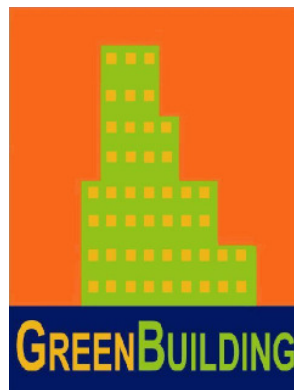


Technisches Modul zum Thema

# Gebäudehülle



## Inhalt

1. Einführung .....	1
2. Bestandsaufnahme der Gebäudehülle .....	2
3. Analyse technischer Maßnahmen zur Energieeinsparung .....	5
4. Maßnahmenplan .....	14
5. Berichterstattung .....	14
Anhang 1: Richt- und Zielwerte für Komponenten der Gebäudehülle .....	15
Anhang 2: Richt- und Zielwerte für den Energiebedarf des Gebäudes.....	17
Anhang 3: Richtwerte für die Energieleistung herkömmlicher und hoch entwickelter Fensterkomponenten.....	19
Anhang 4: Maßnahmenplan für die Gebäudehülle .....	20
Anhang 5: Berichterstattungsformular für die Gebäudehülle .....	22

Autor:

Pagliano, Lorenzo; Dama, Alessandro  
Politecnico di Milano, Building Engineering Faculty  
End-Use Efficiency Research Group (eERG)

Deutsche Überarbeitung:  
Dr. Peter Radgen, Fraunhofer-ISI

GreenBuilding im Internet: [www.green-building.de](http://www.green-building.de)

Das Vorhaben GreenBuilding wird gefördert durch:

Gefördert durch das



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Technologie

Intelligent Energy  Europe

Die alleinige Verantwortung für die Inhalte dieses Dokuments liegt beim Herausgeber. Die Inhalte geben nicht die Position der Europäischen Gemeinschaft wieder. Die Europäische Kommission trägt keine Verantwortung für jegliche Nutzung der in diesem Dokument dargestellten Inhalte.

Kontaktstellen für GreenBuilding in Deutschland:



In Zusammenarbeit mit



## 1. Einführung

Mit der Teilnahme am GreenBuilding-Programm zeigen Unternehmen ihr Engagement für eine deutliche Verringerung des Energieverbrauchs in ihren Nicht-Wohngebäuden.

Im Folgenden wird aufgezeigt, wie das Energieeffizienzpotential im Bereich der *Gebäudehüllen* ermittelt und ausgeschöpft werden kann.

### **Energiesparpotential:**

Heiz-, Kühl- und Beleuchtungsanlagen tragen wesentlich zum Energieverbrauch in Nicht-Wohngebäuden bei. Sie sorgen für angenehme Licht- und Temperaturverhältnisse innerhalb der Gebäude. Die Gebäudehülle wirkt sich entscheidend auf den Energiebedarf dieser Aktivanlagen aus, da es Heiz- und Kühllast sowie den Einfall von Tageslicht reguliert. Mit Hilfe der Renovierung und Umrüstung der *Gebäudehülle* können durch Reduzierung der Wärme- und Stromlast beträchtliche Energieeinsparungen erzielt werden. Mitunter kann der Einsatz von Aktivanlagen durch effiziente Gebäudehülle gänzlich vermieden werden. Je nach Effizienz der Gebäudehülle von Nicht-Wohngebäuden können durch umfassende Nachrüstung Energieeinsparungen von bis zu 50% erzielt werden. Die Möglichkeiten reichen von der Kombination verschiedener Komponenten über eine Komplettrenovierung der Fassade bis hin zur Anbringung einer neuen „zweiten Haut“.

### **Kosteneffizienz:**

Der interne Zinsfluss (IRR) für Investitionen in Renovierungen zum Bau energiesparender *Gebäudehüllen* beträgt – in Abhängigkeit vom Zustand der Gebäudehülle sowie von den Arbeitskosten, Energiepreisen und Finanzierungsmodellen – in der Regel zwischen 5% und 25%.

Dieses Dokument stellt eine Ergänzung zum GreenBuilding-„Partnerleitfaden“ dar. Es beschreibt die Punkte, die der Maßnahmenplan eines zukünftigen GreenBuilding-Partners, der sich im Bereich der Gebäudehülle engagieren möchte, beinhalten sollte. Insbesondere werden darin die folgenden, für den Partner relevanten Schritte erklärt:

- **Bestandsaufnahme** der Bauteile und Funktionen der Gebäudehülle
- **Beurteilung** der Anwendbarkeit möglicher Energiesparmaßnahmen
- **Maßnahmenplan** zur Festlegung der vom Partner vorgesehenen Schritte zur Senkung der Betriebskosten mittels verbesserter Energieeffizienz
- **Jahresbericht** über die Umsetzungsfortschritte des Maßnahmenplans

Bitte beachten Sie, dass Unterlagen zur Bestandsaufnahme und Beurteilung vertraulich und nur zum internen Gebrauch bestimmt sind, wohingegen der Maßnahmenplan sowie der Fortschrittsbericht im Rahmen des GreenBuilding-Programms veröffentlicht werden.

## 2. Bestandsaufnahme der Gebäudehülle

Um geeignete Energiesparmaßnahmen zu identifizieren, sollte ein GB-Partner zunächst eine Bestandsaufnahme der vorhandenen Gebäudehüllenbauteile vornehmen und die wichtigsten Parameter zusammentragen – wie z. B. äußere Klimabedingungen, Zeitplan, Gebäudenutzung, derzeitiger Verbrauch der Heiz-, Kühl- und Beleuchtungsanlagen.

Die Bestandsaufnahme erfolgt in drei Schritten.

### 2.1. Systembeschreibung

Es empfiehlt sich die Zusammenstellung folgender Daten:

#### **Allgemeine Informationen, Standort und Nutzung:**

geographischer Standort

Gesamtgrundfläche (Netto) und Volumen

durch Aktivsysteme beheizte bzw. gekühlte Gesamtgrundfläche (Netto)

Grundriss und Anzahl der Gebäudeebenen

Bereich und Grad der Verschattung (Eigenverschattung, Verschattung durch andere Gebäude, Bäume usw.)

Bericht zum Mikroklima (vorhandene Vegetation ...)

Betriebszeitplan und Nutzungsart

jährlicher Gesamtenergieverbrauch

#### **Informationen zu den Bauteilen der Gebäudehülle:**

Unterteilung des Gebäudes in Temperaturzonen (im Sinne von Gebäudebereichen, deren Temperaturbedingungen konstant zu halten sind) und Beschreibung folgender Parameter für jede Zone:

Fenster: Art der Verglasung und Rahmen, Anteil transparenter/opaker Flächen und Ausrichtung

Außenwände: exakter oder angenommener Aufbau (basierend auf Gebäudeplänen, Baurichtlinien oder technischen Berechnungen), Fläche und Ausrichtung, Grad der Wärmekapazität (niedrig, mittel, hoch), Oberflächenreflexion

Dach und Boden: Art, Geometrie, Aufbau und Oberflächenreflexion

Sonnenschutzsysteme (falls vorhanden): Art (innen oder außen ...) und Form, thermische und optische Eigenschaften (Infrarot-Emissionsgrad, Reflexion, Durchlässigkeit).

### 2.2. Parameterermittlung

#### **Wärmeverluste**

Struktur und Merkmale der Wandkomponenten sind üblicherweise nicht sichtbar in die Gebäudehülle integriert. Demzufolge ist häufig eine technische Einschätzung der thermischen Eigenschaften erforderlich (vgl. auch Anhang 2 für Richtwerte zum Wärmedurchgang von Verglasungen und Rahmen).

Zusätzliche Messmethoden:

- Mittels Infrarotthermographie können die Eigenschaften und auch Mängel der Gebäudehülle, wie z. B. Wärmebrücken, exakt und ohne Eingriffe bestimmt werden. Dazu wird das Hinzuziehen von Experten sowie die Verwendung eines Standardverfahrens empfohlen.

- Sollten andere Mittel zur Datengewinnung unzureichend sein, können mit Hilfe einer Öffnung der Außenwand (von etwa 10 cm Durchmesser) genaue Informationen zur vorhandenen Struktur und zum Zustand der Gebäudehülle gewonnen werden.

### **Messungen zum Systembetrieb**

- jährlicher (idealerweise monatlicher) Strom-/Brennstoffverbrauch für aktive Heizsysteme
- jährlicher (idealerweise monatlicher) Strom-/Brennstoffverbrauch für aktive Kühlsysteme
- jährlicher (idealerweise monatlicher) Stromverbrauch für aktive Beleuchtungssysteme
- monatliche Durchschnittslufttemperatur
- monatliche Durchschnittssonneneinstrahlung
- stündliche Daten zu Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit, Windrichtung und Windstärke, direkter und diffuser Sonneneinstrahlung usw. sind erforderlich im Rahmen einer dynamischen Gebäudesimulation zur Wirksamkeitsanalyse bestimmter Verbesserungen an der Gebäudehülle

### **2.3. Energieeffizienzindikatoren**

Die Bewertung der Effizienz eines passiven Systems wie der Gebäudehülle erfolgt üblicherweise mit Hilfe zweier komplexer Methoden.

Bei der herkömmlichen Methode basiert die Bewertung der Gebäudehülle auf der Auswertung ihrer Einzelkomponenten (z. B. durch die Vorgabe von Mindestanforderungen). Die Ergebnisse dieser Auswertung werden mit Kenndaten verglichen, um zu überprüfen, ob die jeweiligen Anforderungen erfüllt sind. Das Zusammenwirken der verschiedenen Systembauteile bleibt bei dieser Vorgehensweise unberücksichtigt.

Ein Vergleich der Wirkung verschiedener Gebäudehüllen auf das thermische Gleichgewicht ist nur mit Hilfe vereinfachter stationärer Berechnungsmethoden (wie sie in nationalen oder europäischen Normen enthalten sind) bzw. im Idealfall mit Hilfe dynamischer Simulationsmethoden (durch Fachleute) möglich.

Auch wenn stationäre Methoden für Klimazonen mit hohem Heizbedarf ausreichend sein können, sollten bei bestehendem Kühlbedarf sowie bei Abhängigkeit des Gebäudes von passiven Systemen zur Erzeugung von Komfort auch dynamische Aspekte, wie z. B. die Temperaturkurve im Tagesverlauf, mit einbezogen werden. Mit Hilfe dieser Berechnungen können die bei verschiedenen Hüllensystemen relevanten Wärmelasten zur Erreichung spezifischer Komfortbedingungen abgeschätzt werden.

### **Standard- und Zielwerte der Komponentenleistung**

Der Wärmedurchgang folgender Komponenten kann mit den Richtwerten in **Anhang 1** verglichen werden:

- vertikale Außenwand
- Fenster oder vergleichbare transparente Flächen
- Dach
- Bodenfläche

Ebenfalls in **Anhang 1** finden Sie Richtwerte zur Luftdichtigkeit des gesamten Gebäudes.

### **Standard-Energieverbrauch des Gebäudes:**

Die Indikatoren für die Gebäudehülle beziehen sich in der Regel auf die Wärmelasten und den Beleuchtungsbedarf der jeweiligen aktiven Systeme. Da zur Erhebung dieser Daten jedoch relativ komplexe Berechnungen erforderlich sind, kann bei der Bestandsaufnahme auch der Energieverbrauch der jeweiligen aktiven Systeme herangezogen werden.

Folgende Daten können mit den Richtwerten in **Anhang 2** verglichen werden:

- Strom-/Brennstoffverbrauch pro Jahr und Quadratmeter für aktive Heizsysteme, standardmäßig bezogen auf den Temperaturunterschied zwischen äußerer Umgebung und innerem Sollwert (mit Hilfe von Heizgradtagen/HGT des Gebäudestandorts)
- Strom-/Brennstoffverbrauch pro Jahr und Quadratmeter für aktive Kühlsysteme
- Stromverbrauch pro Jahr und Quadratmeter für aktive Beleuchtungssysteme

### **Komfortwerte:**

Zur Bewertung des Komfortgrades in Gebäuden können folgende Methoden zur Anwendung kommen:

- das ursprünglich von Fanger entwickelte Komfortmodell zur Beurteilung des Raumklimas („Predicted Mean Vote (PMV)/ „voraussichtliche mittlere Beurteilung“),
- sowie das Modell mit Anpassung an das vom Gebäudenutzer bevorzugte Raumklima (insbesondere im Sommer sinnvoll)

Im ersten Modell beruht die optimale Innentemperatur eines Gebäudes (bei der aus Sicht der Nutzer Behaglichkeit vorliegt) ausschließlich auf Parametern, die sich auf die Raumbedingungen im Gebäudeinnern (wie z.B. Lufttemperatur und Luftzirkulation, mittlere Heiztemperatur, Luftfeuchtigkeit) sowie auf die Bekleidung und die Stoffwechselaktivitäten der Gebäudenutzer beziehen. Die Berechnungen erfolgen anhand von Tests in geschlossenen Räumen, in denen die von Bewohnern gewünschten Raumbedingungen überwacht werden. Ziel ist die Ermittlung einer geringen Temperaturspanne, die in den Räumen stets konstant gehalten werden soll.

Im zweiten Modell wird eine Beziehung zwischen der Komforttemperatur der Gebäudenutzer und der Außenlufttemperatur (bzw. einem variablen Mittelwert der Außentemperatur über einen Zeitraum von einigen Tagen) hergestellt. Das zu Grunde liegende Konzept ist der dokumentierte Anpassungsprozess des Körpers und seiner Stoffwechselaktivitäten an das Raumklima und dessen Schwankungen und somit auch die Tatsache, dass die von den Bewohnern als angenehm empfundene Temperatur je nach Jahreszeit und Standort variiert. Dieser Zusammenhang wird anhand einer an Nutzern existierender Gebäude durchgeführten Feldstudie ermittelt. Ergebnis dieser Studie war die Feststellung, dass insbesondere im Sommer eine breitere als die im Modell von Fanger angegebene Temperaturspanne als angenehm empfunden wird. Darüber hinaus vereinfacht das Anpassungsmodell das Integrieren passiver Kühltechnologien.

Daher empfiehlt es sich, das Anpassungsmodell zur Berechnung der Indikatoren des Komfortgrades in Gebäuden bzw. beide Modelle (Fanger- und Anpassungsmodell) anzuwenden, um Gebäudeeigentümern und -nutzern umfassendere Daten zur Verfügung stellen zu können.

### 3. Analyse technischer Maßnahmen zur Energieeinsparung

Unter Berücksichtigung der Klimabedingungen, des aktuellen Zustands und der Betriebsbedingungen von Gebäuden kann die Energieeffizienz von Gebäudehüllen durch folgende Maßnahmen verbessert werden:

- a) Kontrolle von Wärmeverlust und Wärmezuwachs durch transparente Oberflächen mittels Verwendung geeigneter Rahmen und Verglasungen
- b) Verbesserung der Wärmedämmung von Wänden, Dächern und Fußböden mittels Verwendung von Dämmstoffen bzw. Erhöhung der Dämmschichtdicke
- c) Verbesserung der Wärmedämmung des gesamten Gebäudes durch Doppelfassaden (opak oder transparent, wobei erstere leichter umzusetzen und zu handhaben sind)
- d) Kontrolle des Wärmegewinns bei transparenten Oberflächen mittels Verwendung geeigneter Sonnenschutzvorrichtungen
- e) Reduzierung von Zugluft durch die Gebäudehülle (Fenster- und Türrahmen, Risse in Wänden, Übergänge zwischen den verschiedenen Komponenten)
- f) Reduzierung der Raumhöhe und der Wärmeschichtung der Luft (in Zonen mit vorwiegendem Kühlbedarf)
- g) Auslegung und Regelung von Öffnungen zur Be- und Entlüftung und Reduzierung von Wärme-/Kälteverlust (bei mechanischer Lüftung: Abwärmeverwertung)
- h) Regulierung von Wärmezuwachs bei opaken Oberflächen mittels Änderung ihres Rückstrahlvermögens (bzw. Reflexion)
- i) Nutzung der Vegetation zur Verschattung von Flächen im Sommer und zur Reduzierung der Umgebungstemperatur des Gebäudes durch Verdunstung und Transpiration

Die größten Energieeinsparungen können durch eine optimale Kombination<sup>1</sup> verschiedener Maßnahmen erzielt werden.

Durch die Schaffung einer gleichmäßigen Wärmeisolierung der Gebäudehüllensoberfläche können Wärmebrücken vermieden werden und somit die Wärmeleistung einzelner Komponenten verbessert werden.

Von entscheidender Bedeutung ist die Wärmedämmung naturgemäß in Zonen mit hohem Heizbedarf. Sie ist jedoch ebenfalls in Zonen mit Kühlbedarf von Vorteil, auch wenn hier durch Kombination des Wärmedämmvermögens der Wand mit natürlicher Belüftung und der Verwendung von Sonnenschutzsystemen bessere Ergebnisse erreicht werden können.

#### 3.1 Verglasung

Zunächst müssen transparente Flächen in der Gebäudehülle niedrige Wärmedurchgangswerte aufweisen (in Kombination mit angemessenen Lichtdurchlässigkeits- und Lichtreflexionskoeffizienten, um eine Abschwächung des Tageslichteinfalls zu verhindern). Wärmespiegel-Verglasungssysteme (mit Beschichtungen mit geringer Abstrahlung) ermöglichen Wärmedämmwerte, die mit den Werten opaker Wände vergleichbar sind. Diese Lösungen sind bereits jetzt Standard und übliche Praxis in Nordeuropa. Darüber hinaus zählen Verglasungssysteme und transparente Fassaden zu den entscheidenden Elementen

---

<sup>1</sup> Für eine optimale Kombination von Maßnahmen ist stets die Hinzuziehung von Experten erforderlich.

der Gebäudehülle, da sie den direkten Einfall von Sonnenstrahlung sowie Tageslicht in das Gebäude gewährleisten. Dies kann allerdings im Sommer den Nachteil der Überhitzung mit sich bringen. Mit Hilfe moderner Verglasung mit spektralselektiven Beschichtungen kann das sichtbare Spektrum der Sonnenstrahlung gefiltert werden, um maximalen Lichtgewinn bei minimalem Wärmeeintrag zu erhalten. Die gebräuchlichste und flexibelste Methode zum Schutz vor Hitzebelastung durch Sonneneinstrahlung ist und bleibt jedoch die Verwendung von Sonnenschutzvorrichtungen.

Hauptparameter zur Auswahl geeigneter Verglasungs- oder Fenstersysteme:

- ***U Wärmedurchgangswert:*** Wärmemenge, die durch einen Quadratmeter Fläche hindurchgeht, wenn der Temperaturunterschied der Luft zu beiden Seiten der Fläche 1 Kelvin beträgt. [ $W/(m^2K)$ ] Niedrige Werte sind wichtig, um Wärmeverluste in den Wintermonaten gering zu halten.
- ***g Solarfaktor:*** Anteil einfallender Strahlungsenergie, der dem Gebäudeinneren zugeführt wird. Niedrige Werte bedeuten eine geringe Wärmebelastung durch Sonneneinstrahlung.
- ***$\tau_v$  visuelle Lichtdurchlässigkeit:*** Anteil einfallenden Sonnenlichts, der dem Gebäudeinneren zugeführt wird. Hohe Werte stehen für eine hohe Verfügbarkeit von Tageslicht.

Richtwerte zu Kennwerten von Verglasungen finden Sie in **Anhang 3**.

### **Einfach- und Doppelverglasung**

Aufgrund der relativ hohen Wärmeleitfähigkeit von Glas stellt ein einfach verglastes Fenster eine große Schwachstelle bei der Wärmedämmung des Gebäudes dar. Zudem bietet ein einfach verglastes Fenster nur einen geringen Schutz vor äußerem Lärm. Daher wurden einfach verglaste Fenster vielerorts mittlerweile durch Fenster mit doppelter Verglasung ersetzt. Der Lufthohlraum zwischen den beiden Scheiben verringert den Wärmedurchgangswert mindestens um das Zweifache. Zudem ermöglicht der abgeschlossene Hohlraum die Verwendung „weicher Beschichtungen“ mit geringem Emissionsvermögen und/oder selektiven Eigenschaften an einer der Scheiben sowie die Einbringung von Gasen mit geringer Leitfähigkeit, wodurch die Leistung der Verglasung erheblich verbessert wird.

### **Wärmespiegel-Verglasung**

Doppelt verglaste Fenster mit Wärmespiegel bestehen in der Regel aus einem äußeren klaren Glas und einem inneren beschichteten Glas mit geringem Emissionsvermögen im Fern-Infrarotbereich (FIR), wobei die beschichtete Oberfläche dem inneren Hohlraum zugewandt ist (weiche Beschichtungen müssen stets durch den Hohlraum geschützt sein). Die Funktion dieser Art der Beschichtung besteht darin, den Austausch von Wärmestrahlung zwischen den beiden Scheiben zu verringern. Zudem wird der Wärmedurchgangswert um etwa 40% reduziert. Eine zusätzliche Reduzierung um etwa 20% kann erzielt werden, indem der Hohlraum durch eine Mischung aus Luft und einem Edelgas mit einer geringeren Wärmeleitfähigkeit als Luft (z. B. Argon oder Krypton) gefüllt wird.

### **Sonnenschutzverglasung**

Doppelte Sonnenschutzverglasungen bestehen meist aus reflektierendem, beschichtetem Glas außen und klarem Glas innen. Die beschichtete Fläche ist je nach „hartem“ bzw. „weichem“ Beschichtungsverfahren nach außen gerichtet bzw. dem inneren Hohlraum zugewandt. Die Funktion dieser Art der Beschichtung besteht in

der Reflexion einfallender Sonnenstrahlung. Diese Verglasungen haben mitunter den Nachteil einer sehr geringen Lichtdurchlässigkeit und führen damit zu schlechten Lichtverhältnissen sowie verstärkter Nutzung elektrischer Beleuchtung von Seiten der Gebäudenutzer.

Zur Reduzierung der Wärmebelastung im Sommer bieten sich daher „spektralselektiv“ beschichtete Verglasungen an, welche die Nah-Infrarotstrahlung (NIR) nahezu vollständig reflektieren, jedoch gleichzeitig lichtdurchlässig sind.

Die Kosteneffizienz selektiver Verglasung ist bei Gebäudetypen mit hohem Kühlbedarf und Tageslichtschutz in wärmeren Klimaregionen am höchsten (Amortisierung in weniger als 10 Jahren). Der Selektivitätsgrad steht im Zusammenhang mit dem LSG-Verhältnis  $\Delta_v/g$  („Light to Solar Gain“ – Verhältnis von Lichtdurchlässigkeit zum Solarfaktor). Die höchsten Selektivitätswerte werden in der Regel mit „weichen“, dünnen Metallbeschichtungen erzielt, die ein geringes Emissionsvermögen von sowohl Fern- als auch Nah-Infrarotstrahlung aufweisen. Diese können selbst in kälteren Klimazonen kosteneffizient sein, da sowohl Kühllasten im Sommer als auch Wärmeverluste im Winter reduziert werden. Spektralselektive Produkte sollten in Gebäuden mit hohem Heizbedarf jedoch nicht zur Anwendung kommen.

### **Andere Verglasungen**

Zur Verbesserung der Wärmedämmung können auch Dreifachverglasungen sowie doppelte Fenster/Rahmen in Erwägung gezogen werden, wobei hier der Nachteil einer großen Dicke besteht. Zu berücksichtigen ist, dass eine Doppelverglasung mit einer Beschichtung mit niedrigem Emissionsvermögen (sog. Low-E-Beschichtung) über einen höheren Wärmedurchgangswert verfügt als eine Dreifachverglasung mit einfachen Klarglasscheiben.

Eine äußerst dünne, leichte und transparente Isoliertechnologie ist die Vakuumverglasung, die allerdings in Europa wenig verbreitet ist.

### **Nachrüstung bestehender Verglasungen mit Sonnenschutz- und Low-E-Beschichtungen**

Der vollständige Austausch der Verglasung kann mit Hilfe einer transparenten Beschichtung umgangen werden, die auf die innere (bei Low-E-Beschichtungen) oder äußere Oberfläche aufgebracht wird. Zwar ist diese Lösung im Vergleich zum Austausch der Verglasung kostengünstiger, die Leistung sowie die Lebensdauer sind jedoch geringer.

### **Fensterrahmen**

Die Wärmedurchlässigkeit des Fensterrahmens beeinflusst den Wärmedurchgang des gesamten Fensters (U-Wert) proportional zum Verhältnis Rahmen/verglaste Fensterfläche. Aufgrund der hohen Wärmeleitfähigkeit von Metall besitzen Kunststoff- bzw. Holzrahmen stets eine bessere Wärmeleistung, auch wenn moderne Metallrahmen mit Wärmesperre einen guten und kosteneffizienten Kompromiss darstellen können. Referenzwerte zum Wärmedurchgang von Fensterrahmen finden Sie in Anhang 3.

### 3.2 Wärmedurchgang opaker Flächen

Der Wärmedurchgang opaker Flächen kann durch Verbesserung der Dämmung verringert werden. Dies geschieht im Allgemeinen durch die Anbringung einer zusätzlichen Platte oder Abdeckung aus Dämmmaterial. Übliche Dämmmaterialien bei Gebäuden:

Glaswolle, Polyurethanschaum, Polystyrolschaum, Zellulose und Steinwolle.

Zusätzlich zur Dämmung wird oft eine Dampfsperre benutzt, da das durch die Dämmung erzeugte Temperaturgefälle zur Bildung von Kondenswasser führen kann, wodurch die Dämmung beschädigt bzw. Schimmelbildung hervorgerufen werden kann. Die Dampfsperre sollte stets an der warmen Seite der Isolierung angebracht werden. In einem beheizten Haus liegt die Dampfsperre also idealerweise zwischen der warmen Gebäudeinnenseite und der Dämmung.

Nach der Ermittlung der Hauptschwachstelle in der Gebäudedämmung kann eine Liste mit den durchzuführenden Standardmaßnahmen erstellt und in den Nachrüstungs-/Renovierungsplan integriert werden:

- Verbesserung der Dämmung vertikaler Wände von der Außenseite
- Verbesserung der Dämmung vertikaler Wände durch Einbringung von Isoliermasse in den Wandhohlraum (sofern vorhanden)
- Verbesserung der Dämmung vertikaler Wände von der Innenseite
- Verbesserung der Wanddämmung von teilweise unterirdisch liegenden Räumen von der Innenseite
- Verbesserung der Wanddämmung von teilweise unterirdisch liegenden Räumen von der Außenseite
- Verbesserung der Bodendämmung (in der Regel an unbeheizte Zonen angrenzende Fußböden und Decken)
- Dämmung von Wänden hinter den Heizkörpern
- Ortung von Wärmebrücken in der Gebäudehülle sowie Minimierung ihrer Wirkung
- Verbesserung der Dachdämmung durch Verwendung von Strahlungsbarrieren (dünner Film bzw. Beschichtung aus stark infrarotreflektierendem Material, meist Aluminium, aufgebracht auf einer bzw. beiden Seiten mehrerer Trägermaterialien)
- Verbesserung der Dachdämmung durch Schaffung eines belüfteten Hohlraums (größere Wirkung durch Kombination dieser Lösung mit Strahlungsbarrieren im Dachhohlraum)

### 3.3 Positionierung der Dämmung unter Berücksichtigung der thermischen Masse

Diese Maßnahme ist insbesondere bei neuen Gebäuden von großer Bedeutung und zweckmäßig. In einigen Fällen kommt sie jedoch auch für Umbauten in Betracht. Die thermische Masse speichert Energie, wodurch eine Reduzierung von Temperaturschwankungen im Tages- und Jahresverlauf erzielt wird. An der Speicherung von Wärme während tageszeitlich bedingter Schwankungen ist nicht die gesamte Masse beteiligt. Eine Berechnung der hierbei relevanten Wanddicken lässt sich z.B. anhand von UNI-CEN Normen durchführen. Aufgrund der thermischen Masse kommt es auch zu einer Zeitverzögerung zwischen den

Temperaturspitzenwerten der Außenfläche und denen der Innenfläche. Sie ist daher sowohl für Passiv-/Niedrigenergieheizmethoden im Winter als auch für Passiv-/Niedrigenergiekühlmethoden im Sommer von entscheidender Bedeutung.

Da die thermische Masse sich auf die Flächen- und Lufttemperatur auswirkt, wird auch der Wärmekomfort erheblich beeinflusst (und das Behaglichkeitsgefühl der Gebäudenutzer wird durch beide Temperaturwerte bzw. deren Zusammenwirken bestimmt – der so genannten „gefühlten Temperatur“).

Um ihre Wirkung positiv entfalten zu können, sollte die thermische Masse Austausch mit der Rauminnenluft stehen. Daher sind folgende Maßnahmen empfehlenswert:

- Anbringung der Dämmung unter Berücksichtigung einer gewissen Wanddicke zwischen der Dämmung und der Innenluft (etwa durch Anbringung der Isolierung zwischen zwei Schichten im Mauerwerk oder extern in der Nähe der Außenhülle)
- Vermeidung von Doppelböden und -decken, die eine Luftschicht zwischen der thermischen Masse und der Innenluft entstehen lassen, wodurch die Raumluft weitgehend vom Einfluss der thermischen Masse isoliert wird. Dies verhindert auch die Verwendung einer Nachtlüftung zur passiven Kühlung eines Gebäudes.
- Damit die thermische Masse die im Winter durch transparente Flächen in das Gebäude eindringende Energie speichern kann, sind Oberflächen mit hohem Absorptionsvermögen zu empfehlen.

### 3.4 Doppelfassaden

Doppelfassaden und hinterlüftete Fassaden können sowohl für Klimazonen mit hohem Heizbedarf als auch für solche mit hohem Kühlbedarf sinnvolle Renovierungs- und Baustrategien darstellen. Da diese passiven Systeme starken Einfluss auf Belüftung, Wärmeeintrag durch Sonnenstrahlung und Wärmeverluste haben, sollte die Planung unbedingt von Experten unter Berücksichtigung der spezifischen Bedürfnisse des jeweiligen Gebäudenutzers durchgeführt werden.

Die zweite Fassade kann je nach Heiz-, Kühl- oder Beleuchtungsbedarf im Gebäudeinneren transparent oder opak sein. Die Belüftung des Zwischenraumes kann auf natürliche oder mechanische Weise erfolgen. Transparente Doppelfassaden sind relativ komplex in der Planung und Wartung, weshalb eine Entscheidung für diese Lösung sorgfältig überdacht werden sollte.

Eine einfache, natürlich belüftete zweite Fassade mit wasserresistenten und gedämmten Außenplatten und Doppelfenstern kann eine sinnvolle Alternative zur Verbesserung der Isolierung vertikaler Außenwände darstellen.

Mit Hilfe von Doppelfassaden kann auch die Überhitzung von Gebäuden in heißen Klimaregionen verhindert werden.

Die Außenfassade sorgt für eine Verschattung des innen liegenden, opaken Daches, der Wände und der Fenster, während die Belüftung im Fassadenzwischenraum die durch die Außenfassade eindringende überschüssige Wärme abtransportiert. Verwendet wird hierzu idealerweise eine leichte Außenfassade mit stark reflektierender Außenfläche (um die Absorption von Sonnenstrahlung zu verringern) sowie Innenflächen mit niedrigem Infrarot-Emissionsvermögen (Low-E) (zur Reduzierung des Wärmeaustauschs zwischen den beiden Schichten der Doppelfassade).

Durch den Hohlraum zwischen den beiden Fassaden entstehen weitere positive Effekte, wie z. B. der Schutz beweglicher, außerhalb der ersten Fassade angebrachter

Sonnenschutzsysteme sowie die Nutzung des natürlichen Konvektionsmechanismus für die Luftzirkulation innerhalb und außerhalb des Gebäudes bei gleichzeitiger Kontrolle der Fenster und Öffnungen zwischen dem Gebäude und dem Fassadenzwischenraum.

### 3.5 Sonnenschutzvorrichtungen

Zum wirksamen Sonnenschutz stehen unterschiedliche Lösungen zur Verfügung. Dabei spielen die richtige Ausrichtung, die Maße sowie der Anbringungsort eine Rolle. Darüber hinaus gibt es komplette Wandschutzsysteme wie z. B. Kolonnaden, Balkone und Dachüberhänge.

Die Leistung einer Sonnenschutzvorrichtung am Fenster bemisst sich mit Hilfe des Verschattungskoeffizienten, definiert als das Verhältnis  $g_{\text{Fenster}}/g_{\text{Einfachverglasung}}$ , wobei  $g$  den Solarfaktor bezeichnet.

Im Folgenden werden verschiedene Sonnenschutzvorrichtungen vorgestellt und bewertet.

**Bewegliche Systeme** besitzen den Vorteil der manuellen oder automatischen Steuerbarkeit je nach Sonnenstand und anderen Umweltparametern.

#### Innenjalousien

Innenjalousien sind als Sonnenschutzvorrichtungen am Fenster weit verbreitet. Ihre Anbringung ist meist unkompliziert, ihre Wirkung besteht allerdings hauptsächlich in der Beeinflussung von Intensität und Verteilung des Lichteinfalls. Zur Reduzierung der Wärmelast im Sommer sind sie in der Regel ineffizient, da sie Strahlung aufhalten, die bereits in den Raum eingedrungen ist. Bei geeigneter Konstruktion und in Kombination mit spektralselektiver Verglasung können sie jedoch unter bestimmten Umständen und bis zu einem gewissen Grad wirkungsvoll als Sonnenschutz und zur Regulierung des Tageslichteinfalls beitragen. Sollte die Anbringung von Sonnenschutzvorrichtungen an der Gebäudeinnenseite unter bestimmten Umständen nicht möglich sein, kann auf nachstehend aufgeführte Anwendungsmöglichkeiten zurückgegriffen werden.

#### Außenjalousien

Der Vorteil dieser Systeme besteht darin, die Sonnenstrahlung bereits vorm Eindringen in den Raum zurückzuhalten (wie bei allen externen Sonnenschutzvorrichtungen). Sie bieten somit den wirksamsten Sonnenschutz.

Die Jalousien sollten vorzugsweise aus einem Material mit geringem Wärmespeichervermögen und einer reflektierenden Beschichtung bestehen, um die von ihnen gespeicherte und zum Gebäude hin abgestrahlte Energie möglichst gering zu halten. Ebenso bieten sich Lösungen an, die eine gewisse Luftzirkulation zwischen der Jalousie und dem Fenster ermöglichen, wodurch die von der Jalousie aufgenommene Energie wieder abtransportiert wird.

Einige außen angebrachte Systeme können jedoch auch Nachteile wie z. B. Schwierigkeiten bei der Instandhaltung oder eine kurze Lebensdauer mit sich bringen, allerdings gibt es auf dem Markt bereits Systeme, die auch hohen Windgeschwindigkeiten standhalten.

### **Jalousien zwischen zwei Glasschichten**

Es handelt sich hierbei um einen zwischen den beiden Glasschichten eines Fensters angebrachten Sonnenschutz. Als externe und interne Sonnenschutzvorrichtungen halten sie direkte und diffuse Sonnenstrahlung wirksam ab und ermöglichen durch verstellbare Lamellen im Winter den Lichteinfall. Im Hinblick auf die Verhinderung der unerwünschten Aufheizung durch Sonnenstrahlung sind sie von mittlerer Wirksamkeit: Die Sonnenstrahlung dringt zwischen die beiden Glasschichten ein, wird an der Jalousie absorbiert und führt dort zu einem Temperaturanstieg – ein Teil dieser Wärme wird sodann nach innen in den Raum abgegeben.

Ein weiterer möglicher Nachteil besteht in der im Winter zwischen den beiden Glasschichten mitunter auftretenden Kondensation.

### **Markisen oder bewegliche Sonnensegel**

Markisen und bewegliche Sonnensegel vereinen die Vorteile statischer Vorrichtungen mit der Flexibilität beweglicher Systeme.

*Festangebrachte Systeme* werden meist eigens für ein bestimmtes Gebäude konstruiert. Sie sind weniger flexibel als bewegliche Lösungen.

Besondere Sorgfalt erfordert die Planung fest angebrachter Sonnenschutzsysteme insofern, als sie den Gewinn an Sonnenwärme in Jahreszeiten oder Regionen mit hohem Heizbedarf verringern können. Speziell zu diesem Zweck stehen Planungshilfen sowie Software zur Verfügung, durch die eine optimale Gestaltung für Sonnenschutz im Sommer ohne Wärmeverlust im Winter erzielt werden kann.

### **Überhänge**

Überhänge sind insbesondere in heißen Klimazonen sinnvoll und weit verbreitet. Bei richtiger Positionierung besteht ihr größter Vorteil darin, dass sie direkte Sonnenstrahlung bei niedrigem Sonnenstand im Winter zulassen, diese im Sommer jedoch abhalten (ebenso wie einen Teil der diffusen Strahlung).

Ihre Nutzung ist jedoch begrenzt, da sie sich nur für Südfenster eignen. Von Osten und Westen ist der Einfallswinkel des Lichtes geringer und variabler, weshalb hier auf andere (vertikale) Systeme zurückgegriffen werden muss.

Nachteil: Sie können die Luftzirkulation im und am Gebäude beeinflussen.

### **Lichtbretter**

Eine äußerst interessante Lösung, mit Hilfe derer der Einlass von Tageslicht mit dem Sonnenschutz vereint werden kann, ist das Lichtbrett. Es handelt sich dabei um eine horizontale, reflektierende Fläche, die zwischen Haupt- und Oberfenster oder oberhalb des Fensters angebracht wird. In richtiger Position und in Kombination mit Überhängen wird ein Großteil der Fensterfläche überschattet. Aufgrund von Reflexion zwischen dem Brett und der Decke kann gleichzeitig Licht in den hinteren Teil des Raumes eindringen.

### **Lamellensysteme**

Neben den üblichen fest angebrachten Lamellensystemen besteht auch die Möglichkeit der Verwendung beweglicher Varianten. Sie gleichen riesigen Außenjalousien. Mit Hilfe beweglicher Systeme kann Sonnenstrahlung im Sommer abgehalten (teils auch für diffuse Strahlung wirkungsvoll) und im Winter durchgelassen werden.

Fest angebracht können sie auch wirksam zur Gebäudesicherheit beitragen. Sie weisen jedoch folgende Nachteile auf: Sie beeinträchtigen die Sicht (insbesondere bei fester Anbringung) und machen verstärkt künstliche Beleuchtung erforderlich. Wie bei allen außen angebrachten Systemen kann ihre Instandhaltung Schwierigkeiten bereiten. Zugangsmöglichkeiten sollten bereits bei der Gebäudeplanung vorgesehen werden.

Zudem können sie je nach Dimensionierung, Neigung und Gebäudeumgebung die Luftzirkulation beeinflussen (Erleichterung oder Behinderung natürlicher Belüftung).

Auch hier gibt es unterschiedliche Arten. Einige bestehen aus speziell geformten, reflektierenden Lamellen, die direkte Strahlung mit hohem Einfallswinkel zurückwerfen, gleichzeitig jedoch Licht mit niedrigerem Einfallswinkel an die Decke reflektieren. Der somit verstärkte Einfall von Tageslicht ermöglicht Energieeinsparungen und erhöht den Komfort.

### **3.6 Luftdichtigkeit**

Die Erhöhung der Luftdichtigkeit kann in Klimazonen mit hohem Heizbedarf zu einer Energieeinsparung von bis zu 20% führen. Wesentliche Schwachstellen sind Fenster und Türen, aber auch Wände und Übergänge zwischen verschiedenen Gebäudeteilen. Diese müssen daher angemessen konzipiert und ausgeführt werden.

### **3.7 Reduzierung der Raumhöhe**

Durch die Reduzierung der Raumhöhe kann der Effekt der Luftschichtung verringert werden. Im Winter wird das zu beheizende Luftvolumen dadurch gesenkt.

### **3.8 Auslegung und Regelung von Lufteinlässen**

Mit Hilfe folgender Maßnahmen kann der Luftzug reduziert werden (Unterbrechen oder Verringern des Luftzugs), wodurch Energieverluste vermieden werden:

- manuelle (oder automatische) Regelung von Tür- und Fensteröffnungen
- Planung und Auslegung der Lüftung durch Fenster
- Kontrolle und Steuerung der Türen, die Bereich unterschiedlicher Solltemperaturen trennen
- Nutzung von Eingangs- und Treppenbereichen zum Unterbrechen des Luftzugs

Möglich ist auch eine funktionale Trennung in einerseits nur für die Belüftung gedachte und mit Gittern einbruchssicher gemachte Öffnungen (bzw. Teile der normalen Öffnungen) und andererseits nur dem Tageslichteinfall dienende Öffnungen. Die normalen Fenster und Türen ermöglichen u.a. weiterhin den Blick nach außen und lassen Tageslicht herein.

### **3.9 Rückstrahlvermögen (bzw. Reflexion)**

Das Rückstrahlvermögen von Oberflächen ist eine Eigenschaft, die durch einfache Oberflächenbehandlung leicht verändert werden kann, zum Beispiel durch einen reflektierenden Anstrich auf dem Dach an den vertikalen Wänden. Das Rückstrahlvermögen (oder Reflexion) bezeichnet die Fähigkeit einer Oberfläche, die auf sie treffende (Sonnen-)Strahlung zu reflektieren. Die entsprechenden Werte liegen zwischen 0 und 1.

In der traditionellen Architektur warmer Klimazonen wird hierzu häufig auf weiße Flächen zurückgegriffen (wie z. B. bei den „weißen“ Dörfern des Mittelmeerraums). „Kühle“ Dächer und Wände sind traditionellerweise weiß, da helle Oberflächen mehr Sonnenstrahlung zurückstrahlen als dunkle. „Kühle“ Dächer ohne Verwendung weißer Farbe lassen sich durch Einsatz von Färbemitteln (Pigmenten) erreichen, welche die unsichtbare „Nah-Infrarotstrahlung“ reflektieren, die mehr als die Hälfte der Energie im Sonnenlicht ausmacht. Entsprechend ausgerüstete Dächer und Wände reflektieren einen größeren Teil der Sonnenstrahlung als herkömmliche Flächen. Dadurch kann eine Senkung der Gebäudeinnentemperatur und somit auch des Energieverbrauchs zur Gebäudeklimatisierung erzielt werden, was wiederum zu einer Verringerung des „lokalen Wärmeinsel-Effekts“ („Urban Heat Islands“ - Anstieg der Lufttemperatur in städtischen Räumen) führt. Bei guter und außen angebrachter Isolierung der Gebäudehülle erfolgt der Wärmeeintrag in das Gebäude im Winter hauptsächlich über die transparenten Flächen, weshalb Flächen mit hohem Rückstrahlvermögen im Winter nicht beeinflussen.

### **3.10 Nutzung der natürlichen Vegetation**

Äußere Vegetation wie z. B. der Baumbestand kann zur teilweisen Verschattung der Gebäudefassade und zur Senkung der äußeren Lufttemperatur im Sommer genutzt werden. Pflanzen absorbieren Sonnenstrahlung und sorgen für die Verdunstung von Wasser, was zu einem Kühleffekt in der Umgebung führt.

Mit der Bepflanzung können auch Dächer und Fassaden „begrünt“ werden: Erde und Pflanzen, die das Gebäude bedecken, bilden eine Dämmschicht und tragen in Klimazonen mit vorwiegendem Kühlbedarf entscheidend zur Wärmekapazität bei. Um den Wärmegewinn im Winter nicht zu beeinträchtigen, werden in der Regel Laubpflanzen verwendet. Etwa 30-40 cm von der Wand entfernte Metallgitter zur Stützung von Kletterpflanzen (z.B. Efeu oder wilder Wein) ermöglichen Luftzirkulation und verhindern somit etwaige durch die Pflanzen verursachte Schäden an der Wand.

## 4. Maßnahmenplan

In Ihrem Maßnahmenplan für Gebäudehüllensysteme sollten folgende Punkte enthalten sein (vgl. auch Anhang 4):

- die zur Umsetzung bestimmten Maßnahmen des Unternehmens
- den Zeitplan für die Umsetzung der Maßnahmen
- die zu erwartenden Energieeinsparungen<sup>2</sup>
- die zur Ermittlung der zu erwartenden Energieeinsparungen herangezogene Berechnungsmethode
- die Gründe dafür, weshalb bestimmte Maßnahmen nicht berücksichtigt wurden.

Der fertige Maßnahmenplan zur Optimierung der Gebäudehülle ist anschließend GreenBuilding vorzulegen. Nach Genehmigung aller relevanten Maßnahmenpläne erlangt das Unternehmen den offiziellen GreenBuilding-Partnerstatus.

## 5. Berichterstattung

Der Fortschrittsbericht an GreenBuilding beinhaltet Angaben über die bereits erzielten Erfolge im Rahmen des Maßnahmenplans. Zur Erstellung dieses Fortschrittsberichts dient das Formular in Anhang 5. Die beiden linken Spalten sind aus dem Partner-Maßnahmenplan zu übernehmen.

---

<sup>2</sup> Die Berechnung der zu erwartenden Energieeinsparungen erfolgt unter Berücksichtigung der Leistungen vorhandener Heiz-, Kühl- und Beleuchtungsanlagen, wenn hierbei während des Berichtszeitraums keine Änderungen zu verzeichnen sind.

Sollten im Rahmen des Maßnahmenplans andere Maßnahmen zur Effizienzsteigerung der Heiz-, Kühl- oder Beleuchtungsanlagen vorgeschlagen werden, müssen energetische Wechselwirkungen berücksichtigt werden.

Wenn noch keine Heiz-, Kühl oder Beleuchtungsanlagen vorhanden sind, erfolgt die Berechnung der erwarteten Energieeinsparungen unter Berücksichtigung des Verbrauchs eines geeigneten, virtuellen Heiz-, Kühl- oder Beleuchtungssystems. Dieses ist notwendig, um den durch die geplanten Verbesserungen der Gebäudehülle gewährleisteten Temperatur- bzw. Beleuchtungskomfort zu erzielen. Für die Berechnung des virtuellen Verbrauchs sind Richtwerte der Anlagenleistungen sowie geltenden Normen entsprechend anzusetzen.

## Anhang 1: Richt- und Zielwerte für Komponenten der Gebäudehülle

Tabelle 1.1 Richtwerte für den Wärmedurchgang<sup>3</sup>.

U-Werte in W/(m <sup>2</sup> K)			
Komponenten:	Passiv- und Niedrigenergiegebäude	Hohe Anforderungen (Nord- und Mitteleuropa)	Niedrige Anforderungen (Südeuropa)
Außenwände	U < 0,15	0,15 < U < 0,4	0,4 < U < 0,65
Fenster/Türen	U < 0,7*	1,25 < U < 2,5	2,5 < U < 3,25
Dach/Decke	U < 0,15	0,22 < U < 0,45	0,45 < U < 0,9
Fußboden/Fundament	U < 0,15	0,15 < U < 0,4	0,4 < U < 0,65
* für transparente Komponenten (0,15 für opake Komponenten)			

Die U-Richtwerte der Komponenten der Gebäudehülle sind in zwei Gruppen unterteilt („hoch“ und „niedrig“) und lassen sich im Allgemeinen auf nord-/mitteleuropäische Länder auf der einen sowie südeuropäische Länder auf der anderen Seite beziehen. Die in der Tabelle angegebenen U-Werte sind nicht kraft entsprechender nationaler Rechtsvorschriften bindend.

Bitte beachten Sie, dass jede Energieeinsparung (Q) infolge von Verbesserungen beim Wärmedurchgang (U) im Verhältnis zur Komponentenfläche (A) und zu den Heizgradtagen (HGT) steht.  $Q_{\text{Einsparung}} \propto (U_{\text{bestehend}} - U_{\text{verbessert}}) \cdot A \cdot \text{HGT}$ . Es wird darauf hingewiesen, dass homogene U-Werte für die Gebäudehülle zu empfehlen sind, um Wärmebrücken oder Komfortverluste aufgrund ungleichmäßig verteilter Temperaturen im Inneren zu vermeiden.

<sup>3</sup> „TEBUC – Towards a European Building Code“-Abschlussbericht. Forschungsprojekt unter Finanzierung der Generaldirektion Energie und Verkehr der Europäischen Kommission im Rahmen des SAVE-Programms (Vertrag Nr. C/4.1031/C/00-018/2000 – ENPER-TEBUC) 01.04.2001-30.09.2002.

**Tabelle 1.2 Richtwerte für die Luftdichtigkeit der gesamten Gebäudehülle<sup>4</sup>**

Luftdichtigkeit in $\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ bei 50 Pa Differenzdruck			
Gebäudearten:	<i>Best-Practice-Lösungen</i> *	<i>Richtwerte</i> *	Durchschnittswerte**
Bürogebäude – natürliche Belüftung	-	10	21,8
Bürogebäude – klimatisiert /Niedrigenergie	3	5	
Werk-/Lagerhallen	-	10	35,9
Großmärkte	3	5	
Museen und Archive	1,4	2	
Kühlhäuser	0,5	1	
Wohngebäude	5	10	
		*Empfehlungen und Vorschriften für neue Gebäude in Großbritannien	**Durchschnitt Großbritannien

Angabe von Maximalwerten der Luftdichtigkeit für verschiedene Gebäudetypen in Großbritannien. Definiert als Luftundichtigkeit ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) pro Quadratmeter Oberfläche der Gebäudehülle bei Anwendung eines Differenzdrucks von 50 Pascal

Die praktische Überprüfung der Luftdichtheit eines Gebäudes erfolgt in Deutschland üblicherweise mit dem sogenannten Blower-Door Test. Für die Überprüfung der Luftdichtheit nach EnEV und DIN 4108-7:2001-08 muss die luftdichte Schicht innerhalb der thermischen Gebäudehülle fertig gestellt sein. Das Blower-Door-Verfahren ist ein Differenzdruckverfahren. Die Volumenströme von 2 Messreihen aus Unter- und Überdruck werden auf das Luftvolumen des beheizten Gebäudes und eine Druckdifferenz von 50 Pa bezogen. Daraus wird ein Mittelwert  $n_{50}$  gebildet, der den Mindestanforderungen der EnEV an  $n_{50}$  gegenübergestellt wird. Die Blower-Door-Messung ohne und mit Infrarot-Thermografie eignet sich auch gut zur Ortung von Leckagen.

Die Luftdichtheitsprüfung bestanden, wenn die Mindestanforderungen für Gebäude nach EnEV und DIN 4108-7:2001-08

- ohne raumluftechnische Anlagen:  $n_{50} \leq 3,0 \text{ h}^{-1}$
- mit raumluftechnischen Anlagen:  $n_{50} \leq 1,5 \text{ h}^{-1}$

erfüllt sind.<sup>5</sup>

<sup>4</sup> Quelle: BSRIA „Air Tightness Specification“ 10/98 und Begleitmaterial, Download unter <http://www.bsria.co.uk>.

<sup>5</sup> Quelle: [http://www.neh-im-bestand.de/?template=dt\\_nehb\\_wissensdb\\_bauphysik](http://www.neh-im-bestand.de/?template=dt_nehb_wissensdb_bauphysik).

## Anhang 2: Richt- und Zielwerte für den Energiebedarf des Gebäudes

Tabelle 2.1 Jährlicher Energieverbrauch von Good-Practice-Bürogebäuden bzw. herkömmlichen Bürogebäuden in Großbritannien<sup>6</sup>

	Bürogebäude Typ 1		Bürogebäude Typ 2		Bürogebäude Typ 3		Bürogebäude Typ 4	
	Good Practice	Standard	Good Practice	Standard	Good Practice	Standard	Good Practice	Standard
<b>Gelieferte Endenergie in kWh/m<sup>2</sup>/Jahr</b>								
Heizung und Warmwasser – Gas oder Öl	79	151	79	151	97	178	107	201
Kühlung	0	0	1	2	14	31	21	41
Lüfter, Pumpen, Regler	2	6	4	8	30	60	36	67
Befeuchtung	0	0	0	0	8	18	12	23
Beleuchtung	14	23	22	38	27	54	29	60
Büroausstattung	12	18	20	27	23	31	23	32
Catering, Gas	0	0	0	0	0	0	7	9
Catering, Strom	2	3	3	5	5	6	13	15
Anderer Strombedarf	3	4	4	5	7	8	13	15
Computerraum	0	0	0	0	14	18	87	105
<b>Gesamt Gas oder Öl</b>	<b>79</b>	<b>151</b>	<b>79</b>	<b>151</b>	<b>97</b>	<b>178</b>	<b>114</b>	<b>210</b>
<b>Gesamt Strom</b>	<b>33</b>	<b>54</b>	<b>54</b>	<b>85</b>	<b>128</b>	<b>226</b>	<b>234</b>	<b>358</b>

Bürogebäude sind in die vier folgenden Kategorien unterteilt:

- **Bürogebäude Typ 1: Natürlich belüftet – Einzelbüros**
  - in der Regel relativ klein, unter Umständen ehemaliges Wohngebäude
  - üblicherweise zwischen 100 m<sup>2</sup> bis 3000 m<sup>2</sup> groß
- **Bürogebäude Typ 2: Natürlich belüftet - Großraumbüros**
  - Gebäude mit Großraumbüros und einigen Einzelbüros bzw. Sonderflächen
  - üblicherweise zwischen 500 m<sup>2</sup> bis 4000 m<sup>2</sup> groß
- **Bürogebäude Typ 3: Klimatisiert - Standard**
  - meist zwecktypisches Gebäude
  - üblicherweise zwischen 2000 m<sup>2</sup> bis 8000 m<sup>2</sup> groß
- **Bürogebäude Typ 4: Klimatisiert - Repräsentativ**
  - nationale oder lokale Hauptniederlassung bzw. Technik- oder Verwaltungszentrum
  - üblicherweise zwischen 4000 m<sup>2</sup> bis 20000 m<sup>2</sup> groß

Für einen aussagekräftigen Vergleich bei Heiz- und Kühlbedarf ist eine Anpassung der Werte unter Berücksichtigung der Klimabedingungen erforderlich, z.B. Heizgradtage (HGT) bzw. Kühlgradtage (KGT). Der Quotient aus dem jeweiligen Heizverbrauchsrichtwert (siehe Tabelle 2.1) und der durchschnittlichen Anzahl der Heizgradtage (HGT) in Großbritannien kann mit dem Quotienten aus Ihrem

<sup>6</sup> Quelle: „Energy consumption guide 19“ Building Research Establishment Sustainable Energy Centre (BRESEC) – Großbritannien, 2002. <http://www.bre.co.uk/bresec/>

spezifischen Heizverbrauch (kWh/m<sup>2</sup>) und der Anzahl der HGT im jeweiligen Land verglichen werden (für Länderdurchschnittswerte vgl. Tabelle 2.2; bei starker Abweichung der Klimabedingungen vom landesweiten Durchschnitt empfiehlt sich die Verwendung lokaler Daten). Das Verfahren kann nicht ohne Weiteres auf den Klimatisierungsbedarf übertragen werden, da der Einfluss der Sonnenstrahlung sowie dynamische Aspekte hierbei einen stärkeren Einfluss haben.

**Tabelle 2.2 Durchschnittliche Heizgradtage in EU-Ländern (Auswahl)<sup>7</sup>**

Heizgradtage in EU-Ländern (Auswahl)															
	Österreich	Belgien	Dänemark	Finnland	Frankreich	Deutschland	Griechenland	Irland	Italien	Luxemburg	Niederlande	Portugal	Spanien	Schweden	Großbritannien n
HGT	4068	3259	3191	5978	2850	3845	1711	2979	2234	3259	3550	1800	1600	4355	3210
Landesdurchschnittswerte auf Basis eines Sollwerts im Gebäudeinneren von 20°C															

<sup>7</sup> Quelle: MURE-Datenbank („A comparison of Thermal Building Regulation in European Union“), Projekt finanziert durch das SAVE-Programm - EU, 1999.

## Anhang 3: Richtwerte für die Energieleistung herkömmlicher und hoch entwickelter Fensterkomponenten

Tabelle 3.1 Richtwerte für thermische und optische Eigenschaften von Verglasungen (Glasmitte):

VERGLASUNG	$U_{\text{Glasmitte}}$ W/(m <sup>2</sup> K)	$g$	$\tau_v$	<i>LSG</i>
Klarglas einfach (3 mm Floatglas)	5,9	89%	90%	1,0
Klarglas doppelt (6 mm Floatglas + 12 mm Luft + 6 mm Floatglas)	2,6	75%	81%	1,1
Doppelverglasung mit Wärmespiegel (6 mm Floatglas + 12 mm Luft + 6 mm Glas mit „Low-E-Beschichtung“)	1,5	58%	71%	1,2
Doppelverglasung mit Wärmespiegel (6 mm Floatglas + 16 mm Argon + 6 mm Glas mit „Low-E-Beschichtung“)	1,1	56%	71%	1,3
Doppelverglasung mit Sonnenschutzglas „weiche Beschichtung“ (6 mm spektralselektiv + 16 mm Argon + 6 mm Floatglas)	1,1	31%	54%	1,7
Doppelverglasung mit Sonnenschutzglas „harte Beschichtung“ (6 mm spektralselektiv + 12 mm Luft + 6 mm Floatglas)	2,6	46%	48%	1,0
Dreifachverglasung (6 mm „Low-E“-Glas + 16 mm Argon + 6 mm Floatglas + 16 mm Argon + 6 mm Glas mit „Low-E-Beschichtung“)	0,6	36%	62%	1,7

Tabelle 3.2 Richtwerte für den Wärmedurchgang der Fensterrahmen:

FENSTERRAHMENMATERIAL	$U_{\text{FR}}$ [W/(m <sup>2</sup> K)]
Aluminiumrahmen ohne Wärmesperre	7,0
Aluminiumrahmen mit Wärmesperre	3,5
Kunststoffrahmen	2,5
Holzrahmen	1,7

Legende:

- U** Wärmedurchgangswert
- g** Solarfaktor (auch gesamte direkte Strahlungsdurchlässigkeit)
- $\tau_v$  Visuelle Durchlässigkeit (Licht)

## Anhang 4: Maßnahmenplan für die Gebäudehülle

Energieeffizienz- maßnahmen	Machbarkeit <sup>(1)</sup>	Spezifische Maßnahmen <sup>(2)</sup>	ausgeführter Anteil (%) <sup>(3)</sup>	Zeitplan <sup>(4)</sup>	Erwartete Einsparung HEIZUNG <sup>(5)</sup> (MWh/Jahr)	Erwartete Einsparung KÜHLUNG <sup>(5)</sup> (MWh/Jahr)	Erwartete Einsparung BELEUCHTUNG <sup>(5)</sup> (MWh/Jahr)
<b>Verbesserung der Wärmedämmung</b>							
Ortung und Beseitigung von Wärmebrücken							
Verbesserung der Dämmung opaker Außenwände, Dächer, Böden...							
Verbesserung der U-Werte von Fenstern und transparenten Fassaden							
Ergänzung einer weiteren Gebäudehülle							
...							
<b>Verbesserung der Luftdichtigkeit</b>							
von Fenstern und Türen, Wänden, Übergängen...							
...							
<b>Reduzierung des unerwünschten Wärmege- winns durch die Sonne anhand des Einbaus von</b>							
fest angebrachten oder beweglichen Verschattungsvorrichtungen							
Sonnenschutzverglasung							
...							
<b>Installation/Verbesserung von Regelungssystemen</b>							
für Öffnungen und Verschattungssysteme							
...							
<b>Modifizierung der Geometrie:</b>							
- Verhältnis Volumen/Oberfläche							
- Verhältnis transparente/opake Flächen							
...							
<b>Nutzung von Wärmespeichern</b>							
<b>Nutzung natürlicher Vegetation...</b>							

- (1) **Machbarkeit:** Angabe des Grundes für Nicht-Machbarkeit anhand eines bzw. mehrerer der unten aufgeführten Codes:  
ND Nicht durchführbar aus technischen Gründen  
NP Nicht profitabel  
NK Nicht kalkuliert aus Kostengründen - Werden hier keine Angaben gemacht, gilt die Maßnahme als umsetzbar und profitabel.
- (2) **Spezifische Maßnahmen:** Zur Umsetzung einer Energieeffizienzmaßnahme können mehrere spezifische Schritte erforderlich sein. So kann z. B. eine Verbesserung der Dämmung an den Außen- oder Innenflächen, bzw. in Hohlwänden, mit unterschiedlichen Materialien erzielt werden.
- (3) **Ausgeführter Anteil (%):** Anteil der Gebäudehülle, an dem die spezifischen Maßnahmen durchgeführt werden. Die Berechnung bezieht sich auf das Verhältnis der zu bearbeitenden Fläche einer bestimmten Komponente zur Gesamtfläche dieser Komponente. Für die Umsetzung von Sonnenschutzmaßnahmen ist zudem die Ausrichtung der Oberflächen anzugeben.
- (4) **Zeitplan:** Der Zeitrahmen zur Umsetzung der Maßnahmen. Im Zeitplan können ein bestimmter Zeitraum, Zeitpunkt oder die Voraussetzung einer bestimmten Gegebenheit festgelegt sein.
- (5) **Erwartete Einsparung** in MWh/Jahr (Endenergie): Die Kalkulierung basiert auf allgemein anerkannter Ingenieurspraxis oder auf einer detaillierten, von Experten durchgeführten Gebäudesimulation. In einigen Bereichen sind dabei Negativwerte mit erhöhtem Energieverbrauch möglich, der Wert der Gesamtenergieersparnis bleibt jedoch positiv.

## Anhang 5: Berichterstattungsformular für die Gebäudehülle

Bewilligter Maßnahmenplan		Jahresbericht für das Jahr 20xx
Beschlossene Maßnahmen zur Umsetzung von Energiesparlösungen	Vereinbarter Zeitraum für die Umsetzung der Maßnahme	Fortschritt der Maßnahmen (z. B. erreichter Prozentsatz), ggf. mit näherer Erläuterung (1)
<b>Verstärkung der Wärmedämmung</b>		
Maßnahme 1		
Maßnahme 2		
...		
<b>Verbesserung der Luftdichtigkeit</b>		
...		
<b>Reduzierung unerwünschten Wärmegewinns</b>		
...		

- (1) Der **Prozentsatz abgeschlossener Maßnahmen** versteht sich als Indikator für den Anteil an Systemen, an denen bereits spezifische Maßnahmen im Rahmen des Plans durchgeführt wurden.

Für Partner könnte sich folgende Zusammenfassung der im Rahmen des Maßnahmenplans bereits erreichten Ziele als sinnvoll erweisen. Die Weiterleitung dieser Zusammenfassung an GreenBuilding ist nicht zwingend erforderlich, wird jedoch empfohlen.

Zusammenfassung des Jahresberichts		
	Seit Beginn der Teilnahme am GB-Programm	Aktuelles Jahr
Prozentsatz der umgesetzten Aktionen im Rahmen des Maßnahmenplans		
Geschätzte Gesamtinvestition für die Verwirklichung des Plans (T€) <sup>(1)</sup>		
Geschätzte Veränderungen der nicht-energiebezogenen Betriebs- und Instandhaltungskosten (T€) <sup>(1)</sup>		
Geschätzte Energieeinsparung (MWh) <sup>(2)</sup>		
Beheizte Fläche (m <sup>2</sup> )		
Gekühlte Fläche (m <sup>2</sup> )		
Beleuchtete Fläche (m <sup>2</sup> )		
Veranschlagte energiebezogene Heizkosten pro Quadratmeter (EUR/m <sup>2</sup> ) <sup>(3)</sup>		
Veranschlagte energiebezogene Kühlkosten pro Quadratmeter (EUR/m <sup>2</sup> ) <sup>(3)</sup>		
Veranschlagte energiebezogene Beleuchtungskosten pro Quadratmeter (EUR/m <sup>2</sup> ) <sup>(3)</sup>		

- (1) **Investitions-, Betriebs- und Instandhaltungskosten** sind geschätzte Kostenveränderungen im Vergleich zu den Ausgaben, die der Partner ohne seine Teilnahme am GreenBuilding-Programm gehabt hätte. Darunter fallen z. B. zusätzliche Investitionskosten für leistungsstärkere Anlagen oder die Steigerung/Verringerung der Wartungskosten.
- (2) **Energieeinsparungen** lassen sich aus der Anzahl der angewandten Maßnahmen, der Räume, der Gebäudenutzer sowie dem Grad der Nutzung und des Komforts ermitteln.
- (3) Die **Energiekosten pro Fläche** stellen einen aussagekräftigen Indikator für die effiziente Nutzung von Heiz- und Kühlsystemen dar.