BIM und Simulationen ist heute unverzichtbar, um die thermische, statische und energetische Performance im Leichtbau optimal abzustimmen.

Die größten technischen Herausforderungen im Leichtbau liegen in der Sicherstellung von Stabilität trotz geringer Masse, der Einhaltung bauphysikalischer Anforderungen an Wärme-, Schall- und Feuchteschutz, der hohen Präzision in Planung und Montage sowie in der Materialbeständigkeit und Recyclingfähigkeit.

Innovationen und zukunftsweisende Entwicklungen

Moderne Vorhangfassaden entwickeln sich zunehmend zu multifunktionalen Bauteilen, die weit über den klassischen Witterungsschutz hinausgehen. Sie werden zu aktiven Komponenten nachhaltiger Gebäudehüllen, die durch technische Innovationen und intelligente Systeme sowohl ökologischen als auch wirtschaftlichen Anforderungen gerecht werden.

Ein zentrales Thema dabei ist die Lastabtragung über Dämmstoffe, die durch neue Materialkombinationen und Konstruktionsprinzipien ermöglicht wird. Dadurch lassen sich Tragstrukturen minimieren und thermische Schwachstellen reduzieren und ggf. Elemente wie Glasträger und Verschraubung der Anpressleiste entfernen – ein wesentlicher Beitrag zur Energieeffizienz. Erste Systeme dieser Art sind bereits marktverfügbar.

Adaptive Fassadensysteme bilden einen weiteren zukunftsweisenden Ansatz. Diese reagieren aktiv auf äußere Umweltbedingungen wie Sonnenstand, Temperatur oder Luftqualität und passen sich automatisch an, um den Energieverbrauch zu senken und den Nutzerkomfort zu steigern. Beispiele hierfür sind dynamische Verschattungssysteme mit verstellbaren Lamellen oder elektrochromen Gläsern, die den Lichteintrag regulieren. Lüftungsaktive Doppelfassaden steuern zudem den Luftstrom zwischen den Fassadenschichten und tragen zur natürlichen Klimatisierung bei. Solche Systeme vereinen Energieeffizienz, Komfort und architektonische Qualität.

Ein weiterer Innovationsschub zeigt sich in der Integration von Photovoltaik (BIPV) in die Fassadenstruktur. Hier werden PV-Module nicht nur ästhetisch und funktional eingebunden, sondern auch mit intelligenten Energiemanagementsystemen verknüpft. Diese steuern den Energiefluss in Abhängigkeit von Netzlast, Eigenverbrauch oder Wetterprognosen und können in Kombination mit Batteriespeichern autarke oder netzdienliche Betriebsmodi ermöglichen und können auch als passive Verschattungselemente genutzt werden und ergänzen das Gebäudekonzept synergetisch.

Neuartige Geschäftsmodelle wie das Fassaden-Leasing („Façade-as-a-Service“) ermöglichen es Bauherren, Fassaden nicht mehr zu kaufen, sondern über einen festgelegten Zeitraum zu mieten. Der Hersteller bleibt Eigentümer und übernimmt Verantwortung für Wartung, Modernisierung und Rückbau. Dies erlaubt technologische Upgrades im laufenden Betrieb und wandelt hohe Anfangsinvestitionen in planbare Betriebskosten um – ein wirtschaftlich und ökologisch attraktives Modell. Auch der Einsatz nachhaltiger Materialien gewinnt an Bedeutung. Recycelte Aluminiumprofile, biobasierte Dämmstoffe oder recyclingfähige PV-Gläser sind nur einige Beispiele für ressourcenschonende Lösungen. Demontierbare Fassadensysteme ermöglichen zudem eine sortenreine Trennung und Wiederverwendung der Komponenten am Ende des Lebenszyklus – im Sinne der Kreislaufwirtschaft und im Einklang mit Cradle-to-Cradle-Prinzipien.

Im Planungs- und Fertigungsprozess bieten digitale Werkzeuge wie Building Information Modeling (BIM) entscheidende Vorteile. Sie erlauben eine präzise Koordination zwischen Architektur, Technik und Ausführung. Parametrisches Design unterstützt die Entwicklung optimierter Geometrien und materialeffizienter Lösungen, während robotergestützte Montagethoden die Ausführungsqualität auf der Baustelle erhöhen.

Insgesamt zeigt sich: Vorhangfassaden sind auf dem Weg, sich von passiven Bauelementen zu hochfunktionalen, vernetzten und nachhaltigen Systemen weiterzuentwickeln – eine zentrale Rolle auf dem Weg zur klimaneutralen und smarten Stadt der Zukunft.