

Nachhaltigkeitsbewertung für Fenster- und Fassadenelemente

8. Januar 2015

Verfasser:

Dr. Ing. Peter Mösle

Dipl. -Ing. MSc. Eng. Roberto Oshiro Gama

Dipl. -Ing. Thomas Haun

Dipl. -Ing. Joachim Fauth

Drees & Sommer Advanced Building Technologies GmbH

Obere Waldplätze 11

70569 Stuttgart (Vaihingen)

Dipl.-Ing. Johannes Kreissig

Mag. Sophie Kieselbach

Dipl.-Ing. Steffen Schöll

PE-International - Expert in Sustainability

Hauptstraße 111-113

70771 Leinfelden-Echterdingen

Eine von der European Aluminium Association in Auftrag gegebene Studie



Mit freundlicher Unterstützung durch das International Aluminium Institute



Inhaltsverzeichnis		Seite
1	Einleitung und Geltungsbereich.....	4
2	Executive Summary	5
2.1	Allgemeiner Überblick	5
2.2	Nachhaltigkeitsleistung	6
3	Beschreibung von Fassaden- und Fenstersystemen	11
3.1	Fenstersystem von Wohngebäuden	11
3.1.1	Allgemeine Eigenschaften von Fenstersystemen.....	11
3.1.2	Spezifische Eigenschaften von Fenstersystemen	13
3.2	Fassadensystem für Bürogebäude	17
3.2.1	Allgemeine Eigenschaften von Fassadensystemen	17
3.2.2	Spezifische Eigenschaften von Fassadensystemen.....	18
4	Energiebilanz und Gebäudesimulation.....	22
4.1	Zusammenfassung.....	22
4.2	Thermische Gebäudesimulation	24
4.2.1	Simulationsmodell	25
4.2.2	Randbedingungen	28
4.2.2.1	Software	28
4.2.2.2	Klima	28
4.2.2.3	Typgebäude	29
4.2.2.4	Sonnenschutz	30
4.2.2.5	Interne Wärmequellen.....	32
4.2.2.6	Klimatisierung.....	32
4.2.2.7	Natürliche Lüftung und Infiltration	33
4.2.2.8	Heizung und Kühlung.....	33
4.2.3	Thermischer Komfort nach EN 15251.....	34
4.3	Ergebnisse	35
5	LCC – Lebenszykluskostenanalyse	48
5.1	Zusammenfassung.....	48
5.2	Randbedingungen.....	49
5.2.1	Investitions-, Wartungskosten und Restwert.....	49
5.2.2	Zinsen, Energiepreise und zusätzliche Informationen	52
5.3	Ergebnisse	53
6	LCA – Lebenszyklusbewertung.....	58
6.1	Zusammenfassung.....	58
6.2	Systemgrenzen	59
6.3	Funktion und Funktionseinheit	60
6.4	Daten.....	60
6.4.1	Herstellung	61

6.4.2	Nutzung und Wartung	66
6.4.3	End of Life (EoL)	67
6.5	Software und Datenbank.....	71
6.6	Ergebnisse	71
7	Ganzheitliche Fassadenbewertung	79
7.1	Methode	79
7.2	Einfluss von Fassaden- und Fenstersystemen auf Green-Building-Systeme .	81
7.3	Bewertungsmatrix (ganzheitliche Fassadenbewertung)	86
7.4	Beschreibung der Kriterienbewertung.....	88
7.4.1	Ökologische Qualität	88
7.4.2	Ökonomische Qualität – Lebenszykluskosten LCC	91
7.4.3	Soziale Qualität	91
7.4.4	Technische Qualität	92
7.4.5	Prozessqualität.....	93
7.4.6	Bewertungsmatrix – Ergebnisse	95
7.5	Empfehlungen für Green-Building-Bewertungssysteme	98
8	Literaturquellen	100
9	Statement zum Gutachten	101

1 Einleitung und Geltungsbereich

Zertifizierungssysteme für nachhaltige Gebäude (Green Building) gelten im Immobiliensektor als nützliche Werkzeuge für die Bewertung der allgemeinen Nachhaltigkeit von Gebäuden. Mit den entsprechenden Bewertungsverfahren kann die Leistung des Gebäudes, abhängig vom gewählten Bewertungstool, umfassend evaluiert werden.

Dennoch mangelt es immer noch an tiefergehenden Studien und kritischen Bewertungen bezüglich der Stellung von Fenstern und Fassadenelementen bei der ganzheitlichen Bewertung von Gebäuden. So fehlen zum Beispiel in jüngsten Studien Analysen darüber, wie die einzelnen Leistungsindikatoren für Fassaden und Fenster von deren Rahmenmaterial, d. h. Aluminium, Holz oder PVC, beeinflusst werden.

Im ersten Teil der Studie wird eine komplette Lebenszyklusbewertung und eine Lebenszykluskostenberechnung ausgeführt, um die ökologischen und ökonomischen Folgen von ähnlichen Fenstern und Fassadenelementen, gefertigt mit verschiedenen Rahmenelementen, zu evaluieren. Es werden nur die wichtigen Rahmenmaterialien¹ betrachtet, d. h. Aluminium, Holz und Holz-Aluminium für Fassadensysteme und Aluminium, Holz und Holz-Aluminium und PVC für Wohnfenster. Im zweiten Teil werden die allgemeinen Nachhaltigkeitsleistungen der verschiedenen Fenster- und Fassadensysteme unter Einsatz einer quantitativen Methodik verglichen, wobei die auf Basis von DGNB-GBRS-Kriterien, d. h. Kriterien hinsichtlich ökologischem Fußabdruck, ökonomischer Qualität, sozialer Qualität (z. B. Komfort), evaluierten Ergebnisse sowie technische und Prozessqualität summiert werden.

In dieser Studie werden die folgenden Schritte durchgeführt:

- Detaillierte Definition von typischen Fassaden- und Fenstersystemen,
- Berechnung von Wärmekomfort und Energieverbrauch unter Verwendung von fortgeschrittener numerischer Thermosimulation-Software. Zwei verschiedene europäische Klimazonen werden betrachtet (warmes und kaltes europäisches Klima),
- Berechnung der Lebenszykluskosten (LCC) gemäß ISO 15686-5,
- Berechnung der Lebenszyklusbewertung (LCA) nach ISO 14040 und EN 15804²,
- Vergleich von Bewertungstools für Green Building Zertifizierungssysteme bezüglich der Folgen von Fenster- und Fassadenlösungen.
- Entwicklung einer fundierten Reihe von Indikatoren zur Evaluierung der Nachhaltigkeit von verschiedenen Rahmenmaterialien in Fenstern und Fassaden

Allgemeiner Rahmen der Studie

Gemäß den oben beschriebenen Ziele und Schritte fokussiert sich die Studie auf die wichtigsten und relevantesten Szenarien für die Bewertung. Da in einer ganzheitlichen Bewertung eine breite Reihe von Indikatoren identifiziert werden, ist eine vollständige Entsprechung von ISO 14040, einschließlich Sensitivitätsanalyse für jeden Indikator, nicht Teil der Studie. Es wurden daher Parameter und Randbedingungen verwendet, die nur mit den relevantesten Szenarien korrespondieren, um robuste Ergebnisse zu liefern.

¹ Siehe Report für Task 0 zur vorbereitenden Studie über Eco-Design von Fenstern, www.ecodesign-windows.eu

² Diese Studie ist keine Umweltproduktdeklaration. LCA-Berechnungen basieren daher auf EN15804, die Ergebnisse entsprechen jedoch nicht den EN15804-Anforderungen

2 Executive Summary

2.1 Allgemeiner Überblick

Diese Studie bewertet und vergleicht die Nachhaltigkeitsaspekte verschiedener Fenster- und Fassadenrahmenmaterialien: Aluminium, Holz, Holz-Aluminium und PVC für Fenster und Aluminium, Holz, Holz-Aluminium für Fassaden. Es wird der gesamte Lebenszyklus, von Fertigung bis Nutzungsphase und End of Life, betrachtet. Für die Modellierung der Nutzungsphase wurden standardisierte Raumtypen für Wohn- und Büronutzung für zwei verschiedene Klimazonen (Berlin und Rom) als Basis für die Studie verwendet. Ein 3,75 m² Doppelflügel Fenster wird als Referenz für Wohnbauten festgelegt. Die Bürogebäudefassade ist definiert als 3-Achsen-Pfosten-/Riegel-Konstruktion mit einer Fläche von etwa 14 m².

Basierend auf der allgemeinen Nachhaltigkeitsbewertung zeigt diese Studie, dass jedes Rahmenmaterial sowohl Vorteile als auch Nachteile aufweist. So könnte zum Beispiel ein Material in ökonomischer Hinsicht überlegen sein, aber dafür weniger umweltfreundlich sein oder eine geringere soziale oder technische Qualität besitzen. Daraus folgt, dass anscheinend kein Rahmenmaterial die nachhaltigste Lösung für Fenster oder Fassaden bietet.

Aus Umweltschutzsicht demonstriert diese Studie, dass der Energiebedarf während der Gebäudebetriebsphase nach wie vor für die Gesamtauswirkungen auf die Umwelt von Fenstern bzw. Fassaden während deren gesamten Lebenszyklus maßgebend ist, wie bereits in älteren Studien gezeigt wurde¹²³.

Aus Gebäudenachhaltigkeitssicht ist daher die Optimierung der für die Energieleistung eines Gebäudes relevanten Effizienz von Fenstern und Fassaden wichtiger als die Auswahl eines spezifischen Rahmenmaterials.

Einfluss von Fenstern und Fassaden auf Green-Building-Bewertungssystem (Green Building Rating Scheme, GBRS)

Die Fassadenbewertung basiert auf den Nachhaltigkeitskriterien, im Sinne von EN 15643/1 (Nachhaltigkeit von Bauwerken - Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden), die im europäischen Immobiliensektor generelle Anwendung finden und das umfassendste System hinsichtlich Indikatoren und Beitrag auf Produktebene darstellt. Gemäß relevanten Green Building Rating Schemes (Green-Building-Bewertungssystemen) ist die Fassade ein wesentlicher Teil der Gebäudebewertung, da ihr Beitrag zum Gesamt-Nachhaltigkeitsrating von Gebäuden bis zu 10 % ausmacht.

Wärmekomfort and Energiebedarf während der Nutzungsphase

Im Hinblick auf den Wärmekomfort und Energiebedarf weisen die ausgewählten Rahmensysteme sehr ähnliche Eigenschaften auf. Nur der Wärmedurchgangswert ist verschieden, was primär auf ihre Profilbreite zurückzuführen ist. So konnten nur

¹ Richter K., Künniger T. and Brunner K. (1996) Ökologische Bewertung von Fensterkonstruktionen verschiedener Rahmenmaterialien (ohne Verglasung). EMPA-SZFF-Forschungsbericht, Schweizerische Zentralstelle für Fenster- und Fassadenbau (SZFF), Dietikon.

² Windsperger A., Steinlechner S. (1997), Piringer M., Ökologische Betrachtung von Fensterrahmen aus verschiedenen Werkstoffen, Institut für industrielle Ökologie, Wien, St Pölten

³ Kreissig J., Baitz M., Betz M., Straub W (1998)., Ganzheitliche Bilanzierung von Fenstern und Fassaden, Universität Stuttgart-IKP, VFF, Frankfurt

Studie über

Nachhaltigkeitsbewertung für Fenster und Fassadenelemente

geringe Differenzen von etwa 1,5 % bei ihren Energiebedarf während der Nutzungsphase, innerhalb der gleichen Klimazone, festgestellt werden.

Ökologische Bewertung über den gesamten Lebenszyklus (Life-Cycle Assessment, LCA)

Eine Lebenszyklusbewertung wird durchgeführt, um die Umweltfolgen von Fassaden und Fenstern zu bewerten. Durch Kombination von Fertigungs-, End-of-Life- und Nutzungsphase zeigt die LCA ähnliche Treibhauspotenziale (Global Warming Potential, GWP) für die vier Fenstertypen bzw. die drei Fassadentypen, unabhängig von ihrem Standort in Berlin oder Rom. Für beide Standorte ist vor allem die Nutzungsphase, d. h. der Energiebedarf des Referenzraums für die Gesamtergebnisse des GWP maßgeblich.

Ökonomische Bewertung über den gesamten Lebenszyklus (Life-Cycle Costing, LCC)

Gemäß Bewertung der Lebenszykluskosten schneidet Aluminium im Vergleich zu den anderen Fassadensystemen am besten ab. Die Anschaffungskosten und die gesamten Lebenszykluskosten sind niedriger als bei Holz- bzw. Holz-Aluminium-Systemen.

Im Wohnbau weisen PVC-Fenster die geringsten Investitionskosten auf. Für das gewählte Szenario scheinen ebenfalls PVC-Fenster die geringsten Lebenszykluskosten aufzuweisen.

2.2 Nachhaltigkeitsleistung

Eine fundierte Reihe von Indikatoren wird von den verbreiteten Green-Building-Rating-Tools abgeleitet und verwendet, um die Nachhaltigkeitsleistung der verschiedenen Profilmaterialien zu bewerten.

Ökologische Qualität

Der Energiebedarf während der Nutzungsphase bestimmt weitgehend das Treibhauspotenzial (GWP) von Fassaden- und Fenstersystemen. Bei Fassaden beträgt der Energiebedarf während der Nutzungsphase ungefähr 90 %, unabhängig von Fassadensystemen und Rahmenmaterialien. Bei Fenstern kommt der Beitrag während der Nutzungsphase bei allen untersuchten Systemen auf ungefähr 98 %.

Im Hinblick auf potentielle Risiken für die lokale Umwelt gilt Holz als problematischer als Aluminium und PVC, was vor allem auf die Verwendung von gefährlichen Stoffen, wie zum Beispiel Biozid-Lösungen in Holzrahmen, zurückzuführen ist. Aluminium- und PVC-Systeme erreichen hohe Qualitätswerte bei Green-Building-Zertifizierungssystemen im Hinblick auf die Risiken für die lokale Umwelt. Der Einsatz von Zinn als Stabilisator bei PVC-Rahmen wird aufgrund seines geringen Anteils im aktuellen Fenstermarkt nicht berücksichtigt.

In der Literatur berichtete End-of-Life-Sammel- und Recyclingquoten variieren sehr stark, insbesondere für PVC- und Holzrahmenmaterialien. In dieser Studie wurden diese Schwankungen in den jeweiligen LCA-Szenarien für „Mean Practice End of Life“ (Mean Practice für End of Life) und „Good Practice End of Life“ (Good Practice für

Studie über

Nachhaltigkeitsbewertung für Fenster und Fassadenelemente

End of Life) entsprechend erfasst. So kann zum Beispiel die nachhaltige Holzproduktion durch Zertifikate wie FSC oder PEFC, die am Markt bereits gut etabliert sind, gesichert werden. Im End-of-Life-Stadium ist bei Holzrahmen jedoch immer noch eine geringe Wiederverwendung oder Energierückgewinnung festzustellen und die meisten enden als Abfall auf Deponien. Die End-of-Life-Situation von Holzrahmen scheint daher immer noch ein Schwachpunkt in Lebenszyklus von Holz zu sein.

Aluminiumrahmen werden heute systematisch zu neuen Aluminiumprodukten verwertet. Ihre Sammelquote liegt derzeit bei nahezu 100%¹, was auf ihren hohen ökonomischen Wert und ihre Tauglichkeit für effizientes Recycling zurückzuführen ist. Alte Aluminiumrahmen werden am Markt um einen Preis verkauft, der typischerweise zwischen 50 % und 75 % des LME-Preises für Primäraluminium liegt

Recyceltes PVC weist nach wie vor einige technische Einschränkungen auf. Für die Fertigung von neuen Profilen muss zum Beispiel recyceltes PVC mit neuem PVC eingekapselt werden, hauptsächlich aus ästhetischen Gründen. Das heißt, recyceltes PVC kann neues unbehandeltes PVC nicht vollkommen ersetzen.

Im Hinblick auf die nachhaltige Nutzung von Ressourcen sind Aluminium und Holz positiv positioniert.

Ökonomische Qualität

Für Bürogebäude erweisen sich Fassaden aus Aluminium als beste Option hauptsächlich aufgrund ihrer Haltbarkeit und ihrem geringen Wartungsaufwand. Für Wohngebäude ergaben sich die niedrigsten Lebenszykluskosten mit PVC-Profilen, da deren Anschaffungskosten verglichen mit den anderen Materialien sehr niedrig sind.

Im Großen und Ganzen sind diese Abweichungen in Lebenszykluskosten begrenzt, da maximal 20 % der gesamten Kostenabweichungen zwischen den verschiedenen Lösungen beobachtet werden.

Soziale Qualität

Im Hinblick auf den Wärmekomfort kann zwischen den Profilmaterialien kein wesentlicher Unterschied festgestellt werden.

Bezüglich der Raumluftqualität haben Holzfassaden negative Auswirkungen aufgrund der Anwendung von Anstrichen, Bioziden und Lösungsmitteln mit längeren Emissionsabklingzeiten.

Das beste Material im Hinblick auf die Gestaltungsmöglichkeiten („architektonische Innovation“) ist Aluminium. Die mechanischen Eigenschaften und die Gestaltungsfreiheit von Holzfassaden ist aufgrund der niedrigen spezifischen Tragfähigkeit begrenzt, was breitere und tiefere Fensterrahmen-, Pfosten- und Riegelprofile zur Folge hat.

¹ Collection of Aluminium from Buildings in Europe, TU Delft study for EAA , 2004 available at <http://www.alueurope.eu/publications-building/>

Studie über

Nachhaltigkeitsbewertung für Fenster und Fassadenelemente

Technische Qualität

Aluminiumssysteme erfüllen alle Brandsicherheitsanforderungen auf höchstem Niveau, während Holz und PVC erhebliche Nachteile im Hinblick auf Brandverhalten und Rauchentwicklung aufweisen.

Prozessqualität

Die Prozessqualität steht für Wartungsaufwand, Bauprozesse, Montage und Einfachheit der Produktakquisition.

Im Hinblick auf Witterungsbeständigkeit bei starker Einwirkung von Regen, Sonnenstrahlung und starken Luftfeuchteänderungen erweist sich Aluminium als das nützlichste Material mit dem geringsten Wartungsaufwand.

Im Hinblick auf die Materialbeschaffung für ein Bauvorhaben ist bei Holzfassaden generell mit längeren Lieferzeiten zu rechnen, insbesondere bei größeren Projekten.

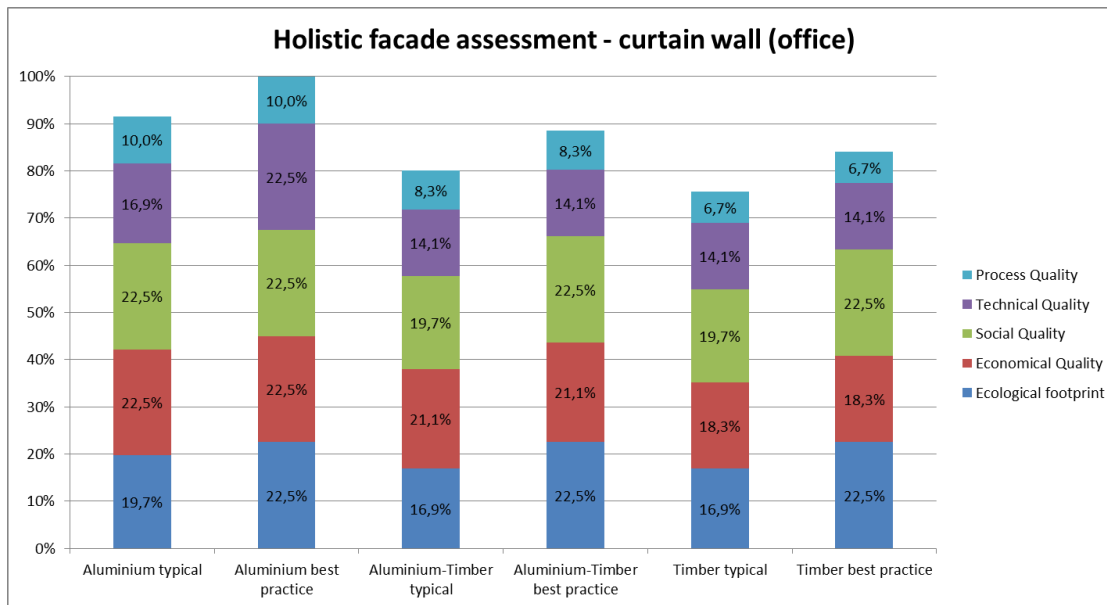
Im Wohnbaubereich sind alle Fenstersysteme in großem Umfang verfügbar.

Zusammenfassung - ganzheitliche Bewertung

Die Ergebnisse der ganzheitlichen Bewertung ergeben einen Überblick über nachhaltige Leistung von verschiedenen Fassaden- und Fenstermaterialien. Basierend auf einer vollständigen Reihe von Indikatoren werden die Systeme unter Berücksichtigung einer typischen Lösung sowie einer Best-Practice-Lösung für jedes Material bewertet. Die Vorteile und Nachteile der untersuchten Systeme werden durch Credits 0 (negativ), 1 (neutral) und 2 (positiv) bewertet. Dieses Bewertungssystem wird verwendet, um einen einfachen Überblick über die umfassende Leistung in Bezug auf nachhaltige Materialnutzung für Fassaden- und Fenstersysteme zu zeigen.

Bürogebäude – Fassadensysteme

Basierend auf der für dieses Projekt definierten quantitativen Methodik erzielt eine Aluminiumstandardfassade eine Gesamtnachhaltigkeitsleistung von 92 % der gesamten Credits, gegenüber 80 % für Holz-Aluminium- und 76 % für Holzfassaden. Die Aluminiumfassade scheint im Hinblick auf Lebenszykluskosten am besten abzuschneiden und weist auch Vorteile in technischen, funktionellen und gestalterischen Aspekten auf.



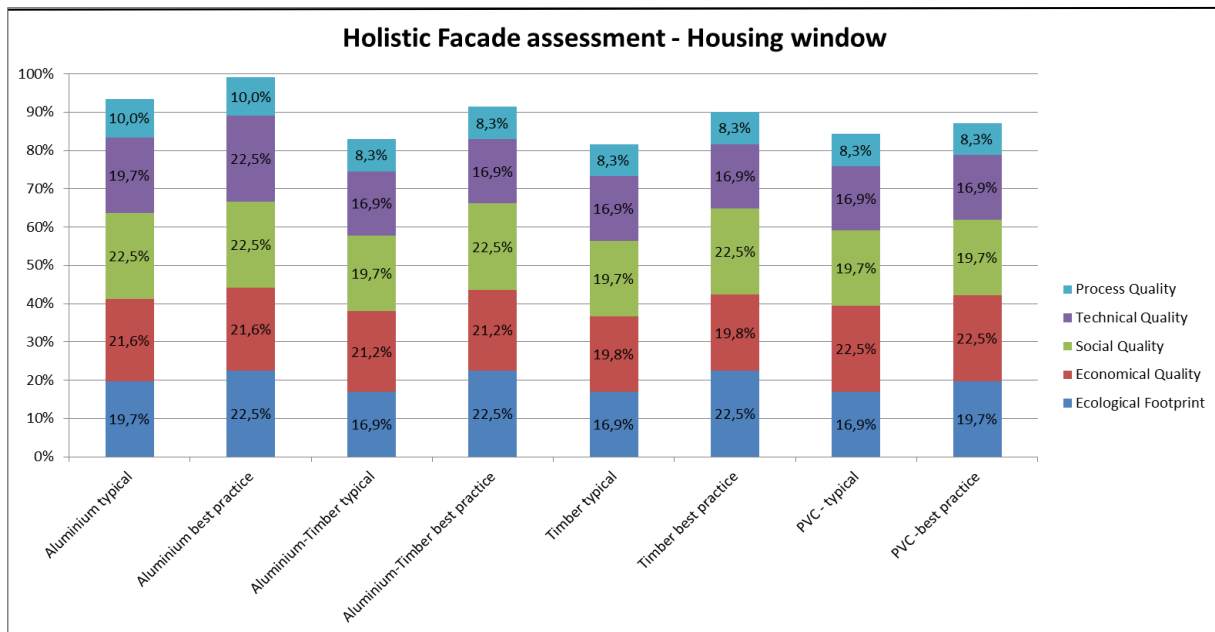
Figur 2-1: Ergebnisse Bewertung Fassadensystem – Büro

Holistic facade assessment - curtain wall (office)	Ganzheitliche Fassadenbewertung - Fassade (Büro)
Process Quality	Prozessqualität
Technical Quality	Technische Qualität
Social Quality	Soziale Qualität
Economical Quality	Ökonomische Qualität
Ecological Quality	Ökologische Qualität
Aluminium typical	Aluminium typisch
Aluminium best practice	Aluminium Best Practice
Aluminium-Timber typical	Aluminium-Holz typisch
Aluminium-Timber best practice	Aluminium-Holz Best Practice
Timber typical	Holz typisch
Timber best practice	Holz Best Practice

Wohngebäude – Fenstersysteme

Bei Fenstersystemen liefert diese Methodik eine Bewertung von 93 % für Aluminiumstandardfenster, 83 % für Aluminium-Holz, 82 % für Holz und 84 % für PVC. Im Hinblick auf Best Practice variieren die Bewertungen zwischen 99 % für Al und 87 % für PVC. Bei Berücksichtigung der mit der Kriteriendefinition assoziierten Subjektivität kann eine solche Varianz der Ergebnisse nicht als sehr bedeutend angesehen werden.

Das Aluminiumstandardfenster scheint im Hinblick auf technische, funktionelle und gestalterische Aspekten am besten abzuschneiden während PVC die niedrigsten Lebenszykluskosten aufweist.



Figur 2-2: Ergebnisse Bewertung Fenster – Wohnbau

Holistic facade assessment - Housing Window	Ganzheitliche Fassadenbewertung - Wohnungsfenster
Process Quality	Prozessqualität
Technical Quality	Technische Qualität
Social Quality	Soziale Qualität
Economical Quality	Ökonomische Qualität
Ecological Quality	Ökologische Qualität
Aluminium typical	Aluminium typisch
Aluminium best practice	Aluminium Best Practice
Aluminium-Timber typical	Aluminium-Holz typisch
Aluminium-Timber best practice	Aluminium-Holz Best Practice
Timber typical	Holz typisch
Timber best practice	Holz Best Practice
PVC typical	PVC typisch
PVC best practice	PVC Best Practice

3 Beschreibung von Fassaden- und Fenstersystemen

Diese Studie analysiert die allgemeine Leistung von verschiedenen Fassaden und Fenstern für zwei typische Klimabedingungen: Berlin und Rom. Es wurden für beide Orte jeweils die gleichen Energieleistungscharakteristiken für die verschiedenen analysierten Fenster- und Fassadensysteme verwendet. Dies ermöglicht einen fairen Vergleich der Systeme über ihren Lebenszyklus, da ihre Gestaltung auf Energieleistung ausgelegt ist. Diese Referenzenergieleistungscharakteristiken sind für typische Systeme, die in den beiden Klimazonen verwendet werden, repräsentativ.

3.1 Fenstersystem von Wohngebäuden

3.1.1 Allgemeine Eigenschaften von Fenstersystemen

Da es im Wohnbausektor in ganz Europa weit verbreitet ist, wird für den Zweck dieser Studie ein doppelt verglastes Drehkippfenster als Referenzfenster festgelegt. Ein Flügel des Fensters kann entweder oben nach innen gekippt oder mit seitlichen Scharnieren nach innen geöffnet werden. Der zweite Flügel des Fensters kann nur mit seitlichen Scharnieren nach innen geöffnet werden.

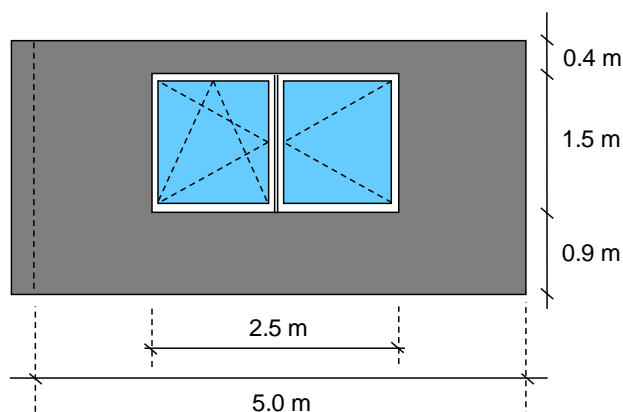
Wir unterscheiden zwischen vier Rahmenmaterialien oder Materialkombinationen: Aluminium, Holz, Holz-Aluminium und PVC.

Die generellen Spezifikationen der Fenstersysteme für Berlin und Rom sind wie folgt:

Abmessungen:

Fensterbreite: 2500 mm

Fensterhöhe: 1500 mm



Figur 3-1: Abmessungen Referenzfenster - Wohnbau

Dieses Referenzfenster hat folgende Charakteristiken:

– Bauphysik:	Berlin	Rom
– Verglasung:	Dreifach-Verglasung	Doppel-Verglasung
– U_w -Wert:	1,0 W/m ² K	2,0 W/m ² K
– U_g -Wert Richtwert:	0,7 W/m ² K	1,8 W/m ² K
– U_f -Wert Richtwert:	1,3 W/m ² K	2,0 W/m ² K
– g_{gl} -Wert :	60 %	60 %

Studie über

Nachhaltigkeitsbewertung für Fenster und Fassadenelemente

**DREES &
SOMMER**

 **PE INTERNATIONAL**
SUSTAINABILITY PERFORMANCE

- | | | |
|------------------------------------|-------------|-------------|
| – Lichtdurchlässigkeit: | > 65 % | > 65 % |
| – Akustische Anforderungen R_w : | 34 dB | 34 dB |
| – Luftdurchlässigkeit EN 12207: | Kategorie 4 | Kategorie 4 |

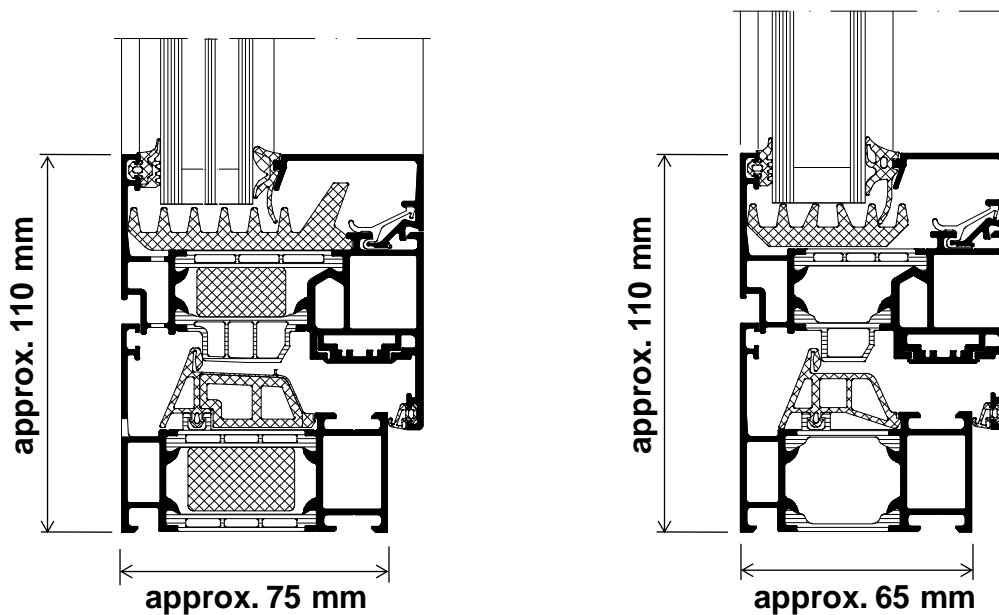
Die Auswahl der obigen Werte für den Wärmedurchgang der Fenster entspricht den maximalen geltenden Anforderungen für U_w -Wert in Deutschland und Italien¹.

¹ Atanasiu B., Maio J., Staniaszek D., Koulompi I., Kenkmann T. (2013), Overview of the EU-27 building policies and programs and cross-analysis on Member States nZEB-plans, Buildings Performance Institute Europe (BPIE) & Öko-Institut e.V., www.entranze.eu

3.1.2 Spezifische Eigenschaften von Fenstersystemen

Basierend auf den Referenzfenstercharakteristiken wurden typische Fenstersysteme, wie in den vier nächsten Abschnitten beschrieben, ausgewählt und dann in der LCA-Berechnung verwendet. Die geringe Abweichung, die möglicherweise zwischen der deklarierten Produktspezifikation und der obigen Liste von Charakteristiken des Referenzfensters existiert, wurde für das Wärmemodell nicht berücksichtigt.

Aluminiumfenstersysteme



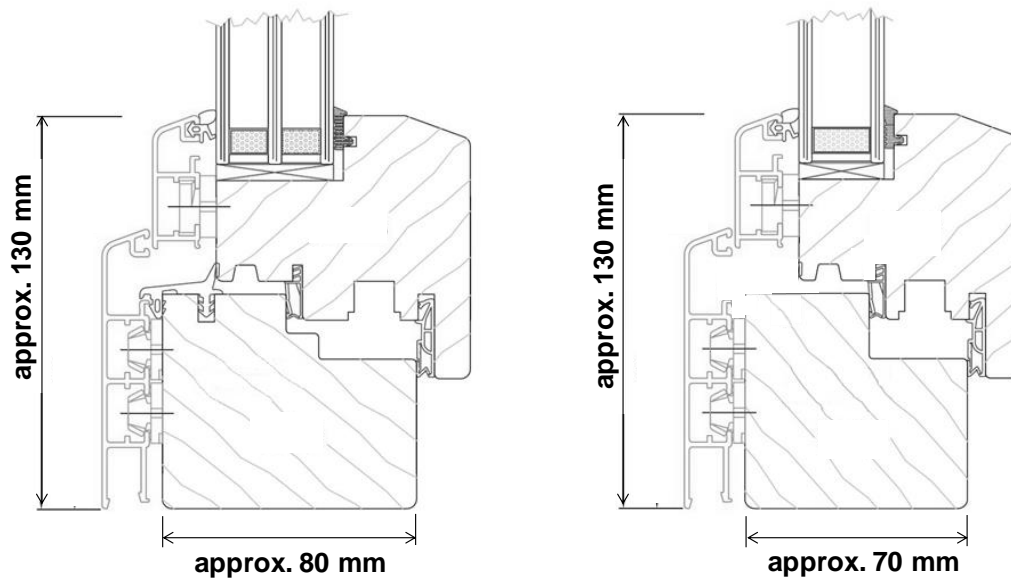
Figur 3-2: Vertikalschnitte von Aluminiumfenstersystemen (links: Berlin, rechts: Rom)

approx. 110 mm	ca. 110 mm
approx. 75 mm	ca. 75 mm
approx. 110 mm	ca. 110 mm
approx. 65 mm	ca. 65 mm

Doppelt verglastes Drehkipp-Aluminiumfenstersystem

- Thermisch getrennte Aluminiumprofilssysteme mit einer Tiefe von ungefähr 75 mm für Berlin und ungefähr 65 mm für Rom, gemäß Verglasungstiefe.
- Manuell zu öffnender Aluminium-Drehkippflügel, bündig montiert an Außenseite des Fensterrahmens.
- Anschlagdichtungen und Polyamidelemente mit Schaumkern für das Berlin-System und ohne Schaumkern für das Rom-System.
- Profilloberfläche: Pulverbeschichtung.

Holz-Aluminium-Fenstersystem



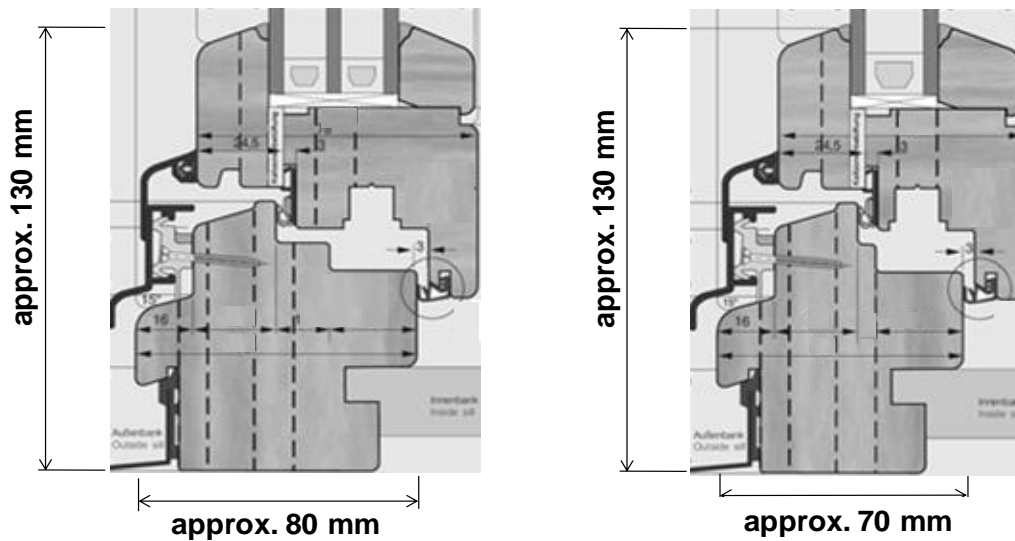
Figur 3-3: Holz-Aluminium-Fenstersystem (Berlin und Rom)

approx. 130 mm	ca. 130 mm
approx. 80 mm	ca. 80 mm
approx. 130 mm	ca. 130 mm
approx. 70 mm	ca. 70 mm

Zweiflügeliges Holz-Aluminium-Fenster, mit Aluminiummantel, rückseitig ventiliert, fixiert an der Außenseite der Holzprofile.

- Holzrahmen besteht aus mindestens drei Brettschichtlagen aus Kiefernholz, ungefähr 80 mm Tiefe für Berlin und ungefähr 70 mm Tiefe für Rom, gemäß Verglasungstiefe.
- Rahmenbreite ungefähr 130 mm.
- Holzrahmen-Eckverbindung mit gepressten und geleimten Zapfen- oder Bolzenverbindungen.
- Mittelprofil mit geleimter Zapfen- oder Bolzenverbindung.
- Äußerer Aluminiummantel besteht aus auf Gehrung zugeschnittenen Aluminium-Strangpressprofilen, rückseitig ventiliert, fixiert über glasfaserverstärkte Polyamidabstandprofile.
- Innere durchgehende dampfdichte Membranverbindung mit Unterstruktur.
- Äußere durchgehende Atmungs- und wasserdichte Verbindung mit Unterstruktur.
- Manuell zu öffnender Holz-Aluminium-Drehkipp-Lüftungsflügel, bündig montiert an Außenseite des Fensterrahmens.
- Aluminiumprofiloberfläche: Aluminium/Pulverbeschichtung.
- Holzprofiloberfläche: atmungsaktive transparente Holzfarbe.

Holzfenstersystem



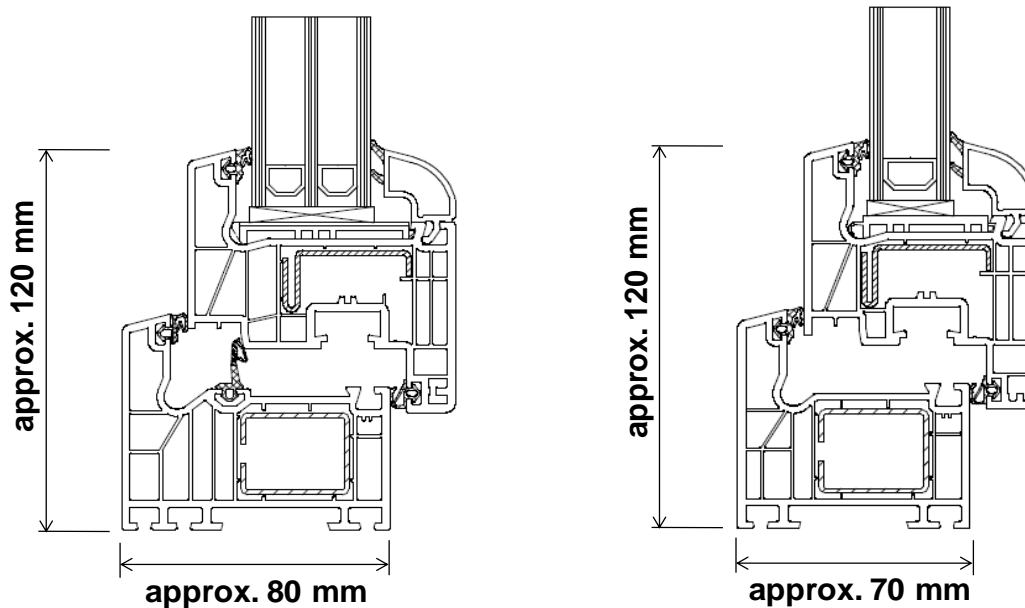
Figur 3-4: Holzfenstersystem (Berlin und Rom).

approx. 130 mm	ca. 130 mm
approx. 80 mm	ca. 80 mm
approx. 130 mm	ca. 130 mm
approx. 70 mm	ca. 70 mm

Zweiflügeliges Holz--Fenster in Rahmenkonstruktion.

- Holzrahmen besteht aus mindestens drei Brettschichtlagen aus Kiefernholz-Profilen, ungefähr 80 mm Tiefe für Berlin und ungefähr 70 mm Tiefe für Rom, gemäß Verglasungstiefe.
- Rahmenbreite ungefähr 130 mm.
- Holzrahmen-Eckverbindung mit gepressten und geleimten Zapfen- oder Bolzenverbindungen.
- Mittelprofil mit geleimter Zapfen- oder Bolzenverbindung.
- Innere durchgehende dampfdichte Membranverbindung mit Unterstruktur.
- Äußere durchgehende Atmungsmembran und wasserdichte Verbindung mit Unterstruktur.
- Manuell zu öffnender Holz-Drehkipp-Lüftungsflügel, bündig montiert an Außenseite des Fensterrahmens.
- Holzprofiloberfläche: atmungsaktive transparente Holzfarbe.
- Regenschutzprofil.

PVC-Fenstersysteme



Figur 3-5: Vertikalschnitte von PVC-Fenstersystemen (links: Berlin, rechts: Rom)

approx. 120 mm	ca. 120 mm
approx. 80 mm	ca. 80 mm
approx. 120 mm	ca. 120 mm
approx. 70 mm	ca. 70 mm

Doppelt verglastes Drehkipp-PVC-Fenstersystem

- Die extrudierten PVC-Rahmen bestehen aus mehreren Kammern mit einer Tiefe von ungefähr 80 mm für Berlin und 70 mm für Rom, gemäß Verglasungstiefe, (Stahlarmierungen).
- Geschweißte Eckverbindungen.
- Mittelprofil mit geschweißter Profulfugenverbindung.
- Innere durchgehende dampfdichte Membranverbindung mit Unterstruktur.
- Äußere durchgehende Atmungsmembran und wasserdichte Verbindung mit Unterstruktur.
- Oberfläche unbehandelt.

3.2 Fassadensystem für Bürogebäude

3.2.1 Allgemeine Eigenschaften von Fassadensystemen

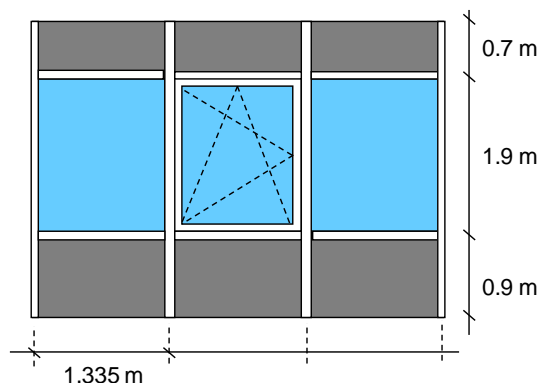
Die Studie analysiert Fassadensysteme aus drei verschiedenen Rahmenmaterialien: Aluminium, Brettschichtholz, entweder mit einer Abdeckkappe aus Holz oder aus Aluminium.

Das leichte gekappte Stick-System (Pfosten-Riegel-System) basiert auf einem 1335 mm weiten Gitter, aufgehängt an der Primärstruktur, zur Aufnahme vertikaler Kantenbrüche unter Nutzlast.

Die Referenzfassade dieser Studie ist definiert als eine 3-Achsen-Pfosten-/Riegel-Konstruktion für eine Bürofläche von ungefähr 20 m², einschließlich einem Dreh-/Kipfenster. Die generellen Spezifikationen der Fassadensysteme für Berlin und Rom sind wie folgt:

Abmessungen:

- Pfostenraster: 1335 mm
- Etagenhöhe: 3500 mm
- Fensterhöhe: 1900 mm
- Profilbreite: 50 mm



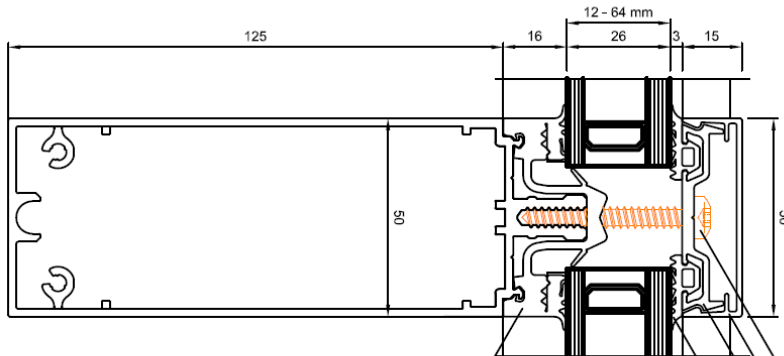
Figur 3-6: Abmessungen Referenzfassade - Büro

Bauphysik:	Berlin	Rom
– Verglasung:	Doppel-Verglasung	Doppel-Verglasung
– U_{cw} -Referenzwert:	1,1 W/m ² K	1,5 W/m ² K
– U_g -Richtwert:	1,1 W/m ² K	1,8 W/m ² K
– U_f Pfosten/Riegel Richtwert:	1,0 W/m ² K	1,6 W/m ² K
– U_f Fenster Richtwert:	<1,8 W/m ² K	<1,8 W/m ² K
– g_{gl} -Wert:	60 %	70 %
– Lichtdurchlässigkeit:	>65 %	>65 %
– Akustische Anforderungen R_w :	34 dB	34 dB
– Luftdurchlässigkeit EN 12207:	Kategorie 4	Kategorie 4

3.2.2 Spezifische Eigenschaften von Fassadensystemen

Das opake isolierte Brüstungs-Sandwichpaneel wurde für alle drei Fassadensysteme gleich konzipiert. Die Brüstung besteht aus 25 mm Gipsplatte, 3 mm Stahlblechen, bündig und dampfdicht mit innerem Pfostenflansch, ungefähr 140 mm Mineralwollisolierung (Wärmeleitfähigkeit 035) und einer Zementplatte an der Außenseite.

Aluminium-Pfosten- und Riegelsystem



Figur 3-7: Aluminium-Pfosten- und Riegelsystem (Horizontal schnitt)

Die Fassade ist hauptsächlich eine Glaskonstruktion und liefert die primäre luft- und wetterdichte Hülle des Gebäudes.

Die konkreten Rahmendetails können je nach Bauverfahren variieren. Typischerweise setzt sich die Fassade jedoch aus folgenden Elementen zusammen:

- Einem horizontalen durchgehenden Boden-bis-Decke-Aluminium-Pfosten-Riegel-System als Fassade.
- Gekapptem (50 mm weite und ca. 15 mm tiefe vertikale und 12 mm tiefe horizontale Aluminiumkappen) Pfosten-und Riegelsystem aus Aluminium-Strangpressprofilen, aufgehängt an Stahlhalterungen, die am Betonplattenrand fixiert und dreidimensional verstellbar sind.
- Zusätzlichem Brüstungspfosten als Sicherheitsbarriere gemäß lokalen Vorschriften für Sicherheitsbarrieren.
- Dreh-/Kipfenster mit $U_f < 1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- Das Glas wird mit herkömmlichen Aluminium- und EPDM-Komponenten gehalten. Die dekorative Aluminiumkappe sitzt auf einem verdeckten Aluminiumprofil.
- Pfostenabmessung: 50 mm x 125 mm extrudierte rechtwinklige Hohlprofile mit 1335 mm Abständen über 3500 mm. $U_f =$ ungefähr $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ (mit Schaumstoff) für Berlin ungefähr $1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ für Rom.
- Riegelabmessung: 50 mm x 125 mm extrudierte Aluminiumhohlprofile mit 1600/1900 mm Abständen
- Etagenhöhe: 3,5 m
- Externe vertikale Leisten (Aluminium) an Außenseite der Pfosten.
- Externe horizontale Leisten (Aluminium) an Außenseite der Riegel.

Studie über

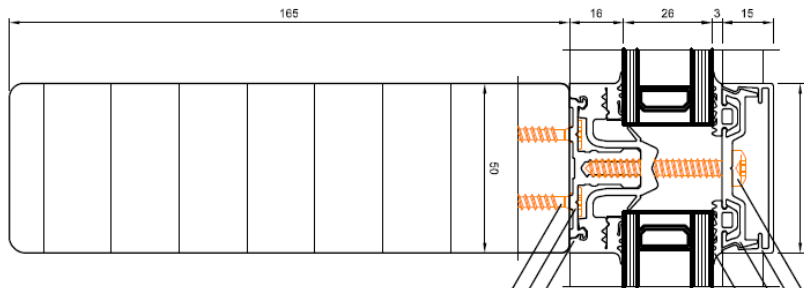
Nachhaltigkeitsbewertung für Fenster und Fassadenelemente

**DREES &
SOMMER**

 **PE INTERNATIONAL**
SUSTAINABILITY PERFORMANCE

- Innere dampfdichte Membranverbindung mit Unterstruktur.
- Äußere Atmungsmembran und wasserdichte Verbindung mit Unterstruktur.
- Berücksichtigung für externen Austausch der Verglasung.
- Alle Leisten am Ende gekappt.
- Profilloberfläche: Aluminium/Pulverbeschichtung.

Holz-/Aluminium-Pfosten- und Riegelsystem



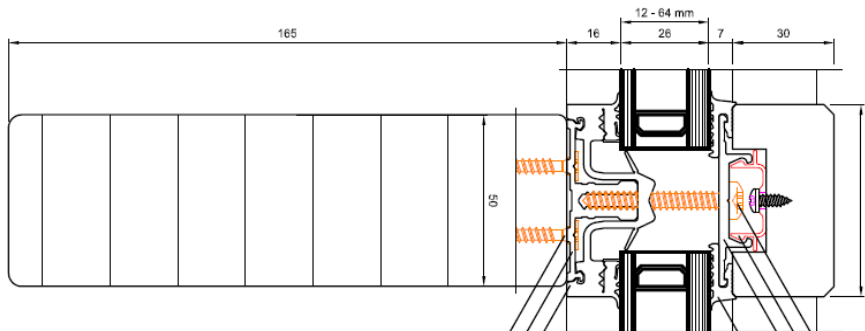
Figur 3-8: Brettschichtholz-Pfosten- und Riegelsystem (Horizontalschnitt)

Das gekappte Holz-/Aluminium-Pfosten- und Riegelsystem basiert auf einem 1335 mm weiten Gitter, typischerweise unten fixiert an und vor der Primärstruktur.

Detaillierte technische Leistungsbeschreibung:

- Gekapptes Holz-Pfosten- und Riegelsystem, fixiert am Betonplattenrand.
- Die Kappen sind 50 mm breit und die vertikalen Kappen 15 mm tief und die horizontalen Kappen 12 mm tief.
- Die Verglasung wird durch eine Zusatzkonstruktion mit thermischer Trennung, einschließlich Schaumkern, fixiert an Unterstruktur mit herkömmlichen Aluminium- und EPDM-Komponenten gehalten. Das dekorative Aluminiumabdeckprofil wird durch ein verdecktes Aluminiumprofil gehalten.
- Dreh-/Kipfenster mit $U_f < 1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- Pfostenabmessung: 50 mm x 165 mm massive rechteckige Profile 1335 mm Abständen über 3500 mm aus Brettschichtholz. Kiefernholzprofile, $U_f =$ ungefähr $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ (mit Schaumstoff) für Berlin ungefähr $1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ für Rom.
- Riegelabmessung: 50 mm x 165 mm massive rechteckige Profile an Ober- und Unterseite der Verglasung mit Holzdübeln.
- Etagenhöhe: 3,5 m
- Innere dampfdichte Verbindung mit Unterstruktur.
- Äußere Atmungsmembran und wasserdichte Verbindung mit Unterstruktur.
- Profilloberfläche: Aluminium/Pulverbeschichtung.
- Holzprofiloberfläche: atmungsaktive transparente Holzfarbe.

Holz-Pfosten- und Riegelsystem



Figur 3-9: Brettschichtholz-Pfosten- und Riegelsystem (Horizontalschnitt)

Das gekappte Holz-Pfosten-und Riegelsystem besitzt die gleichen Spezifikationen wie das gekappte Holz-/Aluminium-Pfosten- und Riegelsystem, abgesehen von den Kappen und dem äußeren Brüstungsmaterial.

Detaillierte technische Leistungsbeschreibung; gleiche Konstruktion wie Holz-/Aluminiumfassade mit den folgenden Änderungen und Ergänzungen:

- Die Holzdecken sind 50 mm breit und 30 mm tief.
- Oberfläche von Holzabdeckkappe: wetterfester Anstrich.
- Holzprofiloberfläche: atmungsaktive transparente Holzfarbe.

4 Energiebilanz und Gebäudesimulation

Für die Analyse der Lebenszyklusbewertung (LCA) und Lebenszykluskosten (LCC) sind Eingaben über die Energiebilanz und die CO₂-Emission während der Nutzungsphase der untersuchten Fassadensysteme erforderlich. Diese Werte werden durch numerische Gebäudesimulation unter Verwendung der TRNSYS-Software ermittelt. Die Gebäudesimulation wird außerdem genaue Werte liefern, um den internen Wärmekomfort bei unterschiedlichen Fassadensystemen zu bewerten. Die Ergebnisse der Simulation werden in Einheiten pro m² Nutzfläche und Jahr (Einheit/m²·a) bewertet.

4.1 Zusammenfassung

Thermosimulationen werden entweder mit einem Referenzbüroraum für die verschiedenen Fassadensysteme (Aluminium, Holz und Holz-Aluminium) oder mit einem Referenzwohnraum mit den verschiedenen ausgewählten Fenstern (Aluminium, Holz und Holz-Aluminium und PVC) durchgeführt.

Die Erfüllung des Wärmekomforts bzw. der thermischen Behaglichkeit ist vorwiegend von einem entsprechenden Heiz- und Kühlkonzept abhängig. Alle analysierten Fälle erzielen einen guten Wärmekomfort der Kategorie I (höchste Stufe) für sämtliche Orientierungen gemäß Kriterien von EN 15251. Die Simulation zeigt keine relevanten Unterschiede im Wärmekomfort zwischen Fassaden- und Fensterkonstruktionen.

Aufgrund der sehr ähnlichen Energieleistungsspezifikationen der analysierten Systeme, sind die von der Simulation resultierenden Gesamtenergieverbrauchswerte für die einzelnen verglichenen Systeme nahezu gleich. Für Bürogebäude kommt die Holzfassade auf einen leicht niedrigeren Energiebedarf aufgrund des geringeren Wärmeverlustes. Bei den Wohnsystemen erzielt das Aluminiumfenster die beste Energieleistung, hauptsächlich wegen der etwas höheren Nutzung der Sonnenenergie im Winter aufgrund einer größeren transparenten Fläche (siehe Endenergiebedarf und CO₂-Äquivalent in Tabelle 4-1 und Tabelle 4-2.)

Tabelle4-1: Energiebedarf von Büros

Office		End energy demand		CO2 emission	
Location	System	Gas	Electricity	Gas	Electricity
		[kWh/m²a]	[kWh/m²a]	[kgCO₂/m²a]	[kgCO₂/m²a]
Berlin	Aluminium	36,6	17,0	9,5	8,3
	Timber	35,8	17,0	9,3	8,3
	Timber/Aluminium	36,6	16,9	9,5	8,3
Rome	Aluminium	25,1	16,2	6,5	7,9
	Timber	24,9	16,2	6,5	7,9
	Timber/Aluminium	25,1	16,1	6,5	7,9

Office	Bürogebäude
Location	Ort
Berlin	Berlin
Rome	Rom
System	System
Aluminium	Aluminium
Timber	Holz
Timber/Aluminium	Holz/Aluminium
End energy demand	Endenergiebedarf
CO2 emission	CO2-Emission
Gas	Gas
Electricity	Strom

Tabelle4-2: Energiebedarf von Wohnbauten

Housing		End energy demand		CO2 emission	
Location	System	Gas	Electricity	Gas	Electricity
		[kWh/m²a]	[kWh/m²a]	[kgCO₂/m²a]	[kgCO₂/m²a]
Berlin	Aluminium	69,5	7,7	18,1	4,8
	PVC	70,1	7,7	18,3	4,8
	Timber	70,7	7,7	18,4	4,8
	Timber/Aluminium	71,1	7,7	18,6	4,8
Rome	Aluminium	25,9	9,2	6,9	5,1
	PVC	26,5	9,1	7,0	5,0
	Timber	26,8	9,1	7,1	5,0
	Timber/Aluminium	27,0	9,1	7,2	5,0

Housing	Wohngebäude
Location	Ort
Berlin	Berlin
Rome	Rom
System	System
Aluminium	Aluminium
PVC	PVC
Timber	Holz
Timber/Aluminium	Holz/Aluminium
End energy demand	Endenergiebedarf
CO2 emission	CO2-Emission
Gas	Gas
Electricity	Strom

4.2 Thermische Gebäudesimulation

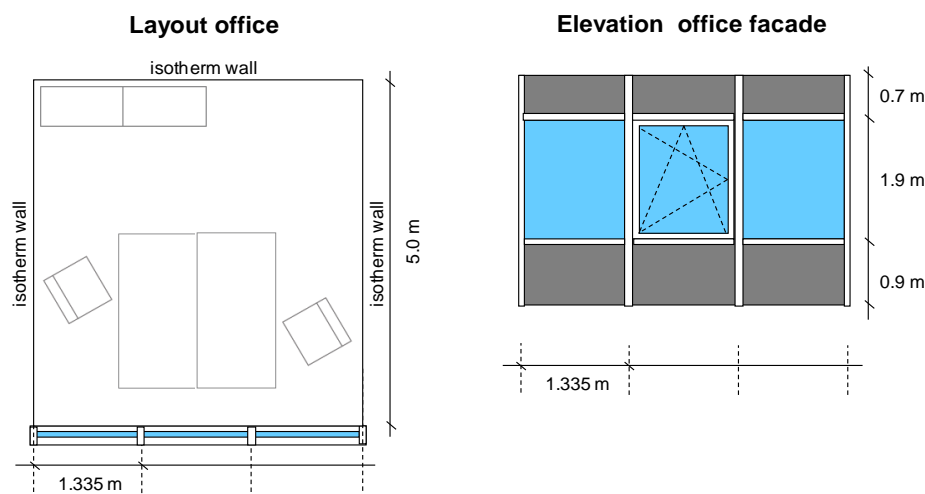
Bei der thermischen Gebäudesimulation wird das Zusammenspiel der HVAC- und Fassadenkonzepte unter Randbedingungen für typische Nutzungsszenarien und Klimas modelliert. Unter Verwendung von stündlichen Wetterdaten werden vier Büroräume des Gebäudes modelliert, um die verschiedenen Fassaden- und Fenstersysteme zu vergleichen. Dabei betrachtet man hauptsächlich die resultierenden Raumtemperaturen, um den Wärmekomfort und Energiebedarf für die verschiedenen Fassaden- und Fenstersysteme zu bewerten, welche als Randbedingung für die Lebenszyklusbewertung und Lebenszykluskosten für europäische Klimas (Berlin und Rom) dienen:

- Wärmekomfort des Raumklimas über das gesamte Jahr, basierend auf Raumbetriebstemperatur. Die Bewertung wird gemäß den Kriterien von EN 15251 ausgeführt.
- Spezifischer Energiebedarf in kWh/(m²·a) basierend auf typischen Nutzungsszenarien. CO₂-Emission und Energiekosten werden vom Energiebedarf abgeleitet.

4.2.1 Simulationsmodell

Referenzbüroraum und -wohnraum sind mit Standardcharakteristiken definiert. Figur 4-1 bis Figur 4-4 zeigen die Büroraum- und Wohnraum-Simulationsmodelle sowie das in der Simulation modellierte Energiekonzept.

Der Büroraum ist für zwei Leute konzipiert und hat eine Fassade in drei Achsen mit 1,335 m und 3,5 m Höhe. Die Fassade hat zwei feste transparente Fenster und einen öffnenden Drehkipplügel in der Mittelachse über einem opaken isolierten Brüstungs-Sandwichpaneel. Dieses Simulationsmodell wird für vier Orientierungen, Norden, Osten, Süden und Westen, berechnet, was einen mittleren Energiebedarf basierend auf einem jeweiligen Beitrag von 15 %, 25 %, 35 % und 25 % von jeder Orientierung von Norden bis Westen ergibt.



Figur 4-1: Referenzbüro: Grund- und Aufriß

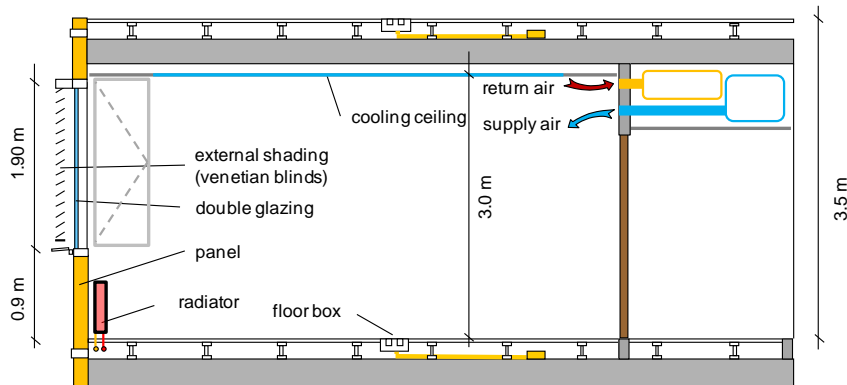
Layout office	Grundriss Bürogebäude
Elevation office facade	Aufriss Bürogebäude-Fassade
Isotherm wall	Isotherm-Wand

Die wesentlichen Charakteristiken des bauklimatischen Konzepts der Büros sind:

- Doppel-Verglasung in Berlin, g_{gl} -Wert = 0,6, $U_{cw} = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$,
- Doppel-Verglasung in Rom, g_{gl} -Wert = 0,7, $U_{cw} = 1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$,
- Externer Sonnenschutz, $F_c = 0,25$ (Mittelwert),
- Zwangsbelüftung durch AHU-System,
- Heizkörper unter öffnenden Fenster/Paneel zur Abdeckung der Heizlasten,
- Kühldecke.

Studie über

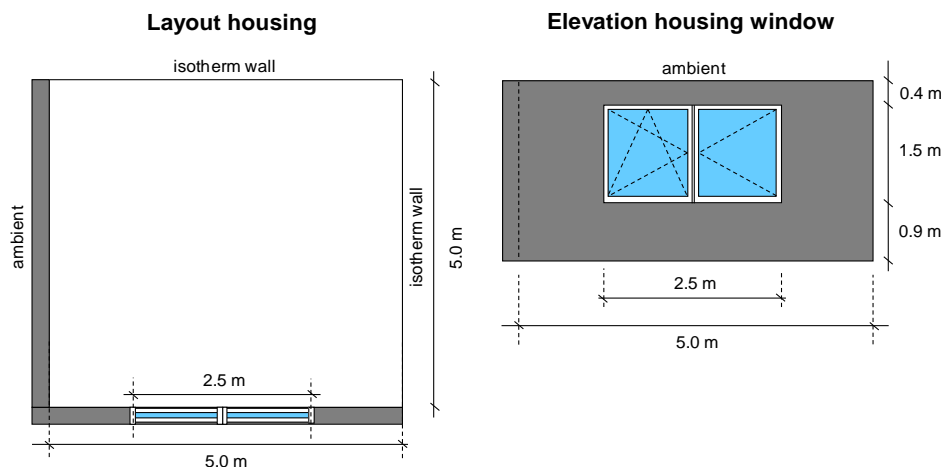
Nachhaltigkeitsbewertung für Fenster und Fassadenelemente



Figur 4-2: Referenzbüro: Energiekonzept.

External shading (venetian blinds)	Externer Sonnenschutz (Jalousien)
Double glazing	Doppelverglasung
panel	Paneel
radiator	Heizkörper
Floor box	Bodenkasten
Cooling ceiling	Kühldecke
Return air	Abluft
Supply air	Zuluft

Die Analyse von typischen Wohnräumen basiert auf einem Standortflügel Fenster mit einer Größe von 2,5 m x 1,5 m. Das Fenster ist mit einem Drehkippflügel und einem Drehflügel ausgelegt, installiert in einem Raum mit 25 m². Dieses Simulationsmodell wird für vier Orientierungen, Norden, Osten, Süden und Westen, berechnet, unter Berücksichtigung eines mittleren Energiebedarfs als Summe von jeder Orientierung und der jeweiligen Fraktion als 15 %, 25 %, 35 % und 25 %.



Figur 4-3: Referenzwohnraum: Grund- und Aufriss

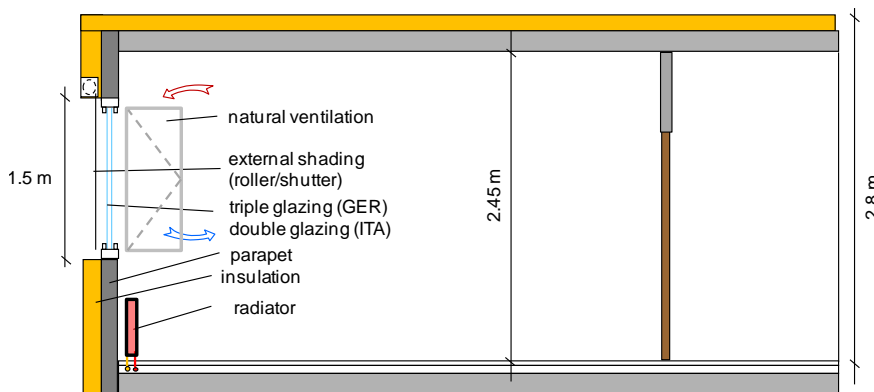
Studie über

Nachhaltigkeitsbewertung für Fenster und Fassadenelemente

Layout housing	Grundriss Wohngebäude
Elevation housing window	Aufriss Wohnungsfenster
Isotherm wall	Isotherm-Wand
ambient	Umgebung

Die wesentlichen Charakteristiken des bauklimatischen Konzepts der Wohnungen sind:

- Dreifach-Verglasung in Berlin, g_{gl} -Wert = 0,6, $U_w = 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$,
- Doppel-Verglasung in Berlin, g_{gl} -Wert = 0,6, $U_w = 2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$,
- Externer Rollladen, $F_c = 0,3$ (Mittelwert),
- Natürliche Lüftung durch manuell betätigten Öffnungsflügel,
- Heizkörper unter öffnenden Fenster/Paneel zur Abdeckung der Heizlasten,
- Keine Kühlung in Berlin,
- Split-Kühlsystem in Rom, ca. 9000 Btu.



Figur 4-4: Referenzwohnraum: Energiekonzept

Natural ventilation	Natürliche Lüftung
External shading (roller/shutter)	Externer Sonnenschutz (Rollladen)
Triple glazing (GER)	Dreifachverglasung (DE)
Double glazing (ITA)	Doppelverglasung (IT)
Parapet insulation	Brüstungsisolierung
radiator	Heizkörper

4.2.2 Randbedingungen

Die wesentlichen Randbedingungen für die Simulation werden nachstehend zusammengefasst.

4.2.2.1 Software

Die verwendete Simulationssoftware ist TRNSYS Version 15. TRNSYS ist gemäß der BESTEST-Methode validiert und wird im Zusammenhang mit Vergleichsrechnung von VDI 6020 verwendet. TRNSYS wird auch von ASHRAE empfohlen. Die Berechnungen erfolgen mit einem Zeitschritt von 1 Stunde.

4.2.2.2 Klima

Für Berlin und Rom werden von Meteonorm 5 generierte Wetterdaten in der Simulation berücksichtigt. Die Datensätze bieten stündliche Werte für ein Jahr, einschließlich Außentemperatur, Außenfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit und Sonneneinstrahlung an horizontalen Flächen (diffus und direkt). Sie repräsentieren typische nord- und südeuropäische Klimata. Die Umgebungstemperatur der verwendeten Wetterdatenbanken variiert zwischen ungefähr -17 °C und 30 °C in Berlin und zwischen -2 °C und 34 °C in Rom.

Wärmeinseleffekte in Städten werden nicht berücksichtigt.

Die Wetterdatenbank enthält stündliche Werte von folgendem:

- Umgebungstemperatur,
- Umgebungsfeuchtigkeit,
- Windgeschwindigkeit und -richtung
- Diffuse und direkte Sonneneinstrahlung.

4.2.2.3 Typgebäude

Büro

Bodenplatten: 100 mm Hohlboden; 300 mm Beton

Interne Wand: 25 mm Gipsplatte; 50 mm Mineralwolle; 25 mm Gipsplatte

Paneel: 140 mm Isolierung 0,035 W/mK

Fassade: siehe Tabelle 4-3

Tabelle 4-3: Randbedingungen von Fassadensystemen (Büro) – Anhang 1.

Standard fassade	Aluminium		Holz		Holz/Aluminium	
	Berlin	Rom	Berlin	Rom	Berlin	Rom
Fläche Glas/Rahmen/Paneel	6,71 / 1,33 / 5,98 m ²		6,67 / 1,39 / 5,89 m ²		6,67 / 1,39 / 5,89 m ²	
g _{gl} -Wert von Verglasung	0,6	0,7	0,6	0,7	0,6	0,7
Lichtdurchlässigkeit	70 %	75 %	70 %	75 %	70 %	75 %
U _{cw} Fassade Referenzwert	1,1 W/m ² K	1,5 W/m ² K	1,1 W/m ² K	1,5 W/m ² K	1,1 W/m ² K	1,5 W/m ² K
U _g Verglasung Referenzwert	1,1 W/m ² K	1,8 W/m ² K	1,1 W/m ² K	1,8 W/m ² K	1,1 W/m ² K	1,8 W/m ² K
U _f Pfosten/Riegel Richtwert	1,0 W/m ² K	1,6 W/m ² K	1,0 W/m ² K	1,6 W/m ² K	1,0 W/m ² K	1,6 W/m ² K
U _f Fensterrahmen Richtwert	1,8 W/m ² K		1,8 W/m ² K		1,8 W/m ² K	
Psi-Wert Zwischenstück aus Edelstahl	0,06 W/mK		0,05 W/mK		0,05 W/mK	
Profilfrontbreite	50 mm Standardprofil 120 mm Fensterprofil		50 mm Standardprofil 130 mm Fensterprofil		50 mm Standardprofil 130 mm Fensterprofil	
Profiltiefe	125 mm		165 mm		165 mm	
Gesamttiefe Fassade	375 mm		425 mm		415 mm	

Wohnhaus

Bodenplatten: 10 mm Bodenbelag; 60 mm Estrich; 80 mm Trittschalldämmung; 200 mm Beton

Dach: 180 mm Isolierung; 250 mm Beton;

Trennwand: 100 mm Ziegel

Außenwand: 150 mm Beton; 140 mm Isolierung 0,035 W/mK

Fenster: siehe Tabelle 4-4

Tabelle 4-4: Randbedingungen von Fenstersystemen (Wohnhaus)

Standard fenster	Aluminium		PVC		Holz		Holz/Aluminium	
	Berlin	Rom	Berlin	Rom	Berlin	Rom	Berlin	Rom
FlächeFenster/Rahmen	3,75 / 1,04 m ²		3,75 / 1,13 m ²		3,75 / 1,21 m ²		3,75 / 1,21 m ²	
g _{gl} Verglasung	0,6		0,6		0,6		0,6	
U _g Verglasung	0,7 W/m ² K	1,8 W/m ² K	0,7 W/m ² K	1,8 W/m ² K	0,7 W/m ² K	1,8 W/m ² K	0,7 W/m ² K	1,8 W/m ² K
U _f Rahmen	1,3 W/m ² K	2,0 W/m ² K	1,3 W/m ² K	2,0 W/m ² K	1,3 W/m ² K	2,0 W/m ² K	1,3 W/m ² K	2,0 W/m ² K
U _w Fenster	1,0 W/m ² K	2,0 W/m ² K	1,0 W/m ² K	2,0 W/m ² K	1,0 W/m ² K	2,0 W/m ² K	1,0 W/m ² K	2,0 W/m ² K
Psi-Wert Zwischenstück aus Edelstahl 1)	0,067 W/mK		0,052 W/mK		0,052 W/mK		0,058 W/mK	
Rahmenbreite	110 mm Standardrahmen		120 mm Standardrahmen		130 mm Standardrahmen		130 mm Standardrahmen	

Anm.: 1) Quelle [01]: Messung von IFT Rosenheim, Hochschule für angewandte Wissenschaften

4.2.2.4 Sonnenschutz

Sonnenschutz Büro: Der Sonnenschutz wird gemäß einfallender Sonnenstrahlung und Fassadenorientierung geregelt. Das Sonnenschutzsystem wird aktiviert, wenn die Sonneneinstrahlung an der Fassade 200 W/m² überschreitet, und deaktiviert, wenn die Sonneneinstrahlung an der Fassade unter 150 W/m² fällt. Nachts, zwischen 19:00 Uhr und 7:00 Uhr, sind die Sonnenschutzzeineinrichtungen geschlossen.

Wohnhaus Rollläden: aktiviert während des Sommers und wenn Sonneneinstrahlung am Fenster 200 W/m² übersteigt; deaktiviert, wenn Sonneneinstrahlung am Fenster unter 150 W/m² fällt.

Studie über

Nachhaltigkeitsbewertung für Fenster und Fassadenelemente

**DREES &
SOMMER**



Eine windabhängige Regelung des Sonnenschutzes wird in den Simulationen nicht berücksichtigt.

Studie über

Nachhaltigkeitsbewertung für Fenster und Fassadenelemente

4.2.2.5 Interne Wärmequellen

Büro

Die Nutzungsperiode in der Simulation ist an Wochentagen von Montag bis Freitag von 8:00 Uhr bis 18:00 Uhr. Als niedrige Nutzung von 33 % gilt die Zeit von 8:00 Uhr bis 9:00 Uhr, von 17:00 Uhr bis 18:00 Uhr und während der Mittagspause von 12:00 Uhr bis 13:00 Uhr. Dies korrespondiert mit einer Nutzungszeit von 8 Stunden pro Tag.

Der Büroraum wird von zwei Leuten genutzt und die Wärmelasten sind 70 W/Person und 100 W/Arbeitsplatz für Geräte.

Beleuchtung ist während der Nutzungszeit eingeschaltet, mit 8 W/m², falls Sonneneinstrahlung horizontal < 150 W/m², und mit 12 W/m², falls Sonneneinstrahlung horizontal < 50 W/m².

Wohnhaus

Die Nutzungsperiode ist von 19:00 Uhr bis 6:00 Uhr von Montag bis Freitag und 24 Stunden am Wochenende.

Der Raum wird von einer theoretischen halben Person genutzt und die Wärmelasten betragen 70 W/Person und 2,5 W/m² für Geräte.

Beleuchtung ist während der Nutzungszeit eingeschaltet, mit 5 W/m² zwischen 6:00 Uhr und 22:00 Uhr, falls Sonneneinstrahlung horizontal < 50 W/m².

Allgemeines

Das Okkupationsprofil basiert auf folgenden Bedingungen:

- Das Jahr beginnt am Montag.
- Ferienzeiten werden vernachlässigt.
- Temperaturkorrekturen aufgrund des des Wärmeinseleffektes werden nicht berücksichtigt.

4.2.2.6 Klimatisierung

Nur der Büroraum ist mit einem Klimagerät (AHU, air handling unit) ausgestattet, mit Heiz- und Kühlfunktionen und Wärmerückgewinnung von 70 %. Feuchtigkeitsregelung wird nicht berücksichtigt. Eine natürliche Luftentfeuchtung kann bei hoher Umgebungsfeuchtigkeit auftreten. Die mittlere Temperatur an der Kühlturbine ist 9 °C.

Die wesentlichen Charakteristiken der mechanischen Lüftung werden in der Simulation wie folgt berücksichtigt:

- Zulufttemperatur: 20 °C,
- Betriebsperiode: von Montag bis Freitag, von 6:00 Uhr bis 20:00 Uhr,
- Spezifische Luftaustauschrate: 4.5 m³/h.m².

4.2.2.7 Natürliche Lüftung und Infiltration

Ein Infiltrationsluftwechsel von $0,1 \frac{1}{h}$ wird für alle Fälle als mittlerer Wert für neue und 30 Jahre alte Fassadensysteme berücksichtigt. Erhöhte Infiltration bei Holz- oder PVC-Fenstern im Verlauf der Zeit wird vernachlässigt.

Für Wohngebäude wird nur zusätzliche natürliche Lüftung, mit Luftaustauschrate abhängig von Umgebungslufttemperatur und Lufttemperaturgradienten zwischen innen und außen, wie folgt berücksichtigt:

- mittlere natürliche Lüftung: $0,5 \frac{1}{h}$,
- falls Raumtemperatur $> 25 \text{ °C}$, bis $4,0 \frac{1}{h}$.

4.2.2.8 Heizung und Kühlung

Die Büroräume in Deutschland (DE) und Italien (IT) sind mit Heiz- und Kühlsystemen ausgestattet. Für die Schätzung des gesamten Energiebedarfs werden Zentralheizungs- und Kühlsysteme berücksichtigt.

Nur für Wohngebäude in Italien gelten Klimaanlage als Standard. In Deutschland gibt es in Wohnhäusern normalerweise kein Kühlsystem. Die Randbedingungen für die Gebäude-Heiz- und Kühlsysteme sind:

Büro

- Spezifische Heizleistung: max. 40 W/m^2
- Heizperiode: 1. September bis 30. April DE
19. Oktober bis 30. April IT
- Solltemperaturheizung: $21,5 \text{ °C}$ (Mo-Fr, 5:00 Uhr bis 19:00 Uhr)
 18 °C (Mo-Fr, 19:00 Uhr bis 5:00 Uhr und Wochenende)
- Kühldecke: 70% von Nettodeckenraum
- Spezifische Kühlleistung: 80 W/m^2 aktiver Bereich ($dT 10\text{K}$) DE
 90 W/m^2 aktiver Bereich ($dT 10\text{K}$) IT
- Solltemperaturkühlung: $24,5 \text{ °C}$

Wohnhaus

- Spezifische Heizleistung: max. 40 W/m^2
- Heizperiode: 1. September bis 30. April DE
19. Oktober bis 30. April IT
- Solltemperaturheizung: 22 °C (Mo-So, 6:00 Uhr bis 22:00 Uhr)
 18 °C (Mo-So, 22:00 Uhr bis 6:00 Uhr)
 18 °C (ungenutzter Raum)
- Kühlsystem: Split
- Solltemperaturkühlung: $26,0 \text{ °C}$
- Kühlperiode: Mo-Fr, 19:00 Uhr bis 6:00 Uhr und Wochenende 24 h, falls genutzt

Energieerzeugung

- Heizung: Gastherme (Erdgas), Wirkungsgrad 95 %
Wärmeverluste 15 %
- Kühlung Büro: Chiller, SEER 4.5 (Schraubenkompressor)
Kühlverluste 5 %
- Kühlgehäuse: Split, SEER 3 (nur für IT)
- Preis für Gas: 0,07 €/kWh (DE und IT)
- Preis für Strom: 0,25 €/kWh (DE und IT)
0,20 €/kWh (IT)

4.2.3 Thermischer Komfort nach EN 15251

Die EN 15251 beschreibt Kriterien für die Kategorisierung des Raumkomforts. Basierend auf dem Voraussichtlichen Anteil Unzufriedener (PPD, Predicted Percentage of Dissatisfied, ISO 7730) werden Grenzwerte für Raumtemperatur, Feuchtigkeit und Raumluftqualität für vier Kategorien des Raumkomfort bestimmt. Die Kriterien von Kategorie I bis Kategorie IV werden der folgenden Tabelle detailliert.

Tabelle 4-5: Auslegungsempfehlung laut DIN EN 15251 für Büros

Kategorie	Beschreibung	Auslegung Innentemperatur	Belüftungsraten
I	Hohe Erwartungen, empfohlen für Räume, für empfindliche Menschen mit speziellen Bedürfnissen	Winter : 21 °C Sommer: 25.5 °C	1,7 – 2,0 l/s m ²
II	Normale Erwartungen, empfohlenen neuen Gebäuden und in sanierten Gebäuden	Winter : 20 °C Sommer: 26 °C	1,2 – 1,4 l/s m²
III	Akzeptabel, moderate Erwartungen können in existierenden Gebäuden umgesetzt werden	Winter : 19 °C Sommer: 27 °C	0,7 -0,8 l/s m ²
IV	-	-	Werte außerhalb der obigen Kategorien. Diese Kategorie sollte nur für einen begrenzten Teil des Jahres zutreffen.

Raumluftqualität, Zugluft, Temperaturasymmetrie, Gradient der Lufttemperatur und mittlere Betriebstemperatur sind die thermischen Werte, nach denen der Wärmekomfort beschrieben und evaluiert wird, der durch die Fassade beeinflusst werden kann. Aufgrund der ähnlichen Charakteristiken der untersuchten Systeme (z. B. Luftaustauschrate, Infiltration etc.) werden für die Bewertung des Wärmekomfort nur die Raumbetriebstemperaturen berücksichtigt. Die europäische Norm 15251 empfiehlt für neue Gebäude einen Wärmekomfort der Kategorie II. Diese Anforderung wird erfüllt, wenn die Zeitperiode mit einer Raumbetriebstemperatur über 26 °C 3 % nicht überschreitet, ungefähr 80 Std/J.

4.3 Ergebnisse

Die Ergebnisse werden in Figur 4-5 bis Figur 4-17 als eine Reihe von Diagrammen präsentiert, um die Fassaden- und Fenstersysteme in Berlin und Rom für Bürogebäude und Wohngebäude mit südseitiger Orientierung zu vergleichen (für vollständige Simulationsergebnisse siehe Anhang 2). Die Diagrammreihen umfassen:

– Temperaturprofile

Diagramme zeigen die Bewertung der Innentemperatur während einer Woche im Sommer und Winter für alle Systeme. Die Außentemperatur wird ebenfalls auf der rechten Achse präsentiert. Die gestrichelte Linie zeigt die Betriebszeit als ein/aus.

– Häufigkeit der Grenzwertüberschreitung von Innentemperatur

Pro Fassaden-/Fenstertyp und Raum gibt es zwei Diagramme, die zeigen, wie oft die Innentemperaturen obere und untere Grenzwerte überschreiten:

- Überschreitung der oberen Grenzwerte unter Anwendung von Standardwetterdaten,
- Unterschreitung der unteren Grenzwerte unter Anwendung von Standardwetterdaten.

– Klassifizierung gemäß EN 15251

Es gibt sechs Diagramme, die die Klassifizierung gemäß Komfortkriterien für Bürogebäude nach EN 15231 zeigen. Auf der x-Achse ist der gleitende Durchschnitt der Umgebungstemperatur aufgetragen und auf der Y-Achse ist die Raumbetriebstemperatur aufgetragen. Die roten Punkte repräsentieren jeweils eine Stunde während einem Jahr Nutzungszeit. Die mit blau, grün und gelb markierten Bereiche repräsentieren die Kriterien für die unterschiedlichen Komfortkategorien. Wenn zum Beispiel ein roter Punkt in einem blauen Bereich ist, werden die Kriterien für Kategorie I erfüllt.

An der Unterseite ist eine Bewertung, die in Prozent das Auftreten jeder Kategorie während der Nutzungsperiode zeigt. Die Kriterien für eine Kategorie sind erfüllt, wenn die Überschreitung der Grenzwerte unter 3 % der Nutzungszeit liegt.

Die Klassifizierung gilt nur für Bürogebäude.

– Energiebedarf, CO₂-Emission, Energiekosten

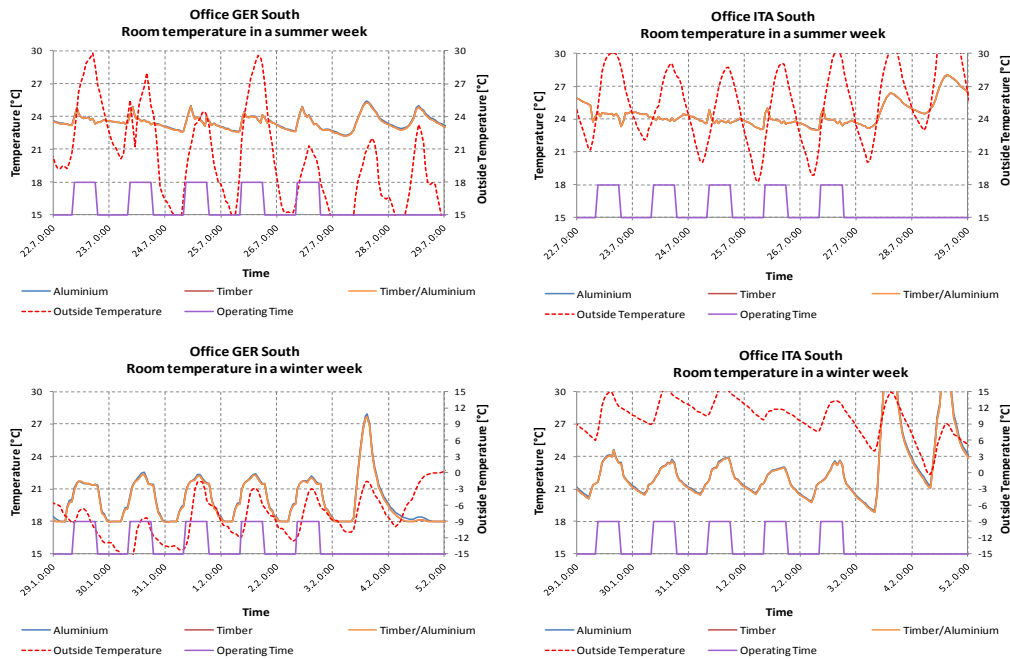
Die Grafiken zeigen den spezifischen Gas- und Stromenergiebedarf in kWh pro m² Nutzfläche und Jahr, die entsprechende Emission von Kohlendioxid in kg CO₂/m²·a und die entsprechenden Energiekosten in €/m²·a .

Gasverbrauch: nur für Heizung

Stromverbrauch: für Kühlung, Lüftung und Beleuchtung

Studie über

Nachhaltigkeitsbewertung für Fenster und Fassadenelemente

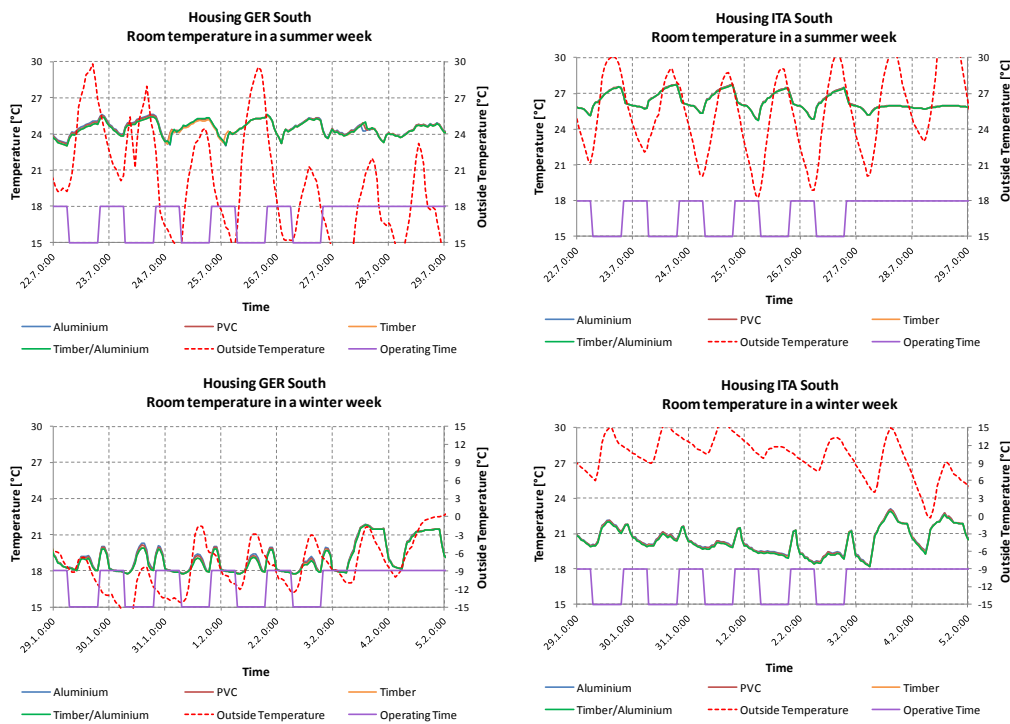


Figur 4-5: Innen- und Außentemperaturprofile: Büro Süden, Sommer/Winter, DE/IT

Office GER South Room temperature in a summer week	Büro DE - Süden Raumtemperatur in einer Sommerwoche
Temperature	Temperatur
Outside Temperature	Außentemperatur
Time	Zeit
Aluminium	Aluminium
Timber	Holz
Timber/Aluminium	Holz/Aluminium
Outside Temperature	Außentemperatur
Operating Time	Betriebszeit
Office ITA South Room temperature in a summer week	Büro IT - Süden Raumtemperatur in einer Sommerwoche
Office GER South Room temperature in a winter week	Büro DE - Süden Raumtemperatur in einer Winterwoche
Office ITA South Room temperature in a winter week	Büro IT - Süden Raumtemperatur in einer Winterwoche

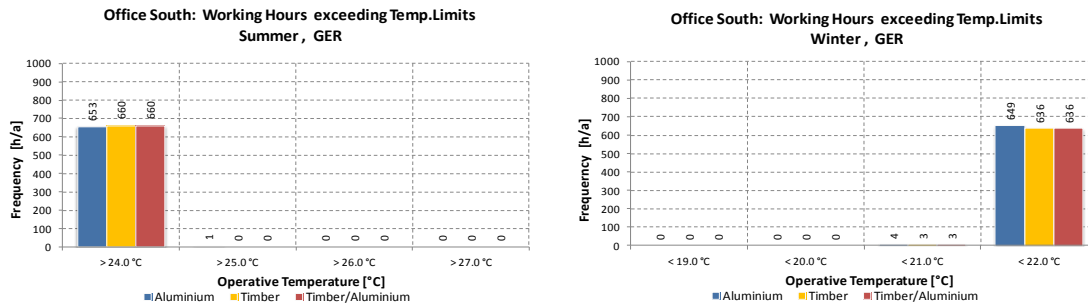
Studie über

Nachhaltigkeitsbewertung für Fenster und Fassadenelemente



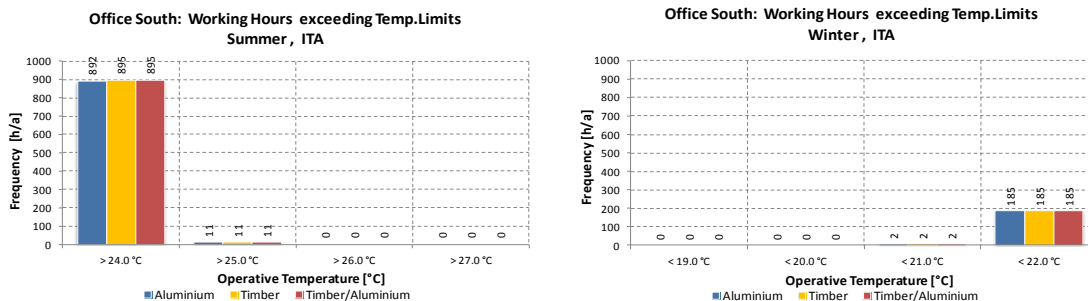
Figur 4-6: Innen- und Außentemperaturprofile: Wohnhaus Süden, Sommer/Winter, DE/IT

Housing GER South Room temperature in a summer week	Wohnhaus DE - Süden Raumtemperatur in einer Sommerwoche
Temperature	Temperatur
Outside Temperature	Außentemperatur
Time	Zeit
Aluminium	Aluminium
PVC	PVC
Timber	Holz
Timber/Aluminium	Holz/Aluminium
Outside Temperature	Außentemperatur
Operating Time	Betriebszeit
Housing ITA South Room temperature in a summer week	Wohnhaus IT - Süden Raumtemperatur in einer Sommerwoche
Housing GER South Room temperature in a winter week	Wohnhaus DE - Süden Raumtemperatur in einer Winterwoche
Housing ITA South Room temperature in a winter week	Wohnhaus IT - Süden Raumtemperatur in einer Winterwoche



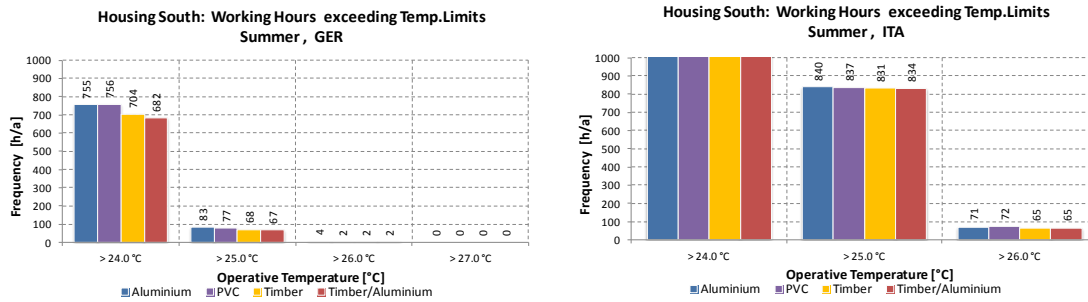
Figur 4-7: Häufigkeit Betriebstemperaturen: Büro Süden DE, Sommer/Winter

Office South: Working Hours exceeding Temp. Limits Summer, GER	Bürogebäude Süden: Arbeitsstunden über Temperaturgrenzen Sommer, DE
Office South: Working Hours exceeding Temp. Limits Winter, GER	Bürogebäude Süden: Arbeitsstunden über Temperaturgrenzen Winter, DE
Frequency	Häufigkeit
Operative Temperature	Betriebstemperaturen
Aluminium	Aluminium
Timber	Holz
Timber/Aluminium	Holz/Aluminium



Figur 4-8: Häufigkeit Betriebstemperaturen: Büro Süden IT, Sommer/Winter

Office South: Working Hours exceeding Temp. Limits Summer, ITA	Bürogebäude Süden: Arbeitsstunden über Temperaturgrenzen Sommer, IT
Office South: Working Hours exceeding Temp. Limits Winter, ITA	Bürogebäude Süden: Arbeitsstunden über Temperaturgrenzen Winter, IT
Frequency	Häufigkeit
Operative Temperature	Betriebstemperaturen
Aluminium	Aluminium
Timber	Holz
Timber/Aluminium	Holz/Aluminium

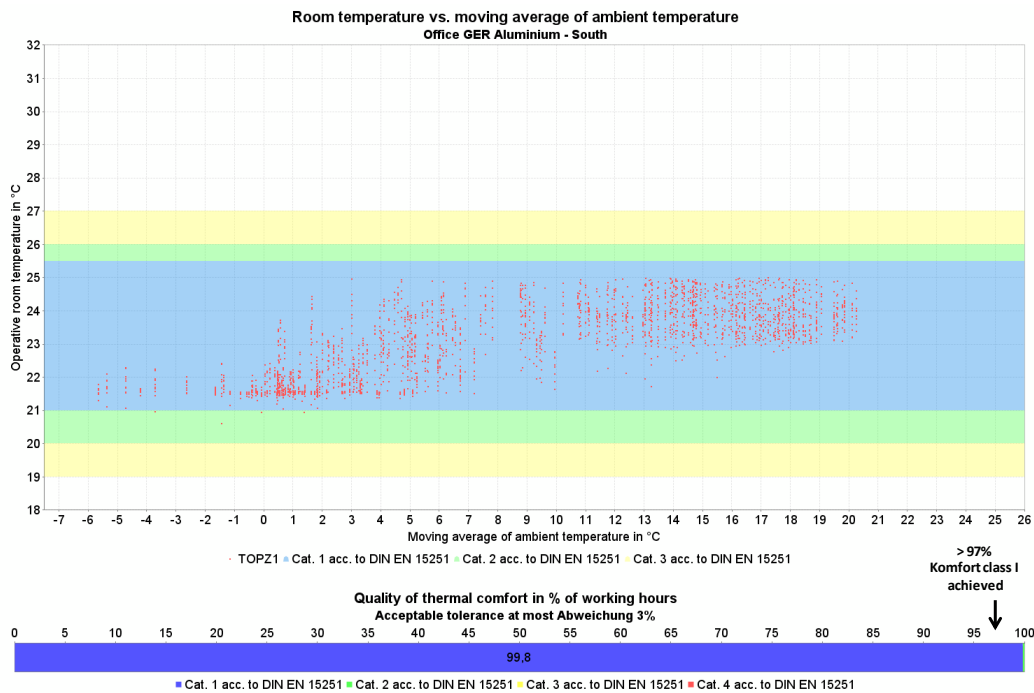


Figur 4-9: Häufigkeit Betriebstemperaturen: Wohnhaus Süden DE/IT, Sommer/Winter

Housing South: Working Hours exceeding Temp. Limits Summer, GER	Wohnhaus Süden: Arbeitsstunden über Temperaturgrenzen Sommer, DE
Housing South: Working Hours exceeding Temp. Limits Summer, ITA	Wohnhaus Süden: Arbeitsstunden über Temperaturgrenzen Sommer, IT
Frequency	Häufigkeit
Operative Temperature	Betriebstemperaturen
Aluminium	Aluminium
PVC	PVC
Timber	Holz
Timber/Aluminium	Holz/Aluminium

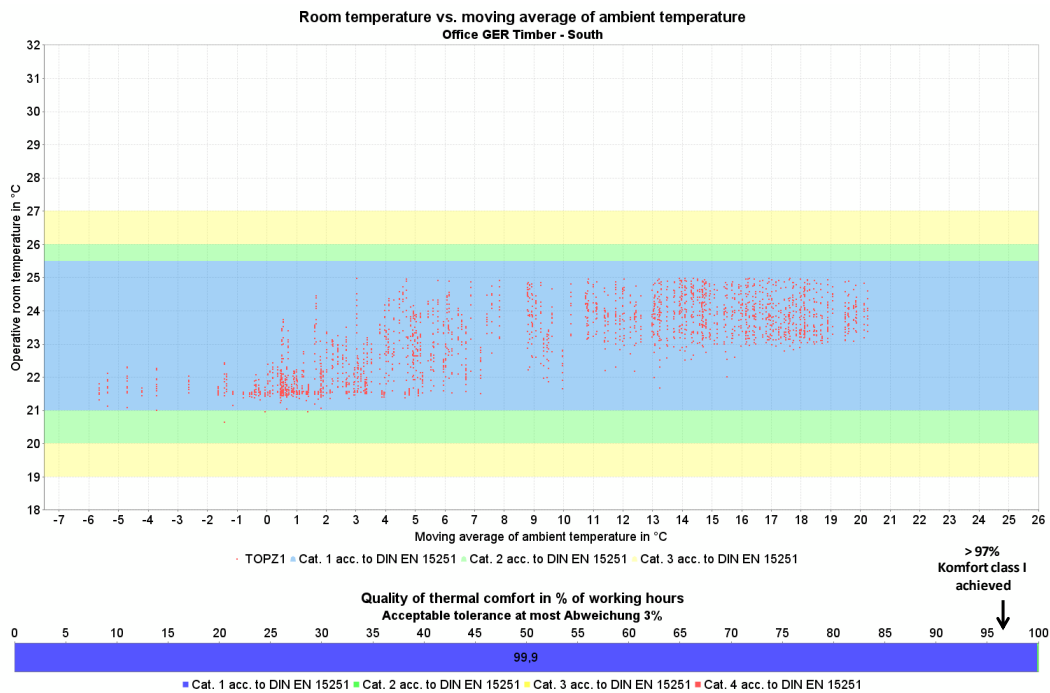
Studie über

Nachhaltigkeitsbewertung für Fenster und Fassadenelemente



Figur 4-10: Komfortklassifizierung: Büro DE Aluminium - Süden

Room temperature vs. moving average of ambient temperature Office GER Aluminium - South	Raumtemperatur vs. gleitendem Durchschnitt der Umgebungstemperatur Büro DE Aluminium - Süden
Operative room temperature in °C	Raumbetriebstemperatur in °C
Moving average of ambient temperature in °C	Gleitender Durchschnitt der Umgebungstemperatur in °C
TOPZ1 Cat. 1 acc. to DIN EN 15251 Cat. 2 acc. to DIN EN 15251 Cat. 3 acc. to DIN EN 15251	TOPZ1 Kat. 1 laut DIN EN 15251 Kat. 2 laut DIN EN 15251 Kat. 3 laut DIN EN 15251 Kat. 4 laut DIN EN 15251
>97% Komfort class I achieved	>97 % Komfortklasse I erzielt
Quality of thermal comfort in % of working hours Acceptable tolerance at most Abweichung 3%	Qualität des WärmeKomfort in % Arbeitsstunden Akzeptable Toleranz bei größter Abweichung 3 %
Cat. 1 acc. to DIN EN 15251 Cat. 2 acc. to DIN EN 15251 Cat. 3 acc. to DIN EN 15251 Cat. 4 acc. to DIN EN 15251	Kat. 1 laut DIN EN 15251 Kat. 2 laut DIN EN 15251 Kat. 3 laut DIN EN 15251 Kat. 4 laut DIN EN 15251 Kat.

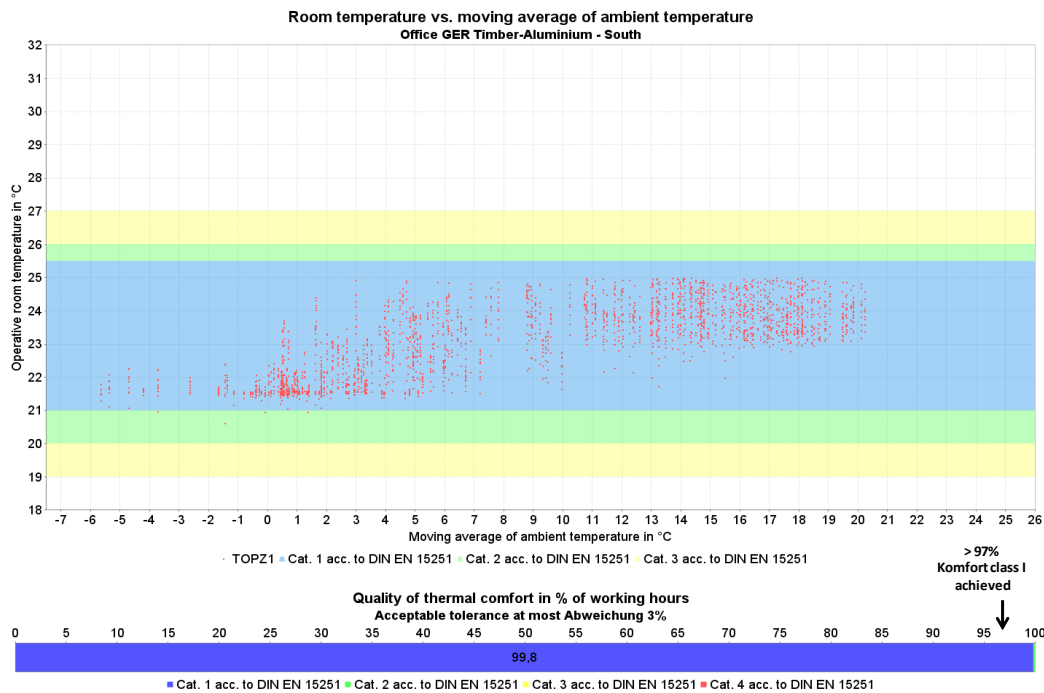


Figur 4-11: Komfortklassifizierung: Büro DE Holz – Süden

Room temperature vs. moving average of ambient temperature Office GER Timber - South	Raumtemperatur vs. gleitendem Durchschnitt der Umgebungstemperatur Büro DE Holz - Süden
Operative room temperature in °C	Raumbetriebstemperatur in °C
Moving average of ambient temperature in °C	Gleitender Durchschnitt der Umgebungstemperatur in °C
TOPZ1 Cat. 1 acc. to DIN EN 15251 Cat. 2 acc. to DIN EN 15251 Cat. 3 acc. to DIN EN 15251	TOPZ1 Kat. 1 laut DIN EN 15251 Kat. 2 laut DIN EN 15251 Kat. 3 laut DIN EN 15251 Kat.
>97% Komfort class I achieved	>97 % Komfortklasse I erzielt
Quality of thermal comfort in % of working hours Acceptable tolerance at most Abweichung 3%	Qualität des Wärmekomfort in % Arbeitsstunden Akzeptable Toleranz bei größter Abweichung 3 %
Cat. 1 acc. to DIN EN 15251 Cat. 2 acc. to DIN EN 15251 Cat. 3 acc. to DIN EN 15251 Cat. 4 acc. to DIN EN 15251	Kat. 1 laut DIN EN 15251 Kat. 2 laut DIN EN 15251 Kat. 3 laut DIN EN 15251 Kat. 4 laut DIN EN 15251 Kat.

Studie über

Nachhaltigkeitsbewertung für Fenster und Fassadenelemente

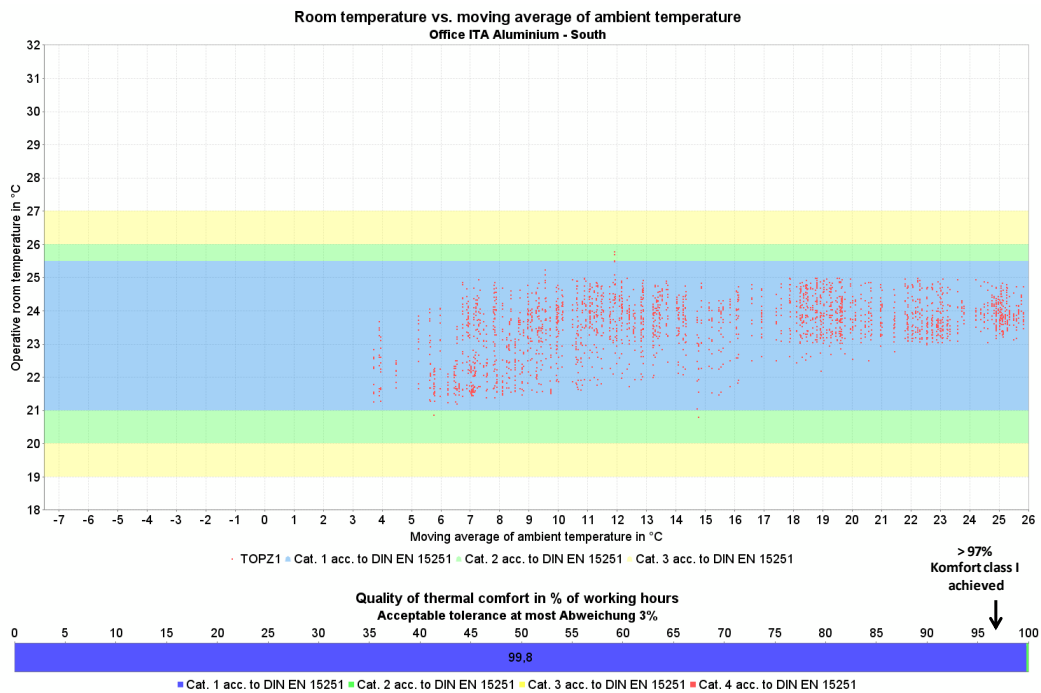


Figur 4-12: Komfortklassifizierung: Büro DE Holz-Aluminium – Süden

Room temperature vs. moving average of ambient temperature Office GER Timber-Aluminium - South	Raumtemperatur vs. gleitendem Durchschnitt der Umgebungstemperatur Büro DE Holz-Aluminium - Süden
Operative room temperature in °C	Raumbetriebstemperatur in °C
Moving average of ambient temperature in °C	Gleitender Durchschnitt der Umgebungstemperatur in °C
TOPZ1 Cat. 1 acc. to DIN EN 15251 Cat. 2 acc. to DIN EN 15251 Cat. 3 acc. to DIN EN 15251	TOPZ1 Kat. 1 laut DIN EN 15251 Kat. 2 laut DIN EN 15251 Kat. 3 laut DIN EN 15251 Kat.
>97% Komfort class I achieved	>97 % Komfortklasse I erzielt
Quality of thermal comfort in % of working hours Acceptable tolerance at most Abweichung 3%	Qualität des Wärmekomfort in % Arbeitsstunden Akzeptable Toleranz bei größter Abweichung 3 %
Cat. 1 acc. to DIN EN 15251 Cat. 2 acc. to DIN EN 15251 Cat. 3 acc. to DIN EN 15251 Cat. 4 acc. to DIN EN 15251	Kat. 1 laut DIN EN 15251 Kat. 2 laut DIN EN 15251 Kat. 3 laut DIN EN 15251 Kat. 4 laut DIN EN 15251 Kat.

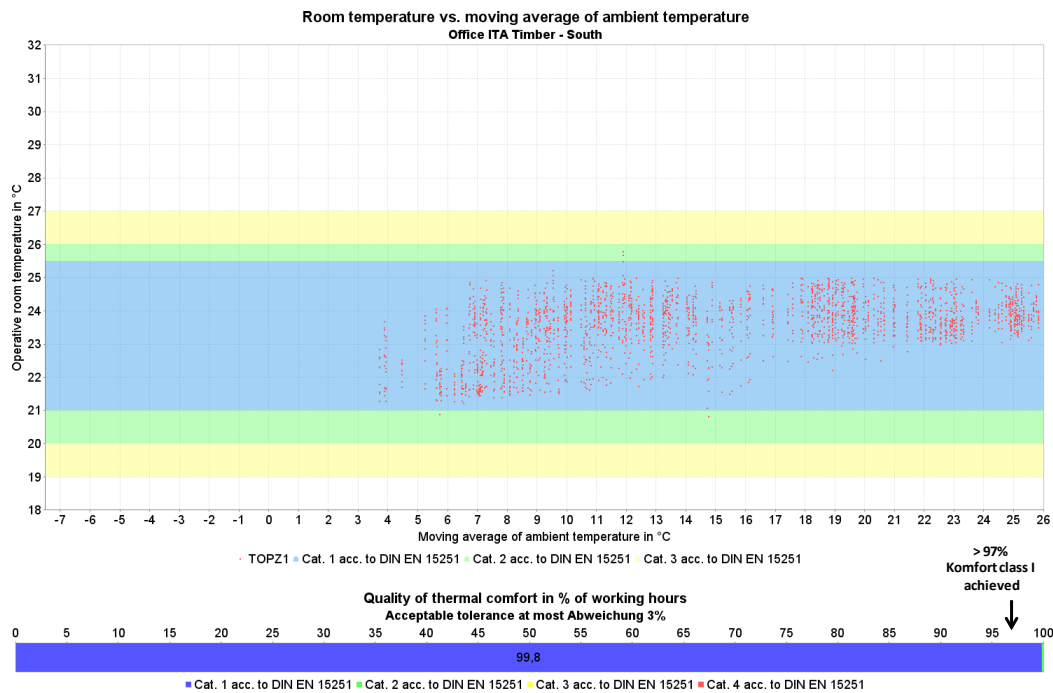
Studie über

Nachhaltigkeitsbewertung für Fenster und Fassadenelemente



Figur 4-13: Komfortklassifizierung: Büro IT Aluminium – Süden

Room temperature vs. moving average of ambient temperature Office ITA Aluminium - South	Raumtemperatur vs. gleitendem Durchschnitt der Umgebungstemperatur Büro IT Aluminium – Süden
Operative room temperature in °C	Raumbetriebstemperatur in °C
Moving average of ambient temperature in °C	Gleitender Durchschnitt der Umgebungstemperatur in °C
TOPZ1 Cat. 1 acc. to DIN EN 15251 Cat. 2 acc. to DIN EN 15251 Cat. 3 acc. to DIN EN 15251	TOPZ1 Kat. 1 laut DIN EN 15251 Kat. 2 laut DIN EN 15251 Kat. 3 laut DIN EN 15251 Kat. 4 laut DIN EN 15251
>97% Komfort class I achieved	>97 % Komfortklasse I erzielt
Quality of thermal comfort in % of working hours Acceptable tolerance at most Abweichung 3%	Qualität des WärmeKomfort in % Arbeitsstunden Akzeptable Toleranz bei größter Abweichung 3 %
Cat. 1 acc. to DIN EN 15251 Cat. 2 acc. to DIN EN 15251 Cat. 3 acc. to DIN EN 15251 Cat. 4 acc. to DIN EN 15251	Kat. 1 laut DIN EN 15251 Kat. 2 laut DIN EN 15251 Kat. 3 laut DIN EN 15251 Kat. 4 laut DIN EN 15251

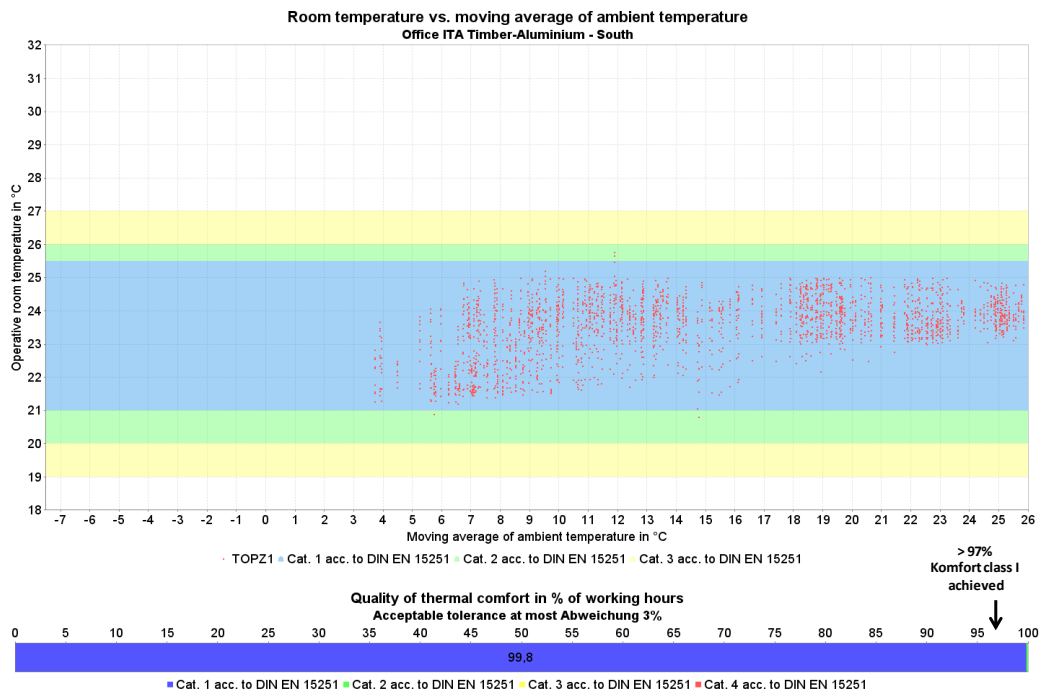


Figur 4-14: Komfortklassifizierung: Büro IT Holz – Süden

Room temperature vs. moving average of ambient temperature Office ITA Timber - South	Raumtemperatur vs. gleitendem Durchschnitt der Umgebungstemperatur Büro IT Holz – Süden
Operative room temperature in °C	Raumbetriebstemperatur in °C
Moving average of ambient temperature in °C	Gleitender Durchschnitt der Umgebungstemperatur in °C
TOPZ1 Cat. 1 acc. to DIN EN 15251 Cat. 2 acc. to DIN EN 15251 Cat. 3 acc. to DIN EN 15251	TOPZ1 Kat. 1 laut DIN EN 15251 Kat. 2 laut DIN EN 15251 Kat. 3 laut DIN EN 15251 Kat. 4 laut DIN EN 15251
>97% Komfort class I achieved	>97 % Komfortklasse I erzielt
Quality of thermal comfort in % of working hours Acceptable tolerance at most Abweichung 3%	Qualität des WärmeKomfort in % Arbeitsstunden Akzeptable Toleranz bei größter Abweichung 3 %
Cat. 1 acc. to DIN EN 15251 Cat. 2 acc. to DIN EN 15251 Cat. 3 acc. to DIN EN 15251 Cat. 4 acc. to DIN EN 15251	Kat. 1 laut DIN EN 15251 Kat. 2 laut DIN EN 15251 Kat. 3 laut DIN EN 15251 Kat. 4 laut DIN EN 15251

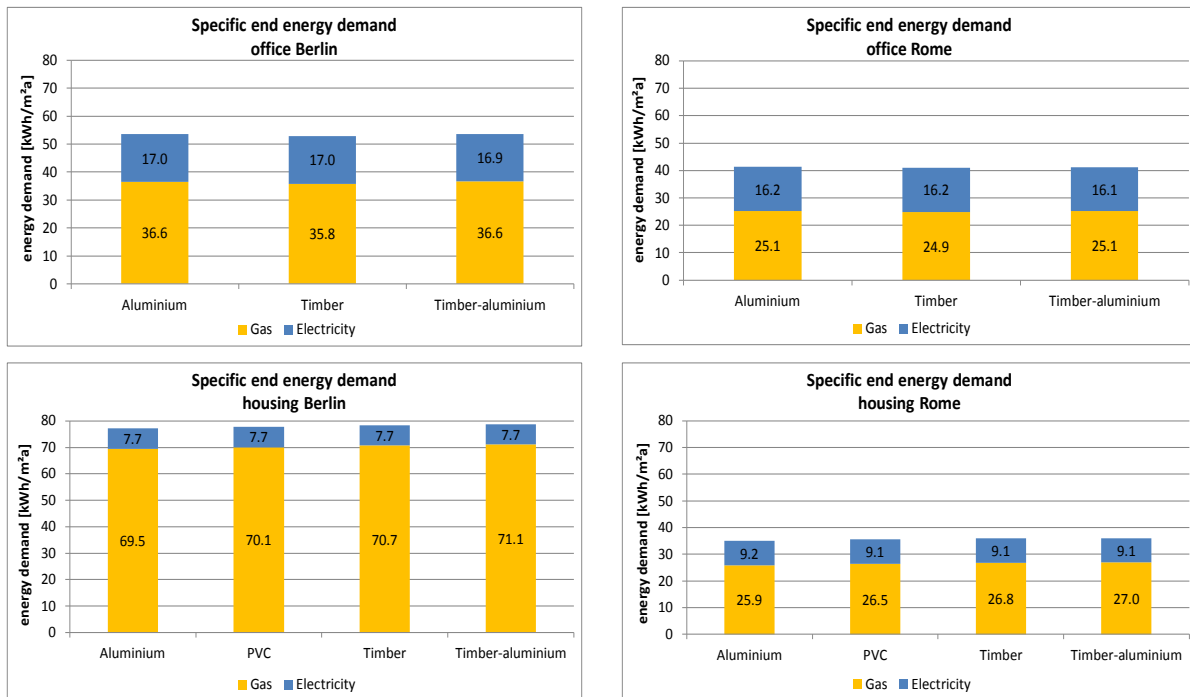
Studie über

Nachhaltigkeitsbewertung für Fenster und Fassadenelemente



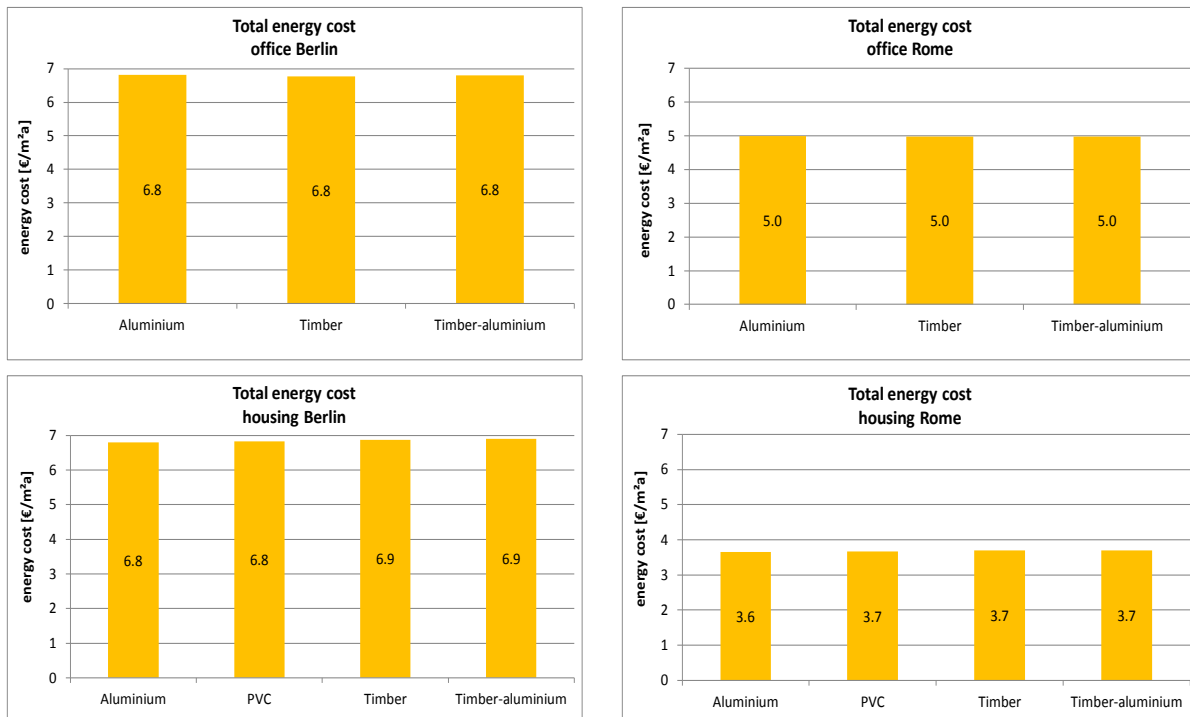
Figur 4-15: Komfortklassifizierung: Büro IT Holz-Aluminium – Süden

Room temperature vs. moving average of ambient temperature Office ITA Timber-Aluminium - South	Raumtemperatur vs. gleitendem Durchschnitt der Umgebungstemperatur Büro IT Holz-Aluminium - Süden
Operative room temperature in °C	Raumbetriebstemperatur in °C
Moving average of ambient temperature in °C	Gleitender Durchschnitt der Umgebungstemperatur in °C
TOPZ1 Cat. 1 acc. to DIN EN 15251 Cat. 2 acc. to DIN EN 15251 Cat. 3 acc. to DIN EN 15251	TOPZ1 Kat. 1 laut DIN EN 15251 Kat. 2 laut DIN EN 15251 Kat. 3 laut DIN EN 15251 Kat. 4 laut DIN EN 15251
>97% Komfort class I achieved	>97 % Komfortklasse I erzielt
Quality of thermal comfort in % of working hours Acceptable tolerance at most Abweichung 3%	Qualität des Wärmekomfort in % Arbeitsstunden Akzeptable Toleranz bei größter Abweichung 3 %
Cat. 1 acc. to DIN EN 15251 Cat. 2 acc. to DIN EN 15251 Cat. 3 acc. to DIN EN 15251 Cat. 4 acc. to DIN EN 15251	Kat. 1 laut DIN EN 15251 Kat. 2 laut DIN EN 15251 Kat. 3 laut DIN EN 15251 Kat. 4 laut DIN EN 15251



Figur 4-16: Energiebedarf in kWh/m² · a (Nutzfläche)

Specific end energy demand office Berlin	Spezifischer Endenergiebedarf Büro Berlin
Specific end energy demand office Rome	Spezifischer Endenergiebedarf Büro Rom
Specific end energy demand housing Berlin	Spezifischer Endenergiebedarf Wohnhaus Berlin
Specific end energy demand housing Rome	Spezifischer Endenergiebedarf Wohnhaus Rom
Energy demand [kWh/m²·a]	Energiebedarf [kWh/m²·a]
Gas	Gas
Electricity	Strom
Aluminium	Aluminium
Timber	Holz
Timber-Aluminium	Holz-Aluminium
PVC	PVC



Figur 4-17: Energiekosten in €/m²·a (Nutzfläche)

Total energy cost office Berlin	Gesamtenergiekosten Büro Berlin
Total energy cost office Rome	Gesamtenergiekosten Büro Rom
Total energy cost housing Berlin	Gesamtenergiekosten Wohnhaus Berlin
Total energy cost housing Rome	Gesamtenergiekosten Wohnhaus Rom
Energy cost [€/m²a]	Energiekosten [€/m²a]
Aluminium	Aluminium
Timber	Holz
Timber-Aluminium	Holz-Aluminium
PVC	PVC

5 LCC – Lebenszykluskostenanalyse

Die Lebenszykluskostenberechnung ist eine nützliche Technik für die Vorherbestimmung und Bewertung der Kostenleistung von erstellten Sachanlagen. Die Lebenszykluskostenberechnung ist eine Form von Analyse für die Bestimmung, ob ein Projekt die Leistungsanforderungen des Auftraggebers erfüllt (ISO 15686-Teil 5).

Sämtliche Kosten, von der Projektierung bis zur Errichtung und Übergabe des Gebäudes, werden als Akquisitionskosten definiert.

Wartungs- und Betriebskosten werden als Barwert über eine Periode von 50 Jahren bestimmt. Kosten werden als Nettowert pro Quadratmeter präsentiert.

Die folgenden selektierten Kostenkategorien sind zu berücksichtigen wenn gebäudespezifische Lebenszykluskosten berechnet werden:

- Selektierte Baukosten,
- Selektierte Betriebskosten,
 - Versorgung und Entsorgung,
 - Reinigung,
 - Energieverbrauch,
 - Betrieb,
 - Inspektion,
 - Wartung,
- Selektierte Restwert.

5.1 Zusammenfassung

Für Bürogebäude weist Aluminium die geringsten Investitions- und niedrigsten Wartungskosten auf. Holz ist insgesamt ungefähr 19 % teurer, was hauptsächlich auf die höheren Wartungskosten für Anstriche über fünf Jahre zurückzuführen ist. Aluminium/Holz ist aufgrund der höheren Investitionskosten teurer (6 %) als Aluminium. Für Italien sind die Kosten im Vergleich zu Deutschland aufgrund des niedrigeren Energiebedarfs und der niedrigeren Investitionskosten geringer.

Bei Wohngebäuden weist das PVC-System die geringsten Investitionskosten auf. Holz ist insgesamt 12 % teurer und Holz-Aluminium 5 % teurer als PVC-Fenster, was hauptsächlich auf die höheren Wartungskosten für Anstriche über fünf Jahre zurückzuführen ist. Aluminiumfenster ist trotz niedriger Wartungskosten aufgrund deutlich höherer Investitionskosten 3% teurer als PVC. Für Italien sind die Kosten im Vergleich zu Deutschland aufgrund des niedrigeren Energiebedarfs und der niedrigeren Investitionskosten geringer.

5.2 Randbedingungen

5.2.1 Investitions-, Wartungskosten und Restwert

Investitions- und Wartungskosten richten sich nach Projekterfahrungen und marktüblichen Preisen. Die Marktpreise können eventuell variieren, aber die Unterschiede zwischen den Materialien sind vergleichbar. Für diese Untersuchung werden nur Nettowerte herangezogen.

Die Investitionskosten für Bürogebäude sind generell niedriger mit Aluminiumfassaden, da ein hoher Anteil vorgefertigt wird und die Montage auf der Baustelle schnell abgewickelt werden kann. Für Wohngebäude weisen PVC-Fenster die niedrigsten Investitionskosten auf, was auf die geringen Rohmaterialkosten zurückzuführen ist.

Die Lebensdauer der untersuchten Systeme ist gemäß dem deutschen System zur Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden definiert [02]. In Ableitung von [02] wurde die Lebensdauer von PVC-Fenster ökonomisch optimiert. Gemäß früheren Berechnungen liegt der wirtschaftlichste Zeitpunkt für die Erneuerung eines Rahmens bei 30 Jahren, wenn auch die Verglasung gewechselt werden muss.

Früher wurden LCC-Berechnungen für PVC-Systeme unter Annahme einer Lebensdauer von 40 Jahren bei PVC-Rahmen und 30 Jahren bei der Verglasung durchgeführt. Diese Annahme führt zu höheren Kosten als bei einer Kompletterneuerung nach 30 Jahren (Rahmen + Verglasung). In dieser Studie wurde daher das wirtschaftlichste Erneuerungsmodell für jedes Material verwendet. PVC-Lebensdauer von 30 Jahren wurde auch in [03] angenommen.

Am Ende der Lebenszeit (End-of-Life) haben Aluminiumrahmen immer noch einen positiven wirtschaftlichen Wert, der mit 75 % des Wertes an der London Metal Exchange (LME) geschätzt werden kann, sofern für den Ausbau beste Praktiken zum Einsatz kommen, d. h. wenn Aluminiumrahmen zerlegt und in spezifischen Containern gesammelt werden. Basierend auf dem heutigen LME-Preis, kann 1 €/kg für alte Aluminiumprofile als angemessener Preis betrachtet werden. Die Aluminiumfassade enthält ungefähr 78 kg Al, die Hoz-Aluminium-Fassade ungefähr 24 kg Al und die Holzfassade 14 kg Al. Das Aluminiumfenster enthält ungefähr 32 kg Al, das Holz-Aluminium-Fenster 12,5 kg Al und das Holzfenster 1,5 kg Al. Dies ergibt einen Restwert pro m² Nutzfläche von 3,85 €/m² für die Aluminiumfassade, 1,19 €/m² für die Holz-Aluminium-Fassade, 0,69 €/m² (vernachlässigt) für die Holzfassade, 1,28 €/m² für das Aluminiumfenster, 0,5 €/m² für das Holz-Aluminium-Fenster und 0,06 €/m² (vernachlässigt) für das Holzfenster. Es gibt keinen Unterschied in der Al-Menge zwischen den beiden Regionen: Rom oder Berlin.

Andere Materialien haben keinen Restwert.

Net Values	Investment cost		Lifespan		Maintenance description	Maintenance Interval		Maintenance Costs Office	Maintenance Costs Housing
	[€/m ² facade]	[€/m ² window]	[year]			[year]		[€/m ² facade]	[€/m ² window]
Investment Costs	Office	Housing	Office	Housing		Office	Housing	Facade 14 m ² double glazing 7.1 m ²	window 3.75 m ² triple glazing GER double glazing ITA
Aluminium A: GER B: ITA	A: 500 B: 450	A: 380 B: 330	50 years	50 years	1: Fitting check-up and maintenance + 20% Fitting exchange 2: Change of glazing + sealing profile (gasket), frame screw + dismantling, installation and disposal 3: Maintenance raffstore/Roller shutter	1: 10 years 2: 30 years 3: 15 years	1: 10 years 2: 30 years 3: 15 years	1: 4 + 3.5 = 7.5 2A: 77 + 10 = 87 2B: 77 + 10 = 87 3: 7	1: 8 + 7 = 15 2A: 130+20 = 150 2B: 100+20 = 120 3: 27
Timber/Aluminium A: GER B: ITA	A: 550 B: 500	A: 355 B: 310	50 years	50 years	1: Fitting check-up and maintenance + 20% Fitting exchange 2: Change of glazing + sealing profile (gasket), frame screw + dismantling, installation and disposal 3: Maintenance raffstore/Roller shutter 4: Change of Aluminium cover profile	1: 10 years 2: 30 years 3: 15 years 4: 30 years	1: 10 years 2: 30 years 3: 15 years 4: 30 years	1: 4 + 3.5 = 7.5 2A: 77 + 10 = 87 2B: 77 + 10 = 87 3: 7 4: 36	1: 8 + 7 = 15 2A: 130+20 = 150 2B: 100+20 = 120 3: 27 4: 36
Timber A: GER B: ITA	A: 550 B: 500	A: 275 B: 245	40 years	30 years	1: Fitting check-up and maintenance + 20% Fitting exchange 2: Installation of new window + dismantling, installation and disposal 3: Maintenance raffstore/Roller shutter 4: Timber Coating	1: 10 years 2: 30 years 3: 15 years 4: 05 years	1: 10 years 2: 30 years 3: 15 years 4: 05 years	1: 4 + 3.5 = 7.5 2A: 77 + 10 = 107 2B: 77 + 10 = 107 3: 7 4: 34	1: 8 + 7 = 15 2A: 275+20 = 295 2B: 245+20 = 265 3: 27 4: 45
PVC A: GER B: ITA	NA	A: 220 B: 200	NA	30 years	1: Fitting check-up and maintenance + 20% Fitting exchange 2: Installation of new window + dismantling, installation and disposal 3: Maintenance raffstore/Roller shutter	NA	1: 10 years 2: 30 years 3: 15 years	NA	1: 8 + 7 = 15 2A: 220+20 = 240 2B: 200+20 = 220 3: 27
Raffstores A - 80 mm raffstore, electric motor (GER) B - 80 mm raffstore, electric motor (ITA)	A: 120 B: 135	NA	20 years	NA					
Roller Shutter B - manual control	NA	B: 75	NA	50 years					

Tabelle 5-1: Investitions-, Wartungskosten

Net Values	Nettowerte
Investment Cost [€/m ² facade] [€/m ² window]	Investitionskosten [€/m ² Fassade] [€/m ² Fenster]
Lifespan [year]	Lebensdauer [Jahr]
Maintenance description	Wartungsbeschreibung
Maintenance interval [year]	Wartungsintervall [Jahr]
Maintenance Costs Office [€/m ² facade]	Wartungskosten Bürogebäude [€/m ² Fassade]
Maintenance Costs Housing [€/m ² window]	Wartungskosten Wohngebäude [€/m ² Fenster]
Investment Costs	Investitionskosten
Aluminium A: GER B: ITA	Aluminium A: DE B: IT
Timber/Aluminium A: GER B: ITA	Holz/Aluminium A: DE B: IT
Timber A: GER B: ITA	Holz A: DE B: IT
PVC A: GER B: ITA	PVC A: DE B: IT

Raffstores A - 80 mm raffstore, Electric motor (GER) B - 80 mm raffstore, Electric motor (ITA)	Raffstores A - 80 mm Raffstore, Elektromotor (DE) B - 80 mm Raffstore, Elektromotor (IT)
Roller Shutter B - manual control	Rollladen B - manuelle Betätigung
Office	Bürogebäude
Housing	Wohngebäude
NA	Nicht zutreffend
years	Jahre
1: Fitting check-up and maintenance + 20% Fitting exchange 2: Change of glazing + sealing profile (gasket), frame screw _ dismantling, installation and disposal 3: Maintenance raffstore/Roller Shutter	1: Beschlag Prüfung und Wartung + 20 % Beschläge Austausch 2: Wechsel von Verglasung + Dichtungsprofil, Rahmenschraube, Ausbau/Zerlegung, Montage und Entsorgung 3: Wartung Raffstore/Rollladen
1: Fitting check-up and maintenance + 20% Fitting exchange 2: Change of glazing + sealing profile (gasket), frame screw _ dismantling, installation and disposal 3: Maintenance raffstore/Roller Shutter 4: Change of Aluminium cover profile	1: Beschlag Prüfung und Wartung + 20 % Beschläge Austausch 2: Wechsel von Verglasung + Dichtungsprofil, Rahmenschraube, Ausbau/Zerlegung, Montage und Entsorgung 3: Wartung Raffstore/Rollladen 4: Wechsel Aluminiumabdeckprofil
1: Fitting check-up and maintenance + 20% Fitting exchange 2: Installation of new window + dismantling, installation and disposal 3: Maintenance raffstore/Roller Shutter 4: Timber Coating	1: Beschlag Prüfung und Wartung + 20 % Beschläge Austausch 2: Montage von neuem Fenster + Ausbau/Zerlegung, Montage und Entsorgung 3: Wartung Raffstore/Rollladen 4: Holz streichen
1: Fitting check-up and maintenance + 20% Fitting exchange 2: Installation of new window + dismantling, installation and disposal 3: Maintenance raffstore/Roller Shutter	1: Beschlag Prüfung und Wartung + 20 % Beschläge Austausch 2: Montage von neuem Fenster + Ausbau/Zerlegung, Montage und Entsorgung 3: Wartung Raffstore/Rollladen
Facade 14 m ² double glazing 7.1 m ²	Fassade 14 m ² Doppelverglasung 7,1 m ²
Window 3.75 m ² Triple glazing GER Double glazing ITA	Fenster 3,75 m ² Dreifachverglasung DE Doppelverglasung IT

Wartungsmaßnahmen werden für den Austausch von Beschlägen, Verglasung, Dichtungsprofil, Raffstore/Rollladen für alle Typen von Fassaden und Fenstern berücksichtigt. Für Aluminium/Holz-Rahmen wird ein Austausch des Aluminiumabdeckprofils berücksichtigt. Für Holzrahmen werden zusätzlich die erforderlichen Anstriche berücksichtigt [04]. Oben angegebene Investitionskosten pro m² Fenster sind kompatibel mit den im Entranze-Projekt präsentierten Kostendaten¹. Oben präsentierte Wartungs- und Austauschkosten und Szenarien liegen ebenfalls

¹ Fernandez Boneta M., Lapillonne B (2013), Cost of energy efficiency measures in buildings refurbishment: a summary report on target countries, CENER & Enerdata, www.entranze.eu

im Einklang mit dem jüngst in der österreichischen Zeitschrift für Ingenieure und Architekten veröffentlichten Papier¹.

Es wird auch der Unterschied zwischen Fassaden in Deutschland und Italien berücksichtigt. Bei Wohngebäuden unterscheiden sie sich in den Investition Wartungskosten für den Ausbau und die Zerlegung, die Installation und Entsorgung beim Austausch der Fenster aufgrund unterschiedlicher Preisentwicklungen am Markt.

5.2.2 Zinsen, Energiepreise und zusätzliche Informationen

Diese Werte basieren auf typischen europäischen Zinssätzen und Energiepreisen. Die Werte können eventuell für unterschiedliche Regionen und Länder variieren, aber das Hauptziel, die unterschiedlichen Kosten zwischen den Rahmenmaterialien, ist unabhängig vom jeweiligen Ort repräsentativ.

Für Wohngebäude werden keine Reinigungsstunden berücksichtigt, da Fenster gewöhnlich von den Bewohnern gereinigt werden.

Die Werte für den Energiebedarf werden unterteilt in Gas und Strom und übernommen aus der Tabelle 4-1 und Tabelle 4-2.

Description	Office	Housing
Interest rate for discounting (cash value calculation)	4,0%	
General price increase (inflation)	2,0%	
Price increase for energy	5,0%	
Electricity	0,25 €/kWh (GER) / 0,20 €/kWh (ITA)	
Gas	0,07 €/kWh	
Tax Berlin / Rome	19% / 21%	
Hourly rate for cleaning jobs	22,50 €	-

Tabelle 5-2: Zinsen, Energiepreise und zusätzliche Informationen

Description	Beschreibung
Office	Bürogebäude
Housing	Wohngebäude
Interest rate for discounting (cash value calculation)	Zinssatz für Diskontierung (Barwertberechnung)
General price increase (inflation)	Allgemeiner Preisanstieg (Inflation)
Price increase for energy	Preisanstieg für Energie
Electricity	Strom
Gas	Gas
Tax Berlin / Rome	Steuer/Abgaben Berlin / Rome
Hourly rate for cleaning jobs	Stundensatz für Reinigungsarbeiten
€/kWh (GER) €/kWh (ITA)	€/kWh (DE) €/kWh (IT)

¹ Lebenszykluskosten von Fenstern – Einfluss der Wartungskosten (Life cycle costs of windows – influence of maintenance costs) Christian Schranz und Hans Georg Jodl, Wien Österreichische Ingenieur- und Architekten-Zeitschrift, 157. Jg., Heft 7–12/2012

5.3 Ergebnisse

Die Grenzbedingungen lieferten bereits einen Hinweis auf die wesentlichen Unterschiede bei den Ergebnissen.

Für Bürogebäude stellen Aluminiumkonstruktionen die billigste Option dar, und zwar aufgrund:

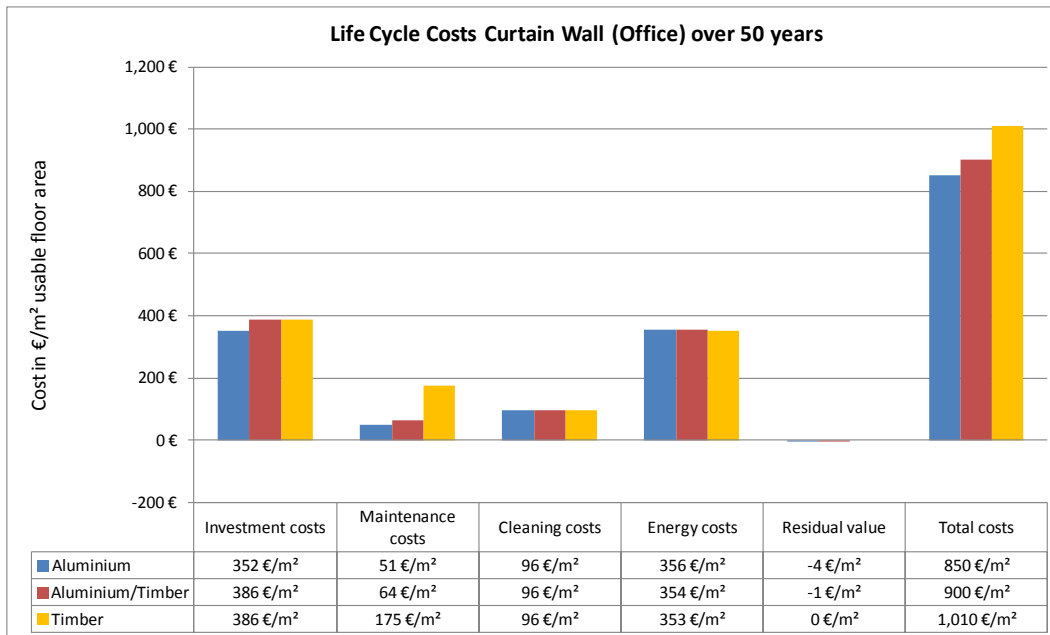
- Geringerer Investitionskosten,
- Geringerer Nebenkosten, die vorwiegend für das Anstreichen von Holz entstehen.

Der Unterschied bei Italien gegenüber Deutschland resultiert, wie bereits bei den Randbedingungen erwähnt, aus den niedrigeren Investitionskosten und dem geringeren Energiebedarf.

Bei Wohngebäuden ist das PVC-Fenster aufgrund der geringen Investitionskosten und der geringen Wartungskosten die billigste Option.

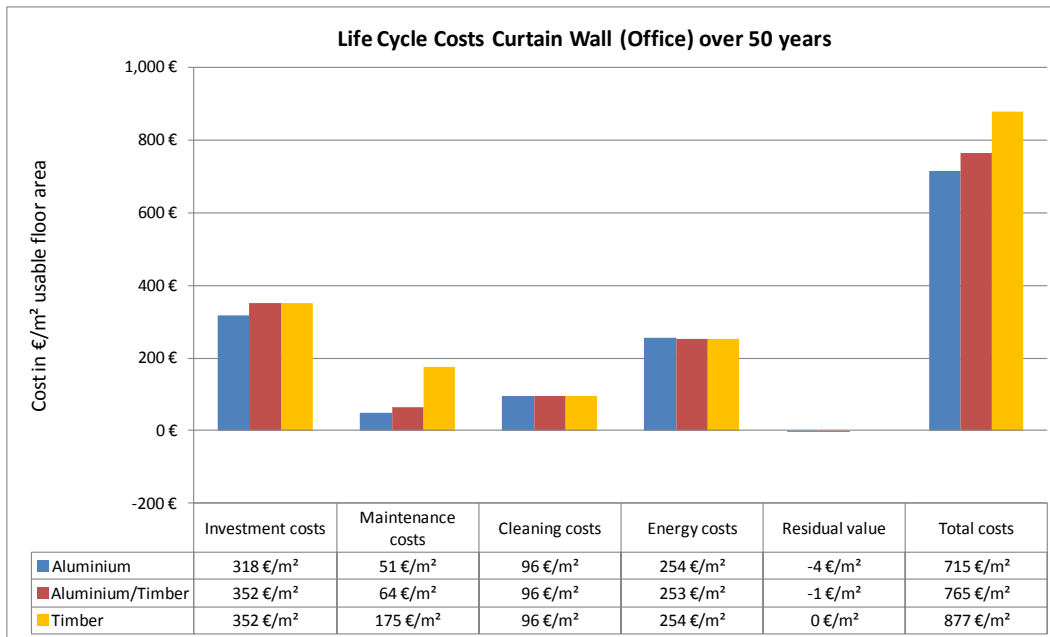
Die Energiekosten bei Wohngebäuden hatten tatsächlich einen höheren Einfluss auf das Gesamtergebnis, allerdings nicht auf den Unterschied, aufgrund der ähnlichen Werte.

Die Ergebnisse für Italien sind wiederum niedriger als für Deutschland, und zwar aus denselben Gründen wie bei den Bürogebäuden.



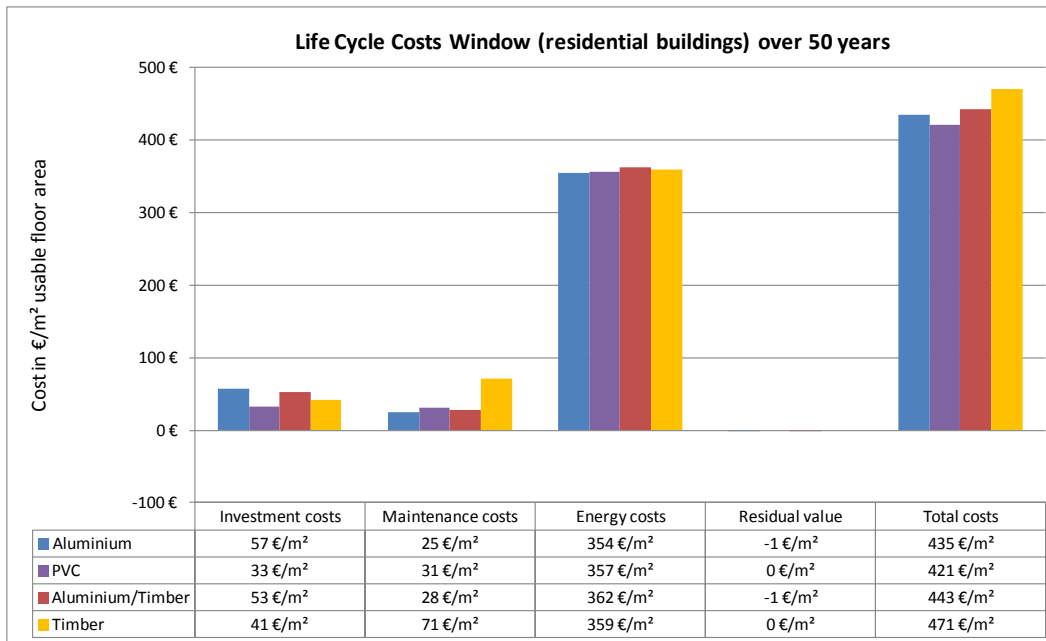
Figur 5-1: Ergebnis Lebenszykluskosten Bürogebäude – Deutschland

Life Cycle Costs Curtain Wall (Office) over 50 years	Lebenszykluskosten Fassade (Bürogebäude) über 50 Jahre
Costs in €/m ² usable floor area	Kosten in €/m ² Nutzfläche
Aluminium	Aluminium
Aluminium/Timber	Holz/Aluminium
Timber	Holz
Investment costs	Investitionskosten
Maintenance costs	Wartungskosten
Cleaning costs	Reinigungskosten
Energy costs	Energiekosten
Residual value	Restwert
Total costs	Gesamtkosten



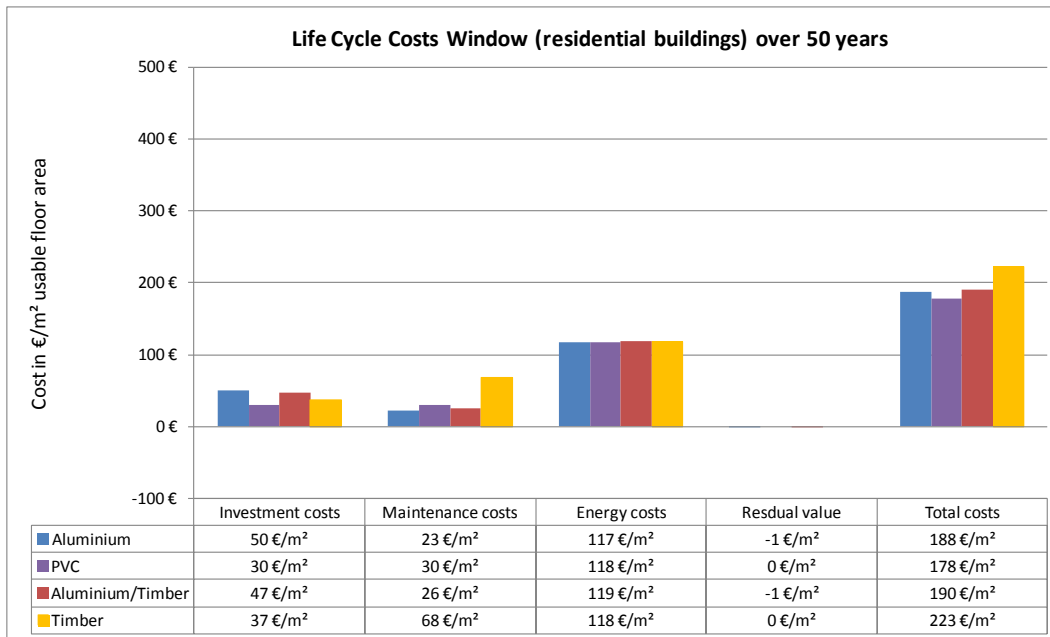
Figur 5-2: Ergebnis Lebenszykluskosten Bürogebäude – Italien

Life Cycle Costs Curtain Wall (Office) over 50 years	Lebenszykluskosten Fassade (Bürogebäude) über 50 Jahre
Costs in €/m ² usable floor area	Kosten in €/m ² Nutzfläche
Aluminium	Aluminium
Aluminium/Timber	Holz/Aluminium
Timber	Holz
Investment costs	Investitionskosten
Maintenance costs	Wartungskosten
Cleaning costs	Reinigungskosten
Energy costs	Energiekosten
Residual value	Restwert
Total costs	Gesamtkosten



Figur 5-3: Ergebnis Lebenszykluskosten Wohngebäude – Deutschland

Life Cycle Costs Window (residential buildings) over 50 years	Lebenszykluskosten Fenster (Wohnhaus) über 50 Jahre
Costs in €/m ² usable floor area	Kosten in €/m ² Nutzfläche
Aluminium	Aluminium
Aluminium/Timber	Holz/Aluminium
Timber	Holz
Investment costs	Investitionskosten
Maintenance costs	Wartungskosten
Cleaning costs	Reinigungskosten
Energy costs	Energiekosten
Residual value	Restwert
Total costs	Gesamtkosten



Figur 5-4: Ergebnis Lebenszykluskosten Wohngebäude – Italien

Life Cycle Costs Window (residential buildings) over 50 years	Lebenszykluskosten Fenster (Wohnhaus) über 50 Jahre
Costs in €/m² usable floor area	Kosten in €/m² Nutzfläche
Aluminium	Aluminium
Aluminium/Timber	Holz/Aluminium
Timber	Holz
Investment costs	Investitionskosten
Maintenance costs	Wartungskosten
Cleaning costs	Reinigungskosten
Energy costs	Energiekosten
Residual value	Restwert
Total costs	Gesamtkosten

6 LCA – Lebenszyklusbewertung

Lebenszyklusbewertung (Life Cycle Assessment, LCA) ist eine Methode der Berechnung und Quantifizierung potenzieller Umweltfolgen von Produkten und Diensten. Die Abläufe für die LCA sind Teil der ISO 14000 Umweltmanagementnormen. Die ISO-Norm 14040:2006 und 14044:2006 bilden den Rahmen. Eine LCA wird in vier Phasen ausgeführt.

In der Goal- & Scope-Phase (Ziel und Umfang) werden die Funktionseinheit sowie die Systemgrenzen und andere Einschränkungen und Annahmen definiert.

Life Cycle Inventory (Sachbilanzen) involviert die Erstellung der Bilanz von Strömen, die in das untersuchte System hineinfließen und aus diesem heraus fließen (Material- und Energiebilanz). Diese Bilanz wird im LCA-Softwaresystem GaBi 5.0 modelliert.

Die Life-Cycle-Impact-Assessment-Phase (Wirkungsabschätzung) der LCA befasst sich mit der Bedeutung von potenziellen Umweltfolgen basierend auf den LCI-Fluss-Ergebnissen. Diese Analyse wird mit dem LCA-Softwaresystem GaBi 5.0 durchgeführt.

In der Interpretationsphase werden die Ergebnisse der LCI- und LCA-Phase zusammengefasst. In dieser Studie geschieht dies im Abschnitt 6.

Ergebnisse werden in Kategorie Indikatoren ausgedrückt, wie zum Beispiel Treibhauspotenzial / Global Warming Potential (GWP) oder Versauerungspotenzial / Acidification Potential (AP). Durch die Berechnung dieser Auswirkungen können Produzenten und Konsumenten die potenziellen Umweltfolgen ihrer Produkte und Dienste sowie die zentralen Treiber während des gesamten Lebenszyklus erfahren.

6.1 Zusammenfassung

Eine Lebenszyklusbewertung wurde durchgeführt, um die Umweltfolgen von Fassadenfenstern zu bewerten. Das Hauptziel dieser Studie bestand darin, die Umwelleistung von Aluminiumfenstern und verglasten Fassaden im Vergleich zu konkurrierenden Alternativen von ihrer Entstehung bis hin zu ihrer Entsorgung zu analysieren. Umweltindikatoren wurden mit einer LCA gemäß ISO 14044 berechnet.

Basierend auf Standardsystemen wurden mehrere Fassaden für Bürogebäude und Doppeldrehkipfenster für Wohngebäude entweder für warme (Mittelmeerklima, in dieser Studie als Klimazone Rom bezeichnet) oder für kalte (gemäßigtes Klima, in dieser Studie als Klimazone Berlin bezeichnet) europäische Klimata analysiert. Die untersuchten Systeme werden im Abschnitt 3 näher beschrieben. Die Werte für den Energiebedarf werden im Abschnitt 4.1 detailliert. Unter Verwendung dieser Daten wurde mit der LCA-Software GaBi 5 ein Modell erstellt und anschließend wurden dann die unterschiedlichen Szenarien analysiert. In diesem Report wurde die ganzheitliche Analyse für das Treibhauspotenzial (Global Warming Potential) durchgeführt, weitere Indikatorergebnisse sind im Anhang 3 zu finden.

Die wichtigsten Erkenntnisse hinsichtlich des Treibhauspotenzials sind:

Verbindet man Fertigungs- und End-of-Life-Phasen (mit Ausnahme des Energiebedarfs während der Nutzungsphase), zeigen die LCA-Ergebnisse, dass der Unterschied beim Treibhauspotenzial für ein gleiches Fenstersystem in Rom und

Studie über

Nachhaltigkeitsbewertung für Fenster und Fassadenelemente

Berlin vernachlässigbar ist. Das Ergebnis sieht nicht viel anders aus, wenn man mittlere und Good Practice für End of Life vergleicht. Wenn der Energiebedarf während der Nutzungsphase in der LCA berücksichtigt wird, kann die gesamte Treibhausgasemission aufgrund der besonderen Klimabedingungen bis zu 92 % variieren.

Unter den in der LCA für diese Studie verwendeten Randbedingungen zeigen die Ergebnisse für den gesamten Lebenszyklus der verschiedenen Fenstersysteme ungefähr das gleiche Treibhauspotenzial von 22,4 kg CO₂-äqv./m²·a für Klimazone Berlin und 11,6 kg CO₂-äqv./m²·a für Klimazone Rom.

Bei Analyse des Szenarios mit Good Practice für Fassaden in Berlin ist das Treibhauspotenzial für den gesamten Lebenszyklus für die 3 analysierten Alternativen beinahe identisch, da die Ergebnisse in einem Bereich zwischen 19,4 kg CO₂-äqv./m²·a für die Holzfassade, 19,1 kg CO₂-äqv./m²·a für die Holz-Aluminium-Fassade und 19,4 kg CO₂-äqv./m²·a für die Aluminiumfassade liegen. Für die Klimazone Rom liegt das Treibhauspotenzial in einem Bereich von 16,2 kg CO₂-äqv./m²·a für die Holzfassade, 15,7 kg CO₂-äqv./m²·a für die Holz-Aluminium-Fassade und 16,0 kg CO₂-äqv./m²·a für die Aluminiumfassade. Wird der Energiebedarf während der Nutzungsphase vom Ergebnis ausgenommen, erhält man einen Unterschied von bis zu 40 % zwischen der Holz- und der Holz-Aluminium-Fassade und 24 % zwischen der Aluminium- und Holz-Aluminium-Fassade, wobei die Holz-Aluminium-Fassade die niedrigste Auswirkung und die Holzfassade die höchste Auswirkung und die Aluminiumfassade eine mittlere Auswirkung haben.

Die Berechnung mit dem Szenario Mean Practice für End of Life ändert das Gesamtergebnis nicht maßgeblich.

Der Energiebedarf während der Nutzungsphase stellt die dominierende Umweltauswirkung bei den Ergebnissen der Lebenszyklusbewertung dar. Der Anteil des Energiebedarfs im Gesamttreibhauspotenzial reicht bei Fassaden von 88 % in Italien bis 93 % in Deutschland und bei Fenstern von 97 % in Italien und bis 98 % Deutschland.

Während die GWP-Ergebnisse in den Fertigungs- und End-of-Life-Phasen zwischen den verschiedenen analysierten Systemen anscheinend ziemlich unterschiedlich sein können, verschwinden diese Unterschiede fast gänzlich, wenn der Beitrag der Nutzungsphase in den LCA-Ergebnissen eingeschlossen werden. Es ist tatsächlich so, dass der Energiebedarf des Referenzwohnraums bzw. des Referenzbüroraums die Gesamtauswirkungen auf die Umwelt weitgehend dominiert, speziell für den GWP-Indikator. Das heißt, dass diese Unterschiede in der Fertigungsphase und End-of-Life-Phase aus einer LCA-Perspektive nicht bedeutend sind.

6.2 Systemgrenzen

Die Systemgrenzen wurden nach der Systembeschreibung und nach ISO 14044:2006 definiert.

Das untersuchte Produktsystem wird von der Entstehung bis hin zur Entsorgung in einer sogenannten „Cradle-to-Grave-LCA“ bewertet. Dies bedeutet, dass die Prozessschritte von der Fertigung der Fassaden-/Fenstersysteme bis zum End of Life

(Entsorgung durch Verbrennung, auf Deponie, Recycling) erfasst werden. Es wurden die folgenden Lebenszyklusschritte berücksichtigt:

- Für die Fertigung der Fenster- und Fassadensysteme verwendete Materialien,
- Montage der Fenster- und Fassadensysteme,
- Energiebedarf während der Lebensdauer,
- Wartung der Fenster- und Fassadensysteme (einschließlich erforderlicher Materialien und Chemikalien)
- End of Life, einschließlich Entsorgung auf Deponie, durch Verbrennung und Recycling,
- Umgang mit den im Cradle-to-Gate-System generierten Produktionsabfällen.

Ausgenommen von diesem System sind der Energiebedarf für die Montage der Fenster-/Fassadensysteme, Zerlegung und Trennung und Transport zwischen Lieferant, Hersteller, Baustelle und End-of-Life-Szenarien. Diese Elemente wurden bei den Analysen vernachlässigt, da sie sich auf die allgemeinen Ergebnisse nicht erheblich auswirken.

Außerdem wurden Produktionsmittel, menschliche Arbeitskraft und Berufsverkehr ausgenommen. Diese Elemente werden von den Produkt-LCAs ausgenommen, da angenommen wird, dass sie unter die Abschneidekriterien fallen.

6.3 Funktion und Funktionseinheit

Die Funktion der Fassade besteht generell darin, die primäre luft- und wetterdichte Hülle des Gebäudes zu liefern.

Die Fassade kann aus unterschiedlichen Materialien hergestellt sein, wie Holz, Aluminium, Glas und Stahl, und kann, aber muss nicht Öffnungen enthalten. Fassaden bei Bürogebäuden können in unterschiedlicher Weise konstruiert sein, diese Studie konzentriert sich jedoch auf verschiedene Pfosten-Riegel-Fassaden, die basierend auf der Erfahrung von Drees & Sommer's als repräsentativ für den Markt gelten.

Die Funktion eines Fensters besteht darin, eine durchsichtige bzw. lichtdurchlässige Öffnung in einer Mauer oder Fassade zu bieten, durch die Licht und, falls nicht geschlossen oder abgedichtet, Luft und Schall durchgehen kann.

Die Funktionseinheit in dieser Studie ist: „Quadratmeter Nutzfläche pro Jahr“.

Die Wohnraumfläche ist 25 m² und die Büroraumfläche ist 20 m². Die Gesamtlebensdauer ist 50 Jahre.

6.4 Daten

Die Daten für die Aluminiumfassade (Rom und Berlin) sowie die Daten für das Aluminiumfenster und das PVC-Fenster (Rom und Berlin) basieren auf Daten, die von Aluminium- und PVC-Fenster- und Fassadensystem-Unternehmen bereitgestellt wurden.

Die Aluminiumversorgung in Europa basiert auf 40 % recyceltes Aluminium¹. Der Aluminium-Mix (nachfolgend bezeichnet als Aluminium-Mix.) Beschreibt die Verwendung von Aluminium mit einem Altaluminiumanteil von 40 %, d. h. europäischer Durchschnitt, und 60 % Primäraluminium. Primäraluminium bedeutet die Verwendung von 100 % Primäraluminium.

Daten für PVC-Extrusionsprofil basieren auf Daten von Plastics Europe 2010². Die verwendeten Hintergrunddaten stammen von der PE International Datenbank. 100 % unbehandeltes (neues) PVC wurde angenommen.

Daten für die Holzfassade und das Holzfenster stammen von Studien von PE International. Sie werden basierend auf Holzprofilen (z. B. IV68 doppelt verglaste Fenster) berechnet, Querschnitte werden in Figur 3.3 und 3.4 gezeigt. Daten für die Holzfassade sind dimensioniert von Drees & Sommer und berechnet basierend auf diesen in Figur 3.8 und 3.9 gezeigten Daten (Fassade).

Die folgenden Daten enthalten die Basis für die Lebenszyklusbewertung.

6.4.1 Herstellung

Die Materialliste zeigt die Materialien, die für die erste Produktion eines Fensters oder einer Fassade erforderlich sind, einschließlich erster Anstrich und erste Beschläge. Raffstore und Rollläden sind nicht inbegriffen. Alle Materialien, die für die Wartung oder den Austausch erforderlich sind, sind ausgeschlossen.

Obwohl die transparente Oberfläche eines PVC-Fensters kleiner ist als bei einem Aluminiumfenster, hat ein PVC-Fenster aufgrund der größeren Einsetztiefe eine größere Glasfläche als Aluminiumsysteme. Die Tabelle 6-1 zeigt die gesamte Verglasungsfläche, die in der LCA-Berechnung berücksichtigt wurde.

Tabelle 6-1 Verglasung und transparenter Bereich von Fenstersystemen

	PVC	Aluminium	Holz	Holz-Aluminium
Glasfläche [m ²]	2,82	2,78	2,64	2,59
Transparente Fläche [m ²]	2,62	2,71	2,54	2,54

Tabelle 6-2 Materialliste für Aluminiumfenstersystem (Berlin und Rom)

Fenstertyp Aluminium	Klimazone Berlin	Klimazone Rom
Material	[Gesamt kg pro Fenster]	[Gesamt kg pro Fenster]
Aluminium	32,0	32,8
Holz	0	0
Stahl	0,1	0,1
EPDM	5,6	4,5
Zinkdruckguss	0,2	0,2
Glas	111,3	83,5
Lack	0	0
Pulverbeschichtung	1,9	2,0

¹ Siehe <http://www.alueurope.eu/aluminium-sector-in-europe-2010/>

² „Eco-profiles off he European Plastics Industry: PVC Profile Extrusion“, TNO, April 2010

Studie über

Nachhaltigkeitsbewertung für Fenster und Fassadenelemente

PA	8,2	5,8
Isolationsschaumstoff (PE, PP)	0,3	0,3
PVC	0	0
Gesamt	159,6	129,2

Tabelle 6-3 Materialliste für Holzfenstersystem

Fenstertyp Holz	Klimazone Berlin	Klimazone Rom
Material	[Gesamt kg pro Fenster]	[Gesamt kg pro Fenster]
Aluminium	1,5	1,5
Holz	54,6	43,0
Stahl	3,3	3,3
EPDM	1,8	1,8
Zinkdruckguss	0,5	0,5
Glas	105,6	79,2
Lack	2,0	2,0
Pulverbeschichtung	0,2	0,2
PA	0	0
Isolationsschaumstoff (PE, PP)	0	0
PVC	0	0
Gesamt	169,5	131,5

Tabelle 6-4 Materialliste für Holz-Aluminium-Fenstersystem

Fenstertyp Holz-Aluminium	Klimazone Berlin	Klimazone Rom
Material	[Gesamt kg pro Fenster]	[Gesamt kg pro Fenster]
Aluminium	12,5	12,5
Holz	41,1	32,4
Stahl	4,9	4,9
EPDM	3,6	3,6
Zinkdruckguss	0,6	0,6
Glas	103,6	77,7
Lack	2,0	2,0
Pulverbeschichtung	0,8	0,8
PA	0,1	0,1
Isolationsschaumstoff (PE, PP)	0	0
PVC	0	0
Gesamt	169,2	134,6

Tabelle 6-5 Materialliste für PVC-Fenstersystem

Fenstertyp PVC	Klimazone Berlin	Klimazone Rom
Material	[Gesamt kg pro Fenster]	[Gesamt kg pro Fenster]
Aluminium	0	0
Holz	0	0
Stahl	23,0	21,7
EPDM	0	0
Zinkdruckguss	0,1	0,1
Glas	112,8	84,6
Lack	0	0
Pulverbeschichtung	0	0
PA	0	0
Isolationsschaumstoff (PE, PP)	0	0
PVC	26,7	30,0
Gesamt	162,6	136,4

Tabelle 6-6 Materialliste für Aluminiumfassadensystem

Fassadentyp Aluminium	Klimazone Berlin	Klimazone Rom
Material	[Gesamt kg pro Fassade]	[Gesamt kg pro Fassade]
Aluminium	77,6	78,0
Holz	0	0
Stahl	131,8	131,6
EPDM	15,9	12,6
Zinkdruckguss	0,8	0,8
Glas	205,1	205,1
Lack	0	0
Pulverbeschichtung	4,7	4,7
PA	5,3	4,2
PVC, PP	1,9	4,6
Mineralwolle	38,5	38,5
Butylkautschuk	0	1,3
Zementplatte (Eternit)	194,3	194,3
Gipsplatte	74,7	74,7
Distanzprofil	16,8	16,8
Gesamt	767,5	767,2

Tabelle 6-7 Materialliste für Holz-Aluminium-Fassadensystem

Fassadentyp Holz/Aluminium	Klimazone Berlin	Klimazone Rom
Material	[Gesamt kg pro Fassade]	[Gesamt kg pro Fassade]
Aluminium	24,1	24,1
Holz	76,0	60,2
Stahl	134,2	134,2
EPDM	8,4	8,4
Zinkdruckguss	0,3	0,3
Glas	203,8	203,8
Lack	2,2	2,2
Pulverbeschichtung	1,4	1,4
PA	0	0
Isolierschaumstoff (PE.PP) (Berlin)	0	0
PVC. PP (Rom)	0	0
Mineralwolle	38,5	38,5
Butylkautschuk	0	0
Zementplatte (Eternit)	194,3	194,3
Gipsplatte	74,7	74,7
Distanzprofil	16,8	16,8
Gesamt	774,8	759,0

Tabelle 6-8 Materialliste für Holz-Fassadensystem

Fassadentyp Holz	Klimazone Berlin	Klimazone Rom
Material	[Gesamt kg pro Fassade]	[Gesamt kg pro Fassade]
Aluminium	14,2	14,2
Holz	95,3	75,7
Stahl	133,4	133,4
EPDM	7,6	7,6
Zinkdruckguss	0,2	0,2
Glas	198,8	198,8
Lack	4,3	4,3
Pulverbeschichtung	0,9	0,9
PA	0	0
Isolierschaumstoff (PE,PP)	0	0
Mineralwolle	38,5	38,5
Butylkautschuk	0	0
Zementplatte (Eternit)	194,3	194,3
Gipsplatte	74,7	74,7
Distanzprofil (PP)	16,8	16,8
Gesamt	779,1	759,5

6.4.2 Nutzung und Wartung

Energiewerte basieren auf dem berechneten Energiebedarf (siehe Abschnitt 4a). Der Energiebedarf wurde unterteilt in Strombedarf und Bedarf für Wärmeenergie und entsprechend in der GaBi-Software modelliert.

Die LCA-Berechnung wurde basierend auf den in Tabelle 6-9 und Tabelle 6-10 präsentierten Wartungs- und Austauschscenarien durchgeführt. Es handelt sich hier um die gleichen Szenarien wie die in Tabelle 5-1 präsentierten Szenarien für die Lebenszykluskostenberechnung. Die Austausch- und Wartungsszenarien sind aus der Tabelle ersichtlich. Nach einer bestimmten Zahl von Jahren (wie in der ersten Spalte gezeigt) erfolgt entweder eine Wartung oder ein Austausch. Beschläge 20 % bedeutet, dass 20 % der Beschläge bezogen auf das Gewicht ausgetauscht werden.

Nach der typischen Lebensdauer eines Fensters oder einer Fassade wird eine komplett neue Einheit verwendet (Austausch). Holz- und PVC-Fenster werden einmal ausgetauscht, die Holzfassade wird ebenfalls einmal ausgetauscht. Da das Drehkippenfenster nach 30 Jahren ausgetauscht worden wäre und die komplette Fassade nach 40 Jahren, wurde stattdessen die komplette Fassade nach 30 Jahren gewechselt.

Tabelle 6-9 Wartungs- und Austauschscenarien - Fenster

Fenster				
Jahr	Holz (30 Jahre)*	Holz/Aluminium (50 Jahre)*	PVC (30 Jahre)*	Aluminium (50 Jahre)*
5	Lack außen			
10	Lack innen Lack außen	Lack innen	Beschläge 20 %	Beschläge 20 %
	Beschläge 20 %	Beschläge 20 %		
15	Lack außen			
20	Lack innen Lack außen	Lack innen	Beschläge 20 %	Beschläge 20 %
	Beschläge 20 %	Beschläge 20 %		
25	Lack außen			
30	Austausch von Fenster	Dichtungen und Verglasung erneu- ern	Austausch von Fenster	Dichtungen und Verglasung erneu- ern
		Aluminiumabdeck- profil erneuern (Fenster)		Beschläge 20 %
		Beschläge 20 %		Schrauben für Rahmen
		Lack innen		
		Schrauben für Rahmen (Fenster)		
35	Lack außen			
40	Lack innen Lack außen	Lack innen	Beschläge 20 %	Beschläge 20 %
	Beschläge 20 %	Beschläge 20 %		

45	Lack außen			
50	EOL	EOL	EOL	EOL

*Typische Lebensdauer von Fenster

Tabelle 6-10 Wartungs- und Austauschscenarien - Fassade

Fassade			
Jahr	Holz (40 Jahre)*	Holz/Aluminium (50 Jahre)*	Aluminium (50 Jahre)*
5	Lack außen		
10	Lack innen/außen	Lack innen	Beschläge 20 %
	Beschläge 20 %	Beschläge 20 %	
15	Lack außen		
20	Lack innen/außen	Lack innen	Beschläge 20 %
	Beschläge 20 %	Beschläge 20 %	
25	Lack außen		
30	Austausch von Fassade	Dichtungen und Verglasung erneuern	Dichtungen und Verglasung erneuern
		Aluminiumabdeckprofil erneuern (Fenster)	Beschläge 20 %
		Beschläge 20 %	Schrauben für Rahmen
		Lack innen	
		Schrauben für Rahmen	
35	Lack außen		
40	Lack innen/außen	Lack innen	Beschläge 20 %
	Beschläge 20 %	Beschläge 20 %	
45	Lack außen		
50	EOL	EOL	EOL

*Typische Lebensdauer von Fassadensystem

6.4.3 End of Life (EoL)

Die folgenden Gebrauchsende-Szenarien wurden angenommen:

Tabelle 6-11 Good Practice für End-of-Life-Szenarien

Material	Sammelquote	Materialrecyclingausbeute	Gesamt EoL Recyclingquote	Ersatz
Aluminium	99 % für Recycling 1 % für Deponie	98 %	97 %	Primäraluminium Barren
PVC	90 % für Recycling 10 % für Deponie	77 %	69 %	PVC-Granulat
Stahl	90 % für Recycling (*) 10 % für Deponie	90 %	81 %	Stahlknüppel
Holz	90 % für Verbrennung 10 % für Deponie	0 %	0 %	Energierückgewinnung
Glas	100 % für Deponie	0 %	0 %	Inertes Material
Mineralwolle	100 % für Deponie	0 %	0 %	Inertes Material
Kunststoffe (PP,PA,PE)	100 % für Verbrennung	0 %	0 %	Energierückgewinnung
Zementplatte	100 % für Deponie	0 %	0 %	Inertes Material
Gipsplatte	100 % für Deponie	0 %	0 %	Inertes Material

(*) Stahl ist in PVC- und Holzfenstern als Armierung präsent. Die End-of-Life-Szenarien sind daher für PVC und Holz gleich. Es wurde angenommen, dass die End-of-Life-Szenarien für Stahlblech von Fassaden die gleichen sind wie das Szenario für Stahlkomponenten, die als Armierung in PVC- und Holzrahmen integriert sind. Diese Szenarien reflektieren nicht die gewöhnlich hohe Recyclingquote für solche großen Metallteile. Diese Vereinfachung beeinträchtigt jedoch nicht den Vergleich, da alle Fassaden fast die gleiche Menge von Stahlblech enthalten. Es wird angenommen, dass kleine Stahlteile, wie zum Beispiel Schrauben, nicht aussortiert werden und auf der Deponie landen.

Weitere Erläuterungen zu den Annahmen für Good Practice für End-of-Life-Szenarien, Tabelle 6-11:

Sammelquoten:

- Die Sammelquote des Al-Fensters/der Al-Fassade ist aufgrund des hohen Preises von Altaluminium 99 %. Fenster und Fassaden sind große Teile die als Ganzes gesammelt werden (es entsteht kaum ein Verlust am Abrissort). Es wird daher nur ein Verlust von 1 % Prozent durch Abriss/Ausbau angenommen. Dies korreliert entsprechend mit unten genannten Studien.^{1 2}
- Die Sammelquote des PVC-Fensters ist 90%, was die beträchtlichen Bemühungen der PVC-Produzenten, die Sammlung von alten PVC-Rahmen zu organisieren und recyceltes PVC in neues Material zu integrieren, widerspiegelt. Die gleiche Sammelquote wird für Stahl im PVC-Fenster angenommen.
- Für das Holzfenster und die Holzfassade sowie für das PVC-Fenster wird eine Sammelquote von 90 % angenommen.

Recyclingausbeute (Materialien, die nicht recycelt werden, werden als auf Deponie entsorgt angenommen):

- Für Aluminium werden Recyclingdaten für Altaluminium von der EAA verwendet.

¹ Graue Energie von Bauprodukten unter Berücksichtigung der wertkorrigierten Substitution“, EMPA, 2004

² Collection of Aluminium from Buildings in Europe, TU Delft study for EAA , 2004

Studie über

Nachhaltigkeitsbewertung für Fenster und Fassadenelemente

- Für PVC werden deutsche Daten von den Recyclinganlagen verwendet, eine Recyclingausbeute von 77 % bei PVC¹ und 96 % bei Stahl kann festgestellt werden.
- Die Holzrahmen werden in einer Müllverbrennungsanlage, mit der erforderlichen Rauchgasreinigung, verbrannt (durchschnittliche europäische Technologie)³

Credits:

- Recycltes Aluminium: substituiert Primäraluminiumbarren
- Recycltes PVC ersetzt primäres PVC-Fenstermaterial und recycelter Stahl von den Armierungen ersetzt Stahlknüppel. Es ist festzustellen, dass kein Korrekturfaktor (d. h. der eine Herabstufung oder die Unfähigkeit, Primär-PVC voll zu ersetzen, reflektieren würde) für recyceltes PVC angewandt wurde, was durchaus optimistisch ist, da PVC Primär-PVC im Hinblick auf Ästhetik (z. B. Farbe) und mechanische Eigenschaften nicht komplett ersetzen kann. Diese Annahme wird andererseits wieder ausgeglichen durch die Recyclingausbeute von 77 %, die wahrscheinlich recht niedrig ist, wenn man die jüngsten Bemühungen der PVC-Industrie auf diesem Gebiet betrachtet.
- Es werden keine Credits für Energierückgewinnung für Strom von auf Deponien entsorgtem Holz berücksichtigt.
- Credits für Energierückgewinnung von Holz und anderen Kunststoffen werden berücksichtigt.

Tabelle 6-12 Mean Practice für End-of-Life-Szenarien

Material	Sammelquote	Materialrecyclingausbeute	Gesamt EoL Recyclingquote	Ersatz
Aluminium	97 % für Recycling 3 % für Deponie	98 %	95 %	Primäraluminium Barren
PVC	50 % für Recycling 50 % für Deponie	50 %	25 %	PVC-Granulat
Stahl (*)	50 % für Recycling 50 % für Deponie	90 %	45 %	Stahlknüppel
Holz	50 % für Verbrennung 50 % für Deponie	0 %	0 %	Energierückgewinnung
Glas	100 % für Deponie	0 %	0 %	Inertes Material
Mineralwolle	100 % für Deponie	0 %	0 %	Inertes Material
Kunststoffe (PP,PA,PE)	100 % für Verbrennung	0 %	0 %	Energierückgewinnung
Zementplatte	100 % für Deponie	0 %	0 %	Inertes Material
Gipsplatte	100 % für Deponie	0 %	0 %	Inertes Material

(*) Stahl ist in PVC- und Holzfenstern in Form von Beschlag- oder Armierungselementen präsent. Die End-of-Life-Szenarien sind daher für PVC- und Holzprofile gleich. Es wurde angenommen, dass die End-of-Life-Szenarien für Stahlblech von Fassaden die gleichen sind wie das Szenario für Stahlkomponenten, die als Armierung in PVC- und Holzrahmen integriert sind.

¹ Kunststofffenster Recycling in Zahlen 2011, Rewindo GmbH, 2011

² Progress report 2013, VinylPlus, 2013

³ Waste incineration of wood products (OSB, particle board), GaBi Database documentation: <http://gabi-documentation-2013.gabi-soft-ware.com/xml-data/processes/39f61d7a-9cea-4e61-b292-50ad6ee05ccc.xml>

Diese Szenarien reflektieren nicht die gewöhnlich hohe Recyclingquote für solche großen Metallteile. Diese Vereinfachung beeinträchtigt jedoch nicht den Vergleich, da alle Fassaden fast die gleiche Menge von Stahlblech enthalten. Bei anderen kleinen Stahlteilen (z. B. Schrauben) wird angenommen, dass sie nicht aussortiert werden und auf der Deponie landen.

Das aktuelle End-of-Life-Szenario wird in Tabelle 6.12 (Mean Practice für End-of-Life-Szenarien) beschrieben. Weitere Erläuterungen bezüglich der mittleren End-of-Life-Praxis:

Sammelquoten:

- Die Sammelquote des Al-Fensters/der Al-Fassade ist aufgrund des hohen Preises von Aluminimum 97 %. Studien^{1 2} haben gezeigt, dass die Sammelquote von Aluminiumprodukten von Abrissorten im Schnitt über 96 % lag und große Elemente, wie Profile oder Platten, systematisch gesammelt werden. 97 % ist daher eine realistische Annahme für Aluminiumrahmenteile.
- Die Sammelquote bei PVC-Fenstern liegt bei 50 %, was die durchschnittliche Situation reflektiert. Die gleiche Sammelquote wird für Stahl im PVC-Fenster angenommen.
- Für das Holzfenster/die Holzfassade wird das gleiche Szenario angenommen wie für PVC.

Recyclingausbeute:

- Für Aluminium werden Recyclingdaten für Aluminimum von der EAA verwendet, demnach ergibt sich ein Metallverlust von 2 % bei der Schrottaufbereitung (d. h. vorwiegend Schneiden/Zerkleinern) und beim Schmelzen.
- Für PVC-Fenster kann eine Materialrecyclingausbeute von 50 % bei PVC und 90 % bei Stahl festgestellt werden.
- Die Holzrahmen werden in einer Müllverbrennungsanlage, mit der erforderlichen Rauchgasreinigung, verbrannt (durchschnittliche europäische Technologie)³

Credits:

- Recyceltes Aluminium: substituiert Primäraluminiumbarren
- Recyceltes PVC ersetzt primäres PVC-Fenstermaterial und recycelter Stahl von den Armierungen ersetzt Stahlknüppel. Es ist festzustellen, dass kein Korrekturfaktor (d. h. der eine Herabstufung oder die Unfähigkeit, Primär-PVC voll zu ersetzen, reflektieren würde) für recyceltes PVC angewandt wurde, was durchaus optimistisch ist, da PVC Primär-PVC im Hinblick auf Ästhetik (z. B. Farbe) und mechanische Eigenschaften nicht komplett ersetzen kann. Die niedrige Recyclingausbeute gleicht in gewissem Maße diese optimistische Annahme aus.
- Es werden keine Credits für Energierückgewinnung für Strom von auf Deponien entsorgtem Holz berücksichtigt.
- Credits für Energierückgewinnung von Holz und anderen Kunststoffen werden berücksichtigt.

¹ Collection of Aluminium from Buildings in Europe, TU Delft study for EAA , 2004

² Graue Energie von Bauprodukten unter Berücksichtigung der wertkorrigierten Substitution“, EMPA, 2004

³ Waste incineration of wood products (OSB, particle board), GaBi Database documentation: <http://gabi-documentation-2013.gabi-soft-ware.com/xml-data/processes/39f61d7a-9cea-4e61-b292-50ad6ee05ccc.xml>

6.5 Software und Datenbank

Das LCA-Modell wird mithilfe des GaBi 5 Softwaresystems für Life Cycle Engineering, entwickelt von PE International, erstellt. Die GaBi-Datenbank liefert die Daten für Life Cycle Inventory (Sachbilanz) für Hilfsmaterialien, Kraftstoffe und Energie vom Hintergrundsystem.

6.6 Ergebnisse

Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse beschrieben, erörtert und interpretiert. Die Ergebnisse sind aufgrund der verwendeten Grenzbedingungen spezifisch für diese Studie. Die Details für die Grenzbedingungen für die Nutzungsphase sind im Abschnitt 4.2.2 zu finden. Für jede Wirkungskategorie wird der korrespondierende Indikator pro Quadratmeter Raumfläche pro Jahr für den Büroraum oder Wohnraum berechnet. Die Wohnraumfläche ist 25 m² und die Büroraumfläche ist 20 m². Die Gesamtlebensdauer ist 50 Jahre. Die Ergebnisse umfassen Fertigung, Nutzungsphase und End of Life. In Tabelle 6-13 unten werden die Hauptindikatoren zusammengefasst, die in der Lebenszykluswirkungsbewertung verwendet wurden, und die in den einzelnen Grafiken und nachfolgenden Tabellen verwendeten Abkürzungen und Einheiten gezeigt.

Tabelle 6-13 Kategorieindikatoren gemessen, Kurzbezeichnungen und Einheiten

Verwendete Methode	Kategorieindikatoren	Kurzbezeichnung	Einheit
CML2001 Nov. 2010	Versauerungspotenzial	AP	[kg SO ₂ -Äquiv.]
CML2001 Nov. 2010	Eutrophierungspotenzial	EP	[kg Phosphat-Äquiv.]
CML2001 Nov. 2010	Treibhauspotenzial (100 Jahre)	GWP	[kg CO ₂ -Äquiv.]
CML2001 Nov. 2010	Ozonabbaupotenzial	ODP	[kg R11-Äquiv.]
CML2001 Nov. 2010	Fotochemisches Ozonbildungspotenzial	POCP	[kg Ethen-Äquiv.]
	Primärenergiebedarf von erneuerbaren und nicht erneuerbaren Ressourcen (Nettoheizwert)	PED	[MJ]
	Primärenergie von nicht erneuerbaren Ressourcen (Nettoheizwert)	PED nr	[MJ]

Tabelle 6-14 bis 6-17 zeigen das Treibhauspotenzial für Fassaden und Fenster in kg CO₂ - Äquiv. pro Quadratmeter und Jahr für gute und Mean Practice für End of Life Szenarien. Die Ergebnisse werden unterteilt in Gesamt, Fertigung, Nutzungsphase-Energiebedarf, Nutzungsphase-Wartung und End-of-Life. Die Ergebnistabellen für andere Wirkungskategorien sind im Anhang 3 zu finden.

Tabelle 6-14 Treibhauspotenzial für Fassaden (Good Practice für End of Life)

Treibhauspotenzial in kg CO ₂ -Äqv. pro qm pro Jahr (Good Practice für End of Life)					
Fassaden	Gesamt	Fertigung	Nutzungsphase Energiebedarf	Nutzungsphase Wartung	EoL
Holz/Aluminium Berlin (Alu-Mix)	19,06	1,03	17,80	0,41	-0,18
Holz/Aluminium Rom (Alu-Mix)	15,67	1,05	14,41	0,41	-0,20
Holz Berlin	19,41	1,03	17,64	0,90	-0,16
Holz Rom	16,18	1,03	14,41	0,90	-0,16
Aluminium Berlin (Alu-Mix)	19,41	1,65	17,85	0,42	-0,51
Aluminium Rom (Alu-Mix)	16,00	1,66	14,46	0,40	-0,52

Tabelle 6-15 Treibhauspotenzial für Fassaden (Mean Practice für End of Life)

Treibhauspotenzial in kg CO ₂ -Äqv. pro qm pro Jahr (Mean Practice für End of Life)					
Fassaden	Gesamt	Fertigung	Nutzungsphase Energiebedarf	Nutzungsphase Wartung	EoL
Holz/Aluminium Berlin (Alu-Mix)	19,15	1,03	17,80	0,41	-0,09
Holz/Aluminium Rom (Alu-Mix)	15,76	1,05	14,41	0,41	-0,11
Holz Berlin	19,60	1,03	17,64	0,99	-0,07
Holz Rom	16,36	1,03	14,41	0,99	-0,07
Aluminium Berlin (Alu-Mix)	19,50	1,65	17,85	0,42	-0,42
Aluminium Rom (Alu-Mix)	16,10	1,66	14,46	0,40	-0,42

Für das Treibhauspotenzial von Fassadensystemen können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

Für das gleiche Fassadensystem gibt es keinen Unterschied zwischen Rom und Berlin während der Fertigungsphase, Nutzungsphase-Wartung und End-of-Life, da die Materialliste für die beiden Orte ziemlich gleich ist. Aufgrund des unterschiedlichen Klimas ist das Treibhauspotenzial infolge des Energiebedarfs während der Nutzungsphase zwischen Rom und Berlin verschieden. Für das gleiche

Fassadensystem kann daher das Gesamtergebnis zwischen den beiden Orten einen Unterschied von ungefähr 21 % aufweisen.

Über den gesamten Lebenszyklus erreicht die Holz-Aluminium-Fassade in Berlin das niedrigste Treibhauspotenzial mit 19,06 CO₂-Äqv./m²·a (Gute-Praxis-Szenario). Für das Szenario Good Practice und Mean Practice für End-of-Life emittiert die Aluminiumfassade (Aluminium-Mix) insgesamt ungefähr 1,8 % mehr CO₂-Äqv. als die Holz-Aluminium-Fassade. Für Berlin variieren die Ergebnisse für das Mittlere-Praxis-Szenario von 19,15 kg für die Holz-/Alu-Fassade bis 19,60 kg CO₂-Äqv./m²·a für die Holzfassade, d. h. ein Unterschied von weniger als 3%. Dieselbe Tendenz ist auch für den Standort Rom festzustellen. Diese Ergebnisse zeigen daher, dass das Treibhauspotenzial der verschiedenen Fassadensysteme vorwiegend von ihren Energieleistungen während der Nutzungsphase abhängt, während die Wirkungen während der Fertigung und am End-of-Life-Punkt zumindest hinsichtlich des Treibhauspotenzials ziemlich vernachlässigbar sind.

Tabelle 6-16 Treibhauspotenzial für Fenster (Good Practice für End of Life)

Treibhauspotenzial in kg CO ₂ -Äqv. pro qm pro Jahr (Good Practice für End of Life)					
Fenster	Gesamt	Fertigung	Nutzung- sphase Energiebedarf	Nutzung- sphase Wartung	EoL
Holz Berlin	22,54	0,13	22,19	0,18	0,04
Holz Rom	11,71	0,11	11,43	0,15	0,03
Holz/Alu Berlin	22,69	0,25	22,29	0,19	-0,04
Holz/Alu Berlin (Alu-Mix)	22,69	0,21	22,29	0,20	-0,01
Holz/Alu Rom	11,82	0,22	11,48	0,16	-0,05
Holz/Aluminium Rom (Alu-Mix)	11,82	0,19	11,48	0,16	-0,02
PVC Berlin	22,44	0,25	22,03	0,21	-0,05
PVC Rom	11,70	0,22	11,35	0,17	-0,05
Aluminium Berlin	22,38	0,54	21,87	0,17	-0,21
Aluminium Berlin (Alu-Mix)	22,38	0,44	21,87	0,17	-0,12
Aluminium Rom	11,64	0,49	11,25	0,13	-0,22
Aluminium Rom (Alu-Mix)	11,64	0,39	11,25	0,13	-0,12

Tabelle 6-17 Treibhauspotenzial für Fenster (Mean Practice für End of Life)

Treibhauspotenzial in kg CO ₂ -Äqv. pro qm pro Jahr (Mean Practice für End of Life)					
Fenster	Gesamt	Fertigung	Nutzung- sphase Energiebedarf	Nutzung- sphase Wartung	EoL
Holz Berlin	22,54	0,13	22,19	0,18	0,04
Holz Rom	11,72	0,11	11,43	0,15	0,03
Holz/Alu Berlin	22,70	0,25	22,29	0,19	-0,04
Holz/Alu Berlin (Alu-Mix)	22,70	0,21	22,29	0,20	0,00

Studie über

Nachhaltigkeitsbewertung für Fenster und Fassadenelemente

Holz/Alu Rom	11,82	0,21	11,48	0,16	-0,04
Holz/Alu Rom (Alu-Mix)	11,82	0,19	11,48	0,16	0,01
PVC Berlin	22,48	0,25	22,03	0,21	0,00
PVC Rom	11,74	0,22	11,35	0,17	0,00
Aluminium Berlin	22,38	0,54	21,87	0,17	-0,20
Aluminium Berlin (Alu-Mix)	22,38	0,44	21,87	0,17	-0,11
Aluminium Rom	11,65	0,49	11,25	0,13	-0,21
Aluminium Rom (Alu-Mix)	11,64	0,39	11,25	0,13	-0,12

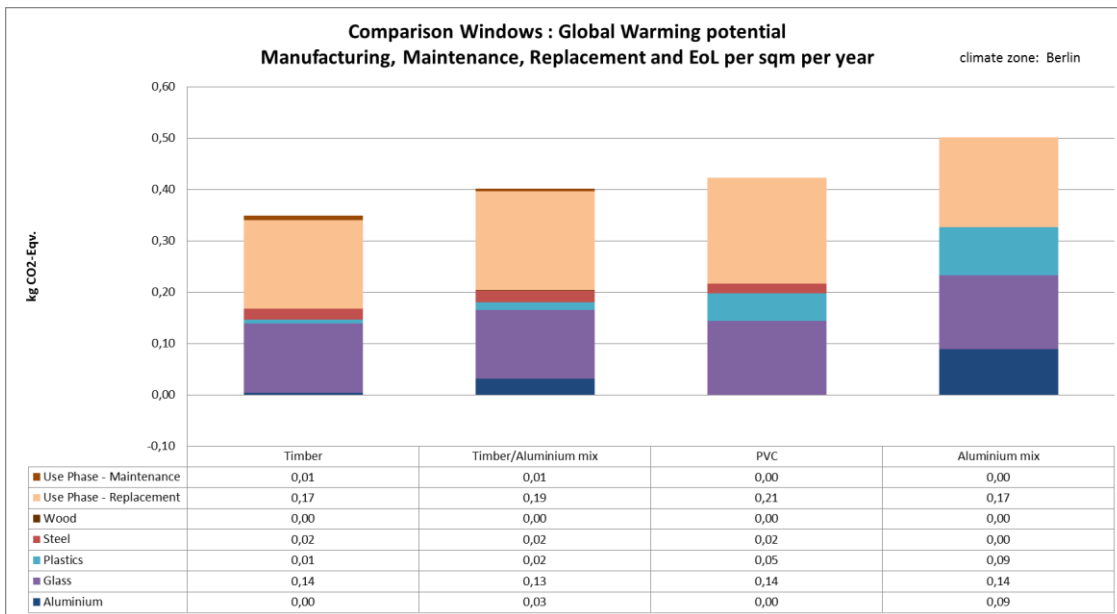
Für das Treibhauspotenzial der Fenstersysteme können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

Für das gleiche Fenstersystem gibt es keinen Unterschied zwischen Rom und Berlin während der Fertigungsphase, und End of Life, da die Materialliste beider Systeme ziemlich gleich ist. Aufgrund der unterschiedlichen Klimabedingungen ist der Energiebedarf in Berlin viel höher als in Rom. Daher kann das gleiche System zwischen den verschiedenen Klimabedingungen einen Unterschied bis zu 92 % aufweisen.

Wie bei den Fassadensystemen festgestellt wurde hängt das Treibhauspotenzial über den gesamten Lebenszyklus vorwiegend vom Standort ab und wird vom jeweiligen Fenstertyp nur leicht beeinflusst. Zum Beispiel variieren die GWP-Ergebnisse für das mittlere Szenario in Berlin von 22,38 CO₂-Äqv./m²·a (Alu) bis 22,70 CO₂-Äqv./m²·a (Alu/Holz), d. h. ein Unterschied von weniger als 2 %. Die LCA-Ergebnisse für gute und mittlere End-of-Life-Szenarien zeigen bei den Fenstern fast das gleiche Gesamttreibhauspotenzial (GWP) an. Das System mit dem niedrigsten GWP ist das Aluminiumfenster. Die höchste GWP-Wirkung wurde beim Holz-Aluminium-Fenster, mit ungefähr 1,5 % mehr als das Aluminiumfenster, festgestellt.

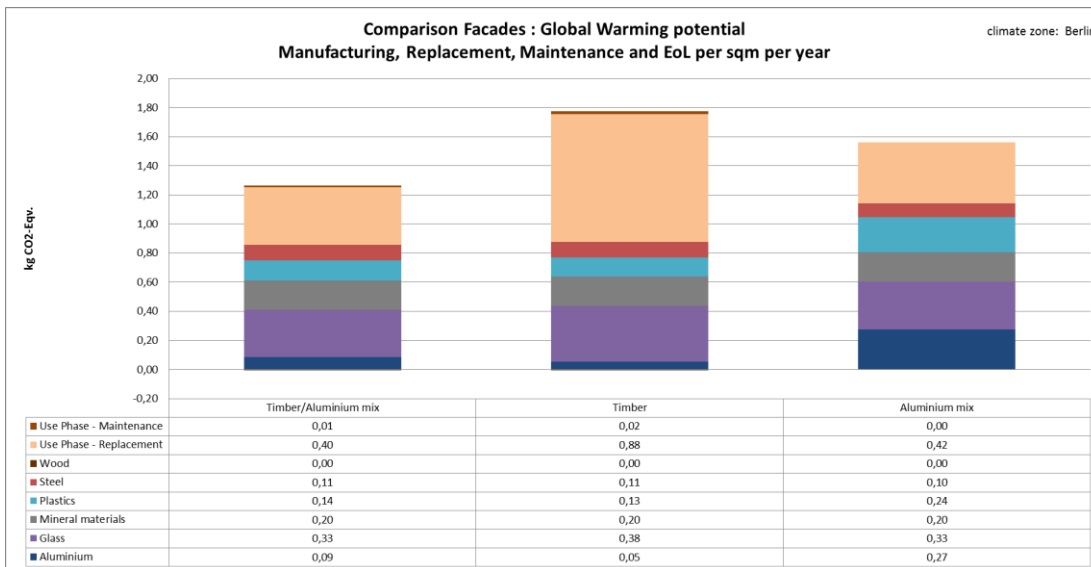
Figur 6-1 und 6-2 zeigen den Vergleich des Treibhauspotenzials der Fenster und Fassaden von Berlin für GWP für gutes End-of-Life-Szenarium ohne Energiebedarf. Figur 6-3 und 6-4 zeigen einen Treibhauspotenzial-Vergleich mit Energiebedarf.

Die „Nutzungsphase– Austausch“-Kategorie integriert sämtliche Austauscharbeiten während der Nutzungsphase, wie zum Beispiel Beschläge, Verglasungen, Dichtungen oder das ganze Fenster. Die Nutzungsphase-Wartung-Kategorie integriert sämtliche Aspekte, die nicht mit dem Energiebedarf während der Nutzungsphase Zusammenhang stehen, wie zum Beispiel Streichen.



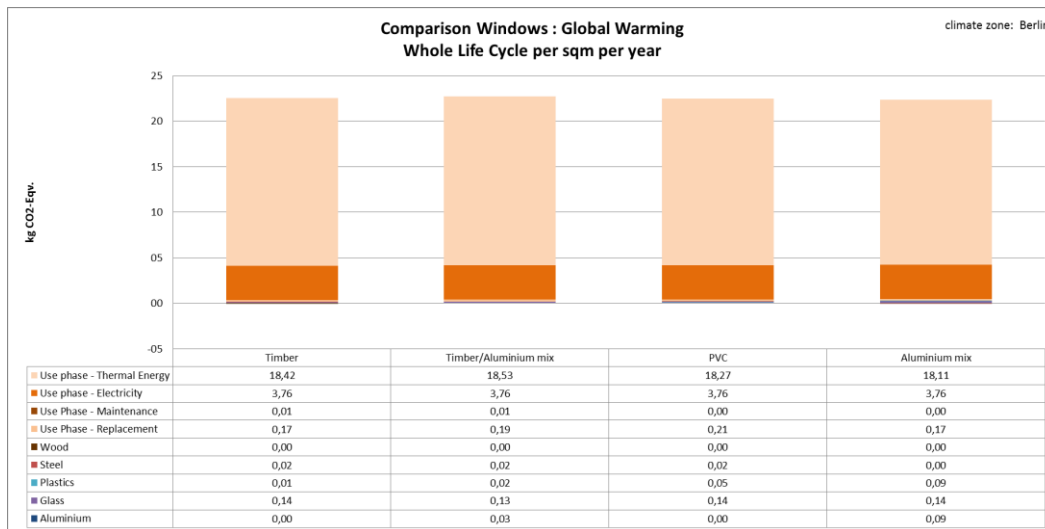
Figur 6-1 Vergleich für Fenster (GWP) – Fertigung, Austausch, Wartung und EoL (Good Practice End of Life)

Comparison Windows: Global Warming potential Manufacturing, Maintenance, Replacement and EoL per sqm per year	Vergleich Fenster: Treibhauspotenzial Fertigung, Wartung, Austausch und EoL pro m ² und Jahr
Climate zone: Berlin	Klimazone: Berlin
Kg CO ₂ -Eqv.	Kg CO ₂ -Äqv.
Use Phase - Maintenance	Nutzungsphase - Wartung
Use Phase - Replacement	Nutzungsphase - Austausch
Wood	Holz
Steel	Stahl
Plastics	Kunststoffe
Glass	Glas
Aluminium	Aluminium
Timber	Holz
Timber/Aluminium mix.	Holz/Aluminium-Mix.
PVC	PVC
Aluminium mix.	Aluminium-Mix.



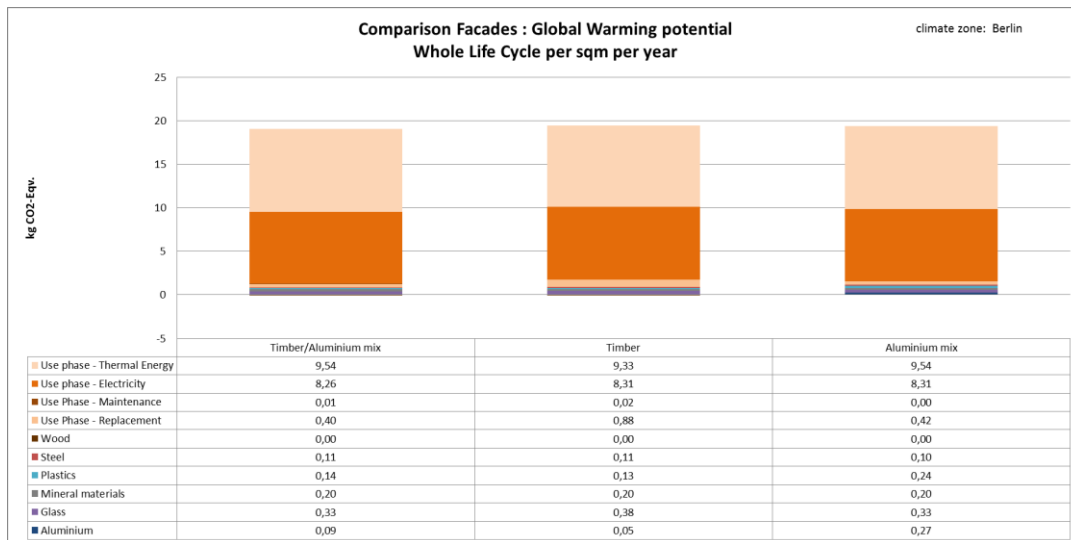
Figur 6-2 Vergleich für Fassaden (GWP) – Fertigung, Austausch, Wartung und EoL (Good Practice End of Life)

Comparison Facades: Global Warming potential Manufacturing, Maintenance, Replacement and EoL per sqm per year	Vergleich Fassaden: Treibhauspotenzial Fertigung, Wartung, Austausch und EoL pro m ² und Jahr
Climate zone: Berlin	Klimazone: Berlin
Kg CO ₂ -Eqv.	Kg CO ₂ -Äqv.
Use Phase - Maintenance	Nutzungsphase - Wartung
Use Phase - Replacement	Nutzungsphase - Austausch
Wood	Holz
Steel	Stahl
Plastics	Kunststoffe
Mineral materials	Mineralstoffe
Glass	Glas
Aluminium	Aluminium
Timber	Holz
Timber/Aluminium mix.	Holz/Aluminium-Mix.
PVC	PVC
Aluminium mix.	Aluminium-Mix.



Figur 6-3 Vergleich für Fenster (GWP) gesamter Lebenszyklus (Good Practice End of Life)

Comparison Windows: Gobar Warming Whole Life Cycle per sqm per year	Vergleich Fenster: Treibhaus Gesamter Lebenszyklus pro m ² und Jahr
Comparison Windows: Gobar Warming Whole Life Cycle per sqm per year	Vergleich Fenster: Treibhaus Gesamter Lebenszyklus pro m ² und Jahr
Climate Zone: Berlin	Klimazone: Berlin
Kg CO2-Eqv.	Kg CO2-Äqv.
Use Phase - Thermal Energy	Nutzungsphase - Wärmeenergie
Use Phase - Electricity	Nutzungsphase - Strom
Use Phase - Maintenance	Nutzungsphase - Wartung
Use Phase - Replacement	Nutzungsphase - Austausch
Rest as above	Rest as above
Wood	Holz
Steel	Stahl
Plastics	Kunststoffe
Glass	Glas
Aluminium	Aluminium
Timber	Holz
Timber/Aluminium mix.	Holz/Aluminium-Mix.
PVC	PVC
Aluminium mix.	Aluminium-Mix.



Figur 6-4 Vergleich für Fassaden (GWP) gesamter Lebenszyklus (Good Practice End of Life)

Comparison Windows: Gobar Warming Whole Life Cycle per sqm per year	Vergleich Fenster: Treibhaus Gesamter Lebenszyklus pro m ² und Jahr
Comparison Windows: Gobar Warming Whole Life Cycle per sqm per year	Vergleich Fenster: Treibhaus Gesamter Lebenszyklus pro m ² und Jahr
Climate Zone: Berlin	Klimazone: Berlin
Kg CO2-Eqv.	Kg CO2-Äqv.
Use Phase - Thermal Energy	Nutzungsphase - Wärmeenergie
Use Phase - Electricity	Nutzungsphase - Strom
Use Phase - Maintenance	Nutzungsphase - Wartung
Use Phase - Replacement	Nutzungsphase - Austausch
Rest as above	Rest as above
Wood	Holz
Steel	Stahl
Plastics	Kunststoffe
Mineral materials	Mineralstoffe
Glass	Glas
Aluminium	Aluminium
Timber	Holz
Timber/Aluminium mix.	Holz/Aluminium-Mix.
PVC	PVC
Aluminium mix.	Aluminium-Mix.

Das Treibhauspotenzial während der Nutzungsphase ist für alle analysierten Fenster- und Fassadentypen dominant. Die Auswirkung des Energieverbrauchs ist in allen Fällen um mehr als eine Größenordnung größer als für Fertigung, Wartung, Austausch von Gebäudeelementen und End-of-Life. Die Tabellen für die anderen Wirkungskategorien sind im Anhang 3 zu finden.

7 Ganzheitliche Fassadenbewertung

7.1 Methode

Für die ganzheitliche Fassadenbewertung werden ein typisches Wohngebäude und ein typisches Bürogebäude betrachtet. Für die Durchführung der Fassadenbewertung muss eine komplette Reihe von Kriterien und Indikatoren definiert werden. Hierfür kommt ein zweistufiges Verfahren zum Einsatz.

Im ersten Schritt werden die am europäischen und internationalen Markt verwendeten üblichen Green-Building-Bewertungssysteme (Green Building Rating Schemes) im Hinblick auf die verwendeten Kriterien untersucht. Der Einfluss von Fassaden- und Fensterqualität auf das Gesamtergebnis der Bewertung wird identifiziert. Schließlich werden die wichtigsten Kriterien der Bewertungssysteme in einer Bewertungsmatrix zusammengefasst.

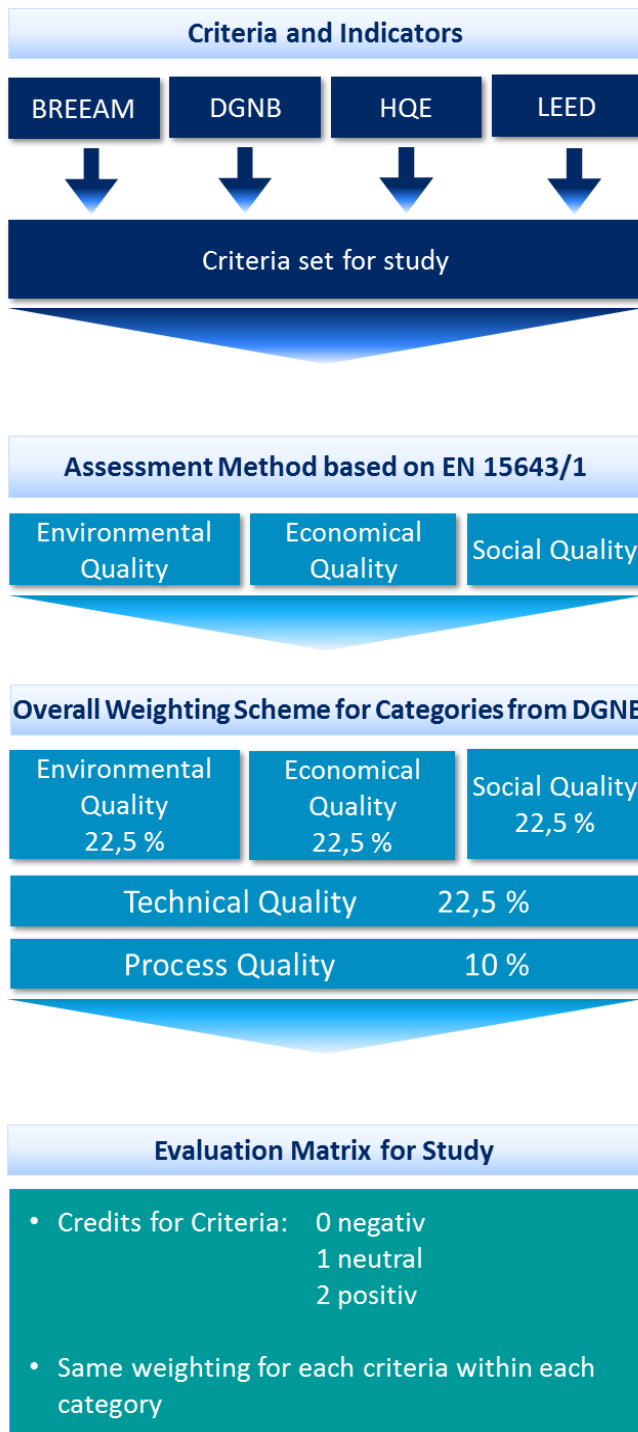
Im zweiten Schritt werden weitere Kriterien identifiziert, die für die Nachhaltigkeitsbewertung von Bedeutung sind und von der täglichen Geschäftstätigkeit abgeleitet werden, und ebenfalls in der Bewertungsmatrix zusammengefasst. Zur Übereinstimmung mit EN 15643/1 (Sustainability of construction works / Nachhaltigkeit von Bauwerken - Sustainability assessment of buildings / Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden) werden die ausgewählten Kriterien in Kategorien für ökologische, ökonomische, soziale, technische und Prozessleistung eingeteilt. Schließlich wurde das DGNB-System gewählt, um unsere Analyse durchzuführen, da es mit der Struktur von EN 15643 im Einklang steht und LCA gemäß ISO 14040 befolgt.

Die Bewertungsmatrix wird verwendet werden, um die verschiedenen untersuchten Rahmenmaterialien zu bewerten. Eine Gesamtbewertung wird gemäß einer einfachen Analyse gebildet: Die Vorteile und Nachteile der untersuchten Systeme werden systematisch hinsichtlich der unterschiedlichen Kategorien analysiert und werden dann mit Credits bewertet: 0 (negativ), 1 (neutral) und 2 (positiv) für jede Kriterien, mit Ausnahme des ökonomischen Indikator, der linear von der the LCC-Analyse abgeleitet wird. Alle Credits werden zu einer einzelnen Bewertung summiert, die mit maximalen Ergebnis von 100 % verglichen wird.

Das Prinzip der Fassadenbewertungsmethode wird in Figur 7-1 gezeigt.

Studie über

Nachhaltigkeitsbewertung für Fenster und Fassadenelemente



Figur 7-1: Fassadenbewertungsmethode

Criteria Indicators	Kriterienindikatoren
Criteria set for study	Kriterienreihe für Untersuchung
Assessment method based on EN 15643/1	Bewertungsmethode basierend auf EN 15643/1
Environmental Quality	Ökologische Qualität
Economical Quality	Ökonomische Qualität
Social Quality	Soziale Qualität

Overall Weighting Scheme for Categories from DGNB	Gesamtgewichtung für Kategorien von DGNB
Technical Quality Process Quality	Technische Qualität Prozessqualität
Evaluation Matrix for Study	Bewertungsmatrix für Studie
Credits for Criteria 0 negativ 1 neutral 2 positiv	Credits für Kriterien 0 negativ 1 neutral 2 positiv
Same weighting for each criteria within each category	Gleiche Gewichtung für jede Kriterien innerhalb jeder Kategorie

7.2 Einfluss von Fassaden- und Fenstersystemen auf Green-Building-Systeme

Green Buildings nutzen unsere Ressourcen (Energie, Wasser und Materialien) in effizienter Weise. Sie stellen gewöhnlich einen hohen allgemeinen Komfort (Wärme, Tageslicht, Akustik, Luftqualität) für Menschen bereit und haben keine schädlichen Wirkungen auf Gesundheit und Umwelt. Die Green Building Rating Schemes (GBRS) sind daher eine geeignete Literaturquelle für Kriterien zur Bewertung der Nachhaltigkeitsleistung in dieser Studie.

Die GBRS-Systeme werden von den Fassaden- und Fenstersystemen unterschiedlich beeinflusst, weshalb mehrere Systeme untersucht werden:

- LEED, Design and Construction, 2009,
- BREEAM, Non-Domestic Buildings, 2011,
- DGNB, New Office and Administrative Buildings, 2012,
- HQE, Non-Residential Buildings, 2012.

In einem ersten Schritt wird jedes einzelne Kriterium dieser Zertifizierungssysteme untersucht, um zu sehen ob die Fassade einen effektiven Einfluss hat oder nicht. Dies wird ganz einfach durch ein Ja/Nein bewertet. Auf diese Weise lassen sich die maximale Wirkung der Fassaden- und Fenstersysteme in jedem GBRS bewerten und die wichtigen Kriterien für diese Studie identifizieren.

Im LEED-Zertifizierungssystem hat die Fassade ihre höchste Wirkung in der Kategorie „Energie und Atmosphäre“, bei der die gesamte Gebäudesimulation ausgeführt werden muss. In der Kategorie „Material und Ressourcen“ werden zusätzliche Credits an Holz mit FSC/PEFC-Zertifizierung vergeben. Dieses nachhaltige Beschaffungskriterium gilt gegenwärtig nur für Holzfassaden. Zertifizierungssysteme für andere Materialien werden noch nicht berücksichtigt. Dies ist für alle anderen untersuchten GBRS ähnlich.

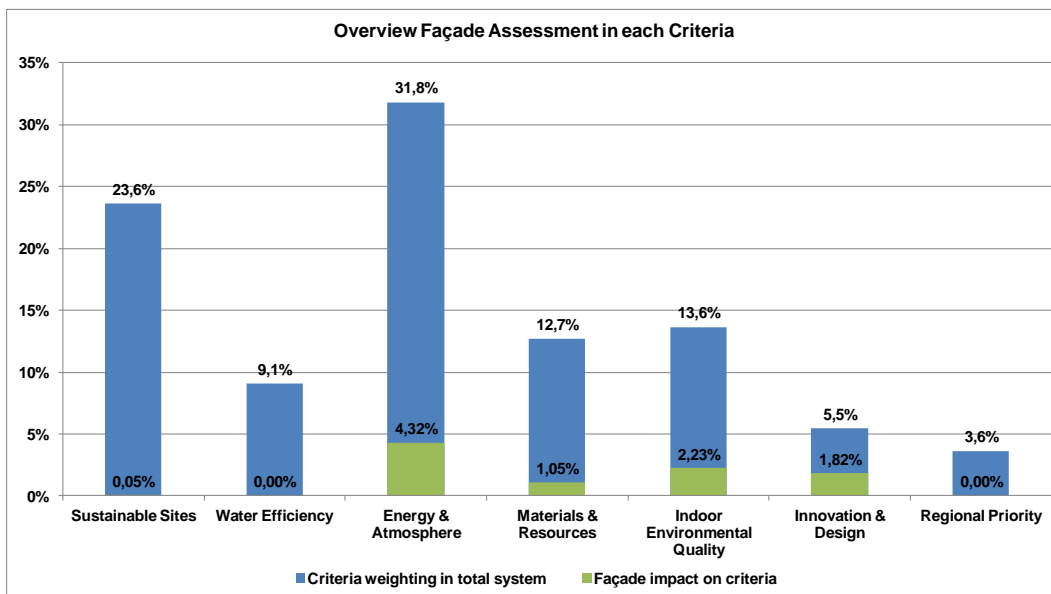
Für die Kategorie „Umweltqualität in Innenräumen“ werden die Auslegung der Fassade und ihre Wirkung auf den Wärmekomfort berücksichtigt. In der Kategorie „Innovation und Gestaltung“ können Vorteile von regionalem und recyceltem Material positiv berücksichtigt werden. Rezyklierbarkeit am End of Life wird bisher noch nicht berücksichtigt.

Studie über

Nachhaltigkeitsbewertung für Fenster und Fassadenelemente

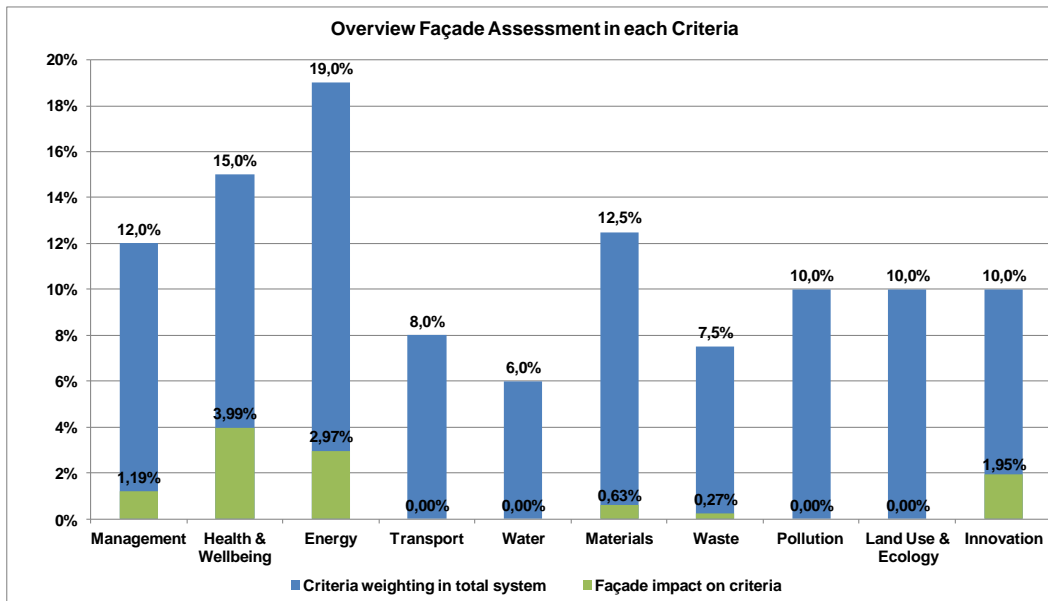
Beim BREEAM-System wird die Lebenszykluskostenberechnung durch die Fassade in der Kategorie „Management“ beeinflusst. Das Kriterium „Gesundheit und Wohlbefinden“ ist vergleichbar mit der Kategorie „Umweltqualität in Innenräumen“ des LEED-Systems. Die Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen werden ebenfalls berücksichtigt. Die Kategorie „Energie“ ist vergleichbar mit der Kategorie „Energie und Atmosphäre“ des LEED-Systems.

Die Energieeffizienz wird ebenfalls im Teil „Innovation“ berücksichtigt, wo die CO₂-Bilanz (Carbon Footprint) untersucht wird. Auch der optische Komfort wird überwiegend durch die Fassade beeinflusst und daher ebenfalls berücksichtigt. Die Wirkung der Fassade während des Lebenszyklus im Hinblick auf Emissionen und Risiken wird im Teil „Material 1“ berücksichtigt. Hier wird die Umweltwirkung entweder mit dem „Green Guide“ von BREEAM oder einem unabhängigen Lebenszyklusbewertungstool bestimmt. End-of-Life-Prozesse müssen für beide Tools berücksichtigt werden. Die Green-Guide-Bewertung für Holzfassaden ist besser als für Aluminium. Für Wohngebäude hat PVC die gleiche Bewertung „A“ wie Aluminium (Profil <1,08 kg/m) [05]. Dieses Ergebnis wird nicht von anderen LCA-Tools geprüft, die für das BREEAM-System ebenfalls verwendet werden können.



Figur 7-2: Fassadeneinfluss auf jede Kategorie im LEED-System

Overview Façade Assessment in each Criteria	Überblick Fassadenbewertung in jedem Kriterium
Sustainable Sites	Nachhaltige Standorte
Water Efficiency	Wassereffizienz
Energy & Atmosphere	Energie & Atmosphäre
Materials & Resources	Materialien & Ressourcen
Indoor Environmental Quality	Umweltqualität in Innenräumen
Innovation & Design	Innovation & Design
Regional Priority	Regionale Priorität
Criteria weighting in total	Kriteriengewichtung gesamt
Façade impact on criteria	Fassadeneinfluss auf Kriterien



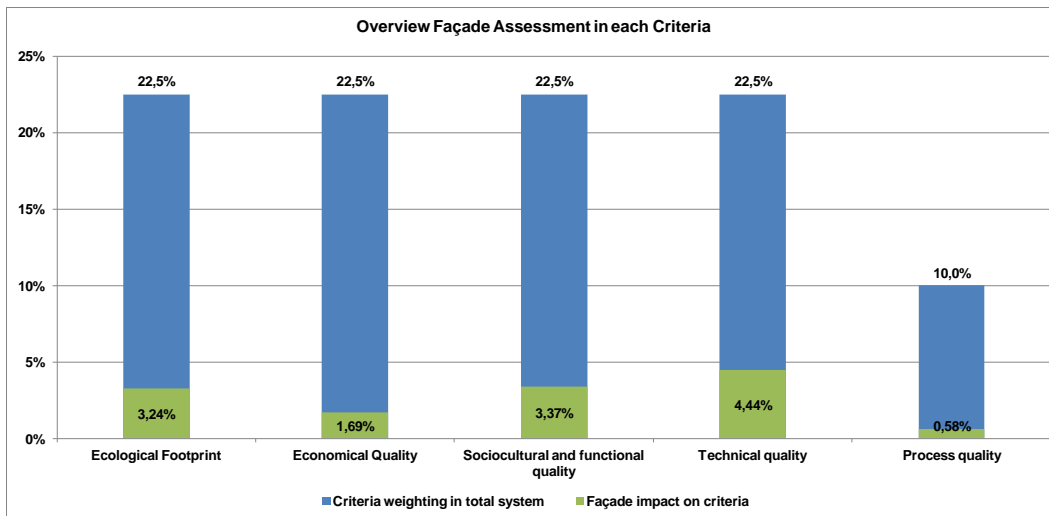
Figur 7-3: Fassadeneinfluss auf jede Kategorie im BREEAM-System

Overview Facade Assessment in each Criteria	Überblick Fassadenbewertung in jedem Kriterium
Management	Management
Health & Wellbeing	Gesundheit & Wohlbefinden
Energy	Energie
Transport	Transport
Water	Wasser
Materials	Materialien
Waste	Abfall
Pollution	Verschmutzung
Land Use & Ecology	Landnutzung & Ökologie
Innovation	Innovation
Criteria weighting in total	Kriteriengewichtung gesamt
Façade impact on criteria	Fassadeneinfluss auf Kriterien

Beim DGNB-System sind zusätzliche Kriterien mit Wirkung auf die Fassade die Gesamtlebenszyklusbewertung sowie Lärm und akustischer Komfort. Die ökologische Leistung des Gebäudes unter Anwendung der Lebenszyklusbewertung (LCA) von Fertigung, Nutzungsphase und End-of-Life wird für diese Studie ebenfalls verwendet, da diese Methode die fortschrittlichste Bewertungsmethode auf diesem Gebiet ist, siehe Abschnitt 6. Die Methode basiert außerdem auf den geltenden europäischen Vorschriften und dem jetzigen Wissensstand.

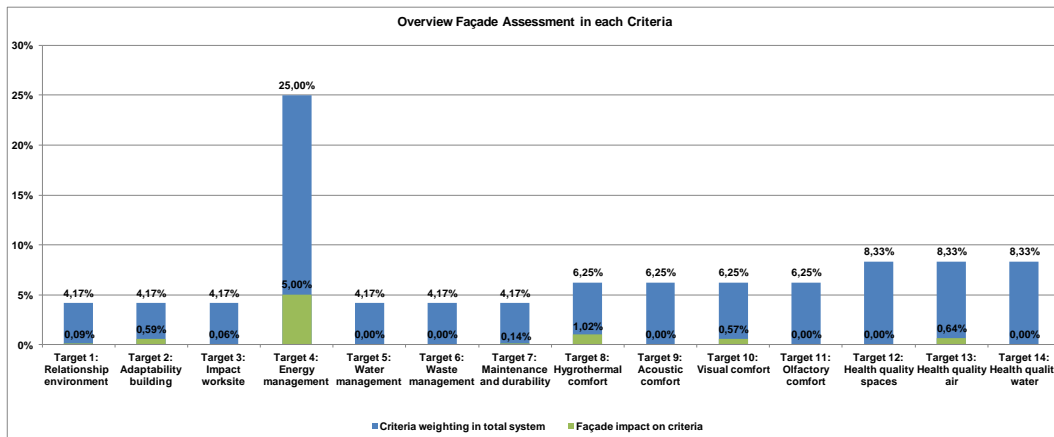
Alle anderen Wirkungen sind ähnlich zu den bereits erwähnten Kriterien.

Das HQE-System betrachtet ebenfalls die bereits erwähnten Kriterien. Rezyklierbarkeit am End of Life wird bisher noch nicht bewertet.



Figur 7-4: Fassadeneinfluss auf jede Kategorie im DGNB-System

Overview Façade Assessment in each Criteria	Überblick Fassadenbewertung in jedem Kriterium
Ecological Footprint	Ökologischer Fußabdruck
Economical Quality	Ökonomische Qualität
Sociocultural and functional quality	Soziokulturelle und funktionale Qualität
Technical quality	Technische Qualität
Process quality	Prozessqualität
Criteria weighting in total	Kriteriengewichtung gesamt
Façade impact on criteria	Fassadeneinfluss auf Kriterien



Figur 7-5: Fassadeneinfluss auf jede Kategorie im HQE-System

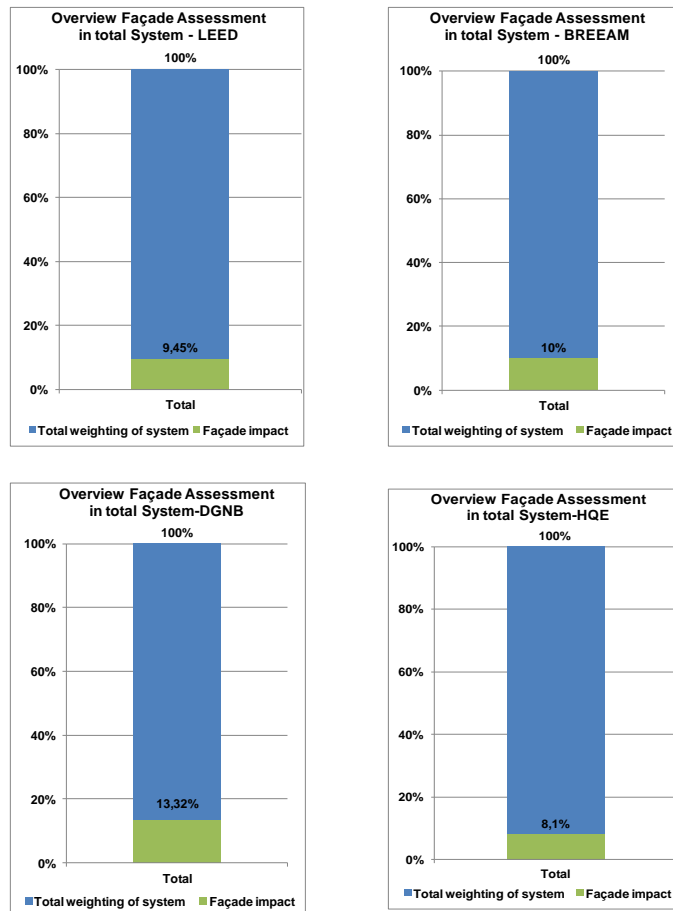
Overview Façade Assessment in each Criteria	Überblick Fassadenbewertung in jedem Kriterium
Target 1 ...	Ziel 1 ...
Relationship environment	Beziehung Umwelt
Adaptability building	Anpassungsfähigkeit Gebäude
Energy management	Energiemanagement
Water management	Wassermanagement
Waste management	Abfallmanagement
Maintenance and durability	Wartung und Haltbarkeit
Hygrothermal comfort	Hydrothermaler Komfort
Acoustic comfort	Akustischer Komfort
Visual comfort	Optischer Komfort
Olfactory comfort	Olfaktorischer Komfort
Health quality spaces	Gesundheitsqualität Räume
Health quality air	Gesundheitsqualität Luft
Health quality water	Gesundheitsqualität Wasser
Criteria weighting in total	Kriteriengewichtung gesamt
Façade impact on criteria	Fassadeneinfluss auf Kriterien

Der übliche maximale Einfluss der Fassade in allen Bewertungssystemen liegt bei ungefähr 10 %. Es gibt viele Kriterien, die recht ähnlich sind, die Indikatoren, Methoden und die Gewichtung sind jedoch verschieden. Alle wichtigen Kriterien für Fassaden und Fenster werden in einer Bewertungsmatrix zusammengefasst, welche

Studie über

Nachhaltigkeitsbewertung für Fenster und Fassadenelemente

die Basis bildet, die verwendet wird, um die Profilmaterialien dieser Studie zu bewerten.



Figur 7-6: Vollständige Ergebnisse der Bewertung für alle untersuchten Green-Building-Systeme

Overview Facade Assessment in total System - LEED	Überblick Fassadenbewertung im gesamten System - LEED
Overview Facade Assessment in total System - BREEM	Überblick Fassadenbewertung im gesamten System - BREEM
Overview Facade Assessment in total System - DGNB	Überblick Fassadenbewertung im gesamten System - DGNB
Overview Facade Assessment in total System - HQE	Überblick Fassadenbewertung im gesamten System - HQE
Total weighting of system	Gesamtgewichtung von System
Façade impact	Fassadeneinfluss

7.3 Bewertungsmatrix (ganzheitliche Fassadenbewertung)

Alle identifizierten Kriterien im Abschnitt 7.2 mit Einfluss auf die Fassade und das Fenster sowie weitere Kriterien aus der gängigen Praxis im Immobiliensektor werden in einer Bewertungsmatrix zusammengefasst, die für diese Studie verwendet wird. Für jede im Abschnitt 3 beschriebene Konstruktion wird jedes Kriterium für die

Studie über

Nachhaltigkeitsbewertung für Fenster und Fassadenelemente

Bewertung verwendet. Außerdem werden eine **typische** und ein **Best Practice**-Konstruktion berücksichtigt, um die mögliche mittlere und maximale Wirkung der Materialprodukte zu zeigen. Die Ergebnisse der Untersuchungen werden in einer Matrix für Büro- und Wohngebäude zusammengefasst. Sämtliche Kriterien sind gemäß EN 15643/1 in Kategorien geordnet (Sustainability of construction works / Nachhaltigkeit von Bauwerken - Sustainability assessment of buildings / Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden:

– Ökologische Qualität	22,5 %
– Ökonomische Qualität	22,5 %
– Soziale Qualität	22,5 %
– Technische Qualität	22,5 %
– Prozessqualität	10 %

Die Kategorien werden neben der Prozessqualität gleich bewertet. Der Grund dafür ist, dass davon ausgegangen wird, dass Prozesskriterien einen geringeren Einfluss auf die endgültige Produktleistung haben als die anderen Kategorien.

Abgesehen von der ökonomischen Qualität werden mehrere spezifische Leistungskriterien innerhalb jeder Kategorie analysiert und eine Bewertung von 2, 1 oder 0 gemäß dieser Analyse verliehen:

- Eine negative Bewertung ergibt → 0 Credit
- Eine neutrale Bewertung ergibt → 1 Credit
- Eine positive Bewertung ergibt → 2 Credits

Innerhalb einer Kategorie werden dann alle Credits zusammengefasst und in einen Prozentwert gemäß dem Gewicht der Kategorie konvertiert. So besteht zum Beispiel die ökologische Qualität aus 4 verschiedenen Kriterien (d. h. LCA, lokales Risiko, nachhaltige Nutzung von Ressourcen, Energiebedarf), was bedeutet, dass die maximale Bewertung 8 Credits entspricht. 8 Credits ergeben somit 22,5 % während 7 Credits 7/8 von 22,5 %, d. h. 19,7 %, wären. Die Prozentwerte von jeder Kategorie werden dann zusammengezählt, um die Gesamtbewertung zu erhalten.

Für die ökonomische Qualität ist die Credits-Bewertung kein schrittweises Verfahren, da diese Kategorie ausschließlich auf den LCC-Ergebnissen basiert, die recht begrenzte Unterschiede zwischen den einzelnen Systemen zeigen. Die schrittweise Credits-Bewertung, die bei anderen Kategorien angewandt wird, würde dann die endgültigen Ergebnisse erheblich beeinflussen, da die Unterschiede recht begrenzt sind d. h. in den LCC-Ergebnissen wird ein maximaler Unterschied von 20 % festgestellt. Die Credits-Bewertung für die ökonomische Qualität verwendet stattdessen einen linearen Gewichtungsprozess, bei dem das billigste System einen Credit von 2 erhält und die anderen Optionen einen Diskontsatz proportional zum Prozentwert der LCC-Erhöhung erhalten. Zum Beispiel wenn ein alternatives System 20 % teurer ist, erhält es 80 % der Credits, d. h. 1,6 von 2. Bei einer Preiserhöhung von mehr als 100 % bleibt der Credit 0. Der Standort Berlin wurde als Referenz für derartige Berechnungen gewählt.

7.4 Beschreibung der Kriterienbewertung

7.4.1 Ökologische Qualität

1.1 - Lebenszyklusbewertung - Umweltfolgen

Die Bewertung basiert auf den LCA-Ergebnissen in Abschnitt 6. Das Fassaden- und Fenstersystem mit dem besten Ergebnis erhält zwei Credits. Das System mit 2 bis 4% GWP als die niedrigste Wirkung erhält einen Credit. System mit 4% oder mehr GWP als niedrigste Wirkung erhält keinen Credit. Jedes System, Fassade und Fenster, wird getrennt voneinander bewertet.

Fassadensystem:

Aluminiumfassade (Aluminium-Mix.) und Holzfassade erreichen ein Treibhauspotenzial von 19,41 kg CO₂Äqv./m²·a (1,8% höher als Holz-Aluminium Fassade) und Holz-Aluminium 19,06 kg CO₂Äqv./m²·a, womit alle Fassadensysteme zwei Credits erhalten.

Fenstersystem:

Aluminiumfenster hat ein Treibhauspotenzial von 22,38 kg CO₂Äqv./m²·a, wogegen PVC-Fenster ein Treibhauspotenzial von 22,44 kg CO₂Äqv./m²·a hat (0,3% höher als Aluminiumfenster window), Holzfenster 22,54 kg CO₂Äqv./m²·a (0,7% höher als Aluminiumfenster) und Holz-Aluminium 22,69 kg CO₂Äqv./m²·a (1,4% höher als Aluminiumfenster), womit alle Fenstersysteme zwei Credits erhalten.

Diese gleichmäßige Bewertung für alle Typen von Systemen bestätigt, dass eine Differenzierung zwischen den einzelnen Systemen auf ökologischer Ebene nicht sinnvoll ist, da schließlich die Nutzungsphase, insbesondere für den GWP-Indikator, immer noch am bedeutendsten ist.

Nähere Informationen dazu finden Sie im Abschnitt 6.

1.2 - Risiken für die lokale Umwelt

Gewisse Materialien, Bauprodukte und Zubereitungen, die gefährliche Substanzen enthalten, können eine Gefahr für den Boden, die Luft, das Grundwasser und Oberflächenwasser sowie die menschliche Gesundheit, Flora und Fauna erstellen. Um die Gefahren für die menschliche Gesundheit und die lokale Umwelt zu minimieren, sollten Materialien und Bauprodukte, die gefährliche Substanzen enthalten, vermieden oder ersetzt werden. Durch dieses Kriterium werden nur Material- und Produktinhalte bewertet. Ökologische und humantoxikologische Wirkung kann noch nicht angewandt werden.

Als Best Practice wird typischerweise eine Pulverbeschichtung für Aluminiumbeschichtung und Eloxalschichten verwendet. Beide Alternativen sind frei von Chrom-VI [06] und Aluminiumsysteme werden mit einem Credit bewertet.

PVC-Systeme enthalten hauptsächlich Calcium und Zink als Stabilisatoren und werden einem Credit bewertet.

Studie über

Nachhaltigkeitsbewertung für Fenster und Fassadenelemente

Holz enthält typischerweise Biozide und Lösungsmittel mit längeren Emissionsabklingzeiten (kein Credit). Bei bester Praxis werden Inhalte mit geringer Toxizität verwendet, was einen Credit ergibt.

Ein weiterer Credit bezieht sich auf die Toxizitätsbewertung während der Nutzungsphase. Aluminium- und PVC-Systeme müssen nicht gestrichen werden, während Holzsysteme regelmäßig gestrichen werden müssen, wobei gewisse toxische Emissionen generiert werden. PVC und Aluminium erhalten daher einen Credit, während Holz keinen Credit erhält. Bei Best practice für Holz gibt es einen Credit, sofern Farben ohne toxische Emissionen verwendet werden.

1.3 - Nachhaltige Nutzung von Ressourcen

- Holz (typisch: 1, beste Praxis: 2): Aus einer Beschaffungsperspektive scheint Holz ein nachhaltiges Material zu sein, da es nachwächst. Die breite Verwendung von zertifiziertem Holz, z. B. Forest Stewardship Council (FSC) und Programme for the Endorsement of Forest Certification Systeme (PEFC) und die Bewirtschaftung von Forstflächen in Europa in den vergangenen Jahren zeigen effektiv eine nachhaltige Bewirtschaftung der Holzressourcen [08]. Aus einer End-of-Life-Perspektive landen aber viele Holzprofile immer noch ohne Behandlung auf Deponien [07]. Aus diesem Grund erhalten Holzprofile für die Mean Practice einen Credit. Bei bester Praxis sollten Holzrahmen am End-of-Life-Punkt gesammelt und behandelt werden (z. B. für Energierückgewinnung), wofür zwei Credits verliehen werden.

- Aluminium (typisch: 1, beste Praxis: 2): Die Produktion von Primäraluminium ist energieintensiv. Obwohl Aluminiumrecycling sehr effizient ist, gibt es heute immer noch einen großen Anteil an Aluminium, das von Primärquellen stammt, was auf die unzureichende Verfügbarkeit von Altaluminium zurückzuführen ist. Aus einer Beschaffungsperspektive ist bei Aluminium die Energieintensität bei der Primärproduktion zu beklagen. Aus der End of Life Perspektive lässt sich jedoch sagen, dass Aluminiumrahmen heute systematisch zu neuen Aluminiumprodukten verwertet werden. Aluminiumprofile haben derzeit eine Sammelquote von nahezu 100%, was auf ihren hohen ökonomischen Wert und ihre Tauglichkeit für effizientes Recycling zurückzuführen ist. Aus diesem Grund erhält Aluminium bei typischem Szenario einen Credit. Bei bester Praxis wird eine Bewertung von zwei Credit verliehen, um optimierte Praktiken im Hinblick auf Recycling und Aluminiumbeschaffung zu reflektieren.

- PVC (typisch: 0, beste Praxis: 1): Die PVC-Produktion ist ein ziemlich energieintensiver Prozess, basierend auf nicht erneuerbaren Rohstoffen, insbesondere Rohöl. Außerdem kann durch recyceltes PVC neues unbehandeltes PVC nicht vollkommen ersetzt werden. Für die Fertigung von neuen Profilen muss zum Beispiel recyceltes PVC mit neuem PVC eingekapselt, hauptsächlich aus ästhetischen Gründen. Darüber hinaus entgeht ein erheblicher Anteil der PVC-Rahmen heute immer noch den Sammelprogrammen, die von der PVC-Industrie implementiert und gefördert werden. Dem typischen PVC-System wird daher eine schlechte Nachhaltigkeit im Hinblick auf Ressourcen mit 0 Credits zugeschrieben, während für die Best Practice ein Credit verliehen wird, bei der das PVC am End-of-Life zwecks Recycling eingesammelt wird.

Studie über

Nachhaltigkeitsbewertung für Fenster und Fassadenelemente

**DREES &
SOMMER**

 **PE INTERNATIONAL**
SUSTAINABILITY PERFORMANCE

1.4 - Energiebedarf

Der Energiebedarf wird im Kapitel 4 bestimmt. Alle Materialien erhalten zwei Credits, da sämtliche berechnete Energiebedarfe eine vergleichbare Leistung aufweisen. Nähere Informationen dazu finden Sie im Abschnitt 4.

7.4.2 Ökonomische Qualität – Lebenszykluskosten LCC

Die Lebenszykluskosten werden im Kapitel 5 bestimmt. Das Material mit den niedrigsten LCC erhält 100 % der Bewertung, während die anderen Materialien eine Bewertung erhalten, die entsprechend ihrem jeweiligen LCC-Ergebnis im Vergleich zur besten Bewertung reduziert ist. Zum Beispiel wenn ein System 20 % teurer ist als das System mit den niedrigsten LCC, erhält es 80 % (100 %-20 %) der Höchstwertung. Bei mehr als 100 % Erhöhung der LCC bleibt der Credit 0 %, d. h. kein Credit.

Fassadensystem (Berlin):

Aluminiumfassade erhält eine Wertung von 2 (100 %, d. h. 846 €/m²), wogegen Holz-Aluminium-Fassade eine Wertung von 1,9 erhält, da 898 €/m² 6% höher ist als von Aluminiumfassade, und Holzfassade erhält 1,6, da 1010 €/m² 19% höher ist als Aluminiumfassade.

Fenstersystem (Berlin):

PVC-Fenster erhält eine Wertung von 2 (100 %, d. h. 421 €/m²) während Aluminiumfenster eine Wertung von 1,92 erhält, da 435 €/m² 3 % höher ist als PVC-Fenster. Holzfenster erhält 1,76 mit LCC-Kosten von 471 €/m² und Holz-Aluminium erhält eine Wertung von 1,88 mit LCC von 443 €/m².

Nähere Informationen dazu finden Sie im Abschnitt 5.

7.4.3 Soziale Qualität

3.1 - Wärmekomfort

Der Wärmekomfort wird im Kapitel 4.2.3 bestimmt. Alle Materialien erhalten zwei Credits, da alle erzielten Komfortkategorien ähnlich sind. Nähere Informationen dazu finden Sie im Abschnitt 4.2.3.

3.2 - Raumluftqualität

Für dieses Kriterium werden die gesundheitsschädlichen Emissionen der unterschiedlichen Rahmen nach der Bauphase des Gebäudes bewertet. Aluminiumpulverbeschichtung enthält keine gefährlichen Substanzen [06, 09 und 10], daher wird ein Credit verliehen. Holz muss typischerweise gestrichen werden und mit Bioziden und Lösungsmitteln behandelt werden, was mit längeren Emissionsabklingzeiten verbunden ist (kein Credit). PVC emittiert keine gefährlichen Substanzen, wofür ein Credit verliehen wird.

Darüber hinaus werden die Lüftungsleistungen der Räume bewertet. Die Lüftungsrate wird durch mechanische Lüftung und öffnende Fenster, unabhängig vom Rahmenmaterial, gewährleistet. Aus diesem Grund erhält jede Konstruktion einen zusätzlichen Credit.

3.3. - Optischer Komfort

Der optische Komfort ist vom Fensterverhältnis des gesamten Gebäudes und der Tiefe des Raumes abhängig. Die Profiltiefe und die Profbreite sind die einzigen

Charakteristiken der Fassade, die einen geringen Einfluss auf das Tageslicht haben. Die Aluminiumfassade hat generell Profile mit einer geringeren Tiefe als Holzprofile (40-50 mm weniger). Der Einfluss von 40-50 mm geringerer Tiefe auf die optischen Aspekte ist vernachlässigbar.

Sämtliche untersuchten Räume erzielen die höchste Kategorie für optischen Komfort und aus diesem Grund erhalten alle Rahmen zwei Credits.

3.4 - Auslegung und Design / Nutzerkomfort / Ästhetik

Durch dieses Kriterium werden Gestaltungsvielfalt, Flexibilität, Nutzerkomfort und Ästhetik bewertet.

Aluminium bietet hohe Gestaltungsflexibilität, Ästhetik und hohen Nutzungskomfort für den Benutzer, wofür zwei Credits verliehen werden. Holz besitzt eine begrenzte Gestaltungsflexibilität und einen geringeren Nutzungskomfort, wofür ein Credit verliehen wird. PVC besitzt eine gute Gestaltungsflexibilität und Ästhetik, begrenzt für spezielle Konstruktionen, wofür ein Credit verliehen wird.

7.4.4 Technische Qualität

4.1 - Brandsicherheit

Für die Bewertung der Brandsicherheit werden Brennbarkeit, Rauchbildung und Abtropfen gemäß EN 13501-1 und DIN 4102-1 betrachtet. Aluminium erfüllt sämtliche Brandsicherheitsanforderungen auf höchstem Niveau (Reaktion auf Brandklasse A¹). Holz und PVC sind brennbar (Klasse B) und entwickeln im Brandfall Rauch.

Aluminium erhält daher zwei Credits, Holz und PVC ein Credit.

4.2 - Schallschutz

Durch dieses Kriterium wird der Schallschutz gegen Umgebungsluft und die Schalldämmung an Flanken bewertet. Der Schallschutz gegen Umgebungsluft ist stark vom Glas abhängig, da der Rahmen nur einen kleinen Teil der gesamten Fassade ausmacht. Zwischen den Materialien konnte nur ein kleiner technischer Unterschied festgestellt werden.

Schalldämmung der Aluminiumflanke, bei Best Practice, kann durch Stahleinsätze bis auf 52 dB verbessert werden. Dieser Wert reicht zur Erfüllung der höchsten Anforderungen aus, d. h. geschützte Räume. Die Aluminiumfassade erhält dabei, bei bester Praxis, zwei Credits. Alle anderen Fassadensysteme werden mit einem Credit bewertet.

Die Schalldämmung von Flanken ist nur bei Bürogebäuden wichtig, da in Wohngebäuden keine Fenster an den Flanken positioniert werden. Sämtliche Fenstersysteme erhalten zwei Credits.

¹ Entscheidung 94/611/EG und 96/603/EG der Europäischen Kommission

4.3 - Qualität der Gebäudehülle bezüglich Hitze und Feuchtigkeit

Die Qualität der Gebäudehülle bezüglich Wärmedurchgang, Wärmebrücken, Luftdurchlässigkeit, Kompensation an der Innenseite der Struktur und Sonnen-/Hitzeschutz wird hauptsächlich im Kapitel 4 beschrieben. Jeder untersuchte Raum erzielt die höchste Leistung und aus diesem Grund erhalten alle Rahmen zwei Credits.

4.4. - Leichtigkeit von Abriss und Recycling

Für dieses Kriterium wird der Aufwand für den Ausbau/Abriss bewertet.

Die Analyse zeigte, dass der Aufwand für den Ausbau/Abriss und das Sortieren in einzelne Grundelemente nicht vom Rahmen Material, sondern von der jeweiligen Konstruktion abhängig ist. Sämtliche Fassaden- und Fenstersysteme weisen zufriedenstellende Möglichkeiten für den Ausbau/Abriss auf. Wie bereits erwähnt weisen Aluminiumrahmen eine bessere Rezyklierbarkeit auf als PVC- oder Holzrahmen. Die Überlegenheit von Al-Rahmen wurde bereits in 1.3 dargelegt. Aus diesem Grund wird jedem System ein Credit für die typischen und besten Praxis Szenarien verliehen, mit Ausnahme von Aluminiumfenstern und Aluminiumfassaden, die zwei Credits für das beste Praxisszenario erhalten, wofür eine komplett optimierte Auslegung für effizienten Ausbau/Abriss und Recycling vorausgesetzt wird.

7.4.5 Prozessqualität

5.1 - Optimale Nutzung und optimales Management

Aluminium ist ein formbeständiges, korrosionsfestes und strapazierfähiges Material. Dies führt daher zu einem sehr geringen Wartungsaufwand, wofür Fassaden- und Fenstersysteme aus Aluminium zwei Credits erhalten.

Holzfenster müssen alle fünf Jahre neu gestrichen werden, um die erwartete Lebensdauer gewährleisten, während Holz-Aluminium-Fenster weniger kritisch ist, obwohl es dennoch einen größeren Wartungsaufwand als das Aluminiumsystem hat. Ein Credit wird dem Holz-Aluminium-Fenster verliehen und das Holzfenster erhält kein Credit. Im Hinblick auf den Wartungsaufwand für Fassadensysteme ist bei Holzfassaden ein Nachteil feststellen, wofür ein Credit verliehen wird.

Das PVC-System ist aufgrund Alterungseffekte fehleranfälliger und hat eine geringere strapazierfähigkeit als Aluminium [02], wofür ein Credit verliehen wird.

5.2 - Baustelle /Prozess

Für dieses Kriterium werden die Möglichkeiten, Abfall, Lärm und Staub auf der Baustelle zu reduzieren, bewertet, wofür ein Credit verliehen wird. Der zweite Credit wird für den Bauaufwand und die Baudauer verliehen.

Unsere Analyse der verschiedenen Materialien zeigt keinen großen Unterschied im Hinblick auf diese Kriterien und aus diesem Grund werden alle Fassaden- und Fenstersysteme mit zwei Credits bewertet.

Studie über

Nachhaltigkeitsbewertung für Fenster und Fassadenelemente

5.3 - Materialbeschaffung

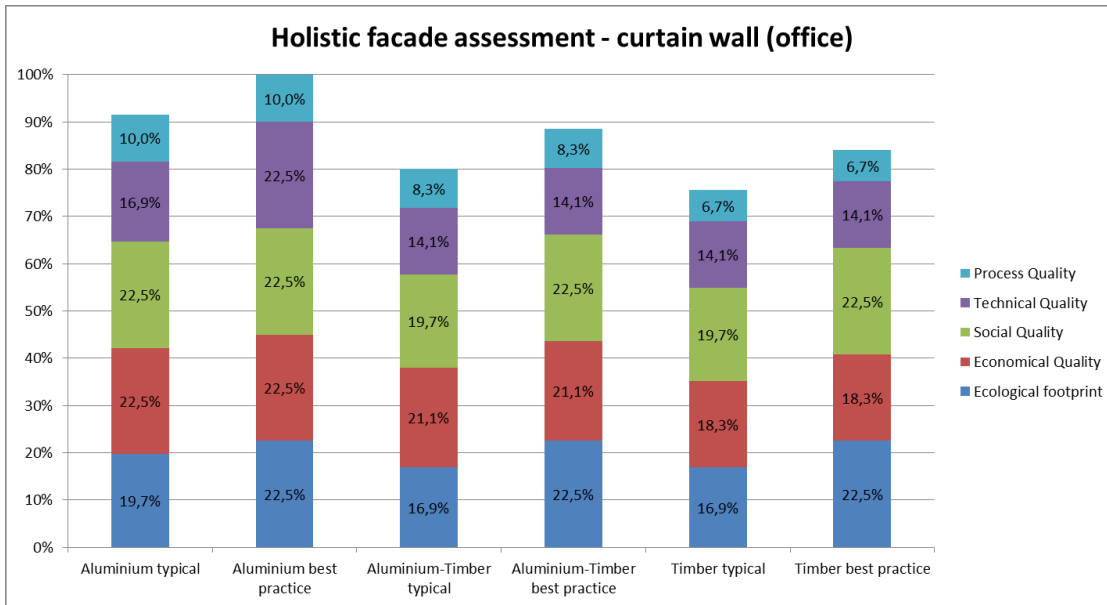
Im Hinblick auf die Materialbeschaffung für ein Bauvorhaben ist bei Holzfassaden gemäß unserer praktischen Erfahrung generell mit längeren Lieferzeiten zu rechnen, insbesondere bei größeren Projekten. Aluminiumfassade erhält zwei Credits und Holz- und Holz-Aluminium-Fassade erhalten ein Credit.

Sämtliche Fenstersysteme erhalten aufgrund ihrer hohen Verfügbarkeit am Markt zwei Credits.

7.4.6 Bewertungsmatrix – Ergebnisse

Tabelle 7-1 Ergebnisse Bewertung Fassadensystem – Büro

Fassadensysteme	Aluminium		Aluminium-Holz		Holz	
	typisch	beste Praxis	typisch	beste Praxis	typisch	beste Praxis
1 Ökologische Qualität						
1.1. Lebenszyklusbewertung - Umweltfolgen aufgrund von Emissionen	2	2	2	2	2	2
1.2. Risiken für die lokale Umwelt	2	2	1	2	1	2
1.3. Nachhaltige Nutzung von Ressourcen	1	2	1	2	1	2
1.4. Energiebedarf	2	2	2	2	2	2
2 Ökonomische Qualität						
2.1. Gebäudebezogene Lebenszykluskosten	2,0	2,0	1,9	1,9	1,6	1,6
3 Soziale Qualität						
3.1. Wärmekomfort	2	2	2	2	2	2
3.2. Raumluftqualität	2	2	1	2	1	2
3.3. Optischer Komfort	2	2	2	2	2	2
3.4. Auslegung und Design / Nutzerkomfort / Ästhetik	2	2	2	2	2	2
4 Technische Qualität						
4.1. Brandsicherheit	2	2	1	1	1	1
4.2. Schallschutz	1	2	1	1	1	1
4.3. Qualität der Gebäudehülle bezüglich Hitze und Feuchtigkeit	2	2	2	2	2	2
4.4. Leichtigkeit von Abriss und Recycling	1	2	1	1	1	1
5 Prozessqualität						
5.1. Schaffung von Bedingungen für optimale Nutzung und optimales Management	2	2	2	2	1	1
5.2. Baustelle /Prozess	2	2	2	2	2	2
5.3. Materialbeschaffung	2	2	1	1	1	1
Gesamtergebnis						
1 Ökologische Qualität	7	8	6	8	6	8
2 Ökonomische Qualität	2,0	2,0	1,9	1,9	1,6	1,6
3 Soziale Qualität	8	8	7	8	7	8
4 Technische Qualität	6	8	5	5	5	5
5 Prozessqualität	6	6	5	5	4	4
Prozentzahlen						
Ökologischer Fußabdruck	19,7 %	22,5 %	16,9 %	22,5 %	16,9 %	22,5 %
Ökonomische Qualität	22,5 %	22,5 %	21,1 %	21,1 %	18,3 %	18,3 %
Soziale Qualität	22,5 %	22,5 %	19,7 %	22,5 %	19,7 %	22,5 %
Technische Qualität	16,9 %	22,5 %	14,1 %	14,1 %	14,1 %	14,1 %
Prozessqualität	10,0 %	10,0 %	8,3 %	8,3 %	6,7 %	6,7 %
Gesamt	91,6 %	100,0 %	80,1 %	88,5 %	75,6 %	84,0 %

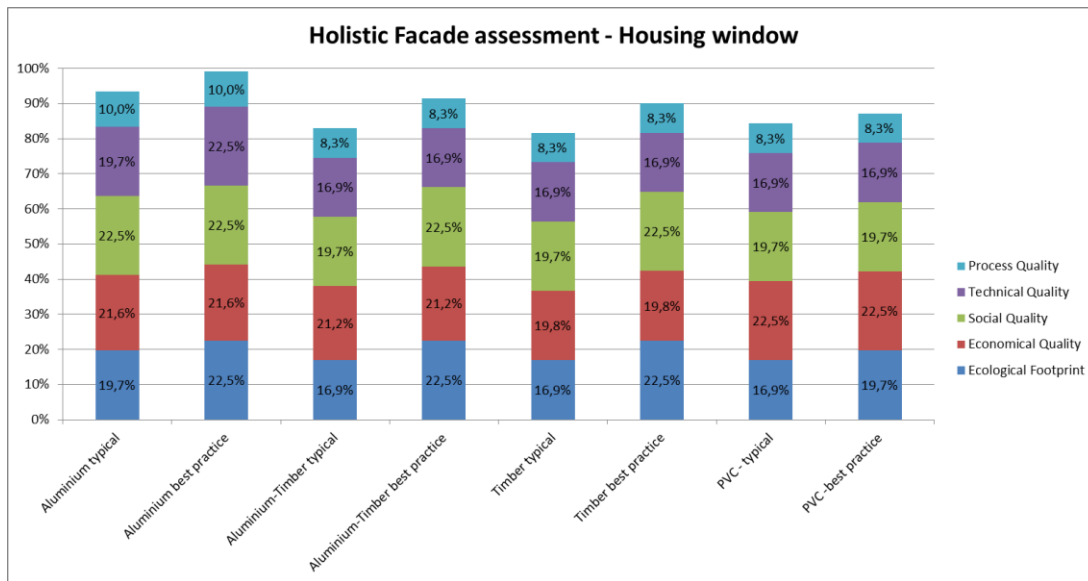


Figur 7-7: Ergebnisse Bewertung Fassadensystem – Fassade Bürohaus

Holistic facade assessment - curtain wall (office)	Ganzheitliche Fassadenbewertung - Fassade (Büro)
Process Quality	Prozessqualität
Technical Quality	Technische Qualität
Social Quality	Soziale Qualität
Economical Quality	Ökonomische Qualität
Ecological Quality	Ökologische Qualität
Aluminium typical	Aluminium typisch
Aluminium best practice	Aluminium Best Practice
Aluminium-Timber typical	Aluminium-Holz typisch
Aluminium-Timber best practice	Aluminium-Holz Best Practice
Timber typical	Holz typisch
Timber best practice	Holz Best Practice
PVC typical	PVC typisch
PVC best practice	PVC Best Practice

Tabelle 7-2 Ergebnisse Bewertung Fenster – Wohnbau

Fenstersysteme	Aluminium		Aluminium-Holz		Holz		PVC	
	typisch	beste Praxis	typisch	beste Praxis	typisch	beste Praxis	typisch	beste Praxis
1 Ökologische Qualität								
1.1. Lebenszyklusbewertung - Umweltfolgen aufgrund von Emissionen	2	2	2	2	2	2	2	2
1.2. Risiken für die lokale Umwelt	2	2	1	2	1	2	2	2
1.3. Nachhaltige Nutzung von Ressourcen	1	2	1	2	1	2	0	1
1.4. Energiebedarf	2	2	2	2	2	2	2	2
2 Ökonomische Qualität								
2.1. Gebäudebezogene Lebenszykluskosten	1,92	1,92	1,88	1,88	1,76	1,76	2	2
3 Soziale Qualität								
3.1. Wärmekomfort	2	2	2	2	2	2	2	2
3.2. Raumluftqualität	2	2	1	2	1	2	2	2
3.3. Optischer Komfort	2	2	2	2	2	2	2	2
3.4. Auslegung und Design / Nutzerkomfort / Ästhetik	2	2	2	2	2	2	1	1
4 Technische Qualität								
4.1. Brandsicherheit	2	2	1	1	1	1	1	1
4.2. Schallschutz	2	2	2	2	2	2	2	2
4.3. Qualität der Gebäudehülle bezüglich Hitze und Feuchtigkeit	2	2	2	2	2	2	2	2
4.4. Leichtigkeit von Abriss und Recycling	1	2	1	1	1	1	1	1
5 Prozessqualität								
5.1. Schaffung von Bedingungen für optimale Nutzung und optimales Management	2	2	1	1	1	1	1	1
5.2. Baustelle /Prozess	2	2	2	2	2	2	2	2
5.3. Materialbeschaffung	2	2	2	2	2	2	2	2
Gesamtergebnis								
1 Ökologische Qualität	7	8	6	8	6	8	6	7
2 Ökonomische Qualität	1,92	1,92	1,88	1,88	1,76	1,76	2	2
3 Soziale Qualität	8	8	7	8	7	8	7	7
4 Technische Qualität	7	8	6	6	6	6	6	6
5 Prozessqualität	6	6	5	5	5	5	5	5
Prozentzahlen								
1 Ökologische Qualität	19,7 %	22,5 %	16,9 %	22,5 %	16,9 %	22,5 %	16,9 %	19,7 %
2 Ökonomische Qualität	21,6 %	21,6 %	21,2 %	21,2 %	19,8 %	19,8 %	22,5 %	22,5 %
3 Soziale Qualität	22,5 %	22,5 %	19,7 %	22,5 %	19,7 %	22,5 %	19,7 %	19,7 %
4 Technische Qualität	19,7 %	22,5 %	16,9 %	16,9 %	16,9 %	16,9 %	16,9 %	16,9 %
5 Prozessqualität	10,0 %	10,0 %	8,3 %	8,3 %	8,3 %	8,3 %	8,3 %	8,3 %
Gesamt	93,4 %	99,1 %	82,9 %	91,4 %	81,6 %	90,0 %	84,3 %	87,1 %



Figur 7-8: Ergebnisse Bewertung Fenster – Wohnbau

Holistic facade assessment - Housing Window	Ganzheitliche Fassadenbewertung - Wohnungsfenster
Process Quality	Prozessqualität
Technical Quality	Technische Qualität
Social Quality	Soziale Qualität
Economical Quality	Ökonomische Qualität
Ecological Quality	Ökologische Qualität
Aluminium typical	Aluminium typisch
Aluminium best practice	Aluminium Best Practice
Aluminium-Timber typical	Aluminium-Holz typisch
Aluminium-Timber best practice	Aluminium-Holz Best Practice
Timber typical	Holz typisch
Timber best practice	Holz Best Practice
PVC typical	PVC typisch
PVC best practice	PVC Best Practice

7.5 Empfehlungen für Green-Building-Bewertungssysteme

Die Analyse der gängigen Green Building Rating Systeme sowie unsere praktische Erfahrung mit Fassaden geben uns die Möglichkeit, offene Fragen klären, die von den Zertifizierungsinstituten zusätzlich adressiert werden könnten. Folgende Empfehlungen können von der Studie abgeleitet werden:

- Definieren von Methode für Lebenszyklusbewertung (LCA): Bei den Green Building Rating Systemen werden verschiedene Methoden verwendet, um die Umweltleistung von Gebäuden zu bewerten. Die Indikatoren und Methoden sind meist unterteilt in Produktionsphase, Nutzungsphase und End-of-Life-Phase oder Wiederverwendungsphase (BREEAM, LEED und HQE). Außerdem werden neue Leistungsindikatoren geschaffen (z. B. Green Guide), die in Umweltbewertungen einfließen und die für den Markt nicht klar sind. Zum Beispiel werden in

BREEAM's Green Guide Aluminiumprofile für Wohngebäude und Nichtwohngebäude unterschiedlich bewertet. Aus einem ökologischen Gesichtspunkt ist es ziemlich unüblich, eine von der Nutzung des Gebäudes abhängige Bewertung zu haben.

Empfehlungen:

- Verwendung von Lebenszyklusbewertung gemäß ISO 14044 oder EN 15804.
 - Zusammenschluss von Produktionsphase, Nutzungsphase sowie End-of-Life in einer aggregierten Zahl, so dass das Konstruktionsteam beste und optimale Lösungen entwickeln kann und Innovationen nicht unterbunden werden.
 - Berücksichtigung des Energieverbrauchs bezogen auf die Nutzungsphase des Gebäudes in der LCA.
-
- Die Bewertung der nachhaltigen Nutzung von Ressourcen sollte auch andere Materialien neben Holz umfassen Die Menge des gesammelten Materials am End-of-Life-Punkt und die entsprechenden ökologischen Vorteile bezogen auf deren Recycling oder Verbrennung mit Energierückgewinnung sollte berücksichtigt werden.
 - Architektonische Gestaltung: Es gibt in den Bewertungssystemen kein Kriterium wie „Gestaltungsfreiheit / Ästhetik“. Da individuelle Gestaltung eine der wichtigsten Qualitäten ist, um einen hohen Wert für das Gebäude zu erzielen, sollte dies in die Bewertungssysteme aufgenommen werden.
 - Lebenszykluskosten ist nur in DGNB und BREEAM eingeschlossen. Um den hohen Wert für länger haltende Materialien zu zeigen, ist es für ein Bewertungssystem „unerlässlich“, dieses Kriterium, zu enthalten.

8 Literaturquellen

[01] Datenblatt Psi-Wert Fenster, Arbeitskreis "Warme Kante", October 2008

[02] BNB – Bewertungssystem für Nachhaltiges Bauen für Bundesgebäude (<http://www.nachhaltigesbauen.de>); DGNB – Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (<http://www.dgnb.de>)

[03] Final Report – Life cycle assessment of PVC and principal competing materials, European Commission, 2004

[04] Instandhaltung- und Pflegeanleitung, Bundesverband ProHolzfenster, September 2000.

[05] BREEAM Green Guide 2008 ratings

[06] DGNB Kriterium ENV1.2: Risiken für die lokale Umwelt

[07] Life cycle assessment - The whole story: from cradle to grave, TATA Steel

[08] Forest Paper 163 - Food and Agriculture Organization of the United Nations -, 2010

[09] Evaluation of impact of aluminium construction products on soil, surface and groundwater, EAA, 2011

[10] Etiquetage des émissions en polluants volatils d'une "Façade-Rideau à ossature aluminium" selon la norme ISO 16000, 2012

Studie über

Nachhaltigkeitsbewertung für Fenster und Fassadenelemente

9 Statement zum Gutachten

Die Originalversion der Studie wurde in englischer Sprache erstellt. Die vorliegende deutsche Übersetzung wurde fachlich qualifiziert und sorgfältig vorgenommen und von den Autoren der Studie geprüft. Dennoch können übersetzungsbedingte Ungenauigkeiten nicht gänzlich ausgeschlossen werden. Im Zweifelsfall oder bei gewünschtem Zugang zum "Critical Review Statement" orientieren Sie sich bitte an der englischen Originalversion. Diese ist hier zu finden unter <http://eepurl.com/baYUlf>.