

BIGMODERN Subprojekt 5: Machbarkeitsanalysen innovativer technischer Lösungen

Leitprojekt: Nachhaltige Sanierungsstandards für
Bundesgebäude der Bauperiode der 50er bis 80er Jahre

D. Jäger, G. Hofer, K. Leutgöb, M. Grim, M. Varga, G. Bucar

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

43/2012

Impressum:

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter
<http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

BIGMODERN Subprojekt 5: Machbarkeitsanalysen innovativer technischer Lösungen

Leitprojekt: Nachhaltige Sanierungsstandards für
Bundesgebäude der Bauperiode der 50er bis 80er Jahre

Mag. Dirk Jäger
Bundesimmobiliengesellschaft m. b. H.

DI (FH) Gerhard Hofer, Mag. Klemens Leutgöb,
DI Margot Grim, Dipl. Umwelt-Natw. ETH Mårton Varga
e7 Energie Markt Analyse GmbH

DI Gerhard Bucar
Grazer Energieagentur GmbH

Wien, August 2011

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms



im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm *Haus der Zukunft* des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie.

Die Intention des Programms ist, die technologischen Voraussetzungen für zukünftige Gebäude zu schaffen. Zukünftige Gebäude sollen höchste Energieeffizienz aufweisen und kostengünstig zu einem Mehr an Lebensqualität beitragen. Manche werden es schaffen, in Summe mehr Energie zu erzeugen als sie verbrauchen („Haus der Zukunft Plus“). Innovationen im Bereich der zukunftsorientierten Bauweise werden eingeleitet und ihre Markteinführung und -verbreitung forciert. Die Ergebnisse werden in Form von Pilot- oder Demonstrationsprojekten umgesetzt, um die Sichtbarkeit von neuen Technologien und Konzepten zu gewährleisten.

Das Programm *Haus der Zukunft Plus* verfolgt nicht nur den Anspruch, besonders innovative und richtungsweisende Projekte zu initiieren und zu finanzieren, sondern auch die Ergebnisse offensiv zu verbreiten. Daher werden sie in der Schriftenreihe publiziert und elektronisch über das Internet unter der Webadresse <http://www.HAUSderZukunft.at> Interessierten öffentlich zugänglich gemacht.

DI Michael Paula
Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Inhaltsverzeichnis

Abstract	5
Kurzfassung	7
1 Einleitung.....	11
1.1 Das Unternehmen	11
1.2 Ausgangslage.....	12
1.3 Motivation	13
1.4 Projektziele des Leitprojektes BIGMODERN	14
1.5 Projektziele des vorliegenden Subprojektes	17
1.6 Projektteam und Beteiligte	17
2 Hintergrundinformationen zum Projektinhalt	18
2.1 Beschreibung des Standes der Technik.....	18
2.2 Beschreibung der Vorarbeiten zum Thema.....	19
2.3 Beschreibung der Neuerungen sowie ihrer Vorteile gegenüber dem Ist-Stand (Innovationsgehalt des Projekts)	19
2.4 Verwendete Methoden	21
2.5 Beschreibung der Vorgangsweise und der verwendeten Daten mit Quellenangabe, Erläuterung der Erhebung	22
3 Ergebnisse des Projektes.....	25
3.1 Beschreibung der Entscheidungsmatrix.....	26
3.1.1 Zielsetzung des Werkzeuges „Entscheidungsmatrix“	26
3.1.2 Handhabung des Werkzeuges.....	26
3.2 Ergebnisberichte der Technologiefelder	27
3.2.1 Themenbereich Nachrüstung von Lüftungsanlagen	27
3.2.2 Themenbereich Fassadensysteme	29
3.2.3 Themenbereich Passive Kühlung	33
3.2.4 Themenbereich Tageslichtnutzung, Verschattung und Beleuchtung.....	35
4 Detailangaben in Bezug auf die Ziele des Programms	39
4.1 Einpassung in das Programm	39
4.2 Beitrag zum Gesamtziel des Programms	39
4.3 Einbeziehung der Zielgruppen (Gruppen, die für die Umsetzung der Ergebnisse relevant sind) und Berücksichtigung ihrer Bedürfnisse im Projekt	39

4.4	Beschreibung der Umsetzungs-Potenziale (Marktpotenzial, Verbreitungs- bzw. Realisierungspotenzial) für die Projektergebnisse	40
5	Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen	42
6	Ausblick und Empfehlungen	44
7	Literatur-/ Abbildungs- / Tabellenverzeichnis	46
8	Anhang	48

Abstract

Starting point/Motivation

This project is a sub project of the flagship project "BIGMODERN – Sustainable modernisation standards for buildings owned by the Federal Republic of Austria of the period from the 1950s to the 1980s"

In the frame of this subproject being part of the flagship project BIGMODERN, a decision matrix as well as a handbook for planning, including feasibility facts and a collection of information, serving as decision guidance for planning and implementation of sustainable building refurbishment, is being developed. In this way, the risk for planners and builders of the usage of new sustainable technologies shall be minimised.

To reach the aim of sustainable refurbish-standards in praxis, there have to be bigger changes in different technologies. Innovative technologies in the context of modernization mean additional efforts in planning and coordination, which are hardly possible in the standard planning process. Changes in the standard planning process and in the used technologies imply risks for the building owner like exploding costs, less saving than planned in operation and susceptibility to failure. To get innovations into modernization-standards, these risks have to be minimized.

The core element of the flagship project is the implementation of two demonstration projects, which should be modernized especially for the BIG according to above-average quality standards concerning energy efficiency and sustainability while complying with an industrial management point of view. This is supposed to rise the BIG's awareness of breaking new grounds in order to maintain innovative and yet cost-effective renovations.

The aim is to set new standards in conventional renovation and to tap the BIG's full potential concerning implementations.

Contents and Objectives

Aim of this sub-project is to gather and prepare informations/experiences of pilot projects and research, so that it can be directly used in the planning and decision process of the building owner Bundesimmobiliengesellschaft (BIG) and other building owners. The results of sub-project 5 support the planner and project-manager in the draft-design and design phase of the innovative elements of the renovations with decision-standards and analytical tools. The main target-field is the modernization of school- and office-buildings of the 50s to 80s. Final result is a decision matrix and a planning-handbook with collected feasibility facts and informations. The project will lead to sustainable standards with innovative technologies as normal modernization-standard, minimizing the risks in the lead-up design of projects.

For the refurbishment of the school- and office-buildings of the 50s to 80s four main fields of investigation have been identified:

1. **Subsequent installation of ventilation systems with heat recovery:** Without heat recovery the energy savings are limited due to ventilation heat losses – the chance for higher renovation standards would be lost. Indoor air quality is also a significant factor in school buildings. At the moment there are only few experiences existing for these kind of buildings.
2. **Shading, daylight and lighting:** In existing buildings it is a challenge to get the optimum between shading and energy efficient lighting and the use of daylight. But it is a central issue for ergonomic workplaces.
3. **Sustainable cooling and summer comfort:** To reach comfortable conditions in office buildings in the summertime is getting more and more important. In future refurbishments of office-buildings all advantages from passive cooling and sustainable cooling systems should be taken.
4. **Innovative facade systems:** High and efficient quality standards in refurbishment normally means high burdens for the user (dust, noise, long-term building sites, changing windows etc.). To avoid these burdens, innovative and prefabricated facade systems will be pushed forward with this project.

Results

The sub-project contributed remarkably to an integrated design process with a comprehensive tuning and optimisation process between the planning of the sub-systems of the building. In this context integrated planning can be seen as an indispensable requirement for the implementation of high-level standards with respect to sustainability and energy efficiency in the modernisation of federal public buildings.

Kurzfassung

Ausgangssituation/Motivation

Die BIG ist einer der größten öffentlichen Gebäudebesitzer in Österreich. Die Republik Österreich hat sich im Zuge von internationalen Vereinbarungen zum Klimaschutz (Kyoto Vereinbarung (United Nations, 1998)) sowie europäischen Richtlinien wie beispielsweise die Gebäuderichtlinie (Richtlinie, 2010) sowie die Energiedienstleistungsrichtlinie (Richtlinie, 2006) zur Umsetzung von Energieeffizienz- sowie CO₂ Einsparungen verpflichtet. Neben den internationalen Verpflichtungen gibt es weitere nationale Anforderungen, die von öffentlichen Gebäuden einzuhalten sind. Die Vereinbarung gemäß Art. 15a B-VG zwischen dem Bund und den Ländern über Maßnahmen im Gebäudesektor zum Zweck der Reduktion des Ausstoßes an Treibhausgasen beschreibt in Artikel 12 und 13 Anforderungen an den Neubau und an die Sanierung von öffentlichen Gebäuden der Vertragsparteien.

Aus den genannten Richtlinien und Vereinbarungen ist abzulesen, dass die BIG in den nächsten Jahren hohe Anforderungen hinsichtlich der Energieeinsparung bei Sanierungen zu erfüllen hat. Dabei ist zu bedenken, dass die BIG ca. 2.800 Gebäude mit einer Gebäudelfläche von ca. 7. Mio. m² umfasst.

Davon ca. 300 Schulstandorte [mit ca. 600 Gebäuden], 21 Universitäten [mit ca. 380 Gebäuden] und ca. 1.800 Amtsgebäude bzw. Büro und Spezialimmobilien.

Deshalb hat die BIG bei Haus der Zukunft Plus ein Leitprojekt eingereicht, das als Kernelement die **Umsetzung von zwei Demonstrationsprojekten** zum Inhalt hat. Diese Demonstrationsprojekte werden besonders für die Bundesimmobiliengesellschaft (BIG) nach überdurchschnittlich hohen Qualitätsstandards im Hinblick auf Energieeffizienz und Nachhaltigkeit bei gleichzeitiger Einhaltung wirtschaftlicher Gesichtspunkte modernisiert. Damit soll innerhalb der BIG in erster Linie das Bewusstsein gefördert werden, dass innovative Sanierungen nicht unwirtschaftlich sein, dafür jedoch neue Wege im Planungsprozess beschritten werden müssen. Ziel ist, dadurch neue energetische Standards bei Sanierungen zu setzen und damit das hohe Umsetzungspotenzial der BIG auszuschöpfen.

Inhalte und Zielsetzungen

Vor diesem Hintergrund hat das gegenständliche Subprojekt die Aufgabe Informationen aus Forschungsprojekten und Pilotanwendungen, Planungsunterlagen und Anwendungs- bzw. Ausführungsbeispielen sowie Erfahrungsberichten zu innovativen Technologien so aufzubereiten, dass sie unmittelbar in den Planungsprozessen bei den Sanierungen von Schulen und Büro- bzw. Verwaltungsgebäuden eingesetzt werden können. Ziel ist die Verankerung der innovativen, den Nachhaltigkeits- und Energieeffizienzkriterien entsprechenden Technologien in den Planungs- und Ausführungsprozessen für sämtliche zukünftigen Modernisierungsvorhaben der BIG sowie die Minimierung der Risiken bei der Anwendung dieser Technologien.

Für die Modernisierung der Büro- und Unterrichtsgebäude der 50er bis 80er Jahre wurden dabei folgende Themenfelder von zentraler Bedeutung für die Erreichung nachhaltiger Standards identifiziert:

1. **Nachrüstung von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung in Büro- und Unterrichtsgebäuden:** Ohne Reduzierung von Lüftungswärmeverlusten ist schnell eine Grenze bei der Energieeinsparung erreicht – die Chance auf höherwertige Sanierungen wäre somit für lange Zeit vertan. Weiters ist das Thema Innenluftqualität insbesondere für Unterrichtsgebäude von höchster Bedeutung. Es existieren bisher wenige Erfahrungen bei der Nachrüstung in Nicht-Wohngebäuden, speziell im Bereich Verwaltungsgebäude.
2. **Verschattungssysteme, Tageslichtnutzung und energiesparende Beleuchtung:** Das Tageslicht optimal zu nutzen ist vor allem bei Bestandsbauten eine Herausforderung – ein optimales Zusammenspiel zwischen außenliegender Verschattung und Beleuchtung samt Steuerung ist daher von zentraler Bedeutung für eine ergonomische Arbeitsplatzgestaltung und geringen Energieeinsatz für Beleuchtung.
3. **Sommerlicher Komfort und nachhaltige Kühlung:** Sommerlicher Überwärmungsschutz spielt vor allem im Bereich Büro- und Verwaltungsbauten eine immer höhere Rolle. Bisher wurden bei Problemen mit sommerlicher Überhitzung wenig effiziente Splitklimaanlagen nachgerüstet – es sollen künftig bei nachhaltigen Modernisierungen sowohl die Möglichkeiten der passiven Verbesserung des Raumklimas ausgeschöpft werden als auch die Möglichkeiten nachhaltiger Kühlsysteme genutzt werden.
4. **Innovative Fassadensysteme bei der Sanierung:** Die Mehrzahl der Gebäude wird während der vollen Nutzung modernisiert – ohne vorgefertigte Fassadenelemente würde eine umfassende energetische Sanierung auf hohem Niveau zu sehr hohen Belastungen der Nutzer während des Baubetriebes führen (sehr lange Bauzeiten, Maueröffnungen, Staub, Lärm z.B. beim Bohren von Dämmstoffdübeln etc.).

Projektziel und Ergebnis des Projektes ist eine einfach anwendbare Entscheidungsmatrix und Arbeitsbehelfe für Projektverantwortliche der BIG zur Umsetzung innovativer Technologien im Modernisierungsprozess.

Methodische Vorgehensweise

Projektergebnis dieses Subprojektes sind für den Bauherren BIG aufbereitete Informationen aus Forschungsprojekten und Pilotanwendungen innovativer Technologien in der Sanierung,

Anwendungs- bzw. Ausführungsbeispiele sowie Erfahrungsberichte zu innovativen Technologien, damit sie unmittelbar in den Planungsprozessen eingesetzt werden können.

Die wesentlichen Informationen für den Bauherren BIG sind hierbei:

- **Bedingungen für die technische Machbarkeit** (z.B. techn. Voraussetzungen auf Gebäudeseite für die leichte Nachrüstung von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung; Voraussetzung für die Installation fixer, lichtlenkender Verschattungselemente etc.)
- **Kritische (technische) Faktoren** wie z.B. Störanfälligkeit der Steuerung beweglicher Verschattungselemente, Platzbedarf von Verteilleitungen der Lüftungsanlage
- **Bedingungen für die Wirtschaftlichkeit und Kostentreiber im Gesamtsystem** wie z.B. verglaste, öffnbare Elemente in vorgefertigten Fassaden
- **Zielkriterien für die Planerfindung und die Ausschreibungstexte**

Auf Basis der Recherchen wird die konkrete Machbarkeit innovativer Technologien bei den Modernisierungsvorhaben der BIG analysiert (Schwerpunkt Büro- und Unterrichtsbauten) und in Form einer Entscheidungsmatrix und Arbeitsbehelfen für Standardprozesse der BIG für Projektverantwortliche aufbereitet.

Es wurden Recherchen und Analysen bei bestehenden nationalen und internationalen Demonstrationsprojekten durchgeführt und durch Interviews mit den Planern, Bauherren zum Thema Erfahrungen und Schwachstellen ergänzt. Die gewonnenen Erkenntnisse werden durch entsprechend aufbereitete, informative Unterlagen vervollständigt und in eine Entscheidungsmatrix integriert. Diese Matrix soll als Standard-Entscheidungsinstrument bei allen Modernisierungsvorhaben dienen. Diese stellt einen wesentlichen Teil des Gesamtprojektes BIGMODERN dar.

Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Das Subprojekt lieferte einen wertvollen Beitrag in Richtung integrealem Planungsprozess. Die Integration von hohen Energieeffizienzkriterien in den Planungsprozess erfolgt künftig an Hand der Beispiele der Planungen in Bruck an der Mur (Amtshaus Bruck) und Innsbruck (Universität – Bauingenieur fakultät) und der erarbeiteten Materialien und Arbeitsbehelfe im vorliegenden Subprojekt.

Bereits im Vorentwurf müssen verschiedene Optimierungsvarianten überlegt und geprüft werden – die Arbeitsbehelfe sind dabei ein erstes Hilfsmittel für die Projektleiter der BIG. Die Anregungen und Empfehlungen für Verbesserungen in der Planung müssen von Seiten des Bauherrn kommen. Der Bauherr muss für Kompetenz im Bereich Energieeffizienz Sorge tragen, sodass die technischen Lösungen des Planers mit Hilfe der erarbeiteten Materialien

sorgfältig geprüft werden können. Die erarbeitete Entscheidungsmatrix soll diese Kompetenz innerhalb aufzubauen helfen.

Gleichzeitig müssen der Bauherr sowie der Mieter bereits bei Projektbeginn, wenn das Gebäude definiert wird, jedoch spätestens beim Vorentwurf, wenn die ersten Pläne vorliegen, von den Errichtungskosten sowie den künftigen Betriebskosten informiert werden. Auf Basis von Lebenszykluskosten kann die ökonomische und ökologische Nachhaltigkeit gewährleistet werden. Nur wenn den Mietern veranschaulicht werden kann, dass höhere Investitionen aufgrund des hohen Qualitätsstandards durch geringere Betriebskosten wirtschaftlich sinnvoll sind, können energieeffiziente Lösungen umgesetzt werden. Die Auswirkungen auf den Nutzungskomfort sind im Rahmen der Planung aufzuzeigen. Nichtsdestotrotz müssen die beschränkten budgetären Möglichkeiten der Mieter der BIG berücksichtigt werden.

Ausblick

Diese Energieeffizienzstandards sollen künftig für alle Modernisierungsvorhaben der BIG im Gebäudebestand der Bauperiode der 1950er bis 1980er Jahre den Ministerien zur Ausführung empfohlen werden. Dieser Qualitätsstandard muss jedoch von den Ministerien akzeptiert werden, etwaige Mehrkosten durch die Energieeffizienzstandards sind zu budgetieren. Aus Sicht der BIG ist es notwendig, dass die Ministerien als Auftraggeber der BIG nicht aus ihrer Verantwortung entlassen werden. Ohne aktiven Beitrag der Mieter an der Umsetzung und am Betrieb von energieeffizienten Gebäuden sind hohe Energieeffizienzstandards nicht sinnvoll.

1 Einleitung

1.1 Das Unternehmen

Die Bundesimmobiliengesellschaft (BIG) ist Dienstleister für die Republik Österreich, deren nachgeordnete Dienststellen und ausgegliederte Unternehmen. Kerngeschäft ist die Bewirtschaftung inklusive Verwaltung der Immobilien vom Neubau bis zum Abriss. Seit dem Jahr 2000 befinden sich rund 2.800 Liegenschaften im Eigentum der BIG, gekauft von der Republik Österreich.

Das Zusammenspiel: BIG ist Vermieter und Eigentümer der Liegenschaften. Hauptkunden, also Mieter, sind das Bundesministerium für Unterricht, Kunst und Kultur (BMUKK), 21 Universitäten (die wiederum ihre Budgets aus dem Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung (BMWVF) erhalten), sowie die Bundesministerien für Justiz (BMJ), Finanz (BMF) und Inneres (BMI).

Basis aller Dienstleistungen, egal ob aus dem Mietverhältnis resultierend oder bei Generalsanierungs- oder Neubau-Projekten, sind gültige Verträge. Auch die Zahlungsströme sind transparent und real. Aufgrund rechtlicher Rahmenbedingungen ist es nicht möglich einzelne Mieter zu bevorzugen. Der Großteil der vermieteten Flächen unterliegt dem Mietrechtsgesetz (MRG). Die BIG steht im Wettbewerb mit privaten Immobilienunternehmen. Denn Mietern der BIG ist es – unter Einhaltung der Kündigungsfrist – unbenommen, sich jederzeit einen anderen Vermieter zu suchen.

Im Jahr 2010 hat die BIG massiv investiert. Insgesamt wurden 636 Mio. Euro (nach 522 Mio. Euro 2009) für neue Bauvorhaben (inklusive WU-Projektgesellschaft) oder Instandhaltungsmaßnahmen geleistet. Das ist so viel wie nie zuvor in der über zehn jährigen Unternehmensgeschichte (seit Eigentumserwerb 2000/2001).

So flossen 2010 rund 372,4 Mio. Euro (2009: 291,3 Mio.) in Neubauten und Generalsanierungen. 48 Bauvorhaben wurden im laufenden Geschäftsjahr 2010 fertig gestellt. Die Instandhaltungsaufwendungen zur Wertsicherung der Objekte betragen 222,7 Mio. Euro (nach 210,7 Mio. Euro im Jahr 2009)

Bei einer Bilanzsumme von rund 4,6 Mrd. Euro stiegen die Umsatzerlöse der Bundesimmobiliengesellschaft (BIG) leicht von 791,4 Mio. Euro im Jahr 2009 auf 792,3 Mio. Euro im Jahr 2010. Mehr als 85 Prozent des Umsatzes resultiert aus Mieteinnahmen (653,4 Mio. Euro). Hauptkunde der vermieteten Flächen ist der Bund oder bundesnahe Institutionen.

1.2 Ausgangslage

Die BIG ist mit einem Immobilienvermögen von rund neun Milliarden Euro einer der bedeutendsten Immobilieneigentümer Österreichs. Kerngeschäft ist die Bewirtschaftung inklusive Verwaltung der Immobilien vom Neubau bis zur Sanierung und zum Abriss. Die BIG ist vorrangig Dienstleister für die Republik Österreich, deren nachgeordnete Dienststellen und ausgliederte Unternehmen.

Der mietenrelevante Gebäudeflächenbestand der BIG betrug per Mai 2011 rund 7 Mio. m². Die Liegenschaften sind überwiegend an die Republik Österreich, vertreten durch das jeweils haushaltsleitende Organ (Ministerium), und die Universitäten der Republik Österreich vermietet.

Gesamtnutzfläche ca. 7 Mio. m²

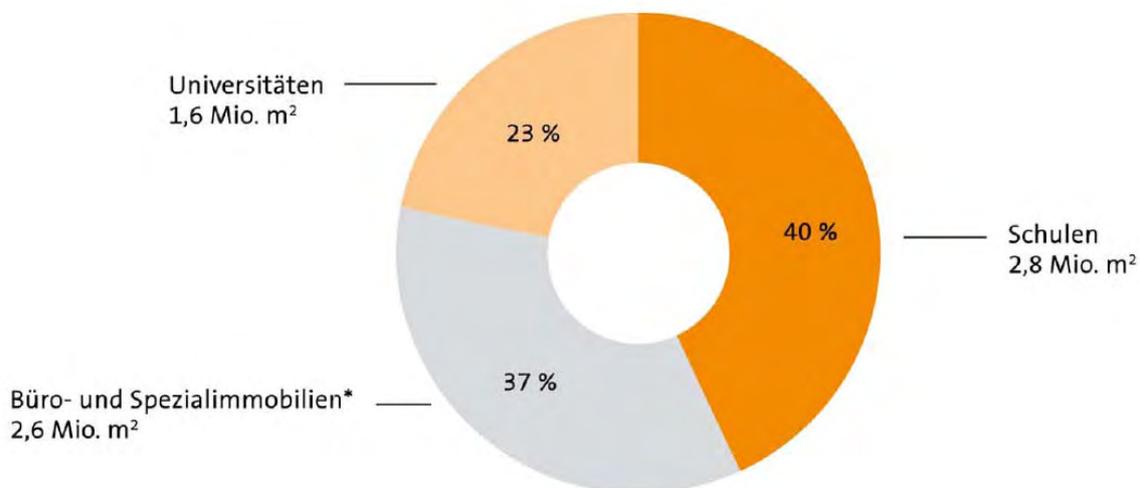


Abbildung 1: Gesamtnutzfläche der BIG nach Nutzungen (Quelle: BIG)

Während die BIG im Neubau bereits einige energieeffiziente und klimaschonende Vorzeigeprojekte realisiert hat (z.B. Haus der Forschung, Passivwohnhaus Jungstraße in Zusammenarbeit mit Raiffeisen Evolution), werden Funktions- und Generalsanierungen durchgängig dem Stand der Technik entsprechend auf konventionelle Weise durchgeführt und an die jeweils geltenden Bestimmungen und Bauordnungen angepasst. Dies erfolgt jedoch weitgehend ohne Orientierung an nachhaltigen und klimaschonenden Modernisierungsstandards.

Angesichts des hohen Anteils von Modernisierungsvorhaben an den Gesamtinvestitionen der BIG werden jedoch gerade in diesem Bereich zunehmend konsequente Schritte von konventionellen hin zu innovativen Lösungen gefordert.

1.3 Motivation

Die BIG ist einer der größten öffentlichen Gebäudebesitzer in Österreich. Die Republik Österreich hat sich im Zuge von internationalen Vereinbarungen zum Klimaschutz (Kyoto Vereinbarung (United Nations, 1998)) sowie europäischen Richtlinien wie beispielsweise die Gebäuderichtlinie (Richtlinie, 2010) sowie die Energiedienstleistungsrichtlinie (Richtlinie, 2006) zur Umsetzung von Energieeffizienz- sowie CO₂ Einsparungen verpflichtet.

Die Energiedienstleistungsrichtlinie und Gebäuderichtlinie schreiben dem öffentlichen Sektor eine Vorbildfunktion hinsichtlich Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz und zur Energieeinsparung vor. In Artikel 5, Punkt 1 der Energiedienstleistungsrichtlinie heißt es: „Die Mitgliedstaaten stellen sicher, dass der öffentliche Sektor eine Vorbildfunktion im Zusammenhang mit dieser Richtlinie übernimmt. Zu diesem Zweck unterrichten sie in wirksamer Weise die Bürger und/oder gegebenenfalls Unternehmen über die Vorbildfunktion und die Maßnahmen des öffentlichen Sektors.“

In der Neufassung Gebäuderichtlinie wird als Ziel gesetzt, bis zum Ende des Jahre 2020 im Neubau ausschließlich Niedrigstenergiegebäude (nearly zero energy buildings) zu bewilligen. In diesem Bereich wird für Gebäude des öffentlichen Sektors eine Vorbildfunktion erwartet, indem diese Anforderung bereits bis zum Jahr 2018 umzusetzen ist. Der Ausweis über die Gesamtenergieeffizienz des Gebäudes (Energieausweis) ist bei öffentlichen Gebäuden mit starkem Publikumsverkehr sowie einer Nutzfläche über 250 m² (ab 2015) auszuhängen. Nicht zuletzt schreibt die Gebäuderichtlinie in Artikel 12, Punkt 5 folgendes vor: „Die Mitgliedstaaten regen vorbehaltlich der innerstaatlichen Rechtsvorschriften die Behörden dazu an, der Vorreiterrolle, die sie auf dem Gebiet der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden einnehmen sollte, unter anderem dadurch gerecht zu werden, dass die innerhalb der Geltungsdauer des Ausweises über die Gesamtenergieeffizienz der Gebäude, deren Eigentümer sie sind, den im Ausweis enthaltenen Empfehlungen nachzukommen“

Die rechtliche Umsetzung in österreichisches Recht ist bei der Neufassung der Gebäuderichtlinie noch im Gange, sodass noch keine Verpflichtungen für die BIG abgeleitet werden können. Unbeschadet der detaillierten Umsetzung ist der Richtlinie eine Vorreiterrolle von öffentlichen Behörden im Bereich Energieeinsparung in deren Gebäuden deutlich zu entnehmen, sodass hohe Anforderungen an die Energieeffizienz dieser Gebäude zu erwarten sind.

Neben den internationalen Verpflichtungen zur CO₂- und Energieeinsparung gibt es weitere nationale Anforderungen, die von öffentlichen Gebäuden einzuhalten sind. Die Vereinbarung gemäß Art. 15a B-VG zwischen dem Bund und den Ländern über Maßnahmen im Gebäudesektor zum Zweck der Reduktion des Ausstoßes an Treibhausgasen beschreibt in Artikel 12 und 13 Anforderungen an den Neubau und an die Sanierung von öffentlichen Gebäuden der Vertragsparteien. In Artikel 12 sind Anforderungen an den Heizwärmebedarf, den Kühlbedarf sowie U-Wert von Bauteilen und Tausch von Wärmeversorgungssystemen enthalten, die von öffentlichen Gebäuden einzuhalten sind.

Aus den genannten Richtlinien und Vereinbarungen ist abzulesen, dass die BIG in den nächsten Jahren hohe Anforderungen hinsichtlich der Energieeinsparung bei Sanierungen zu erfüllen hat. Daraus ableitend stellt sich die Herausforderung für die BIG, diese Qualitätsstandards in ihren Standardprozessen für Sanierungen zu integrieren.

1.4 Projektziele des Leitprojektes BIGMODERN

Angesichts des hohen Anteils von Modernisierungsvorhaben an den Gesamtinvestitionen der BIG werden jedoch gerade in diesem Bereich zunehmend konsequente Schritte von konventionellen hin zu innovativen Lösungen gefordert. In der Praxis taucht dabei eine Reihe von Barrieren auf, die eine Umsetzung über Einzelfälle hinaus wesentlich erschweren:

- Die Mieter der BIG-Gebäude sind in der Regel Ministerien und Universitäten, die Anforderungen auf Komfort und Funktion beim Vermieter einfordern. Um hohe Standards sowohl für den Nutzungskomfort als auch bei Nachhaltigkeit und Energieeffizienz in der Sanierung zu erreichen sind jedoch oft Maßnahmen mit neuen Technologien notwendig, die oft noch nicht in vielen Projekten erprobt sind. Dieser Umstand beinhaltet sowohl für den Bauherrn als auch für den Planer beträchtliche Risiken, weswegen die BIG oft zu innovative Lösungen meidet und auf erprobte, jedoch nicht sehr innovative Maßnahmen durchführt;
- Nachhaltige und energieeffiziente Modernisierungen erfordern auch neue Planungsprozesse in denen die Teilplanungen stärker miteinander verwoben sind, um in der Planung Abstimmungs- und Optimierungsprozesse zwischen einzelnen Gewerken zu ermöglichen. Darüber hinaus ist es erforderlich, Nachhaltigkeits- und Energieeffizienzkriterien schon in den ganz frühen Planungsphasen – also z.B. schon bei der Festlegung der Rahmenbedingungen für einen Wettbewerbsbeitrag – einfließen zu lassen;
- Investitionsentscheidungen basieren bei Modernisierungen auch in der öffentlichen Gebäudebewirtschaftung weitgehend auf den Herstellungskosten. Um innovative, klimaschonende Modernisierungsvorhaben durchsetzen zu können, müssen hingegen zusätzlich zu den Herstellungskosten laufende Betriebskosten über den Lebenszyklus stärker als Grundlage für Investitionsentscheidungen herangezogen werden. Die BIG agiert hier im klassischen Investor-Nutzer-Dilemma. Höhere Investitionskosten aufgrund innovativer Maßnahmen können oft von Seiten der Mieter nicht finanziert werden, da von Ministerien strikte Obergrenzen für die Budgetmittel vorgegeben werden. So können zusätzlich Maßnahmen mit höheren Investitionskosten nur durch eine zusätzliche finanzielle Vereinbarung zwischen Eigentümer und Mieter umgesetzt werden.

Das Leitprojekt bearbeitet diese genannten Barrieren in umfassender und strukturierter Form und verfolgt dabei im Einzelnen die folgenden Projektziele:

- Durchführung von zwei großen Demonstrationsprojekten mit dem Ziel, die Praxistauglichkeit (Wirtschaftlichkeit, Funktionalität, rechtliche Umsetzbarkeit) von Nachhaltigkeits- und Energieeffizienzkriterien in konkreten Modernisierungsvorhaben zu überprüfen;
- Ausgehend vom Know-how und den Erfahrungen, die bei Planung und Bauausführung der Demonstrationsprojekte gesammelt wurden, werden die gegebenenfalls adaptierten Nachhaltigkeits- und Energieeffizienzkriterien als wesentliche Leitprinzipien in den Planungs- und Ausführungsprozessen für sämtliche zukünftigen Modernisierungsvorhaben der BIG verankert;
- Vorbildwirkung für andere größere öffentliche und private Immobilienunternehmen zur Festlegung und Umsetzung ähnlich innovativer und nachhaltiger Standards für deren Modernisierungsvorhaben.

Kernelement des Leitprojekts ist die Umsetzung der beiden Demonstrationsprojekte. Bei beiden Demonstrationsprojekten handelt es sich um Modernisierungsvorhaben an Bundesgebäuden der Bauperiode 1950er bis 1980er Jahre, für die der Planungsprozess unter Vorgabe einer Reihe anspruchsvoller, großteils thermisch energetischer Zielkriterien bereits begonnen wurde. Für beide Demonstrationsprojekte wurden bereits Wettbewerbsbeiträge ausgewählt, die ein großes Potential für nachhaltiges und energieeffizientes Modernisieren auf sehr hohem Niveau aufweisen.

In einem begleitenden Forschungsteil werden in mehreren Subprojekten die für die Umsetzung der Demonstrationsprojekte erforderlichen Entscheidungen wissenschaftlich unterstützt. Im Einzelnen sind vorgesehen:

- Durchführung planungsbegleitender Lebenszykluskostenanalysen (LZKA), um aus unterschiedlichen Varianten jene herauszufiltern, die über den Lebenszyklus – und nicht nur in der Herstellung – kostenoptimal ist.
- Machbarkeitsanalysen für den Einsatz innovativer, aber für nachhaltiges Modernisieren unerlässlicher Technologien, um die (wahrgenommenen) Risiken auf Seiten der Planer und des Bauherrn zu reduzieren;
- Umsetzung ressourcenschonenden und damit betriebskostenreduzierenden Modernisierens in die vertraglichen Verhältnisse zwischen der BIG und den jeweiligen Nutzerministerien bzw. den Planern und Bauausführenden, mit dem Ziel, die Gesamtkosten der Nutzung (Netto-Kaltniete plus Betriebskosten) als Grundlagen heranzuziehen.
- Darüber hinaus wird ein System für Monitoring und Evaluierung der Demonstrationsprojekte auch als Basis für die anschließende Verbreitung der Projektergebnisse aufgebaut.

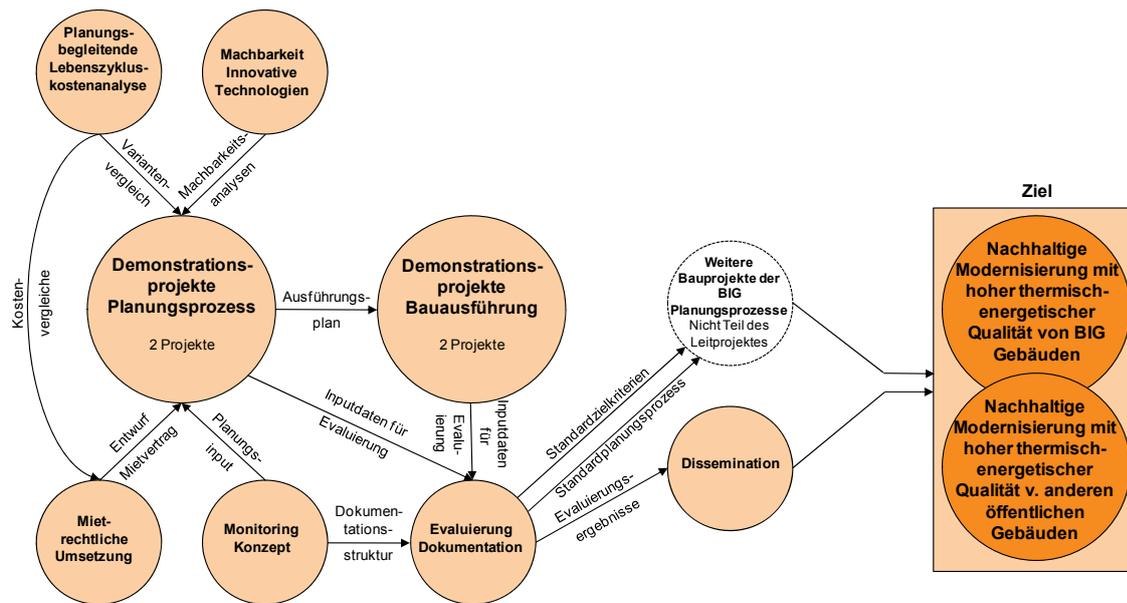


Abbildung 2: Subprojekte des Leitprojektes BIGMODERN (Quelle: eigene Darstellung)

In einem Evaluierungs- und Dokumentationsteil werden die Erkenntnisse und Erfahrungen, die aus der Planung und baulichen Umsetzung der Demonstrationsprojekte gewonnen worden sind, zusammenfassend bewertet und daraus schließlich Vorgaben für Standardzielkriterien für nachhaltiges und energieeffizientes Modernisieren sowie für dazu passende Standardplanungsprozesse entwickelt. Diese Standardvorgaben sollen in weiterer Folge für alle Modernisierungsvorhaben der BIG im Gebäudebestand der Bauperiode der 1950er bis 1980er Jahre den Ministerien zur Ausführung empfohlen werden. Dieser Qualitätsstandard muss jedoch von den Ministerien angenommen werden, etwaige Mehrkosten durch die Energieeffizienzstandards sind in deren Kostenplanung zu budgetieren. Aus Sicht der BIG ist es notwendig, dass die Ministerien als Auftraggeber der BIG nicht aus ihrer Verantwortung entlassen werden. Ohne aktiven Beitrag der Mieter an der Umsetzung und am Betrieb von energieeffizienten Gebäuden sind jene ambitionierten Maßnahmen, die durch die BIG realisiert und bezahlt würden, nicht oder nur in geringem Ausmaß wirksam.

Der Disseminationsteil verfolgt sowohl die Verbreitung der Projektergebnisse (bzw. allgemeiner der „lessons learned“) an andere Immobilienunternehmen bzw. Planer als auch die nachhaltige Verankerung der Projektergebnisse in den Planungsprozessen der BIG selbst.

Wenn es mithilfe des Leitprojektes gelingt, hochwertige nachhaltige und energieeffiziente Modernisierungen für alle künftigen Modernisierungsvorhaben der BIG – und durch die Vorbildwirkung vielleicht sogar bei einigen anderen großen Immobilienunternehmen – als Standard zu verankern, sind die ökologischen Effekte in jedem Fall beträchtlich.

1.5 Projektziele des vorliegenden Subprojektes

Vor dem Hintergrund der Ziele des Leitprojektes BIGMODERN verfolgt das hier beantragte Subprojekt die folgenden spezifischen Projektziele:

1. **Verankerung** der innovativen, den Nachhaltigkeits- und Energieeffizienzkriterien entsprechenden Technologien **in den Planungs- und Ausführungsprozess** für sämtliche zukünftigen Modernisierungsvorhaben der BIG-
2. **Reduktion der Risiken** beim Einsatz innovativer Technologien in der Sanierung **durch Information** der Projektleiter – kompakte Aufbereitung von Forschungsinformationen und Pilotanwendungen
3. Erstellung von **Arbeitsbehelfen** (Planungsinformationen und Anwendungs- bzw. Ausführungsbeispielen sowie Erfahrungsberichten zu innovativen Technologien) für folgende Themenbereiche:
 - Nachrüstung von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung;
 - Einsatz vorgehängter, industriell vorgefertigter Fassadenlösungen;
 - Einsatz nachhaltiger Innendämmungen bei denkmalgeschützten Bauten (wie z.B. Cellulose im Sprühverfahren aufgebracht);
 - Lösungen für wärmebrückenfreies und luftdichtes Bauen im Bestand und bei hohen Dämmstärken (z.B. bei Vorsprüngen etc.);
 - Nachträglicher Einbau von fixen oder beweglichen Verschattungselementen-
 - Verbesserung des sommerlichen Komforts und nachhaltige Kühlung (Kühlung mit regenerativen Energiequellen wenn aktive Kühlung unvermeidlich)
 - Tageslichtnutzung und Beleuchtung
4. Aufbereitung von typischen technischen Entscheidungssituationen im Planungsprozess bei der Umsetzung von innovativen Technologien – Erstellung einer **Entscheidungsmatrix**

1.6 Projektteam und Beteiligte

Das Projektteam des Subprojektes 5 bestand aus folgenden Unternehmen:

- BIG: Alexandra Petermann, Dirk Jäger, Sandra Reitmayr, Winfried Lahme
- e7 Energie Markt Analyse GmbH: Gerhard Hofer, Klemens Leutgöb, Margot Grim, Márton Varga
- Grazer Energieagentur: Gerhard Bucar, Rudolf Grossauer, Ernst Meissner

2 Hintergrundinformationen zum Projektinhalt

2.1 Beschreibung des Standes der Technik

Die Neubauten, Erweiterungen und große Sanierungen der BIG werden von den Mietern der Gebäude in Auftrag gegeben. In Abbildung 3 wird der Standardprozess der BIG dargestellt: Zuerst wird das Budget für Baumaßnahmen vom Finanzministerium freigegeben und an die Bundesministerien verteilt. In den Ministerien werden die Projekte und die Anforderungen in Zusammenarbeit mit den Nutzern des Gebäudes erhoben. Nach der Auswahl der Projekte startet die Planung. Erst nach Unterfertigung eines Mietvertrages auf Basis der freigegebenen Entwürfe wird die bauliche Umsetzung bei der BIG beauftragt und das Projekt realisiert.



Abbildung 3: Standardprozess der BIG bei Generalsanierungen

Energieeffiziente Vorgaben bei Sanierungen wurden bisher seitens der Mieterministerien nicht nachgefragt. Die Bundesministerien und Universitäten, haben bisher keine konkreten Zielwerte bei Sanierungen vor der Baudurchführung vorgegeben.

Die bisher übliche Kosten – Nutzen Darstellung (Investition versus Energieeinsparung) bei der Beauftragung von energiesparenden baulichen Maßnahmen, wenn ein Gebäude einer Sanierung unterzogen werden soll, die über die Anforderungen der Bauordnung hinausgeht, führt zu Amortisationszeiten von 50 Jahren und mehr. Diese Ansicht ist derzeit einer der Hauptgründe weshalb energieeffizientere Sanierungen selten umgesetzt wurden.

Bei Überlegungen, welche baulichen Maßnahmen am besten zur Umsetzung vorgeschlagen werden, kann die BIG nicht auf die tatsächlichen Verbräuche der Gebäude zugreifen. Die BIG kennt die Energieverbräuche der eigenen Gebäude nicht. Die tatsächlichen Verbräuche werden seitens des BMWFJ durch die Energiesonderbeauftragten (ESB) eingehoben und in einer Datenbank aufgezeichnet. Diese Daten stehen der BIG bisher nicht zur Verfügung. Derzeit sind Überlegungen bei den Ressorts im Gang, ob der BIG diese Daten zur Verfügung gestellt werden dürfen.

Die Energieverbrauchsdaten der Universitäten wurden bis 2004 durch die ESB zentral erfasst, seit 2005 haben das die Universitäten in autonomer Regie übernommen.

2.2 Beschreibung der Vorarbeiten zum Thema

Im Rahmen von Haus der Zukunft und auch anderen (internationalen) Forschungsprogrammlinien wurden bereits zahlreiche Forschungsarbeiten zum Thema innovative, energieeffiziente und nachhaltige Sanierung durchgeführt. Ergebnis dieser Forschungsarbeiten sind in der Regel über 100 (oft mehrere hundert) Seiten starke Endberichte. Wichtige Informationen, wie z.B. mögliche Schwierigkeiten bei der Praxisanwendung, bleiben trotz des Umfangs der Berichte meist verborgen. Der Umfang der Forschungsberichte erschwert weiters, dass die Informationen bei den Projektverantwortlichen Verbreitung finden, das Einlesen in die Themenbereiche ist schwierig. Deshalb wurde bei diesem Subprojekt ein Hauptaugenmerk darauf gelegt, diese Informationen zusammenzufassen und in einem Informationstool (Entscheidungsmatrix) möglichst kompakt aufzubereiten.

Eine Übersicht zu den Vorarbeiten auf welche aufgebaut werden konnte, liefern die Berichte zu den einzelnen Technologiebereichen (siehe Anhang).

2.3 Beschreibung der Neuerungen sowie ihrer Vorteile gegenüber dem Ist-Stand (Innovationsgehalt des Projekts)

Die Umsetzung innovativer Gebäudestandards bei Sanierungen scheitert sehr oft an mangelnder interdisziplinärer Betrachtungsweise der Fragestellungen und Planungsprozesse „as usual“ in Kombination mit mangelndem Detail-Know-How und Erfahrungen mit innovativen Technologien. Die zentrale Innovation des Leitprojekts BIGMODERN ist, die Standardplanungsprozesse der BIG aufgrund eines integrierten Ansatzes von einer ganzen Reihe von Aktivitäten (im Rahmen des Leitprojektes) so nachhaltig zu gestalten, dass die Umsetzung von Modernisierungen mit hoher Qualität im Hinblick auf Nachhaltigkeit und Energieeffizienz

zum Regelfall wird. Infolge der entsprechenden Disseminationsaktivitäten sollen auch anderer Immobilienunternehmen von diesen Prozessen überzeugt werden.

Um die geforderten Zielkriterien des nachhaltigen Bauens bei der Bundesimmobiliengesellschaft (BIG) in der Praxis erreichen zu können sind in einigen Teilbereichen „Technologiesprünge“ erforderlich. Die Erfahrung zeigt, dass im Planungsfortschritt die Fragen der technischen Durchführbarkeit innovativer Lösungen detaillierter bearbeitet werden müssen. In üblichen Planungsprozessen wird daher oft aus Zeitgründen auf innovative Elemente verzichtet (man hat keine Zeit um sich mit neuen Dingen zu beschäftigen und für die Planung aufzubereiten) – man greift daher üblicherweise auf bekannte Dinge (aus der „Schublade“) zurück ohne Risiken einzugehen.

Um in der Modernisierung über konventionelle Sanierungsmaßnahmen hinauszugehen sind Technologiesprünge in der Umsetzung der Modernisierungen der BIG erforderlich, unter anderem in den folgenden Bereichen:

- Nachrüstung von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung;
- Einsatz vorgehängter, industriell vorgefertigter Fassadenlösungen;
- Einsatz nachhaltiger Innendämmungen bei denkmalgeschützten Bauten (wie z.B. Cellulose im Sprühverfahren aufgebracht);
- Lösungen für wärmebrückenfreies und luftdichtes Bauen im Bestand und bei hohen Dämmstärken (z.B. bei Vorsprüngen etc.);
- Nachträglicher Einbau von fixen oder beweglichen Verschattungselementen;
- Verbesserung des sommerlichen Komforts und nachhaltige Kühlung (Kühlung mit regenerativen Energiequellen wenn aktive Kühlung unvermeidlich)
- Tageslichtnutzung und Beleuchtung

Im Neubau sind alle diese Technologien schon vielfach eingesetzt, nicht jedoch in der Modernisierung. Daraus ergeben sich bei einem erstmaligen Einsatz für die Bauherren Risiken wie höherer Planungsaufwand, Kostenüberschreitung in der Errichtung, geringerer Einspar-effekt als erwartet, Probleme in der Funktionalität, unerwartete Wartungs- und/oder Instandsetzungskosten. Diese Risiken wiegen in den allermeisten Fällen schwerer als die möglichen positiven Effekte im Hinblick auf Ressourcenschonung und Energieeffizienz.

Um diese Barriere der Risiken für den Einsatz innovativer Technologien für die Planungsprozesse der BIG zu überwinden, zielt das gegenständliche Subprojekt darauf ab, Informationen aus Forschungsprojekten und Pilotanwendungen, Planungsunterlagen und Anwendungs- bzw. Ausführungsbeispielen sowie Erfahrungsberichten zu innovativen Technologien so aufzubereiten, dass sie unmittelbar in den Planungsprozessen bei den Sanierungen von Schulen und Büro- bzw. Verwaltungsgebäuden im Sinne des integralen Planungsansatzes eingesetzt werden können.

Die Innovation liegt darin, durch Aufbereitung von typischen technischen Entscheidungssituationen im Planungsprozess bei der Umsetzung von innovativen Technologien - in einer Form welche auch von Dritten verwendet werden kann und soll - diese Innovationen in Stan-

dardplanungsprozessen und -entscheidungen zu integrieren und damit die Risiken für die Bauherren zu minimieren.

2.4 Verwendete Methoden

Das vorliegende Subprojekt ist Teil eines gesamten Leitprojektes mit mehreren Subprojekten. Diese Subprojekte sind so angesetzt, dass eine gegenseitige Beeinflussung erfolgt.

Abbildung 4 stellt einerseits die Wirkungsweise des Subprojektes im gesamten Planungsprozess sowie das Zusammenspiel jener Subprojekte, die für einen im Sinn der Ziele des Leitprojektes erfolgreichen Planungsprozess entscheidend sind – das sind neben dem gegenständlichen SP 5 das SP 2, 3 (Optimierung und Planungskontrolle bei den Demonstrationsvorhaben) und das SP 4 (Lebenszykluskostenanalyse).

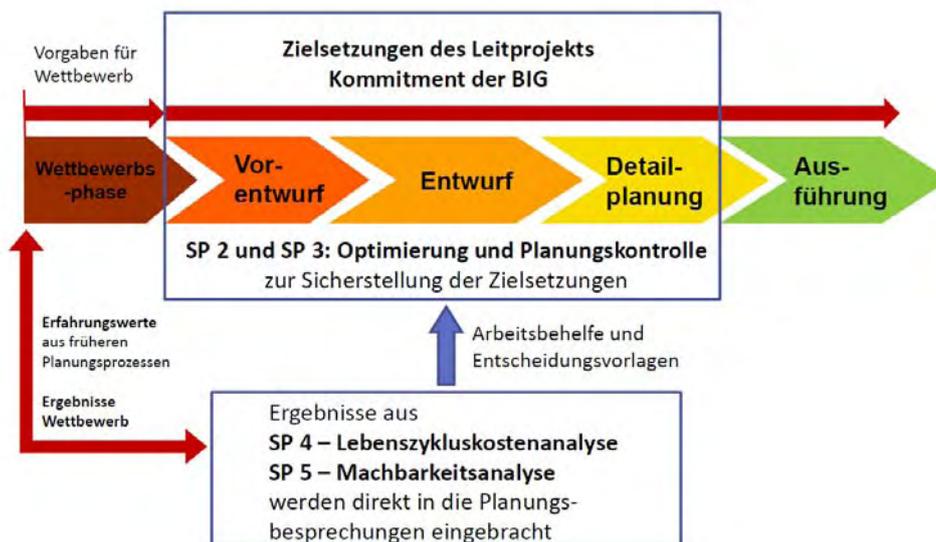


Abbildung 4: Nutzung anderer Subprojekte im vorliegenden Subprojekt (Quelle: eigene Darstellung)

In diesem Subprojekt wurden in einem ersten Schritt Recherchen und Analysen bei bestehenden nationalen und internationalen Demonstrationsprojekten (Desk-Research bei Haus der Zukunft, Energiesysteme der Zukunft, 6. Rahmenprogramm etc., Analyse eigener Projekte etc.) durchgeführt und durch Interviews mit den Planern, Bauherren zum Thema Erfahrungen und Schwachstellen ergänzt. Die gewonnenen Erkenntnisse werden durch entsprechend aufbereitete, informative Unterlagen vervollständigt und in eine Entscheidungsmatrix integriert. Diese Matrix soll als Standard-Entscheidungsinstrument bei allen Modernisierungsvorhaben dienen und kann auch von anderen Bauherren in Folge genutzt werden. Diese stellt einen wesentlichen Teil des Gesamtprojektes dar.

Auf Basis der Recherchen wird die konkrete Machbarkeit innovativer Technologien bei den Modernisierungsvorhaben der BIG analysiert (Schwerpunkt Büro- und Unterrichtsbauten)

und in Form einer Entscheidungsmatrix und Arbeitsbehelfen für Standardprozesse der BIG für Projektverantwortliche aufbereitet:

Die Ergebnisse des Subprojektes 5 fließen gemeinsam mit den Erkenntnissen aus Subprojekt 4 (Lebenszykluskostenanalyse) unmittelbar in den Planungsbesprechungen zu Subprojekt 2 und 3 (Planungsprozesse zu den Demonstrationsprojekten Bruck und Innsbruck) ein.

2.5 Beschreibung der Vorgangsweise und der verwendeten Daten mit Quellenangabe, Erläuterung der Erhebung

Die Projektpartner e7 und Grazer Energieagentur verfügen über weitreichende Erfahrungen bei innovativen Sanierungen und haben bereits mehrere nationale und internationale Forschungsprojekte durchgeführt bzw. nahmen daran als Projektpartner Teil.

In einem ersten Schritt wurden Recherchen und Analysen bei bestehenden nationalen und internationalen Demonstrationsprojekten (Analyse eigener Projekte, Desk-Research bei Haus der Zukunft, Energiesysteme der Zukunft, 6. Rahmenprogramm etc.) durchgeführt und durch Interviews mit den Herstellern, Planern und Bauherren zum Thema Erfahrungen und Schwachstellen ergänzt.

Hier nur ein Auszug einiger wichtiger Quellen und Projekte bei der Recherche:

- Kühl, L. et al. (2010), Interface Entwicklung von multifunktionalen Elementfassaden zur energetischen Sanierung von Nicht-Wohngebäuden, Fraunhofer IRB Verlag;
- Greml A. et al. (2008), Evaluierung von mechanischen Klassenzimmerlüftungen in Österreich und Erstellung eines Planungsleitfadens, Schriftenreihe "Berichte aus Energie- und Umweltforschung" des BMVIT
- Forschungsprojekt „plus Fassaden“ im Rahmen der Programmlinie haus der Zukunft (2010/2011);
- Forschungsprojekt PROSAB – Sanierung von Bürogebäuden der 50er bis 70er Jahre, Endbericht März 2008;
- Obermayer, H.C. et al. (2004), Erste Passivhaus-Schulsanierung, Schriftenreihe "Berichte aus Energie- und Umweltforschung" des BMVIT;
- Projekt: Sanierung der Wohnanlage Dieselweg in Graz mit GAP-Solarfassadenmodulen;
- AEE INTEC (2005), Projekt COOLSAN: Kältetechnische Sanierungskonzepte für Büro und Verwaltungsgebäude – Endbericht;
- Benke G., Leutgöb K. (2008), Energieeffizienz bei Lüftungsanlagen - Ein Ratgeber für die Praxis, MA27 Stadt Wien

- Vortrag: Dr. Wolfgang Streicher; Thermal cooling, PV compression cooling and purecompression cooling - an economic comparison on the basis of two real plants; IEA SHC Task 38, Aarhus, 27.4.2010
- Bucar et al. (2007), ESOFEET - Energiedienstleistungen für die Sommernutzung der Fernwärme; Schriftenreihe "Berichte aus Energie- und Umweltforschung" des BMVIT
- Projekt „Mikroverkapselte Phasenwechselmaterialien in Wandverbundsystemen“; Fraunhofer – Institut für solare Energiesysteme ISE
- Zimmermann, M. (2003). Handbuch der passiven Kühlung: Rationelle Energienutzung in Gebäuden. Stuttgart, Fraunhofer IRB
- Passive Kühlkonzepte für Büro- und Verwaltungsgebäude mittels Luft- bzw. Wasserdurchströmten Erdreichwärmetauschern; Endbericht AEEINTEC 2002
- Projekt Transforming the market from "cooling" to "sustainable summer comfort (KeepCool II), Intelligent Energy Europe
- Forschungsprojekt TES EnergyFacade - prefabricated timber based building system for improving the energy efficiency of the building envelope
- IEA ECBCS Annex 50, Prefabricated Systems for Low Energy Renovation of Residential buildings,
- IEA SHC Task27, Performance of Solar Facade Components
- Adnot, J. et al. (1999). Energy Efficiency of Room Air-Conditioners (EERAC). Study for the Directorate-General for Energy (DGXVII) of the Commission of the European Communities. Final report.
- Adnot, J. et al. (2003). Energy Efficiency and Certification of Central Air Conditioners (EECCAC). Study for the D.G. Transportation-Energy (DGTREN) of the Commission of the E.U. Final report.
- ARGE Sonnenschutztechnik. (Hrsg., 2002). Handbuch für Sonnen- und Wetterschutzanlagen
- BauNetz Media GmbH. (Stand Dezember 2010) www.baunetzwissen.de. Berlin
- Gerstmann, J. (2009). Produktbeschreibungen für nachhaltigen Sommerkomfort: Sonnenschutz. Bericht für IEE Intelligent Energy Europe im Rahmen des Projektes Keep
- Cool II. Meise (Belgien): ES-SO European Solar Shading Organization.
- Hausladen, G, de Saldanha, M. Liedl, P. & Sager, C. (Hrsg., 2005). KlimaDesign: Lösungen für Gebäude, die mit weniger Technik auskommen können. München, Callwey.
- Hausladen G., de Saldanha, M., & Liedl, P. (Hrsg., 2006). KlimaSkin. Konzepte für Gebäudehüllen, die mit weniger Energie mehr leisten. München: Callwey.

- Varga, M., Gerstmann, J., Kuh, Ch., Hofer, G., (Hrsg., 2010) Technologieleitfaden Sonnenschutzsysteme. Wien: MA27 EU Strategie und Wirtschaftsentwicklung

Auf Basis der Recherchen wurde die konkrete Machbarkeit innovativer Technologien bei den Modernisierungsvorhaben der BIG analysiert (Schwerpunkt Büro- und Unterrichtsbauten) und in Form einer Entscheidungsmatrix und Arbeitsbehelfen für Standardprozesse der BIG für Projektverantwortliche aufbereitet. Diese Matrix (interaktives MS Power-Point Modul) soll als Standard-Entscheidungsinstrument bei allen künftigen Modernisierungsvorhaben dienen.

Weiters wurden spezielle Fragestellungen konkret für die Demonstrationsvorhaben betrachtet wie z.B. Kühlung mit Flusswasser/Grundwasser und Betrachtung verschiedener Fassadensysteme beim Sanierungsprojekt Amtshaus Bruck a.d. Mur (SP2).

Die wesentlichen Fragestellungen bei Recherche und Analyse waren hierbei:

- **Bedingungen für die technische Machbarkeit und den bestmöglichen Einsatz der jeweiligen Technologien** (Untersuchungen erfolgten für alle vier identifizierten Technologiebereiche, die Wechselwirkungen z.B. bei Verschattung, Kühlung und Beleuchtung wurden dabei speziell berücksichtigt)
- **Kritische (technische) Faktoren**
- **Wartungs- und Instandsetzungserfordernisse, Betriebsführungserfordernisse**
- **Bedingungen für die Wirtschaftlichkeit und Kostentreiber im Gesamtsystem**
- **Zielkriterien für die Planung**

3 Ergebnisse des Projektes

Für die Modernisierung der Büro- und Unterrichtsgebäude der 50er bis 80er Jahre wurden dabei folgende (technische) Themenfelder von zentraler Bedeutung für die Erreichung nachhaltiger Standards identifiziert:

1. **Nachrüstung von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung in Büro- und Unterrichtsgebäuden:** Ohne Reduzierung von Lüftungswärmeverlusten ist schnell eine Grenze bei der Energieeinsparung erreicht – die Chance auf höherwertige Sanierungen wäre somit für lange Zeit vertan. Weiters ist das Thema Innenluftqualität insbesondere für Unterrichtsgebäude von höchster Bedeutung. Es existieren bisher wenige Erfahrungen bei der Nachrüstung in Nicht-Wohngebäuden, speziell im Bereich Verwaltungsgebäude.
2. **Verschattungssysteme, Tageslichtnutzung und energiesparende Beleuchtung:** Das Tageslicht optimal zu nutzen ist vor allem bei Bestandsbauten eine Herausforderung – ein optimales Zusammenspiel zwischen außenliegender Verschattung und Beleuchtung samt Steuerung ist daher von zentraler Bedeutung für eine ergonomische Arbeitsplatzgestaltung und geringen Energieeinsatz für Beleuchtung.
3. **Sommerlicher Komfort und nachhaltige Kühlung:** Sommerlicher Überwärmungsschutz spielt vor allem im Bereich Büro- und Verwaltungsbauten eine immer höhere Rolle. Bisher wurden bei Problemen mit sommerlicher Überhitzung wenig effiziente Splitklimaanlagen nachgerüstet – es sollen künftig bei nachhaltigen Modernisierungen sowohl die Möglichkeiten der passiven Verbesserung des Raumklimas ausgeschöpft werden als auch die Möglichkeiten nachhaltiger Kühlsysteme genutzt werden.
4. **Innovative Fassadensysteme bei der Sanierung:** Die Mehrzahl der Gebäude wird während der vollen Nutzung modernisiert – ohne vorgefertigte Fassadenelemente würde eine umfassende energetische Sanierung auf hohem Niveau zu sehr hohen Belastungen der Nutzer während des Baubetriebes führen (sehr lange Bauzeiten, Maueröffnungen, Staub, Lärm z.B. beim Bohren von Dämmstoffdübeln etc.).

In vier Arbeitspaketen wurden entsprechend den oben genannten Themenbereichen Analysen und Recherchen durchgeführt und in einer Entscheidungsmatrix zusammengeführt. Die Entscheidungsmatrix ist daher das zentrale Ergebnis des Projektes, welches alle erarbeiteten Informationen und Arbeitsbehelfe enthält. Im Anhang befinden sich Screenshots der Entscheidungsmatrix und die dazugehörigen Technologie-Gesamtberichte mit sämtlichen Informationen und Arbeitsbehelfen.

3.1 Beschreibung der Entscheidungsmatrix

In diesem Projekt wurde ein interaktives Power-Point Dokument erstellt („Entscheidungsmatrix“), welches detaillierte Hilfen für Entscheidungen, technische Hintergründe und Planungsanforderungen enthält – die entscheidenden Kriterien werden dabei mit (PDF-)Dokumenten und Erklärungen hinterlegt, als Hilfe für die Entscheidung welche Maßnahmen und welchen Umständen für die Nachhaltigkeit und Effizienz sinnvoll sind. Aus den für das Bauvorhaben relevanten Dokumenten können die Planungsvorgaben einfach für die betreffende Sanierung herausgelesen werden.

3.1.1 Zielsetzung des Werkzeuges „Entscheidungsmatrix“

Der Einsatz innovativer Technologien (auch wenn bereits im Neubau erprobt) bedeutet im Umfeld von Sanierungen einen erheblichen zusätzlichen Planungs- und Koordinierungsaufwand, der in konventionellen Planungsprozessen schwer unterzubringen ist. Technologiesprünge bedeuten für den Bauherren auch Risiken wie Kostenüberschreitung in der Errichtung, geringerer Einspareffekt als erwartet, Probleme in der Funktionalität. Diese gilt es zu minimieren, wenn Innovationen zu Standards werden sollen.

Um diese Barriere der Risiken für den Einsatz innovativer Technologien für die Planungsprozesse zu überwinden, zielt das gegenständliche Werkzeug „Entscheidungsmatrix“ darauf ab, die Projektleiter gerade in der entscheidenden Entwurfsplanung und Detailplanung mittels Arbeitsbehelfen, Informationen und Entscheidungsgrundlagen zu unterstützen um die Fachplaner in Richtung energieeffiziente und integrale Planung lenken zu können. **Ziel** ist die **Verankerung** der innovativen, den Nachhaltigkeits- und Energieeffizienzkriterien entsprechenden Technologien **in den Planungs- und Ausführungsprozessen** für sämtliche zukünftigen Modernisierungsvorhaben sowie die Minimierung der Risiken bei der Anwendung dieser Technologien durch die Bereitstellung von Informationen.

3.1.2 Handhabung des Werkzeuges

Das vorliegende Informationstool ist in die vier oben genannten Themenbereiche getrennt, welche über die Startseite erreichbar sind. Der Benutzer wird in Form von Entscheidungsbäumen über „Hyperlinks“ zu tiefergehenden Informationen in Form von PDF-Dokumenten geführt. Die Themenbereiche werden auch jeweils zu einem Gesamtbericht zusammengefasst – die einzelnen PDF-Dokumente sind Auszüge daraus.

Fragestellungen bei den einzelnen Themenbereichen sind jeweils:

- In welchen **Anwendungsfällen bei Sanierungen** ist die Ausführung welcher Systeme technisch und wirtschaftlich machbar und optimal eingesetzt – wo liegen **technische Risiken** und wie kann man sie umgehen, **Schlüsselfaktoren**
- **Nachhaltige Alternativen** - Risiken, Lösungsmöglichkeiten
- **Systemlösungen und Erfahrungswerte**
- **Planungsanforderungen** in Richtung effizienter und nachhaltiger Lösungen
- **Kosteninformationen**

Überall dort, wo sich dreidimensional hervorgehobene Flächen mit unterstrichener Beschriftung sind, befindet sich ein Schaltfläche zum Anklicken, welche auf weitere Informationen führt (im Bild unten z.B. rot gekennzeichnet) – ein Mausklick auf die unterstrichenen Texte genügt.



Abbildung 5: Startseite der „Entscheidungsmatrix“; Quelle Grazer Energieagentur

Der Benutzer kann so spielerisch per Mausklick zu den gerade benötigten Informationen gelangen.

Im **Anhang A** sind alle Bildschirme des Tools abgebildet (Hyperlinks ohne Funktion), das Tool selbst ist getrennt in elektronischer Form erhältlich.

3.2 Ergebnisberichte der Technologiefelder

3.2.1 Themenbereich Nachrüstung von Lüftungsanlagen

Ohne Reduzierung von Lüftungswärmeverlusten ist schnell eine Grenze bei der Energieeinsparung erreicht (meist nur Energieklasse B gem. Energieausweis) – die Chance auf höherwertige Sanierungen wäre ohne Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung somit für lange Zeit vertan. Weiters ist das Thema Innenluftqualität insbesondere für Unterrichtsgebäude von höchster Bedeutung (Konzentrationsfähigkeit, Lernerfolg etc.). Es existieren bisher wenige Erfahrungen bei der Nachrüstung in Nicht-Wohngebäuden, speziell im Bereich Verwaltungs- und Unterrichtsgebäude.

Ziel dieses Leitfadens zum Thema Nachrüstung von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung ist es daher, für den Bauherren BIG Erfahrungsberichte, Kostendaten und Anwendungshinweise zu sammeln, um die Nachrüstung von Lüftungsanlagen mit Wärmerückge-

winnung in ihren Bestandsgebäuden möglichst ohne Risiken und Unsicherheiten zu ermöglichen und bereits frühzeitig im Planungsprozess zu integrieren.

Folgende Fragestellungen wurden daher bei diesem Themenbereich behandelt:

- Funktionsunterschiede der untersuchten Lüftungsanlagen (Zentral – Semizentral – Dezentral)
- Arten der Frischluftverteilung
- Wesentliche Anforderungen an Lüftungsanlagen in Unterrichts- und Bürogebäuden
- Auswahlkriterien zur Gebäudezonierung, dem Gebäudestandort, der Fassadengestaltung, der Zu- und Abluftöffnungen, Lüftungsverteilsystem inkl. Hinweise und Empfehlungen
- Platzbedarf für Lüftungszentralen
- Planungsanforderungen und Effizienzkriterien
 - Energieverbrauch für den Lufttransport
 - Anforderungen an die Luftqualität im Aufenthaltsbereich
 - Luftvolumenstrom – Regelungsmöglichkeiten
 - Akustische Anforderungen an eine Lüftungsanlage
- Errichtungskosten
- Betriebs- und Instandhaltungskosten
- Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Die einzelnen Themen werden theoretisch behandelt inkl. Hinweise auf geltende Normen und durch Ausführungsbeispiele ergänzt – im Bild unten ein Beispiel aus dem Bericht für eine dezentrale Klassenraumlüftungsanlage:



Abbildung 6: Dezentrales Lüftungsgerät unter der Decke montiert und verkleidet

Es werden zusätzlich jeweils die Vor- und Nachteile der Anlagen- und Lüftungsarten dargestellt.

Hauptaugenmerk lag auf die Integration in das Informationstool Entscheidungsmatrix, daher erfolgt hier in diesem Bericht nur eine Übersichtsdarstellung der Inhalte. Im **Anhang B1** dieses Berichts ist der **gesamte Leitfaden** zu finden – die **Entscheidungsmatrix** ist ebenfalls in elektronischer Form mit allen Inhalten erhältlich.

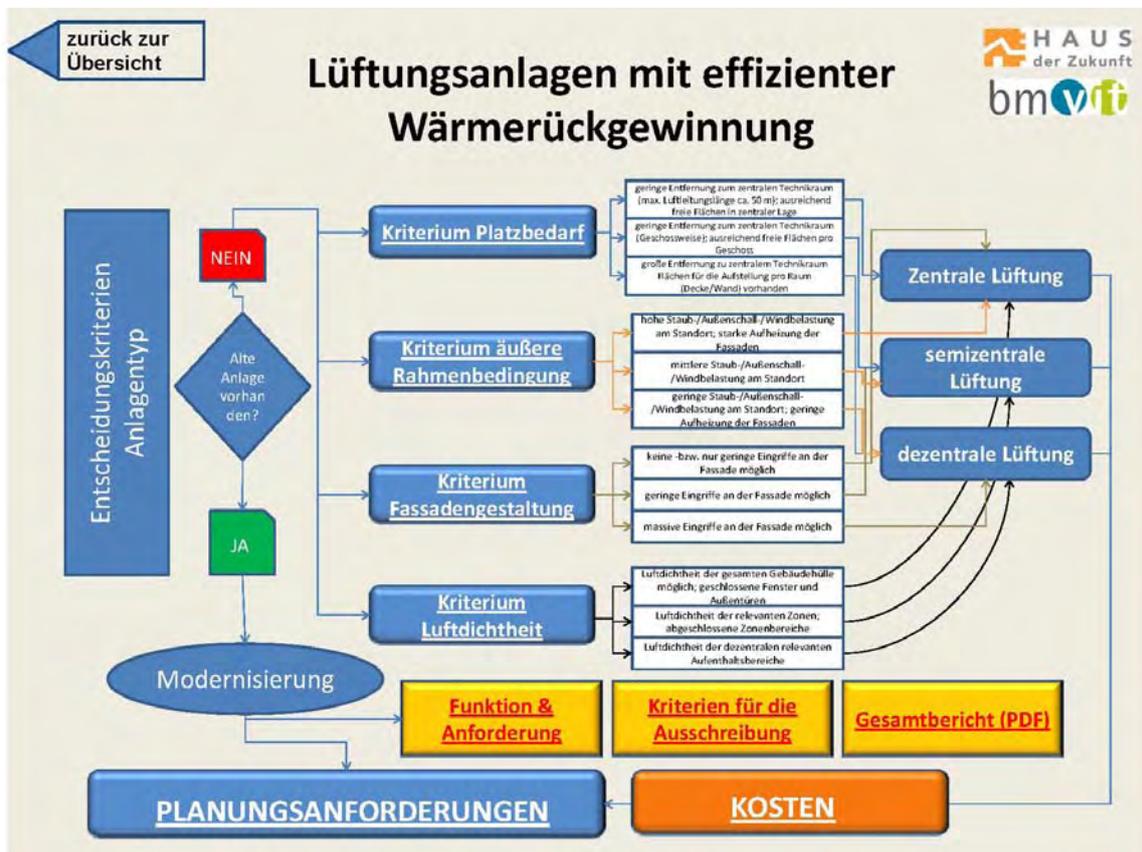


Abbildung 7: Bildschirmausdruck der Entscheidungsmatrix zum Thema Lüftungsanlagen mit effizienter Wärmerückgewinnung

3.2.2 Themenbereich Fassadensysteme

Nachhaltige Gebäudestandards bedeuten in der Regel längere Bauzeiten und technische Risiken bei Verwendung neuer Technologien. Ziel ist es für den Bauherren BIG den Einsatz von vorgefertigten Fassadenelementen in Passivhausqualität (äquivalenter U-Wert der Fassadenelemente inkl. Solargewinne unter 0,15 W/m²K) zu fördern:

Folgende Fragestellungen in diesem Kapitel behandelt wurden:

- In welchen Anwendungsfällen bei Sanierungen ist die Ausführung welcher Systeme technisch und wirtschaftlich machbar und optimal eingesetzt – wo liegen technische Risiken und wie kann man sie umgehen, Schlüsselfaktoren für vorgefertigte Fassadenelemente (Kostentreiber, Statik inkl. Befestigungen, Elementgrößen etc.)

- Nachhaltige Alternativen bei denkmalgeschützten Gebäuden (z.B. Innendämmsysteme mit Cellulose) - Risiken, Lösungsmöglichkeiten
- Systemlösungen zur Wärmebrückenvermeidung bei hohen Dämmstärken
- Planungsanforderungen (z.B. hinsichtlich Wärmebrückenvermeidung, Wärme- und Schallschutz, Luftdichtheit und Abdichtung gegen Schlagregen etc.)

Im Zuge dieser Studie werden in diesem Kapitel ausschließlich innovative Fassadensysteme mit Schwerpunkt auf vorgefertigte Fassadenelemente behandelt. Konventionelle Wärmedämmverbundsysteme mit hohen Dämmstärken werden nicht näher betrachtet, da sie Stand der Technik und Anwendung sind (und sowohl vom Preis, als auch der Optik und Anforderungen nicht mit vorgefertigten Fassadenelementen vergleichbar sind).

Vorgefertigte Fassadenelemente mit hohen Dämmstärken haben dort Zukunft, wo sie mit einem hohen Vorfertigungsgrad und geringer Variabilität (gleichmäßiges Fassadenerscheinungsbild) zum Einsatz kommen können. Hauptvorteil ist die **Verkürzung der Bauzeit** und die Möglichkeit eine **gravierende Verbesserung der thermischen Qualität bei Vollbetrieb des Gebäudes** zu ermöglichen (z.B. können die alten Fenster erst nach Aufbringung der neuen Fassadenelemente entfernt werden, es ist somit immer eine dichte Außenhülle vorhanden).

Die Inhalte dieser Technologiestudie im Detail:

- Grundlagen zu Fassadensystemen in der Sanierung
- Innovative Fassadensysteme
 - Holz-Fassadenelemente in Passivhausqualität
 - Passive Solarfassaden
 - Multifunktionale Energiefassaden
 - Fassaden mit innovativen Dämmsystemen
- Planungsanforderungen
 - Fassadengliederung und Vorfertigungsgrade, Toleranzen
 - 3D-Vermessung
 - Statik
 - Bauphysik
- Kostenfaktoren
- Vermeidung von Wärmebrücken
 - Strategien zur Vermeidung von Wärmebrücken - Checkliste
- Qualitätssicherung
 - Kontrolle mittels Bauthermografie

- Kontrolle der Luftdichtheit
- Alternativen bei denkmalgeschützten Gebäuden
 - Innendämmung
 - Systeme mit innenliegender Dampfbremse
 - Systeme ohne Dampfbremse
 - Kastenfenster mit Low-e Verglasung

Der Schwerpunkt Untersuchung lag bei praxisrelevanten Informationen, welche direkt bei den Planungen Anwendung finden können. So wurde z.B. der Solarertrag einer Fertigteilfassade mit passivem Solarabsorber untersucht und in einer Tabelle übersichtlich dargestellt:

GAP-Solarmodul (helle Farbe) Erträge - Südostfassade

	U-Wert [W/m ² K]	g-Wert ^{*)} [-]	Solarertrag Okt.-April [kWh/m ²]	Solarertrag Sommer [kWh/m ²]	Wärmever- lust Winter [kWh/m ²]	Bilanz [kWh/m ²]	äqui. U-Wert [W/m ² K]
Gesamtaufbau inkl. Fassadenpaneel	0,35	0,054	16,8	17,8	-31,7	-15,0	0,16
	0,30	0,046	14,4	15,3	-27,2	-12,8	0,14
	0,25	0,039	12,0	12,7	-22,7	-10,7	0,12
	0,20	0,031	9,6	10,2	-18,1	-8,5	0,09
	0,15	0,023	7,2	7,6	-13,6	-6,4	0,07
	0,10	0,015	4,8	5,1	-9,1	-4,3	0,05

^{*)} Berechnung des g-Wertes entsprechend Vorgaben GAP-Solution GmbH bzw. Berechnungen des Fraunhofer-Institutes für Solare Energiesysteme Solarstrahlung für den Standort Bruck a.d. Mur auf Basis ÖNORM B 8110-5

Tabelle 1 – Solarerträge und äquivalenter U-Wert einer solaraktiven Fassade in Abhängigkeit des Dämmstandards – Beispiel aus dem Leitfaden; Quelle: Grazer Energieagentur

Im **Anhang B2** dieses Berichts ist das **gesamte Handbuch** „Innovative Fassadensysteme“ zu finden.

In der Entscheidungsmatrix sind die Informationen auf zwei Bildschirmansichten aufgeteilt. In der ersten Ansicht gibt es Informationen zu verschiedenen Fassadensystemen inkl. Planungsanforderungen und Kosten sowie Informationen zu nachhaltigen Alternativen bei Denkmalgeschützten Gebäuden. Auf der zweiten Bildschirmseite findet man hilfreiche Informationen zum Thema Wärmebrücken, Gebäudeintegrierte Photovoltaik, Qualitätssicherung sowie einen Verweis auf den Gesamtleitfaden.

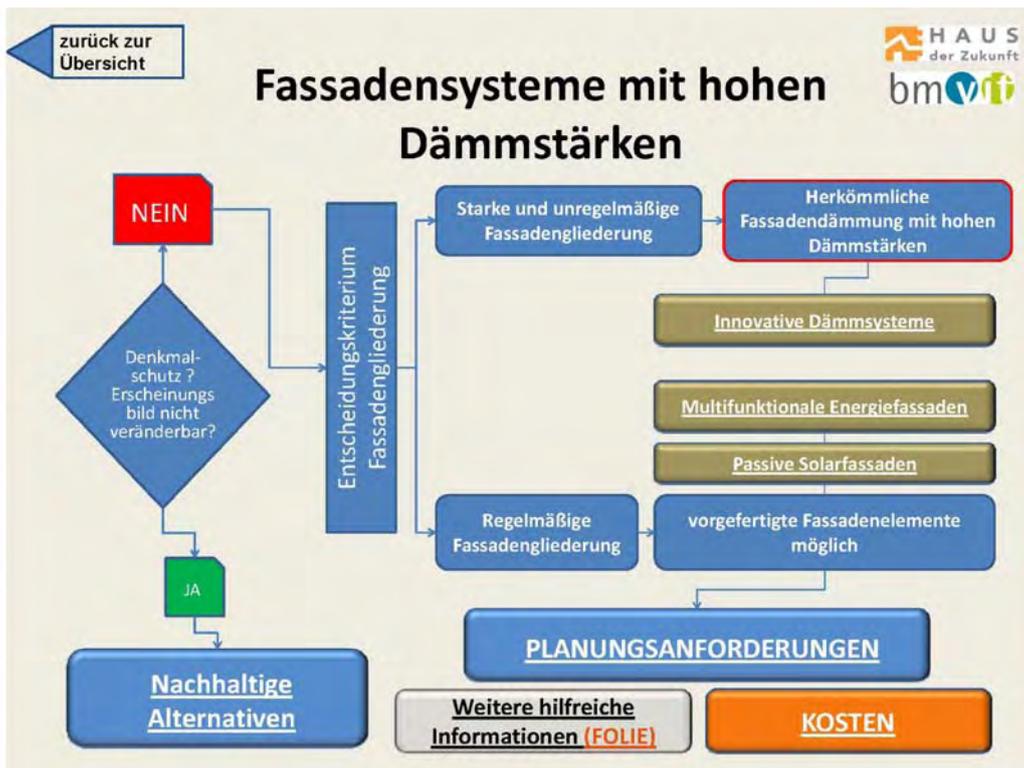


Abbildung 8: Startbildschirm „Innovative Fassadensysteme“; Quelle: Grazer Energieagentur

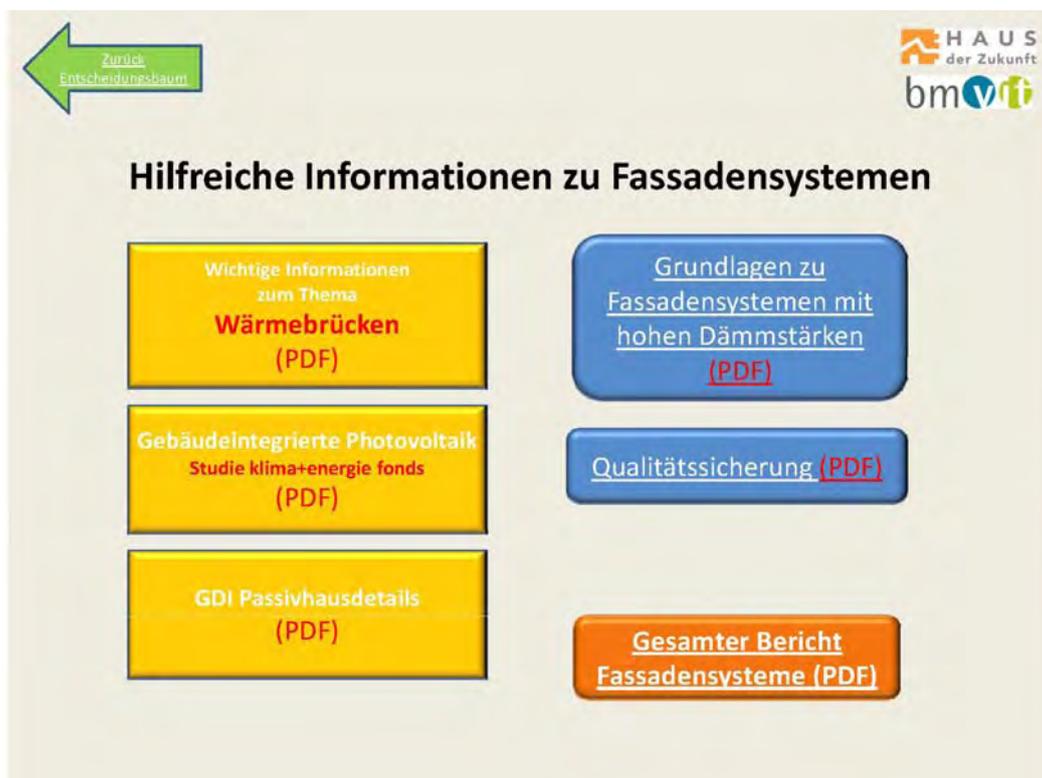


Abbildung 9: Bildschirminhalt „weitere hilfreiche Informationen“ zum Thema Fassaden und Qualitätssicherung; Quelle: Grazer Energieagentur

3.2.3 Themenbereich Passive Kühlung

Das Thema sommerlicher Komfort spielt vor allem im Bereich Büro- und Verwaltungsbauten eine immer höhere Rolle. Bisher wurden bei Problemen mit sommerlicher Überhitzung wenig effiziente Splitklimaanlagen nachgerüstet – es sollen künftig bei nachhaltigen Modernisierungen sowohl die Möglichkeiten der passiven Verbesserung des Raumklimas ausgeschöpft werden als auch die Möglichkeiten nachhaltiger Kühlsysteme genutzt werden.

Ziel dieses Leitfadens ist es daher, für den Bauherren BIG Möglichkeiten der passiven Verbesserung des Raumklimas aufzuzeigen und zu nutzen, um den sommerlichen Komfort in den sanierten Gebäuden zu erhöhen. Zusätzlich werden die Möglichkeiten nachhaltiger aktiver Kühlung dargestellt (z.B. solare Kühlung).

Fragestellungen des Leitfadens sind u.a.:

- Möglichkeiten der passiven Kühlung und Verbesserung raumklimatischer Bedingungen (Speichermassen, Nachtlüftung etc.) – Entscheidungskriterien samt Umsetzungsvarianten, Schlüsselfaktoren bei der Anwendung, technische Risiken und Lösungsmöglichkeiten – technische und wirtschaftliche Machbarkeitsanalyse-
- Erfahrungsberichte zu solaren und anderen nachhaltigen Kühlsystemen (z.B. Kompressionskälteanlage mit Photovoltaik), Systemvoraussetzungen und sinnvolle Ausführungsvarianten, Kostenanalyse und Empfehlung
- Planungsanforderungen (z.B. Systemvorgaben, notwendige und sinnvolle Steuermöglichkeiten, Komfortkriterien, Technische Vorgaben, etc.)
- Effizienzkriterien für die Kühlsysteme; Wartungsintervalle und –kosten /Zeitaufwand/notwendiges technisches Wissen, Betriebskostenvergleiche

Die Inhalte dieses Themenbereiches im Detail:

- Grundlagen zur Kühllast von Büro- und Verwaltungsbauten
 - Behaglichkeitsempfinden
 - Kühllast eines Gebäudes
- Passive und aktive Kühlung – Definition und Übersicht
- Passive Kühlung
 - Gezielte natürliche Belüftung (z.B. Nacht-/Taglüftung,...)
 - Nachtlüftung über mechanische Lüftungssysteme
 - Speichermassen und Latentwärmespeicher
 - Passive Verdunstungskühlung durch Wasserflächen, Brunnen, Begrünung im Gebäudeumfeld oder im Innenraum
 - Hybride Verdunstungskühlung

- Luftdurchströmte Erdreichwärmetauscher
 - Wasserdurchströmte Erdreichwärmetauscher
 - Erdsonden und Energiepfähle zur Nutzung des Erdreiches als Wärmespeicher/Kältepuffer
 - Offene Systeme mit Grund- und Seewasser
 - Bauteilkühlung über Decken, Böden und Wände
- Nachhaltige aktive Kühlung
 - Thermisch angetriebene Kühlung (z.B. „solare“ Kühlung)
 - Kombination Photovoltaik mit Kompressionskältemaschine
- Qualitative Bewertung der Systeme und Wirtschaftlichkeitsvergleich

Es werden bei der Vorstellung der jeweiligen Systeme die Vor- und Nachteile dargestellt und wichtige Rahmenbedingungen bei der Anwendung hervorgehoben.

Ein Schwerpunkt ist dabei auch die Kostenbetrachtung der verschiedenen Systeme. Ein Beispiel aus dem Leitfaden zum Thema Analgenkosten von thermisch getriebenen Kühlsystemen:

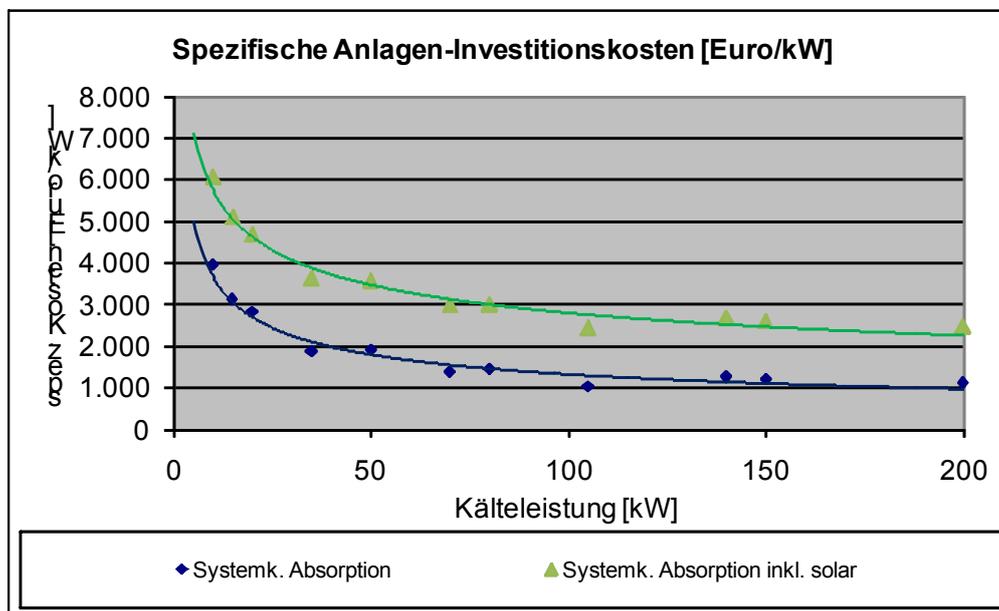


Abbildung 10: Spezifische Anlagen-Investitionskosten thermisch getriebener Kälteanlagen in Euro pro kW Kälteleistung; Quelle: Grazer Energieagentur GmbH

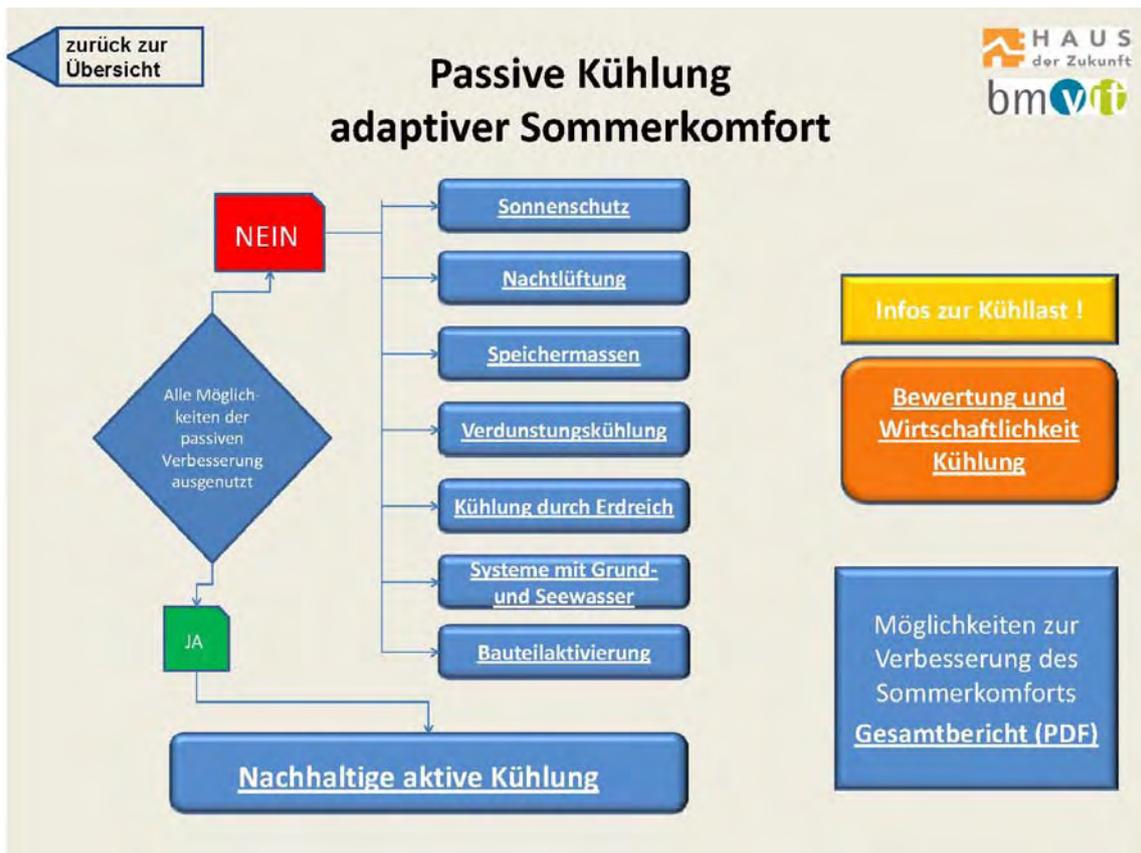


Abbildung 11: Bildschirmausdruck der Entscheidungsmatrix zum Thema Passive Kühlung und adaptiver Sommerkomfort

Im **Anhang B3** dieses Berichts ist das **gesamte Handbuch** „Passive Kühlung und adaptiver Sommerkomfort“ zu finden.

3.2.4 Themenbereich Tageslichtnutzung, Verschattung und Beleuchtung

In den letzten Jahren stieg der Energiebedarf für die Raumkühlung kontinuierlich an.

Gründe dafür gibt es mehrere:

- Klimawandel und damit steigende Temperaturen in der Übergangszeit und im Sommer
- steigende interne Lasten durch immer mehr wärmeabgebende Geräte in den Arbeitsräumen
- der architektonische Trend zu großen Glasflächen führt zu höheren Solaren Wärmelasten
- flexibler, leichter Innenausbau reduziert die puffernde Wirkung der Speichermasse

Achtet man im Zuge der Planung von Neubauten auf das Optimum zwischen Tageslichtversorgung und sommerlicher Überwärmung, so kann man alleine mit baulichen Maßnahmen (Ausrichtung, Fensterflächenanteil, Speichermasse, Verschattungssystem) den Kühlbedarf

soweit reduzieren, dass in vielen Fällen eine mechanische Kühlung gar nicht mehr notwendig ist.

Bei Bestandsgebäuden ist die Flexibilität diesbezüglich stark eingeschränkt. Bei umfassenden Sanierungen kann ggf. die speicherwirksame Masse eines Gebäudes wieder freigelegt werden. Eine hoch wirksame Maßnahme zur Reduktion der solaren Lasten und damit des sogenannten außeninduzierten Kühlbedarf ist das Anbringen eines Sonnenschutzes. Das Nachrüsten eines Sonnenschutzes ist in vielen Fällen noch möglich. Welches System machbar ist, hängt aber stark von der vorhandenen Fassade ab.

Der vorliegende Leitfaden soll den Bauherrn unterstützen das passende Verschattungssystem für sein Bestandsgebäude zu finden und dabei weitere Anforderungen an den Sonnenschutz nicht zu vernachlässigen.

Neben den gesetzlichen Rahmenbedingungen rund um das Thema Sonnenschutz und Tageslichtversorgung von Arbeitsplätzen werden im Leitfaden folgende Themen im Leitfaden behandelt:

- Voraussetzung für eine Nachrüstung eines Sonnenschutzes
 - Anhängigkeit vom Fassadentyp und Statik, solarer Einstrahlung und Windlasten
- Übersicht über die verschiedenen Sonnenschutzsysteme und Sanierungsvarianten
- Thema Tageslichtversorgung
 - Berechnung des Tageslichtfaktors
 - Tageslicht versus sommerliche Überhitzung
- Steuerung von Sonnenschutz- und Beleuchtungssystemen
- Effiziente Beleuchtungstechnologien
- Wirtschaftlichkeitsbetrachtung (qualitativ)

Ziel war für den Bauherren BIG einfache Arbeitsbehelfe zu erstellen, um ein Optimum zwischen Verschattung/Tageslichtnutzung und effizienter Beleuchtung bei den Sanierungen der Bestandsgebäude zu ermöglichen.

Einen hohen Stellenwert nehmen dabei die Entscheidungskriterien für die verschiedenen Verschattungssysteme samt Umsetzungsvarianten, und die Schlüsselfaktoren bei der Anwendung ein.

Ein Beispiel aus dem Leitfaden für die übersichtliche Darstellung bei den Arbeitsbehelfen:

	Techn. Machbarkeit ohne Komplettanierung	Technische Machbarkeit mit Komplettanierung	Kosten	Ökologische Sinnhaftigkeit	Komfortverbesserung (Raumtemperatur)
innenliegender Sonnenschutz					
Sonnenschutzfolien					
Sonnenschutzglas					
Standard-Außenjalousie Raffstore					
Außenjalousie/Raffstore m. Tageslichtl. u. Perforierung für Sicht nach außen					
Verbundfenster mit Standardjalousien im Scheibenzwischenraum					
Verbundfenster m. Tageslichtl. u. Perforierung für Sicht nach außen					

Abbildung 12: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung und Bewertung von Sonnenschutzsystemen – Auszug aus dem Leitfaden; Quelle: e7 Energie Markt Analyse GmbH

In der Entscheidungsmatrix sind die Informationen auf drei Bildschirmansichten aufgeteilt:

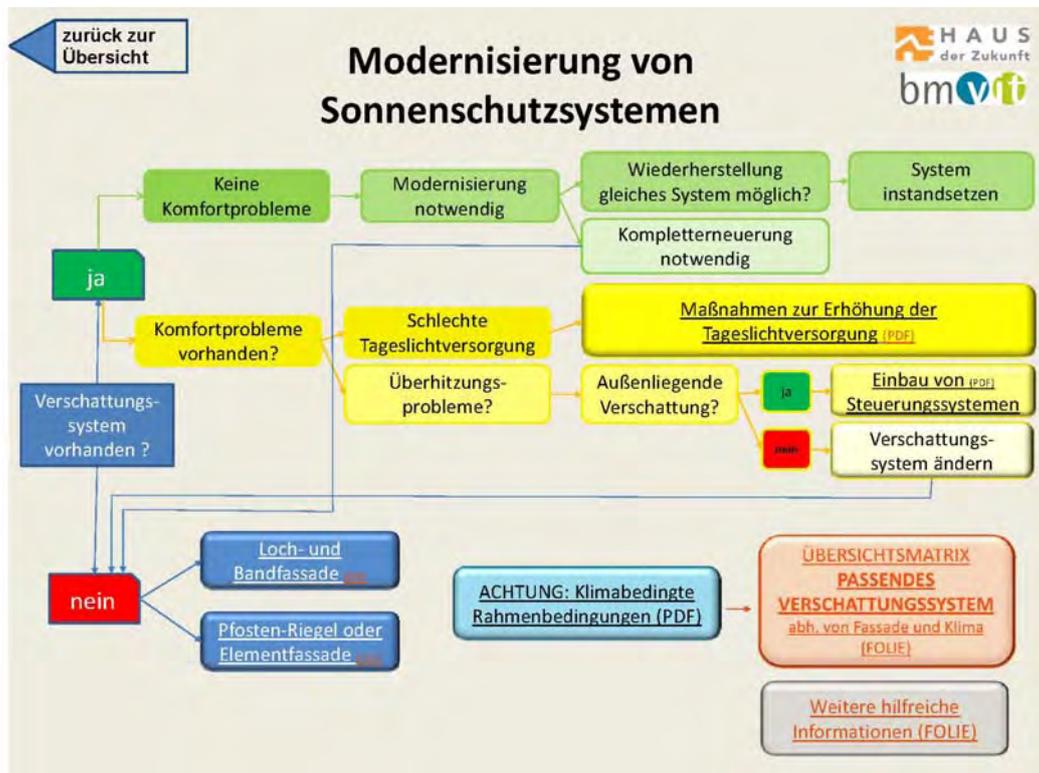


Abbildung 13: Startbildschirm „Modernisierung von Sonnenschutzsystemen“; Quelle: e7 Energie Markt Analyse und Grazer Energieagentur GmbH

4 Detailangaben in Bezug auf die Ziele des Programms

4.1 Einpassung in das Programm

Das Leitprojekt BIGMODERN folgt den Vorgaben der „Haus der Zukunft plus“ Ausschreibung von 2008 und wurde bei der Aktionslinie „Leitprojekte“ eingereicht. Bei der Konzeption von BIGMODERN wurde besonders auf die Zielsetzung für Leitprojekte eines „integrativen Gesamtmanagements“ Rücksicht genommen. Es wurde ein „zusammenhängendes Bündel“ an Aktivitäten geschnürt, das als Ziel eine Änderung der Planungsprozesse innerhalb der BIG hatte, um künftig einen nachhaltigen Sanierungsstandard umsetzen zu können. Diese Änderung des Planungsprozesses ist die eigentliche Innovation des Leitprojektes, wenn auch die Demonstrationsvorhaben ebenso ambitionierten Qualitätsanforderungen im Bereich der Nachhaltigkeit zu entsprechen haben. Die Qualitätsanforderungen lagen dabei primär bei der wesentlichen Reduktion des Energiebedarfs, einer signifikanten Erhöhung des Nutzungskomforts und der Wirtschaftlichkeit der dazu notwendigen Maßnahmen um das immense Potenzial nachhaltiger Sanierungen bei der BIG künftig auszuschöpfen.

4.2 Beitrag zum Gesamtziel des Programms

Das übergeordnete Ziel des Programmes ist es die „Marktdurchdringung wirtschaftlich umsetzbarer, innovativer, technischer und organisatorischer Lösungen im Sinne eines CO₂-neutralen Gebäudesektors“ voranzutreiben. Die Demonstrationsgebäude von BIGMODERN sind gezielt auf die Replizierbarkeit der Projekte ausgelegt. Heutzutage können höchst innovative Sanierungen mit ausreichend Kosteneinsatz umgesetzt werden. Die Herausforderung besteht jedoch darin innovative Sanierungen mit beschränkten Mittel durchzuführen. Die BIG agiert im klassischen Investor-Nutzer-Dilemma. Für die Sanierungen sind immer nur sehr begrenzt Mittel vorhanden. Aus diesen Mittel müssen jedoch Sanierung inkl. Ausstattung getragen werden. Auch die Mieter der BIG – hauptsächlich Ministerien und Universitäten – müssen mit einem sehr engen Budget kalkulieren. Eine Umschichtung der Betriebsführungskosten in Investitionskosten ist aufgrund geteilter Budgettöpfe nicht oder nur sehr schwer möglich. BIGMODERN setzt genau an diesem Problem an. Innovative Sanierungen können bei der BIG nur dann Standard werden, wenn diese auch finanzierbar sind.

4.3 Einbeziehung der Zielgruppen (Gruppen, die für die Umsetzung der Ergebnisse relevant sind) und Berücksichtigung ihrer Bedürfnisse im Projekt

Die primäre Zielgruppe des Subprojektes 5 ist die BIG selbst. Bei der Erarbeitung des Informationstools (Entscheidungsmatrix) und der Sammlung an Informationen wurden ausgewählte Projektverantwortliche der BIG (im wesentlichen die Verantwortlichen für die De-

monstrationsprojekte) in Form von Besprechungen mit einbezogen – es wurden im Informationstool u.a. auch Fragen behandelt welche während der Planungsbesprechungen zu den Demonstrationsvorhaben entstanden sind. In weiterer Folge des Leitprojektes wird im Rahmen der Disseminationstätigkeit die Entscheidungsmatrix und die Arbeitsbehelfe allen Projektverantwortlichen vorgestellt.

Die Umsetzung innovativer Gebäudestandards bei Sanierungen scheiterte oft an mangelnder interdisziplinärer Betrachtungsweise der Fragestellungen und Planungsprozesse „as usual“ in Kombination mit mangelndem Detail-Know-How und Erfahrungen mit innovativen Technologien. Diesem Bedürfnis nach Information wird mit den erarbeiteten Unterlagen entsprochen.

Als weitere Zielgruppe werden weitere Institutionelle Bauherren, insbesondere unter dem Aspekt des Investor-Nutzer-Problems stehende Eigentümer, angesprochen. Die BIG ist einer der größten Bauherren Österreichs. Die Mieter der BIG Gebäude sind in den meisten Fällen Ministerien und Universitäten, die mit engen Budgetmitteln auskommen müssen. Innovative Sanierungen mit hohen Energieeinsparungen sind derzeit jedoch noch in vielen Fällen teurer als herkömmliche Sanierungen. In der Lebenszykluskostenanalyse konnte bereits festgestellt werden, dass höhere Wärmeschutzstandards über einen Betrachtungszeitraum von 30 Jahren wirtschaftlich sinnvoll sind. Künftig sollen die Wirtschaftlichkeitsberechnungen in die Mieterverhandlungen integriert werden, damit künftig das Investor-Nutzer-Dilemma entschärft wird. Integriert die BIG künftig anspruchsvolle Nachhaltigkeitsstandards in ihre Anforderungen für die Sanierungsvorhaben, so kann und soll dies eine große Vorbildwirkung für andere derartige Bauherren haben.

4.4 Beschreibung der Umsetzungs-Potenziale (Marktpotenzial, Verbreitungs- bzw. Realisierungspotenzial) für die Projektergebnisse

Per Mai 2011 betrug der mietenrelevante Gebäudeflächenbestand der BIG rd. 7 Mio. m². Die Liegenschaften sind überwiegend an die Republik Österreich, vertreten durch das jeweils haushaltsleitende Organ, und die Universitäten der Republik Österreich vermietet.

Die BIG umfasst ca. 2.800 Gebäude mit einer Gebäudefläche von ca. 7. Mio. m². Davon ca. 300 Schulstandorte [mit ca. 600 Gebäuden], 21 Universitäten [mit ca. 380 Gebäuden] und ca. 1.800 Amtsgebäude bzw. Büro und Spezialimmobilien.

Schon diese Zahlen zeigen, dass mit erheblichen ökonomischen Effekten gerechnet werden kann.

Im Rahmen des Konjunkturpaketes wurden per Ende 2010 - 558 rein thermische Maßnahmen mit rd. 130 Mio. € Bruttoerrichtungskosten umgesetzt. Es handelt sich dabei ausschließlich um Sanierungsmaßnahmen zur thermischen Verbesserung, wie beispielsweise Fassa-

dendämmung, Fenstertausch, Dämmung der obersten Geschossdecke, Erneuerung von Regelungsanlagen.

Der Fokus des Leitprojekts BIGMODERN, in dessen Rahmen das gegenständliche Subprojekt einzuordnen ist, liegt auf wirtschaftlich umsetzbaren und somit multiplizierbaren Maßnahmen. Sowohl die unternehmensinterne Anwendung als auch die erwartete breite Anwendung des zu entwickelnden Modernisierungsstandards bei anderen öffentlichen oder privaten Immobilienverwaltern und –entwicklern stellt einen wichtigen Impuls zur Stärkung des Know-hows der beteiligten Unternehmen dar (Immobilienunternehmen, Bauwirtschaft, Technologieanbieter etc.).

5 Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen

Die Bundesimmobiliengesellschaft übt standardisierte Prozesse bei ihren Bauvorhaben aus. So wird auch für die Sanierung ein standardisiertes Procedere durchgeführt, bei dem die verschiedenen Rollen als Eigentümer, Bauherr und Gebäudebetreuung berücksichtigt werden. Die BIG beabsichtigt bei künftigen Sanierungen einen standardisierten integralen Planungsprozess umzusetzen. Ziel des integralen Planungsprozesses ist die gemeinsame Erarbeitung der beteiligten Akteure am Bauvorhaben an einer optimalen Lösung mit niedrigem Energieverbrauch. Gewerke übergreifende und optimierte Lösungen sollen Einzellösungen vorgezogen werden.

Ziel für weitere Bauvorhaben mit thermisch-energetischen Anforderungen ist weiters, dass die Vorgaben und Ziele für das Gebäude bereits mit der Ausschreibung der Planungsaufgabe festgelegt sind. Die Untersuchung, welche Anforderungen für das Gebäude umgesetzt werden sollen, sollte bereits in der Phase der Studie von der BIG in Abstimmung mit dem Mieter untersucht werden. In dieser Phase sollen bereits anhand von Nachhaltigkeitskriterien die Anforderungen festgelegt und die Auswirkungen auf Errichtungs- und Betriebskosten ermittelt werden. Dazu ist Detail-Know-How der Projektverantwortlichen auf dem Gebiet der Nachhaltigkeit und innovativer und energieeffizienter Elemente notwendig. Bei den Demonstrationsvorhaben wurden die Nachhaltigkeits- und Effizienzthemen von den externen Beratern e7 und Grazer Energieagentur beigeleitet und bearbeitet.

Die Integration dieser Dienstleistung in den laufenden Planungsprozess war problematisch, weil somit ein zusätzlicher Akteur beteiligt war. Mit der Berücksichtigung der Interessen der verschiedenen Mieter und Nutzer sowie der Beteiligung verschiedener Fachplaner unter dem Schirm des Generalplaners sowie die verschiedenen Zuständigkeiten für das Projekt innerhalb der BIG sind ohnehin schon eine Vielzahl von Akteuren eingebunden. Ein zusätzlicher Akteur ist somit schwierig zu integrieren. In einem ersten Schritt kann diese fachliche Kompetenz mit den erarbeiteten Materialien innerhalb der BIG aufgebaut werden, sodass eine unternehmensinterne Bauherrenberatung vorliegt, zum anderen können auch die Projektleiter in diesem Bereich weitergebildet werden. Zusätzlich ist eine unternehmensexterne Lösung weiterhin möglich. In diesem Fall ist die möglichst frühzeitige Unterstützung des Eigentümers und des Bauherren für diese Funktion von oberster Bedeutung, sodass diese Rolle auch im Planungsprozess bestmöglich wahrgenommen werden kann. Für weitere Projekte mit Anforderungen an die Energieeffizienz und Nachhaltigkeit soll bereits vor Festlegung des Planungsteams bestimmt werden, in welcher Form die Prüfung der Einhaltung der Nachhaltigkeitskriterien sowie die Optimierung der Planung durchgeführt werden soll. Diese Information sollte vor Planungsbeginn dem Planungsteam bekannt gegeben werden.

Um Unternehmensinternes Know-How aufzubauen ist es notwendig die Erfahrungen aus den Demonstrationsprojekten zu evaluieren, ggf. Verbesserungsvorschläge auszuarbeiten und unter den Projektverantwortlichen zu verbreiten. Ergänzend dazu und über das Informationstool des gegenständlichen Subprojektes hinaus, sollten den Projektverantwortlichen

zusätzliche Weiterbildungsmöglichkeiten auf dem Gebiet der Energieoptimierung und Nachhaltigkeit geboten werden.

Das erarbeitete Informationstool ist ein erster Schritt in Richtung Wissens eigenständigkeit. Durch die sich rasch verändernde Thematik des energieeffizienten Bauens und der ständigen technologischen Weiterentwicklung, sollte das Tool regelmäßig weiterentwickelt und die Informationen auf aktuellem Stand gehalten werden. Nur so bleibt der Wert dieses Werkzeuges erhalten und auf Dauer informativ und interessant.

Das erarbeitete Informationstool „Entscheidungsmatrix“ ist auch für andere Bauherren interessant, insbesondere jene, die ähnlichen Rahmenbedingungen unterliegen. Das Informationstool wird nicht nur hausintern sondern in einem eigenen Subprojekt auch an anderen Bauherren verbreitet.

6 Ausblick und Empfehlungen

Die Bundesimmobiliengesellschaft steht vor der Herausforderung, künftig Sanierungen umzusetzen, die hohen Anforderungen an der energetischen Qualität entsprechen. Diese Anforderungen resultieren einerseits aus dem politischen Druck, dass öffentliche Gebäude eine Vorzeigewirkung beim energiesparenden Bauen einnehmen müssen, andererseits daraus, dass der Druck Energiekosten zu sparen künftig steigen wird.

Die BIG steht im klassischen Investor-Nutzer Dilemma. Es können nur energieeffiziente Gebäude errichtet oder dahingehend saniert werden, wenn beim Mieter die Bereitschaft vorhanden ist, für diese zusätzliche energetische Qualität Geldmittel in die Hand zu nehmen. Gleichzeitig werden dadurch ja ohnehin die Energiekosten im Gebäudebetrieb verringert, was den Nutzerministerien zu Gute kommt. Erst wenn die Mieter in die Pflicht genommen werden, für energiesparende Gebäude Sorge zu tragen, ist ein Multiplikatoreffekt für eine Vielzahl der Gebäude im Eigentum der BIG möglich. Wenn die Vorbildwirkung von öffentlichen Gebäuden ernst genommen wird, kann für die Bundesgebäude nicht die BIG alleine dafür gerade stehen, sondern müssen die Mieter der BIG Gebäude in die Verantwortung genommen werden. Dafür bedarf es einer Veränderung der Budgetierung der Sanierungskosten. Die Budgetmittel sollen nicht alleinig auf Basis der geplanten Veränderungen im zu sanierenden Gebäude entschieden werden, sondern auf Basis der Berücksichtigung von Energieeffizienzmaßnahmen. Eine Lebenszykluskostenanalyse zu Beginn eines Sanierungsprojekts kann verschiedene Standards im Wärmeschutz und für alternative Energiesysteme prüfen. Damit können bereits qualifizierte Aussagen über die zu erwartenden Errichtungs- und Betriebskosten getroffen werden. Darauf aufbauend müssen Entscheidungen über die energetische und nachhaltige Qualität des Gebäudes fallen.

Die BIG realisiert im Rahmen des Leitprojektes BIGMODERN zwei Demonstrationsgebäude. Diese Projekte werden nach den Grundsätzen geplant und umgesetzt, dass hohe Ansprüche an Energieeffizienz und Nachhaltigkeit eingehalten werden, gleichzeitig die geplanten Maßnahmen über den Sanierungszyklus auch wirtschaftlich vertretbar sind. Die BIG saniert mit Mieteinnahmen aus Ministerien, d.h. mit Steuergeldern. Aus diesem Grunde ist ein sorgsamer Umgang mit diesen Sanierungsbudgets von oberster Bedeutung.

Dieser Ansatz sollte auch in künftigen Projekten stärker berücksichtigt werden. Es gibt bereits eine Vielzahl von Projekten, die mit einem hohen Ausmaß an planerischen und technischen Mitteln energiesparende Gebäudelösungen umsetzen. Allerdings spielen in vielen Fällen die dafür erforderlichen Errichtungskosten sowie die resultierenden Betriebskosten nur eine untergeordnete Rolle. Da durch energiesparende Gebäudelösungen auch höhere Betriebskosten verursacht werden können, sind die Folgekosten in der Planung unbedingt zu berücksichtigen. Eine Lebenszykluskostenanalyse soll integrierter Bestandteil von Planungsentscheidungen sein. Darüber hinaus soll jedoch auch den Kosten auch der Nutzen durch diese Maßnahmen (Einsparungen in den Energiekosten, höhere Qualität in der Gebäudeökologie, Erhöhung des Nutzungskomforts) gegenübergestellt werden. Eine ganzheitliche Bewertung

von Planungsalternativen unter Berücksichtigung der ökologischen und ökonomischen Aspekte unter Einbeziehung der soziokulturellen Komponente ist entscheidend für ein Forschungsprojekt.

Die Ausschreibung „Haus der Zukunft plus“ zielt darauf ab, das künftig verstärkt Gebäude realisiert werden, die den Status eines Plusenergiehauses haben oder zumindest in die Nähe davon kommen. Das stellt hinsichtlich der Weiterentwicklung der Gebäudekonzepte und Energiestandards einen sehr hohen Wert im Bereich der Forschung und Entwicklung dar. Diese Projekte können aufgrund einer Vielzahl von neuen Gebäudekomponenten oft nicht wirtschaftlich über den Lebenszyklus sein. Dafür werden schließlich auch Fördermittel zur Verfügung gestellt. Trotzdem sollten weiterhin Projekte in Ausschreibungen für Forschungsprojekte berücksichtigt werden, die analysieren, wie man mit geringem planerischen und technischem Aufwand hocheffiziente Sanierungen realisieren kann, die auch unter Berücksichtigung der Lebenszykluskosten im Planungsprozess vertretbar sind. Genau diese Art von Sanierungen hat ein hohes Potential an standardisierter Umsetzung. Daraus lassen sich nicht alleine im Einzelfall, sondern in der Summe der umgesetzten Projekte sehr hohe Energieeinsparungen realisieren. So kann nicht nur ein hoher Beitrag im Bereich Forschung und Entwicklung, sondern auch ein nennenswerter Beitrag für den Klimaschutz geleistet werden.

Die Bundesimmobiliengesellschaft ist sich ihrer Vorzeigerolle in der energiesparenden und ökonomischen Bauweise bewusst. Durch das Leitprojekt BIGMODERN soll auch innerhalb der BIG die Veränderung im Planungsprozess und in den Gebäudelösungen eingeleitet werden. Auch künftig sollen Vorzeigeprojekte realisiert werden. Die BIG versteht sich als Dienstleister für die Mieter der Bundesgebäude. Gemeinsam mit den Bundesministerien muss ein gemeinsamer Pfad zur energiesparenden Bauweise gefunden werden. So können die energie- und klimapolitischen Herausforderungen in naher Zukunft wahrgenommen werden.

7 Literatur-/ Abbildungs- / Tabellenverzeichnis

Literaturverzeichnis

Siehe getrennte Verzeichnisse im Anhang bei den einzelnen Technologieleitfäden

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Gesamtnutzfläche der BIG nach Nutzungen (Quelle: BIG).....	12
Abbildung 2: Subprojekte des Leitprojektes BIGMODERN (Quelle: eigene Darstellung)	16
Abbildung 3: Standardprozess der BIG bei Generalsanierungen	18
Abbildung 4: Nutzung anderer Subprojekte im vorliegenden Subprojekt (Quelle: eigene Darstellung).....	21
Abbildung 5: Startseite der „Entscheidungsmatrix“; Quelle Grazer Energieagentur	27
Abbildung 6: Dezentrales Lüftungsgerät unter der Decke montiert und verkleidet	28
Abbildung 7: Bildschirmausdruck der Entscheidungsmatrix zum Thema Lüftungsanlagen mit effizienter Wärmerückgewinnung	29
Abbildung 8: Startbildschirm „Innovative Fassaensysteme“; Quelle: Grazer Energieagentur	32
Abbildung 9: Bildschirminhalt „weitere hilfreiche Informationen“ zum Thema Fassaden und Qualitätssicherung; Quelle: Grazer Energieagentur.....	32
Abbildung 10: Spezifische Anlagen-Investitionskosten thermisch getriebener Kälteanlagen in Euro pro kW Kälteleistung; Quelle: Grazer Energieagentur GmbH	34
Abbildung 11: Bildschirmausdruck der Entscheidungsmatrix zum Thema Passive Kühlung und adaptiver Sommerkomfort	35
Abbildung 12: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung und Bewertung von Sonnenschutzsystemen – Auszug aus dem Leitfaden; Quelle: e7 Energie Markt Analyse GmbH.....	37
Abbildung 13: Startbildschirm „Modernisierung von Sonnenschutzsystemen“; Quelle: e7 Energie Markt Analyse und Grazer Energieagentur GmbH	37
Abbildung 14: Übersichtsmatrix Sonnenschutzsysteme; Quelle: e7 Energie Markt Analyse ...	38
Abbildung 15: Bildschirmansicht „Hilfreiche Informationen zu Sonnenschutz und Tageslichtversorgung“; Quelle: e7 Energie Markt Analyse und Grazer Energieagentur GmbH	38

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 – Solarerträge und äquivalenter U-Wert einer solaraktiven Fassade in Abhängigkeit des Dämmstandards – Beispiel aus dem Leitfaden; Quelle: Grazer Energieagentur31

8 Anhang

ANHANG A: Entscheidungsmatrix - Bildschirmausdrucke

ANHANG B1: Lüftungsleitfaden BIGMODERN

ANHANG B2: Fassadenleitfaden BIGMODERN

ANHANG B3: Kühlungsleitfaden BIGMODERN

ANHANG B4: Sanierungsleitfaden Sonnenschutz BIGMODERN

Übersicht - Entscheidungsmatrix Modernisierung von Amts- und Schulgebäuden

unter den
Zielkriterien nachhaltigen Bauens
Sommerlicher Komfort - Winterlicher Komfort - Energieeffizienz

ENTSCHEIDUNGSHILFEN
Erklärung (PDF)

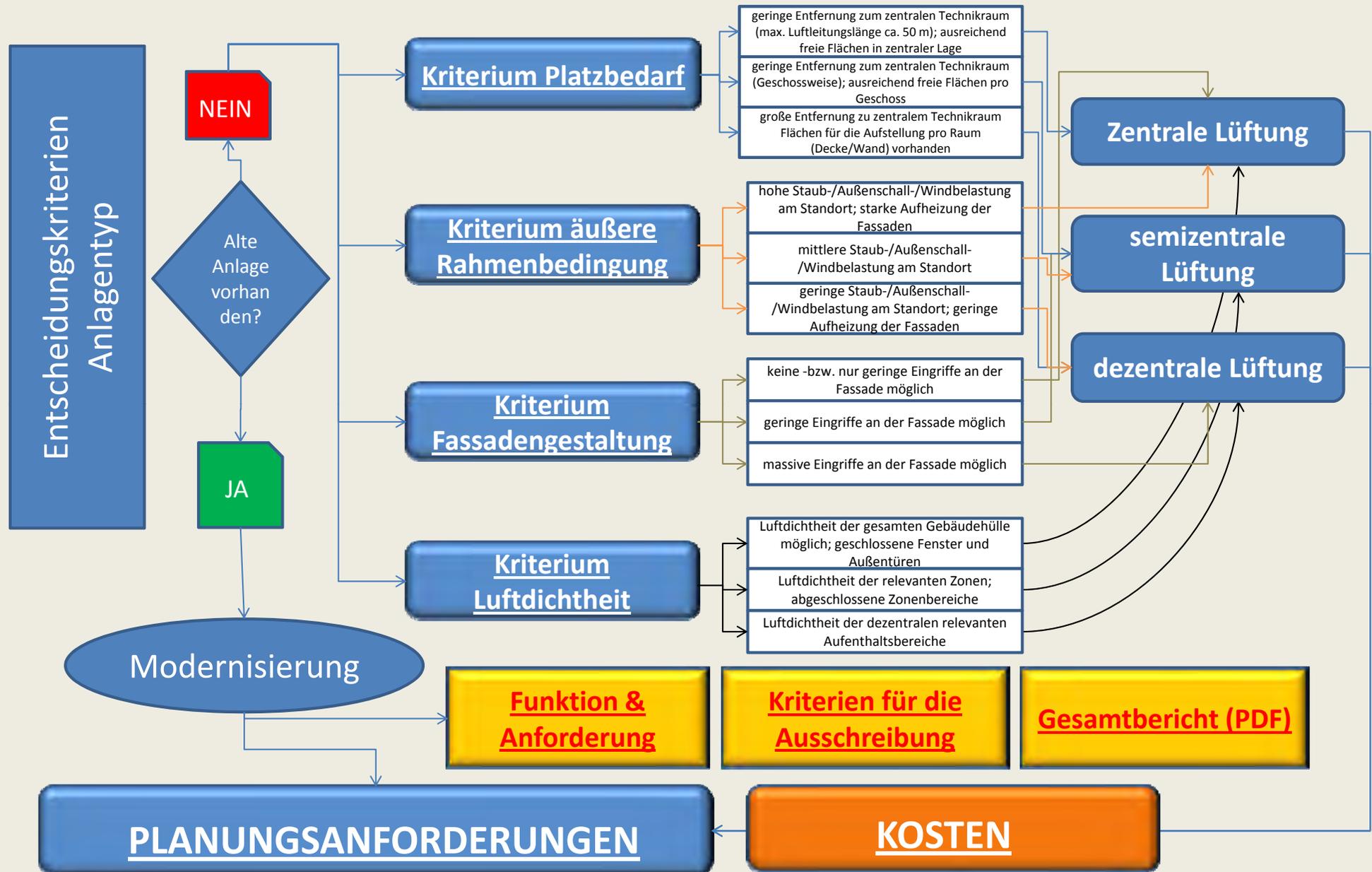
Lüftungsanlagen mit
effizienter
Wärmerückgewinnung

Fassadensysteme mit
hohen Dämmstärken

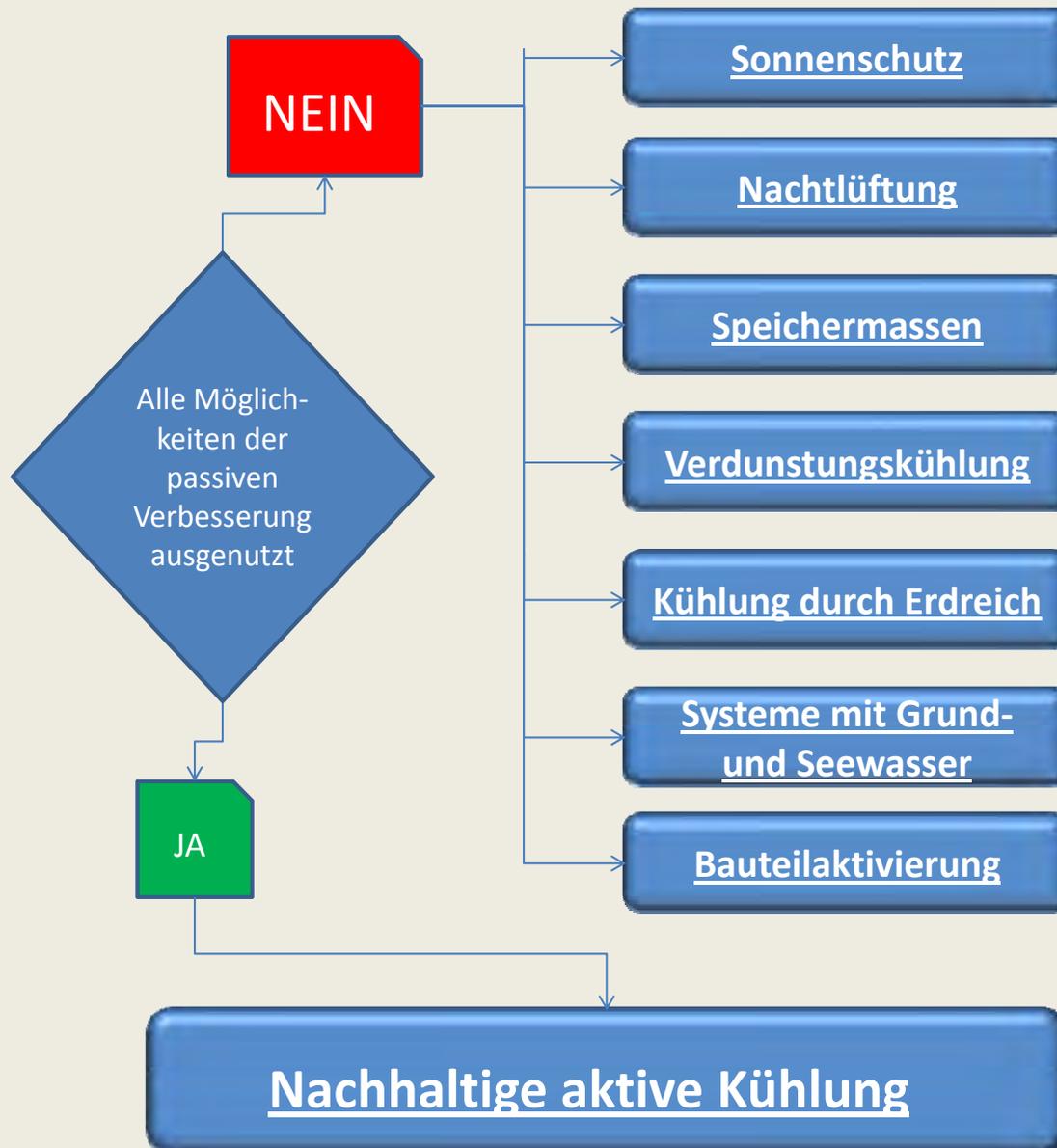
Passive Kühlung,
adaptiver
Sommerkomfort

Tageslichtnutzung,
Verschattung und
effiziente Beleuchtung

Lüftungsanlagen mit effizienter Wärmerückgewinnung



Passive Kühlung adaptiver Sommerkomfort

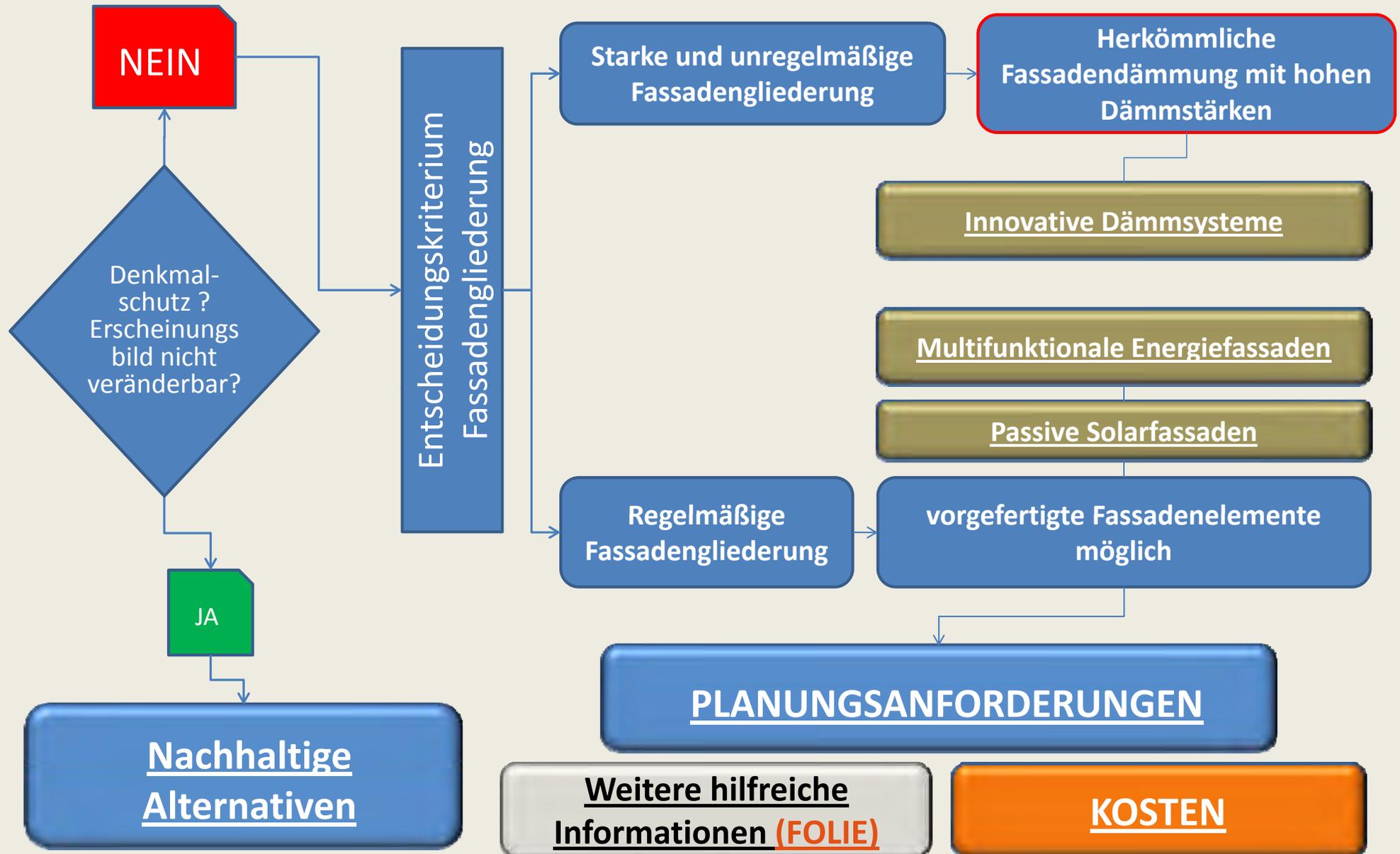


Infos zur Kühllast !

Bewertung und
Wirtschaftlichkeit
Kühlung

Möglichkeiten zur
Verbesserung des
Sommerkomforts
Gesamtbericht (PDF)

Fassadensysteme mit hohen Dämmstärken



Hilfreiche Informationen zu Fassadensystemen

Wichtige Informationen
zum Thema
Wärmebrücken
(PDF)

Grundlagen zu
Fassadensystemen mit
hohen Dämmstärken
(PDF)

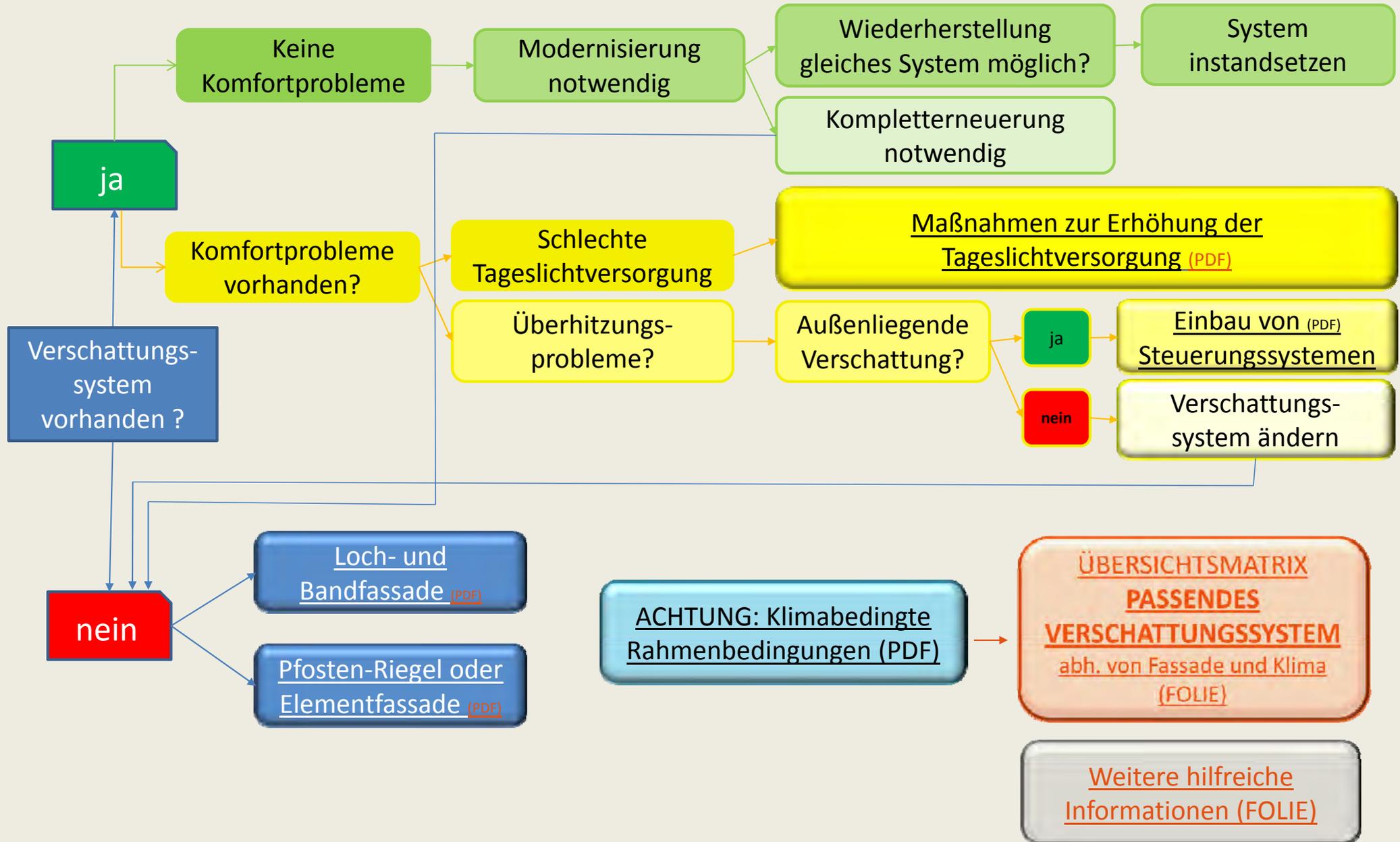
Gebäudeintegrierte Photovoltaik
Studie klima+energie fonds
(PDF)

Qualitätssicherung (PDF)

 Zurück
Entscheidungsbaum

Gesamter Bericht
Fassadensysteme (PDF)

Modernisierung von Sonnenschutzsystemen



Übersichtsmatrix

	Pfosten-Riegel- und Elementfassade		bestehende Loch und Band Fassade														
	Komplett- sanierung nicht geplant	Komplett- sanierung geplant	keine Änderung an der Fassade möglich		Fenstertausch und/oder kleine Änderungen möglich (optische Änderungen nur im geringen Ausmaß)						komplett neue Fassadengestaltung (optische Änderungen auch umfangreich möglich)						
			Direkte Bestrahlung	Diffuse Bestrahlung	Direkte Bestrahlung Ost/West		Direkte Bestrahlung Süd		Diffuse Bestrahlung bei großen transparenten Flächen (Verschattung andere Gebäude, Nordfassade)		Direkte Bestrahlung Ost/West		Direkte Bestrahlung Süd		Diffuse Bestrahlung bei großen transparenten Flächen (Verschattung andere Gebäude, Nordfassade)		
					hohe Wind- geschwindig- keiten	geringe Windbelastung	hohe Wind- geschwindig- keiten	geringe Windbelastung	hohe Wind- geschwindig- keiten	geringe Windbelastung	hohe Wind- geschwindig- keiten	geringe Windbelastung	hohe Wind- geschwindig- keiten	geringe Windbelastung	hohe Wind- geschwindig- keiten	geringe Windbelastung	
innenliegender Sonnenschutz	o	o	x		o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Sonnenschutzfolien	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Sonnenschutzglas	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Standard-Außenjalousie und Raffstore		x					x (Windstabilität > 20m/s)	x						x (Windstabilität > 20m/s)	x		
Außenjalousie und Raffstore mit Tageslichtlenkung und Perforierung für Sicht nach Außen		x			x (Windstabilität > 20m/s)	x	x (Windstabilität > 20m/s)	o			x (Windstabilität > 20m/s)	x	x (Windstabilität > 20m/s)	o			
Verbundfenster mit Standardjalousien im Scheibenzwischenraum		x	x (sofern bestehende Kastenfenster)				x	x					x	x			
Verbundfenster mit Tageslichtlenkung und Perforierung für Sicht nach außen		x	x (sofern bestehende Kastenfenster)		x	x	o	o			x	x	o	o			
Fassadenmarkise		x				x		x				x		x			
Freitragende Raffstoren	x	x				x		x				x		x			
Rollladen (nur für Räume zur Verdunkelung)		o			o	o	o	o			o	o	o	o			
Großlamellen horizontal		x											x	x			
Großlamellen vertikal		x									x	x					
Feststehende horizontale Elemente über dem Fenster		x											x	x			
Prallscheibe mit dahinter liegender Verschattung		x			x	o	x	o			x	o	x	o			
Doppelfassade mit zwischenliegender und hinterlüfteter Verschattung		x									x	o	x	o			

Optimale Lösung	x
Mögliche Lösung, jedoch besseres System vorhanden	o



Hilfreiche Informationen zu Sonnenschutz und Tageslichtversorgung

Gesetzliche
Rahmenbedingungen
[\(PDF\)](#)

Anforderungen an den
Sonnenschutz abhängig
der Raumtypologie [\(PDF\)](#)

Wirtschaftlichkeit [\(PDF\)](#)

Die unterschiedlichen
Verschattungssysteme
[\(PDF\)](#)

Informationen zur
Steuerung von
Verschattungssystemen
[\(PDF\)](#)

Informationen zur
Verbesserung der
Tageslichtversorgung
[\(PDF\)](#)

Best Practice
Beleuchtung
[\(PDF\)](#)

Muster Lichtsimulation
Klassenzimmer [\(PDF\)](#)

Gesamter Bericht Sonnenschutz
und Tageslicht [\(PDF\)](#)

Nachrüstung von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung in Büro – und Unterrichtsgebäuden

Sanierung nach BIGMODERN Standard

Stand: August 2010



Auftraggeber:



Bundesministerium
für Verkehr,
Innovation und Technologie

Impressum

Grazer Energieagentur GmbH
Gerhard Bucar, Rudolf Grossauer,
Thomas Mayrold-Neubauer, Ernst Meissner
Kaiserfeldgasse 13/I
8010 Graz
Österreich

Telefon +43-316-811848

Fax +43-316-811848-9

office@grazer-ea.at

<http://www.grazer-ea.at>

Inhaltsverzeichnis

1	Ausgangssituation und Zielsetzungen	5
2	Funktionsweise der untersuchten Lüftungsanlagen (Zentral –Semizentral – Dezentral)	6
2.1	Allgemeine Funktionsweise	6
2.2	Zentrale Lüftungsanlage	7
2.2.1	Be- und Entlüftung raumweise	7
2.2.2	Querlüftung	8
2.3	Semizentrale Lüftungsanlage (zonenweise).....	9
2.4	Dezentrale Lüftungsanlage (fassadenorientiert).....	10
2.5	Wesentliche Anforderungen an Lüftungsanlagen in Unterrichts - und Bürogebäuden	11
3	Voraussetzungen für die Nachrüstung einer Lüftungsanlage	12
3.1	Auswahlkriterien nach der Gebäudezonierung	12
3.2	Auswahlkriterien nach dem Gebäudestandort	13
3.2.1	Hinweis zur Außenluftqualität.....	13
3.2.2	Hinweis zur Außenbeschallung.....	14
3.3	Auswahlkriterien nach der Fassadengestaltung	14
3.4	Auswahlkriterien für die Außenluft - und Fortluftöffnung.....	14
3.4.1	Hinweise und Empfehlungen für die Außenluftansaugung und Fortluftöffnungen (nach ÖNORM EN 13779:2007).....	15
3.5	Auswahlkriterien – Standort und Platzbedarf.....	17
3.5.1	Flächenbedarf Aufstellungsraum zentrale Lüftungsgeräte.....	17
3.5.2	Aufstellungsraum für semizentrale Lüftungsanlagen	18
3.5.3	Flächenbedarf für dezentrale Lüftungsgeräte	19
3.6	Auswahlkriterien für Medienversorgung	20
3.6.1	Erwärmung der Zuluft.....	20
3.6.2	Kondensatableitung	21
3.6.3	Tabelle Auswahlkriterien für die Medienversorgung	21
3.7	Auswahlkriterien für das Luftverteilsystem.....	22
3.7.1	Effizienter Lufttransport in den Luftleitungen.....	22
3.7.2	Flächenbedarf für Steigschächte – zentrale Anlagen	22
3.8	Auswahlkriterium – Luftversorgung im Aufenthalts-bereich.....	23
3.8.1	Luftverteilungssysteme im Aufenthaltsbereich.....	23

4	Planungsanforderungen	26
4.1	Energieverbrauch für den Lufttransport	26
4.1.1	Kennzahlen für den Stromverbrauch von Lüftungsanlagen Spezifische Ventilatorleistung	- 26
4.1.2	Kriterien für ein effizientes Luftverteilsystem.....	27
4.1.3	Auslegungsrichtwerte für ein effizientes Luftleitungssystem zur Erreichung der Klasse SFP 1 bei den Ventilatoren.....	27
4.2	Anforderungen an die Luftqualität im Aufenthaltsbereich	29
4.2.1	Außenluftvolumenstrom nach CO ₂ Konzentration.....	29
4.2.2	Außenluftvolumenstrom je Person	29
4.2.3	Mindestluftmengen für Klassenzimmerlüftung	30
4.2.4	Ausreichende Raumlufffeuchte im Winter.....	30
4.3	Luftvolumenstrom - Regelungsmöglichkeiten.....	32
4.3.1	Anlagen mit bedarfsabhängiger variabler Volumenstromregelung (VAV).....	32
4.3.2	Anlagen mit konstanten Volumenstrom	34
4.3.3	Auswahlkriterien für eine bedarfsgerechte Lüftung.....	35
4.3.4	Systemvergleich von bedarfsgesteuerten Lüftungsanlagen	36
4.4	Akustische Anforderungen an eine Lüftungsanlage	37
4.4.1	Höchstwerte für Schalldruckpegel nach ÖNORM EN 13779:2007	37
4.4.2	Maßnahmen zur Reduktion der Schallbelastung im Aufenthaltsbereich.....	38
5	Errichtungskosten – Lüftungsanlagen mit WRG.....	39
5.1	Lüftungsanlagen in Unterrichtsgebäuden –spezifische Investitionskosten.....	39
5.2	Lüftungsanlagen in Bürogebäuden.....	39
5.3	Kostenvergleich zentrale –dezentrale Anlagen	39
6	Betrieb und Instandhaltung	40
6.1	Strombedarf von Lüftungsanlagen.....	40
6.1.1	Energiekennzahlen (Benchmarks) zur Abschätzung der jährlichen Stromkosten für eine Lüftungsanlage in Bürogebäuden	40
6.1.2	Energiekennzahlen (Benchmarks) zur Abschätzung der jährlichen Stromkosten für eine Lüftungsanlage in Schulgebäuden.....	41
6.1.3	Typische Verteilung der Lebenszykluskosten für Zentrallüftungsgeräte in einem Bürogebäude.....	41
6.2	Wärmebedarf von Lüftungsanlagen.....	42
6.3	Instandhaltung	42
6.3.1	Erforderliche Wartungsarbeiten	42
6.3.2	Instandhaltungskosten	43

6.3.3	Anlagenbetreuung (Wartung, z.B. Zeit für Filtertausch in Schulen).....	43
6.3.4	Auswahlkriterien nach Wartungsaufwand	44
7	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	45
8	Literaturhinweise	46
9	Abbildungsverzeichnis	47

1 Ausgangssituation und Zielsetzungen

Ohne Reduzierung von Lüftungswärmeverlusten ist schnell eine Grenze bei der Energieeinsparung erreicht (meist nur Energieklasse B gem. Energieausweis) – die Chance auf höherwertige Sanierungen wäre ohne Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung somit für lange Zeit vertan. Weiters ist das Thema Innenluftqualität insbesondere für Unterrichtsgebäude von höchster Bedeutung (Konzentrationsfähigkeit, Lernerfolg etc.). Es existieren bisher wenige Erfahrungen bei der Nachrüstung in Nicht-Wohngebäuden, speziell im Bereich Verwaltungs-/und Unterrichtsgebäude.

Ziel dieses Leitfadens ist es daher, für den Bauherren BIG Erfahrungsberichte, Kostendaten und Anwendungshinweise zu sammeln, um die Nachrüstung von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung in ihren Bestandsgebäuden möglichst ohne Risiken und Unsicherheiten zu ermöglichen.

Inhalte des Leitfadens sind u.a.:

- In welchen Anwendungsfällen bei Sanierungen ist die Ausführung technisch und wirtschaftlich machbar (z.B. Platzbedarf der Verteilleitungen von Zentralgeräten oder ist eine dezentrale Lösung wirtschaftlicher – wo liegen technische Risiken und wie kann man sie umgehen, Schlüsselfaktoren für diese Technologie)
- Bei welchen Anwendungsfällen ist welcher Anlagentyp sinnvoll inkl. Begründung
- Planungsanforderungen (z.B. hinsichtlich Stromverbrauch der Geräte, Luftvolumen, notwendige und sinnvolle Mess-, Steuer- und Regelmöglichkeiten etc.)
- Lufthygiene und Gesundheitsschutz der Nutzer (z.B. kann eine gesunde Raumluftfeuchte bei den erforderlichen Luftmengen gewährleistet werden)
- Wartungsintervalle und -kosten/Zeitaufwand/notwendiges technisches Wissen (wer kann solche Arbeiten durchführen), Betriebskostenvergleiche

2 Funktionsweise der untersuchten Lüftungsanlagen (Zentral – Semizentral – Dezentral)

2.1 Allgemeine Funktionsweise

Die wichtigsten Komponenten einer Lüftungsanlage sind in der Abbildung 1 dargestellt.

In Lüftungsanlagen wird Außenluft angesaugt. Die Außenluftansaugung befindet sich in vielen Fällen am Dach eines Gebäudes, da dort die Luft weniger stark belastet ist als in Bodennähe.

Die Luftaufbereitung umfasst Luftfilter, sowie eventuell ein Heizregister und den Ventilator. Nach der Luftaufbereitung wird die Luft über Rohrleitungen im Gebäude verteilt.

Der erforderliche Aufwand der Schalldämpfung hängt von der Luftgeschwindigkeit im System ab. Je höher die Geschwindigkeit, desto mehr Geräusche und damit Kosten für die Schalldämpfung entstehen.

Über Durchlässe (Ein- und Auslässe) wird die Luft in die Räume eingebracht, wobei das sowohl in Bodennähe (z.B. bei der Quelllüftung), unter der Raumdecke oder über der Eingangstüre erfolgen kann. Die Abluft wird zumeist auf Ebene der Raumdecke abgesaugt. Zusätzlich überlagern Wärmetauscher die in der Abluft vorhandene Wärme auf die Zuluft.

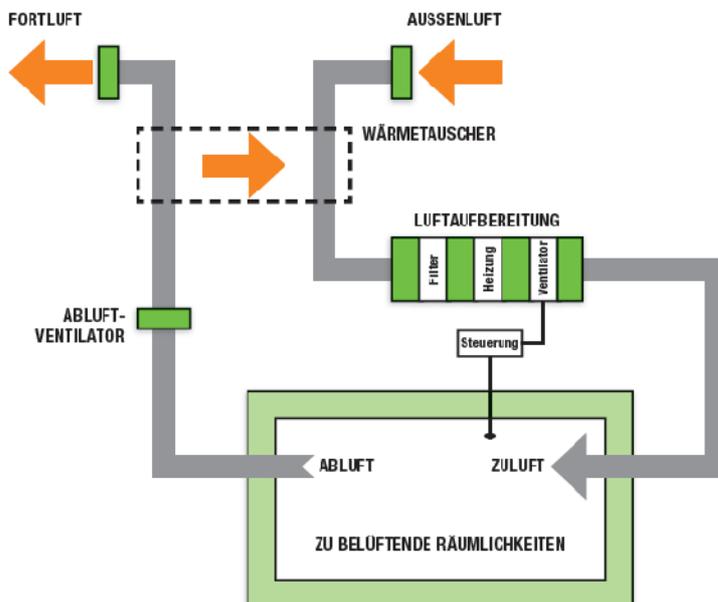


Abbildung 1: Prinzipschema einer Lüftungsanlage (Lüftungsleitfaden Wien)

2.2 Zentrale Lüftungsanlage

Die Außenluft wird von einer zentralen Stelle aus dem Lüftungsgerät zugeführt. Das zentrale Lüftungsgerät im Technikraum filtert, erwärmt (befeuchtet, kühlt) die Zuluft auf das für die Nutzer erforderliche Niveau. Die zentral aufbereitete Außenluft wird als Zuluft im Gebäude über Luftleitungen verteilt und den Aufenthaltsräumen zugeführt. Die Abluft wird entweder direkt aus den Räumen abgesaugt oder gelangt durch Überströmöffnungen über Abluftbereiche (z.B. Gang, Sanitärräume) in den zentralen Abluftkanal. Im zentralen Lüftungsgerät wird ein Teil der Abluft-Wärmeenergie zurückgewonnen und damit die kalte Außenluft vorgewärmt. Die abgekühlte Abluft (nach der Wärmerückgewinnung WRG) wird an einer zentralen Stelle als Fortluft auf kurzem Wege ins Freie geführt.

2.2.1 Be- und Entlüftung raumweise

Jeder Raum wird mit der erforderlichen Zuluftmenge versorgt, die verbrauchte Luft wird aus jedem Raum abgesaugt.

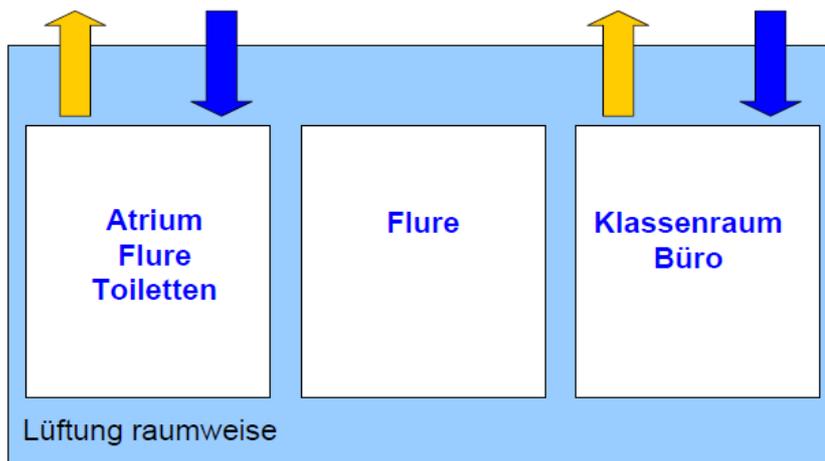


Abbildung 2: Schema einer zentralen Anlage, Zu-/ und Abluft raumweise

Vorteil:

- Jeder Raum wird mit der erforderlichen Luftmenge versorgt
- Die Luftmengen können für jeden Raum bedarfsgerecht geregelt werden
- Schall –und Geruchsübertragung in Nebenbereiche werden weitestgehend vermieden

Nachteil:

- Höherer Aufwand für Kanalsystem
- Nebenbereiche werden nicht mitbelüftet

2.2.2 Querlüftung

Die aufbereitete Außenluft strömt als Zuluft in den Nutzraum, die verbrauchte Luft (Abluft) strömt über Flurbereiche und wird über die Nebenbereiche abgesaugt.

Vorteil:

- Luft wird mehrfach genutzt – geringere Luftmengen werden bewegt
- Die Abwärme der Nutzräume wird verwendet um die Nebenräume zu temperieren
- Geringere Investitionen für das Kanalnetz

Nachteil:

- Hoher Aufwand für Schallschutz bei den Überströmöffnungen
- Hoher Aufwand für brandschutztechnische Maßnahmen (z.B. bei den Überströmöffnungen)
- Risiko der Geruchsverschleppung
- Änderungen der zugeführten Luftmenge im Aufenthaltsbereich (z.B. durch bedarfsgesteuerte Luftmengen) wirken sich auf die mitbelüfteten Nebenbereiche aus
- Dichtheit der Gebäudeteile (Zonen) muss gewährleistet sein, um die einwandfreie Überströmung aus den Zulufräumen zu ermöglichen

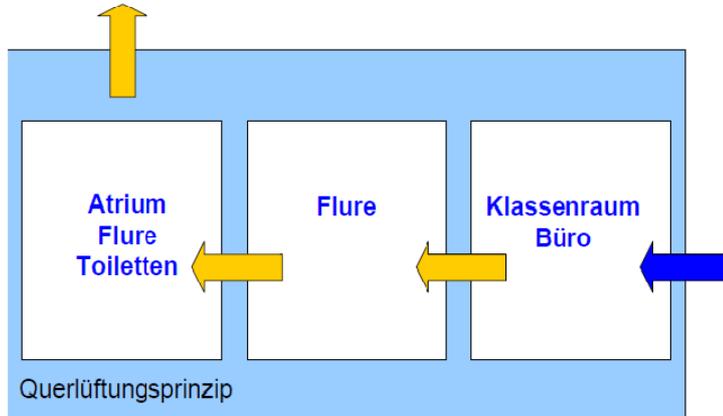


Abbildung 3: Schema zentrale Lüftung – Abluftabsaugung über Nebenbereich

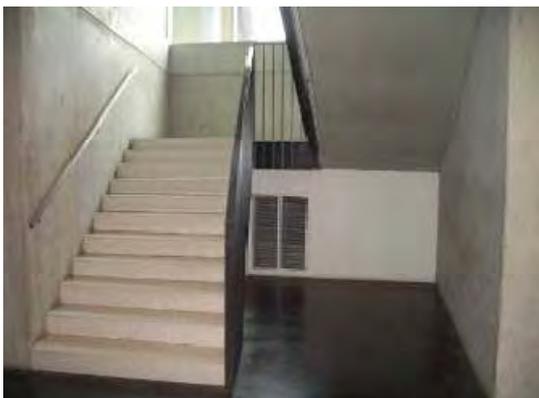


Abbildung 4: Ablufführung aus dem zentralen Stiegenhaus als Abluftbereich spart eine aufwendige Luftleitungsführung für die Abluft (komfortlüftung.at)

2.3 Semizentrale Lüftungsanlage (zonenweise)

Anstelle einer zentralen Luftaufbereitung werden größere Zonen oder Geschosse von einzelnen Lüftungsgeräten versorgt. Die Außenluft wird in der Zone an einer geeigneten Stelle angesaugt, im Lüftungsgerät konditioniert und über Zuluftleitungen in die Räume eingebracht. Die Abluft wird entweder direkt aus den Räumen abgesaugt oder gelangt durch Überströmöffnungen über Abluftbereiche (z.B. Gang, Sanitärräume) in den zentralen Abluftkanal. Im Lüftungsgerät wird ein Teil der Abluftwärmeenergie zurückgewonnen und damit die kalte Außenluft vorgewärmt. Die abgekühlte Abluft (nach der WRG) wird an einer zentralen Stelle in der jeweiligen Zone auf kurzem Wege ins Freie geführt.

Bei semizentralen Lüftungssystemen sind weitere Abwandlungen möglich, je nachdem mehr in Richtung zentrale oder dezentrale Anlage.

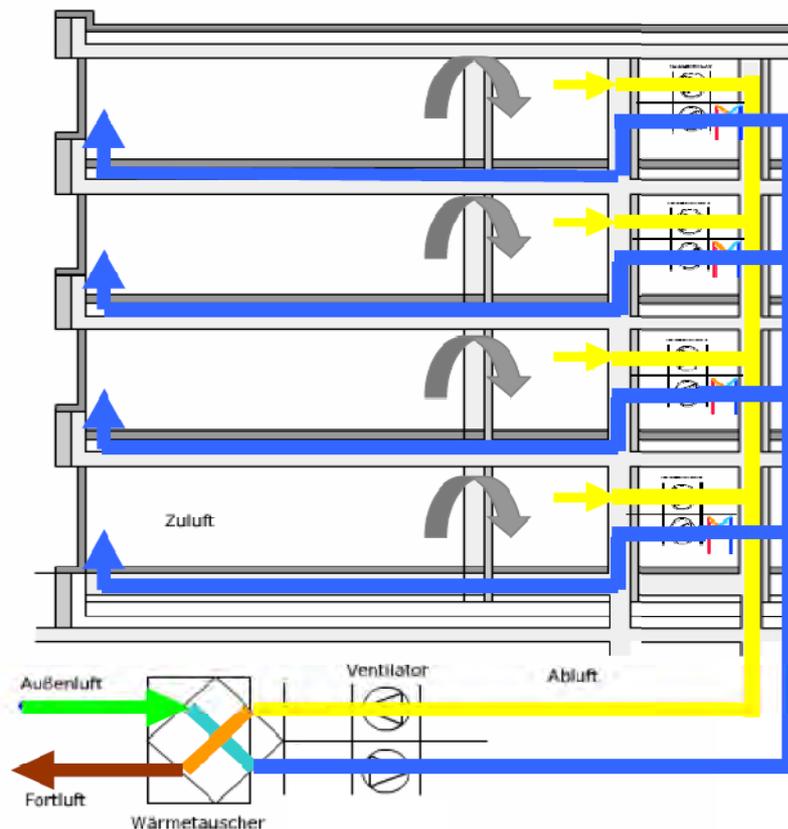


Abbildung 5: semizentrale Anlage mit zentraler Luftaufbereitung und Wärmerückgewinnung (komfortlüftung.at)

2.4 Dezentrale Lüftungsanlage (fassadenorientiert)

Jede Lüftungseinheit im Aufenthaltsbereich verfügt über einen eigenen Außenluftanschluss an der Fassade. In der dezentralen Lüftungseinheit wird die Außenluft aufbereitet. Die Erwärmung erfolgt über die im Gerät eingebaute Abluft - Wärmerückgewinnung und falls erforderlich über ein zusätzliches Nachheizregister. Die Fortluft wird auf kurzem Wege wieder über die Fassade abgeführt.

Auf eine **ausreichende Ableitung des anfallenden Kondensats** (durch Taupunktunterschreitung der Abluft im WRG Modul) und auf entsprechende Schallschutzmaßnahmen bei der Fassadendurchdringung muss geachtet werden.

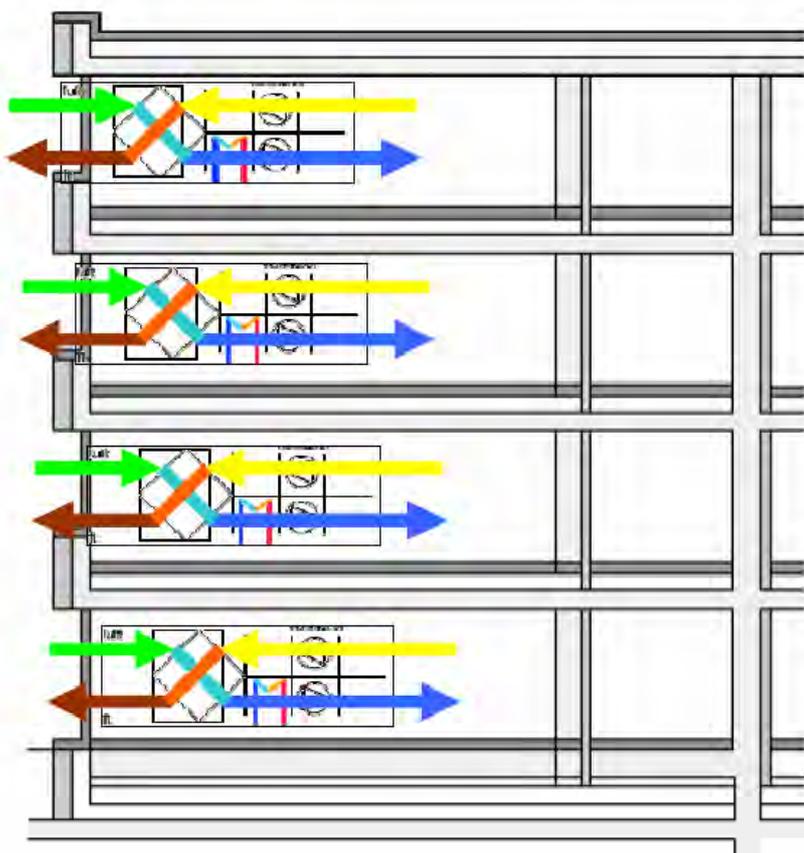


Abbildung 6: dezentrale Anlage mit zentraler Luftaufbereitung und Wärmerückgewinnung (komfortlüftung.at)

2.5 Wesentliche Anforderungen an Lüftungsanlagen in Unterrichts - und Bürogebäuden

Für eine hohe Akzeptanz und Zufriedenheit der Nutzer in Unterrichts- und Bürogebäuden sind folgende Kriterien ausschlaggebend:

Für den Nutzer

- Ausreichende Lufthygiene durch entsprechende Frischluftzufuhr
- Ausreichende Luftfeuchte im Winterbetrieb (min. 20% rel. Feuchte)
- Geringer Schalldruckpegel vor allem im Unterrichtsbereich - max. 30dB (A)
- Anwenderfreundliche und bedarfsgerechte Steuerungsmöglichkeiten

Für den Anlagenbetreiber

- Hocheffiziente Wärmerückgewinnung und geringe Energiekosten zur Nacherwärmung
- Geringe Stromaufnahme des Ventilators beim Betriebsluftvolumenstrom (Spezifische Ventilatorleistung –SFP- nach ÖNORM EN 13779:2007)
- Geeignete Regelstrategie der Lüftungsanlage – z.B. für bedarfsgerechte Luftmengen
- Hygienische Anforderungen - Gute Reinigungsmöglichkeit der Geräte u. des Kanalnetzes
- Einfache Bedienung und geringe Wartungs - und Instandhaltungskosten
- Langlebige Technik

3 Voraussetzungen für die Nachrüstung einer Lüftungsanlage

Für die Auswahl des geeigneten Lüftungssystems (mit Wärmerückgewinnung) zum nachträglichen Einbau in ein Büro - oder Schulgebäude sind verschiedene Kriterien entscheidend. Die Auswahlkriterien für das geeignete System sind in den nachfolgenden Tabellen nach verschiedenen Gesichtspunkten zusammengefasst. Die für das gegenständliche Objekt relevanten Tabellenspalten sind zu markieren.

Die wichtigsten Auswahlkriterien für den nachträglichen Einbau eines Lüftungssystems mit Wärmerückgewinnung in Verwaltungs- und Schulgebäuden sind:

- der Gebäudezustand und die Fassadengestaltung
- der Gebäudestandort
- der Platzbedarf für die Lüftungszentrale und die Luftleitungen
- die Investitions -/ Betriebs- und Instandhaltungskosten

3.1 Auswahlkriterien nach der Gebäudezonierung

zentral	semizentral	dezentral
Luftdichtheit der gesamten Gebäudehülle	Luftdichtheit der relevanten Zonen	Luftdichtheit der dezentralen relevanten Aufenthaltsbereiche
geschlossene Fenster und Außentüren	abgeschlossene Zonenbereiche	abgeschlossene Aufenthaltsbereiche
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Relevanten Bereich markieren

Hinweis zur Luftdichtheit

Eine luftdichte Hülle und geschlossene Fenster und Türen sind für die einwandfreie Funktion von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung von großer Bedeutung. Hohe Falschluftraten mit einem unkontrollierten Luftaustausch würden die Energiebilanz des Gebäudes wesentlich verschlechtern.

Laut ÖNORM EN 13829 (Blower Door Test) ist maximal eine 1-fache Luftwechselrate zulässig. Als Zielwert ist ein 0,6-facher Luftwechsel anzustreben.

3.2 Auswahlkriterien nach dem Gebäudestandort

zentral	semizentral	dezentral
hohe Staubbelastung am Standort	mittlere Staubbelastung	geringe Staubbelastung
hohe Außenbeschallung am Standort	mittlere Außenbeschallung	geringe Außenbeschallung
starke Winddruckbelastung an der Fassade	mittlere Winddruckbelastung	geringe Winddruckbelastung
starke Aufheizung der Fassade im Sommer	mittlere Aufheizung der Fassade im Sommer	geringe Aufheizung der Fassade
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Relevanten Bereich markieren

3.2.1 Hinweis zur Außenluftqualität

Die Zuluftqualität ist direkt abhängig von der Luftqualität im Ansaugbereich. Die angesaugte Außenluft soll möglichst sauber und im Sommer kühl sein. Diese Forderung kann bei **zentralen Lüftungsanlagen** durch eine entsprechende Positionierung der zentralen Außenluft-Ansaugstelle und durch mehrere Filterstufen leicht erfüllt werden. Bei **dezentralen Lüftungsanlagen** ist die Positionierung der Außenluft-Ansaugstelle fassadenorientiert.

Bei der Planung einer Lüftungs- oder Klimaanlage auf Basis der **DIN EN 13779:2007** „Lüftung von „Nichtwohngebäuden“ ist die Klassifizierung der Außenluft nach den ODA-Werten (ODA = Outdoor Air) erforderlich.

Dieser Wert berücksichtigt in drei Kategorien **ODA 1** (gut) bis **ODA 3** (schlecht) die Außenluftqualität am Standort des Gebäudes und hat einen direkten Einfluss auf die im Lüftungsgerät einzusetzenden Luftfilter.

ODA 1	Saubere Luft, die nur zeitweise staubbelastet sein darf (z. B. Pollen)
ODA 2	Außenluft mit hoher Konzentration an Staub oder Feinstaub und/oder gasförmigen Verunreinigungen
ODA 3	Außenluft mit sehr hoher Konzentration an gasförmigen Verunreinigungen und/oder Staub oder Feinstaub

Tabelle 1: Klassifizierung der Außenluft nach EN 13799(2007)

Die auf Grund der Außenluftbelastung einzusetzende **Filterqualität** mit dem entsprechenden Druckverlust beeinflusst in weiterer Folge die **Energieeffizienz, die Investitionskosten und Betriebskosten** der Lüftungsanlage.

3.2.2 Hinweis zur Außenbeschallung

Um den maximalen Schallschutz geschlossener Fenster nutzen zu können, dürfen die Durchlässe von Außenluft und Fortluft den Schallschutz der Außenbauteile nicht schwächen. Dies wird durch entsprechende Schalldämpferauslegung sichergestellt. An stark lärmbelasteten Standorten sind deshalb zentrale Anlagen zu bevorzugen.

3.3 Auswahlkriterien nach der Fassadengestaltung

zentral	semizentral	dezentral
Änderungen an der Fassade nicht möglich (raumweise Durchführungen für Außenluft u. Fortluft nicht möglich)	Änderungen an der Fassade geringfügig möglich (geschoßweise Durchführungen für Außenluft u. Fortluft möglich)	Änderungen an der Fassade sind möglich (raumweise Durchführungen für Außenluft u. Fortluft möglich)
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

3.4 Auswahlkriterien für die Außenluft - und Fortluftöffnung

zentral	semizentral	dezentral
ausreichend Platz im Gebäude für den zentralen Außenluft - Fortluftkanal	geringer Platzbedarf im Gebäude für den zentralen Außenluft - Fortluftkanal	Lüftungsgerät sitzt direkt im Aufenthaltsbereich keine oder nur kurze Außenluft - Fortluftleitung bis zur Fassade
hohe Flexibilität in der Außenlufteinbringung und Fortluftausblasung	bedingt variable (zonenweise) Außenlufteinbringung und Fortluftausblasung	keine Flexibilität in der Außenlufteinbringung und Fortluftausblasung (nur an der Fassade der Aufenthaltsbereiche)
keine - bzw. nur geringe Eingriffe an der Fassade möglich	geringe Eingriffe an der Fassade möglich	massive Eingriffe an der Fassade möglich
einfache Möglichkeit zur Einbindung eines zentralen Erdwärmetauschers zur Außenluftvorwärmung	aufwendige Möglichkeit zur Einbindung eines zentralen Erdwärmetauschers zur Außenluftvorwärmung	keine Möglichkeit der Luftvorwärmung über Erdreichwärmetauscher
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Relevanten Bereich markieren

Hinweis zu Außenluftvorwärmung über Erdreichwärmetauscher

Über Erdreichwärmetauscher (EWT) kann bei zentralen Lüftungsanlagen die Außenluft im Winter vorgewärmt (bis auf ca. -3°C) und im Sommer vorgekühlt werden (bis auf $+20^{\circ}\text{C}$).

Anstelle von Luft-EWT werden aus Hygiene- und Platzgründen bei größeren Anlagen auch Sole-EWT eingesetzt.

3.4.1 Hinweise und Empfehlungen für die Außenluftansaugung und Fortluftöffnungen (nach ÖNORM EN 13779:2007)

Allgemeines: Im Hinblick auf Druckverlust und Energiebedarf sollte das Luftleitungssystem so kurz wie möglich sein.

Gleichzeitig sollten jedoch folgende Anforderungen erfüllt werden:

- Die Außenluftansaugung sollte so angebracht sein, dass die angesaugte Außenluft möglichst sauber, trocken (frei von Regen usw.) und im Sommer kühl ist
- Die Fortluft sollte so ins Freie abgeführt werden, dass Gesundheitsrisiken oder schädliche Auswirkungen auf das Gebäude, die sich darin aufhaltenden Personen oder die Umwelt so gering wie möglich bleiben

Lage der Außenluftansaugungen

- Horizontaler Abstand zwischen einer Außenluftansaugung und einer Abfallsammelstelle, einem häufig genutzten Parkplatz für drei oder mehr Fahrzeuge, Fahrwegen, Ladebereichen, Kanalentlüftungsöffnungen, Schornsteinen und ähnlichen Verunreinigungsquellen sollte nicht kleiner als 8 m sein
- In den Hauptwindrichtungen von Verdunstungs-Kühlanlagen sollten keine Außenluftansaugungen angeordnet sein
- Außenluftansaugungen sollten nicht auf Fassaden angeordnet sein, die belebten Straßen ausgesetzt sind. Ist dies nicht zu vermeiden, sollte sich die Öffnung so hoch wie möglich über dem Boden befinden
- Außenluftansaugungen sollten nicht an Stellen angeordnet sein, an denen eine Rückströmung von Fortluft oder eine Störung durch Verunreinigungen bzw. Geruchsemissionen zu erwarten ist
- Außenluftansaugungen sollten nicht direkt über dem Boden angeordnet sein, sondern in einer Höhe, in der sie ohne Hilfsmittel nicht erreichbar ist

- Auf dem Dach des Gebäudes oder wenn die Konzentrationen auf beiden Seiten des Gebäudes ähnlich sind, sollte die Außenluftansaugung auf der vom Wind angeströmten Gebäudeseite angebracht sein
- Die Außenluftansaugung sollte so angeordnet oder geschützt sein, dass im Sommer die Luft durch die Sonne nicht übermäßig aufgeheizt wird

Lage der Fortluftöffnungen

- der Abstand zwischen der Fortluftöffnung und einem benachbarten Gebäude beträgt mindestens 8 m
- Der Abstand zwischen der Fortluftöffnung und einer Außenluftansaugung in derselben Wand beträgt mindestens 2 m (wenn möglich, sollte die Außenluftansaugung unterhalb der Fortluftöffnung angeordnet sein). Gilt primär für dezentrale Anlagen, bei zentralen Anlagen sind größere Abstände einzuhalten.
- Die Fortluft sollte bei zentralen(semizentralen) Anlagen über Dach geführt werden. Ist dies nicht möglich, muss die Luftgeschwindigkeit an der Fortluftöffnung mindestens 5m/s betragen



Abbildung 7: Beispiele einer dezentralen Anordnung der Außenluft/Fortluft (Schule Ainet Osttirol)

3.5 Auswahlkriterien – Standort und Platzbedarf

zentral	semizentral	dezentral
geringe Entfernung zum zentralen Technikraum (max. Luftleitungslänge siehe Kapitel 4.1.3)	geringe Entfernung zum Technikraum (im Geschoß oder Zone)	große Entfernung zum zentralen Technikraum
ausreichend freie Flächen in zentraler Lage sind als Technikraum verfügbar	in den Geschoßen (Zonen) sind zentrale (freie) Flächen oder Nebenräume als Technikraum verfügbar - bei kleineren Zonen auch Zwischendeckenmontage möglich	keine zentralen (freie) Flächen oder Nebenräume als Technikraum verfügbar
□	□	□

Relevanten Bereich markieren

Für die Aufstellung von Lüftungszentralen ist ausreichend Platz in einem frostfreien, trockenen Bereich zur Verfügung zu stellen, um im Betrieb die erforderlichen Reinigungs-/Instandhaltungs- und Reparaturarbeiten leicht durchführen zu können. Bei Aufstellung am Dach (Dachzentralen) sind Frostschutzmaßnahmen vorzusehen.

3.5.1 Flächenbedarf Aufstellungsraum zentrale Lüftungsgeräte

Bei Anlagen mit zentralen Lüftungsgeräten mit Wärmerückgewinnung sind für

- die Aufstellungsräume der Lüftungszentralen (Abluft- und Zuluft Einheit mit Wärmerückgewinnung)
- für den Einbau vom Schalldämpfern
- und die horizontalen oder vertikalen Luftleitungsanschlüssen

folgende Flächen erforderlich (bei üblichen Raumhöhen bis 3m):

Luftvolumenstrom Zuluft oder Abluft (m³/h)	3.000 – 5.000	5.000 – 10.000	10.000 – 15.000
Bodenfläche (m²)	20 - 35	35 - 40	40 - 45

Tabelle 2: Richtwert Flächenbedarf für den Aufstellungsraum zentraler Lüftungsgeräte in Anlehnung an die EN 13779:2007

Bei der Aufstellung von Lüftungsgeräten ist auf ausreichend Platz für spätere Wartungsarbeiten zu achten. Für die notwendigen Versorgungssysteme (Heizung und Elektro) ist ausreichend Platz vorzusehen. Für die Ableitung des anfallenden Kondensats (verursacht durch die

Abkühlung der Abluft im Wärmerückgewinnungssystem) ist im Aufstellungsraum ein Anschluss an das Abflusssystem notwendig.

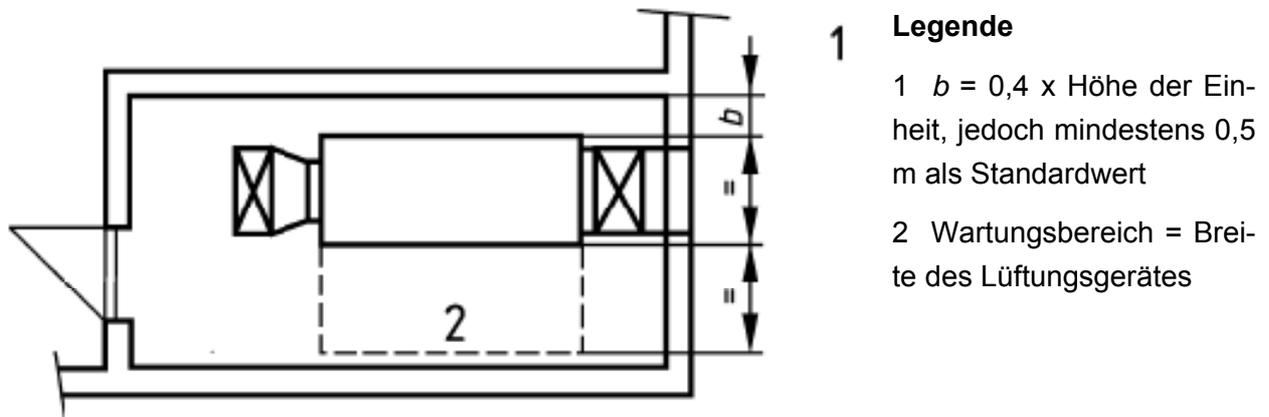


Abbildung 8: Anordnung von Luftbehandlungsgeräten im Aufstellungsraum (Grundriss) nach ÖNORM EN 13779:2007

3.5.2 Aufstellungsraum für semizentrale Lüftungsanlagen

Bis zu einem Luftvolumenstrom von **1.500 - 2.000 m³/h** sind Lüftungsgeräte verfügbar, die als Standgeräte mit vertikaler Lüftführung oder als Zwischendeckengeräte mit horizontaler Lüftführung konzipiert sind.

1. Platzbedarf für Standgeräte

Die kompakten Lüftungszentralen mit einem Luftvolumenstrom **bis 2.000 m³/h** sind als Standgeräte mit allen erforderlichen Einbauten zur Luftförderung (Abluft- Zuluftventilator) und Konditionierung (Filter, Nachheizregister) verfügbar. Wahlweise sind Plattenwärmetauscher oder rotierende Wärmetauscher eingebaut, um aus der Abluft Wärme (optional auch Feuchte) zurück zu gewinnen. Durch die Möglichkeit des vertikalen Kanalanschlusses kann hier mit kleinen Aufstellungsflächen das Auslangen gefunden werden.

Flächenbedarf Aufstellungsraum 8 bis 10 m²



Abbildung 9: kompaktes Standgerät Fabrikat Systemair

2. Platzbedarf für Zwischendeckengeräte

Die kompakten Lüftungszentralen mit einem Luftvolumenstrom **bis 1.500 m³/h** sind als Zwischendeckengeräte mit allen erforderlichen Einbauten zur Luftförderung (Abluft- Zuluftventilator) und Konditionierung (Filter, Nachheizregister) verfügbar. In die Geräte sind Plattenwärmetauscher eingebaut, die aus der Abluft Wärme (optional auch Feuchte) zurück gewinnen. Durch die geringe Bauhöhe der Geräte von max. 45 cm können sie in die Hohlräume von abgehängten Decken eingebaut werden.

Einbauhöhe < 60 cm



Abbildung 10: Zwischendeckengerät Fabrikat Systemair

3.5.3 Flächenbedarf für dezentrale Lüftungsgeräte

Bei dezentralen Anlagen liegt der Flächenbedarf bei einer Bodenaufstellung bei ca. **0,3% bis 0,5%** von der zu belüfteten Nutzfläche. Die dezentralen Lüftungsgeräte werden oft auch an der Decke in der Nähe der Außenfassade montiert und anschließend verkleidet.



Abbildung 11: Dezentrales Lüftungsgerät unter der Decke montiert und verkleidet

3.6 Auswahlkriterien für Medienversorgung

Mechanische Be- und Entlüftungsanlagen für Schul- und Bürogebäude haben die Aufgabe, Räume oder Bereiche mit der notwendigen Zuluft zu versorgen und die verbrauchte Abluft wieder abzuführen. Im Winter muss die Zuluft wegen der sonst auftretenden Zugerscheinungen erwärmt werden, bevor sie in die Räume eingebracht wird.

3.6.1 Erwärmung der Zuluft

Ist das Erwärmen oder Abkühlen der Zuluft erforderlich, so soll nach ÖNORM EN 13779:2007 eine Wärmerückgewinnungsanlage installiert werden. Diese Anlagen nutzen bis zu 80% des Energieinhaltes der Abluft zum Vorwärmen der Zuluft. Über einen Nachheizwärmetauscher wird die Zuluft in weiterer Folge auf eine Zulufttemperatur von ca. +20°bis +22°C aufgeheizt, sodass sie zugfrei in den Raum eingebracht werden kann.

Nacherwärmung bei zentralen Lüftungsanlagen:

Die Nacherwärmung der Zuluft erfolgt in zentralen Anlagen hauptsächlich mit Pumpenwarmwasser, sehr selten mit elektrischer Energie. Der Vereisungsschutz im Bereich der WRG (durch Abkühlung der Abluft unter 0°C und bei hoher Abluftfeuchte) wird über einen Frostschutzwächter realisiert. Diese Vorwärmung zur Frostsicherung kann über einen zentraler Erdreichwärmetauscher (EWT), selten über ein Elektroregister, oder über einen Pumpenwarmwasser – Vorheizwärmetauscher erfolgen.

Nacherwärmung bei dezentralen Lüftungsanlagen:

Auf eine Nacherwärmung der Zuluft wird hier meistens verzichtet, wenn

- durch eine Vorwärmung der Zuluft (Frostschutz -meistens elektrisch) und
- durch eine hochwertige WRG eine minimale Einströmtemperatur von +19°C erreicht wird.

3.6.2 Kondensatableitung

Durch die Abkühlung der Abluft in der Wärmerückgewinnungseinheit kommt es bei hochwertigen WRG Anlagen und bei hoher Abluffeuchte zur Kondensatbildung. Dieses Kondensat muss entsprechend abgeleitet werden.

Kondensatableitung bei zentralen Lüftungsanlagen:

Hier ist eine geeignete Kondensatabfuhr über das bestehende Kanalsystem leicht möglich.

Kondensatableitung bei dezentralen Lüftungsanlagen:

Hier sind zumeist keine Abflussstränge in der Nähe verfügbar. Daher muss das Kondensat entweder über Sammelbehälter aufgefangen werden bzw. über die Fassade abgeführt werden. Auf Grund der geringen Luftfeuchten in den Räumen während der Heizperiode ist jedoch der Kondensatanfall in den einzelnen Räumen eher gering. Wird in der dezentralen Anlage eine regenerative Wärmerückgewinnung eingesetzt (Rotationswärmetauscher mit Feuchteaustausch), so kommt man ohne Kondensatableitung aus.

3.6.3 Tabelle Auswahlkriterien für die Medienversorgung

zentral	semizentral	dezentral
geringer Aufwand für den Medienanschluss durch die zentrale Lage	mittlerer Aufwand für den Medienanschluss durch die Zonierung	sehr hoher Aufwand für einen Medienanschluss durch viele dezentrale Geräte (falls ein PWW-Heizungsanschluss und eine Kondensatableitung notwendig ist)
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Relevanten Bereich markieren

3.7 Auswahlkriterien für das Luftverteilsystem

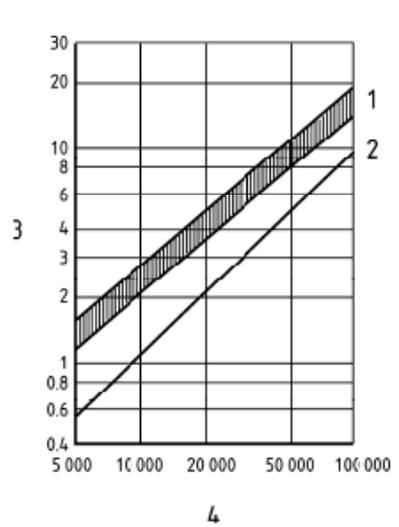
zentral	semizentral	dezentral
ausreichend Platz für Steigschächte (siehe Abbildung 11 - Schachtquerschnitte)	kein Platz für Steigschächte	kein Platz für Steigschächte
ausreichend Platz für horizontale Luftführung innerhalb abgehängter Deckenbereiche (freier Hohlraum 40 bis 50 cm) <u>keine</u> Kreuzungen mit Deckenunterzügen	ausreichend Platz für horizontale Luftführung innerhalb abgehängter Deckenbereiche (freier Hohlraum 40 bis 50 cm) keine Kreuzungen mit Deckenunterzügen	ausreichend Platz für kleines Zuluft u. Abluftkanalnetz innerhalb des Aufenthaltsraumes
umfangreiche Brandschutzeinrichtungen erforderlich (bei Durchdringung von Brandabschnitten)	geringfügige Brandschutzeinrichtungen erforderlich (bei Durchdringung von Brandabschnitten)	keine Brandschutzeinrichtungen erforderlich (eventuell bei Durchdringung der Außenfassade)
□	□	□

Relevanten Bereich markieren

3.7.1 Effizienter Lufttransport in den Luftleitungen

Um den externen Differenzdruck in den Luftleitungen zu vermindern, soll das Kanalsystem so kurz wie möglich ausgeführt werden. Dazu kann die Technikzentrale so nah wie möglich an den zu versorgenden Bereichen installiert werden. Zusätzlich soll das Kanalnetz strömungsgünstig dimensioniert werden.

3.7.2 Flächenbedarf für Steigschächte – zentrale Anlagen



Nach ÖNORM EN 13779:2007 werden für Schächte, in denen Luftleitungen geführt werden, die nachstehend dargestellten Querschnitte empfohlen (für quadratische Querschnitte die unteren Werte).

- Legende:
- 1 Schächte für Luftleitungen
 - 2 Schächte für den direkten Lufttransport
 - 3 Querschnitt in m²
 - 4 Luftvolumenstrom in m³/h

Abbildung 12: Schachtquerschnitte nach ÖNORM EN 13779:2007

Beispiel:

Erforderlicher Zuluftvolumenstrom 5.000 m³/h, erforderlicher Querschnitt des Steigschachtes für eine quadratische Luftleitung ca. 1,2 m²/h.

3.8 Auswahlkriterium – Luftversorgung im Aufenthalts-bereich

zentral	semizentral	dezentral
(Für Mischlüftung) Ausreichend Platz für Zuluftdurchlässe unter der Decke an der Zwischenwand zum Gang (im Gangbereich abgehängte Decke mit Luftleitungen) Abluftdurchlässe entweder an derselben Front oder stirnseitig im Raum <u>Optional</u> schallgedämmte Überströmöffnungen in den Gangbereich für die Abluft	(Für Mischlüftung) Ausreichend Platz für Zuluftdurchlässe unter der Decke an der Zwischenwand zum Gang (im Gangbereich abgehängte Decke mit Luftleitungen) Abluftdurchlässe entweder an derselben Front oder stirnseitig im Raum <u>Optional</u> schallgedämmte Überströmöffnungen in den Gangbereich für die Abluft	Leichte Unterbringung der Luftdurchlässe entweder im unmittelbaren Bereich des dezentralen Lüftungsgerätes oder direkt im raumseitigen Zuluft/Abluftkanal in Deckennähe
□	□	□

Relevanten Bereich markieren

3.8.1 Luftverteilungssysteme im Aufenthaltsbereich

1. Mischlüftung (Induktionslüftung)

Bei der **turbulenten Mischlüftung** wird die Zuluft meistens über Wandauslässe, Deckendralauslässe, Schlitzauslässe oder über Düsen eingeblasen und dadurch im Raum eine gleichmäßige Vermischung der Luft erzielt. Über den Verdrängungseffekt werden Wärme- und Stofflasten abgeführt. Die Austrittsgeschwindigkeit am Luftauslass liegt bei ca. 3-5 m/s, bei Düsen ca. 8-12 m/s.

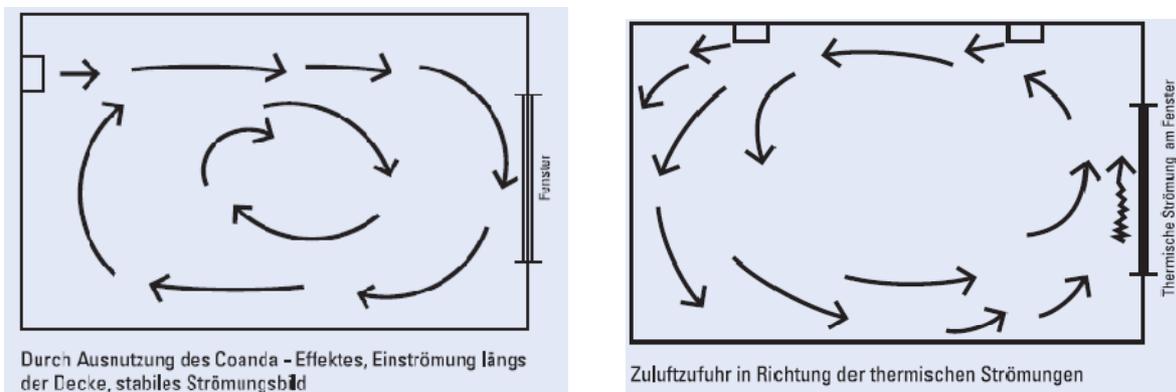


Abbildung 13: Funktionsprinzip der Mischlüftung

Vorteile der Mischlüftung sind:

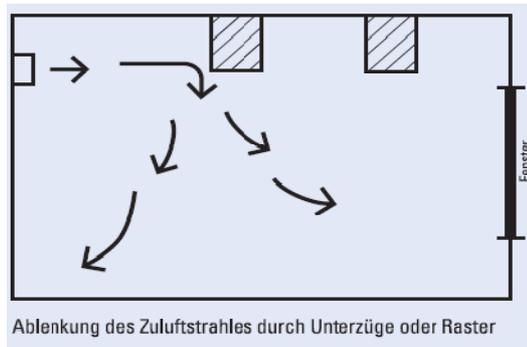
- Vielfältige Möglichkeiten der Anordnung von Zuluft- und Abluftöffnungen (z.B. Anbringung der Zu- und Abluftöffnungen an einer Raumseite)
- Hohe Volumenströme und Temperaturunterschiede sind realisierbar
- Zuluft kann mit hoher Geschwindigkeit in den Raum eingebracht werden, dadurch ergibt sich eine große Eindringtiefe

Nachteile der Mischlüftung sind:

- Raumluftqualität entspricht der Abluftqualität
- Emissionen von Geruchsquellen werden im Raum verteilt
- bei Planungs- / oder Ausführungsfehlern Gefahr von Zugerscheinungen

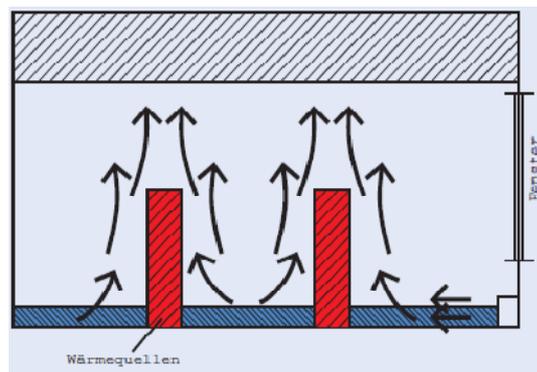
Wichtiger Hinweis bei Mischlüftung:

Im Bereich des einströmenden Luftstrahls dürfen sich keine Hindernisse (z.B. Gegenstände, Deckenunterzüge usw.) befinden, eine Ablenkung des Luftstrahls in den Aufenthaltsbereich mit Zugerscheinungen wäre die Folge.



2. Quelllüftung

Über Luftdurchlässe wird Zuluft mit sehr geringen Austrittsgeschwindigkeiten im bodennahen Bereich in den Raum eingegeben - die Luft quillt in den Raum. Luftdurchlässe können an der Wand, um Säulen, freistehend oder im Doppelboden angeordnet sein. Kalte Zuluft verteilt sich gleichmäßig über den Boden und bildet den sogenannten Kaltluftsee. Mit der aufsteigenden Thermik an den Wärmequellen (z.B. Personen) werden die meisten Schadstoffe in Deckennähe transportiert und von dort über die Abluftöffnungen abgezogen.



Vorteile der Quelllüftung sind:

- hoher thermischer Komfort
- sehr geringe Luftgeschwindigkeiten ($< 0,2 \text{ m/s}$)
- hohe Luftqualität in der Aufenthaltszone (im Zuluftbereich)
- ideal in Kombination mit Deckenkühlsystemen

Nachteile der Quelllüftung sind:

- großflächige Luftauslässe
- genaue Kenntnis und Berücksichtigung der Einflussfaktoren
- Anordnung der Abluftöffnungen beeinflusst das Strömungsbild

Hinweise zur Anbringung von Überströmöffnungen

Bei Systemen mit Querlüftung (siehe Kapitel 2.2.2) sind entsprechend große Überströmöffnungen vorzusehen (Luftgeschwindigkeit max. 2 m/s). Beim Einbau von Überströmöffnungen in Zwischenwände sind je nach Erfordernis schalltechnische oder brandschutztechnische Vorgaben zu berücksichtigen.



Abbildung 14: Schallgedämmte Überströmelemente für Wandeinbau (Fabrikat Westaflex)

4 Planungsanforderungen

4.1 Energieverbrauch für den Lufttransport

Die wesentliche Funktion einer Lüftungsanlage ist es, den für die Nutzer der Nichtwohngebäude notwendigen hygienischen Luftwechsel zu gewährleisten. Die erforderliche konditionierte Außenluftmenge soll möglichst

- verlustlos mit geringen Leckverlusten in den Luftleitungen
- mit geringen Energieaufwand
- und bedarfsgerecht zu den Nutzern transportiert werden.

Da sich der Leistungsaufnahme eines Ventilators **proportional mit der 3. Potenz des Volumstromverhältnisses** verändert, ergeben sich daraus folgende Planungsanforderungen:

1. Außenluftmenge genau an den Bedarf anpassen und bedarfsabhängige Luftvolumensteuerung. Eine Reduzierung der Luftmenge um **20 %** ergibt eine Reduktion der Antriebsleistung um ca. **50 %**
2. Minimierung der Druckverluste im Luftverteilsystem und der internen Gerätedruckverluste (Druckerhöhungen ändern sich proportional mit dem **Quadrat** des Volumstromverhältnisses)

4.1.1 Kennzahlen für den Stromverbrauch von Lüftungsanlagen - Spezifische Ventilatorleistung

Für eine ganzheitliche Effizienz - Bewertung von Lüftungsanlagen wurde in der ÖNORM EN13779:2008 die Klassifizierung der spezifischen Ventilatorleistung **SFP** (SFP – Specific Fan Power) in **W · m⁻³ · s** eingeführt.

Kategorie	P_{SFP} in $W \cdot m^{-3} \cdot s$
<i>SFP 1</i>	< 500
<i>SFP 2</i>	500 – 750
<i>SFP 3</i>	750 – 1 250
<i>SFP 4</i>	1 250 – 2 000
<i>SFP 5</i>	2 000 – 3 000
<i>SFP 6</i>	3 000 – 4 500
<i>SFP 7</i>	> 4 500

Tabelle 3: Klassifizierung nach ÖNORM EN 13779:2007

Die SFP Klassifizierung gibt das Verhältnis der **elektrischen Leistungsaufnahme** in W zur **gelieferten Luftmenge** in m³/s an.

Die **spezifische Ventilatorleistung SFP** ist abhängig vom:

- Druckverlust im Lüftungsgerät
- Druckverlust im Luftleitungsnetz
- Wirkungsgrad des Ventilators und des Antriebes

Zusätzliche hochwertige Einbauteile führen zu höheren zulässigen spezifischen Werten in der gleichen Klasse (z.B. zusätzliche Spezialfilter, hocheffiziente Wärmerückgewinnung)

Laut **OIB Richtlinie 6** muss

- beim erstmaligen Einbau,
- bei Erneuerung oder überwiegender Instandsetzung von Lüftungsanlagen die spezifische Leistungsaufnahme der Ventilatoren der **Klasse SFP1** entsprechen.

Die **neue OIB Definition** zum SFP Grenzwert bezieht sich auf **einen Ventilator**.

4.1.2 Kriterien für ein effizientes Luftverteilsystem

Um den Zielwert **Klasse SFP1 nach OIB Richtlinie 6** zu erreichen sind folgende Kriterien im Luftverteilsystem einzuhalten:

- Der Durchmesser der Luftleitungen soll so groß wie möglich sein, da enge Leitungen mit den daraus resultierenden hohen Luftgeschwindigkeiten den Druckverlust im Luftverteilsystem erhöhen
- Neben dem Rohrdurchmesser ist auch eine optimale Führung der Rohrleitungen mit wenigen Richtungsänderungen wesentlich
- Rundrohre sind rechteckigen Kanälen vorzuziehen, bei viereckigen Kanalquerschnitten möglichst eine quadratische Form wählen

Durch diese Maßnahmen werden die Druckverluste reduziert und die Geräuschentwicklung minimiert.

4.1.3 Auslegungsrichtwerte für ein effizientes Luftleitungssystem zur Erreichung der Klasse SFP 1 bei den Ventilatoren

- Geringe Luftgeschwindigkeit in Hauptleitung
Zielwert 3 m/s nach Lüftungsleitfaden Wien (www.sep.wien.at)
übliche Auslegung bei Komfortanlagen bis 6 m/s
- Geringer Druckabfall im Luftleitungsnetz
Empfehlung für die Außenluft-u. Zuluftleitung nach ÖNORM EN 13779 max. 200 Pa
Zielwert 100 Pa nach Komfortlüftung.at

Beispiel:

Aufteilung des Druckverlustes bei verschiedenen Luftgeschwindigkeiten (3 m/s und 6m/s) im längsten und ungünstigsten Strang der Außenluft-Zuluftleitung (ohne interne Druckverluste des Lüftungsgerätes), Luftmenge 5.000 m³/h.

Bauteil	Druckverlust in Pa	Druckverlust in Pa
Außenluftansaugung	20	30
Schalldämpfer	20	30
Luftleitungssystem Außenluft-Zuluft mit - 6 Stk. Bögen - 1 Stk. Abzweiger - 50 m gerade Luftleitung	52 (bei w=3m/s)	104 (bei w= 6m/s)
Zulufteinlass	10	20
Summe	112	184

Ergebnis:

Werden die Luftleitungen des ungünstigsten Stranges (Leitungslänge 50 m) für eine Luftgeschwindigkeit von max. 3m/s ausgelegt und in weiterer Folge ein Lüftungsgerät mit

- geringen internen Widerständen,
- hochwertigen Wärmetauschern zur Wärmerückgewinnung,
- und hocheffizienten Ventilatoren (z.B. mit EC Gleichstrommotoren) eingesetzt,

so kann die in der **OIB Richtlinie 6** geforderte Klasse **SFP1 je Ventilatoreinheit** erreicht werden.

4.2 Anforderungen an die Luftqualität im Aufenthaltsbereich

Ein guter Indikator für die Luftqualität im Aufenthaltsbereich von Menschen ist die CO₂ Konzentration. Verschiedene Studien in Schulen zeigen die Auswirkungen einer steigenden CO₂ Konzentration in Räumen ohne ausreichende Belüftungsmöglichkeit. Die Leistungsfähigkeit von Personen sinkt um 5 bis 9 %.

4.2.1 Außenluftvolumenstrom nach CO₂ Konzentration

Für normale Räume mit mittlerer Raumluftqualität, in denen die Schadstoffbelastung größtenteils durch Personen verursacht wird (Wohnräume, Büros, Schulklassen und dgl.), kann man als Grenzwert eine **maximal zulässige CO₂ Konzentration von 1.000 ppm** (parts per million) annehmen. Die entspricht der **Innenluftkategorie IDA 2** nach ÖNORM EN 13779:2007.

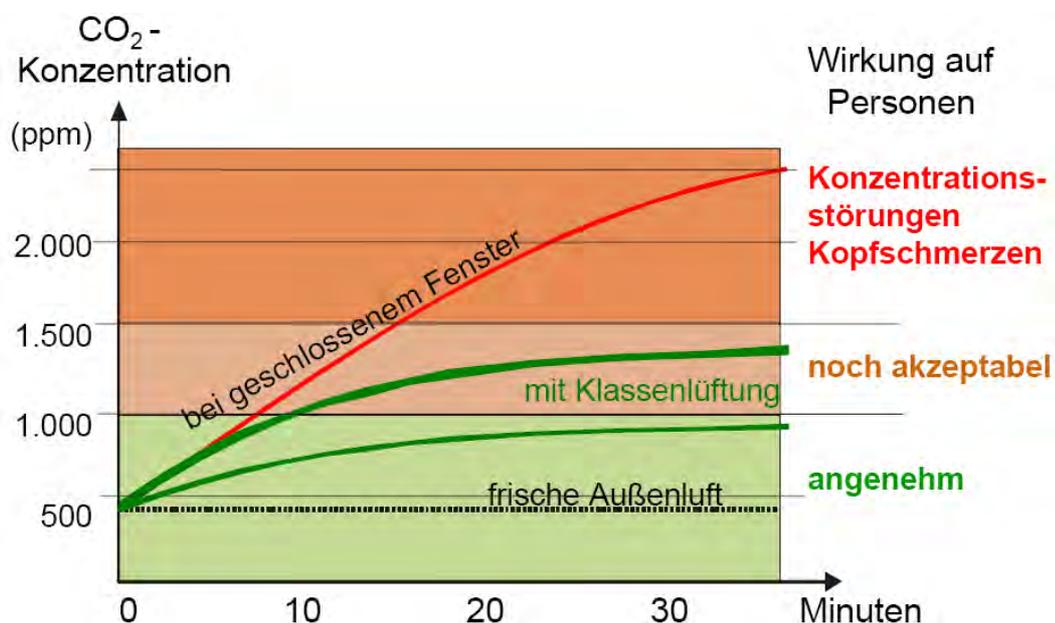


Abbildung 15: CO₂ – Konzentration in Schulklassen (Deutsche Bundesstiftung Umwelt)

Diese CO₂ Grenzwerte sind die Grundlage für die Auslegung bedarfsgeregelter Lüftungsanlagen.

4.2.2 Außenluftvolumenstrom je Person

Die empfohlenen Mindestwerte der personenbezogenen Außenluftluftmenge nach ÖNORM EN 13779:2007 berücksichtigen neben den CO₂ Emissionen der Personen auch Emissionen aus anderen Quellen wie Baustoffe oder Möbeln.

Diese Norm unterteilt die Raumluftqualität in die Kategorien IDA 1 bis IDA4. IDA 1 ist die Kategorie mit der besten Raumluftqualität.

Mindestluftmengen je Person	in	m ³ /h	Nichtraucher	Raucher
			36 bis 54	72 bis 108

Tabelle 4: Mindestluftmengen für mittlere Raumluftqualität **IDA 2** (nach EN 13779:2007)

Mindestluftmengen je Person	in	m ³ /h	Nichtraucher	Raucher
			22 bis 36	44 bis 72

Tabelle 5: Mindestluftmengen für mäßige Raumluftqualität **IDA 3** (nach EN 13779:2007)

4.2.3 Mindestluftmengen für Klassenzimmerlüftung

Der Außenluftvolumenstrom für Klassenzimmerlüftungen ist abhängig vom Alter der Schüler. Die personenbezogenen Zielwerte sind im Planungsleitfaden für Klassenzimmerlüftungen (www.komfortlüftung.at) festgelegt.

Zielwerte für Klassenzimmerlüftung (Mindestluftmenge für CO₂ max. 1.000 ppm)

Alter der Schüler	Lüftungsrate (m ³ /h)
6 - 10	25
10 - 14	30
14-19	33

4.2.4 Ausreichende Raumluftfeuchte im Winter

Neben der Raumtemperatur und Luftbewegung im Aufenthaltsbereich beeinflusst auch die Raumluftfeuchte unser Behaglichkeitsempfinden. Im Allgemeinen wird bei 22°C Raumtemperatur eine relative Luftfeuchtigkeit von 30–70 % als angenehm empfunden.

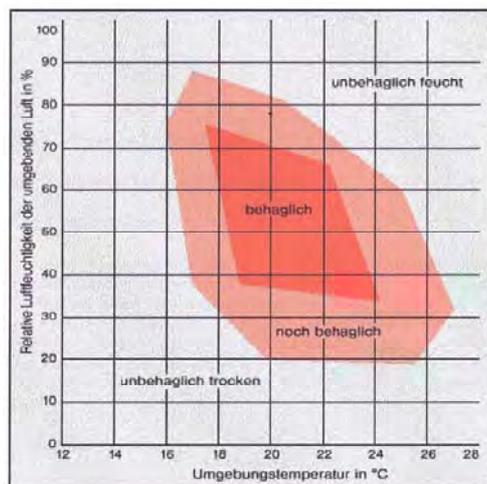


Abbildung 16: Diagramm mit eingetragenem Behaglichkeitsfeld abhängig von Temperatur und Feuchte (Heinz Gabernig, Energie- und Klimatechnik, Ausgabe 1995)

Die untere Grenze des optimalen Behaglichkeitsbereichs ist in der DIN 1946-2:1998 bzw. EN 13779:2007 mit 30 % relativer Feuchte angegeben. Eine Untergrenze von 20% relative Luftfeuchte sollte jedoch nicht unterschritten werden, da dies zum Austrocknen und zu Reizungen der Schleimhäute führen kann. Auch Beschwerden durch zu trockene Augen können auftreten.

Bei sehr kalten Außentemperaturen und bei Lüftungsanlagen ohne Befeuchtungsmöglichkeit kann durch die Zuführung trockener Außenluft die Luftfeuchtigkeit im Raum stark absinken. In diesem begrenzten Zeitraum können die Mindestluftmengen unterschritten werden.

Voraussetzungen für ausreichende Feuchtwerte während der Heizperiode:

- Dichte Gebäudehülle (keine zusätzliche Infiltration trockener Außenluft)
- Anpassung der Luftmenge an Bedarf, nur soviel trockene Außenluft einbringen wie unbedingt notwendig (nach Personenanzahl bzw. gemessene Luftqualität)

Maßnahmen zur Erhöhung der Feuchtwerte während der Heizperiode:

- Erhöhter Feuchteeintrag im Aufenthaltsbereich z.B. durch Pflanzen
- Hygienisch einwandfreie Feuchterückgewinnung aus der Abluft durch den Einsatz regenerativer Wärmeaustauscher (Rotationswärmetauscher)
- Hygienisch einwandfreie Befeuchtung über die Lüftungszentrale
- Kurzfristiges Absenken der Außenluftfrate beim Unterschreiten des unteren Feuchtigkeitsgrenzwertes im Raum (20 % r.F.)

Wärme - und Feuchteausaustausch durch Rotationswärmetauscher

Rotationswärmetauscher sind regenerative Systeme, mit deren Hilfe ein Teil der Abluft-wärme zur Außenluftvorwärmung verwendet wird. Ist die Wärmetauscherfläche zusätzlich noch hygroskopisch beschichtet, so wird auch die Feuchtigkeit zwischen den Luftströmen ausgetauscht. Bei Winterkonditionen (niedrige absolute Feuchte der Außenluft) ist es sehr vorteilhaft, wenn die Feuchte der Abluft auf die trockene Außenluft übertragen wird.

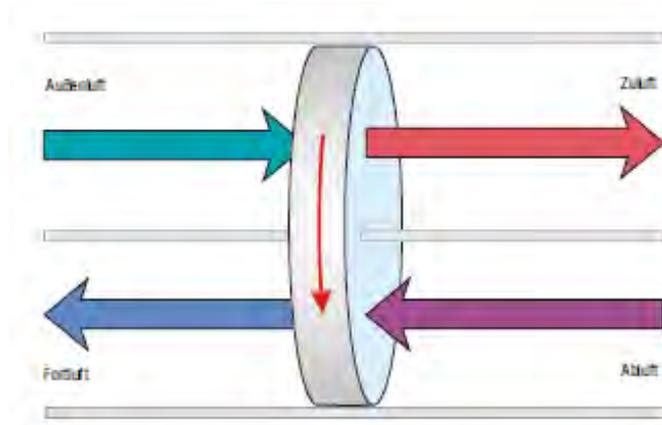


Abbildung 17: Prinzipschema Rotationswärmetauscher (Klingenburg.de)

4.3 Luftvolumenstrom - Regelungsmöglichkeiten

Die praktische Erfahrung zeigt, dass mit einem bedarfsgerechten Betrieb der Energieverbrauch einer Lüftungsanlage oft wesentlich reduziert werden kann.

Grundsätzlich wird unterschieden zwischen:

- Systemen mit **variablen Volumenstrom** und
- Systemen mit konstanten Volumenstrom
- Systeme mit variablen Volumenstrom (VAV)

In Räumen, in denen wechselnde Betriebsverhältnisse herrschen, wird der Luftvolumenstrom entsprechend dem tatsächlichen Bedarf geregelt.

4.3.1 Anlagen mit bedarfsabhängiger variabler Volumenstromregelung (VAV)

Die bedarfsabhängige Volumenstromregelung ist abhängig von:

- der Anzahl der anwesenden Personen im Raum
- der Luftqualität im Raum

Folgende Raumsensoren werden angewendet:

- Präsenzmelder (Bewegungssensoren)
- Zählsensoren
- CO₂-Sensoren (werden hauptsächlich in Räumen mit Rauchverbot verwendet)
- Mischgas-Sensoren (werden auch in Räumen mit Raucherlaubnis verwendet)

Die Sensoren können auch kombiniert werden, z.B. Präsenzmelder mit CO₂ Sensor.

1. Dezentrale Anlage mit VAV

Die bedarfsabhängige Volumenstromregelung ist hier sehr einfach durch den Einsatz drehzahlregelbarer hocheffizienter Gleichstrommotoren (EC-Motoren) bzw. durch Motorantriebe mit Frequenzumformer (FU) umzusetzen. Sinkt der erforderliche Volumenstrom im Aufenthaltsbereich, so reduziert die im Raum installierte Ventilatoreinheit (Zuluft/Abluft) die Drehzahl und somit auch die elektrische Leistungsaufnahme.

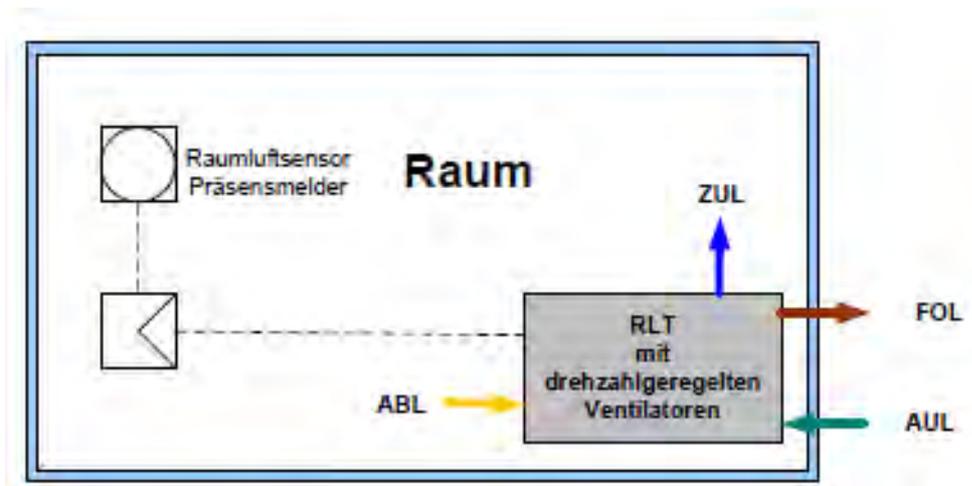


Abbildung 18: Schema dezentrale Anlage mit variabler Volumenstromregelung

2. Zentrale Anlage mit VAV

Bei zentralen und semizentralen Anlagen werden zur bedarfsabhängigen Zuluftversorgung raumweise **Volumenstromregler** eingesetzt.

Durch die unterschiedlichen Luftvolumenströme werden im Luftleitungsnetz große Druckschwankungen hervorgerufen. Um den Druck konstant zu halten, wird über einen **Konstantdruckregler** die Drehzahl und somit der Volumenstrom in der zentralen Ventilatoreinheit (Abluft/Zuluft) geregelt.

Diese Maßnahme ist allerdings mit einem erheblichen regeltechnischen Aufwand verbunden.

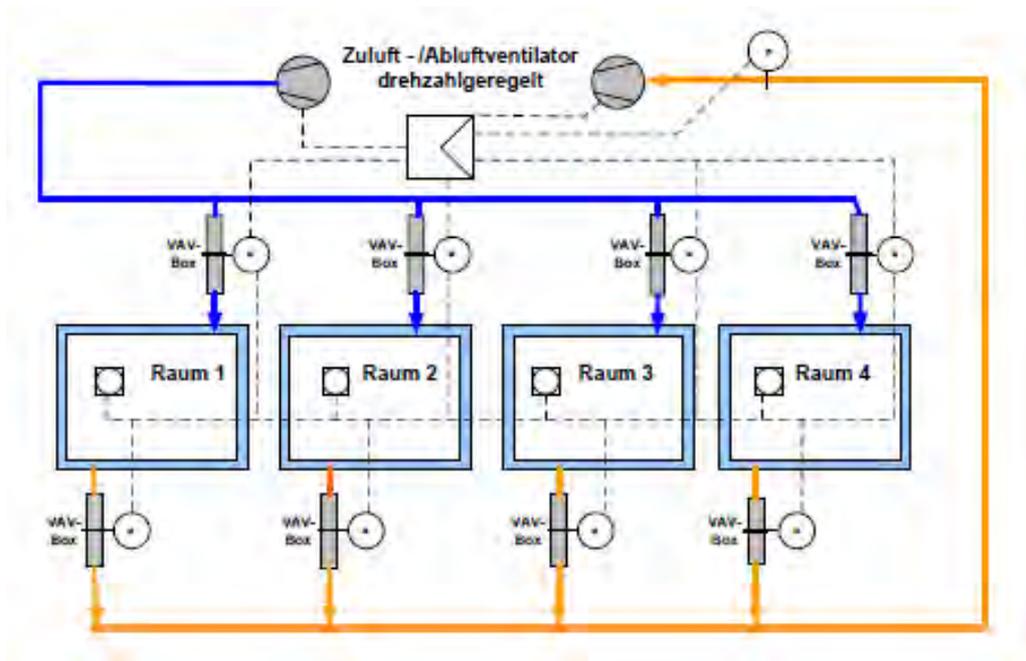


Abbildung 19: Schema einer zentralen Anlage mit VVS und Volumenstromregler

Volumenstromregler müssen sehr oft große Druckdifferenzen aufbauen, wodurch es zur Geräuschbildung kommt. Um eine Schallübertragung in den Aufenthaltsbereich zu vermeiden, müssen oft zusätzliche **Schalldämpfer** in die Luftleitung eingebaut werden.

Vorteil: individuelle und bedarfsgerechte Zuluftversorgung raumweise möglich, Reduktion der Energiekosten für den Lufttransport

Nachteil: erhöhter Regelungsaufwand

4.3.2 Anlagen mit konstanten Volumenstrom

Aufenthaltsbereiche mit gleichen Betriebsverhältnissen und gleichen Nutzungszeiten werden von der zentralen Lüftungsanlage mit einem konstanten Luftvolumenstrom versorgt.

Die erforderliche Luftmenge in den einzelnen Bereichen wird nur im Zuge der Inbetriebnahme über die Mengeneinstellung am Zuluftauslass eingestellt. Eine Bedarfsregelung einzelner Räume ist hier nicht möglich. Die Motorantriebe der zentralen Ventilatoren sind polumschaltbar und verfügen über eine Drehzahlstufenschaltung.

Folgende Steuerungsarten sind möglich:

- Die Anlage unterliegt einer manuellen Steuerung
- Die Anlage wird nach einem vorgegebenen Zeitplan betrieben
- Die Anlage wird abhängig von der Anwesenheit von Personen betrieben (die zentrale Ventilatoreinheit wird erst abgeschaltet, wenn alle Räume leer sind (Summenmeldung))

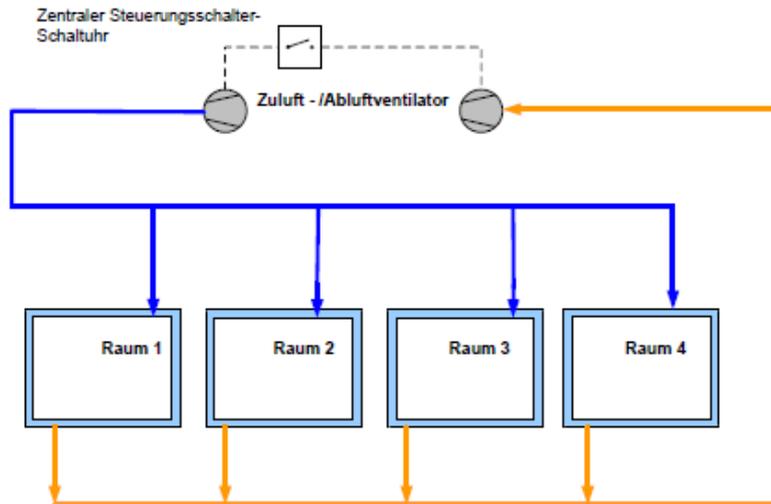


Abbildung 20: Zentralen Lüftungsanlage mit konstantem Volumenstrom

Vorteil: geringe Investitionskosten, geringer Regelungsaufwand

Nachteil: hoher Energieverbrauch konstante Luftmengen und höhere Einschaltdauer in nicht genutzten Bereichen

4.3.3 Auswahlkriterien für eine bedarfsgerechte Lüftung

zentral	semizentral	dezentral
sehr aufwendige bedarfsgerechte Luftregelung, hoher Aufwand durch den raumweisen Einbau von Volumenstromreglern und Schalldämpfern in die Zu/und Abluftleitungen	aufwendige bedarfsgerechte Luftregelung, hoher Aufwand durch den raumweisen Einbau von Volumenstromreglern und Schalldämpfern in die Zu/und Abluftleitungen	einfache, bedarfsgerechte, raumspezifische Regelbarkeit, präsenzabhängig bz. CO ₂ geführte Luftmenge raumweise leicht realisierbar, hohe Flexibilität im Bezug auf die klassenspezifische Nutzung
aufwendige Regelungs- und Steuerungstechnik, jede Raumregleinheit kommuniziert mit der Lüftungszentrale und den dezentralen Volumenstromreglern, höherer Aufwand für Steuerungsleitungen durch die räumliche Entfernung	aufwendige Regelungs- und Steuerungstechnik, jede Raumregleinheit kommuniziert mit der Lüftungszentrale in der Zone und den dezentralen Volumenstromreglern in der Zone, geringerer Aufwand für Leitungsführungen durch die räumliche Nähe der Zone	geringerer Aufwand für die Regelungs- und Steuerungstechnik, die Raumregleinheit wirkt direkt auf das dezentrale Lüftungsgerät im Raum
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4.3.4 Systemvergleich von bedarfsgesteuerten Lüftungsanlagen

Im Rahmen des Forschungsprojektes - CO₂-gesteuerte Lüftungen in Schulhäusern- vom Schweizer Bundesamt für Energie (www.bfe.admin.ch) wurden Schulgebäude mit verschiedenen Systemen zur Bedarfslüftung untersucht. Die Luftaufbereitung erfolgt zentral.

1. Zeitgesteuerte Anlage

- Jeder Raum verfügt über mechanisch einstellbare Volumenstromregler in der Zu- und Abluft, welche die Sollluftmenge sicherstellen. Durch die fixe Einstellung ist keine Reduktion der Luftmenge bei Teilbelegung möglich
- Die Anlage wird zentral über ein Zeitprogramm gesteuert. Die Betriebszeiten sind für alle Schulräume identisch

2. Präsenzgesteuerte Anlage

- Jeder Raum verfügt über motorisch angesteuerte Volumenstromregler in der Zu- und Abluft
- Der Präsenzmelder (PIR-Sensor) steuert die Volumenstromregler an (ein /aus)
- Verbrauchsreduktion von 0.4 bis 0.6 kWh Strom sowie 1.0 bis 1.3 kWh Heizwärme pro m³ /h

3. CO₂ gesteuerte Anlage

- Jeder Raum verfügt über motorisch angesteuerte Volumenstromregler in der Zu- und Abluft
- Der CO₂ Sensor steuert die Volumenstromregler an (0 bis 100%)
- Verbrauchsreduktion von 0.6 bis 1 kWh Strom sowie 1.8 bis 2.3 kWh Heizwärme pro m³ /h

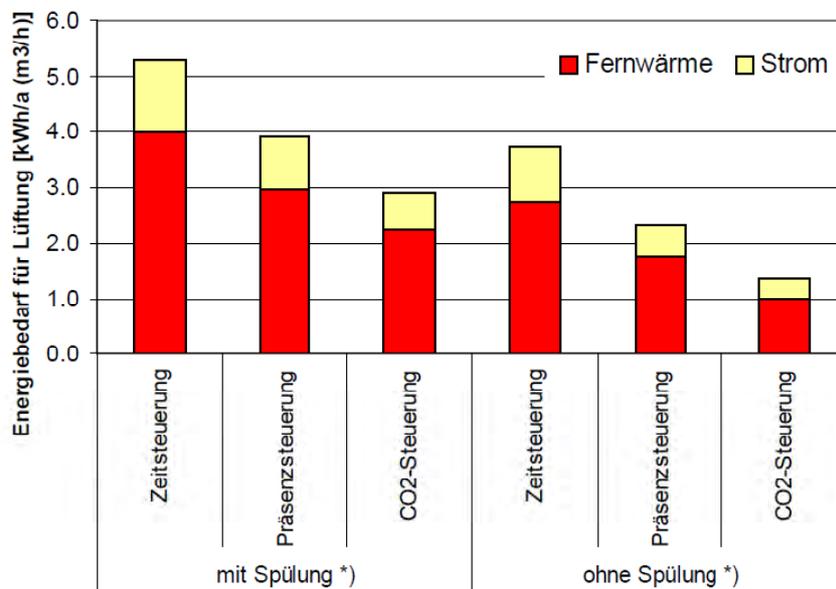


Abbildung 21: Vergleich des spez. Energiebedarfs bei verschiedenen Lüftungssteuerungen (CO₂-gesteuerte Lüftungen in Schulen - W. Hässig, A. Primas, P. Karlstöm, M. Leonarz, M. Marti)

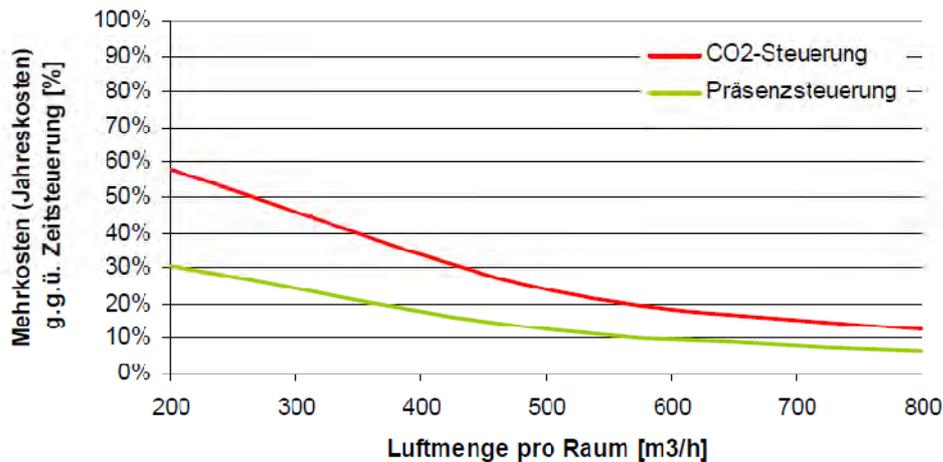


Abbildung 22: Vergleich der Jahreskosten für Zeit- Präsenz- und CO₂-Steuerung

Die Jahreskosten bestehen aus Kapitalkosten, Energiekosten, Instandhaltungskosten und div. Kosten (Versicherungen etc.).

Schlussfolgerung aus der Schweizer Studie:

Je kleiner die Auslegungsluftmenge des Raums ist, desto höher sind die prozentualen Mehrkosten. Bedarfsabhängige Steuerungen sind also vor allem für größere Räume von Interesse und insbesondere, wenn sehr unterschiedliche Belegungen oder lange Betriebszeiten der Anlage vorkommen.

4.4 Akustische Anforderungen an eine Lüftungsanlage

Die Schallbelastung im Aufenthaltsbereich ist ein wesentlicher Aspekt für die Nutzerzufriedenheit.

4.4.1 Höchstwerte für Schalldruckpegel nach ÖNORM EN 13779:2007

Bestehen keine Regelungen oder wurden keine besonderen Anforderungen festgelegt, gelten als zulässige Höchstwerte des Schalldruckpegels einer Anlage im Raum die Referenzwerte nach untenstehender Tabelle:

Gebäude-/Raumart	Empfohlener Bereich Schalldruck dB(A)
Einzelbüro	30 – 40
Großraumbüro	35 – 45 ^a
Konferenzraum	30 – 40
Auditorium	20 – 35
Cafeteria/Restaurant	35 – 50
Klassenraum, Kindergarten	35 – 45
Kaufhaus	40 – 50
^a Aus Gründen des Schutzes von Unterhaltungen wird in diesem Fall empfohlen, keine geringeren Pegel im Raum anzustreben.	

Tabelle 6: Beispiele für A-bewertete Auslegungsschalldruckpegel (ÖNORM EN 13779:2007)

Die in der Tabelle 6 angeführten Höchstwerte sind nicht sehr ambitioniert. Die Evaluierung von Klassenzimmerlüftungen in Österreich ergab zum Beispiel, dass Anlagen mit einem Schalldruckpegel über 30 dB(A) im Aufenthaltsbereich bereits als störend empfunden wurden.

4.4.2 Maßnahmen zur Reduktion der Schallbelastung im Aufenthaltsbereich

Schallschutz vor Außenlärm: Um den maximalen Schallschutz geschlossener Fenster nutzen zu können, dürfen die Durchlässe von Außenluft und Fortluft den Schallschutz der Außenbauteile nicht schwächen. Dies wird durch entsprechende Schalldämpferauslegung sichergestellt. An stark lärmbelasteten Standorten sind zentrale Anlagen zu bevorzugen.

Schallschutz Lüftungsgerät: Um die Schallfortpflanzung vom Gerät an das Luftleitungsnetz zu unterbinden, sind entsprechende an das Frequenzband des Gerätes angepasste Schalldämpfer in der Zuluft- und Ablufthauptleitung vorzusehen.

Telefonieschallschutz: Bei zentralen Anlagen muss die Schallübertragung zwischen den Klassenräumen und zu Überströmräumen hin, bedingt durch die gemeinsamen Zuluft- und eventuell Abluftstränge mit entsprechenden Schalldämpfern soweit verringert werden, dass das einzuhalten Schalldämmmaß der Raumtrennung zwischen den Klassenräumen nicht geschwächt wird.

5 Errichtungskosten – Lüftungsanlagen mit WRG

Die Investitionskosten für den Einbau von mechanischen Be- und Entlüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung in Unterrichtsgebäuden wurden im Jahr 2008 im Rahmen eines Forschungsprojektes aus der Programmlinie Haus der Zukunft erhoben und veröffentlicht unter www.komfortlüftung.at.

5.1 Lüftungsanlagen in Unterrichtsgebäuden –spezifische Investitionskosten

Die spezifischen Investitionskosten je m² belüfteter Nutzfläche liegen bei den erhobenen Anlagen in der Bandbreite von:

System	Bandbreite der spezifischen Investitionskosten
Zentral	80 bis 140 €/m ² (exkl. MWSt.)
dezentral	90 bis 170 €/m ² (exkl. MWSt.)

Tabelle 7: spezifische Systemkosten von Lüftungsanlagen

Für **semizentrale Anlagen** können die spezifischen Errichtungskosten aus dem oberen Bandbereich der zentralen Anlagen herangezogen werden.

5.2 Lüftungsanlagen in Bürogebäuden

Da im Bürobereich die Belegungsdichte geringer ist, können zur Kostenabschätzung die Werte aus dem **unteren Bandbereich** der Systemkosten (Tabelle 7) herangezogen werden.

5.3 Kostenvergleich zentrale –dezentrale Anlagen

Zentrale Anlagen haben einen Kostenvorteil gegenüber dezentralen Lüftungsanlagen. Bei den zentralen Konzepten wird aber meist auf eine klassenweise Steuerung bzw. Regelung der Luftmenge verzichtet, um den Kostenvorteil gegenüber dezentralen Anlagen nutzen zu können. Vergleicht man gleichwertige Lösungen hinsichtlich des Bedarfs angepasster Luftmengen (z.B. durch Volumenstromregler bei zentralen Systemen), so kann man **keine eindeutigen Kostenvorteile** mehr ausmachen.

6 Betrieb und Instandhaltung

6.1 Strombedarf von Lüftungsanlagen

Der Strombedarf der Ventilatoren ist einer der wesentlichen Betriebskosten.

- Durch eine entsprechend günstige Auslegung der Luftleitungen (siehe Kapitel 4.1.3)
- durch den Einsatz effizienter Lüftungsgeräte mit niedriger SFP Klasse (Ventilatoren - siehe Kapitel 0)
- durch geringe Widerstände der Geräteeinbauteile

können die Stromkosten gesenkt werden.

Im Vergleich schneiden hier dezentrale Geräte aufgrund der verfügbaren effizienteren Motortechnologie und der in der Praxis angepassteren Betriebszeiten besser ab. Zusätzlich verursachen die längeren Leitungsnetze von zentralen Anlagen deutlich höhere Druckverluste und damit höhere Stromkosten.

6.1.1 Energiekennzahlen (Benchmarks) zur Abschätzung der jährlichen Stromkosten für eine Lüftungsanlage in Bürogebäuden

In einer Erhebung des ÖÖ Energiesparverbandes wurden jährliche Stromverbräuche für Lüftungsanlagen in Bürogebäuden erhoben (ohne Wärme und Kälte).

Daraus wurden folgende spezifische Kennzahlen (Benchmarks) ermittelt:

Belegung	Personenfläche m ² /P	spez. Stromverbrauch -typisch		spez. Stromverbrauch - effizient	
		Nichtraucher kWh/m ² /a	Raucher kWh/m ² /a	Nichtraucher kWh/m ² /a	Raucher kWh/m ² /a
sehr dicht	5	29	58	17	34
dicht	10	14	28	8	17
mittel	15	10	21	6	11
schwach	20	7	15	4	8

Tabelle 8: Spezifischer Stromverbrauch für eine typische Lüftungsanlage in einem Bürogebäude (Energiesparverband ÖÖ)

In den Schweizer SIA Normen werden Empfehlungen für den spezifischen Stromverbrauch in zentralen Lüftungsanlagen (ohne Wärme und Kälte) laut folgender Tabelle angegeben.

Gebäudetyp	spez. Leistungsaufnahme W/m ²		Spez. Stromverbrauch kWh/m ² /a	
	Grenzwert	Zielwert	Grenzwert	Zielwert
Großraumbüro	2	1,2	5,7	3,5

Richtwerte spezifischer Stromverbrauch für Lüftung ([SIA Schweiz](#))

6.1.2 Energiekennzahlen (Benchmarks) zur Abschätzung der jährlichen Stromkosten für eine Lüftungsanlage in Schulgebäuden

Im Leitfaden www.komfortlüftung.at werden für dezentrale Lüftungsanlagen in Schulklassen Verbrauchswerte für elektrische Energie von **3 kWh/m²/a** bis **5,5 kWh/m²/a** als derzeit realistisch erreichbar angegeben.

6.1.3 Typische Verteilung der Lebenszykluskosten für Zentrallüftungsgeräte in einem Bürogebäude

Bei der Kostenverteilung für eine Lüftungszentrale über den gesamten Nutzungszeitraum zeigt die untenstehende Grafik, dass die Energiekosten bis zu 75% der Gesamtkosten (Investition-Instandhaltung – Energie) ausmachen.

Davon wird ein erheblicher Anteil von 46% für den Antrieb der Ventilatoren verwendet.

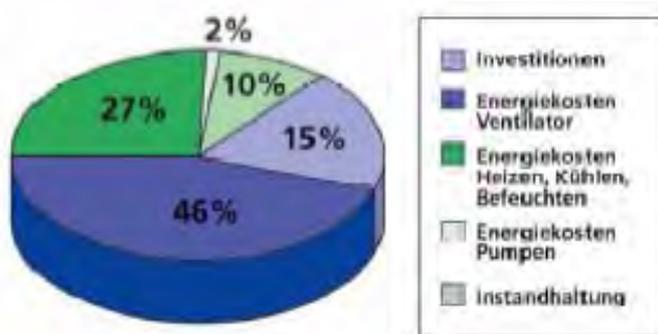


Abbildung 23: Typische Lebenszykluskosten einer Lüftungszentrale (Eurovent)

6.2 Wärmebedarf von Lüftungsanlagen

Wie im Kapitel 3.6.1 schon dargestellt wird der Energieeinsatz zur Zuluftnachwärmung durch die Qualität der Wärmerückgewinnung bestimmt.

ERG-System		Rückwärmezahl (Φ)	Rückfeuchtezahl (Ψ)
Kategorie I – Rekuperatoren			
	Plattenwärmetauscher	0,4-0,8	0,0
	Röhrenwärmetauscher	0,3-0,5	0,0
Kategorie II – mit Wärmezwischenträger			
Kreislaufverbundsystem	Kompakt Wärmetauscher	0,3-0,5	0,0
	Gegenstrom Schichtwärmetauscher	0,7-0,8	0,0
Wärmerohre	Schwerkraftwärmerohr	0,2-0,4	0,0
	Kapillarwärmerohr	0,5-0,8	0,0
Wärmepumpe	Kompressor Wärmepumpe	---	0,0
	Adsorptionswärmepumpe	---	0,0
Kategorie III – Regeneratoren			
Rotor	Rotor ohne Sorption	0,7-0,8	0,1-0,2
	Rotor mit Sorption	0,7-0,8	0,6-0,7
sonstige	Kapillargebläse	0,2-0,4	0,2-0,4
	Umschalt Speicher	0,6-0,9	0,5-0,7

Wärme - Feuchtgewinne verschiedener WRG Systeme (klima:aktiv Lüftungsleitfaden)

6.3 Instandhaltung

Die Instandhaltung kann nach der ÖNORM M 8100:1985 grundsätzlich in die drei folgenden Bereiche eingeteilt werden:

- Wartung (versierte Hausbetreuung und/oder Wartungsfirma)
- Inspektion (Fachfirma)
- Instandsetzung – Überholung bzw. Reparatur (Fachfirma)

6.3.1 Erforderliche Wartungsarbeiten

Durch eine regelmäßige Wartung und Inspektion von Lüftungsanlagen werden unnötige Energieverluste vermieden.

- Regelmäßiger Filtertausch (bei dezentralen Anlagen kürzere Intervalle - mehrmals pro Jahr- als bei zentralen Anlagen)
- Reinigung der Geräteeinbauteile und der Luftleitungen
- Nachspannen der Keilriemen(wenn vorhanden)
- Funktionskontrolle Regelung und Steuerungen
- Überprüfung der Brandschutzeinrichtungen

Die Bedienung und Wartung der einzelnen Komponenten ist bereits in der Planung zu berücksichtigen. Dies betrifft hauptsächlich die Zugänglichkeit für Bedienung, Reinigung, Demontage und Ersatz, Kontrollfenster und -türen.

Werden Anzeigeinstrumente für Messungen und Überwachungen miteingeplant (z.B. Filterüberwachung mittels Differenzdruckanzeige), so wird die Wartung effizienter.

Je nach Qualifizierung des technischen Hauspersonals können Wartungsarbeiten selbst durchgeführt werden. Bei einem Filtertausch ist jedoch zu berücksichtigen, daß die Filter fachgemäß zu entsorgen sind.

6.3.2 Instandhaltungskosten

In Bürogebäuden:

Typische Werte für die **jährlichen Instandhaltungskosten** von Lüftungsanlagen in Bürogebäuden liegen bei **ca. 3 bis 4 % der Investitionskosten** (Quelle: Leitfaden Komfortlüftung.at /IBI-Datenbankprojekt der FH Kufstein).

In Schulgebäuden:

Für die gesamten Instandhaltungskosten von Klassenzimmerlüftungen liegen für Schulen (noch) keine Werte vor. Die Gesamtkosten für die Instandhaltung in Schulen sind den Kosten in Bürogebäuden jedoch ähnlich.

Die wichtigsten kostenrelevanten Punkte für eine Schule sind:

Filterkosten: Die Filterkosten bei den untersuchten Anlagen (Evaluierung Klassenzimmerlüftungen in Österreich) liegen in der Bandbreite von:

- Für dezentrale Anlagen ca. € 40,-- bis 80,-- pro Schulklasse und Jahr (exkl. MWSt.)
- Für zentrale Anlagen ca. € 400,-- bis 600,--
- Für die gesamte Schule bzw. 25– 50,-- pro Klasse und Jahr (exkl. MWSt.)

6.3.3 Anlagenbetreuung (Wartung, z.B. Zeit für Filtertausch in Schulen)

Je nach Qualifizierung des technischen Hauspersonals können Wartungsarbeiten selbst durchgeführt werden. Bei einem Filtertausch ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Filter fachgemäß zu entsorgen sind. Die laufende Betreuung durch die Hausbetreuung der Anlagen ohne Wartungsvertrag liegen nach den Angaben der Hausbetreuer (Schulwarte) in der Bandbreite von:

- Für dezentrale Anlagen 0,25 bis 2 Std. pro Schulklasse und Jahr
- Für zentrale Anlagen 4 bis 50 Std. pro Monat für die gesamte Schule bzw. 0,3 bis 2 Std. pro Klasse

6.3.4 Auswahlkriterien nach Wartungsaufwand

Bei dezentralen Geräten müssen die Filter aufgrund der kleinen Filterflächen mehrmals pro Jahr gewechselt werden. Aufgrund des höheren Manipulationsaufwandes und der höheren Anschaffungskosten bei mehreren dezentralen Filtern gegenüber einem zentralen Filter sind zentrale Anlagen in diesem Bereich klar im Vorteil.

Je nach Luftqualität und Filterqualität müssen auch die Luftleitungen gereinigt werden (ca. alle 15 bis 20 Jahre)

zentral	semizentral	dezentral
geringer Aufwand für Filtertausch Zeit unkritisch	mittlerer Aufwand für Filtertausch	sehr hoher Kosten- und Zeitaufwand für Filtertausch
leichte Zugänglichkeit für wartungsarbeiten	Zugang für Wartungsarbeiten möglich (zonenweise)	hoher Aufwand bei Zugänglichkeit
hoher Aufwand zur Reinigung der Luftleitungen	mittlerer Aufwand zur Reinigung der Luftleitungen	geringer bis kein Aufwand zur Reinigung der Luftleitungen
Funktionskontrolle leicht möglich	Funktionskontrolle möglich	hoher Aufwand für Funktionskontrolle
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

7 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Wenn man davon ausgeht, dass die laufenden Kosten einer mechanischen Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung durch die Energieersparnis gegenüber einer Situation ohne mechanische Lüftungsanlage in etwa ausgeglichen werden, so bleiben als zu finanzierender Beitrag nur die Investitionskosten übrig (nach Leitfaden für Klassenzimmerlüftungen in Österreich).

Bei den Betrachtungen zur Wirtschaftlichkeit muss man auch das **CO2 Einsparpotential**, die **höhere Luftqualität** und die damit verbundene **verbesserte Arbeits- und Lernsituation** bewerten.

8 Literaturhinweise

ÖNORM EN 13779:2007 Ausgabe 2008-01-01 Lüftung von Nichtwohngebäuden
Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlage und Raumkühlsysteme

Evaluierung von mechanischen Klassenzimmerlüftungen in Österreich

Projekthomepage: www.komfortlüftung.at

Planungsleitfaden Klassenzimmerlüftung Projekthomepage: www.komfortlüftung.at

Energieeffizienz bei Lüftungsanlagen MA27 Wien

Städtische Energieeffizienzprogramm der Stadt Wien www.sep.wien.at

CO₂ gesteuerte Lüftungsanlagen in Schulen Bundesamt für Energie, AHB Zürich und Kanton Zürich www.energieforschung.ch

9 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Prinzipschema einer Lüftungsanlage (Lüftungsleitfaden Wien)	6
Abbildung 2: Schema einer zentralen Anlage, Zu-/ und Abluft raumweise.....	7
Abbildung 3: Schema zentrale Lüftung – Abluftabsaugung über Nebenbereich	8
Abbildung 4: Ablufführung aus dem zentralen Stiegenhaus als Abluftbereich spart eine aufwendige Luftleitungsführung für die Abluft (komfortlüftung.at)	8
Abbildung 5: semizentrale Anlage mit zentraler Luftaufbereitung und Wärmerückgewinnung (komfortlüftung.at)	9
Abbildung 6: dezentrale Anlage mit zentraler Luftaufbereitung und Wärmerückgewinnung (komfortlüftung.at)	10
Abbildung 7: Beispiele einer dezentralen Anordnung der Außenluft/Fortluft (Schule Ainet Osttirol).....	16
Abbildung 8: Anordnung von Luftbehandlungsgeräten im Aufstellungsraum (Grundriss) nach ÖNORM EN 13779:2007	18
Abbildung 9: kompaktes Standgerät Fabrikat Systemair.....	19
Abbildung 10: Zwischendeckengerät Fabrikat Systemair.....	19
Abbildung 11: Dezentrales Lüftungsgerät unter der Decke montiert und verkleidet.....	20
Abbildung 12: Schachtquerschnitte nach ÖNORM EN 13779:2007	22
Abbildung 13: Funktionsprinzip der Mischlüftung	23
Abbildung 14: Schallgedämmte Überströmelemente für Wandeinbau (Fabrikat Westaflex).....	25
Abbildung 15: CO ₂ – Konzentration in Schulklassen (Deutsche Bundesstiftung Umwelt)	29
Abbildung 16: Diagramm mit eingetragendem Behaglichkeitsfeld abhängig von Temperatur und Feuchte (Heinz Gabernig, Energie- und Klimatechnik, Ausgabe 1995)	30
Abbildung 17: Prinzipschema Rotationswärmetauscher (Klingenburg.de).....	32
Abbildung 18: Schema dezentrale Anlage mit variabler Volumenstromregelung.....	33
Abbildung 19: Schema einer zentralen Anlage mit VVS und Volumenstromregler	34
Abbildung 20: Zentralen Lüftungsanlage mit konstantem Volumenstrom	35
Abbildung 21: Vergleich des spez. Energiebedarfs bei verschiedenen Lüftungssteuerungen (CO ₂ -gesteuerte Lüftungen in Schulen - W. Hässig, A. Primas, P. Karlstöm, M. Leonarz, M. Marti)	36
Abbildung 22: Vergleich der Jahreskosten für Zeit- Präsenz- und CO ₂ -Steuerung.....	37
Abbildung 23: Typische Lebenszykluskosten einer Lüftungszentrale (Eurovent).....	41

Fassadensysteme mit hohen Dämmstärken

Sanierung nach BIGMODERN Standard

Stand: Mai 2011



Auftraggeber:



Bundesministerium
für Verkehr,
Innovation und Technologie

Impressum

Grazer Energieagentur GmbH
Gerhard Bucar, Rudolf Grossauer,
Thomas Mayrold-Neubauer, Ernst Meissner
Kaiserfeldgasse 13/I
8010 Graz
Österreich

Telefon +43-316-811848

Fax +43-316-811848-9

office@grazer-ea.at

<http://www.grazer-ea.at>

Inhaltsverzeichnis

1	Ausgangssituation und Zielsetzungen.....	3
2	Grundlagen zu Fassadensystemen in der Sanierung.....	4
2.1	Einleitung.....	4
2.2	Innovative Fassadensysteme.....	4
2.2.1	Holz-Fassadenelemente in Passivhausqualität.....	4
2.2.2	Passive Solarfassaden.....	6
2.2.3	Multifunktionale Energiefassaden.....	10
2.2.4	Fassaden mit innovativen Dämmsystemen.....	12
2.3	Planungsanforderungen.....	15
2.3.1	Fassadengliederung und Vorfertigungsgrade, Toleranzen.....	15
2.3.2	3D-Vermessung.....	16
2.3.3	Statik.....	17
2.3.4	Bauphysik.....	19
2.4	Kostenfaktoren.....	21
3	Vermeidung von Wärmebrücken.....	22
3.1	Grundlagen.....	22
3.1.1	Geometrische Wärmebrücken.....	23
3.1.2	Wärmebrücken durch unsachgemäße Ausführung.....	24
3.1.3	Konstruktive Wärmebrücken.....	27
3.2	Strategien zur Vermeidung von Wärmebrücken - Checkliste.....	27
4	Qualitätssicherung.....	29
4.1	Kontrolle mittels Bauthermografie.....	29
4.2	Kontrolle der Luftdichtheit.....	32
5	Alternativen bei denkmalgeschützten Gebäuden.....	35
5.1	Innendämmung.....	35
5.1.1	Systeme mit innenliegender Dampfbremse.....	36
5.1.2	Systeme ohne Dampfbremse.....	37
5.2	Kastenfenster mit Low-e Verglasung.....	38
5.3	Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung.....	39

1 Ausgangssituation und Zielsetzungen

Nachhaltige Gebäudestandards bedeuten in der Regel längere Bauzeiten und technische Risiken bei Verwendung neuer Technologien. Ziel ist es für den Bauherren BIG den Einsatz von vorgefertigten Fassadenelementen in Passivhausqualität (äquivalenter U-Wert der Fassadenelemente inkl. Solargewinne unter $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$) zu fördern:

Folgende Fragestellungen in diesem Kapitel behandelt:

- In welchen Anwendungsfällen bei Sanierungen ist die Ausführung welcher Systeme technisch und wirtschaftlich machbar und optimal eingesetzt – wo liegen technische Risiken und wie kann man sie umgehen, Schlüsselfaktoren für vorgefertigte Fassadenelemente (Kostentreiber, Statik inkl. Befestigungen, Elementgrößen etc.)
- Nachhaltige Alternativen bei denkmalgeschützten Gebäuden (z.B. Innendämmsysteme mit Cellulose) - Risiken, Lösungsmöglichkeiten
- Systemlösungen zur Wärmebrückenvermeidung bei hohen Dämmstärken
- Planungsanforderungen (z.B. hinsichtlich Wärmebrückenvermeidung, Wärme- und Schallschutz, Luftdichtheit und Abdichtung gegen Schlagregen etc.)

2 Grundlagen zu Fassadensystemen in der Sanierung

2.1 Einleitung

Im Zuge dieser Studie werden in diesem Kapitel ausschließlich innovative Fassadensysteme mit Schwerpunkt auf vorgefertigte Fassadenelemente behandelt. Konventionelle Wärmedämmverbundsysteme mit hohen Dämmstärken werden nicht näher betrachtet, da sie Stand der Technik und Anwendung sind (und sowohl vom Preis, als auch der Optik und Anforderungen nicht mit vorgefertigten Fassadenelementen vergleichbar sind).

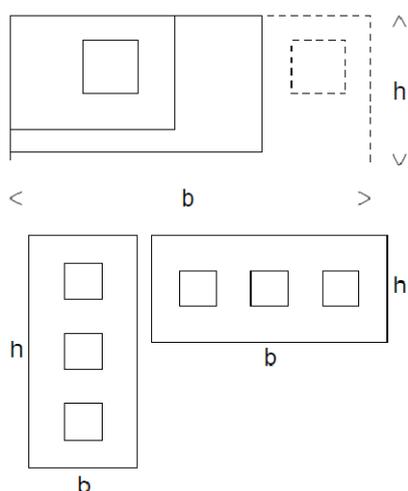
Vorgefertigte Fassadenelemente mit hohen Dämmstärken haben dort Zukunft, wo sie mit einem hohen Vorfertigungsgrad und geringer Variabilität (gleichmäßiges Fassadenerscheinungsbild) zum Einsatz kommen können. Hauptvorteil ist die **Verkürzung der Bauzeit** und die Möglichkeit eine **gravierende Verbesserung der thermischen Qualität bei Vollbetrieb des Gebäudes** zu ermöglichen (z.B. können die alten Fenster erst nach Aufbringung der neuen Fassadenelemente entfernt werden, es ist somit immer eine dichte Außenhülle vorhanden).

2.2 Innovative Fassadensysteme

2.2.1 Holz-Fassadenelemente in Passivhausqualität

Um Passivhausstandard zu erreichen sind Dämmstärken im Bereich 18 cm und größer gefordert (empfohlene U-Werte der Fassade unter $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$, je nach Oberflächen/Volumsverhältnis des Gebäudes). In Leichtbauweise (Holzriegelbau) lässt sich ein derartiges Fassadenelement mit vertretbaren Gesamtkonstruktionsdicken herstellen.

Basisstruktur von vorgefertigten Holz-Fassadenelementen ist in der Regel ein Holzskelett analog zur Holzrahmenbauweise bzw. wie sie in der Fertigteilhausbauweise (Leichtbauweise) zur Anwendung kommt. Die Einzelelemente sind selbsttragend, die Hohlräume der Tragstruktur sind mit Dämmung gefüllt und beidseitig mit Plattenelementen oder Vollschalung ausgesteift.



Die Einzelelemente sollen so weit wie möglich identisch sein, um die Vorteile der präzisen industriellen Serienfertigung voll nutzen zu können (viele verschiedene Elementgrößen und Formen = hohe Kosten). Die Form, Größe und Orientierung der maßgeschneiderten Fassadenelemente richtet sich entsprechend dem zu sanierenden Gebäude nach dessen Symmetrien. Begrenzender Faktor sind die Transport- und Montagemöglichkeiten. Für den Transport ist eine Elementlänge von max. 12 m gut geeignet.

Abbildung 1: Variabilität der Holz-Fassadenelemente bei horizontalen und vertikalen Symmetrien; Quelle: Endbericht Projekt „TES EnergyFa-

ade – prefabricated timber based building system for improving the energy efficiency of the building envelope“, 2011, Woodwisdom Net

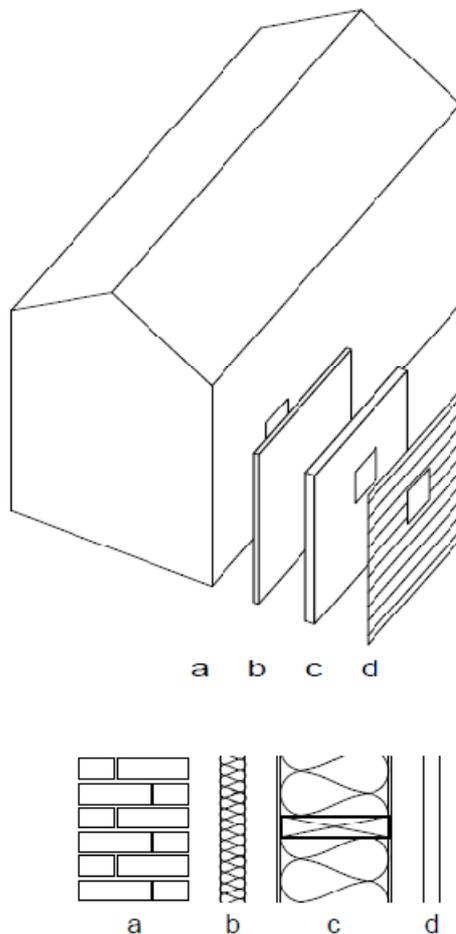


Abbildung 2: Prinzipaufbau bei der Sanierung mit vorgefertigten Fassadenelementen in Holzbauweise: a) Bestandsmauerwerk b) Ausgleichsdämmschicht c) selbsttragendes Fassadenelement in Holzbauweise d) Außenoberfläche/Fassade¹

Eine wichtige Rolle nimmt die Ausgleichsdämmschicht ein: Sie soll Fassadenebenheiten ausgleichen, keine Hohlräume aufweisen in denen Konvektion entstehen kann und muss bauphysikalische (z.B. luftdichte Anschlüsse) und brandschutztechnische Anforderungen erfüllen (siehe eigenes Kapitel Planungsanforderungen). In der Praxis hat sich die Anbringung vor Ort auf die bestehende Fassade bewährt, als Dämmstoff werden (Mineral)-Faserdämmstoffe eingesetzt (Vorsicht: witterungsabhängig! Dämmstoff darf nicht durchfeuchtet werden). Es ist aber auch die Anbringung auf dem Fassadenelement möglich, bei der Montage ist dann jedoch

ein horizontaler Anpressdruck erforderlich. Die Materialdicken müssen sich nach den Unebenheiten der bestehenden Fassade richten.

Als oberste, sichtbare Fassadenschicht kommen alle üblichen Oberflächen in Frage. Auch energieproduzierende Oberflächenmaterialien (PV-Elemente, Solarkollektoren etc.) können einfach integriert werden.

¹ Endbericht Projekt „TES EnergyFacade – prefabricated timber based building system for improving the energy efficiency of the building envelope“, 2011, Woodwisdom Net

2.2.2 Passive Solarfassaden

Das Prinzip der Solar-Fassadenelemente beruht auf der passiven Nutzung der auf die Fassade auftreffenden Sonnenenergie. Eine Kombination mit vorgefertigten Fassadenelementen ist sinnvoll.

Es gibt dabei verschiedenste Systeme:

- Nutzung mittels Absorber und Glasabdeckung (Absorber aus Holz und Zellulose)
- Transparente Bauelemente mit PCM
- Bewegliche Isolierpaneele
- Flüssigkeitsdurchströmte Glasfassaden

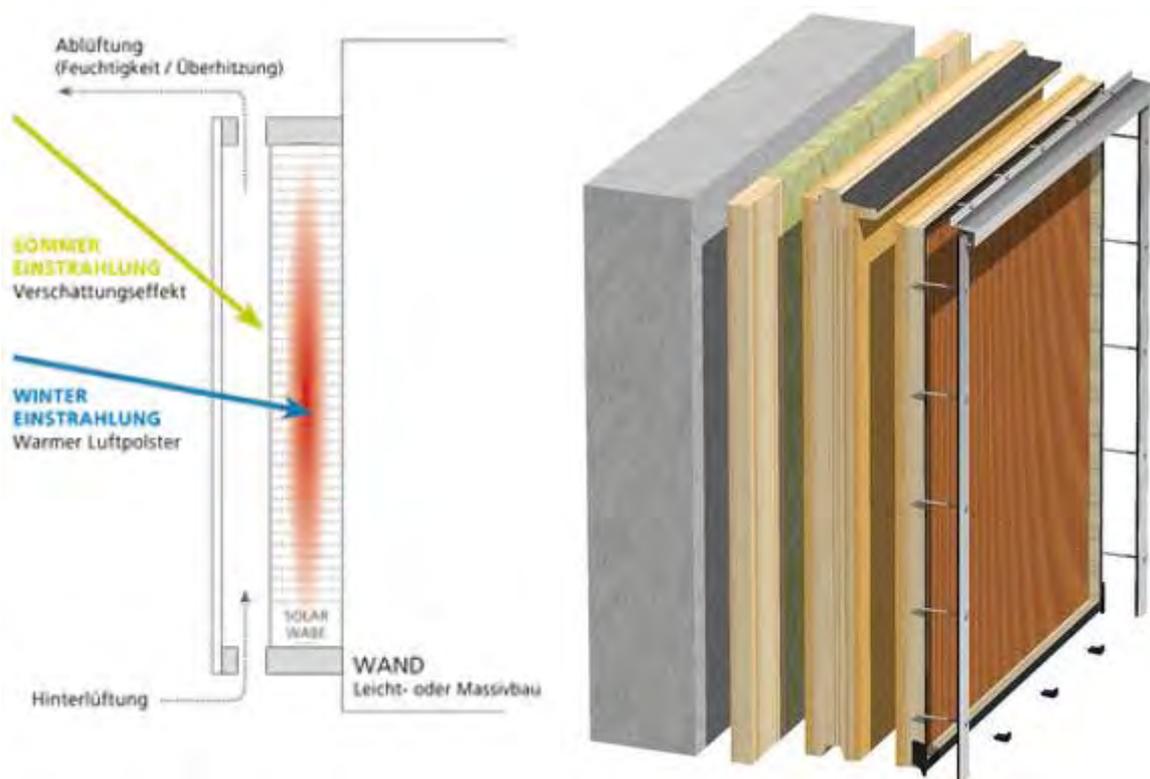


Abbildung 3 - Prinzipbild einer Solaraktiven Fassade (gap ISolution) Bildquelle: www.gap-solution.at

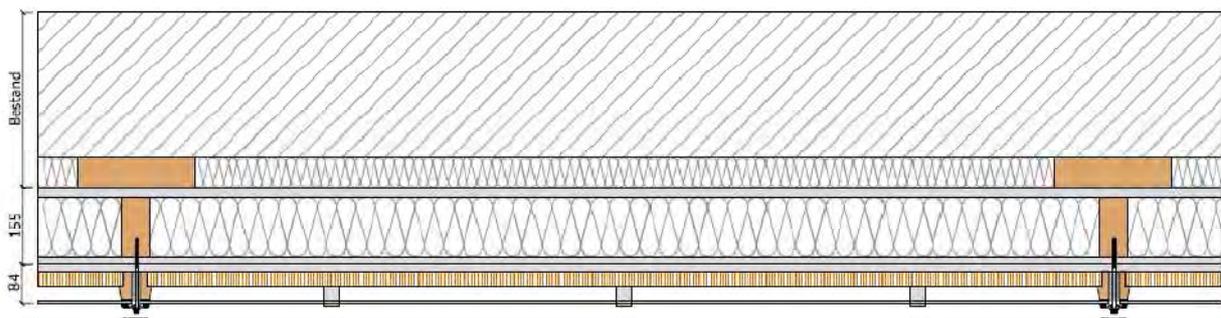


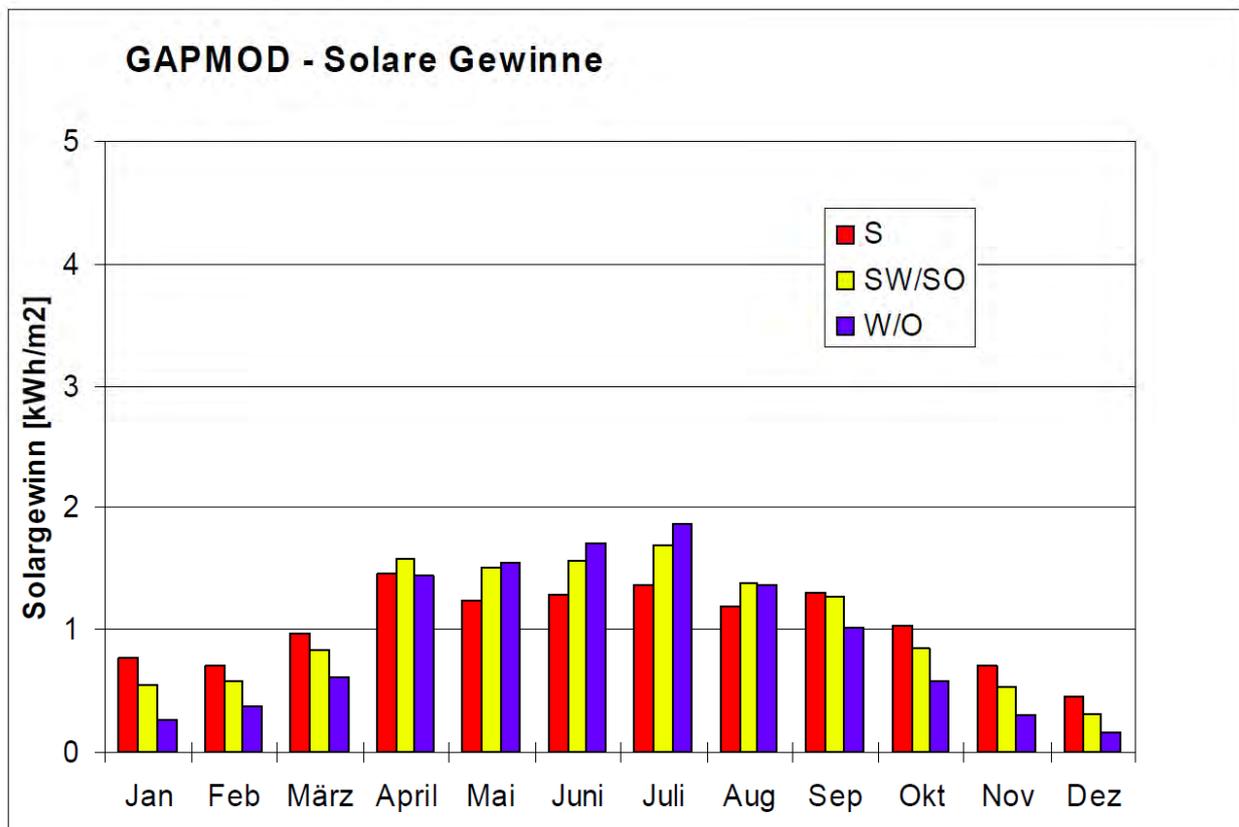
Abbildung 4 – Horizontalschnitt durch Fassadenelement mit Absorber hinter Glasplatte (gap ISolution) Bildquelle: www.gap-solution.at

Solargewinne

Solarnutzung zur Reduktion des Heizwärmebedarfs macht nur auf den Ost-, Süd und Westorientierten Fassaden Sinn. Zu beachten ist dabei, dass vor allem auch im Sommer Solarerträge durch die Wand hindurch ins Gebäude dringen und dabei die Kühllast erhöhen. Dies kann sich vor allem bei Ost-Orientierung der Fassade und einer Phasenverschiebung der Wand unter 12 Stunden am Nachmittag negativ auf das Raumklima auswirken (Spitze bei der Außenlufttemperatur trifft mit der Spitze der Wand-Innenoberflächentemperatur zusammen).

Das schwierigste bei der Dimensionierung der Solaraktiven Fassaden ist die Dimensionierung des Wärmeschutzes, so dass einerseits im Winter Solargewinne genutzt werden können und die sommerliche Überwärmung nicht überhandnimmt. Um die Ziele von BIGMODERN zu erreichen (HWB < 25 kWh/m²a) sind **Dämmstärken $\geq 18\text{cm}$** erforderlich.

Nachfolgendes Diagramm zeigt die Solarerträge einer solchen Fassade im Sommer und Winter (Wandaufbau: 1,5 cm Innenputz, 30cm HLZ, 3cm Ausgleichsdämmung, 6cm Wärmedämmung mit Vertikalpfosten Holz, 1,9 cm OSB-Platte, 12cm Wärmedämmung, 1,5 cm MDF Platte):



Aus obiger Grafik ist ersichtlich, dass auf der Südfassade das ausgewogenste Verhältnis zwischen sommerlichen und winterlichen Solareinträgen herrscht. Es macht daher Sinn derartige Fassaden im Bereich **Südost bis Südwest** einzusetzen.

Ein Beispiel für eine Südostfassade: Die Solarerträge bzw. der daraus resultierende äquivalente U-Wert (inkl. Solargewinn) in Abhängigkeit des gewählten Dämmstandards des Gesamt-Fassadenmoduls für z.B. den Standort Bruck an der Mur sieht wie folgt aus:

GAP-Solarmodul (helle Farbe) Erträge - Südostfassade

	U-Wert [W/m ² K]	g-Wert ^{*)} [-]	Solarertrag Okt.-April [kWh/m ²]	Solarertrag Sommer [kWh/m ²]	Wärmever- lust Winter [kWh/m ²]	Bilanz [kWh/m ²]	äqui. U-Wert [W/m ² K]
Gesamtaufbau inkl. Fassadenpaneel	0,35	0,054	16,8	17,8	-31,7	-15,0	0,16
	0,30	0,046	14,4	15,3	-27,2	-12,8	0,14
	0,25	0,039	12,0	12,7	-22,7	-10,7	0,12
	0,20	0,031	9,6	10,2	-18,1	-8,5	0,09
	0,15	0,023	7,2	7,6	-13,6	-6,4	0,07
	0,10	0,015	4,8	5,1	-9,1	-4,3	0,05

^{*)} Berechnung des g-Wertes entsprechend Vorgaben GAP-Solution GmbH bzw. Berechnungen des Fraunhofer-Institutes für Solare Energiesysteme Solarstrahlung für den Standort Bruck a.d. Mur auf Basis ÖNORM B 8110-5

Tabelle 1 – Solarerträge und äquivalenter U-Wert einer solaraktiven Fassade in Abhängigkeit des Dämmstandards; Quelle: Grazer Energieagentur

Dinge die zu beachten sind:

- Belüftung des Zwischenraumes zwischen Absorber und Glasscheibe mind. 30cm²/m
- Diffusionsoffene Bauweise
- Brandschutz der solaraktiven Fassade: Gesamtelement wird wie B1 behandelt
- Elemente bis 15m Länge erhältlich, bis 12m ist der Transport einfach
- Eigenlast (80-100 kg/m²) muss auf den Untergrund abgetragen werden – in der Regel über den Sockel des Gebäudes (je nach Untergrund)
- Genaue 3D Vermessung des Gebäudes erforderlich – Ausgleichsdämmung erforderlich um Unebenheiten auszugleichen und damit keine unkontrollierten Hohlräume zwischen Fassadenelement und Bestandsmauerwerk entstehen
- Fensterleibungen (Übergang Bestandsmauerwerk – Fassadenelement) müssen abgedichtet werden (Dampfsperre/Feuchteschutz, Brandschutz/Rauch, Gerüche, Schall [Achtung Schallbrücke hinter neuem Fassadenelement wenn Hohlräume vorhanden])
- Für Ecken sind Detaillösungen erforderlich – Übergänge meist nicht als vorgefertigtes Element möglich

- Haustechnische Durchdringungen und Komponenten (Lüftung) mitplanen! Durchdringungen müssen innen luft- und dampfdicht sein und außen luftdicht und diffusionsoffen.

2.2.3 Multifunktionale Energiefassaden

Energiefassaden kombinieren herkömmliche Fassadenelemente mit aktiven Solarelementen (thermische Solarenergiegewinnung und Photovoltaik) in Richtung Plus-Energiefassaden [siehe auch Projekt plusFassaden, Haus der Zukunft Plus]. Eine Erweiterung stellen die multifunktionalen und adaptiven Fassadensysteme dar, welche zusätzlich zu den energieerzeugenden Komponenten auch noch dezentrale Lüftungsgeräte mit Wärmerückgewinnung, Heizung, Kühlung und Sonnenschutz enthalten können.

Bestandsgebäude können somit leicht zu Plus-Energiehäuser umgerüstet werden. Die Energiefassade wird vor die bestehende Fassade vorgehängt (Details siehe auch Einleitung zum Themenbereich vorgefertigte Fassadenelemente). Bei alten Gebäuden mit veralteter Heizungs- und Lüftungstechnik kann diese gleich rationell mitgetauscht werden. Die neue Heizungs-, Kühlungs- und Lüftungstechnik wird in der Fassade verrohrt und verkabelt. Die Objekte können während der ganzen Zeit des Umbaus benutzt werden (zeitweise Lärmbelastigungen durch Bohren). Lediglich in der Fertigstellungsphase müssen Bürozone gesperrt werden (Entfernung der alten Fensterelemente von innen und Herstellung der Anschlüsse zur neuen Fassade – kurzfristige Staub- und Lärmentwicklung).



Beispiel Schüco 2° Concept Fassade (E² Fassade)

Abbildung 6 – Gebäude mit multifunktionaler Fassade, Modularer Aufbau; Quelle:

<http://www.schueco.com/web/de/architekten/fassaden/produkte/fassaden/aluminium/modernisierungsfassade>, Schüco GmbH



Abbildung 7 – Integrierte Lüftungstechnik in der Energiefassade; Quelle:

<http://www.schueco.com/web/de/architekten/fassaden/produkte/fassaden/aluminium/modernisierungsfassade>, Schüco GmbH

Man kann die Fassaden optional mit thermischen Solarkollektoren oder Photovoltaikmodulen ausrüsten. Hier ist bei der Planung darauf zu achten, dass die Elemente nicht zu stark verschattet werden und die Ausrichtung nach Süden, Südost oder Südwest gegeben ist. Die Auslegung der

Kollektorleistungen sollte durch den Haustechnikplaner erfolgen in Kombination und mit der sonstigen Haustechnik optimiert werden (eventuell externe Überwachung der Planung sinnvoll).

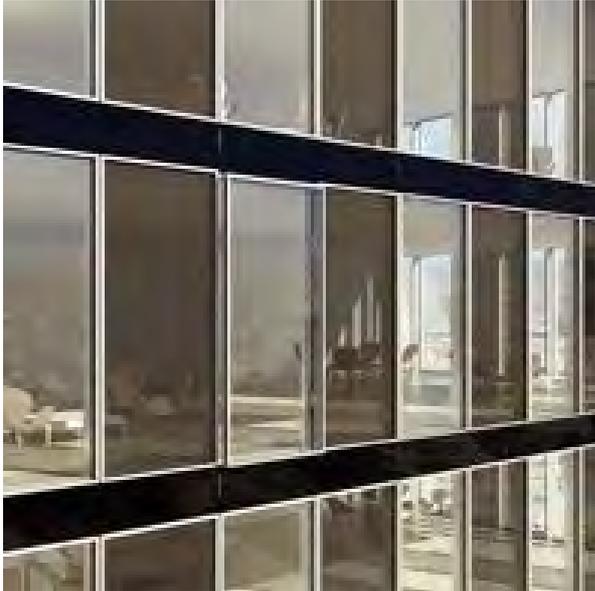


Abbildung 8 – Fassade mit transparenten Photovoltaikerelementen; Quelle:

http://www.schueco.com/web/de/architekten/fassaden/produkte/fassaden/aluminium/e_2_fassade, Schüco GmbH

Bei Glasfassaden ist es zwingend notwendig den Sonnenschutz zu integrieren (Details siehe Kapitel Sonnenschutz). Es ist darauf zu achten, dass alle Komponenten aufeinander abgestimmt sind. Nur somit kann eine möglichst hohe Effizienz erreicht werden und Heiz- und Kühllasten optimiert werden.

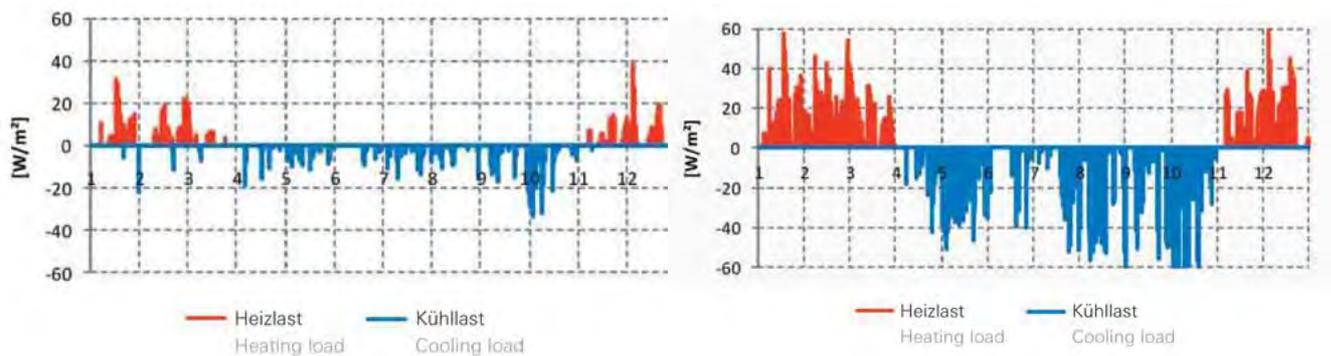


Abbildung 9 – Vergleich Heiz- und Kühllast Schüco E² (links) Concept und Standard-Glasfassade (rechts); Quelle: Schüco GmbH

Wichtige Hinweise:

- Besonders bei ebenen, gleichmäßigen Fassadenflächen geeignet.
- Achtung bei Verschattung der PV-Elemente: Auch Teilverschattungen können den Solarertrag sehr stark reduzieren – es ist eine genaue Verschattungsplanung notwendig!

Vorteil

- Neue Haustechnik kann in den Fassadenelementen untergebracht und verbunden werden – minimale Änderungen innen notwendig.
- Einheitliches Fassadenbild durch integrierte Komponenten durch einen Hersteller
- Abgestimmte Komponenten
- Kurze Betriebsunterbrechung
- Dämmung auf Passivhausniveau möglich

Nachteil

- Preis (derzeit kein Preis verfügbar z.B. für Schüco E² Fassade, ab Herbst 2011)

2.2.4 Fassaden mit innovativen Dämmsystemen

2.2.4.1 VIP-Dämmsysteme

VIP steht für Vakuumisolationspaneel – die Dämmwirkung wird durch das Vakuum in den Elementen erreicht. Die VIP-Dämmsysteme haben sich von Pilotanwendungen (bereits in den 1990er Jahren) in Richtung Marktreife entwickelt, es gibt bereits mehrere Anbieter für Systeme und die Kosten bewegen sich nach unten.

Für die Fassadensanierung existieren sowohl geklebte als auch mechanisch befestigte Systeme (Mischsysteme mit PUR-Dämmstoff in Randbereichen und als Passelemente haben sich bewährt). Mechanisch befestigte Systeme haben den Vorteil, dass defekte Elemente leicht austauschbar sind, diese Systeme sind daher zu bevorzugen.

Vorteile:

- Geringe Schichtdicken eröffnen neue Möglichkeiten in der Gestaltung mit sehr guten Dämmwerten
- Hoher Vorfertigungsgrad (zwingend erforderlich da die VIP-Elemente nicht auf der Baustelle bearbeitet werden können)
- Ausgezeichnete thermische Eigenschaften

Nachteile:

- Gefahr der mechanischen Verletzung der Dämmelemente auf der Baustelle und dabei Verlust der Dämmwirkung
- Die Kosten für ein Dämmelement liegen derzeit noch bei ungefähr € 260,-- pro m² (reiner Materialpreis für 20mm Dämmelement [entspricht 10cm herkömmlicher Dämmung])

Wichtige Hinweise

- Erhöhte Aufmerksamkeit bei der Bauaufsicht erforderlich: Bei Lieferung ist eine sofortige Sichtprüfung auf mechanische Beschädigungen notwendig; Qualitätssicherung mittels Thermografie wird empfohlen
- Sägen, Bohren oder Zerkratzen unbedingt vermeiden
- Zug- und Scherkräfte auf die Paneele sind auszuschließen
- Auf Wärme- und Kältebrücken im Detail achten (diese treten bei Dämmung mit VIP-Paneele stärker zu Tage als bei herkömmlichen Dämmsystemen!)
- Auf Dampfdiffusion achten, VIP-Paneele sind dampfdicht – Systemlösung erforderlich



Abbildung 10: Mechanisch befestigte VIP-Dämmung mit PUR Lage (2-lagiger Aufbau); Bildquelle: A. Ferle, O.Essl; Endbericht „Praxis- und Passivhaustaugliche Sanierungssysteme für Dach und Wandbauteile unter Verwendung von Hochleistungsdämmsystemen“, Haus der Zukunft, 2006

2.2.4.2 Transluzente Dämmelemente gefüllt mit Aerogel/Silica-Gel

Diese Art von Dämmelement hat den Vorteil, dass sie bei hervorragenden Dämmeigenschaften auch Licht hindurch lassen. Die Anwendungsmöglichkeiten sind vielfältig und höchst interes-

sant: Hochwärmegedämmte Oberlichtelemente, Transluzente Fassaden mit blendfreier Tageslichtnutzung etc.

Die Lichtdurchlässigkeit liegt bei etwa 25% (g-Wert ebenfalls bei 0,25). Aerogel hat eine Wärmeleitfähigkeit von 0,017-0,021 W/mK, man spart daher ca. 50% der Dämmdicke im Vergleich zu herkömmlichen Dämmelementen.

Es sind bereits mehrere Produkte auf dem Markt, z.B. mit Aerogel gefüllte Polyesterstegplatten (z.B. Firma Scobalith AG Schweiz, Fa. O.LUX GmbH & Co KG etc.) und Aerogel-Granulat zum Einblasen, Aerogel-Vlies und –Wolle (z.B. Rockwool Aerowolle®).

Wichtige Hinweise:

- Der Wärmeeintrag (Sonnenstrahlung) durch die Elemente im Sommer ist zu berücksichtigen – Vorsicht erhöhte Kühllast!
- Wird überwiegend für Innendämmung eingesetzt (Gel muss vor Bewitterung geschützt werden, neuere Produkte sind allerdings weitgehend feuchtigkeitsbeständig)

Vorteil

- Im Vergleich zu VIP-Paneelen unempfindlich und leicht zu verarbeiten (Aerowolle lässt sich z.B. mit herkömmlichen Trockenbauschrauben befestigen)
- Hohe Temperaturstabilität, unbrennbar und ungiftig
- Lichtdurchlässig
- Gute Schalldämmeigenschaften
- Wasserabweisend

Nachteil

- Hoher Preis – daher eher für Spezialanwendungen denkbar (z.B. 1 m³ Aero-Gel Granulat kostet ca. 1600,--; 20mm Aero-Wolle Element ca. 100,--/m² Materialpreis)

2.3 Planungsanforderungen

2.3.1 Fassadengliederung und Vorfertigungsgrade, Toleranzen

Es sind alle wenig gegliederten bzw. regelmäßig gegliederten Häusertypen für die vorgefertigten Fassadensysteme geeignet. Genauerer Augenmerk ist auf die (Flucht-)Balkone zu richten. Bei diesen ist zu entscheiden ob Sie geschlossen werden und als zusätzlicher Raum genutzt werden können oder ob Sie entfernt werden (reduziert auch Wärmebrücken in beträchtlichem Ausmaß).

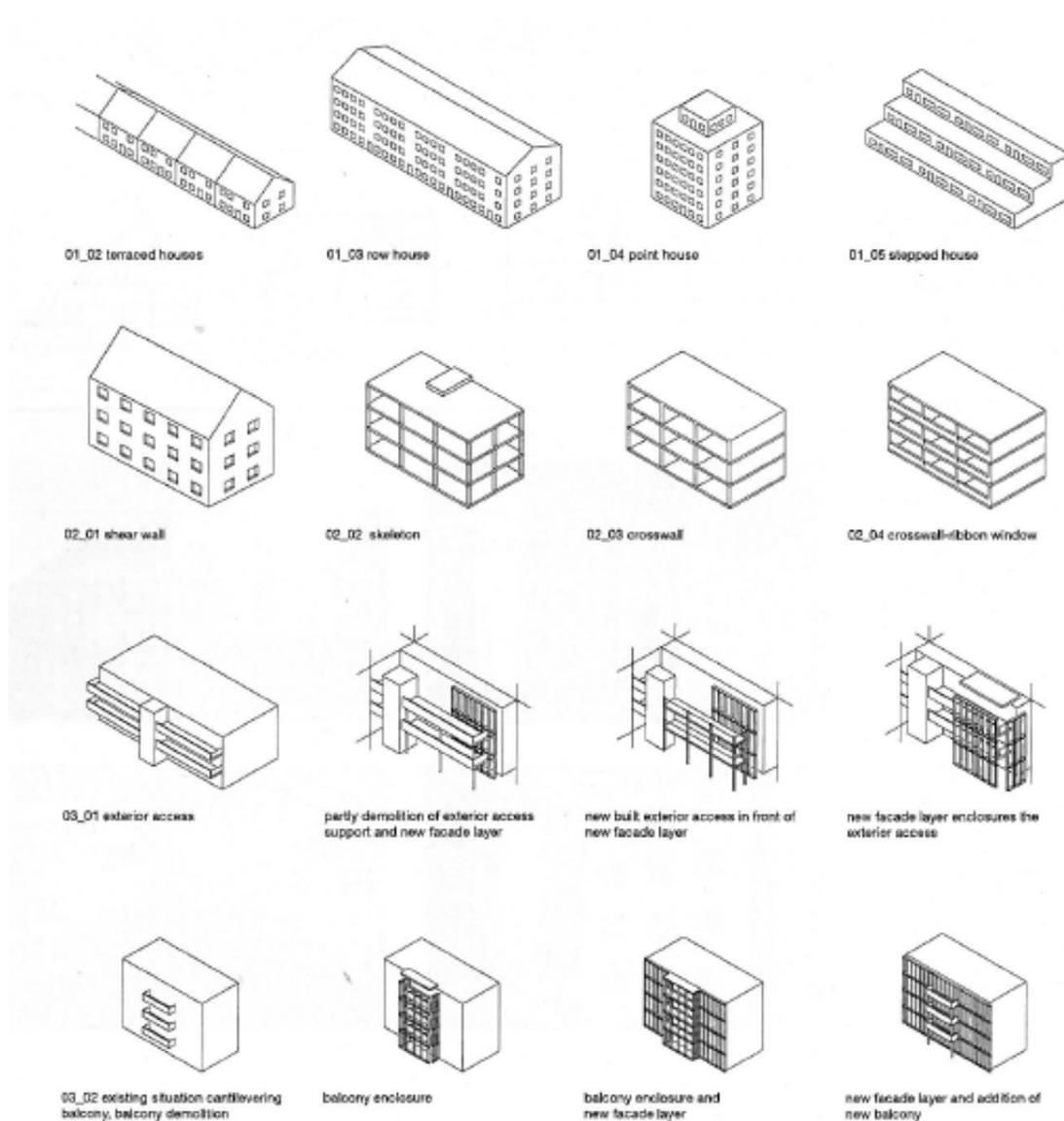


Abbildung 9: Geeignete Fassadentypen für vorgefertigte Fassadenelemente und Planungsansätze für Balkone; Quelle: Endbericht Projekt „TES EnergyFacade“, 2011, Woodwisdom Net

Bei der Planung der Fassadenelemente ist darauf zu achten möglichst viele gleiche Fassadenelemente zu benutzen um den Kostenvorteil der Serienfertigung zu erreichen.

In der Planung wird ein genaues 3D-Modell des Gebäudes erstellt. Mit diesen Daten und den Entwürfen des Planers können dann Konstruktionszeichnungen erstellt werden und Details entwickelt werden. Mit dem Bauzeitplan sind etwaige Betriebsunterbrechungen früh genug bekanntzugeben und ev. Übersiedlungen in Ausweichquartiere einzuplanen.

Bei der Umsetzung werden als erstes die Auflager errichtet und eingerichtet (genaue Vermessung erforderlich). Bei unebenen Wänden (Regelfall!) wird eine Ausgleichsschicht aus Mineralwolle aufgebracht, damit keine Hohlräume hinter den Fassadenelementen entstehen (Brandchutz, Wärmeschutz etc.). Die fertigen Elemente werden in den vorgesehenen Fixierungspunkten befestigt und untereinander abgedichtet (von innen dampfdicht, von außen winddicht und diffusionsoffen). Um die Außenfassade fertigzustellen müssen nur noch die restlichen Abdichtungs- und Spenglerarbeiten ausgeführt werden. Als letzter Schritt werden auf der Innenseite die bestehenden Fenster entfernt und der neue Fensteranschluss ausgeführt.

Durch das genaue 3D-Modell ist es möglich Fassadenelemente „fertig“ zu liefern (mit letzter Schicht). Damit wird die Montagezeit auf der Baustelle verkürzt (geringere Lärmbelästigung der Nutzer) und eine höhere Qualität durch Vorfertigung in witterungsunabhängigen Hallen erreicht.

Die Maßtoleranzen für die Vorfertigung der Elemente liegen im Bereich $\pm 5 \text{ mm}$.² Um diese hohe Genauigkeit bei der Planung zu erreichen benötigt dies vorab eine genaue 3D-Vermessung des gesamten Gebäudes.

2.3.2 3D-Vermessung

Für die präzise Vorfertigung der Fassadenelemente ist eine genaue Vermessung des Bestandsgebäudes notwendig, da eine Anpassung der Elemente nur mehr in geringem Ausmaß möglich ist (ein Ausgleich von geringen Fassadenunebenheiten ist möglich).

Die geforderte Genauigkeit der 3D Vermessung des Gebäudes liegt bei $\pm 4 \text{ mm}$ im Bereich der Fenster und $\pm 7 \text{ mm}$ im Bereich Dach/Fassade.³ In der Praxis ergeben sich unter vertretbarem Aufwand Genauigkeiten von $\pm 7\text{-}10 \text{ mm}$.

Bewährt hat sich in der Praxis eine Kombination aus Photogrammetrie, Tachymetrie und 3D-Laserscanning und Handmessung. Die Durchführung erfolgt generell von auf 3D-Vermessung spezialisierten Firmen (teure Messausrüstung erforderlich) und sollte nur Profis überlassen werden.

² Endbericht Projekt „TES EnergyFacade – prefabricated timber based building system for improving the energy efficiency of the building envelope“, 2011, Woodwisdom Net

³ Gottwald, R. & Knabl, T. (2008) „3D Measuring for Building Refurbishment“, Zeitschrift „The Global Magazine of Leica Geosystems“

2.3.3 Statik

Vorgefertigte Fassadenmodule sind selbsttragende Elemente in einer max. Größe von 3,8x12 m (15 m mit Ausnahmegenehmigung beim Transport), befestigt in der bestehenden Gebäudestruktur. Hier ist darauf zu achten das die auftretenden Kräfte an den Fixpunkten auch vom Gebäude aufgenommen werden können. Die Eigenlast der vorgefertigten Fassadenelemente beträgt ca. 80-100 kg/m².

Bei Modernisierungen mit Erweiterungen der Nutzflächen ist auch darauf zu achten, dass durch neue Funktionen des Gebäudes sich die statischen Verhältnisse verschieben können und sich damit neue Anforderungen ergeben.

Bei der Auslegung der Auflager ist wie bei jeder Fassadenkonstruktion mit folgenden Lastfällen zu rechnen:

- Vertikal: Eigenlast (80 - 100 kg/m² !) plus Schnee und Eis auf horizontalen Flächen
- Horizontal: Winddruck und Windsog
- Horizontal und Vertikal: Spannungs- Wärmedehnungen der Module und Erdbeben

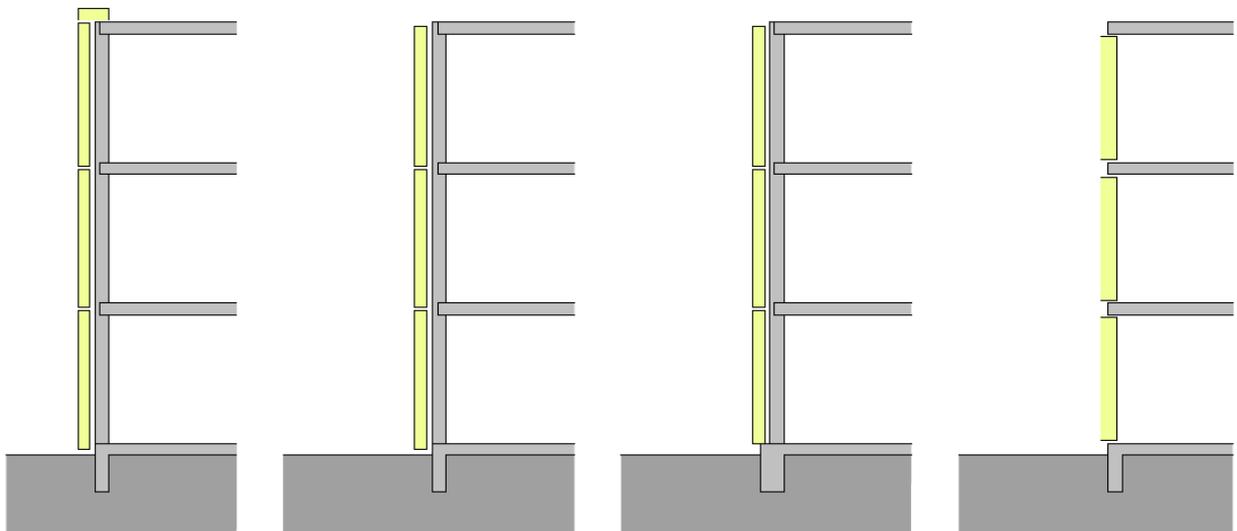


Abbildung 11: Möglichkeiten der Lastabtragung von vorgefertigten Fassadenelementen (von links beginnend): hängende Befestigung, über stockwerkweises Befestigen, Aufständigung am Fundament/ Boden und stockwerkweises aufständern (Element eingeschoben); Quelle: Endbericht Projekt „TES EnergyFacade – prefabricated timber based building system for improving the energy efficiency of the building envelope“, 2011, Woodwisdom Net

Eine sehr häufige Art der Befestigung ist die Verankerung in den bestehenden Geschosdecken mittels Stahlwinkel.

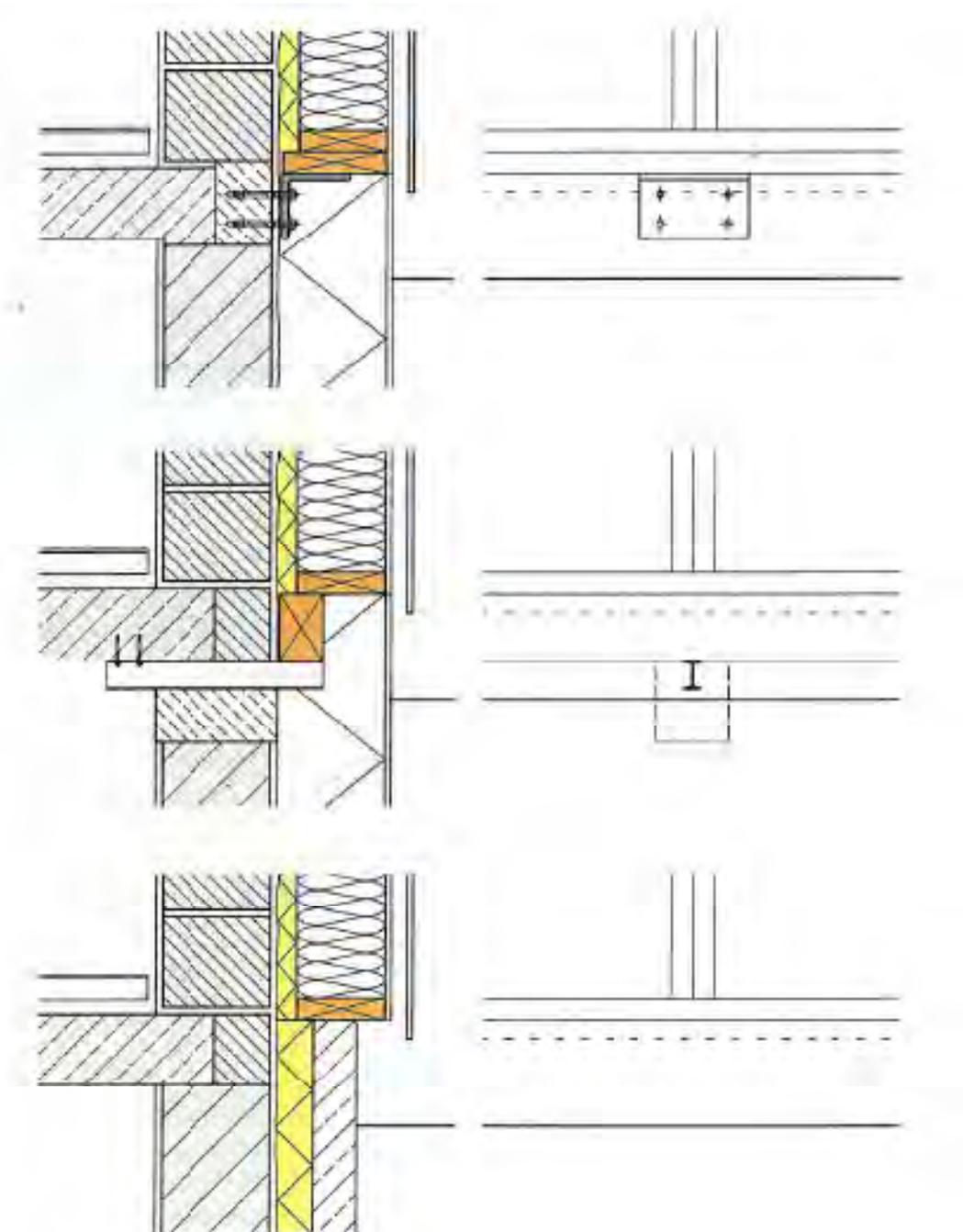


Abbildung 12: Möglichkeiten der Lastabtragung von vorgefertigten Fassadenelementen (von oben nach unten): 1) über Stahlschuh in das bestehende Mauerwerk und Verankerung in die Stahlbetondecke, über einlegen eines Stahlträgers unter der Kellerdecke und Verankerung in die Stahlbetondecke, 3) mittels Stahlbetonfertigteile über ein eigenes Fundament (wenn Bestand nicht ausreichend tragfähig); Quelle: Endbericht Projekt „TES EnergyFacade – prefabricated timber based building system for improving the energy efficiency of the building envelope“, 2011, Woodwisdom Net

Wenn eine Befestigungsart ausgewählt wurde muß dieses System erst auf der bestehenden Fassade getestet werden. Es werden probeweise Befestigungsanker eingebohrt und eingeklebt. Diese werden dann mittels eines Zugversuchs auf Festigkeit getestet. Detailausarbeitung durch den Statiker erforderlich.

2.3.4 Bauphysik

Kritischer Bereich bei vorgefertigten Fassadenelementen aus bauphysikalischer Sicht sind die Übergänge zum bestehenden Mauerwerk, insbesondere im Bereich der Fassadenöffnungen. Die Anschlüsse müssen luftdicht ausgeführt werden (siehe hierzu auch ÖNORM B 5320 welche hier sinngemäß angewendet werden muss). Eine unsachgemäße Ausführung kann dazu führen, dass Geruch, Brandgase und Rauch, Feuchtigkeit etc. von einem Stockwerk ins andere bzw. zwischen benachbarten Räumen übertragen werden.

2.3.4.1 Brandbestimmungen

Vorgefertigte Fassaden-Elemente werden aus Sicht des Brandschutzes wie alle nicht-tragenden Elemente eingestuft, die tragfähigen, nicht brennbaren Strukturen (bestehende Fassade) angepasst werden. Die Fassaden-Elemente müssen den Anforderungen der nichttragenden Außenwände folgen. Die Verkleidung oder sichtbare Fassaden-Schicht auf der Außenseite des Außenwand-Elements ist nach der Brennbarkeit des betreffenden Materials klassifiziert und ist ein separater Teil der nichttragenden Fassadenelemente.

Es gelten die Bestimmungen der einzelnen Bundesländer bzw. übergreifend die Bestimmungen der OIB-Richtlinie 2 und die technischen Richtlinien für vorbeugenden Brandschutz (TRVB).

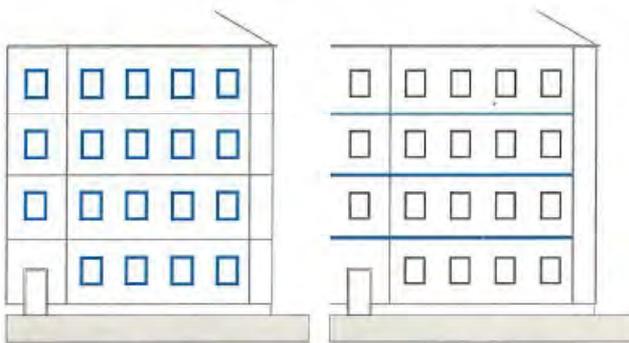


Abbildung 13: Beispiel für verschiedene Brandriegel: links Fensterweise, rechts Stockwerksweise; Quelle: Endbericht Projekt „TES EnergyFacade – prefabricated timber based building system for improving the energy efficiency of the building envelope“, 2011, Woodwisdom Net

2.3.4.2 Feuchteschutz

Beim Feuchteschutz gilt das generelle Prinzip: innen diffusionsbremsend bzw. –dicht und luftdicht, außen diffusionsoffen und winddicht. Durchdringungen mit Installationen sind nach Möglichkeit zu vermeiden bzw. im obigen Sinne auszuführen.

Bevor die neue Fassade montiert wird müssen bestehende Feuchteprobleme im Bestandsmauerwerk lokalisiert und behoben werden. Ebenso ist bei der Konstruktion der Fassade darauf zu achten das eingedrungene Feuchte (Beschädigung, Schlagregen etc.) abtransportiert werden kann.

Die Elemente müssen untereinander luft- und winddicht ausgeführt werden. Dazu gibt es folgende Möglichkeiten:

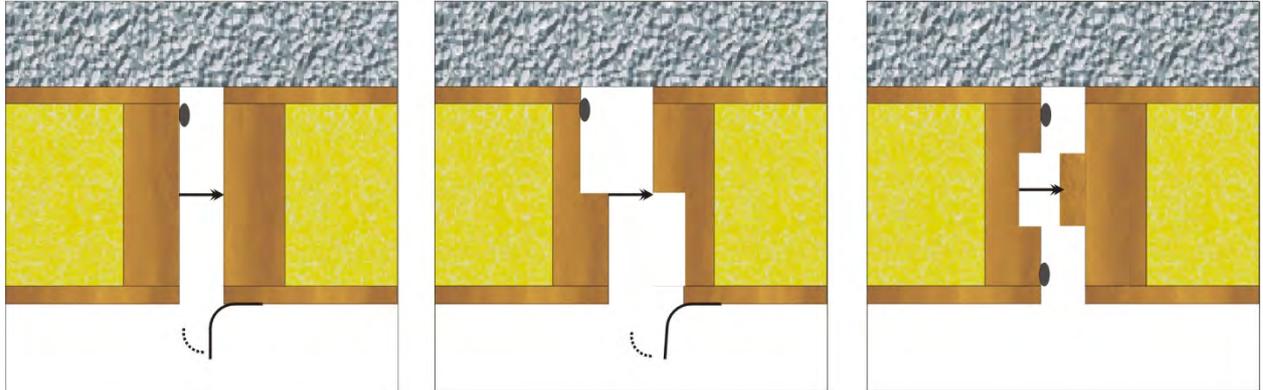


Abbildung 14: Abdichtung der Elemente untereinander (Luft- und Winddichtheit); Quelle: Grazer Energieagentur

2.4 Kostenfaktoren

Viele Systeme befinden sich noch im Pilot-Stadium, die Preise sind dementsprechend hoch. Einige Systeme sind jedoch bereits konkurrenzfähig und in Serienfertigung erhältlich.

Vorgefertigte passivsolare Fassadenelemente inkl. Fenster liegen bei Systemen mit Zellulose-Absorber im Bereich 400,- bis 420,- Euro netto inkl. Montage (Elemente in Holz Ausführung z.B. GAP-Solution). Elemente in Metallausführung (z.B. gap-ALution®) liegen im Bereich € 800 - 850,-/m² Fassade (Preise netto inkl. aller Anschlüsse und Nebenkosten, inkl. Fensterelemente mit integriertem, automatischem Sonnenschutz - Preisbeispiel bei rund 1500 m² Fassade, gemittelter Preis von mehreren Anbietern). Der Kostenanteil des Solarabsorberes (Fertigteil) liegt dabei bei rund 260-270 Euro /m². Da der Nutzen dieser Absorber bei Süd (Südost bis Südwest) orientierten Flächen am größten ist, sollten diese Elemente auf Grund der Kosten nur dort gezielt eingesetzt werden.

Die Mehrkosten im Vergleich zu einer Fassade ohne passivsolare Absorber liegen derzeit noch im Bereich 200 bis 350 Euro pro m² Fassade (Stand Mai 2011).

Der Kostenanteil der Wärmedämmung bei Pfosten-Riegel-Fassaden mit Glasbekleidung ist vergleichsweise gering (im Bereich 6-10% der Gesamtfassade inkl. Fenster), eine Erhöhung der Dämmstärken führt daher nur zu geringen Mehrkosten bei der Gesamtfassade (z.B. Erhöhung der Dämmstärke von 18 auf 25 cm: Die Gesamtkosten der Fassadenkonstruktion ohne Fenster [und ohne Solarabsorberkosten] steigen um 6-8% [ca. € 30,- pro m² absolut]).

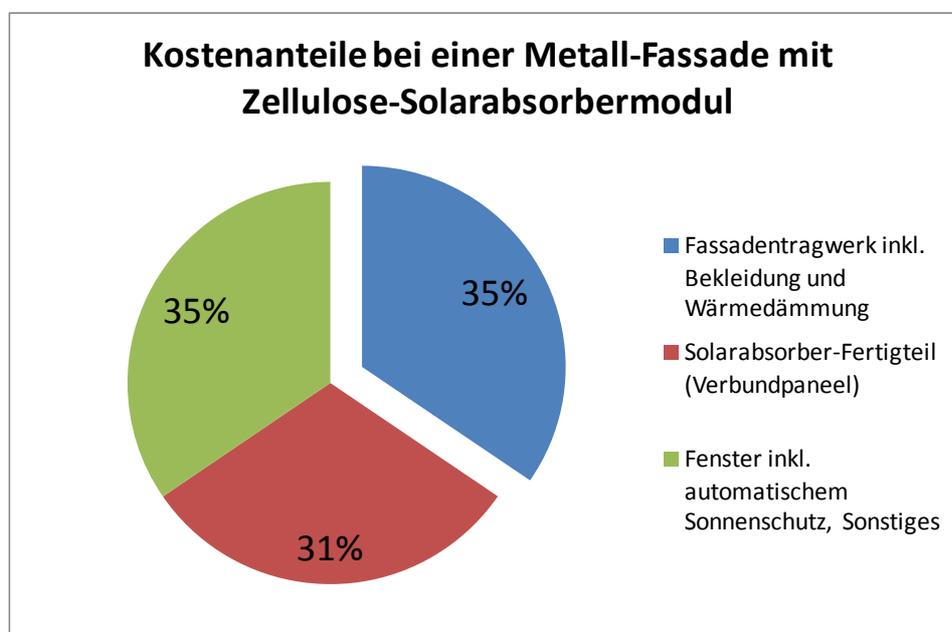


Abbildung 15: Kostenanteile bei einer Glas-Fassade mit Zellulose-Solarabsorber

Kosten für eine komplette Laser-3D-Vermessung liegen je nach Anbieter zwischen 1,- (nur Messung) und 8,- (inkl. 3D Zeichnungen und Aufbereitung für CAM-Anwendungen) pro m² Fassade.

3 Vermeidung von Wärmebrücken

3.1 Grundlagen

Wärmebrücken sind örtlich begrenzte Bereiche eines Außenbauteils mit erhöhtem Wärmedurchgang im Vergleich zum restlichen Bauteil. Der Wärmestrom nimmt beim Fluss durch den Bauteil immer den Weg des geringsten Widerstands (vom energetisch höheren = wärmeren Bereich zum kälteren Bereich; der umgangssprachliche Begriff „Kältebrücke“ ist daher falsch). Es ergeben sich somit durch Wärmeabfluss lokal niedrigere Temperaturen auf der Innenseite des betroffenen Bauteils. Dies führt zu höherem Energieverbrauch, Feuchtigkeitsproblemen (Tauwasser- oder sogar Schimmelbildung) und Gefährdung der Bausubstanz.

Wärmebrücken wirken sich daher besonders bei thermisch sehr gut gedämmten Gebäuden, wie es Ziel des Projektes BIGMODERN ist, negativ aus. Es können sich bei Gebäuden in Niedrigstenergie- und Passivhausstandard auch solche Wärmebrücken sehr negativ auf den Heizwärmebedarf auswirken, welche bauphysikalisch unbedenklich sind. Im Bereich Passivhausstandard kann eine Vernachlässigung der Wärmebrücken dazu führen, dass das Gebäude selbst nicht mehr als Passivhaus funktioniert und einen deutlich höheren Heizwärmebedarf aufweist. Es ist bei diesen Gebäuden daher ein hohes Augenmerk auf die Wärmebrücken zu legen und ggf. auch im Detail zu untersuchen – beim Passivhausstandard ist dies eine Notwendigkeit.

Wärmebrücken (auch kaum sichtbare, kleine Wärmebrücken) können den Heizwärmebedarf in Summe um mehr als 15% erhöhen. Zum Beispiel erhöht die Wärmebrücke Glasrandverbund aus Aluminium den U_w -Wert eines Fensters in der Größe 123x148cm (Glas $U_G = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$, Rahmen $U_f = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$, 70% Glasanteil) um 18 Prozent (Gesamt U -Wert des Fensters $U_w = 1,33 \text{ W/m}^2\text{K}$ statt $1,13 \text{ W/m}^2\text{K}$ ohne Berücksichtigung der Wärmebrücken). Verwendet man stattdessen spezielle Glasabstandhalter aus Kunststoff so beträgt der U_w -Wert nur $1,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Verbesserung im Vergleich zum Fenster mit Aluabstandhaltern um 10% - diese Verbesserung ist mit nur geringen Mehrkosten verbunden und rechnet sich sehr rasch).

Beim 3-fach verglasten, mit Kunststoffabstandhalter passivhaustauglichen Fenster ist der Unterschied ähnlich deutlich:

Fenster 123x148cm (Glas $U_G = 0,70 \text{ W/m}^2\text{K}$, Rahmen $U_f = 0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$, 70% Glasanteil)

- U_w -Wert mit Aluabstandhalter = $0,94 \text{ W/m}^2\text{K}$
- U_w -Wert mit Kunststoffabstandhalter = $0,85 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Verbesserung ebenfalls 10% im Vergleich zum Fenster mit Aluabstandhalter)

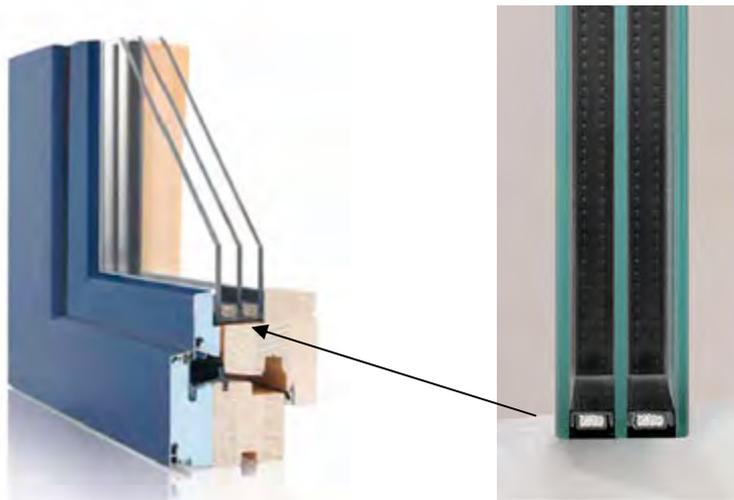


Abbildung 16 – Glasabstandhalter (Bildquellen: www.internorm.at und Gaulhofer GmbH)

Man unterscheidet zwischen geometrischen, Wärmebrücken durch unsachgemäße Ausführung und konstruktiven Wärmebrücken.

3.1.1 Geometrische Wärmebrücken

Geometrische Wärmebrücken wie z.B. Außenecken sind alle Bereiche bei denen die innere – im beheizten Bereich liegende – Oberfläche kleiner ist als die Außenoberfläche. Bei Innenecken ist ein geringerer Wärmestrom als im restlichen Bauteil vorhanden (negativer Wärmebrückenzuschlag innen) . Das Bild unten zeigt eine Wärmebrückensimulation inkl. Wärmeflussvektoren (Horizontalschnitt) durch eine Außenecke (25cm Hohlziegelmauerwerk, 20cm Außendämmung, U-Wert der ungestörten Wand = $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$; Wärmebrückenzuschlag außen $-0,0742 \text{ W/mK}$, innen $0,0789 \text{ W/mK}$). Deutlich sichtbar ist der erhöhte Wärmestrom bei der inneren Ecke (die Länge der Vektoren zeigt die Größe und Richtung des Wärmeflusses an).

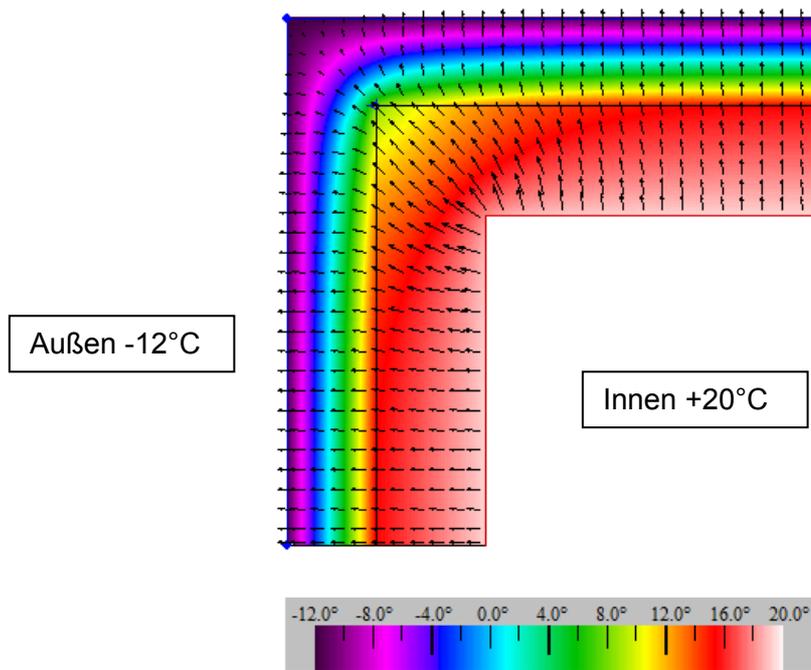


Abbildung 17 – Geometrische Wärmebrücken Außenecke (Bildquelle: Grazer Energieagentur GmbH)

Geometrische Wärmebrücken sind in der Sanierung in der Regel unvermeidbar (bestehende Gebäudegeometrie) und werden daher in Folge nicht näher behandelt.

3.1.2 Wärmebrücken durch unsachgemäße Ausführung

Wärmebrücken durch unsachgemäße Ausführung kommen in der Baupraxis sehr häufig vor, können jedoch auch vorbeugend mit Thermografie bekämpft werden (siehe eigenes Kapitel). Durch eine Aufmerksame Bauaufsicht kann die Gefahr dieser Wärmebrücken minimiert werden.

Häufig vorkommende Wärmebrücken sind dabei:

- Lücken in der Dämmlage (Fugen zwischen Dämmplatten auf Grund von starken Unebenheiten des Untergrundes, es wurde nicht das gesamte Gefach ausgefüllt, Dämmung zusammengesackt etc.)
- Belüftete Fugen und Hohlräume oder mit ungeeignetem Material ausgefüllt (z.B. Mörtel statt Dämmstoff bei Fensterleibungen), in Folge auch mangelnde Luftdichtheit (Fensterleibungen)
- Größere ungedämmte Bereiche (häufig in der Sanierung: Fensterleibungen; Sockelbereiche)
- Fehlende thermische Trennung insbesondere bei Metall-Fassadenkonstruktionen

Nachfolgend sind einige Beispiele aus der Praxis angeführt:

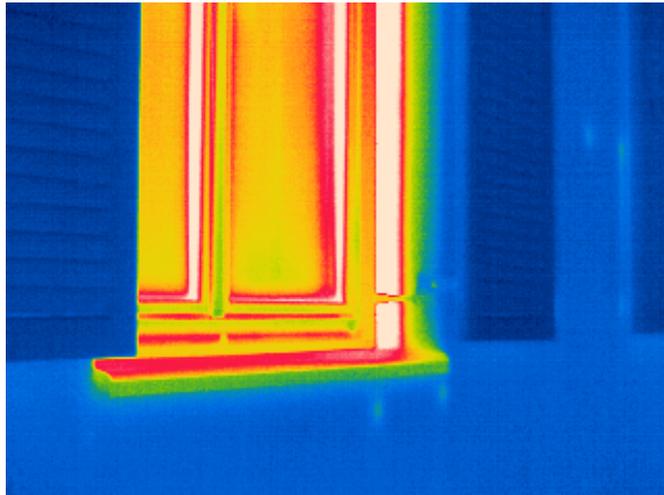


Abbildung 18 – ungedämmte Fensterleibung (Thermografiebild Grazer Energieagentur)

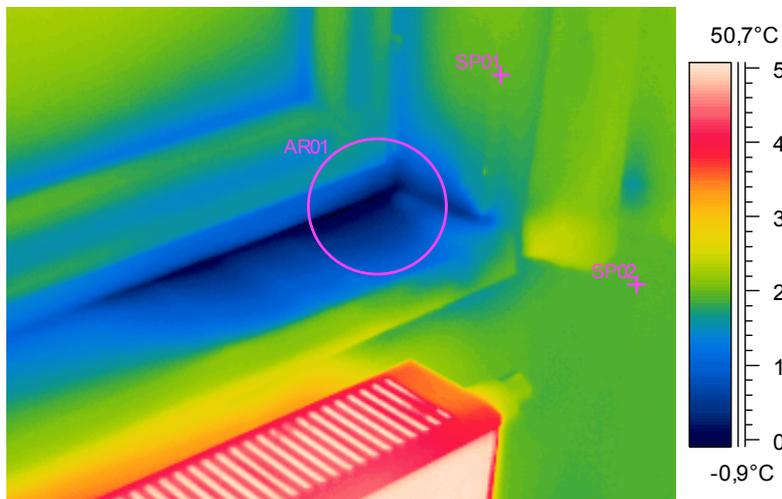


Abbildung 19 – mangelnde Luftdichtheit, Aufnahme während Blower-Door-Test (Thermografiebild: DI Roland Haybach)

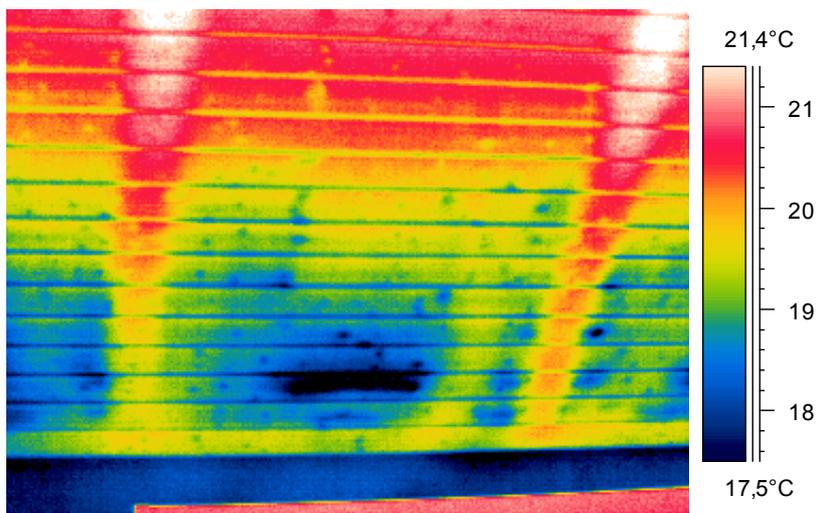


Abbildung 20 – zusammengesackte Dämmung (Feuchteschaden durch fehlende Dampfbremse; Grazer Energieagentur)

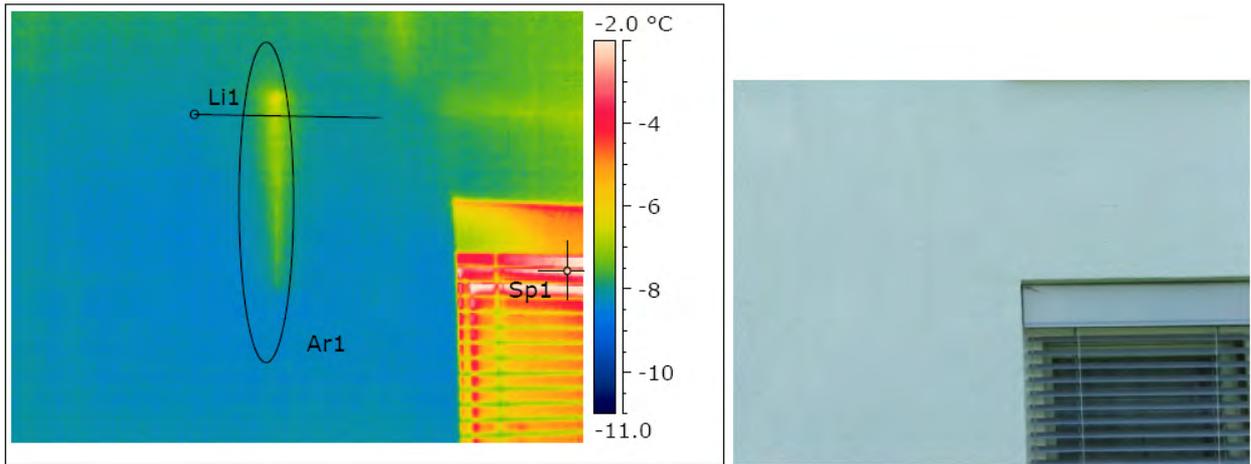


Abbildung 21 – Lücke zwischen Dämmplatten, mit Mörtel gefüllt (Thermografiebild Grazer Energieagentur)



Abbildung 22 – ungewollte „Hinterlüftung“ der Dämmplatten durch nur punktuell angebrachte Klebestellen; Quelle: Passivhausinstitut

3.1.3 Konstruktive Wärmebrücken

Konstruktive Wärmebrücken liegen dann vor wenn ein thermisch besser leitender Baustoff den Bauteil durchdringt bzw. zum Teil durchdringt.

In der Praxis häufig vorkommende Beispiele sind z.B.:

- Stahlbetonstützen, Ringanker oder ungedämmte Fensterstürze im Mauerwerk
- Auskragende Stahlbetonteile (durchgehend betonierte Balkonplatten, statisch bedingte Störungen der Wärmedämmung wie Stützen, Träger, Unterzüge etc.)
- Gut leitende Bauteile, die über leitende Teile miteinander verbunden sind (z.B. durchgehender Stahlträger, Metall-Fassadenkonstruktionen, Befestigungselemente für Vorhangfassaden)
- Sockelanschluss zu unbeheiztem Keller
- Attikabereich
- Fenster – Einbausituation

Für diese Wärmebrücken sind jeweils Detaillösungen zu finden und der Wärmefluss zu minimieren.

3.2 Strategien zur Vermeidung von Wärmebrücken - Checkliste

Die wärmedämmende Hülle soll die beheizten Gebäudeteile vollkommen lückenlos umschließen – die Dämmwirkung sollte nach Möglichkeit überall gleich sein. Ist dies nicht möglich (z.B. Außenwand auf Bestandskellerdecke) so sind diese Detailpunkte zu optimieren.

Eine erste Hilfe sind die frei verfügbaren Wärmebrückenkataloge und passivhaustaugliche Konstruktionsdetails, so z.B. der Detailkatalog der Gemeinschaft Dämmstoffindustrie: www.gdi.at

Checkliste für die Vermeidung von Wärmebrücken:

- Lässt sich eine Wärmebrücke nicht doch vermeiden?

Beispiel: Ein auskragender Stahlbetonteil der in der Funktion nicht mehr benötigt wird kann abgesägt werden (z.B. umlaufender Fluchtbalkon – ersetzt durch anderes Brandschutzkonzept, Konsolen für die alte Fassadenkonstruktion etc.).

- Unvermeidbare Wärmebrücken mildern:
 - Bauteildurchdringungen so weit wie möglich überdämmen
 - Bauteile thermisch trennen (soweit statisch möglich, ggf. andere statische Lösung suchen)
 - Punktförmige Befestigungen
 - Verdübelte Wärmedämmverbundsysteme: Dübel mit Dämmstoff-Rondelle überdämmen

- Vorgefertigte Fassadenelemente aus Holz: Leichtbauträger statt Vollholz
- Verwendung von Materialien mit möglichst geringer Wärmeleitfähigkeit - Wärmebrückenarme Konsolen, Wärmebrückenarme Befestigungen, Vorsatzschalen mit gedämmtem Zwischenraum
- Bauteilanschlüsse besonders beachten:
 - Übergang Außenwand-Kellerwand (Keller unbeheizt)
 - Keller-Innenwände zu aufgehendem Mauerwerk
 - Sockelabschlussprofile (WDVS) thermisch trennen oder überdämmen



Abbildung 23 Sockelprofil – passivhaustauglich; Bildquelle: ebök Tübingen

- Fenster- und Türanschlüsse
- Attika / oberste Geschossdecke / Kniestock
- Stahlbeton-/Stahlteile und sonstige Teile, die die Dämmhülle durchstoßen
- Dämmlagen verschiedener Bauteile sollen nahtlos ineinander übergehen und in ihrer Dämmwirkung ähnlich sein
- Der Winkel unter dem Außenbauteile aufeinander stoßen soll möglichst stumpf sein ($\leq 90^\circ$) – je spitzer der Winkel desto höher die Wirkung der geometrischen Wärmebrücke

Weiterführende Literatur:

„Wärmebrücken + Luft- und Winddichte“, Energie Tirol, 1999

4 Qualitätssicherung

4.1 Kontrolle mittels Bauthermografie

Thermografische Aufnahmen (Infrarotaufnahmen) von Gebäuden sind ein effektives Mittel, thermische Schwachstellen und Baumängel von Gebäuden aufzudecken und zu veranschaulichen. Als Teil einer fachkundigen Beratung kann Thermografie auch vor einer Sanierung ein besonders taugliches Instrument zur Bewusstseinsbildung und Überzeugung von Gebäudeeigentümern und –nutzern sein.

Auch vorbeugend hat sich die Thermografie bei der Sanierung und im Neubau bewährt: Hängt man Beispiele von thermografischen Untersuchungen im Baucontainer für alle Ausführenden ersichtlich auf, auf denen die Möglichkeiten und Genauigkeit der Thermografie ersichtlich ist, so bewirkt das oft positive Wirkung bei der Ausführungsqualität⁴.

Eine Wärmebildkamera ist kaum größer als eine gewöhnliche Videokamera und misst Temperaturen berührungslos aus der Ferne. In vereinfachter Form gesagt, wandelt die Thermokamera die Infrarotstrahlen die ein Körper abstrahlt in ein buntes Wärmebild um.

Eine Thermografie-Kamera ist ein digitales hochempfindliches Messinstrument, welches die Wärmeabstrahlung von Objekten misst. Auf dem Bild (Thermogramm) werden Temperaturunterschiede anhand von unterschiedlichen Farben dargestellt und erkennbar.

Thermografie-Bilder (sog. Thermogramme) zeigen die Wärmeverteilung auf Oberflächen. Nicht immer sind Thermogramme eindeutig interpretierbar. Seriöse Thermografie-Dienstleister weisen grundsätzlich auf die Grenzen des Verfahrens hin und ziehen alle Auswertemöglichkeiten eines Thermogramms in Betracht.

Während der kalten Jahreszeit gibt es durch die Beheizung der Häuser einen konstanten Wärmefluss vom Hausinneren nach außen. Existieren thermische Schwachstellen (so genannte Wärmebrücken) und Unregelmäßigkeiten, tritt dort mehr Wärme nach außen als an anderen Stellen. In der Thermografie-Aufnahme sind diese Stellen als hellere Bereiche (gelb, rot und weiß) sichtbar. Auswertungen von Thermogrammen sind sehr treffsicher und aussagekräftig. Es ist darauf zu achten, dass ausreichende Temperaturunterschiede das untersuchte Objekt kontrastreich genug abbilden und dass die benutzte Kamera in ihrer Bildqualität ausreicht.

Thermografie macht nur mit hoher Expertise Sinn!

Die Anforderungen an die Ausbildung zur Durchführung qualitativ hochwertiger thermografischer Analysen sind hoch. Es ist eine langjährige Praxiserfahrung notwendig um die Thermografiebilder richtig zu interpretieren.

⁴ Broschüre „Gebäudeinspektion mit Thermografie“, Grazer Energieagentur, Dez. 2005

ThermografInnen müssen über fundierte Kenntnisse und ausreichende Erfahrung auf den Gebieten der Thermodynamik, des Bauwesens und der Bauphysik (inkl. Strahlungsphysik), der Gebäudetechnik und der Messtechnik verfügen.

Voraussetzung für eine Thermografieaufnahme ist eine Temperaturdifferenz zwischen innen und außen von mindestens 20 °C, die Aufnahmen können daher nur im Winter erfolgen. Zur Vorbereitung der Thermografieaufnahme eines Gebäudes wird das Gebäude 12 bis 24 Stunden zuvor ausreichend beheizt, um einen möglichst konstanten Zustand des Wärmeflusses zu erzielen. Die Änderung dieser Differenz soll während dieses Zeitraums geringer als 30 % sein. Bei Außenthermografie soll die Thermografieaufnahme mindestens 6 Stunden nach Sonnenuntergang aber noch vor Sonnenaufgang durchgeführt werden. Die Temperatur im Gebäude soll möglichst gleichmäßig sein. Die Windgeschwindigkeit muss unter 1 m/s betragen. Die Gebäudehülle darf nicht von Niederschlag befeuchtet sein. Weiters verfälschen hohe Luftfeuchtigkeit (Nebel) und Niederschlag (Schnee, Nieseln) das Ergebnis⁵.

Zum besseren Vergleich und Zuordnung der aufgenommenen Gebäudebereiche werden Normalfotos (Tagbilder) angefertigt.

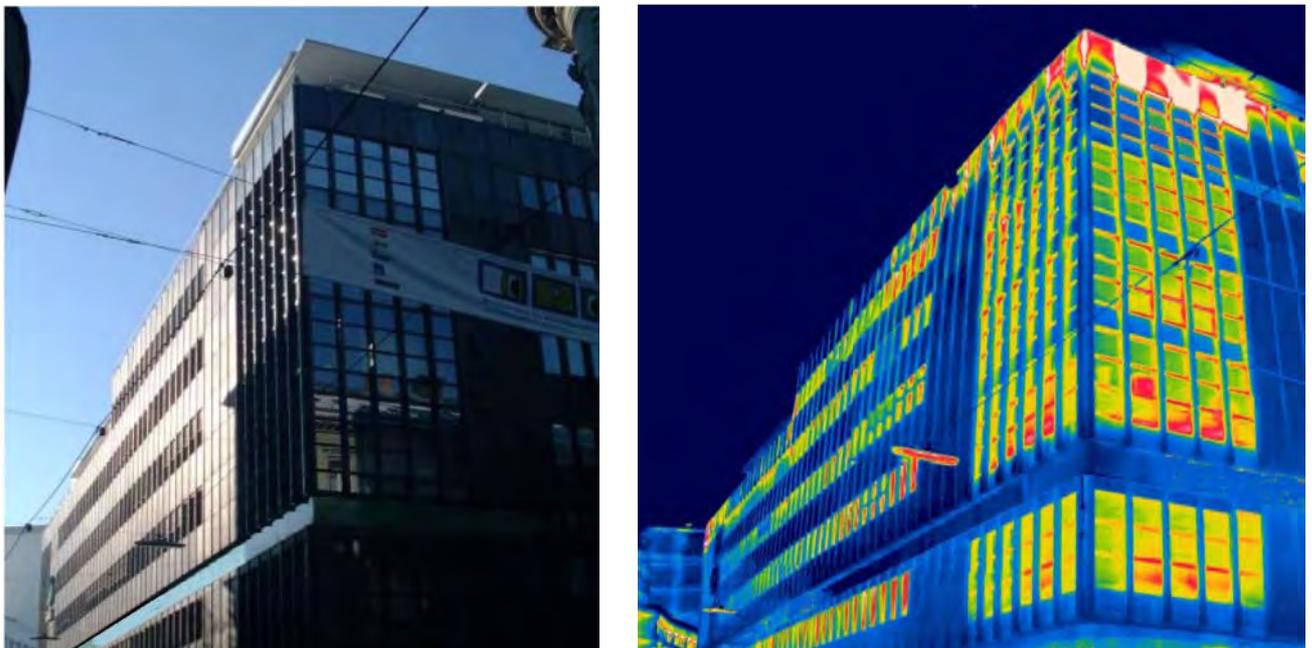


Abbildung 24: Tagbild und Thermografieaufnahme eines Gebäudes (Bildquelle: Grazer Energieagentur)

Störfaktoren, Einschränkungen

Bei Regen, Schnee oder dichtem Nebel ist eine Außenthermografie nicht möglich. Sonnenschein auf Außenflächen verfälscht die Außenthermografie ebenfalls und macht die Aufnahmen unbrauchbar. Daher sind Aufnahmen nur in den Nachtstunden möglich (mindestens 6 Stunden nach Sonnenuntergang).

⁵ Broschüre „Gebäudeinspektion mit Thermografie“, Grazer Energieagentur, Dez. 2005

Folgende Störfaktoren haben einen hohen Einfluss auf die Aufnahmequalität und somit Auswertung:

- Hohe Luftfeuchtigkeit (Nebel) und **Feuchtigkeit (Niederschlag) auf der Gebäudehülle**, Schneefall, **Regen, Wind**
- **Sonneneinflüsse** (daher Aufnahmen erst mindestens **6 Stunden nach Sonnenuntergang** und nur **vor Sonnenaufgang** möglich)
- **Spiegelungen** und **störende Wärmequellen** im Außenbereich achten (z.B. Glühlampen)
- **Hinterlüftete Fassaden**: Thermische Mängel nicht oder nur schwer erkennbar
- **Verglasungen und Metallfassaden**: Spiegelungen! Hohe Gefahr der Fehlinterpretation

Qualitätsstandards

Der Thermografie-Markt beginnt seit einigen Jahren stark zu boomen, auch deshalb weil die Preise für die aufwendige technische Ausstattung stark zurückgehen (Billiggeräte für die Instandhaltung bereits ab 1000,- erhältlich). Dies zeigen auch die Verkaufszahlen der Hersteller von Thermografiekameras. Eine erschwingliche Technik bedeutet jedoch noch keinesfalls eine Verbesserung der Analysen, auch kein bewusstseinsbildender Effekt oder eine Tendenz zur Verbesserung der (thermischen) Bauqualität. Mit steigender Anzahl an Anbietern steigt leider auch die Anzahl der Firmen, die durch mangelnde Praxis und Ausbildung verzerrende oder gar falsche Analysen liefern.

Für qualitativ hochwertige Aufnahmen ist die Einhaltung von technischen und organisatorischen Parametern erforderlich. Einen ersten (theoretischen und etwas veralteten) Anhaltspunkt hierfür liefert auch die für Thermografie vorgesehene ÖNORM EN 13187 „Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden, Qualitativer Nachweis von Wärmebrücken in Gebäudehüllen – Infrarot-Verfahren“. Wichtig sind aber auch die folgend angeführten Erfahrungswerte aus der Praxis:

Voraussetzungen für die Durchführung:

- **Temperaturdifferenz** zwischen innen und außen mindestens 20° C über mindestens 12 Stunden, gleichmäßige Temperatur im Gebäude
- Die **Temperaturschwankung** während 12 Stunden vor den Messungen soll weniger als 30 % betragen
- Aufzeichnung von **Außen- und Innentemperatur, Windgeschwindigkeit!!**
- **Windgeschwindigkeit** soll nicht über 1m/s sein -> bei Interpretation Rücksicht nehmen
- **Außen- und Innenaufnahmen** anfertigen: Nicht jede Schwachstelle zeigt sich von außen – auch Innenaufnahmen sind notwendig (insbesondere bei hinterlüfteten Bauteilen ist nur Innenthermografie möglich)
- Anfertigung eines **Untersuchungsprotokolls – zusätzliche Messgeräte erforderlich (Wind, Temperatur, Luftfeuchte)!**

Technische Parameter der Kamera für Bauthermografie:

- Thermische Empfindlichkeit und Auflösung < 0,10°C bei 30°C
- 320 x 240 Temperatur-Pixel pro Bild, hohe Bildqualität
- Geometrische Auflösung 1,5 mrad oder besser
- Spektralbereich 7,5 bis 13 µm
- Emissionswerteingabe muss möglich sein
- Temperaturbereich mit hoher Messgenauigkeit -40°C bis +55°C
- Genauigkeit ±2°C, ±2%, < 3° C absolut
- Visualisierung auf Display oder Monitor
- Hohe Speicherkapazität (mindestens 150-250 Bilder mit hoher Auflösung pro Gebäude, 256 MB Speicherkapazität)
- autonomer Akkubetrieb von 3-4 Stunden auch bei sehr kalter Umgebung, wechselbare Batterien
- Betriebstemperatur -15°C (besser -20°C) bis +50° C
- Objektive: Normal-, Weitwinkel- und Teleobjektive sind aufgabenbezogen verwendbar.
- Kalibrierung: Externe Werkskalibrierung und interne (automatische) Vergleichskalibrierung (laufend während der Aufnahmen)
- Auswertesoftware zur nachträglichen Auswertung und Bearbeitung von Thermogrammen, inkl. Möglichkeit Tagbilder einzufügen.

Die angegebenen Parameter sind nicht starr zu verstehen, sondern sie stellen Empfehlungen dar, die die jeweilige Messaufgabe berücksichtigen sollen.

Weitere Informationen zum Thema Qualitätsstandards in der Thermografie bietet die Grazer Energieagentur (www.grazer-ea.at) und die Österreichische Gesellschaft für Thermografie.

4.2 Kontrolle der Luftdichtheit

Das Ziel eines Bauvorhabens sollte es sein, eine optimale Behaglichkeit zu erreichen und die dafür eingesetzte Energie zu minimieren. Dazu ist es notwendig, auch aus bauphysikalischen Gründen, eine relativ luftdichte Außenhülle an jedem Gebäude zu schaffen um unnötige Infiltrationen und unkontrollierte Luftwechsel zu vermeiden – umso mehr wenn eine kontrollierte Be- und Entlüftung mit Wärmerückgewinnung vorhanden ist.

Die Luftdichtheit eines Gebäudes wird mit dem **Differenzdruck-Messverfahren** (*Blower-Door-Test*) gemessen. Bei Anwendung dieses Prüfverfahrens ist die Luftwechselrate n50 gemäß **ÖNORM EN 13829** zu ermitteln.

Anforderungen:

Die wesentlichen Anforderungen an die Luftdichtheit der Gebäudehülle stehen in der **OIB-Richtlinie 6** vom April 2007:

„Die Gebäudehülle beim Neubau muss dauerhaft luft- und winddicht ausgeführt sein. Die Luftwechselrate n50 – gemessen bei 50 Pascal Druckdifferenz zwischen innen und außen, gemittelt über Unter- und Überdruck und bei geschlossenen Ab- und Zuluftöffnungen – darf den Wert 3 pro Stunde nicht überschreiten. Wird eine mechanisch betriebene Lüftungsanlage mit oder ohne Wärmerückgewinnung eingebaut, darf die Luftwechselrate n50 den Wert 1,5 pro Stunde

nicht überschreiten. ... Bei Nicht-Wohngebäuden der Gebäudekategorien 1 bis 11 gemäß Punkt 2.2.2 bezieht sich die Anforderung auf die gesamte Gebäudehülle.“⁶

Bei Gebäuden mit Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung ist eine deutliche Unterschreitung des obigen Grenzwertes sinnvoll und geboten (Zielwert: $n_{50} < 1,0$, bei Passivhausstandard $n_{50} < 0,6$).

Die Bauordnungen der Länder können darüber hinaus weitergehende Bestimmungen enthalten (z.B. verpflichtender Nachweis für Neubauten).



Abbildung 25 – Meßausrüstung Differenz-Druckmessung; Bildquelle: Bauthermografie & Luftdichtheitsprüfung Lutz Weidner / Thüringen

Die Grenzen des Verfahrens liegen bei der Leistungsfähigkeit der Ventilatoren der Messausrüstung – bei zu geringer Leistungsfähigkeit und/oder zu großen Undichtheiten kann die Kapazität oft nicht ausreichend sein. Dann müssen entweder abgrenzbare Einheiten gemessen werden oder mehrere Geräte gleichzeitig eingesetzt werden. Je größer das Gebäude, desto ungenauer wird das Messverfahren und desto schwieriger ist die Leckageortung.

Als Faustregel gilt: übliche, leistungsfähige Messausrüstung (1 Ventilator) ist für Bereiche mit bis zu 750 m² (2250 m³) ausreichend. Darüber hinaus sind mehrere Geräte (Ventilatoren) zu verwenden („MultiFan“ Blower-Door Messgerät) oder gut abgrenzbare Messabschnitte zu bilden. Mittlerweile sind Mess-Systeme auf dem Markt, mit denen man Gebäude mit **40.000 bis 450.000 m³ Volumen** testen kann (**7.000 bis 36.000 m² Gebäude-Hüllfläche**).

Ein **kombiniertes Verfahren mit Thermografie** ist äußerst **empfehlenswert** und hat sich in der Praxis bewährt. Die Leckageortung wird dadurch wesentlich erleichtert.

⁶ OIB-Richtlinie 6: Energieeinsparung und Wärmeschutz, Ausgabe April 2007

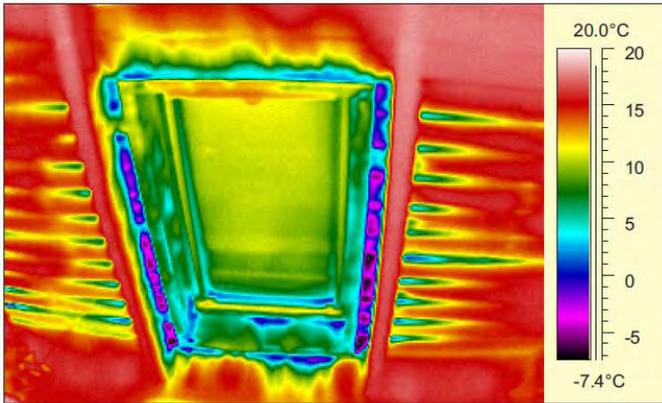


Abbildung 26 – undichtes Dachschrägenfenster (Kombination Blower-Door-Test und Thermografie); Bildquelle: Bundesverband für angewandte Thermografie Deutschland, www.VaTh.de

5 Alternativen bei denkmalgeschützten Gebäuden

5.1 Innendämmung

Die Innendämmung ist dann sinnvoll, wenn eine Dämmung von außen nicht in Frage kommt. Die Planung der Innendämmung ist aufwendig, es müssen für alle Anschlüsse bauphysikalisch funktionierende Lösungen gefunden werden.

Die empfohlene Dämmstärke bei Innendämmungen liegt bei max. 8 - 10 cm Dämmung.

Vorteile der Innendämmung:

- Fassade (Außenansicht) bleibt original erhalten
- Rasches Aufheizen möglich – eine Nachtabsenkung ist wirksam und bringt Energieeinsparung
- die Ausführung ist witterungsunabhängig, also auch im Winter möglich

Nachteile der Innendämmung:

- Dämmstoffdicke begrenzt
- Nutzfläche wird reduziert
- Wärmebrücken sind unvermeidlich und können auch bauphysikalisch kritische Ausmaße annehmen (Unterschreitung der Taupunkttemperatur und Schimmelbildung)
- Reduzierte Wärmespeichermasse
- Leitungen können einfrieren: Vorsicht bei Wasserleitungen in den Wänden mit Innendämmung – die Frostgrenze wird in Richtung Innenraum verschoben, weiters können Frostschäden bei feuchtem Mauerwerk auftreten
- Trocknungsverzögerung bei feuchtem Mauerwerk und Schlagregenereignissen (Diffusionsoffene Systeme ohne Dampfbremse wie z.B. Dämmung mit Kalzium-Silikatplatten sind hier deutlich besser geeignet)
- Besondere Detail-Lösungen für Holzbalkendecken erforderlich (Tauwasserschutz der Balkenköpfe erforderlich! Lösungen werden derzeit noch wissenschaftlich erforscht u.a. vom Institut für Hochbau und Bauphysik der TU Graz); die Detailkonstruktion ist bei der Innendämmung generell wichtig

Die folgende Abbildung (Horizontalschnitt) zeigt die Wärmebrückenproblematik und den Verlauf der Frostgrenze bei einer 50 cm Vollziegelaußenmauer (8cm Innendämmung) mit 30cm Vollziegel Innenmauer. Die Frostgrenze verläuft bei -12°C Außentemperatur an der Grenze Außenwand/Innendämmung – in der Außenwand liegende Wasserleitungen können einfrieren.

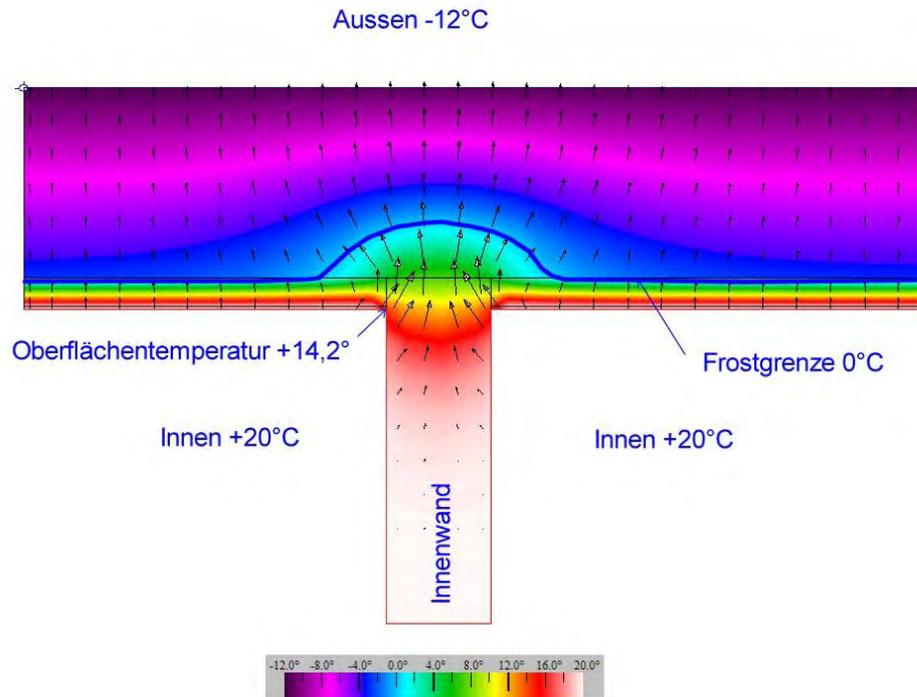


Abbildung 27: Wärmebrückenproblematik bei Innendämmungen; Wärmebrückensimulation: Darstellung der Isothermen und Wärmeflussvektoren bei einer 50cm starken Vollziegelmauer mit 8cm Innendämmung (Quelle: Grazer Energieagentur GmbH)

Gelöst werden kann diese Problematik mittels Dämmkeilen an Innenwänden und Decken, im Bereich Fußboden muss zumindest der außenwandseitige Bereich gedämmt werden - Detaillösungen hängen vom vorhandenen Fußboden ab.

5.1.1 Systeme mit innenliegender Dampfbremse

Innendämmungen mit Dampfbremsen sind oft fehleranfällig, es kommt häufig zu Beschädigungen in der Bauphase und auch danach – liegt z.B. die Dampfbremse nur durch eine 1-lagige Gipskartonplatte geschützt in 1-1,5 cm Wandtiefe, so wird bereits durch das Einschlagen eines Nagels in die Wand die Dampfbremse verletzt und die Wirkung der Dampfbremse geschwächt oder wird diese gar unwirksam. Die Anbindungen an Innenwände und Installationen (Rohrdurchführungen) müssen sorgsam und fachgerecht durchgeführt werden (luftdicht mit geeigneten, zur Dampfbremse passenden Klebebändern), die Stöße müssen luftdicht verklebt werden. Installationen (Steckdosen, Beleuchtung etc.) sind generell in dieser Konstruktion kritisch.

Die Ausführung erfolgt häufig in Form einer innenliegenden Vorsatzschale mit Gipskartonbeplankung auf Trägerkonstruktion (aus Holz oder Metall-Profilen) mit dazwischen liegender Dämmung. Die Beplankung wird zumindest 2-fach empfohlen (Speichermasse, besserer Schutz der

Dampfbremse). Die frei vor der Wand stehende Vorsatzschalenkonstruktion verbessert in der Regel auch den Schallschutz der Wand.

In der Regel sind diese Systeme jedoch kostengünstiger als Systeme ohne Dampfbremse. Die Kosten für gedämmte Vorsatzschalen liegen im Bereich € 40 - 60 ,-- pro m² (8 cm Dämmung).

Eine Sonderform der Systeme mit Dampfbremse stellen Dämmsysteme mit Schaumglas als Wärmedämmstoff dar. Diese Systeme haben zwar keine zusätzliche Dampfbremse, der Dämmstoff selbst ist jedoch dampfdicht. Das Material ist Großteils ein Recyclingbaustoff (aus Altglas), die Platten werden mit Kaltkleber (meist auf Bitumenbasis) auf den Untergrund verklebt und verputzt.

Die größte Problematik bei den nicht-diffusionsoffenen Systemen liegt in der Austrocknungsverzögerung.

5.1.2 Systeme ohne Dampfbremse

Innendämmsysteme ohne Dampfbremse (aufgespritzte Zellulose, Kalzium-Silikatplatten) funktionieren nach dem Prinzip Feuchtespeicherung und hoher kapillarer Leitfähigkeit.

Durch diffusionsoffene, kapillaraktive Systeme wird Tauwasser, das sich während der Nutzung zwangsweise innerhalb der Dämmung bildet, durch das natürliche Austrocknungsverhalten des Materials wieder der Raumluft zugeführt.

Systeme mit Kalziumsilikatplatten sind technisch ausgereift und leicht verfügbar (mehrere namhafte Hersteller u.a. Xella (Ytong), Hebel, Sto etc.). Die Dämmplatten haben ökologisch gute Eigenschaften, mehrere Hersteller haben ökologische Zertifizierungen.

Die Systemkosten liegen im Bereich 80-120,--/m².

Systeme mit aufgespritzter Zellulose sind ebenfalls ökologisch hervorragend, die Systeme sind noch in Entwicklung und werden wissenschaftlich untersucht. Die Entwicklung ist vielversprechend und die Systeme werden von mehreren Herstellern angeboten (teilweise auch als Akustikbeschichtung auf Grund der hervorragenden akustischen Eigenschaften). Nachteil dieses Dämmsystems ist jedoch der relativ hohe Feuchteintrag bei der Herstellung in den Raum (die Fasern werden feucht aufgespritzt) und die lange Austrocknungszeit.



Abbildung 28: Aufsprühvorgang der Zellulosedämmung und fertige Innendämmung mit Abzugsleisten (Quelle: Kautsch e.a., Endbericht des Haus der Zukunft Projekts „Zellulose-Innendämmung ohne Dampfsperre“, 2006,

5.2 Kastenfenster mit Low-e Verglasung

Wenn die Erhaltung der Fenster aus denkmalschutzgründen gefordert ist (z.B. Kastenfenster) so besteht die Möglichkeit die Energieeffizienz durch Beschichtung der Gläser zu verbessern (low-e Beschichtung – der Emissionskoeffizient wird reduziert, die Infrarotstrahlung wird zurück in den Raum reflektiert). Die Anbringung der beschichteten Scheibe erfolgt am Innenflügel von Kastenfenstern (Beschichtung an der dem Raum zugewandten Seite), Glas mit harter Beschichtung ist für Kastenfensterkonstruktionen geeignet.

Vorteile:

- Relativ einfache und effiziente Lösung
- Das Erscheinung des Fensters ändert sich nicht

Alte Kastenfenster haben einen U_w -Wert im Bereich von 2,2 - 2,5 W/m^2K . Der U_w -Wert der Kastenfenster verbessert sich durch low-e-beschichtetes Glas im Innenflügel auf $U_w = 1,7 - 1,9 W/m^2K$.⁷ Bei der Sanierung sollte gleichzeitig auch die Dichtheit der Fenster verbessert werden.

Alternativ werden oft auch als Innenflügel Isolierverglasungen angebracht (breiter und stabiler Rahmen erforderlich), eine Abstimmung mit dem Bundesdenkmalamt ist erforderlich.

Weiterführende Literatur: Ortler A. et al.(2003), Energetische Sanierung in Schutzzonen, Bericht im Rahmen der Programmlinie Haus der Zukunft.

⁷ Quelle: Dr. Zsuzsa Szalay, UCD Energy Research Group, Vortrag new4old Workshop Freiburg 5. März 2010

5.3 Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung

Die Reduktion der Lüftungswärmeverluste bringt bei denkmalgeschützten Bauten einen hohes Potenzial an Energieeinsparung mit sich, insbesondere wenn nur eingeschränkt Innendämmungen aufgebracht werden können. Darüber hinaus verbessern die Lüftungsanlagen die Luftqualität, besonders auch im Zusammenhang mit der oft vorhandenen (Mauer-)Feuchteproblematik bei alten Gebäuden und Oberflächenkondensation bei Bauteilen. Es existieren bisher wenige Erfahrungen bei der Nachrüstung in denkmalgeschützten Gebäuden, speziell im Bereich Verwaltungs-/und Unterrichtsgebäude – es ist hier im Fall zu Fall immer wieder Diskussions- und Abstimmungsbedarf mit dem Bundesdenkmalamt gegeben – es gibt daher keine generelle Empfehlung über die Vorgehensweise sondern muss von Fall zu Fall entschieden werden. Eine Argumentation über die oben genannte Feuchteproblematik ist in der Regel hilfreich, der Einsatz von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung ist aus bauphysikalischer und energetischer Sicht sinnvoll.

Details zum Thema Nachrüstung von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung finden sie im eigenen Bericht und in der Entscheidungsmatrix (Power-Point Modul) in einem eigenen Kapitel.

Entscheidungskriterien für sommerlichen Komfort und nachhaltige Kühlung in Büro – und Unterrichtsgebäuden

Sanierung nach BIGMODERN Standard

Stand: August 2010



Auftraggeber:



Bundesministerium
für Verkehr,
Innovation und Technologie

Impressum

Grazer Energieagentur GmbH
Gerhard Bucar, Rudolf Grossauer,
Thomas Mayrold-Neubauer, Ernst Meissner
Kaiserfeldgasse 13/I
8010 Graz
Österreich

Telefon +43-316-811848

Fax +43-316-811848-9

office@grazer-ea.at

<http://www.grazer-ea.at>

Inhaltsverzeichnis

1	Ausgangssituation und Zielsetzungen.....	2
2	Grundlagen zur Kühllast von Büro- und Verwaltungsbauten	3
2.1	Behaglichkeitsempfinden.....	3
2.2	Kühllast eines Gebäudes.....	3
3	Passive und aktive Kühlung – Definition und Übersicht	5
3.1	Passive Kühlung.....	5
3.1.1	Sonnenschutz	6
3.1.2	Gezielte natürliche Belüftung (z.B. Nacht/-Taglüftung,...).....	7
3.1.3	Nachtlüftung über mechanische Lüftungssysteme	8
3.1.4	Speichermassen und Latentwärmespeicher.....	10
3.1.5	Passive Verdunstungskühlung durch Wasserflächen, Brunnen, Begrünung im Gebäudeumfeld oder im Innenraum	13
3.1.6	Hybride Verdunstungskühlung.....	14
3.1.7	Luftdurchströmte Erdreichwärmetauscher	18
3.1.8	Wasserdurchströmte Erdreichwärmetauscher.....	19
3.1.9	Erdsonden und Energiepfähle zur Nutzung des Erdreiches als Wärmespeicher/Kältepuffer	23
3.1.10	Offene Systeme mit Grund- und Seewasser	25
3.1.11	Bauteilkühlung über Decken, Böden und Wände	27
3.2	Aktive Kühlung.....	29
3.2.1	Thermisch angetriebene Kühlung (z.B. „solare“ Kühlung).....	29
3.2.2	Kombination Photovoltaik mit Kompressionskältemaschine.....	37
3.2.3	Zusammenfassung nachhaltige aktive Kühlung	40
4	Bewertungsmatrix und Wirtschaftlichkeitsvergleich	41

1 Ausgangssituation und Zielsetzungen

Das Thema sommerlicher Komfort spielt vor allem im Bereich Büro- und Verwaltungsbauten eine immer höhere Rolle. Bisher wurden bei Problemen mit sommerlicher Überhitzung wenig effiziente Splitklimaanlagen nachgerüstet – es sollen künftig bei nachhaltigen Modernisierungen sowohl die Möglichkeiten der passiven Verbesserung des Raumklimas ausgeschöpft werden als auch die Möglichkeiten nachhaltiger Kühlsysteme genutzt werden.

Ziel dieses Leitfadens ist es daher, für den Bauherren BIG Möglichkeiten der passiven Verbesserung des Raumklimas aufzuzeigen und zu nutzen, um den sommerlichen Komfort in den sanierten Gebäuden zu erhöhen. Zusätzlich werden die Möglichkeiten nachhaltiger aktiver Kühlung dargestellt (z.B. solare Kühlung).

Inhalte des Leitfadens sind u.a.:

- Möglichkeiten der passiven Kühlung und Verbesserung raumklimatischer Bedingungen (Speichermassen, Nachtlüftung etc.) – Entscheidungskriterien samt Umsetzungsvarianten, Schlüsselfaktoren bei der Anwendung, technische Risiken und Lösungsmöglichkeiten – technische und wirtschaftliche Machbarkeitsanalyse.
- Erfahrungsberichte zu solaren und anderen nachhaltigen Kühlsystemen (z.B. Kompressionskälteanlage mit Photovoltaik), Systemvoraussetzungen und sinnvolle Ausführungsvarianten, Kostenanalyse und Empfehlung
- Planungsanforderungen (z.B. Systemvorgaben, notwendige und sinnvolle Steuermöglichkeiten, Komfortkriterien, Technische Vorgaben, etc.)
- Effizienzkriterien für die Kühlsysteme; Wartungsintervalle und –kosten /Zeitaufwand/notwendiges technisches Wissen, Betriebskostenvergleiche

2 Grundlagen zur Kühllast von Büro- und Verwaltungsbauten

2.1 Behaglichkeitsempfinden

Das Behaglichkeitsempfinden in Gebäuden bzw. an Arbeitsplätzen ist nicht anhand eines eindeutigen Messwertes definierbar und auch nicht ausschließlich von der Raumtemperatur abhängig. Folgende Faktoren fließen bei der Behaglichkeitsdefinition ein:

- Lufttemperatur
- Luftfeuchtigkeit
- Luftzusammensetzung („Luftqualität“)
- Luftbewegung und
- Temperatur der Raumbegrenzungen.

Zusätzlich fließen noch die Art der Tätigkeit und die Bekleidung in die empfundene Behaglichkeit der sich in einem Raum aufhaltenden Personen ein. Weiters ist das Behaglichkeitsempfinden nicht bei jeder Person gleich. D.h. ein Zustand, der für einen oder mehrere Personen als behaglich empfunden wird, kann für eine andere Person bereits außerhalb des Behaglichkeitsbereiches liegen. Es gilt daher ein Raumklimazustand zu schaffen der für einen Großteil der anwesenden Personen als zufriedenstellend empfunden wird (Definition in ISO EN 7730).

Die genauen Definitionen und Zusammenhänge der oben genannten Faktoren sind bereits in zahlreichen Studien beschrieben, es sein hier z.B. auf den Endbericht des Projektes COOLSAN verwiesen¹.

2.2 Kühllast eines Gebäudes

Die Ursachen für die sommerliche Überhitzung in Gebäuden – so genannte Kühllasten - sind in „unerwünschte Wärmeeinträge“ von außerhalb (= externe Lasten) oder innerhalb eines Gebäudes (= interne Lasten) zu unterscheiden.

- Externe Lasten

Im Wesentlichen setzen sich die externen Lasten aus den Wärmeeinträgen durch

- Solare Einstrahlung durch transparente Bauteile,
- Transmission durch Außenwände, Fenster und Dächer und

¹ COOLSAN: Kältetechnische Sanierungskonzepte für Büro und Verwaltungsgebäude – Endbericht; AEE INTEC 2005

- Lüftung (Einbringen „heißer“ Außenluft in das Gebäude) zusammen.

Berechnungen haben gezeigt, dass der Anteil der solaren Einstrahlung an der Gesamtkühllast in Abhängigkeit der Größe der transparenten Bauteile bei über 50% liegt. Es ist daher gerade bei der Auswahl der passiven Kühlsysteme auf diesen Punkt ein besonderes Augenmerk zu legen.

- Interne Lasten

Die internen Lasten umfassen alle Wärmequellen im Inneren des Gebäudes, z.B. die Abwärme von

- elektrischen Geräten wie Computer und Server, Kopierer, Drucker, etc.
- Beleuchtung
- Anwesenden Personen

Auch hier wird betreffend weiterführenden Informationen z.B. auf den Endbericht des Projektes COOLSAN verwiesen². In der nachfolgenden Abbildung ist aus dem Projekt COOLSAN die Zusammensetzung der spezifischen Gesamtkühllast für 15 Referenzobjekte dargestellt. Es handelt sich dabei vorwiegend um Bürogebäude mit Baujahr 1960 bis 2000.

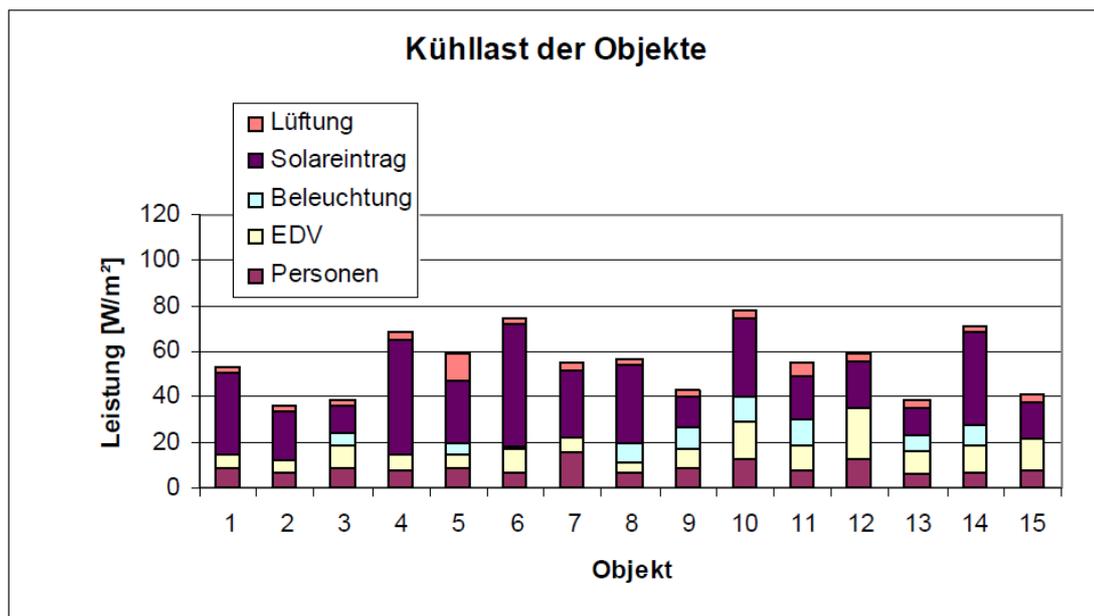


Abbildung 1: Gesamtkühllast von 15 Objekten im Rahmen des Projekts COOLSAN²

Aus dieser Abbildung ist einerseits sehr deutlich die Bandbreite der spezifischen Kühllast bei unterschiedlichen Objekten zu erkennen (zwischen ca. 35 und 80 W/m²) und andererseits ist auch hier der hohe Anteil des Solareintrages an der Gesamtkühllast (meist um bzw. über 50%) auffallend.

² COOLSAN: Kältetechnische Sanierungskonzepte für Büro und Verwaltungsgebäude – Endbericht; AEE INTEC 2005

3 Passive und aktive Kühlung – Definition und Übersicht

Während man unter aktiver Gebäudekühlung allgemein den Einsatz von Kältemaschinen und den unterschiedlichen Kälteverteilsystemen in den Gebäuden versteht, ist der Begriff der passiven Kühlung etwas weiter gefasst. In den nachfolgenden zwei Unterkapiteln wird versucht einen groben Überblick über die unterschiedlichen Verfahren zu geben. Im darauf folgenden Kapitel wird die Eignung bzw. die Effektivität des Einsatzes der einzelnen Verfahren in Bezug auf die Gebäudebauweise beschrieben.

3.1 Passive Kühlung

Unter dem Begriff der passiven Kühlung werden streng genommen bauliche Vorkehrungen verstanden, welche ohne zusätzlichen Energieaufwand die Überhitzung von Gebäuden verhindern. Darunter fallen zum Beispiel³:

- Außen liegender Sonnenschutz;
- Sommerlicher Wärmeschutz durch ausreichende Wärmedämmung, vor allem des Daches;
- Gezielte natürliche Belüftung (z.B. Nacht/-Taglüftung,...);
- Speichermassen und Latentwärmespeicher;
- Passive Verdunstungskühlung durch Wasserflächen, Brunnen, Begrünung im Gebäudeumfeld oder im Innenraum.

Darüber hinausgehend können zur passiven Kühlung im weiteren Sinne auch haustechnische Installationen gezählt werden, die es ermöglichen „natürliche Kältesenken“ wie zum Beispiel kalte Nachtluft, kühles Erdreich, Grundwasser, etc. gezielt zu nutzen und somit Wärme abzuführen und Speichereffekte auszunutzen. Zum Teil sind diese Systeme auch unter dem Begriff „Free Cooling – freie Kühlung“, d.h. Kühlen ohne Kältemaschine bekannt.

Darunter fallen zum Beispiel:

- Nachtlüftung über mechanische Lüftungssysteme;
- Hybride Verdunstungskühlung;
- Luftdurchströmte Erdreichwärmetauscher;
- Wasserdurchströmte Erdreichwärmetauscher;
- Erdsonden und Energiepfähle zur Nutzung des Erdreiches als Wärmespeicher/Kältepuffer;
- Offene Systeme mit Grund- und Seewasser;
- Bauteilkühlung über Decken, Böden und Wände.

³ [http://energytech.at/\(de\)/architektur/portrait_artikel-3.de.html](http://energytech.at/(de)/architektur/portrait_artikel-3.de.html)

Bei der Umsetzung von passiven Kühlsystemen ist die systematische Optimierung des Gesamtsystems eine Grundvoraussetzung. Wie bereits mehrere Studien sehr anschaulich gezeigt haben (z.B. „COOLSAN“⁴, „Passive Kühlkonzepte für Büro- und Verwaltungsgebäude mittels Luft- bzw. Wasserdurchströmten Erdreichwärmetauschern“⁵ oder im Projekt „Keep Cool“⁶), ist die Voraussetzung für ein Kühlen mit Umweltenergien ein kühllastoptimiertes Gebäude. Das bedeutet, dass die internen Lasten möglichst reduziert werden und parallel über bauliche Vorkehrungen der Solareintrag möglichst gering gehalten wird. Durch diese Maßnahmen kann der Kühlenergiebedarf meist mehr als halbiert werden.

Dieser reduzierte Restkühlbedarf der Gebäude kann dann mittels passiver und hybrider Konzepte gedeckt werden.

In weiterer Folge werden die einzelnen passiven Kühlkonzepte kurz vorgestellt und grobe Angaben zu Investitionskosten und Rahmenbedingungen angeführt.

3.1.1 Sonnenschutz

Siehe getrennter Bericht

⁴ COOLSAN: Kältetechnische Sanierungskonzepte für Büro und Verwaltungsgebäude – Endbericht; AEE INTEC 2005

⁵ Passive Kühlkonzepte für Büro- und Verwaltungsgebäude mittels Luft- bzw. Wasserdurchströmten Erdreichwärmetauschern; Endbericht AEEINTEC 2002

⁶ <http://www.keep-cool.eu>

3.1.2 Gezielte natürliche Belüftung (z.B. Nacht-/Taglüftung,...)

Bei der Nachtlüftung wird die niedrigere Außentemperatur in den Nachstunden genutzt um eine Abkühlung im Gebäude zu erreichen. Da bei mitteleuropäischem Klima auch nach heißen Sommertagen die Nächte meist auf unter 20°C abkühlen, ist dieses Konzept gut einsetzbar. Wenn das Gebäude bestimmte Rahmenbedingungen erfüllt, kann mit dieser Lüftungsweise die Wärmelast des Tages abgeführt werden. Die wesentlichen Rahmenbedingungen sind:

- Reduktion/Begrenzung der internen und externen Wärmelasten:
Wie bereits erwähnt sollten zuerst über entsprechende Maßnahmen die internen und externen Lasten entsprechend reduziert werden, dass eine Überwärmung der Räume möglichst vermieden wird. Lt. Zimmermann (1999) ⁷ liegt die Grenze der Nachtlüftung bei etwa 150 Wh/m²d.
- Speichermasse im Gebäudeinneren:
Die Speichermasse im Gebäude ist eine weitere Voraussetzung für den Erfolg der Nachtlüftung. Nur wenn eine möglichst große Masse (hohe Dichte und/oder große Wandstärke) im Gebäude in der Nacht abgekühlt werden kann, ist der Stabilisierungseffekt der Raumtemperatur gegeben. D.h. es kommt im Tagesverlauf zwar zu einem Temperaturanstieg in den Räumen, aber das Temperaturprofil ist deutlich „geglättet“. **Durch abgehängte Decken, Vorsatzwände oder dämmende Böden kann es allerdings dazu kommen, dass die dahinter liegenden Speichermassen nicht oder nur zu einem geringen Teil aktivierbar sind. In diesem Fall müssten dann – um den Effekt der Nachtlüftung zu verbessern – z.B. die abgehängten Decken entfernt werden oder zusätzliche Speichermassen in den Raum eingebracht werden.**
- Akzeptanz eines Temperaturanstieges im Tagesverlauf:
Wie bereits erwähnt, kommt es bei der natürlichen Belüftung „nur“ zu einer Glättung des Temperaturanstieges am Tag. Es können dadurch zwar keine „fixen Raumluftparameter“ eingehalten werden, aber bei guter Auslegung kann an einem Großteil der Sommertage in Österreich der Behaglichkeitsbereich eingehalten werden.
- Speziell auf die Nachtlüftung abgestimmtes Lüftungskonzept:
Bei der natürlichen Lüftung sind offene Fenster und/oder Lüftungsöffnungen und Druckdifferenzen erforderlich, die eine Durchströmung des Gebäudes ermöglichen. D.h. nur wenn die Außenluft kälter als die Raumluft ist, entsteht diese Druckdifferenz und diese ist umso größer, je höher der Temperaturunterschied ist. Thermik-Effekte über Treppen-

⁷ Zimmermann, M. (2003). Handbuch der passiven Kühlung: Rationelle Energienutzung in Gebäuden. Stuttgart, Fraunhofer IRB

häuser oder Atrien (Kamineffekt) und Windströmungen sind dabei ebenfalls hilfreich. Die Positionierung der Lüftungsöffnungen sowie die Sicherstellung, dass die Lüftungsöffnungen in der Nacht geöffnet und tagsüber geschlossen sind, ist wesentlich für die Effektivität des Systems. Ein mindestens 3-facher Luftwechsel sollte in den Nachtstunden möglich sein (COOLSAN⁸) – dies ist lt. Norm grundsätzlich bei geöffneten bzw. ausreichend gekippten Fenstern und Querlüftung möglich.

Vorteile der natürlichen Belüftung:

- effizienter Luftaustausch;
- niedrigen Betriebskosten;
- meist ohne bzw. nur mit geringen baulichen Adaptionen umsetzbar, d.h. niedrige Investitionskosten.

Nachteile bei der natürlichen Belüftung:

- Witterungs-, Einbruchs- und Brandschutz (gerade bei öffentlichen Bauten der). Das bedeutet bei öffentlichen Gebäuden meist, dass die natürliche Nachtlüftung über geöffnete oder gekippte Fenster meist ausscheidet und nur eine Variante über spezielle Zu- und Abluftöffnungen und Lüftungskanäle möglich ist;
- Investitionskosten wenn zusätzliche Zu- und Abluftöffnungen bzw. Lüftungskanäle erforderlich sind

3.1.3 Nachtlüftung über mechanische Lüftungssysteme

Im Unterschied zur natürlichen Belüftung wird bei der mechanischen Belüftung die Luftströmung in den Gebäuden über Ventilatoren erzeugt. Die Luft kann dabei sowohl über Fenster oder mechanisch betriebene Lufteinlässe zugeführt werden, meist aber über ein zentrales Lüftungssystem. Der Effekt der Ausnutzung der kühlen Nachtluft, um Speichermassen im Gebäude aktivieren (d.h. abzukühlen) zu können damit diese dann im Tagesverlauf die Wärme im Gebäude aufnehmen können, ist gleich wie bei der natürlichen Belüftung. Meist sind die mechanischen Lüftungssysteme als Abluftanlagen ausgeführt.

Systeme die den natürlichen Effekt der Belüftung nutzen könne und – wenn die natürliche (freie) Belüftung nicht ausreicht – vorhandene Ventilatoren zuschaltet, nennt man hybride Systeme.

Die **Vorteile** der Nachtlüftung über mechanische Systeme sind ähnlich wie bei der Nachtlüftung über natürliche Belüftung:

- effizienter Luftaustausch bei niedrigen Betriebskosten;
- in der Regel niedrige Investitions- und Wartungskosten (davon abhängig, ob geeignete Lüftungsöffnungen oder ein Lüftungssystem schon besteht und nur Ventilatoren ergänzt oder Regelungen umprogrammiert werden müssen);

⁸ COOLSAN: Kältetechnische Sanierungskonzepte für Büro und Verwaltungsgebäude – Endbericht; AEE INTEC 2005

- gegenüber einer aktiven Kühlung wird der „psychologische Behaglichkeitseffekt“ besser eingestuft, da auch die Umgebungsflächen und nicht nur die Raumlufttemperatur auch auf einem entsprechenden niedrigeren Temperaturniveau sind. Die Behaglichkeitsschwelle wird nach oben verschoben, d.h. höhere Raumtemperaturen werden aufgrund der direkten Koppelung mit der Umgebung eher als erträglich empfunden.
- Gegenüber der natürlichen Belüftung hat die mechanische Nachtlüftung noch den Vorteil, dass die Luftbewegung innerhalb des Gebäudes kontrolliert erfolgen kann (d.h. keine Abhängigkeit von Temperaturunterschieden).
- Meist sind auch die Einschränkungen wie Witterungs-, Einbruchs- und Brandschutz bei der Nachtlüftung über mechanische Systeme besser in den Griff zu bekommen, da die Zu- und Abluftöffnungen entsprechend positioniert und ggf. Brandschutzklappen in Lüftungskanälen gesetzt werden können.

Wichtige Rahmenbedingungen:

- Wie bereits bei den Vorteilen erwähnt, sind die niedrigen Investitionskosten nur dann sichergestellt, wenn auf der gebäudetechnischen Seite bereits bestehende Systeme genutzt werden können und die Gebäudesubstanz entsprechend beschaffen ist.
- Auch bei der Nachtlüftung über mechanische Lüftungssysteme ist natürlich die aktivierbare Speichermasse im Gebäude eine Grundvoraussetzung und wenn diese erst geschaffen werden muss, sind die Investitionskosten für ein derartiges System in Summe natürlich deutlich höher einzustufen.
- Weiters ist darauf zu achten, dass die Betriebszeiten der Ventilatoren für die Nachtlüftung entsprechend an die Außenlufttemperatur gekoppelt sind (d.h. Betrieb in den frühen Morgenstunden wenn die Außenlufttemperatur niedrig ist) und die Betriebszeit nicht unnötig zu lange gewählt wird, da ansonsten der Energieaufwand für den Betrieb der Ventilatoren unnötigerweise ansteigt.

Nachteile:

- Bauliche Gegebenheiten müssen entsprechend sein, d.h. zentrales Lüftungssystem vorhanden dessen Regelung entsprechend adaptiert werden kann oder einfacher Einbau von mechanischen Zu- und Abluftöffnungen mit Ventilatoren möglich. Ansonsten hohe Investitionskosten;
- Durchlüftung des gesamten Gebäudebereiches muss möglich sein – entweder über zentrales Lüftungssystem oder Türen von Räumen ohne direkte Luftöffnungen nach außen müssen zu luftdurchströmten Gang-, Stiegenhaus oder Atrienbereich geöffnet sein. Brand- und Einbruchschutz berücksichtigen.

3.1.4 Speichermassen und Latentwärmespeicher

Wie bereits im vorangegangenen Punkt (natürliche Belüftung) beschrieben, dienen die Speichermassen in einem Objekt zur Stabilisierung der Raumtemperatur indem sie bei hohen Innentemperaturen die Wärme aufnehmen können und somit den weiteren Anstieg der Raumlufttemperatur verzögern. Im Idealfall ist dann die Lastspitze auf einen Zeitpunkt verschoben, an dem der Raum nicht mehr belegt ist (Nachmittagsspitze auf späten Abend) und kann dann anschließend wieder z.B. durch Nachtlüftung „weggekühlt“ werden. Neben der Speichermasse ist auch noch der Wärmeeindringkoeffizient eine wichtige Kennzahl von Baustoffen. Er gibt an wie schnell die Wärme über die Speichermasse aufgenommen bzw. abgegeben werden kann. Eine Aufstellung dazu ist in Zimmermann 9 zu finden. Grundsätzlich gilt, dass die ersten 10cm eines Bauteils für die Speicherung als relevant betrachtet werden können. Wie bereits erwähnt, beeinflussen abgehängte Decken, Vorsatzwände oder dämmende Böden diesen Speichereffekt negativ.

Bei Latentwärmespeichern werden so genannte Phasenwechselmaterialien (PCM - Phase Change Materials) eingesetzt, bei denen gezielt Phasenübergänge zur Speicherung und Abgabe von Wärme eingesetzt werden. Es wird also das physikalische Prinzip, dass während des Phasenüberganges trotz Wärmezufuhr keine Temperaturerhöhung erfolgt, ganz gezielt genutzt. Die Änderung der Aggregatzustände ist reversibel, die dabei gespeicherte Wärme wird als „latente“ Wärme bezeichnet. Die nachfolgende Abbildung zeigt die physikalischen Grundlagen mit der idealen Zustandsänderung:

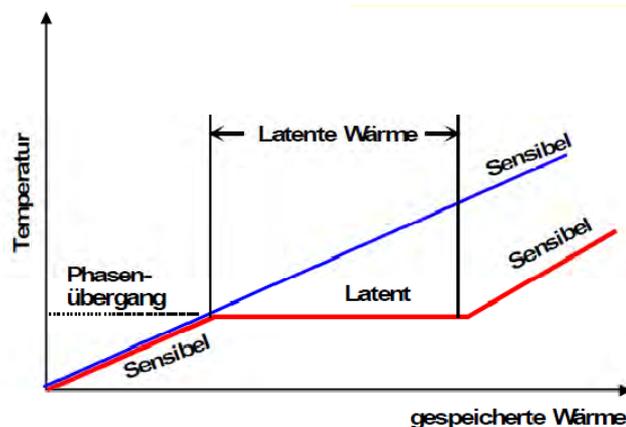


Abbildung 2: physikalische Grundlagen Latentwärmespeicher¹⁰

Die Materialien müssen so gewählt werden, dass der Phasenübergang genau in dem üblich zu durchlaufenden Temperaturbereich der Raumluft liegt. Als Speichermedien kommen meist spe-

⁹ Zimmermann, M. (2003). Handbuch der passiven Kühlung: Rationelle Energienutzung in Gebäuden. Stuttgart, Fraunhofer IRB

¹⁰ Bildquelle: „Kühlen – die Herausforderung der Zukunft“ Empa Abt. Energiesysteme/Haustechnik

zielle Salzgemische, Salzhydrate oder Paraffine zum Einsatz, die mikroverkapselt z.B. in übliche Baustoffe integriert werden. Bei einem Anstieg der Raumtemperatur im Sommer nehmen diese Materialien Wärmeenergie zur Verflüssigung auf und verhindern bzw. verzögern damit einen weiteren Anstieg der Raumtemperatur. Bei Erreichen einer niedrigeren Raumtemperatur (z.B. in der Nacht) geben diese Latentwärmespeicher dann bei ihrer Kristallisation die Wärme wieder ab. Zum Einsatz kommen diese Phasenwechselmaterialien z.B. integriert in Putze, Porenbeton oder in Leichtbauplatten. Gegenüber „konventioneller“ Speichermasse (Beton etc.) liegt der Vorteil bei Latentwärmespeichern bei der hohen Speicherdichte dieser Materialien, d.h. die erforderlichen Massen sind deutlich geringer und damit auch der Platzbedarf. Lt. Herstellerangaben sind hinsichtlich der Speicherkapazität mit PCM-Paraffinen versetzte 1,5 cm starke Gipskartonplatten mit einer 7 cm starken Betonwand bzw. einer 10 cm starken Ziegelwand gleichzusetzen. In der nachfolgenden Grafik ist ein Vergleich der Wandtemperaturen einer PCM-Wand mit einer konventionellen Wand zu sehen. Es ist deutlich der Effekt der Temperaturstabilisierung zu erkennen.

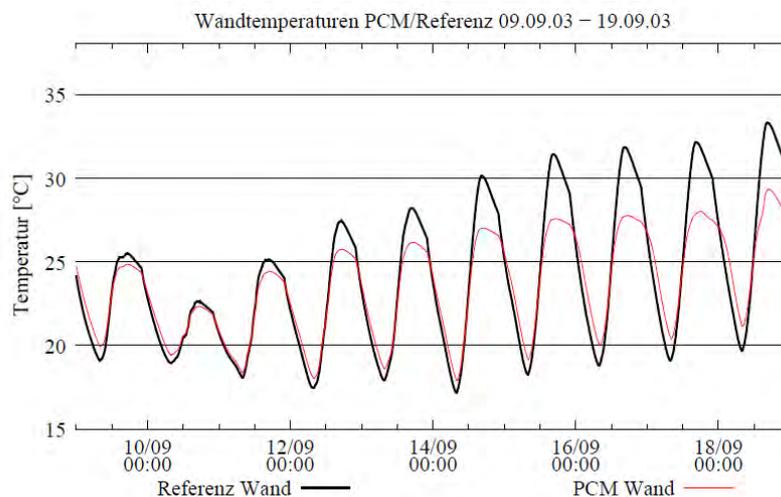


Abbildung 3: Vergleich Wandtemperaturen einer Referenzwand mit einer PCM-Wand¹¹

Neben der Regeneration der PCM-Materialien oder der zusätzlichen Speichermassen allgemein durch z.B. Nachtlüftung ist auch eine „Aktivierung“ dieser Bauteile durch den Einbau von Kapillarmatten etc. möglich die dann z.B. durch ein wasserbasierendes System über Erdwärmetauscher oder Grundwasser gekühlt werden können.

Vorteile:

- Effiziente Stabilisierung der Raumtemperatur;
- Niedrige bzw. keine Betriebs- und Wartungskosten;
- Speziell bei Latentwärmespeichern: hohe Speicherdichte und daher geringere Masse und weniger Platzbedarf.

¹¹ Bildquelle: „Mikroverkapselte Phasenwechselmaterialien in Wandverbundsystemen“; Fraunhofer – Institut für solare Energiesysteme ISE

Nachteile:

- Grundvoraussetzung bei Speichermassen und Latentwärmespeichern ist ein niedrigeres Temperaturniveau (z.B. in der Nacht) bei dem eine Regeneration möglich ist oder eine Aktivierung durch z.B. zusätzlichen Einbau eines Kaltwasserkreises;
- Die Speichermassen dürfen nicht verbaut werden, d.h. keine abgehängten Decken, keine durchgängigen Wandverbauten, keine zusätzlichen Fußbodenaufbauten mit Blindböden etc.;
- Speziell bei Latentwärmespeichern:
 - Latente Phasenumwandlung nur in einem genau definierten Temperaturbereich, d.h. genaue Auslegung auf den Anwendungsfall erforderlich;
 - Zu berücksichtigen: Brandschutz bei Paraffinen; Korrosion und Entmischung bei Salzen;
 - Wenig Langzeiterfahrung;
 - nur wenige Produkte am Markt verfügbar;
 - derzeit noch hohe Investitionskosten.

Kosten:

- Speichermassen allg. (z.B. 12 cm Ziegelwand – Material und Errichtung): ca. 100 bis 200 Euro/m² - starke Abhängigkeit von aktuellen Gegebenheiten (im Zuge einer Sanierung oder nachträglicher Einbau)
- Latentwärmespeicher: z.B. Gipskartonplatten mit **PCM-Paraffinen: Materialkosten 70 bis 100 Euro/m²; Materialkosten Zusatzstoff zu Verputz: ca. 50 bis 70 Euro/m²**

3.1.5 Passive Verdunstungskühlung durch Wasserflächen, Brunnen, Begrü- nung im Gebäudeumfeld oder im Innenraum

Bei der Verdunstungskühlung wird gezielt der physikalische Effekt der Wärmeaufnahme beim Phasenübergang der Verdunstung von Wasser genutzt. D.h. bei der Verdunstung von Wasser in einem Luftvolumenstrom wird diesem Wärme entzogen und es erfolgt dabei eine Abkühlung der Luft. Bei der Verdunstungskühlung ist grundsätzlich hinsichtlich des Kontaktes des Wassers mit der gekühlten Luft eine Unterscheidung in direkte und indirekte Systeme möglich. Bei den direkten Systemen ist das Wasser in direktem Kontakt zum zu kühlenden Luftvolumenstrom und es kommt dadurch zu einem Anstieg des Wasseranteils in diesem Luftvolumenstrom. Bei den indirekten Systemen wird meist im Abluftstrom Wasser verdunstet und dieser Kühleffekt wird dann über Wärmetauscher an die Zuluft übertragen. Dabei kommt es zu keiner Erhöhung des Wassergehalts der Zuluft. Des Weiteren ist eine Unterscheidung hinsichtlich des Energiebedarfes für die Verdunstung möglich und es kann zwischen

- Passiven Systemen (Nutzung der natürlichen Verdunstung von Wasser - z.B. Wasserflächen, Wasserfälle, Brunnen, Pflanzen, etc.) und
- Hybriden Systemen (die Verdunstung wird durch technische Hilfsmittel ermöglicht bzw. verstärkt – z.B. Verdunstungskühler mit Ventilatoren, Wasserpumpen, speziellen Sprühsystemen und Rieselflächen) unterschieden werden.

Die hybriden Systeme werden in einem eigenen Unterkapitel in diesem Bericht („Hybride Verdunstungskühlung“) näher beschrieben.

Wesentliche Rahmenbedingungen bei der Verdunstungskühlung sind die Raumluft- bzw. die Außenluftbedingungen da die Verdunstung nur dann erfolgen kann, wenn z.B. die relative Luftfeuchtigkeit nicht zu hoch ist. Eine sehr gute Beschreibung der Einflussfaktoren auf den physikalischen Prozess der einzelnen Methoden der Verdunstungskühlung ist im EU-Projektbericht Keep Cool zu finden.¹²

Direkte Systeme:

Die Temperaturreduktion durch den Verdunstungskühleffekt von Bäumen oder begrünte Fläche liegt an sonnigen Tagen bei etwa 2-3°C.¹³ Es zeigt sich jedoch eine starke Abhängigkeit von der Nähe zu diesen Flächen. Wasserflächen, Wasserfälle, Brunnen, etc. können in Abhängigkeit von deren Fläche, der Fließgeschwindigkeit bzw. den Umgebungsluftbedingungen einen

¹² <http://www.keep-cool.eu>

¹³ <http://www.keep-cool.eu>

Kühleffekt von 150 bis 200 W/m² erzielen - vorausgesetzt die Feuchtkugeltemperatur liegt über 21°C. ¹⁴

Indirekte Systeme:

Bei diesen Systemen besteht kein direkter Kontakt zwischen dem Wasser und dem Luftvolumenstrom. Dazu zählen z.B. Dachsprinkelanlagen, Wasserflächen am Dach; begrünte Dachflächen oder Wasserfälle über Dachflächen oder (verglaste) Fassadenbauteile. Durch die Verdunstung des Wassers wird der Oberfläche (Dachfläche, Wandfläche, etc.) Wärme entzogen und dadurch gekühlt. Die Voraussetzung bei diesen Systemen ist daher eine Dach- oder Wandfläche ohne Wärmedämmung, damit dieser Effekt an den Innenraum abgegeben werden kann. Dies ist jedoch in Mitteleuropa aufgrund der Bauweise (Wärmedämmung der Bauteile für die kalte Jahreszeit erforderlich) nur sehr selten der Fall und der Einsatz dieser Kühlsysteme ist daher bei diesen Gebäuden nicht sinnvoll. Bei Gebäuden ohne Wärmedämmung am Dach konnten über Dachsprinkelanlagen Temperaturreduktionen von bis zu 5°C erzielt werden ¹⁵, der Effekt ist jedoch auch nur auf die unmittelbar an das Dach anschließenden Geschoße beschränkt.

Vorteile:

- Neben dem Kühleffekt heben begrünte Flächen, Pflanzen, Brunnen oder Wasserfälle im Gebäude auch das Behaglichkeitsempfinden;
- Niedrige Betriebskosten.

Nachteile:

- Starke Abhängigkeit des Effekts von den Außenluft- bzw. Raumlufbedingungen;
- Bei den direkten Systemen wird die Luftfeuchtigkeit im Raum erhöht;
- Wasserbedarf nicht vernachlässigbar;
- Indirekte Systeme (Dachsprinkelanlagen, Wasserflächen am Dach oder begrünte Dachflächen, etc.) können den Kühleffekt nur dann an das Gebäude abgeben, wenn keine Wärmedämmung vorhanden ist – daher Anwendung in Mitteleuropa nur selten sinnvoll.

Kosten:

Es besteht eine sehr große Bandbreite und es ist daher keine allgemeine Aussage zu den Kosten möglich – bei direkten Systemen aber eher niedrig.

3.1.6 Hybride Verdunstungskühlung

Wie bereits bei der passiven Verdunstungskühlung erwähnt gibt es auch Konzepte die mit relativ geringem Energieeinsatz diesen Effekt der Verdunstungskühlung umsetzen – so genannte hybride Systeme. Es kommen dabei meist Verdunstungskühler unterschiedlicher Bauweisen

¹⁴ <http://www.keep-cool.eu>

¹⁵ <http://www.keep-cool.eu>

zum Einsatz. Diese Systeme nutzen gezielt durch z.B. Besprühen des Zuluftstromes (direktes System) oder des Abluftstromes mit Übertragung des Kühleffektes über einen Wärmetauscher (indirektes System) mit Wasser den Effekt der Verdunstungskühlung.

Die meisten direkten Systeme sind Einzelraumgeräte. Es gibt dabei unterschiedliche Methoden der Luftführung durch den Wassernebel oder über bzw. durch ein mit Wasser gesättigtes Trägermaterial. Das Prinzip ist überall gleich. Es wird die Außenluft angesaugt und durch die Verdunstung des Wassers dem Luftvolumenstrom Wärme entzogen und dieser daher abgekühlt. Zugleich steigt aber der Wassergehalt in der Zuluft und es ist wesentlich, dass die Komfortgrenzen im Raum (relative Luftfeuchtigkeit) nicht überschritten werden. Abhängig von den Außenluftparametern (Temperatur und Luftfeuchtigkeit) sind daher entsprechende (hohe) Luftwechselraten erforderlich um den gewünschten Kühleffekt erzielen zu können. Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die prinzipielle Funktionsweise und den Aufbau eines typischen hybriden Verdunstungskühlers:

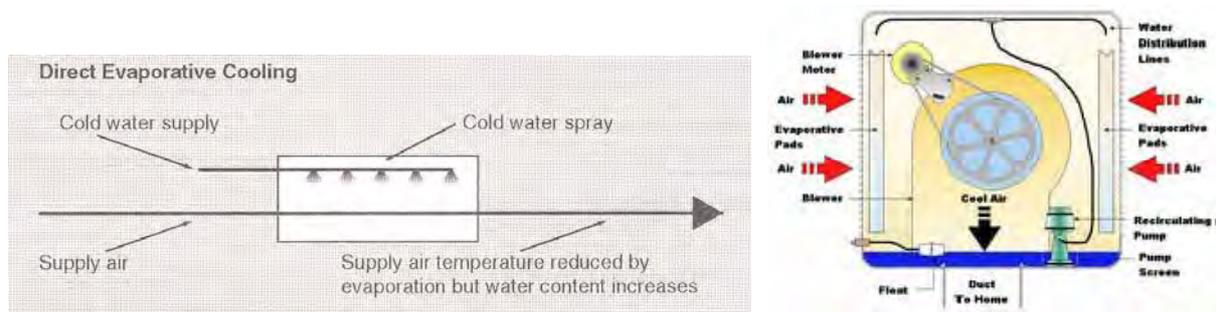


Abbildung 4: Prinzipielle Funktionsweise und Aufbau eines direkten, hybriden Verdunstungskühlers ¹⁶

Bei den Indirekten Systemen wird meist der Effekt der Verdunstungskühlung im Abluftstrom genutzt und dieser Abkühlungseffekt danach über einen Wärmetauscher an die Zuluft übertragen. Dadurch kommt es zu keiner Erhöhung des Wassergehaltes in der Zuluft, durch die Verwendung des Abluftstromes kommt es aber zu einer Abhängigkeit des Effektes von den Raumluftparametern des Abluftvolumenstromes, d.h. hohe Temperaturen und vor allem hohe Luftfeuchtigkeiten (d.h. hohe Feuchtelasten im Gebäude) schränken den Effekt der Verdunstungskühlung sehr ein. Nachfolgend auch für die indirekte, hybride Verdunstungskühlung die prinzipielle Funktionsweise und der Aufbau:

¹⁶ Bildquelle: http://www.keep-cool.eu/System/FileArchive/175/File_12296.pdf

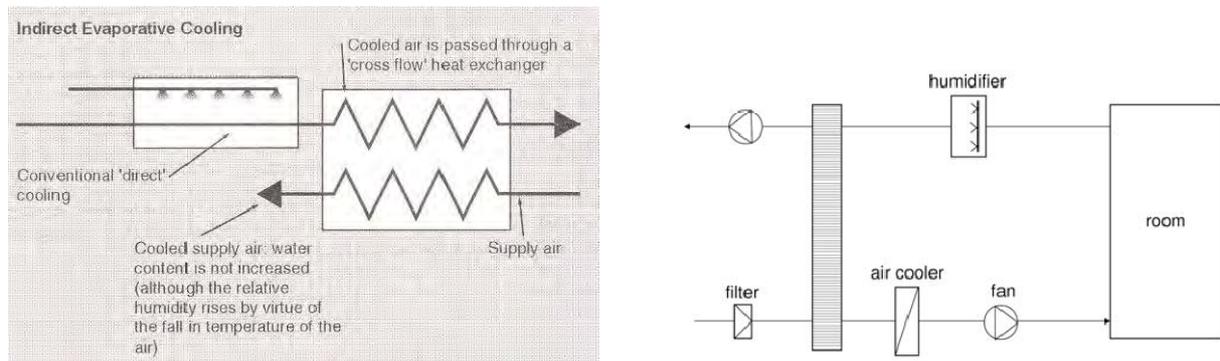


Abbildung 5: Prinzipielle Funktionsweise und Aufbau eines indirekten, hybriden Verdunstungskühlers ¹⁷

Die Indirekte, hybride Verdunstungskühlung wird meist in zentrale Lüftungssysteme eingebaut.

Um den Effekt der Verdunstungskühlung nutzen zu können, muss die Feuchtkugeltemperatur des eintretenden Luftvolumenstromes unter 21 bis 22°C liegen.

Als eine Sonderform der indirekten, hybriden Verdunstungskühlung kann das sogenannte „free cooling“ gesehen werden, bei dem Kühltürme in der Nacht bzw. an kühleren Tagen bzw. Tageszeiten ganz gezielt über eine Bypassschaltung direkt in das Lüftungs- oder Kaltwassersystem geschaltet werden und somit der erforderliche Kühleffekt über diese Verdunstungskühlung erreicht wird. Erst wenn diese Kühlwirkung nicht mehr ausreicht, wird eine Kältemaschine dazu geschaltet und der Kühlturm arbeitet dann um die Abwärme der Kältemaschine abzuführen.

Vorteile:

- Niedrigere Betriebskosten im Vergleich zum Betrieb einer Kältemaschine.

Nachteile:

- Starke Abhängigkeit des Effekts von den Außenluft- bzw. Raumluftbedingungen – in Regionen bzw. bei Witterungen mit hoher Feuchtkugeltemperatur bzw. in Gebäuden mit hohen internen Feuchtelasten nicht einsetzbar;
- Kühleffekt bis maximal 15 W/m² bzw. < 150Wh/m²d ¹⁸; ansonsten Kombination mit anderen Systemen erforderlich
- Bei den direkten Systemen wird die Luftfeuchtigkeit im Raum erhöht – Berücksichtigung der maximalen relativen Luftfeuchtigkeit im Raum über die Regelung erforderlich;
- Höhere Luftwechselrate im Raum/Objekt erforderlich;
- Wasserbedarf nicht vernachlässigbar;
- Meistens Wasseraufbereitungsanlage erforderlich;

¹⁷ Bildquelle: http://www.keep-cool.eu/System/FileArchive/175/File_12296.pdf

¹⁸ http://www.keep-cool.eu/System/FileArchive/175/File_12296.pdf

- Bei direkten Systemen Gefahr von Verunreinigungen auf Trägermaterialien, Filtern etc. und damit Übertragung an die Zuluft;
- Höherer Wartungsaufwand im Vergleich zu herkömmlichen Lüftungsanlagen;
- Bei indirekten Systemen durch die höhere Komplexität sowohl Investitions- als auch Wartungs- und Betriebsführungskosten höher als bei direkten Systemen.

Kosten:

Sehr große Bandbreite und daher keine allgemeine Aussage zu den Kosten möglich.

3.1.7 Luftdurchströmte Erdreichwärmetauscher

Das Prinzip der luftdurchströmten Erdreichwärmetauscher basiert auf der Nutzung der saisonalen thermischen Speicherfähigkeit des Erdreichs und der sich daraus ergebenden zeitlichen Verzögerung des Temperaturverlaufs im Erdreich gegenüber dem Temperaturverlauf der Umgebungsluft. Das bedeutet, dass die den Erdreichwärmetauscher durchströmende Luft im Sommer gekühlt und im Winter vorgewärmt werden kann. Die nachfolgende Abbildung zeigt das grundsätzliche Funktionsprinzip:

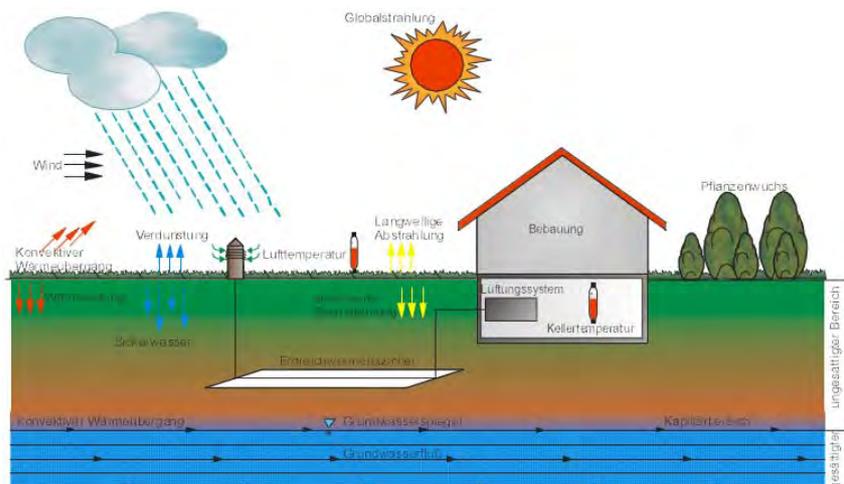


Abbildung 6: Grundsätzliche Rahmenbedingungen zum Funktionsprinzip von luftdurchströmten Erdreichwärmetauschern¹⁹

Die Erdreichzusammensetzung, die Oberflächenbeschaffenheit und die Verlegetiefe bzw. die Nähe zum Grundwasserspiegel sind entscheidende Einflussfaktoren für die Nutzung der „Erdkälte“ und der „Erdwärme“. Da die Temperatur in der Nähe des Grundwasserspiegels nahezu konstant über das Jahr angenommen werden kann, ist eine Verlegung in diesem Bereich als vorteilhaft zu sehen.

Betreffend der Einsatzbereiche von Erdreichwärmetauschern ist sicher die Kombination mit (bereits bestehenden) Luftsystemen, d.h. wo Luft als Wärmeträger verwendet wird, ideal. Hinsichtlich der Betriebsweisen für den Anwendungsfall Kühlen wären entsprechend des Endberichtes „Passive Kühlkonzepte für Büro- und Verwaltungsgebäude mittels Luft- bzw. Wasserdurchströmten Erdreichwärmetauschern“²⁰, die Komfortkühlung, die Raumkühlung und die Unterstützungskühlung anzuführen. Die Unterschiede liegen im geforderten Komfortstandard in den Gebäuden bzw. in der maximal erzielbaren Kühlwirkung. Während bei der Komfortkühlung über

¹⁹ Bildquelle: Passive Kühlkonzepte für Büro- und Verwaltungsgebäude mittels Luft- bzw. Wasserdurchströmten Erdreichwärmetauschern; Endbericht AEEINTEC 2002

²⁰ Passive Kühlkonzepte für Büro- und Verwaltungsgebäude mittels Luft- bzw. Wasserdurchströmten Erdreichwärmetauschern; Endbericht AEEINTEC 2002

den hygienisch erforderlichen Luftwechsel primär die externen Lasten abgeführt werden können und damit aber ein Anstieg der Raumtemperaturen im Tagesverlauf akzeptiert wird, wird bei der Raumkühlung versucht eine definierte Raumtemperatur einzuhalten. Dies erfordert eine Anhebung der Luftwechselrate um auch die internen Lasten abführen zu können und damit verbunden eine entsprechend größere Auslegung des Lüftungssystems. Bei der Unterstützungskühlung erfolgt eine Zuschaltung einer Kältemaschine wenn die gewünschten Raumlufbedingungen über den Kühleffekt des Erdreichwärmetauschers nicht mehr ausreichen. Diese konventionelle Kältemaschine kann sowohl in die Lüftungsanlage integriert sein als auch auf einem wasserbasierenden System beruhen. Während bei der Komfortkühlung der natürliche Regenerationseffekt des Erdreichs meist noch ausreichend ist, muss bei der Raumkühlung und bei der Unterstützungskühlung die Anlage gezielt auch in Nachtstunden zum Teil über Bypassschaltungen betrieben werden um die erforderliche Regeneration zu gewährleisten.

Die Voraussetzung für den Einsatz der luftdurchströmten Erdreichwärmetauscher ist das Vorhandensein einer mechanischen Lüftungsanlage im Gebäude.

An **Vorteilen** sind anzuführen:

- Niedrige Betriebskosten durch Vermeidung oder Reduzierung von konventionellen Kühlanlagen;
- Zusätzliche Nutzung des Erdreichwärmetauschers auch im Winter zur Vorwärmung der Luft möglich;
- Nutzung des Systems am Tag und in der Nacht möglich (im Unterschied zur reinen Nachtlüftung).

Dem gegenüber stehen folgende **Nachteile**:

- Platzbedarf für die Verlegung der Rohre;
- Kosten für die Verlegung der Rohre;
- Abhängigkeit der Nutzleistung von der aktuellen Wettersituation (Luftfeuchtigkeit, Temperatur) und von der Bodenbeschaffenheit;
- Filtertausch ist in regelmäßigen Zeitabständen erforderlich;
- Lüftungssystem im Objekt erforderlich.

3.1.8 Wasserdurchströmte Erdreichwärmetauscher

Das grundsätzliche Prinzip der Nutzung der saisonalen thermischen Speicherfähigkeit des Erdreichs ist beim wasserdurchströmten Erdreichwärmetauscher ähnlich wie beim luftdurchströmten. Als „Kälteträger“ wird hier Wasser anstatt Luft eingesetzt und es basiert auf einem geschlossenen hydraulischen Kreislauf. Betreffend der unterschiedlichen Verlegungsmöglichkeiten der Wärmetauscher (erdreichverlegt oder z.B. Betonfundamente mit integrierten Rohrmatten,

etc.) sei hier erneut auf den Endbericht „Passive Kühlkonzepte für Büro- und Verwaltungsgebäude mittels Luft- bzw. Wasserdurchströmten Erdreichwärmetauschern“²¹ verwiesen.

Bei den wasserdurchströmten Erdreichwärmetauschern sind 2 Einsatzbereiche in Abhängigkeit vom dahinter installierten Verteilsystem zu unterscheiden:

1. Wasserdurchströmte Erdreichwärmetauscher zum Heizen und Kühlen in einem luftgeführten Energieabgabesystem
2. Wasserdurchströmte Erdreichwärmetauscher zum Kühlen in einem wassergeführten Energieabgabesystem

Ad 1.: Luftgeführtes Energieabgabesystem

Die Energieübertragung an die Zuluft erfolgt über einen Wasser/Luft-Wärmetauscher. Das Verteilsystem entspricht ansonsten grundsätzlich dem der luftgeführten Erdreichwärmetauscher.

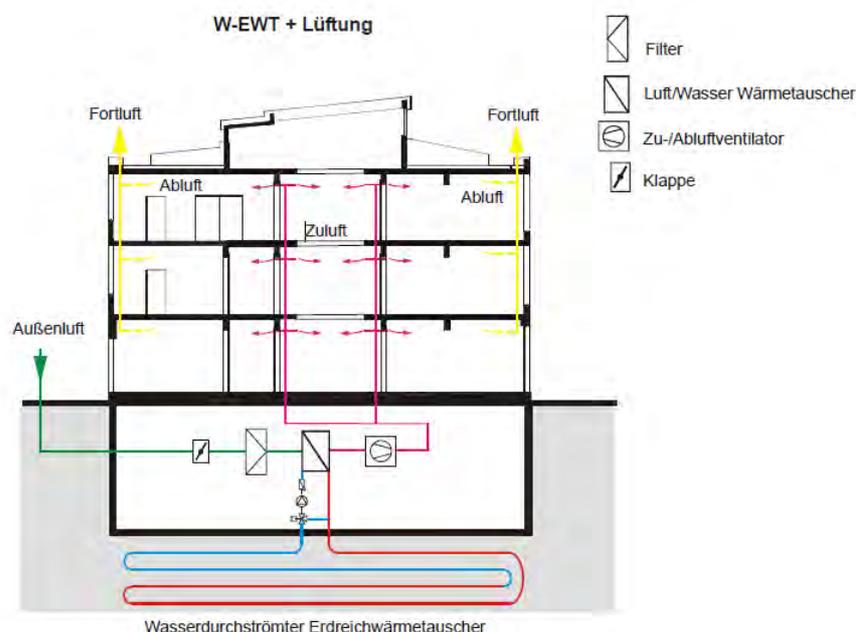


Abbildung 7: Einbindung eines wasserdurchströmten Erdreichwärmetauschers in ein luftgeführtes Verteilsystem²²

Ad 2.: Wassergeführtes Energieabgabesystem

Aufgrund des durchschnittlichen Temperaturniveaus im Erdreich mit einer Jahresmitteltemperatur von rund 10°C ergibt sich bei dem wassergeführten Energieabgabesystem kein direkter An-

²¹ Passive Kühlkonzepte für Büro- und Verwaltungsgebäude mittels Luft- bzw. Wasserdurchströmten Erdreichwärmetauschern; Endbericht AEEINTEC 2002

²² Bildquelle: Passive Kühlkonzepte für Büro- und Verwaltungsgebäude mittels Luft- bzw. Wasserdurchströmten Erdreichwärmetauschern; Endbericht AEEINTEC 2002

- Geschlossener Kreislauf – meist niedrigere Temperatur am Wärmetauscher –Eintritt im Vergleich zu luftdurchströmten Erdreichwärmetauschern;
- Aufgrund des wasserbasierenden Systems einfachere direkte Aktivierung von Speichermassen möglich (Betonkernaktivierung etc.) oder zur Versorgung von Kühldecken;
- Nutzung des Systems am Tag und in der Nacht möglich (im Unterschied zur reinen Nachtlüftung).

Nachteile:

- Durch den geschlossenen Kreislauf Abhängigkeit der Nutzleistung vom Gebäude;
- Gezielte Regelstrategie erforderlich um „Ermüdungserscheinungen“ des Erdreichs zu vermeiden;
- Platzbedarf für die Verlegung der Rohre;
- Kosten für die Verlegung der Rohre;
- Wassergeführtes Verteilsystem oder Lüftungssystem im Objekt erforderlich.

3.1.9 Erdsonden und Energiepfähle zur Nutzung des Erdreiches als Wärmespeicher/Kältepuffer

Während die wasserdurchströmten Erdreichwärmetauscher in der Regel nur in Bodennähe (1,2 bis 2m) verlegt werden, reichen Erdsonden und „Energiepfähle“ deutlich tiefer ins Erdreich (Energiepfähle bis etwa 45m, Erdsonden bis zu 150m). Als Energiepfähle werden beispielsweise Pfahlfundamente von Neubauten benutzt. Bei einer durchgehenden Bodenplatte bzw. bei bestehenden Gebäuden können Erdsonden, die neben dem Gebäude gesetzt werden, zum Einsatz kommen. An Verteilsystemen können auch hier die bereits erwähnten wassergeführten Energieabgabesysteme eingesetzt werden, eine Koppelung mit aktiven Systemen wie einer Wärmepumpe ist aber ebenso möglich. Die nachfolgende Abbildung zeigt schematisch diese beiden Systeme:

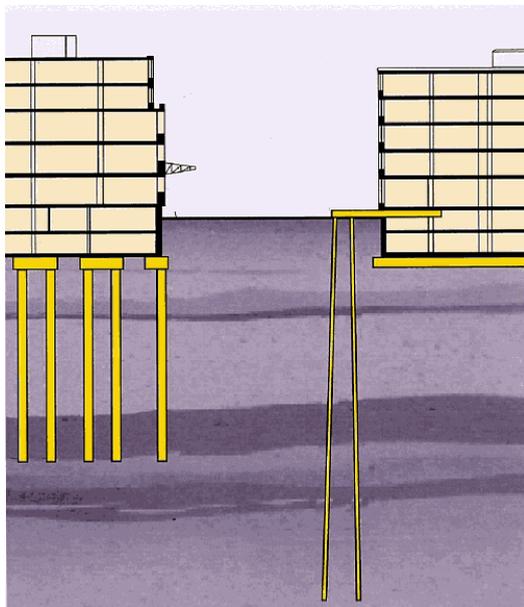


Abbildung 9: Energiepfähle und Erdsonden²⁴



Abbildung 10: Energiepfahl vor dem Einbetonieren²⁵

Ab einer Verlegetiefe von ca. 10 bis 20 m sind die saisonalen Schwankungen der Oberflächentemperatur nicht mehr messbar und die konstante Erdreichtemperatur liegt in Zentraleuropa bei etwa 10 bis 12°C²⁶. Die Erdtemperatur steigt in den tieferen Bodenschichten um ca. 1°C pro 33 m an²⁷, und daher werden für Anwendungsfälle, bei denen die Kühlung im Vordergrund steht, eher Sonden mittlerer Länge (50 bis 100m) und bei Heizanwendungen längere Sonden (100 bis 200m) eingesetzt²⁸. Sonden mit einem Durchmesser von 30 bis 50 cm haben eine Leistung von

²⁴ Bildquelle: [http://energytech.at/\(de\)/architektur/portrait_artikel-3.de.html](http://energytech.at/(de)/architektur/portrait_artikel-3.de.html)

²⁵ Bildquelle: <http://www.bpi.tuwien.ac.at/english/teaching/2007-05-03%20Geothermie-TU-Wien.pdf>

²⁶ <http://www.bpi.tuwien.ac.at/english/teaching/2007-05-03%20Geothermie-TU-Wien.pdf>

²⁷ <http://www.bpi.tuwien.ac.at/english/teaching/2007-05-03%20Geothermie-TU-Wien.pdf>

²⁸ [http://energytech.at/\(de\)/architektur/portrait_artikel-3.de.html](http://energytech.at/(de)/architektur/portrait_artikel-3.de.html)

4 bis 60W pro Laufmeter.²⁹ Wichtig ist bei diesen Systemen die Prüfung und Berücksichtigung der geologischen Beschaffenheit des Bodens und der Grundwassersituation. Entsprechenden Gutachten und Genehmigungen sind einzuholen. Weiters werden spezielle Tests während der Bohrphase angeboten – bzw. sind in einigen Ländern sogar schon Vorschrift – bei denen über einige Tage Testbetrieb quasi eine Simulation des Dauerbetriebes unter definierten Betriebsbedingungen erfolgt. Die Qualität der Bohrung kann somit getestet werden und die weiteren Bohrungen entsprechend genau dimensioniert werden (z.B. Thermal Response Test der ARGE Erdwärme <http://www.arge-erdwaerme.at>).

Vorteile:

- Auch für höhere Kühllasten geeignet (bis 400 Wh/m² Tag);
- Sowohl für Bauteilkühlung als auch für direkte Kühlung geeignet;
- Auch für Heizungsunterstützung einsetzbar;
- Lange Lebensdauer;
- Niedrige Betriebskosten;
- Wartungsarm;
- Keine Grundwassergefährdung durch geschlossene Kreisläufe;
- Nutzung von Synergieeffekten (statisch erforderliche Elemente = Energieelemente);
- Positives Image (erhöhte Akzeptanz) von Betonbauwerken.

Nachteile:

- Abhängigkeit vom Untergrund (geologische Beschaffenheit und Grundwasser) - geologische Untersuchung und Genehmigung erforderlich;
- Gezielte Regelstrategie erforderlich um „Ermüdungserscheinungen“ des Erdreichs bzw. Vereisung der Sonden zu vermeiden;
- Viele Anbieter am Markt – Umfang der in den Angeboten angeführten Leistungen zum Teil schwer vergleichbar und die Qualität der Ausführung unterschiedlich;
- Relativ hohe Investitionskosten.

Kosten:

Starke Abhängigkeit der Investitionskosten von der geologischen Beschaffenheit des Untergrunds.

²⁹ http://www.keep-cool.eu/System/FileArchive/175/File_12296.pdf

3.1.10 Offene Systeme mit Grund- und Seewasser

Wenn am Standort oder in der Nähe tiefe Seen oder ein ausreichend großes Grundwasservorkommen vorhanden ist, dann können auch offene Systeme eingesetzt werden. Dabei wird Grund- oder Seewasser entnommen, zur Kühlung oder zur Heizungsunterstützung eingesetzt, und anschließend wieder dem natürlichen Reservoir zugeführt. Diese Systeme eignen sich sehr gut zur Kühlung größerer Gebäude oder Gebäudekomplexe, es werden aber auch Fernkältenetze darüber versorgt.

Die nachfolgende Abbildung zeigt das Schema der Grundwasserkühlung. Über die erste Bohrung, dem sogenannten „kalten Brunnen“ kann im Sommer das Wasser mit ca. 2 bis 12°C entnommen werden. Im Gebäude wird es dann über einen Wärmetauscher mit dem gebäudeinternen Kühlkreislauf verbunden und dadurch entsprechend erwärmt. Anschließend wird es über eine zweite Bohrung („warmer Brunnen“), die in einem entsprechenden Abstand und unter Berücksichtigung der Grundwasserströmung angebracht ist, wieder dem Grundwasserreservoir zugeführt. Im Winter kann dieser Kreislauf umgedreht werden um dann z.B. eine Vorwärmung der Frischluft zu ermöglichen. Bei stehendem Grundwasser besteht sogar die Möglichkeit die im Sommer zugeführte Wärme teilweise zu nutzen. Die Koppelung mit einer Wärmepumpe oder die Verwendung dieses Temperaturniveaus zur Speisung des Kondensators einer konventionellen Kompressionskältemaschine ist ebenfalls möglich.

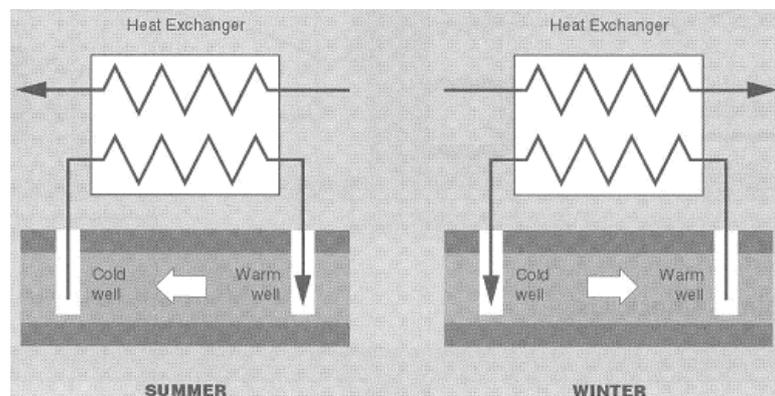


Abbildung 11: Schematische Darstellung einer Grundwasserkühlung im Sommer (links) und einer Heizungsunterstützung im Winter (rechts) ³⁰

Bei der Seewasserkühlung wird das Wasser in möglichst tiefen Lagen des Sees (Meeres) entnommen und dann nach der Wärmezufuhr aus dem Gebäude (Kreisläufe getrennt durch einen Wärmetauscher) dem See in Nähe der Wasseroberfläche wieder zugeführt. Die Temperatur des entnommenen Wassers ist in Abhängigkeit von der Entnahmetiefe bei 4 bis 6°C.

³⁰ Bildquelle: [http://energytech.at/\(de\)/architektur/portrait_artikel-3.de.html](http://energytech.at/(de)/architektur/portrait_artikel-3.de.html)

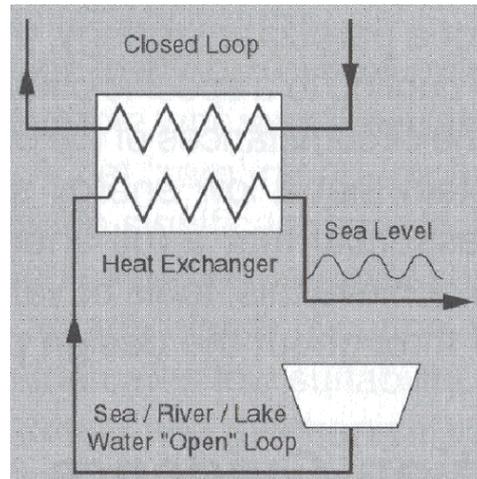


Abbildung 12: Schematische Darstellung einer Seewasserkühlung³¹

Vorteile:

- Für sehr große Wärmelasten geeignet (mehrere GWh pro Jahr);
- Sowohl für Bauteilkühlung als auch für direkte Kühlung und Kombination mit mechanischen Lüftungsanlagen geeignet;
- Auch für Heizungsunterstützung einsetzbar;
- Niedrige Betriebskosten;
- Wartungsarm.

Nachteile:

- Nur bei entsprechenden Gewässern bzw. Grundwasserreservoirs anwendbar;
- Bei Einsatz mit Meer- oder Seewasser verstärkter Korrosionsschutz bzw. Einsatz von rostfreien Materialien erforderlich;
- Umfangreiche geologische Abklärung und Genehmigung notwendig;
- Mittel bis hohe Investitionskosten.

³¹ Bildquelle: [http://energytech.at/\(de\)/architektur/portrait_artikel-3.de.html](http://energytech.at/(de)/architektur/portrait_artikel-3.de.html)

3.1.11 Bauteilkühlung über Decken, Böden und Wände

Die Bauteilkühlung basiert auf dem Konzept der Wärmespeicherung in einem Bauteil und dadurch sind hier nur möglichst massive Bauteile (Betondecken, massive Wände, etc.) geeignet. Diese können die Wärme tagsüber aufnehmen und diese zeitverzögert über ein eingearbeitetes Leitungssystem wieder abgeben. Diese „thermoaktiven“ Bauteile können neben der Kühlung im Sommer auch zur (Grundlast-) Beheizung im Winter eingesetzt werden. Da die rasche Erreichung der gewünschten Raumtemperatur im Heizungsfall aufgrund der großen Bauteilmasse schwierig ist, wird für die rasche Einregelung der Raumtemperatur meist ein zweites Heizungssystem eingebaut (Radiatoren, Fan Coils, Lüftungssystem, etc.).

Die Installation dieser thermoaktiven Bauteile ist zwar bei einem Neubau einfacher als bei Gebäudesanierungen, es gibt aber auch für den Sanierungsfall Varianten bei denen die Kühlleitungen dann entweder analog zu einer Bodenheizung oder direkt auf der Deckenunterseite verlegt werden. In der nachfolgenden Abbildung sind einige Anwendungsbeispiele von Bauteilkühlungen dargestellt:

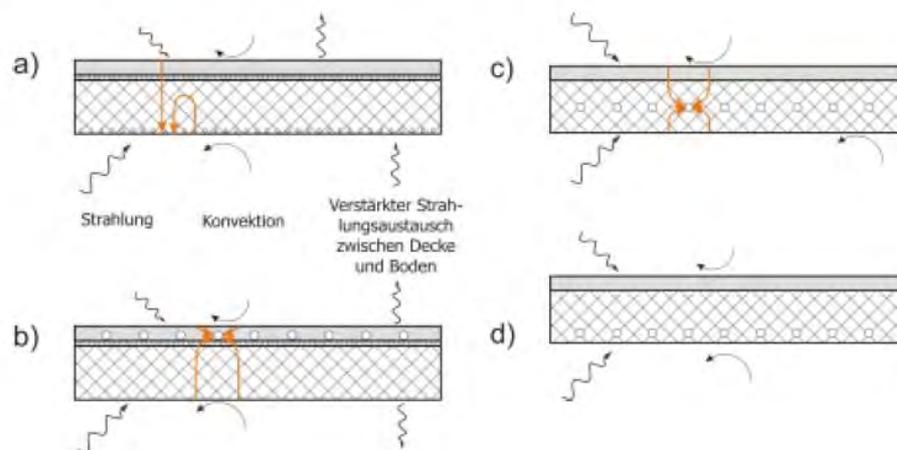


Abbildung 13: Prinzipielle Anwendungsmöglichkeiten für die Bauteilkühlung (a) Kapillarrohr-Kühlung an der Deckenunterseite; b) Fußbodenkühlung; c) Betonkernkühlung; d) Deckensystem)³²

Als **Voraussetzung** für den optimalen Einsatz einer Bauteilkühlung gilt:

- Thermisch optimierte (hochwärmegedämmte) Gebäudehülle wodurch die externen thermischen Lasten gering gehalten werden – inkl. guter Sonnenschutz;
- Wärmelast von maximal 40 bis 60 W/m²;

³² Bildquelle: Passive Kühlkonzepte für Büro- und Verwaltungsgebäude mittels Luft- bzw. Wasserdurchströmten Erdreichwärmetauschern; Endbericht AEEINTEC 2002

- Kontrollierte Lüftung mit Wärmerückgewinnung zur Sicherstellung der Luftqualität und der Luftparameter damit eine Taupunktunterschreitung auch bei ungünstigen Bedingungen vermieden wird;
- (unverkleidete) Betondecke oder Fußboden mit eingelegten Kühl- bzw. Heizrohren (z.B. Kapillarrohrmatten, etc.).

Vorteile:

- Hohes Behaglichkeitsempfinden aufgrund der großen Wärmeabgabeflächen (keine „kalten“ Luftströmungen);
- Geringe Temperaturschwankungen im Tagesverlauf (keine Temperaturspitzen);
- Auch für Heizungsunterstützung einsetzbar;
- Niedrige Betriebskosten;
- Wartungsarm.

Nachteile:

- Nachrüstung bei Gebäudesanierung aufwändiger als bei Neubau – meist nur durch Erneuerung Fußbodenaufbau, Einbringung zusätzlicher Massen etc.;
- Beschränkter Einsatzbereich für Wärmelasten bis maximal 40 bis 60 W/m² (d.h. die Gebäudehülle muss thermisch optimiert sein);
- System zur Sicherstellung der Raumluftparameter um eine Taupunktunterschreitung zu vermeiden, muss installiert sein (kontrollierte Lüftungsanlage, etc.);

Kosten:

Abgehängte Kühldecken ca. 130 bis 170 Euro/m²

3.2 Aktive Kühlung

Bei der aktiven Kühlung werden Kältemaschinen eingesetzt, die in einem thermodynamischen Kreisprozess an einer Stelle Wärme aufnehmen (z.B. im Raum) und diese dann an einer anderen Stelle wieder abgeben (an die Außenluft, das Erdreich oder an Flüsse, Grundwasser ,etc.). Die nachfolgende Abbildung zeigt die unterschiedlichen Arten dieses so genannten Kaltdampfprozesses unterteilt nach Antriebsart und Technologie:

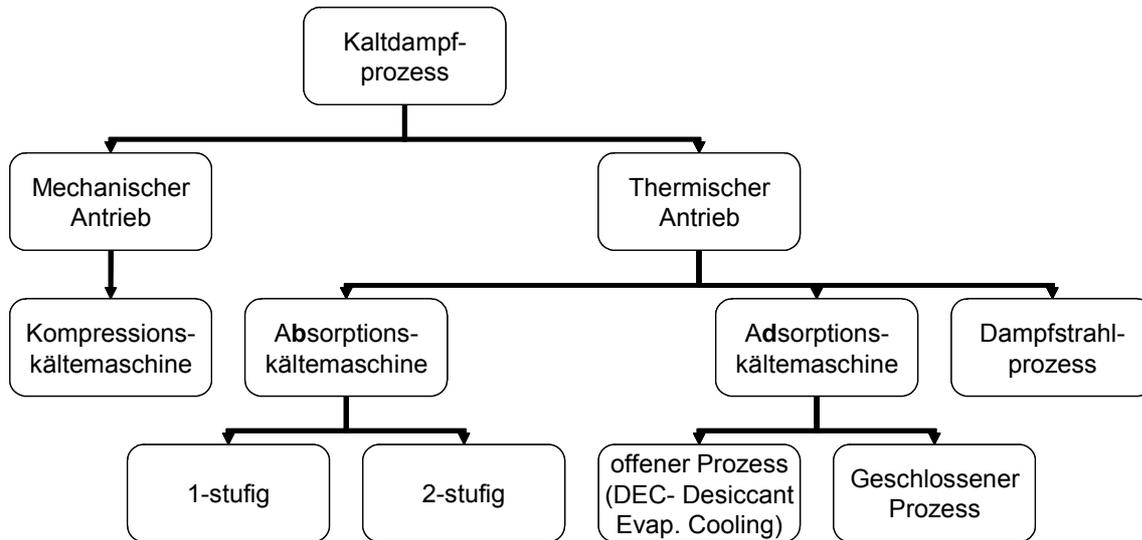


Abbildung 14: Unterteilung des Kaltdampfprozesses nach Antriebsart und Technologie

Beim Kaltdampfprozess erfolgt die „Kälteerzeugung“ grundsätzlich durch das Verdampfen einer Flüssigkeit (Kältemittel). Es wird beim Kaltdampfprozess zwischen dem mechanischen Antrieb und dem thermischen Antrieb unterschieden. Während unter dem mechanischen Antrieb die allgemein bekannte und weit verbreitete Technologie der Kompressionskältemaschinen („elektrisch angetriebene Kältemaschine“) zu verstehen ist, fallen unter den thermischen Antrieb die Absorptions- oder Adsorptionskältemaschinen sowie der Dampfstrahlprozess.

Im Sinne der Zielsetzung dieses Leitfadens, nämlich der Darstellung der Möglichkeiten nachhaltiger aktiver Kühlung, werden in diesem Kapitel 2 Möglichkeiten näher beschrieben:

1. Thermisch angetrieben Kühlung (z.B. „solare“ Kühlung)
2. Kombination Photovoltaik mit Kompressionskältemaschine

3.2.1 Thermisch angetriebene Kühlung (z.B. „solare“ Kühlung)

Beim Thermischen Antrieb wird thermische Energie (Solarenergie, Fernwärme, Abwärme eines Heizkessels, eines Prozesses, etc.) als Antriebsenergie für eine spezielle Kältemaschine eingesetzt. D.h. als „Antrieb“ für die Kältemaschine wird vorwiegend thermische Energie statt elektrischer Energie verwendet. Das bedeutet eine deutliche Reduktion der Betriebskosten.

Die folgende schematische Darstellung zeigt vereinfacht das Prinzip einer thermisch angetriebenen Kühlung.

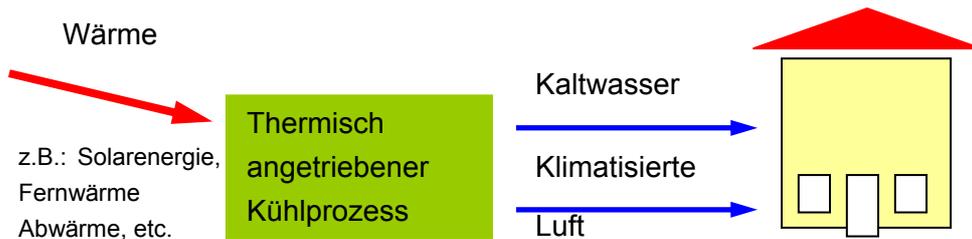


Abbildung 15: Schematische Darstellung einer thermisch angetriebenen Kühlung

Am nachfolgenden Vergleich einer Kompressionskältemaschine mit einer Absorptionsmaschine soll die Betriebsweise dargestellt werden.

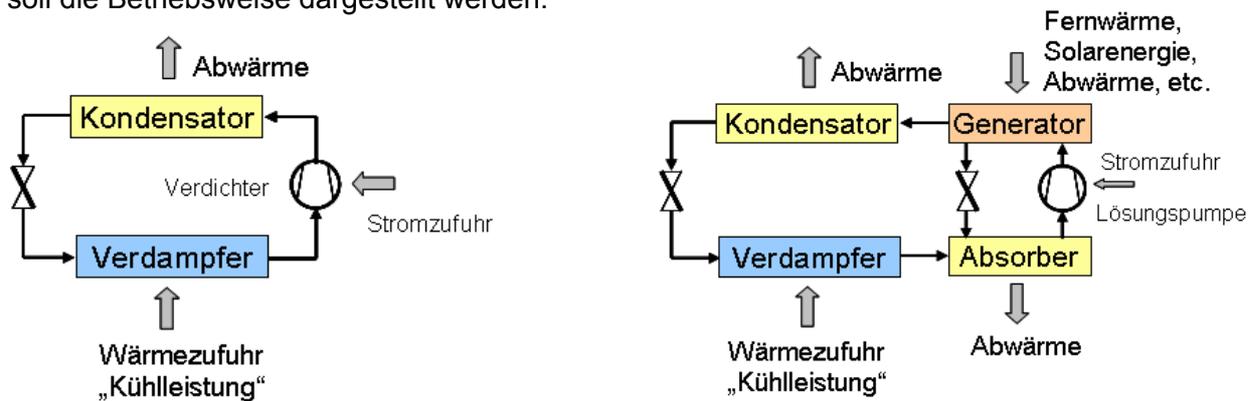


Abbildung 16: Vergleich Funktionsweise einer Kompressionskältemaschine mit einer Absorptionskältemaschine

Grundsätzlich wird beim Absorptionsprozess im Vergleich zur Kompressionskältemaschine der Verdichter (=Druckerhöhung in gasförmiger Phase) durch eine Lösungspumpe (=Druckerhöhung einer Flüssigkeit) ersetzt, die den großen Vorteil mit sich bringt, einen wesentlich geringeren Teil an elektrischer Antriebsenergie zu benötigen. Um aber das dampfförmige Kältemittel nach dem Verdampfer zuerst in einen flüssigen Zustand zu bringen, muss der Kältemitteldampf in einem flüssigen Sorptionsmittel absorbiert werden. Nach dem Prozess der Druckerhöhung über die Lösungspumpe muss nun das Kältemittel vom Sorptionsmittel getrennt werden. Das geschieht nun im Generator durch die Zufuhr von Wärme. Über eine Drossel wird das Sorptionsmittel anschließend zurück zum Absorber gebracht. Der restliche Kreislauf ist ähnlich wie bei der Kompressionskältemaschine (Kondensator, Drosselventil und Verdampfer). Wichtig ist dabei, dass neben der Abwärme vom Kondensator bei der Absorptionskältemaschine auch die Abwärme am Absorber abgeführt werden muss. Da dies bei einem Temperaturniveau von etwa 25 bis 40°C erfolgt, und dafür meist keine anderwertige Verwendungsmöglichkeit zur Verfügung steht, muss diese meist an die Umgebung über Kühltürme bzw. andere Rückkühlwerke abgeführt werden.

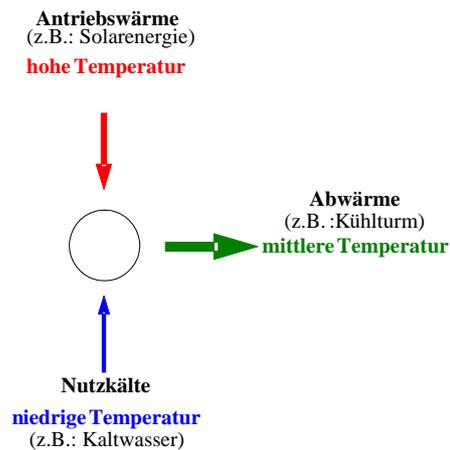


Abbildung 17: physikalische Grundlagen einer wärmegetriebenen Kältemaschine

Generell ist zwischen Systemen zu unterscheiden, die Kaltwasser bereitstellen und solchen Verfahren, die direkt eine Luftkonditionierung (Temperaturabsenkung, Entfeuchtung) durchführen.

Eine genauere Beschreibung des Funktionsprinzips, der Antriebstemperaturen und der erreichbaren thermischen COPs der unterschiedlichen Technologien ist z.B. im Endbericht zum Projekt „ESOFEEET - Energiedienstleistungen für die Sommernutzung der Fernwärme“³³ zu finden. In der nachfolgenden Tabelle ist eine Zusammenfassung aus diesem Bericht dargestellt:

³³ Energiedienstleistungen für die Sommernutzung der Fernwärme; EDZ Projektnummer 810697; Grazer Energieagentur 2007

Verfahren	Geschlossener Kältemittelkreislauf		Offener Kältemittelkreislauf	
	Kaltwassererzeugung		Luftentfeuchtung und Verdunstungskühlung	
Sorptionsmittel	flüssig	fest	flüssig	fest
Kälte-/Sorptionsmittel	Wasser/Wasser-Lithiumbromid Ammoniak/Wasser	Wasser/Silikagel Ammoniak/Salz	Wasser/Kaliumchlorid Wasser/Lithiumchlorid	Wasser/Silikagel Wasser/Lithiumchlorid-Zellulose
Marktverfügbare Technologie	Absorptions-Kältemaschine (1-stufig, 2-stufig)	Adsorptions-Kältemaschine	-	DEC - Desiccant Evaporative Cooling
Marktverfügbar Leistung	10 kW - 5 MW (1-stufig) 250 kW - 5 MW (2-stufig)	10 kW - 1 MW	-	6 - 350 kW (pro Modul)
COP thermisch (Leistungszahl)	0,6 - 0,75 (1-stufig) 1,0 - 1,2 (2-stufig)	0,3 - 0,7	> 1	0,5 - >1
Typische Antriebstemperatur	75 - 110°C (1-stufig) 140 - 180°C (2-stufig)	60 - 90°C	45 - 70°C	45 - 90°C

Tabelle 1: Übersicht über die wichtigsten Verfahren der thermisch getriebenen Kältemaschinen³⁴

Die Tabelle zeigt, dass also Antriebstemperaturen über 45°C bei DEC-Anlagen und über 75°C bei einstufigen Absorptionsmaschinen erforderlich sind wobei die Leistungszahl mit höherer Antriebstemperatur ansteigt. Das ist ein Temperaturbereich, der mit auf diesen Hochtemperatur-Anwendungsfall optimierten Solar-Flachkollektoren erreicht werden kann.

Betreffend des geeigneten Kälteverteilsystems zur jeweiligen Technologie und der dabei maximal möglichen spezifische Kühlleistung (W/m^2) der unterschiedlicher Kälteabgabe-/ Klimatisierungssysteme wird auf die nachfolgende Tabelle verwiesen. Weiters ist die Mindestwassertemperatur bei wasserbasierenden Systemen, die Eignung für Heizbetrieb sowie der Nachrüstbarkeit dargestellt.

³⁴ Adaptiert aus: Energiedienstleistungen für die Sommernutzung der Fernwärme; EDZ Projektnummer 810697; Grazer Energieagentur 2007

Klimatisierungssystem			Raumhöhe in m $\Delta T = T_{\text{Raum}} - T_{\text{Zufuhr}}$					Mindestwassertemperatur (°C)	komb. Heizbetrieb möglich	Nachrüstbarkeit
System	Luftwechsel pro Std. [h ⁻¹]	2.4 T=6°C	2.7 T=8°C	3.0 T=10°C	3.5 T=12°C	4.0 T=15°C				
A	Luft-system	3	15	20	30	40	60		ja	bed.
A	Luft-system	4	20	30	40	55	80		ja	bed.
A	Luft-system	5	25	35	50	70	100		ja	bed.
A	Luft-system	6	30	45	60	85	120		ja	bed.
B	Induktion/Fan Coil	10	50	75	100	140	200	8-12	ja	ja
C	Kühldecke/Kühlsegel		60	60	60	60	60	16-18	ja	bed./ja
D	Kühlboden		30	30	30	30	30	14-20	ja	nein
E	Betonkernaktivierung		40	40	40	40	40	16-19	bed.	nein
	A+C	2	70	75	80	90	100		ja	bed.
	A+C	3	75	80	90	100	120		ja	bed.
	A+C	4	80	90	100	115	140		ja	bed.
	A+C	6	85	100	100	140	180		ja	bed.
	B+C	10	90	100	100	140	200		ja	bed.

Tabelle 2: Spezifische (maximale) Kühlleistungen [W/m²] von verschiedenen Klimatisierungssystemen. Für Kühllasten höher als 45 W/m²: Luftkühlung basierend auf minimaler benötigter Frischluftmenge (z.B.: 30 – 50 m³/h und Person) und sekundäre Kühlung (wasserbasierend); z.B.: System C oder A + D ³⁵

Die nachfolgende Grafik ermöglicht eine grobe Vorauswahl des entsprechenden Kühl- und Verteilsystems auf Basis einiger wesentlicher Gebäudedaten.

³⁵ ESOFEEET - Energiedienstleistungen für die Sommernutzung der Fernwärme; EDZ Projektnummer 810697; Grazer Energieagentur 2007

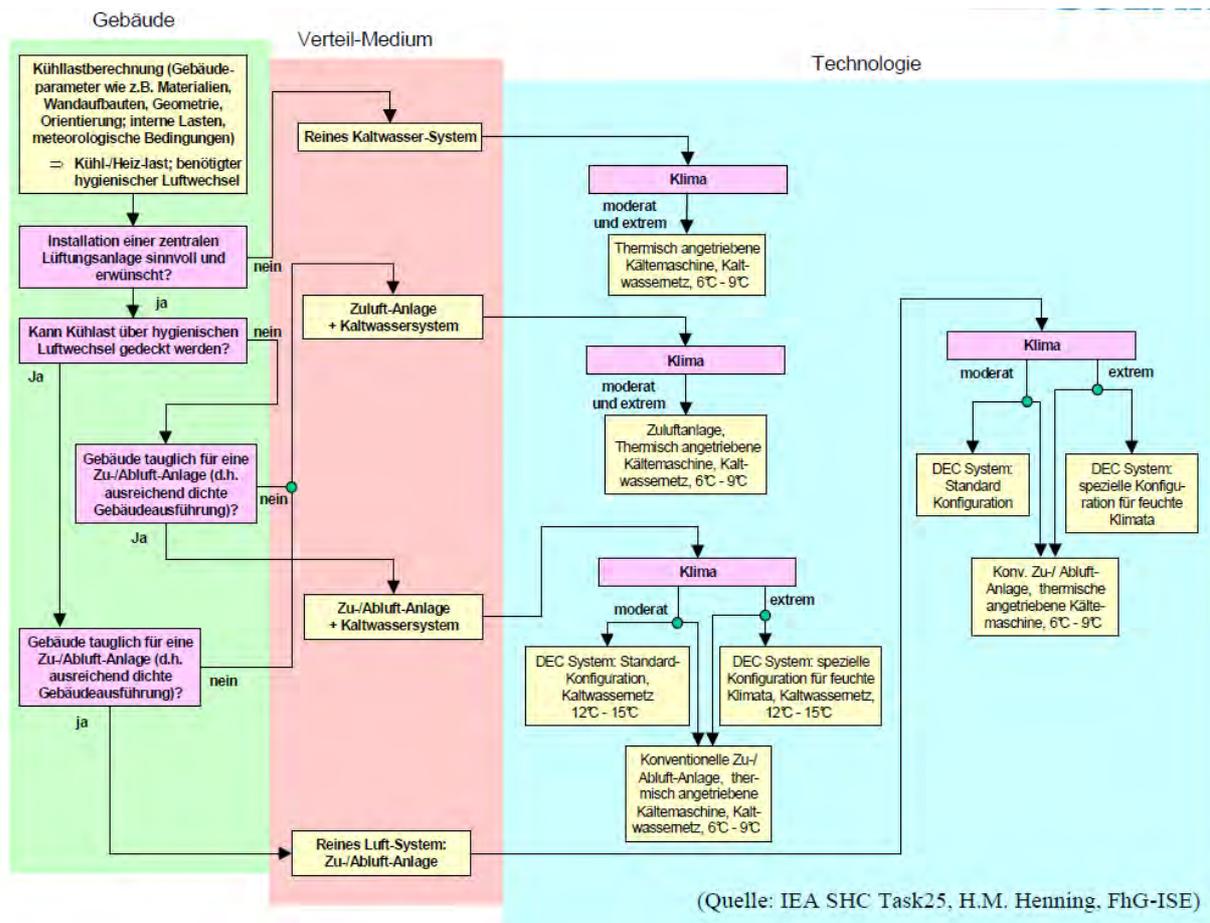


Abbildung 18: Entscheidungsmatrix – von der Heiz-/Kühllast zum passenden Kühlsystem ³⁶

Um eine grobe Abschätzung der Systemkosten für die oben genannten Anlagen zu ermöglichen, wurden basierend auf den Kostenangaben im Bericht ESOFEEET ³⁷ und einer Anpassung an die Marktsituation und den Preisstandard im Jahr 2009/2010 die spezifischen Systemkosten pro kW Kälteleistung ermittelt. In den Systemkosten sind die Kosten für die Kältemaschine, Pumpengruppen, Regelung, Rückkühlwerk, etc. berücksichtigt. Bei der Variante inkl. Solaranlage sind die Kosten für eine Solaranlage (Hochtemperatur-Flachkollektoren) mit durchschnittlich 3 m² Kollektorfläche pro kW Kälteleistung und die entsprechende Peripherie dahinter (Pufferspeicher warm und kalt, Pumpengruppen, Ausdehnungsgefäße, Rückkühlwerk) berücksichtigt. Die Kosten für die Aufständigung und Befestigung der Solarkollektoren sowie die Verbindungsleitungen von der Solaranlage zur Technikzentrale und von der Technikzentrale zum Kühlturm sind nicht berücksichtigt. Die folgende Abbildung zeigt die spezifischen Anlagen-Investitionskosten für Absorptionsanlagen im Leistungsbereich bis 200 kW Kälteleistung. Deutlich zu erkennen sind die relativ hohen spezifischen Kosten im kleineren Leistungsbereich (bis ca. 35 kW). Die spezifischen Investitionskosten von Adsorptionsanlagen lagen in den vergan-

³⁶ http://noest.ecoundco.at/news/docs/26896_26896_02_KuehlenWaerme_Thuer.pdf

³⁷ ESOFEEET - Energiedienstleistungen für die Sommernutzung der Fernwärme; EDZ Projektnummer 810697; Grazer Energieagentur 2007

genen Jahren im Leistungsbereich bis 200 kW immer über denen der Absorptionsanlagen und näherten sich erst bei größeren Leistungen an. Seit kurzer Zeit sind jetzt aber auch Adsorptionskältemaschinen im kleineren Leistungsbereich (10 bis 20 kW) am Markt deren spezifische Investitionskosten mit jenen der Absorptionsanlagen gleichzusetzen sind.

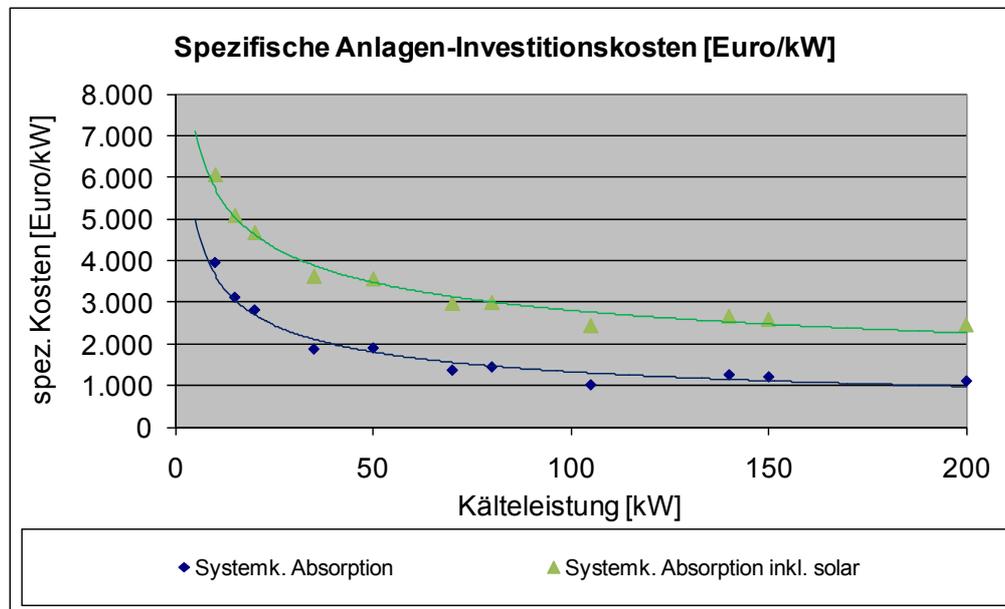


Abbildung 19: Spezifische Anlagen-Investitionskosten in Euro pro kW Kälteleistung

Eine Studien der weltweit am Markt befindlichen solaren Kühlsysteme hat gezeigt, dass bis Ende 2009 in Summe etwa 350 bis 400 solare Kühlsysteme realisiert wurden. Der Großteil wird für Klimatisierungsanwendungen eingesetzt, nur ein sehr kleiner Anteil für Industierzwecke. Eine Aufgliederung nach Anlagentypen hat gezeigt, dass vorwiegend – mit über 70% - Absorptionsanlagen eingesetzt werden. Der Rest teilt sich auf die Adsorptions- und DEC-Anlagen.³⁸

Vorteile:

- Reduktion des Strombedarfes auf ca. 1/2 bis 1/3 gegenüber einer konventionellen Kompressionskältemaschine (bei größeren Anlagen);
- Lange Lebensdauer aufgrund wenig beweglicher Teile im System (Langzeiterfahrungen für Solarkollektoren und Absorptionskältemaschinen vorhanden);
- Geringer Wartungsaufwand;
- Spezifische Investitionskosten – vor allem für Anlagen im kleineren Leistungsbereich von 10 bis 30 kW – sind in den letzten Jahren um ca. 10 bis 15% gesunken;

³⁸ http://www.technolog.at/files/WS_A4_Solare_Kuehlung.pdf

- Bei Bürogebäude meist guter zeitlicher Zusammenhang zwischen Kühllastspitze im Objekt und größter Solareinstrahlung, d.h. am meisten Antriebsenergie für die solare Kühlung;
- Solarenergie kann (sollte) in der Übergangs- und Winterzeit für Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung genutzt werden und trägt damit zu einer Optimierung der Gesamtenergiebilanz und der Wirtschaftlichkeit der Solaranlage bei.

Nachteile:

- Platzbedarf für die Aufstellung der Solaranlage relativ groß; es muss eine nach Süden (bzw. SO oder SW) orientierte, nicht verschattete (Dach-)Fläche von ca. 4 bis 5 m² je kW Kälteleistung vorhanden sein. Zusätzlich muss ein Technikraum für die Aufstellung der Kältemaschine und der Pumpengruppen und Platz für Pufferspeicher und Kühlturm vorhanden sein (für eine 70 kW-Anlage ca. 25 m² Grundfläche x 3 m Höhe);
- Starke Abhängigkeit der Wirtschaftlichkeit (ROI – Return On Investment) vom jährlichen Kühlbedarf (Kühllaststunden pro Jahr) und vom Netz-Strombezugspreis;
- Der Strombedarf für Rückkühlung ist ein sehr wichtiger Faktor für den wirtschaftlichen Betrieb. Effiziente Regelungen der Rückkühlwerke, Prüfung der Einsatzmöglichkeiten für trockene Rückkühlung, Grundwasser, Seewasser, Flusswasser, Erdreichsonden ist wesentlich;
- Strombedarf zum Betrieb kleinerer Analgen (Kühlturmventilator, Kühlturmpumpe, Heizungs-Versorgungspumpen, etc.) ist verhältnismäßig groß und daher auch der elektrische COP (Verhältnis der Nutzkälte zu Gesamtstromverbrauch) entsprechend geringer; COPel-Idealwert bei 6 bis 11, COPel-Realwert bei kleinen Maschinen 3 bis 8;
- Hohe Investitionskosten; starker Anstieg der spezifischen Investitionskosten im kleineren Leistungsbereich.

Kosten:

- Systemkosten Absorptionsanlage für Antrieb mit Fernwärme, Abwärme etc. zwischen 10 und 150 kW Kälteleistung: 1.300 bis 4.000 Euro/kW Kälteleistung
- Systemkosten Absorptionsanlage für Antrieb mit Solarenergie (d.h. inkl. Solaranlage) zwischen 10 und 150 kW Kälteleistung: 2.600 bis 6.000 Euro/kW Kälteleistung
- Betriebskosten: aufgrund der wenigen beweglichen Teile bei Solaranlagen und bei Absorptionskältemaschinen liegen erfahrungsgemäß die jährlichen Wartungs- und Instandhaltungskosten unter 1% der Investitionskosten

Bei diesen Kostenangaben sind noch keine Förderungen berücksichtigt worden. Es ist aber davon auszugehen, dass mit Fördersätzen zwischen 20 und 30% der Investitionskosten gerechnet werden kann.

3.2.2 Kombination Photovoltaik mit Kompressionskältemaschine

Wie schon bei der solaren Kühlung erwähnt, ist der zeitliche Zusammenhang bei Büro- und Verwaltungsgebäuden zwischen der Kühllastspitze im Objekt und der größten Solareinstrahlung interessant. Zusätzlich kommt hinzu, dass der Stromverbrauch bei mit konventionellen Kompressionskälteanlagen gekühlten Objekten gerade zu dieser Zeit deutliche Stromspitzen aufweist und dieser zum Teil eine deutliche Erhöhung der Kosten für die Anschlussleistung - bezogen auf den Jahresdurchschnitt der Anschlussleistung - bewirken kann. Die Kombination einer Photovoltaikanlage zum Antrieb einer Kompressionskälteanlage und Einspeisung der überschüssigen Energie in das Stromnetz stellt daher eine interessante Variante dar. Dadurch können einerseits die Stromspitzen bei Betrieb der Kompressionskälteanlage vermieden werden und es ist eine ganzjährige Nutzung der Stromproduktion gesichert.

Wie ein derartiges System aussehen kann, zeigt die nachfolgende Abbildung:

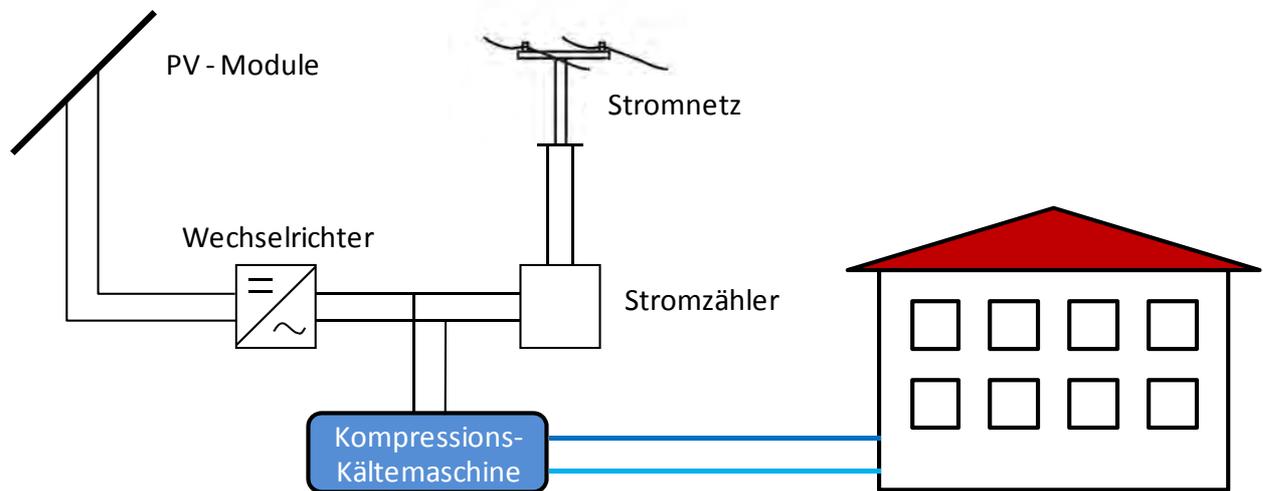


Abbildung 20: Systemdefinition Kombination Photovoltaik mit Kompressionskältemaschine

Betreffend der Kosten für die Photovoltaikmodule hat sich in den letzten Jahren eine deutlich Kostenreduktion ergeben. Die nachfolgende Abbildung zeigt die Kostenentwicklung bis Ende 2009:

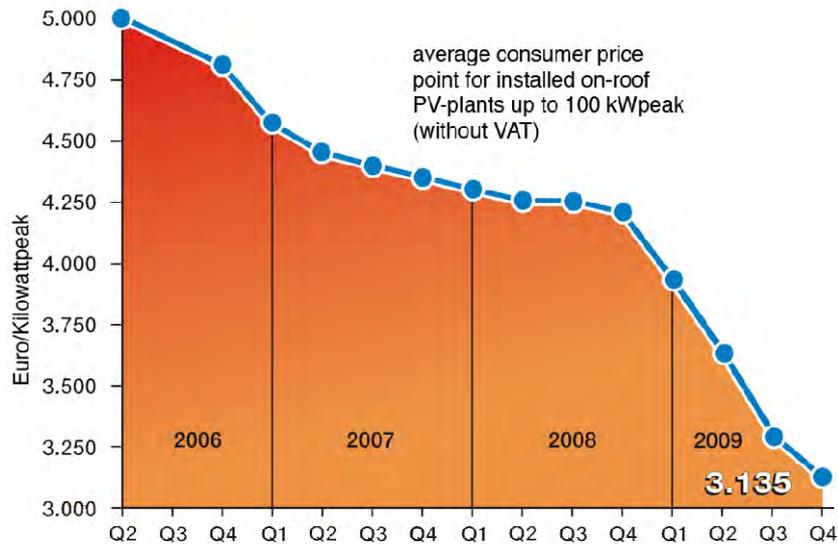


Abbildung 21: Durchschnittlicher Endkundenpreis für am Dach installierte PV-Anlagen bis 100 kW peak (exkl. Ust). Bildquelle: Bundesverband Solarwirtschaft, 2009³⁹

Die Kostenangaben aus der oben angeführten Grafik wurden auch beim Sonnensymposium am 4. Februar 2010 in Graz bestätigt, wobei darauf hingewiesen wurde, dass die Marktpreise in Österreich derzeit noch etwas über den deutschen Marktpreisen liegen, d.h. bei etwa 3.500 Euro pro kW peak. Betreffend der Netzparität, d.h. dem Zustand bei dem der Strom aus einer PV-Anlage erstmals gleich teuer wie der Strom „aus der Steckdose“ sein wird, wird von Experten der Energiebranche das Jahr 2015 genannt.

Bei einem Vergleich des Antriebs einer Kompressionskälteanlage mit einer Stromversorgung aus dem Netz mit einer Stromversorgung aus einer PV-Anlage spielen aber wie bereits erwähnt wesentlich mehr Faktoren hinein die den Zeitpunkt der Erreichung der Wirtschaftlichkeit in die nähere Zukunft verschieben. Eine Studie der TU Graz⁴⁰ hat zwar gezeigt, dass bei Anlagengrößen von 12 bzw. 17 kW Kälteleistung die Betriebsweise einer Kompressionskühlung über PV auf Basis des derzeitigen Strompreises und ohne Berücksichtigung des Kostenanteils für die Lastspitzen und auf eine Nutzungsdauer von 15 Jahre gerechnet derzeit noch etwa 2 bis 3 mal so teuer ist wie die konventionelle Versorgung über das Stromnetz. Die Sensitivitätsanalyse (Variation der Einflussparameter) in der nachfolgenden Grafik zeigt jedoch sehr gut, dass die Investitionskosten und die Nutzungsdauer einen sehr großen Einfluss auf die Kältekosten haben. Zusätzlich muss noch angemerkt werden, dass in dieser Betrachtung keine Förderungen berücksichtigt wurden.

³⁹ Bildquelle: Dr. Wolfgang Streicher; Thermal cooling, PV compression cooling and pure compression cooling - an economic comparison on the basis of two real plants; IEA SHC Task 38, Aarhus, 27.4.2010

⁴⁰ Dr. Wolfgang Streicher; Thermal cooling, PV compression cooling and pure compression cooling - an economic comparison on the basis of two real plants; IEA SHC Task 38, Aarhus, 27.4.2010

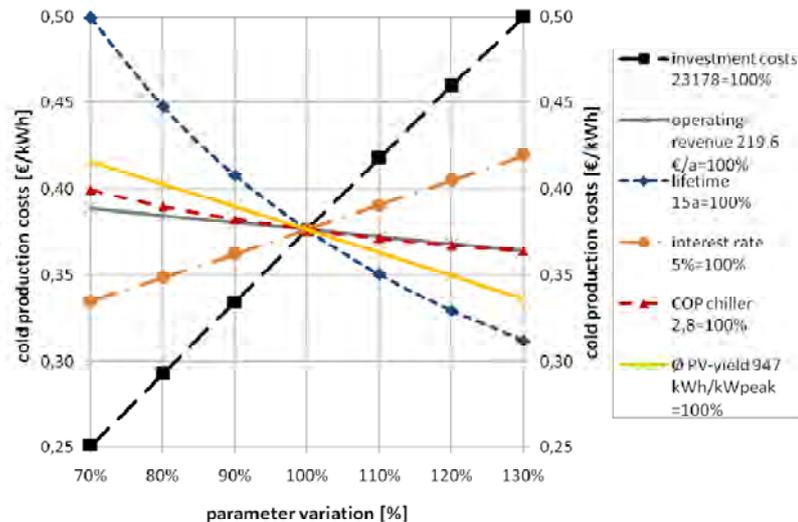


Abbildung 22: Sensitivitätsanalyse Kältekosten einer 12 kW Kompressionskälteanlage mit 40,5m² PV-Anlage (ohne Berücksichtigung von Förderungen) ⁴¹

Daraus ist sehr gut zu erkennen, dass z.B. bei einer Berücksichtigung von Förderungen in der Höhe von z.B. 30% (d.h. Reduktion der Investitionskosten) Kältekosten von 0,25 Euro/kWh erreichbar sind. Im Vergleich dazu liegen die Kältekosten bei Bezug aus dem Stromnetz ohne Berücksichtigung von Lastspitzen bei etwa 0,13 bis 0,15 Euro/kWh. Bei Berücksichtigung von Lastspitzen können diese aber rasch auf über 0,2 Euro/kWh ansteigen. Das zeigt, dass die Differenz zur Kostengleichheit nicht mehr sehr groß ist.

Vorteile:

- Bei Bürogebäude meist guter zeitlicher Zusammenhang zwischen Kühllastspitze im Objekt und größtem Ertrag aus der PV-Anlage – d.h. Lastspitzen können vermieden werden;
- Einspeisung der Stromproduktion in den Zeiten ohne Kühlbedarf in das Stromnetz zu attraktiven Einspeisetarifen;
- Investitionskosten für PV-Module sind in den letzten Jahren deutlich gesunken und Netzparität wird voraussichtlich in den nächsten 5 Jahren erreicht;

Nachteile:

- Platzbedarf für die Aufstellung der PV-Module relativ groß; es muss eine nach Süden (bzw. SO oder SW) orientierte, nicht verschattete (Dach-)Fläche von ca. 3 bis 4 m² je kW Kälteleistung vorhanden sein. Zusätzlich muss ein Platz (Außenbereich, möglichst schattig, ev. Flachdach) für die Aufstellung der Kältemaschine vorhanden sein (für eine 70 kW-Anlage ca. 8 bis 10 m² Grundfläche);

⁴¹ Dr. Wolfgang Streicher; Thermal cooling, PV compression cooling and pure compression cooling - an economic comparison on the basis of two real plants; IEA SHC Task 38, Aarhus, 27.4.2010

- Starke Abhängigkeit der Wirtschaftlichkeit (ROI – Return On Investment) von den Netz-Strombezugspreisen für Kühlung (ohne Berücksichtigung von Lastspitzen wird Wirtschaftlichkeit gegenüber Strombezug aus dem Netz derzeit noch nicht erreicht);
- Hohe Investitionskosten; Anteil der PV-Anlage an einer PV-Kühlungskombination liegt bei 80 bis 85% (bei reiner Betrachtung der Kälteerzeugung, d.h. ohne Verteilnetz).

Kosten:

Die Systemkosten einer Kombination Photovoltaikanlage mit Kompressionskältemaschine im Leistungsbereich 10 und 100 kW Kälteleistung liegen zwischen 1.800 bis 2.000 Euro/kW Kälteleistung (ohne Berücksichtigung von Förderungen).

3.2.3 Zusammenfassung nachhaltige aktive Kühlung

Die thermisch angetriebene Kühlung bzw. solare Kühlung zeigt speziell im kleineren Leistungsbereich (bis etwa 30 kW) bisher noch deutlich höhere spezifische Investitionskosten (Euro/kW Kälteleistung). Bei der Kombination Photovoltaik mit Kompressionskältemaschine ist dieser Effekt zwar auch vorhanden, aber der Unterschied der spezifischen Investitionskosten bei Klein- und Großanlagen ist deutlich geringer. Aus diesem Grund ist bei einem Vergleich der thermisch angetriebenen (solaren) Kühlung mit der Kombination Photovoltaik mit Kompressionskältemaschine die Wirtschaftlichkeit bei kleineren Kälteleistungen (bis ca. 20 bis 30 kW) bei der PV-Variante schneller erreicht. Bei einem Vergleich mit der konventionellen Kompressionskühlung mit Strombezug aus dem Netz sind deutlich höhere Investitionskosten bei den nachhaltigen Systemen festzustellen. Bei einem Vergleich der Kältekosten zeigt sich, dass es neben den Investitionskosten auch eine starke Abhängigkeit von den erforderlichen Kühllaststunden pro Jahr und den Strompreisen für das Referenzszenario gibt. Je nachdem, ob die Kosten für Lastspitzen bei dem Bezug aus dem Stromnetz bei Betrieb der Kompressionskühlung und Förderungen eingerechnet werden, sind die Kältekosten der nachhaltigen Systemen im mittleren Leistungsbereich (35 bis 50 kW Kälteleistung) derzeit 1,3 bis 5 mal so hoch wie bei der konventionellen Kompressionskühlung mit Strombezug aus dem Netz. Das bedeutet, dass bei der derzeitigen Strompreisentwicklung bei einigen Anwendungsfällen die Kostengleichheit schon fast erreicht ist bzw. in den nächsten Jahren sicher erreicht werden kann.

4 Bewertungsmatrix und Wirtschaftlichkeitsvergleich

Im Anhang befindet sich eine Bewertungsmatrix in der nochmals alle Verfahren zusammengefasst wurden und die Eignung bzw. die Effektivität des Einsatzes der einzelnen Verfahren in Bezug auf die Gebäudebauweise und die Vor- und Nachteile zusammengefasst sind.

(Siehe Anhang)

Weiters wurde versucht, einzelne Maßnahmen zu kombinieren um speziell auf öffentliche Gebäude abgestimmte Maßnahmenpakete für Neubau und Sanierung zu definieren. Folgende Maßnahmenpakete wurden definiert:

NL1 (manuell Fenster)	Gezielte natürliche Belüftung - manuelle Fensterlüftung (Nacht-/Taglüftung)
NL2 (autom. Fenster)	Gezielte natürliche Belüftung - autom. Fensterlüftung (Nacht-/Taglüftung)
NL3 (autom. Fenster+Speicherm.)	Gezielte natürliche Belüftung - autom. Fensterlüftung (Nacht-/Taglüftung) + Erhöhung Speichermassen (z.B. Ziegelwand 12 cm)
V1 (Wasserflächen/Pflanzen)	Passive Verdunstungskühlung (Wasserflächen, Brunnen, Pflanzen, etc.)
NL4 (mech. Nachtlüftung Bestand)	Nachtlüftung über bestehendes mechanisches Lüftungssystem (NLW=3)
NL5 (mech. Nachtlüftung Neu)	Nachtlüftung über neues mechanisches Lüftungssystem (NLW=3)
V2 (direkte hybride Verdunstungsk.)	Direkte hybride Verdunstungskühlung (mehrere Geräte zur Versorgung der Gangbereiche)
V3 (Kühlturm+GEKO)	Kühlturm mit hybrider Betriebsweise + Gebläsekonvektoren
V4 (Kühlturm+Kühldecke)	Kühlturm mit hybrider Betriebsweise + Kühldecken
P1 (LEWT+Lüftung)	Luftdurchströmte Erdreichwärmetauscher + Lüftungsanlage
P2 (WEWT+Betonkernakt.)	Wasserdurchströmte Erdreichwärmetauscher + Betonkernaktivierung (Einsatz vorwiegend bei Neubau oder Generalsanierung)
P3 (Erdsonde+Betonkernakt.)	Erdsonden und Energiepfähle + Betonkernaktivierung (Einsatz vorwiegend bei Neubau oder Generalsanierung)
P4 (Seewasser+Betonkernakt.)	Offene Systeme mit Grund- und Seewasser + Betonkernaktivierung (Einsatz vorwiegend bei Neubau oder Generalsanierung)
A1 (KKM+GEKO)	Kompressionskühlung + Gebläsekonvektoren
A2 (Sol.AKM+GEKO)	Thermisch angetrieben Kühlung (z.B. „solare“ Kühlung) + Gebläsekonvektoren
A3 (PV+KKM+GEKO)	Kombination Photovoltaik mit Kompressions- Kältemaschine + Gebläsekonvektoren

In der nachfolgenden Tabelle erfolgt einerseits eine Zuordnung der Eignung der einzelnen Maßnahmenpakete zur Bauweise (schwer, mittel, leicht), zu der mit dieser Maßnahme maximal erreichbaren Kühlleistung und zur Eignung für Neubau bzw. Sanierung:

	Eignung bei Bauweise			Kühlleistung	Eignung für	
	schwer	mittel	leicht		Neubau	Sanierung
NL1 (manuell Fenster)				< 150 Wh/m²d		
NL2 (autom. Fenster)				< 150 Wh/m²d		
NL3 (autom. Fenster+Speicherm.)				< 150 Wh/m²d	Variante primär für Sanierung	
V1 (Wasserflächen/Pflanzen)				< 100 Wh/m²d		
NL4 (mech. Nachtlüftung Bestand)				< 150 Wh/m²d		falls Lüftungss. vorh.
NL5 (mech. Nachtlüftung Neu)				< 150 Wh/m²d		Aufwand Umbau
V2 (direkte hybride Verdunstungsk.)				< 150 Wh/m²d		Aufwand Umbau
V3 (Kühlturm+GEKO)				< 300 Wh/m²d		Aufwand Umbau
V4 (Kühlturm+Kühldecke)				< 300 Wh/m²d		Aufwand Umbau
P1 (LEWT+Lüftung)				< 300 Wh/m²d		Aufwand Umbau
P2 (WEWT+Betonkernakt.)				< 480 Wh/m²d		Aufwand Umbau
P3 (Erdsonde+Betonkernakt.)				< 480 Wh/m²d		Aufwand Umbau
P4 (Seewasser+Betonkernakt.)				> 480 Wh/m²d		Aufwand Umbau
A1 (KKM+GEKO)				> 480 Wh/m²d		Aufwand Umbau
A2 (Sol.AKM+GEKO)				> 480 Wh/m²d		Aufwand Umbau
A3 (PV+KKM+GEKO)				> 480 Wh/m²d		Aufwand Umbau
Eignung für Bauweise und Eignung für Neubau/Sanierung	Gut	Bedingt	Schlecht			

Es wurde auch versucht, einen groben Wirtschaftlichkeitsvergleich für diese Maßnahmen anzustellen, in der die kapitalgebundenen Kosten und die betriebsgebundenen Kosten der einzelnen Maßnahmen gegenübergestellt wurden. Um eine Vergleichbarkeit zu ermöglichen, erfolgte ein Bezug auf die Nutzfläche, wobei bei dieser nachfolgenden Gegenüberstellung ein Bürogebäude mit 700 m² Nutzfläche hinterlegt ist und bei den aktiven Systemen (A1, A2 und A3) jeweils von einer Kühlleistung vom 50 W/m² ausgegangen wurde. Bei den anderen Maßnahmen wurde die maximal erzielbare Kühlleistung dieser Maßnahme angenommen bzw. bei P4 (Seewasser + Betonkernaktivierung) wurde ebenfalls eine Kühlleistung von 50 W/m² angesetzt. Die Kostangaben basieren auf Richtofferten bzw. zum Teil stammen sie aus den Projekten „COOLSAN“⁴² bzw. „Passive Kühlkonzepte für Büro- und Verwaltungsgebäude mittels Luft- bzw. Wasserdurchströmten Erdreichwärmetauschern“⁴³.

Bei der Berechnung der kapitalgebundenen und betriebsgebundenen Kosten wurden folgende Basisdaten angenommen:

⁴² COOLSAN: Kältetechnische Sanierungskonzepte für Büro und Verwaltungsgebäude – Endbericht; AEE INTEC 2005

⁴³ Passive Kühlkonzepte für Büro- und Verwaltungsgebäude mittels Luft- bzw. Wasserdurchströmten Erdreichwärmetauschern; Endbericht AEEINTEC 2002

Allgemein gemittelte Nutzungsdauer techn. Ausstattung:	15 Jahre
Gemittelte Nutzungsdauer zusätzliche Speichermassen, Betonkernaktivierung, Erdsonden, thermische Solaranlage, Absorptionskältemaschine:	20 Jahre
Kalkulatorischer Zinssatz:	5%
Stromkosten Bezug:	0,17 Euro/kWh
Stromkosten Einspeisung:	0,17 Euro/kWh
Wasserkosten:	1,51 Euro/m ³
Kosten Wärme:	0,085 Euro/kWh
Volllaststunden Kühlung pro Jahr:	600 h/a
Energieertrag Solaranlage thermisch:	350 kWh/m ² a
Energieertrag Photovoltaikanlage:	110 kWh/m ² a
Allg. Satz für Wartung und Instandhaltung	2%
Satz für Wartung und Instandhaltung Solaranlage, Photovoltaikanlage, Absorptionskältemaschine, Erdreichwärmetauscher, Betonkernaktivierung	1%
Förderung:	0 %

Förderungen für thermische Solaranlagen, Photovoltaikanlagen etc. wurden in dieser Betrachtung noch nicht berücksichtigt und würden daher bei Förderzusage zu einer Reduktion der kapitalgebundenen Kosten führen.

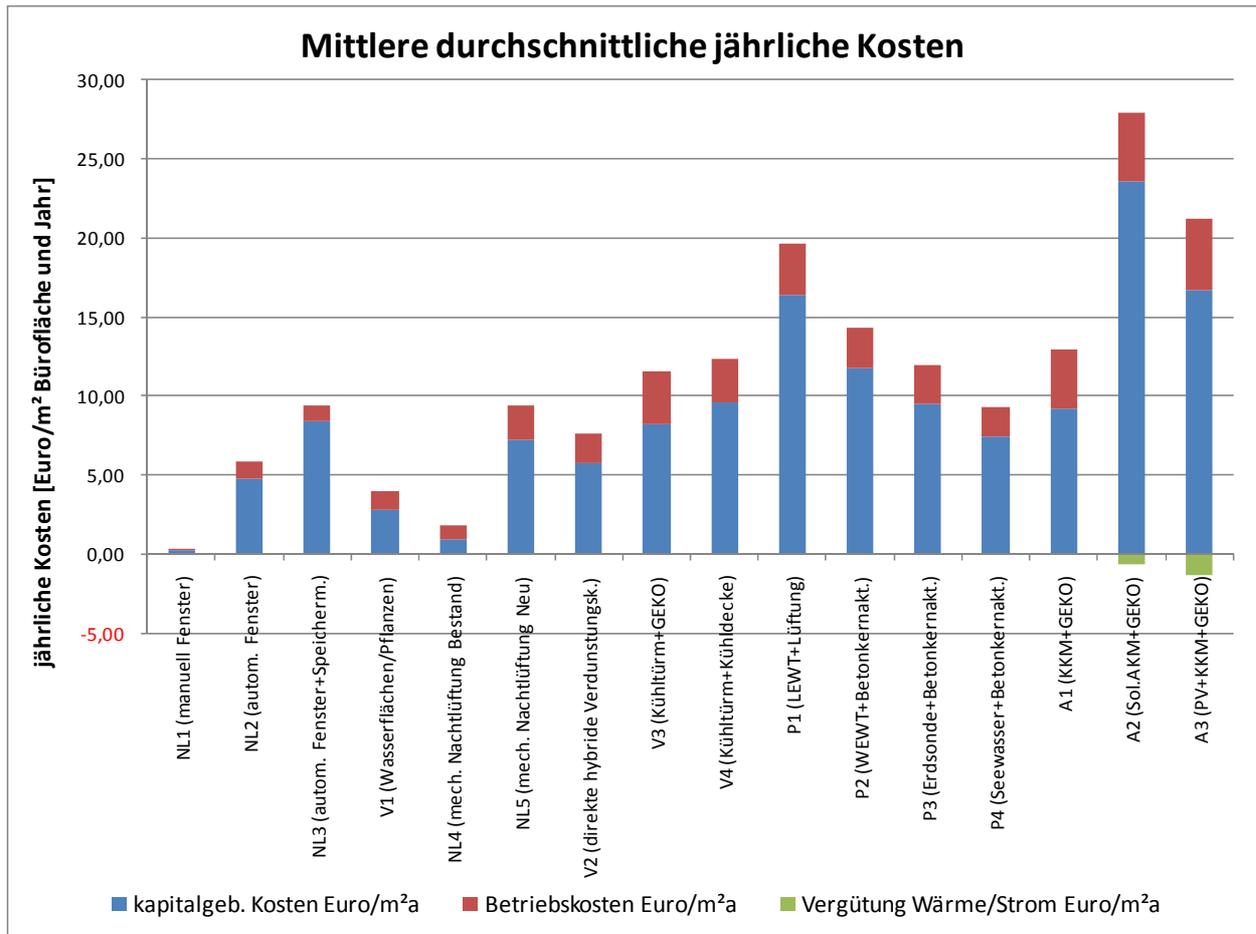


Abbildung 23: Mittlere durchschnittliche jährliche Kosten unterschiedlicher passiver und aktiver Kühlsysteme basierend auf Richtofferten für ein Bürogebäude mit 700 m² Nutzfläche

In dieser Abbildung ist sehr deutlich zu sehen, dass die niedrigsten Kosten bei den Nachtlüftungsvarianten mit manueller Fensterlüftung (NL1) bzw. entsprechender Adaptierung eines bestehenden Lüftungssystems (NL4) liegen. Auch die Maßnahme V1 (Verdunstungskühlung über Wasserflächen und Pflanzen) liegt bei relativ niedrigen jährlichen Kosten. Es ist aber zu berücksichtigen, dass diese Varianten nur bei kühllastoptimierten Objekten einsetzbar sind (maximale Kühlleistung der Maßnahmen bei 100 bis 150Wh/m²d) und auch die Bauweise der Objekte entsprechend sein muss um die Wirksamkeit z.B. der Nachtlüftung überhaupt zu ermöglichen (Speichermassen müssen vorhanden sein und die Räume müssen bei der Nachtlüftung auch ausreichend luftdurchströmt sein).

Auf der anderen Seite sind die Passiven Maßnahmen P1 bis P4 und die aktiven Maßnahmen mit höheren jährlichen Kosten verbunden. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass mit diesen Maßnahmen deutlich höhere Kühllasten aus dem Objekt abgeführt werden können und hinter diesen Systemen auch Verteilsysteme und „Kälteabgabesysteme“ bis in die einzelnen Büroräume berücksichtigt wurden. D.h. die gleichmäßige Versorgung aller Räume im Objekt ist damit sichergestellt.

Bei den Maßnahmen A2 und A3 ist über die Verwendung der überschüssigen Solarwärme bzw. die Einspeisung des überschüssigen Solarstromes eine Vergütung möglich, die zu einer Reduktion der jährlichen Kosten führt (in der Abbildung grün dargestellt).

Maßnahme	Eignung bei Bauweise	Abdeckung Kühllast - Effekt	Geeignetes Verteilsystem	Eignung als zentrales/semizentrales/dezentrales System	Vorteile	Nachteile	Kosten Investition	Kosten Betriebsführung
PASSIVE KÜHLUNG								
Gezielte natürliche Belüftung (Nacht-/Taglüftung)	Schwer; keine abgehängten Decken, Leichtbauwände etc.	Bis etwa 30 W/m ² ¹ bzw. 150 Wh/m ² d ² Mittlerer Verbesserungseffekt möglich (Reduktion Temperaturspitzen um 2 bis 3°C)	Grundsätzlich keines erforderlich; Treppenhäuser, Atrien von Vorteil	Zentral / semizentral	effizienter Luftaustausch; niedrigen Betriebskosten; meist ohne bzw. nur mit geringen baulichen Adaptionen umsetzbar	Aktivierbare Speichermassen sind Voraussetzung; Witterungs-, Einbruchs- und Brandschutz beibehalten trotz geöffneten Fenstern bzw. Innentüren	Niedrig (ggf. 1.000 bis 2.000 Euro für automatische Fensteröffner)	niedrig
Speichermassen und Latentwärmespeicher	Leicht, Mittel; jedoch ausreichend freie Wände bzw. Böden müssen vorhanden sein	In Verbindung mit Nachtlüftung mittlerer Verbesserungseffekt	Grundsätzlich keines erforderlich – siehe natürliche Belüftung	Zentral / semizentral / dezentral	Effiziente Stabilisierung der Raumtemperatur; niedrige bzw. keine Betriebs- und Wartungskosten	Grundvoraussetzung: Regenerationsmöglichkeit (z.B. Nachtlüftung) oder z.B. Aktivierung über Kaltwasserkreis; hohe Investitionskosten; bei Latentwärmespeichern wenig Langzeiterfahrung	Hoch (100 bis 200 Euro/m ²)	niedrig
Passive Verdunstungskühlung (Wasserflächen, Brunnen, Pflanzen, etc.)	Schwer, Mittel, Leicht	Eher niedriger Verbesserungseffekt in Mitteleuropa	Grundsätzlich keines erforderlich	Zentral / semizentral / dezentral	Hebt zusätzlich Behaglichkeitsempfinden, niedrige Betriebskosten	Starke Abhängigkeit des Effekts von Außenluft- bzw. Raumluftbedingungen; bei direkten Systemen Anhebung der Luftfeuchtigkeit im Raum; Wasserbedarf nicht vernachlässigbar; indirekte Systeme in Mitteleuropa wegen Bauweise nicht effektiv einsetzbar	Keine allgemeine Angabe möglich; bei direkten Systemen eher niedrig	niedrig
Nachtlüftung über mechanische Lüftungssysteme	Schwer; keine abgehängten Decken, Leichtbauwände etc.	Bis etwa 30 W/m ² ³ mittlerer Verbesserungseffekt möglich (Reduktion Temperaturspitzen um 2 bis 3°C)	Lüftungssystem von Vorteil	Zentral / semizentral	Effizienter, kontrollierter Luftaustausch; niedrigen Betriebskosten; meist niedrige Investitions- und Wartungskosten	Aktivierbare Speichermassen sind Voraussetzung; bauliche Gegebenheiten müssen entsprechend sein ansonsten hohe Investitionskosten	Entsprechend erforderlicher baulicher Adaptionen von niedrig bis hoch	niedrig
Hybride Verdunstungskühlung	Schwer, Mittel, Leicht	Bis 15 W/m ² bzw. < 150Wh/m ² d ⁴	Bei direkten Systemen meist keines, bei indirekten luft- oder	Zentral / semizentral / dezentral	Zusätzliche Investitionskosten und Wartungskosten relativ niedrig	Effekt stark abhängig von Umgebungsbedingungen Außenluft (Temperatur und rel. Luftfeuchte),	Mittel bis hoch	Mittel, aber höher als vergleichbare Lüftungssysteme ohne

¹ http://www.keep-cool.eu/System/FileArchive/175/File_12296.pdf

² Zimmermann, M. (2003). Handbuch der passiven Kühlung: Rationelle Energienutzung in Gebäuden. Stuttgart, Fraunhofer IRB

³ http://www.keep-cool.eu/System/FileArchive/175/File_12296.pdf

⁴ http://www.keep-cool.eu/System/FileArchive/175/File_12296.pdf

			wasserbasierendes Verteilsystem erforderlich			Raumluft etc.; bei direkten Systemen Anhebung der Luftfeuchtigkeit im Raum; Effekt relativ gering; Kosten für Wasser und zusätzlichen (Pumpen-) strom nicht vernachlässigbar		Verdunstungskühlung
Luftdurchströme Erdreichwärmetauscher	Schwer, Mittel, (Leicht)	Kühllast bis 300 Wh/m ² d bzw. Spitzenlasten bis 40 W/m ² Verlegefläche ⁵ d.h. mittlerer Verbesserungseffekt möglich	Lüftungssystem	Zentral / semizentral	Niedrige Betriebskosten; Nutzung auch im Winter zur Luftvorwärmung möglich; Tag- und Nachtnutzung möglich	Platzbedarf für Verlegung der Rohre; Investitionskosten; Abhängigkeit der Nutzleistung von der aktuellen Wettersituation und von der Bodenbeschaffenheit	mittel	niedrig
Wasserdurchströme Erdreichwärmetauscher	Schwer, Mittel, Leicht	mittlerer Verbesserungseffekt möglich	luft- oder wasserbasierendes Verteilsystem erforderlich	Zentral / semizentral	Niedrige Betriebskosten; zum Teil auch Nutzung im Winter zur Luftvorwärmung möglich; Tag- und Nachtnutzung möglich; bei wasserbasierenden Verteilsystemen einfache Aktivierung von Bauteilen möglich	Aufgrund geschlossenem Kreislauf Abhängigkeit der Nutzleistung vom Gebäude; gezielte Regelstrategie erforderlich um „Ermüdungserscheinungen“ des Erdreichs zu vermeiden; Platzbedarf für Verlegung der Rohre; Investitionskosten;	mittel	niedrig
Erdsonden und Energiepfähle	Schwer, Mittel, Leicht	Auch für hohe Wärmelasten geeignet - bis 400 Wh/m ² Tag ⁶	wassergeführte Energieabgabesysteme (Bauteilkühlung und direkte Kühlung)	Zentral / (semizentral)	Auch für höhere Kühllasten geeignet; für Bauteilkühlung und direkte Kühlung; Nutzung von Synergieeffekten (statisch erforderliche Elemente = Energieelemente); niedrige Betriebs- und Wartungskosten	Abhängigkeit vom Untergrund; geologische Untersuchung und Genehmigung erforderlich; viele Anbieter am Markt mit unterschiedlicher Qualität der Leistung; gezielte Regelstrategie erforderlich um „Ermüdungserscheinungen“ des Erdreichs bzw. Vereisung der Sonden zu vermeiden	Mittel bis hoch	niedrig
Offene Systeme mit Grund- und Seewasser	Schwer, Mittel, Leicht	Für hohe Wärmelasten / große Objekte geeignet	wassergeführte Energieabgabesysteme (Bauteilkühlung und direkte Kühlung)	Zentral / (semizentral)	Auch für höhere Kühllasten geeignet; für Bauteilkühlung und direkte Kühlung; niedrige Betriebs- und Wartungskosten	Nur bei entsprechenden Gewässern bzw. Grundwasserreservoirs anwendbar; bei Einsatz mit Meer- oder Seewasser verstärkter	Mittel bis hoch	niedrig

⁵ http://www.keep-cool.eu/System/FileArchive/175/File_12296.pdf

⁶ [http://energytech.at/\(de\)/architektur/portrait_artikel-3.de.html](http://energytech.at/(de)/architektur/portrait_artikel-3.de.html)

						Korrosionsschutz erforderlich; umfangreiche geologische Abklärung und Genehmigung notwendig		
KÄLTEVERTEILUNG FÜR PASSIVE KÜHLUNG								
Bauteilkühlung über Decken, Böden und Wände	Schwer, Mittel, Leicht	Bis etwa 40 (max. 60) W/m ²	wassergeführte Energieabgabesysteme	Zentral / semizentral	Hohes Behaglichkeitsempfinden aufgrund großer Wärmeabgabeflächen; geringe Temperaturschwankungen im Tagesverlauf; niedrige Betriebs- und Wartungskosten	Nachrüstung bei Gebäudesanierung aufwändiger als bei Neubau; beschränkter Einsatzbereich für Wärmelasten bis maximal 40 bis 60 W/m ² ; System zur Sicherstellung der Raumluftparameter erforderlich um Taupunktunterschreitung zu vermeiden	Mittel bis hoch	niedrig

Maßnahme	Eignung bei Bauweise	Abdeckung Kühllast - Effekt	Geeignetes Verteilsystem	Eignung als zentrales/ semizentrales/ dezentrales System	Vorteile	Nachteile	Kosten Investition	Kosten Betriebsführung
AKTIVE KÜHLUNG								
Thermisch angetrieben Kühlung (z.B. „solare“ Kühlung)	Schwer, Mittel, Leicht	abhängig von Verteilsystem jedoch kühllastoptimiertes Objekt Voraussetzung da spezifische Anlagenkosten hoch	Je nach Maschinentyp luft- oder wasserbasierendes Verteilsystem erforderlich	Zentral	Reduktion des Strombedarfes auf ca. 1/2 bis 1/3 gegenüber einer konventionellen Kompressionskältemaschine; lange Lebensdauer aufgrund wenig beweglicher Teile im System; geringer Wartungsaufwand; bei Bürogebäude meist guter zeitlicher Zusammenhang zwischen Kühllastspitze im Objekt und größter Solareinstrahlung; Solarenergie kann (sollte) in der Übergangs- und Winterzeit für Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung genutzt werden	Platzbedarf für die Aufstellung der Solaranlage relativ groß; starke Abhängigkeit der Wirtschaftlichkeit vom jährlichen Kühlbedarf und vom Netz-Strombezugspreis; Strombedarf für Rückkühlung ist ein sehr wichtiger Faktor für den wirtschaftlichen Betrieb; Strombedarf zum Betrieb kleinerer Anlagen verhältnismäßig groß; hohe Investitionskosten	Systemkosten Absorptionsanlage für Antrieb mit Fernwärme, Abwärme, etc. zwischen 10 und 150 kW Kälteleistung: 1.300 bis 4.000 Euro/kW Kälteleistung; für Antrieb mit Solarenergie (d.h. inkl. Solaranlage) zwischen 10 und 150 kW Kälteleistung: 2.600 bis 6.000 Euro/kW Kälteleistung	Wartungsaufwand etwas niedriger als bei Kompressionskühlung; Wartung Absorptionskältemaschinen kostengünstiger als bei Kompressionskältemaschinen jedoch zusätzliche Aggregate (Pumpen, Kühlturm, etc.)
Kombination Photovoltaik mit Kompressionskältemaschine	Schwer, Mittel, Leicht	abhängig von Verteilsystem jedoch kühllastoptimiertes Objekt Voraussetzung da spezifische Anlagenkosten hoch	luft- oder wasserbasierendes Verteilsystem möglich	Zentral / (semizentral)	Bei Bürogebäude meist guter zeitlicher Zusammenhang zwischen Kühllastspitze im Objekt und größtem Ertrag aus der PV-Anlage; Reduktion der Strom-Spitzenlasten; Einspeisung der Stromproduktion in den Zeiten ohne Kühlbedarf in das Stromnetz möglich	Großer Platzbedarf für Aufstellung der PV-Module; starke Abhängigkeit der Wirtschaftlichkeit von den Netz-Strombezugspreisen für Kühlung; Hohe Investitionskosten	Systemkosten Kombination Photovoltaikanlage mit Kompressionskältemaschine im Leistungsbereich 10 und 100 kW Kälteleistung liegen zwischen 1.750 bis 2.000 Euro/kW Kälteleistung	Wartungsaufwand etwas höher als bei reiner Kompressionskühlung

Bauweise: Schwer (Gesamtmasse > 600kg/m² Nutzfläche - alle Massen frei); Mittel (Gesamtmasse 200 bis 600kg/m² Nutzfläche – Massen zum Teil abgedeckt); Leicht (Gesamtmasse < 200kg/m² Nutzfläche – Fußböden und Decken abgedeckt, Wände zum Teil verbaut oder Leichtbau)

Sonnenschutzsysteme bei der Sanierung

Entscheidungsgrundlagen für die Sanierung von
Dienstleistungsgebäuden

Jänner 2011

Auftraggeber: Haus der Zukunft plus

Margot Grim

Márton Varga

Gerhard Hofer

Klemens Leutgöb (Projektleiter)

Impressum

e7 Energie Markt Analyse GmbH
Margot Grim, Márton Varga, Klemens Leutgöb
Theresianumgasse 7/1/8
1040 Wien
Österreich

Telefon +43-1-907 80 26
Fax +43-1-907 80 26-10
office@e-sieben.at
<http://www.e-sieben.at>

Inhaltsverzeichnis

Ausgangssituation und Zielsetzung	4
1 Gesetzliche Anforderungen an Sonnenschutzsysteme	6
1.1 Schutz vor sommerlicher Überwärmung	7
1.1.1 Gesetzliche Rahmenbedingungen	7
1.1.2 Anforderungen an den Sonnenschutz.....	8
1.2 Tageslichtversorgung und Sicht nach außen.....	11
1.2.1 Gesetzliche Rahmenbedingungen	11
1.2.2 Anforderungen an den Sonnenschutz.....	11
1.3 Nutzung solarer Wärmeeinträge und Reduktion der Wärmeverluste im Winter	11
1.3.1 Gesetzliche Rahmenbedingungen	11
1.3.2 Anforderungen an den Sonnenschutz.....	12
1.4 Blendschutz	12
1.4.1 Gesetzliche Rahmenbedingungen	12
1.4.2 Anforderungen an den Blendschutz.....	13
2 Anforderung an den Sonnenschutz abhängig von Raumtypologie.....	14
3 Voraussetzung für eine Nachrüstung eines Sonnenschutzes	15
3.1 Fassadentyp und Statik	15
3.1.1 Loch- und Bandfassade	15
3.1.2 Pfosten-Riegel- und Elementfassade.....	16
3.2 Solare Einstrahlung.....	18
3.2.1 Direkte Sonneneinstrahlung.....	18
3.2.2 Diffuse Bestrahlung.....	21
3.3 Windlasten	21
4 Übersichtstabelle Sonnenschutzsysteme und Sanierungsvarianten.....	22
5 Tageslichtversorgung	23
5.1 Tageslicht versus sommerliche Überhitzung	23
5.2 Berechnung des mittleren Tageslichtfaktors.....	26

5.2.1	Winkel des sichtbaren Himmels θ	27
5.2.2	Reflexionsgrad der umschließenden Fläche R	27
5.2.3	Mittlerer Tageslichtfaktor des Gebäudes	28
5.3	Maßnahmen zur Verbesserung der Tageslichtversorgung in Bestandsgebäuden	28
5.3.1	Keine Änderungen an der Fassade vorgesehen.....	28
5.3.2	Kleine Änderungen an der Fassade möglich (z.B. Fenstertausch).....	29
5.3.3	Fassadensanierung geplant.....	29
6	Steuerung von Sonnenschutz- und künstlichen Beleuchtungssystemen	31
6.1	Steuerung von Sonnenschutzsystemen	31
6.2	Kombinierte Sonnenschutz und Beleuchtungssteuerung	33
7	Unterschiedliche Sonnenschutztechnologien	35
7.1	Außenjalousien und Raffstore.....	35
7.2	Lichtlenkjalousien.....	36
7.3	Rollläden und Tageslichtrollläden	37
7.4	Fassadenmarkisen und Markisoletten	38
7.5	Horizontale und vertikale Großlamellen.....	39
7.6	Feststehende Verschattungselemente	39
7.7	Innenverschattung	40
7.8	Sonnenschutzglas.....	41
7.9	Sonderfunktion Blendschutz	43
8	Künstliche Beleuchtung in Kombination mit Tageslicht und Verschattung	44
8.1	Effiziente Beleuchtungstechnologie	44
8.2	Beleuchtungssteuerung	44
8.2.1	Mehrere Beleuchtungsschalt- und -stromkreise.....	44
8.2.2	Steuerung in Kombination mit Tageslichtversorgung.....	45
8.2.3	Präsenzsteuerung	45
8.3	Beleuchtungssimulation	45
9	Wirtschaftlichkeit	46
10	Begriffsbestimmungen	49
11	Richtlinien und Literatur	51

11.1	EU Richtlinien	51
11.2	Österreichische Rechtsgrundlagen.....	51
11.3	Normen und Richtlinien.....	51
12	Checkliste zur Verbesserung des Sonnenschutzes im Bestand	53
12.1	Umfassende Fassadensanierung	53
	12.1.1 Verbesserung der Tageslichtversorgung	53
	12.1.2 Nachrüsten von Sonnenschutzsystemen.....	53
12.2	Kleinere Änderungen an der Fassade möglich (z.B. Fenstertausch)	54
	12.2.1 Verbesserung der Tageslichtversorgung	54
	12.2.2 Nachrüsten von Sonnenschutzsystemen.....	55
12.3	Keine Änderungen an der Fassade möglich.....	55
	12.3.1 Verbesserung der Tageslichtversorgung	55
	12.3.2 Nachrüsten von Sonnenschutzsystemen.....	55
12.4	Steuerung von Sonnenschutzsystemen	56
13	Literaturverzeichnis.....	57

Ausgangssituation und Zielsetzung

In den letzten Jahren stieg der Energiebedarf für die Raumkühlung kontinuierlich an. Die Internationale Energieagentur spricht sogar vom am schnellsten wachsenden Stromverbrauchssegment. Internationale Studien sagen weiters eine Vervierfachung des Kühlbedarfs innerhalb von 30 Jahren voraus.

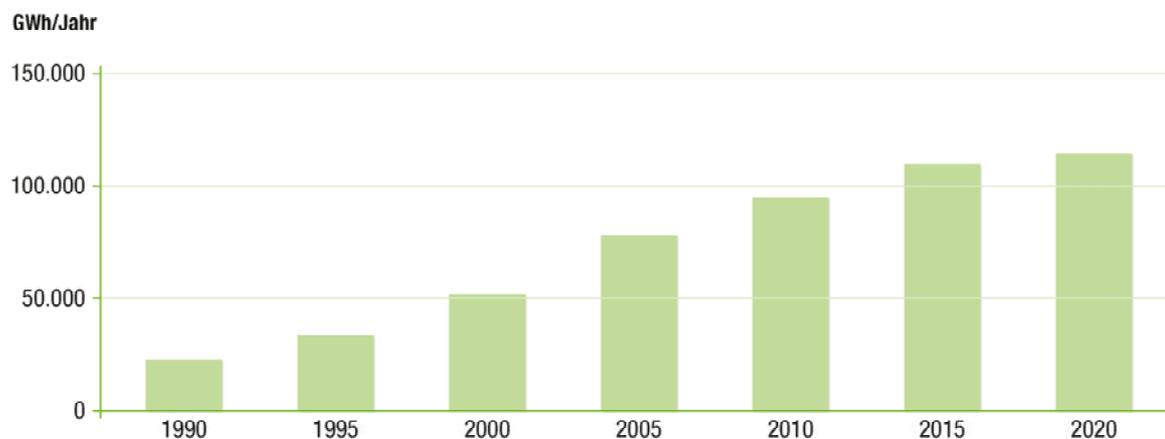


Abbildung 1: Entwicklung des Kühlbedarfs in den EU-15 zwischen 1990 und 2020 (Vorhersage aus Adnot et al. 2003, S 21)

Gründe dafür gibt es mehrere:

- Klimawandel und damit steigende Temperaturen in der Übergangszeit und im Sommer
- steigende interne Lasten durch immer mehr wärmeabgebende Geräte in den Arbeitsräumen
- der architektonische Trend zu großen Glasflächen führt zu höheren Solaren Wärmelasten
- flexibler, leichter Innenausbau reduziert die puffernde Wirkung der Speichermasse

Achtet man im Zuge der Planung von Neubauten auf das Optimum zwischen Tageslichtversorgung und sommerlicher Überwärmung, so kann man alleine mit baulichen Maßnahmen (Ausrichtung, Fensterflächenanteil, Speichermasse, Verschattungssystem) den Kühlbedarf soweit reduzieren, dass in vielen Fällen eine mechanische Kühlung gar nicht mehr notwendig ist.

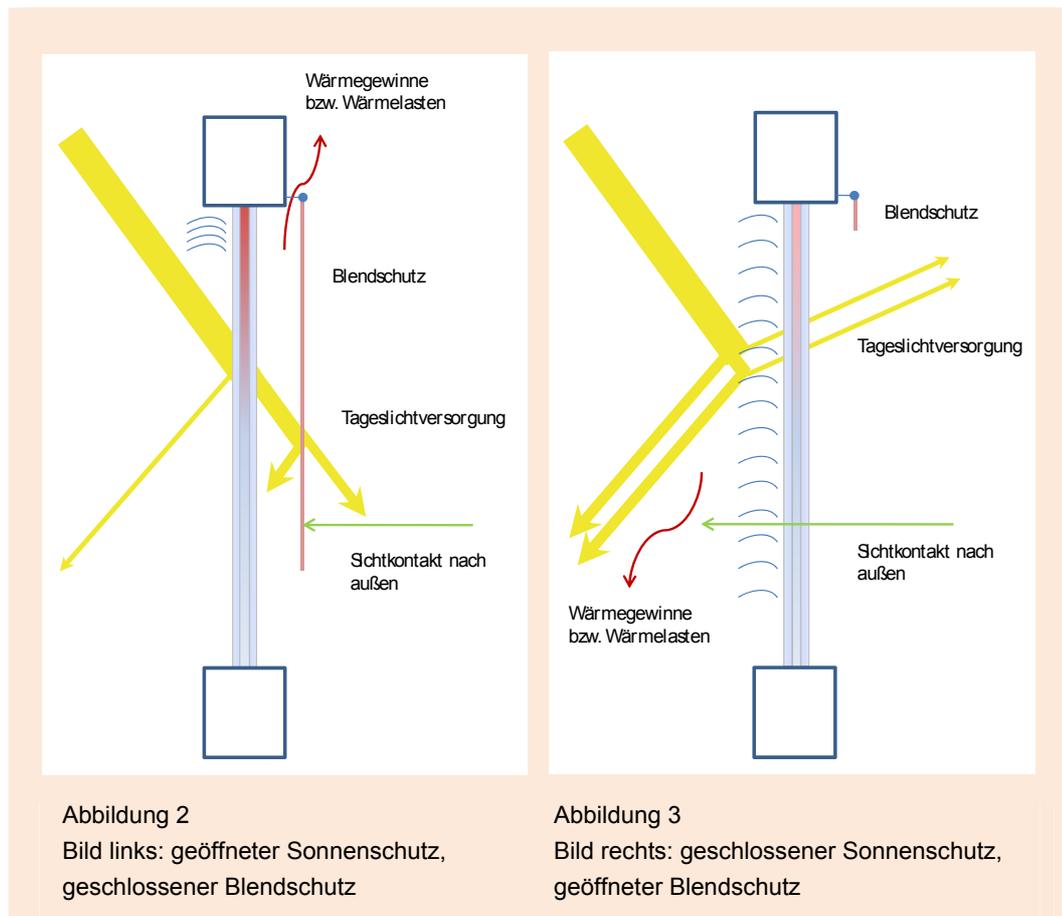
Bei Bestandsgebäuden ist die Flexibilität diesbezüglich stark eingeschränkt. Bei umfassenden Sanierungen kann ggf. die speicherwirksame Masse eines Gebäudes wieder freigelegt werden. Eine hoch wirksame Maßnahme zur Reduktion der solaren Lasten und damit des sogenannten außeninduzierten Kühlbedarf ist das Anbringen eines Sonnenschutzes. Das Nachrüsten eines Sonnenschutzes ist in vielen Fällen noch möglich. Welches System machbar ist, hängt aber stark von der vorhandenen Fassade ab.

Der vorliegende Leitfaden soll den Bauherrn unterstützen das passende Verschattungssystem für sein Bestandsgebäude zu finden und dabei weitere Anforderungen an den Sonnenschutz nicht zu vernachlässigen.

1 Gesetzliche Anforderungen an Sonnenschutzsysteme

Sonnenschutzsysteme erfüllen meist mehrere Funktionen. Die wichtigste davon ist die Reduktion solarer Lasten. Ein moderner Arbeitsplatz – unabhängig ob Büro, Klassenzimmer oder Universität – stellt an den Sonnenschutz jedoch noch zusätzliche Anforderungen:

- Schutz vor sommerlicher Überwärmung
- Blendschutz
- Verdunkelung
- Tageslichtversorgung
- Sichtverbindung zur Außenwelt
- Nutzung solarer Wärmeeinträge im Winter
- Reduktion von Transmissionsverlusten im Winter
- Einbruchschutz
- Schallschutz



Einige dieser Funktionen sind auch Teil einschlägiger Vorschriften, die es bei Neubauten oder umfassenden Sanierungen einzuhalten gilt. Je nach Raumfunktion oder Ausrichtung variiert allerdings die Wichtigkeit der einzelnen funktionellen Anforderungen.

1.1 Schutz vor sommerlicher Überwärmung

1.1.1 Gesetzliche Rahmenbedingungen

Die OIB-Richtlinie 6 regelt die Mindestanforderung der gängigen Bauordnung im Bereich des Heizwärme- und Kühlbedarfs. Sie verlangt bei Neubauten bzw. bei der umfassenden

Sanierung die Einhaltung der ÖNORM B 8110-3¹. Das bedeutet, dass eine Grenztemperatur von 27°C am Tag nur an 130 Tagen innerhalb von 10 Jahren überschritten werden darf.

Wird dies nicht nachgewiesen, so muss eine Mindestanforderung an den außeninduzierten Kühlbedarf KB* – der ohnehin mit dem verpflichtenden Energieausweis berechnet wird – eingehalten werden.

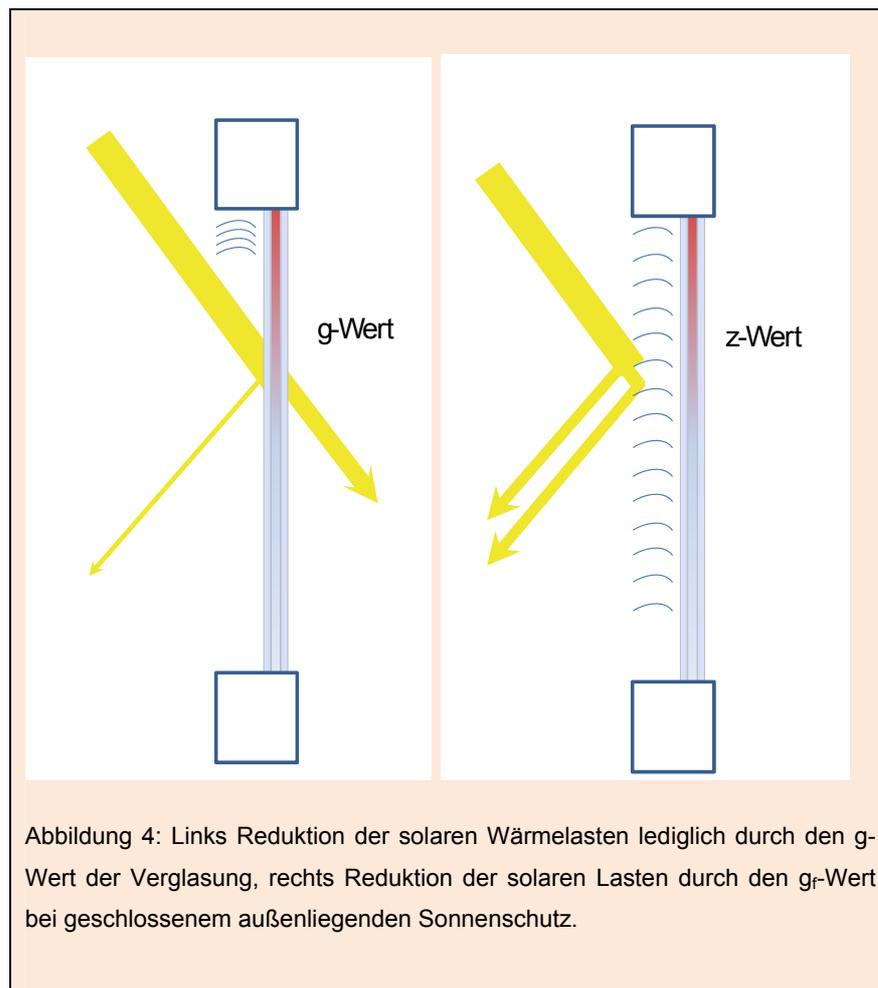
- KB* bei Neubauten: 1 kWh/m³a
- KB* bei umfassenden Sanierungen: 2 kWh/m³a

Diese Anforderungen bedeuten implizit, dass künftig Vollglasfassaden ohne außenliegender Verschattung nicht bzw. nur noch sehr eingeschränkt gebaut werden können. Bei Sanierungen von Gebäuden mit größeren transparenten Flächen wird in den meisten Fällen ein Sonnenschutz nachzurüsten sein um die Anforderungen einhalten zu können.

1.1.2 Anforderungen an den Sonnenschutz

Prinzipiell gilt, ein außenliegender Sonnenschutz ist bis zu 10x wirksamer als ein innenliegender. Auch der Abstand zwischen Sonnenschutz und Fensterscheibe und die dazwischen geführte Hinterlüftung beeinflusst den Wärmeeintrag ins Gebäude wesentlich.

¹ Die ÖNORM B 8110-3 wird 2011 neu aufgelegt. Dort wird voraussichtlich in Bezug auf den z-Wert auf die ÖNORM B 8110-6 verwiesen.



Als Planungsvorgabe für einen adäquaten Sonnenschutz gilt der Gesamtenergiedurchlassgrad des Fensters inkl. Sonnenschutz.

Der Gesamtenergiedurchlassgrad des Fensters $[g_f]$ setzt sich aus dem Gesamtenergiedurchlassgrad des transparenten Bauteils $[g]$ und dem Abminderungsfaktor $[z]$ zusammen.

$$g_f = g \cdot z$$

Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung

Richtwerte für den Gesamtenergiedurchlassgrad einer Verglasung und des Abminderungsfaktors für Abschattungsvorrichtungen z (bei einem g -Wert von 0,75) sind in

der ÖNORM B 8110-3² gelistet. In der ÖNORM B 8110-6 sind Abminderungsfaktoren für bewegliche Sonnenschutzrichtungen in Abhängigkeit des g-Wertes der Verglasung enthalten. Da der g-Wert der Verglasung üblicherweise unter dem Wert der ÖNORM B 8110-3 von 0,75 liegt, ist die Anwendung der Wert der ÖNORM B 8110-6 vorzuziehen.

Um im Winter solare Energiegewinne zuzulassen sollte der g-Wert des Fensters möglichst hoch sein ($g > 0,55$). Dem gegenüber steht für den Sommerfall ein effektiver Sonnenschutz mit einem möglichst niedrigen z-Wert ($z < 0,3$).

Gesamtenergiedurchlassgrad inklusive Verschattung

Ohne die Einflüsse von Raumlüftung und speicherwirksamen Masse zu berücksichtigen sollte als Richtwert der **Gesamtenergiedurchlassgrad g_f von Verglasung und Verschattung nicht höher als 0,17** sein (bei beweglichen Sonnenschutz im geschlossenen Zustand). Bei einem **leichten Innenausbau, ist ein g_f von nicht größer als 0,14 zu empfehlen** (ausgenommen nach Norden oder ständig beschattete Räume).

In Abhängigkeit der Fensterfläche, dem vom g-Wert abhängigen z-Wert (analog ÖNORM B 8110-6) und dem g-Wert werden folgende Werte für den Gesamtenergiedurchlassgrad g_f erreicht:

g-Wert	0,70	0,60	0,50	0,40	0,30	0,20
keine Verschattung	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10
Textilrollo	0,26	0,23	0,20	0,17	0,13	0,09
Innenjalousie	0,25	0,22	0,20	0,16	0,13	0,09
hoch reflektierende Innenscreens	0,17	0,17	0,16	0,14	0,11	0,08
außenliegende Markiese	0,09	0,08	0,06	0,06	0,05	0,04
Außenjalousie	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,02

Tabelle 1: Berechnung des Gesamtenergiedurchlassgrades g_f mit Abhängigkeit des g-Faktors, des z-Faktors (analog ÖNORM B 8110-6) und des Fensterflächenanteils f . Annahme Fensterflächenanteil von 50 %: $f = 0,5$. Rote Felder sind als kritisch zu betrachten.

Fensterflächenanteil f ist das Verhältnis von Fensterfläche A_f zu den an die Außenluft grenzenden Flächen $A_f + A_W$, wobei A_W der Fläche der nicht transparenten Außenflächen entspricht.

² Die ÖNORM B 8110-3 wird 2011 neu aufgelegt. Dort wird voraussichtlich in Bezug auf den z-Wert auf die ÖNORM B 8110-6 verwiesen.

Zusätzlich ist die Aktivierung der beweglichen Verschattungseinrichtungen von hoher Bedeutung. Durch eine automatische und strahlungsabhängige Steuerung kann der Solareintrag in das Gebäude massiv reduziert werden.

1.2 Tageslichtversorgung und Sicht nach außen

1.2.1 Gesetzliche Rahmenbedingungen

ArbeitnehmerInnenschutzgesetz: Fassung durch BGBl. II Nr. 13/2007

2. Abschnitt - Arbeitsstätten und Baustellen, 022 Arbeitsräume

(6) Soweit die Zweckbestimmung der Räume und die Art der Arbeitsvorgänge dies zulassen, müssen Arbeitsräume ausreichend natürlich belichtet sein und eine Sichtverbindung mit dem Freien aufweisen. Bei der Anordnung der Arbeitsplätze ist auf die Lage der Belichtungsflächen und der Sichtverbindung Bedacht zu nehmen.

1.2.2 Anforderungen an den Sonnenschutz

Der Sonnenschutz muss in der Lage sein trotz Abschattung Tageslicht in die Arbeitsräume zu lenken. Auf West- oder Ostorientierung sind vertikale Systeme besonders gut geeignet, da sie nicht gänzlich geschlossen werden müssen und so Tageslicht einlassen und gleichzeitig die Sicht nach außen nicht verhindern. Gleiches gilt für horizontale Systeme im Süden. Werden auch auf der West- und Ost-Seite horizontale Lamellen verwendet, so sollten tageslichtlenkende und perforierte Lamellen verwendet werden.

1.3 Nutzung solarer Wärmeeinträge und Reduktion der Wärmeverluste im Winter

1.3.1 Gesetzliche Rahmenbedingungen

Es gibt keine gesetzlichen Rahmenbedingungen, die solare Wärmeeinträge in Gebäude verpflichten. Die OIB Richtlinie 6 regelt lediglich den maximalen Heizwärmebedarf eines Gebäudes. Solare Wärmeeinträge können diesen faktisch wie auch rechnerisch reduzieren,

was mehr Spielraum im Bereich Kompaktheit, Ausrichtung und Fensterflächenanteil lässt. Für Wärmeverluste gibt es in der OIB Richtlinie 6 maximale U-Werte, die auch die einzelnen Bauteile einhalten müssen.

1.3.2 Anforderungen an den Sonnenschutz

Der Sonnenschutz soll so flexibel sein, dass er während der Sommermonate die solaren Lasten abhält und in Heizperiode untertags die solaren Gewinne in das Gebäude eindringen lässt. Feststehende Verschattungssysteme, Sonnenschutzgläser und –folien sind demnach für solare Wärmeeinträge kontraproduktiv. Die Technologie sollte weiters zentral gesteuert sein, um das System in der Nacht zu schließen. Die meisten Produkte (z.B. Raffstores und Jalousien, Markisen, Rollläden) reduzieren im geschlossenen Zustand die Transmissionsverluste, da sie einen Puffer zwischen der direkten Dämmebene (Fenster) und der Außenluft darstellen.

1.4 Blendschutz

1.4.1 Gesetzliche Rahmenbedingungen

Verordnung der Bundesministerin für Arbeit, Gesundheit und Soziales **über den Schutz der Arbeitnehmer/innen bei Bildschirmarbeit**, BGBl. II Nr. 124/1998, 2. Abschnitt

§ 6. (1) Bildschirmarbeitsplätze sind so einzurichten, dass Blendungen und störende Reflexionen auf dem Bildschirm und anderen Arbeitsmitteln durch Lichtquellen auch bei leicht wechselnden Arbeitshaltungen vermieden werden. Bei der Aufstellung des Bildschirms ist darauf zu achten, dass die Blickrichtung annähernd parallel zu Fensterflächen gerichtet ist, wenn dies auf Grund der Raumanordnung möglich ist.

(2) Lichteintrittsöffnungen, die störende Reflexionen oder zu hohe Kontraste hervorrufen, müssen mit verstellbaren Lichtschutzvorrichtungen ausgestattet sein.

(3) Die Beleuchtung ist so zu dimensionieren und anzuordnen, dass ausreichende Lichtverhältnisse und ein ausgewogener Kontrast zwischen Bildschirm und Umgebung gewährleistet sind. Dabei sind die Art der Tätigkeit sowie die sehkraftbedingten Bedürfnisse des/der Arbeitnehmers/Arbeitnehmerin zu berücksichtigen.

1.4.2 Anforderungen an den Blendschutz

Der Blendschutz sollte getrennt vom Sonnenschutz sein. In der Regel sollte der Blendschutz innerhalb der Dämmebene liegen, um in der Heizperiode die solaren Wärmegewinne in den Raum zu lassen. Der Blendschutz sollte transluzent sein um das Tageslicht hindurch zu lassen und bestenfalls semitransparent um eine Sicht nach außen zu ermöglichen (z.B. Vertikaljalousien, semitransparente Rollos, etc.).

2 Anforderung an den Sonnenschutz abhängig von Raumtypologie

Abhängig von der Nutzung eines Raumes werden unterschiedliche Anforderungen an den Sonnenschutz gestellt.

	Büro	Besprechungsraum	Klassenzimmer	Vortragsraum
Schutz vor sommerlicher Überwärmung	↑↑↑↑	↑↑↑↑	↑↑↑↑	↑↑↑↑
Nutzung solarer Wärmeeinträge im Winter	⇒	⇒	⇒	⇒
Tageslichtversorgung	↑↑↑↑	↑↑↑↑	↑↑↑↑	↑
Sicht nach außen	↑↑	↑↑	↑↑	⇒
Reduktion von Wärmeverlusten (Winter)	⇒	⇒	⇒	⇒
Blendschutz	↑↑↑↑	⇒	↑↑	⇒
Verdunkelung	↓↓	⇒	⇒	↑↑↑↑
Wartungsfreundlich	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑
Individuelle vs. zentrale Steuerung	↑↑	↑↑	↑↑	⇒

Tabelle 2: Anforderungen der unterschiedlichen Raumnutzungen an den Sonnenschutz

sehr hohe Anforderung



mittlere Anforderung



hohe Anforderung



keine Anforderung



3 Voraussetzung für eine Nachrüstung eines Sonnenschutzes

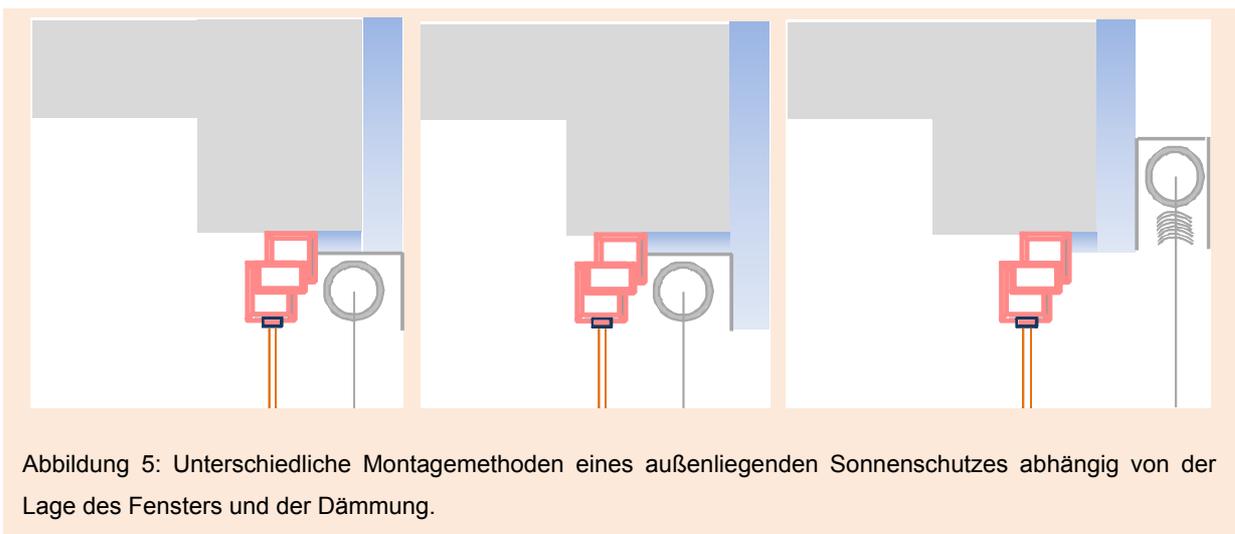
Büro-, Schul- und Universitätsgebäude werden primär tagsüber genutzt. Deshalb werden hier lediglich jene Rahmenbedingungen betrachtet, die eine Tagesnutzung betreffen. D.h. das Thema Lärmreduktion durch Verschattungssysteme in der Nacht für Wohnräume wird nicht betrachtet.

3.1 Fassadentyp und Statik

3.1.1 Loch- und Bandfassade

Inwieweit nachträglich ein Sonnenschutz angebracht werden kann hängt maßgeblich von der Fassadenkonstruktion ab. Eine massive Fassade bzw. Loch- oder Bandfassade ist strukturell und statisch eher geeignet Sonnenschutzsysteme nachzurüsten, im Vergleich zu einer Leichtbauvariante wie eine Pfosten-Riegel oder eine Elementfassade.

Mögliche nachträgliche Montagemethoden von außenliegenden Verschattungssystemen bei Loch- und Bandfassaden.



Passende Verschattungstechnologien bei einer Loch- oder Bandfassade

Keine Veränderungsmöglichkeit an der Fassade

- hoch reflektierende Innenscreens
- Sonnenschutzfolie

Kleine Änderungen (z.B. Fenstertausch) möglich:

- Sonnenschutzglas
- Verbundfenster mit Jalousien im Scheibenzwischenraum
- Außenliegende Jalousien oder Raffstores (bei Windgeschwindigkeiten > 20 m/s auf deren Windstabilität achten)
- Markise (bei geringen Windgeschwindigkeiten)

Neue Fassadengestaltung bzw. komplette Fassadensanierung

- Außenliegende Jalousien oder Raffstores (bei Windgeschwindigkeiten > 20 m/s auf deren Windstabilität achten)
- Markise (bei geringen Windgeschwindigkeiten)
- Feststehende vertikale oder horizontale Elemente
- Prallscheibe

3.1.2 Pfosten-Riegel- und Elementfassade

Pfosten-Riegel und Elementfassaden sind Leichtbaukonstruktionen mit dünnen Profilen. Die Elemente werden bei der Gebäudeerrichtung speziell für das Gebäude vorgefertigt. Nachträgliche Änderungen an der Fassade sind nur sehr beschränkt machbar. Das Anbringen von außenliegenden Verschattungssystemen ist demnach nur selten möglich und muss auf die nächste Komplettsanierung der Fassade warten.

Gegen Überhitzungsprobleme können bei diesen Leichtbaukonstruktionen lediglich innen liegende Systeme - z.B. hochreflektierende Innenscreens oder Sonnenschutzfolien - angebracht werden.

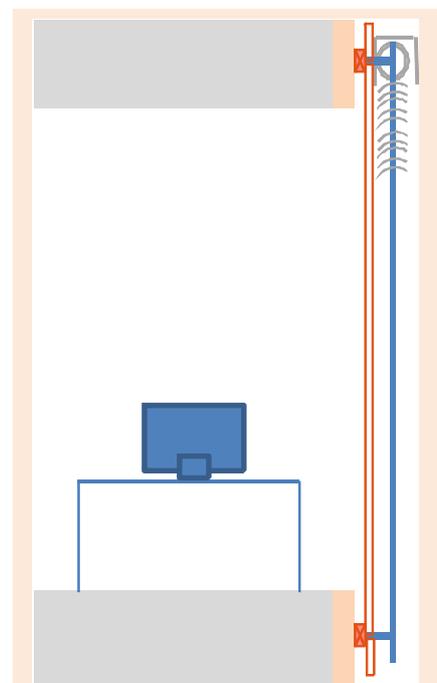


Abbildung 6: Freitragender Raffstore an Pfosten-Riegel-Fassade angebracht.

Ist es möglich die Optik der Fassade zu ändern, aber die bestehende Fassade grundsätzlich beibehalten werden soll, so kann ggf. ein freitragender Raffstore angebracht werden. Dieser kann aufgrund der wenigen Anbringungspunkte auch an Pfosten-Riegel-Konstruktionen angebracht werden.

Im Zuge einer umfassenden Sanierung der Pfosten-Riegel oder Elementfassade – also, einer komplett neuen Fassade - kann mit nur geringen optischen Änderungen zumindest ein Sonnenschutz im Scheibenzwischenraum in die auszuwechselnden Elemente integriert werden. Wird die architektonische Gestalt der Gebäudehülle auch verändert, so kann eine Pfosten-Riegel- oder Elementfassade höchst flexibel gestaltet werden.

Passende Verschattungstechnologien bei einer Pfosten-Riegel- oder Elementfassade

Keine bzw. kleine Veränderungsmöglichkeit an der Fassade

- hoch reflektierende Innenscreens
- Sonnenschutzfolie
- Sonnenschutzglas
- Freitragende Raffstoren

Neue Fassadengestaltung im Rahmen einer Fassadensanierung

- Verbundfenster mit Jalousien im Scheibenzwischenraum
- Freitragende Raffstoren
- Außenliegende Jalousien oder Raffstores (bei Windgeschwindigkeiten > 20 m/s auf deren Windstabilität achten)
- Prallscheibe oder Doppelfassade

ACHTUNG: Bei der nachträglichen Montage von Sonnenschutzsystemen ist besonders auf die Vermeidung von Wärmebrücken zu achten. Die Schienen und Kästen der unterschiedlichen Systeme sind in der Regel nicht wärmedämmend und sollten deshalb außerhalb der Dämmebene angebracht werden.

3.2 Solare Einstrahlung

Die solare Einstrahlung hängt primär von der Ausrichtung und ggf. von umgebenden Gebäude(teile)n oder Bepflanzungen ab. Abhängig ob direkte oder indirekte Sonneneinstrahlung oder dem Sonnenstand gibt es optimale Sonnenschutzsysteme.

3.2.1 Direkte Sonneneinstrahlung

Direktbestrahlung tritt vor allem in den Orientierungen Osten, Süden und Westen auf.

Westfassade

Nach Westen orientierte Fassaden haben mit dem größten Überhitzungspotenzial zu kämpfen. Dafür verantwortlich sind folgende Gründe.

- Die Strahlungseinträge erfolgen mit flachem Winkel. Das bedeutet, dass die gängigsten Verschattungstechnologien (Jalousien, Rollläden, Markisen, etc.) ganz geschlossen werden müssen, was wiederum die Sicht nach außen behindert und ggf. die Tageslichtversorgung so stark reduziert, dass die künstliche Beleuchtung eingeschaltet werden muss. Da das für Nutzer nicht so komfortabel ist, bleibt der Sonnenschutz trotz direkter Einstrahlung oft geöffnet, was zu erhöhten Kühllasten führt.
- Die solare Bestrahlung im Westen erfolgt am Nachmittag, wenn sich die Außenluft schon erwärmt hat. Das bedeutet, dass die Strahlungseinträge nicht über Fensterlüftung abgeführt werden können (besonders in den Sommermonaten). Ohne Sonnenschutz muss deshalb oft schon in der Übergangszeit mechanisch gekühlt werden.

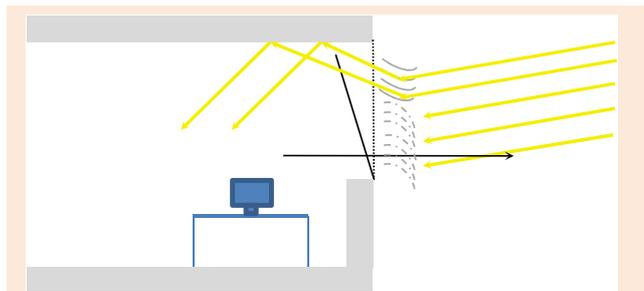


Abbildung 7: außenliegender Sonnenschutz mit Tageslichtlenkung und Perforierung für Sicht nach außen im geschlossenen Zustand.

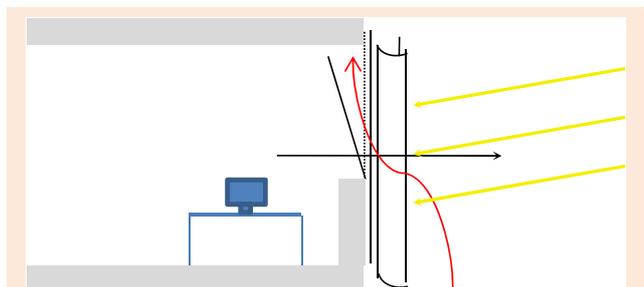


Abbildung 8: Westfassade mit vertikalen Verschattungselementen. Die am Nachmittag schon aufgeheizte Außenluft, verhindert eine Fensterlüftung.

Osten

Ist die Fassade gen Osten orientiert, so tritt die solare Überwärmung hauptsächlich im Hochsommer auf. Wie im Westen tritt die Bestrahlung in einem sehr flachen Winkel auf, weshalb ein horizontaler Sonnenschutz ganz geschlossen werden muss um wirksam zu sein. Da die Besonnung in den Morgenstunden passiert, ist eine Überhitzung während der Übergangszeit meist nicht so gravierend, da die Wärmelasten durch die kühle Außenluft bei Fensterlüftung abgeführt werden können.

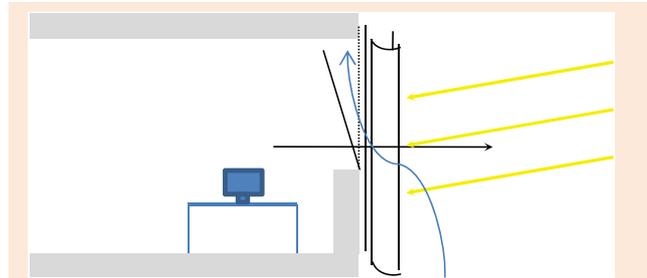


Abbildung 9: Ostfassade mit vertikalen Verschattungselementen in der Übergangszeit. Während der Sommerzeit reagiert die Ostfassade wie die Westfassade in Abbildung 8

In den Sommermonaten, in denen auch schon in den Morgenstunden die Außenluft aufgeheizt ist, hat die Besonnung von Osten jedoch den Nachteil, dass schon ab Tagesbeginn die Überhitzung in den Arbeitsräumen so groß ist, dass mechanisch gekühlt werden muss.

Passende Verschattungstechnologien bei West- oder Ostorientierung

Keine bzw. kleine Veränderungsmöglichkeit an der Fassade

- hoch reflektierende Innenscreens
- Sonnenschutzfolie
- Sonnenschutzglas
- Verbundfenster mit Sonnenschutz im Scheibenzwischenraum mit Tageslichtlenkung und Perforierung zur Sicht nach außen im geschlossenen Zustand

Neue Fassadengestaltung im Rahmen einer Fassadensanierung

- außenliegende vertikale und bewegliche Verschattungstechnologien
- außenliegender horizontaler Sonnenschutz mit Tageslichtlenkung und Perforierung der Lamellen für Sicht nach außen im geschlossenen Zustand

ACHTUNG: Herkömmliche Horizontallamellen müssen auf Ost- und Westfassaden oft mehrere Stunden gänzlich geschlossen werden um eine sommerliche Überwärmung zu verhindern. Das reduziert in der Regel das Tageslicht so stark, dass der Energiebedarf für die künstliche Beleuchtung steigt. Bewegliche, vertikale Verschattungslamellen können hingegen so eingestellt werden, dass auch bei flachem Sonneneinstrahlwinkel eine Sicht nach außen sichergestellt werden kann.

Süden

Die direkte Sonneneinstrahlung im Süden passiert primär in den Wintermonaten bzw. in der Übergangszeit, in der die solaren Gewinne z.T. sogar erwünscht sind. Überhitzungsgefährdet sind Südfassaden vor allem dann, wenn sie die transparenten Flächen bündig mit der Fassade abschließen oder als Vollglasfassade ausgeführt werden. Gibt es einen horizontalen Vorsprung, so dient dieser schon teilweise als Verschattung. Deshalb sind horizontale Fixverschattungen, oder horizontale Lamellen ausreichend. Das hat

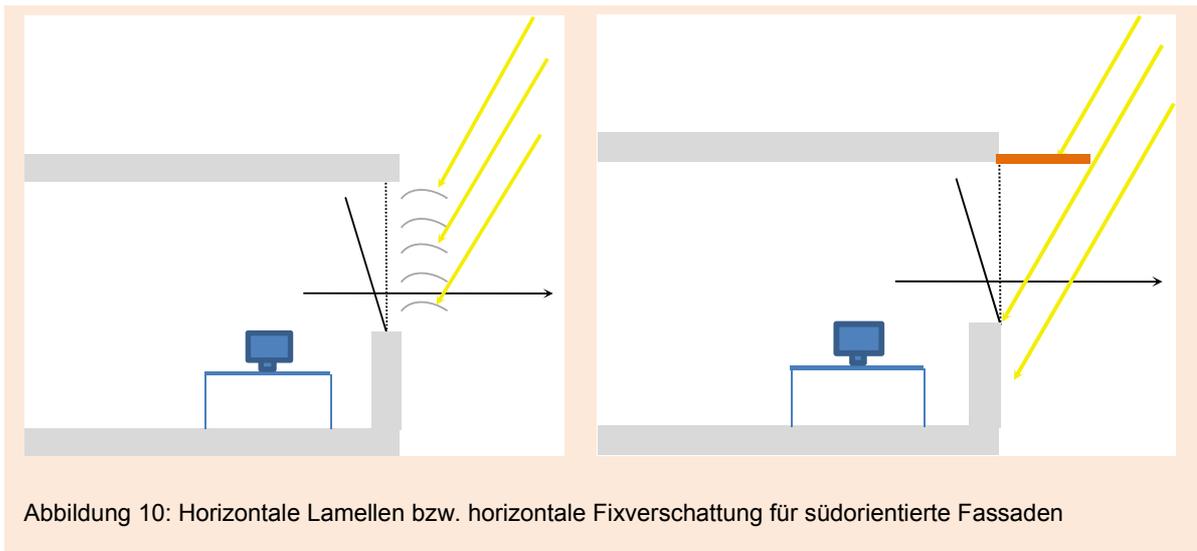


Abbildung 10: Horizontale Lamellen bzw. horizontale Fixverschattung für südorientierte Fassaden

den Vorteil, dass die Lamellen des Sonnenschutzes nicht gänzlich geschlossen werden müssen um die solaren Lasten abzuschirmen. Damit bleibt die Sicht nach außen bestehen.

Passende Verschattungstechnologien bei Südorientierung

Keine bzw. kleine Veränderungsmöglichkeit an der Fassade

- hoch reflektierende Innenscreens
- Sonnenschutzfolie
- Sonnenschutzglas
- Verbundfenster mit Sonnenschutz im Scheibenzwischenraum mit Tageslichtlenkung

Neue Fassadengestaltung im Rahmen einer Fassadensanierung

- außenliegende horizontale Verschattungstechnologien

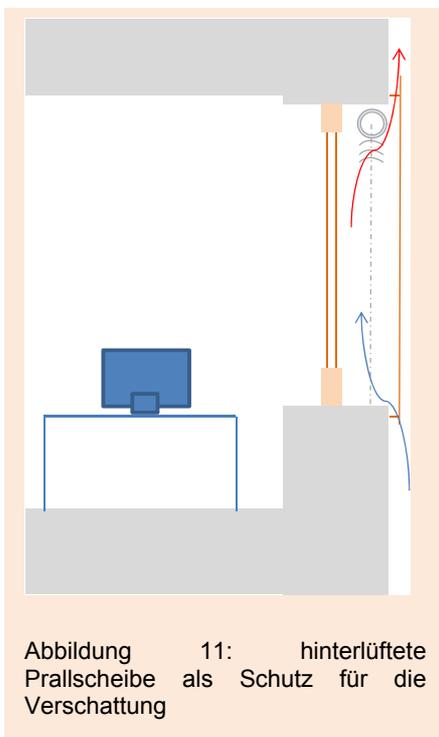
3.2.2 Diffuse Bestrahlung

Nordfassaden oder durch gegenüberliegende Gebäude(teile), Vorsprünge oder Bäume verschattete Fensteröffnungen bekommen ihr Tageslicht durch die diffuse Strahlung. Diese führt nicht so viel Wärmeenergie wie direkte Strahlung, weshalb außenliegende Verschattungssysteme nicht unbedingt notwendig sind. Bei großflächigen Glasfassaden kann diese jedoch ausreichen um Überhitzungsprobleme zu erzeugen. Deshalb gilt bei viel Fensterfläche, dass auch hier ein Verschattungssystem sinnvoll ist.

3.3 Windlasten

Abhängig von der Region, der Exponiertheit, der Gebäudehöhe, der Ausrichtung oder der umgebenden Bebauung können sehr starke Unterschiede bei den Windgeschwindigkeiten auftreten. Ein effizienter außenliegender Sonnenschutz ist diesen Windlasten ausgesetzt und muss sich den Gegebenheiten anpassen.

Es gibt bereits windstabile außenliegende Jalousien und Raffstores, die – besonders bei Loch- und Bandfassaden – nachgerüstet werden können. Diese halten bis ca. 30 m/s bzw. Windstärke 10 stand, was einem schweren Sturm entspricht. Die Jalousieführung bei windstabilen Systemen erfolgt meist in Schienen. Der Platz für die Schienen muss dementsprechend vorhanden sein (mind. 6-10cm Fensterlaibung).



Sind größere Eingriffstiefen an der Fassade möglich, so kann bei einer Loch- oder Bandfassade nachträglich noch eine Prallscheibe als Schutz für einen außenliegenden Sonnenschutz angebracht werden. Das ist auch bei lärm- und/oder staubintensiven Gegenden vorteilhaft.

Dabei ist auf eine ausreichende Hinterlüftung zu achten um im Sommer keinen Hitzestau vor dem Fenster zu produzieren.

ACHTUNG: Der Nachteil einer Prallscheibe ist, dass diese nur von außen reinigbar ist.

4 Übersichtstabelle Sonnenschutzsysteme und Sanierungsvarianten

Folgende Matrix zeigt alle möglichen Sonnenschutzsysteme abhängig vom Fassadensystem, der Eingriffstiefe an der Fassade, der solaren Einstrahlung und der Windbelastung. Die Tabelle zeigt keine Generallösung für ein konkretes Gebäude, da sie keine Planung ersetzen kann. Sie dient lediglich der Orientierung, welche Systeme generell in bestimmten Situationen eingesetzt werden können.

	Pfosten-Riegel- und Elementfassade		bestehende Loch und Band Fassade														
	Komplett- sanierung nicht geplant	Komplett- sanierung geplant	keine Änderung an der Fassade möglich		Fenstertausch und/oder kleine Änderungen möglich (optische Änderungen nur im geringen Ausmaß)						komplett neue Fassadengestaltung (optische Änderungen auch umfangreich möglich)						
			Direkte Bestrahlung	Diffuse Bestrahlung	Direkte Bestrahlung Ost/West		Direkte Bestrahlung Süd		Diffuse Bestrahlung bei großen transparenten Flächen (Verschattung andere Gebäude, Nordfassade)		Direkte Bestrahlung Ost/West		Direkte Bestrahlung Süd		Diffuse Bestrahlung bei großen transparenten Flächen (Verschattung andere Gebäude, Nordfassade)		
					hohe Wind- geschwindig- keiten	geringe Windbelastung	hohe Wind- geschwindig- keiten	geringe Windbelastung	hohe Wind- geschwindig- keiten	geringe Windbelastung	hohe Wind- geschwindig- keiten	geringe Windbelastung	hohe Wind- geschwindig- keiten	geringe Windbelastung	hohe Wind- geschwindig- keiten	geringe Windbelastung	
innenliegender Sonnenschutz	o	o	x														
Sonnenschutzfolien	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Sonnenschutzglas	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Standard-Außenjalousie und Raffstore		x					x (Windstabilität > 20m/s)	x					x (Windstabilität > 20m/s)	x			
Außenjalousie und Raffstore mit Tageslichtlenkung und Perforierung für Sicht nach Außen		x			x (Windstabilität > 20m/s)	x	x (Windstabilität > 20m/s)	o			x (Windstabilität > 20m/s)	x	x (Windstabilität > 20m/s)	o			
Verbundfenster mit Standardjalousien im Scheibenzwischenraum		x	x (sofern bestehende Kastenfenster)				x	x					x	x			
Verbundfenster mit Tageslichtlenkung und Perforierung für Sicht nach außen		x	x (sofern bestehende Kastenfenster)		x	x	o	o			x	x	o	o			
Fassadenmarkise		x				x		x				x		x			
Freitragende Raffstoren	x	x				x		x				x		x			
Rolläden (nur für Räume zur Verdunkelung)		o			o	o	o	o				o	o	o	o	o	o
Großlamellen horizontal		x											x	x			
Großlamellen vertikal		x									x	x					
Feststehende horizontale Elemente über dem Fenster		x											x	x			
Prallscheibe mit dahinter liegender Verschattung		x			x	o	x	o			x	o	x	o			
Doppelfassade mit zwischenliegender und hinterlüfteter Verschattung		x									x	o	x	o			

Tabelle 3: Mögliche Sonnenschutzsysteme abhängig von Fassadensystem, Eingriffstiefe, solaren Einstrahlung und Windbelastung.

Optimale Lösung	x
Mögliche Lösung, jedoch besseres System vorhanden	o

5 Tageslichtversorgung

5.1 Tageslicht versus sommerliche Überhitzung

Tageslicht ist für den Nutzungskomfort im Gebäudeinneren sehr wichtig. Mit einer guten Tageslichtversorgung können gute Sehbedingungen geschaffen und damit Räume attraktiv gemacht werden. Gleichzeitig werden ermüdungsfreies, produktives und sicheres Arbeiten gefördert.

Eine hohe Tageslichtversorgung verschafft jedoch auch Probleme – beispielsweise durch direkte Blendung oder störende Helligkeitsunterschiede, auf die im Rahmen der Planung eingegangen werden muss. Zusätzlich können hohe Solareinträge im Raum zu einer Überhitzung im Gebäudeinneren führen, die meist weggekühlt werden müssen um den Arbeitsrichtlinien zu genügen.

Aus diesem Grund sind in der Planung immer beide Aspekte – Tageslichtversorgung und Vermeidung sommerlicher Überhitzung – zu berücksichtigen um ein Optimum für die Nutzung zu schaffen. In der nachstehenden Abbildung sind die Beziehungen zwischen Kühlbedarf, Innenraumkomfort (steigende Temperaturen und Anzahl an Stunden mit Überhitzung), Tageslichtversorgung und Blendung in Abhängigkeit des Fensterflächenanteils dargestellt. Bei höheren Fensterflächen erhöhen sich der Kühlbedarf sowie das Risiko der Blendung, gleichzeitig steigt jedoch auch die Tageslichtversorgung. Gegenläufig verläuft der Innenraumkomfort, der durch höhere Innenraumtemperaturen tendenziell verschlechtert wird. Auch der Energiebedarf für künstliche Beleuchtung kann durch einen höheren Fensterflächenanteil reduziert werden.

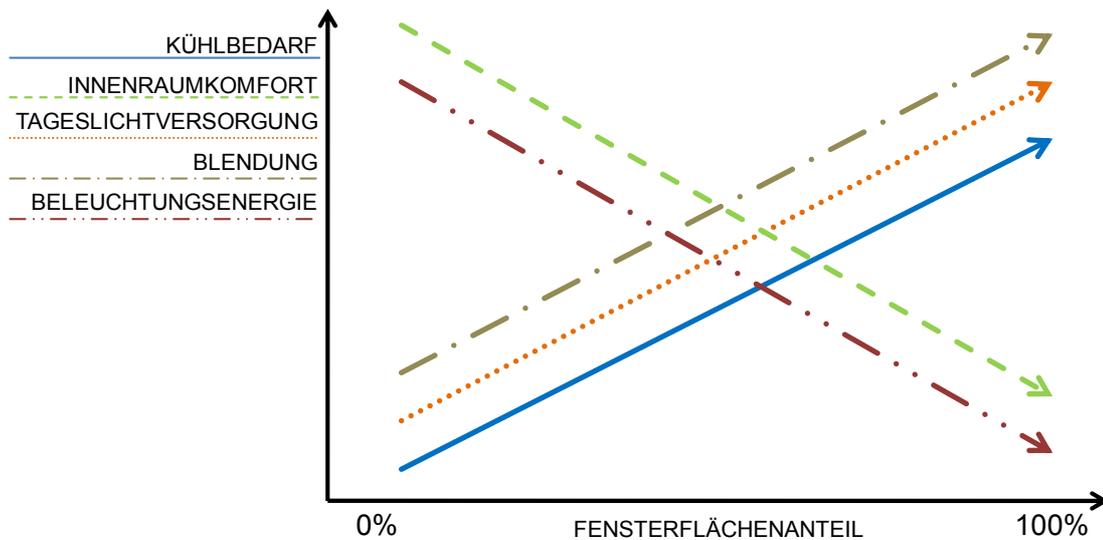


Abbildung 12: Fensterflächenanteil und Auswirkungen auf den Kühlbedarf, den Innenraumkomfort, der Tageslichtversorgung, der Blendung und der künstlichen Beleuchtungsenergie

Die nachstehenden Abbildungen veranschaulichen die gegenseitigen Abhängigkeiten zwischen Tageslichtversorgung (abgebildet mit dem Indikator Tageslichtquotient für das Gesamtgebäude nach ÖNORM EN 15193) und Vermeidung sommerlicher Überhitzung (abgebildet mit dem Indikator Kühlbedarf KB* nach ÖNORM B 8110-1). Der Kühlbedarf gilt als Indikator für die Höhe des Solareintrages ins Gebäude. Je höher der Wert für den Kühlbedarf ist, desto höher ist die sommerliche Überhitzung im Gebäude oder der Kühlenergiebedarf. Im Gegensatz dazu schafft ein hoher Tageslichtquotient für das Gebäude einen hohen Nutzungskomfort und einen niedrigen Beleuchtungsenergiebedarf im Gebäudeinneren. Die möglichen Probleme einer hohen Tageslichtversorgung wie beispielsweise die Blendung können dabei auftreten und sind in der Planung durch geeignete Maßnahmen zu lösen.

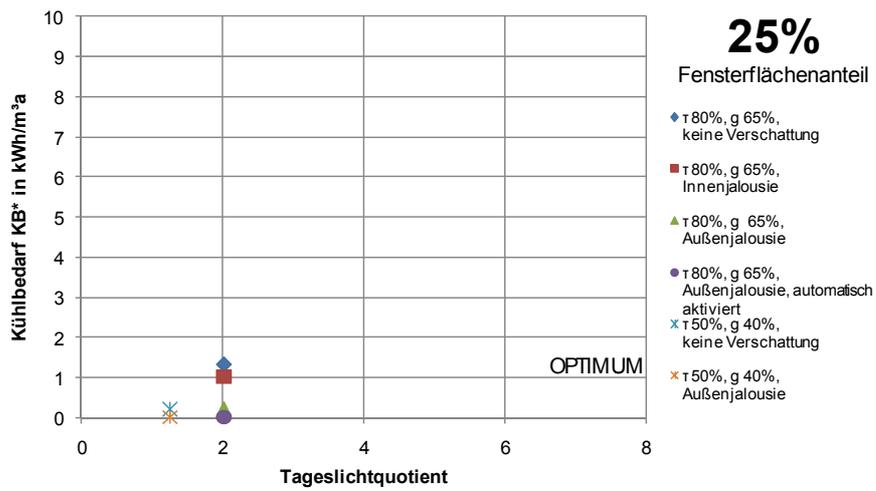


Abbildung 13: Kühlbedarf KB* und Tageslichtquotient für ein Beispielgebäude, Berechnung nach ÖNORM EN 15193 bei 25 % Fensterflächenanteil

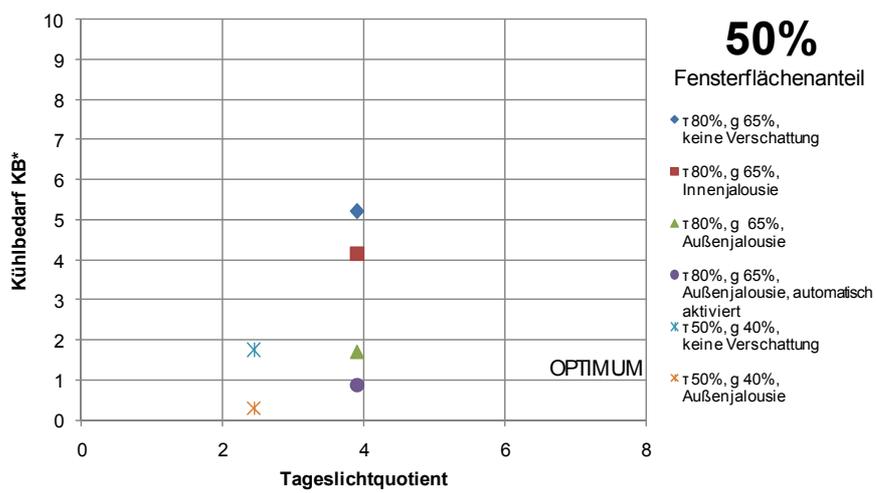


Abbildung 14: Kühlbedarf KB* und Tageslichtquotient für ein Beispielgebäude, Berechnung nach ÖNORM EN 15193 bei 50 % Fensterflächenanteil

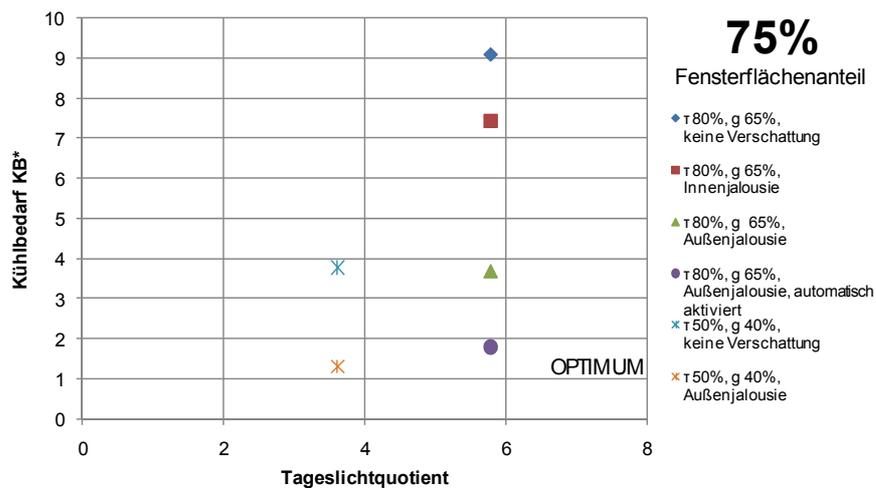


Abbildung 15: Kühlbedarf KB^* und Tageslichtquotient für ein Beispielgebäude, Berechnung nach ÖNORM EN 15193 bei 75 % Fensterflächenanteil

Neben dem Fensterflächenanteil ist der Lichttransmissionsgrad der Verglasung entscheidend für das Niveau der Tageslichtversorgung. Üblicherweise nimmt der Energiedurchlassgrad (g-Wert) sowie der Lichttransmissionsgrad (τ) bei einem höherem Wärmeschutz der Verglasung ab. D.h. beim Übergang von einer 2-Scheiben-Verglasung reduziert sich der Energiedurchlassgrad sowie die Lichttransmission durch die Verglasung. Darauf ist insbesondere bei energieeffizienten Gebäuden - wie beispielsweise dem Passivhaus - zu achten. Auch bei Sonnenschutzgläsern mit niedrigem g-Wert nimmt die Lichttransmission ab. D.h. bei einer Verringerung des Kühlbedarfs sowie Verringerung der sommerlichen Überhitzung durch Sonnenschutzverglasung mit niedrigem g-Wert, reduziert sich gleichzeitig auch die Lichttransmission und die Tageslichtversorgung, sodass sich das Niveau der Tageslichtversorgung erhöht.

5.2 Berechnung des mittleren Tageslichtfaktors

Der mittlere Tageslichtfaktor im Tageslichtbereich wird wie folgt ermittelt:

$$\bar{D} = \frac{A_g \cdot \theta \cdot \tau_{D65}}{A \cdot (1 - R^2)} \quad \text{in \%}$$

Für das Tageslichtniveau in einem Gebäude gibt es somit folgende Einflussparameter:

- Fensterfläche des Gebäudes A_g
- Der Winkel des sichtbaren Himmels θ
- Die Lichttransmission der Verglasung τ_{D65}
- Die raumschließende Innenfläche des Tageslichtbereichs A

- Die Reflektionsgrade der raumumschließenden Innenfläche T

Mit der Umrechnung vom mittleren Tageslichtfaktor für die raumumschließenden Flächen auf einen mittleren Tageslichtfaktor für das gesamte Gebäude wird zusätzlich der Einflussparameter der Gebäudegeometrie integriert.

5.2.1 Winkel des sichtbaren Himmels □

Der Winkel des sichtbaren Himmels gibt an, in welchem Ausmaß die natürliche Belichtung für die jeweilige transparente Fläche des Gebäude zur Verfügung steht. Der Winkel wird gemessen vom Zentrum der Fensteröffnung in der Ebene der Innenseite der Außenwand. Bei Außenwänden wird der Winkel aus zwei Winkelstrahlen ermittelt. Der untere Strahl ergibt sich aus der horizontalen Verbauung des Gebäudes. Sofern keine umliegenden Hindernisse den transparenten Bauteil verschatten, ist dieser Strahl horizontal auszulegen. Der obere Strahl ergibt sich aus der Geraden vom Zentrum der transparente Verglasung zur Außenkante der Fensterlaibung oder von horizontalen Überständen (siehe [Abbildung 16](#)). Somit kann bei einer vertikalen Fassade der Winkel maximal 90° betragen.

Bei Oberlichtern ergibt sich der Winkel aus jenen Strahlen vom Zentrum der transparenten Fläche auf der Deckenunterkante zur jeweiligen Oberkante der Laibung der Deckenöffnung. In diesem Fall sind Winkel über 90° möglich.

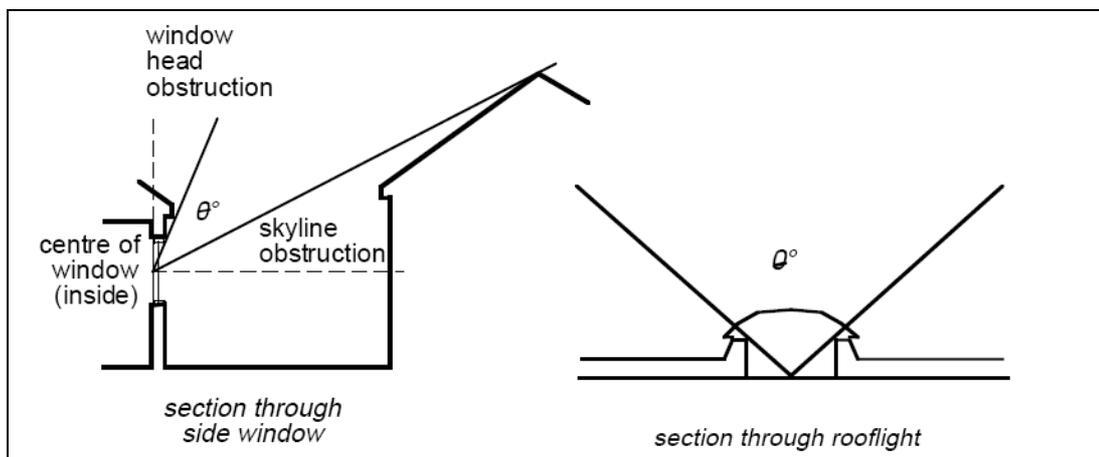


Abbildung 16: Winkel des sichtbaren Himmels □ [1]

Wenn in Fassadenabschnitten aufgrund Eigen- oder Fremdverschattung unterschiedliche Winkel des sichtbaren Himmels vorliegen, sind Zonierungen für die Fassadenabschnitte mit gleicher Verschattung zu erstellen und die Tageslichtfaktoren für die jeweiligen Bereiche getrennt zu ermitteln.

5.2.2 Reflexionsgrad der umschließenden Fläche R

Für den Reflexionsgrad der umschließenden Fläche gelten folgende Defaultwerte basierend auf der Norm DIN 18599-4:

- Boden: R = 0,20
- Wand: R = 0,50
- Decke: R = 0,70

Sofern die reale Reflexionsgrade der raumumschließenden Flächen vorliegen, können diese an Stelle der Defaultwerte eingesetzt werden.

5.2.3 Mittlerer Tageslichtfaktor des Gebäudes

Der mittlere Tageslichtfaktor für das Gebäude ergibt sich aus der Umrechnung des Tageslichtfaktors für die Raumflächen auf die gesamte Nettogrundfläche des Gebäudes..

$$\bar{D}_{Geb} = \frac{\bar{D} \cdot A}{NGF} \quad \text{in \%}$$

5.3 Maßnahmen zur Verbesserung der Tageslichtversorgung in Bestandsgebäuden

Die Erhöhung der Tageslichtversorgung in Bestandsgebäuden kann nur mehr in begrenztem Maße erfolgen. Verschattende Gebäude(teile) und Pflanzen sind meist auch bei Generalsanierungen nicht mehr änderbar und werden hier deshalb in diesem Leitfaden nicht betrachtet. Abhängig von der Ausgangssituation können folgende Maßnahmen zur Verbesserung der Tageslichtversorgung durchgeführt werden.

5.3.1 Keine Änderungen an der Fassade vorgesehen

- Beseitigung von Vorhängen und Storen
- Anbringen von innenliegenden tageslichtlenkenden Systemen
- Ausmalen der Räume mit heller Farbe
- Ist es möglich außerhalb der Räume (z.B. gegenüberliegenden Gebäudeteilen) Spiegel

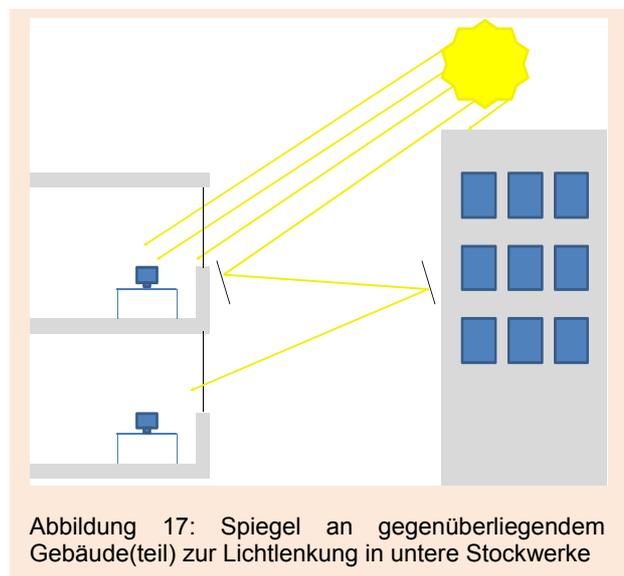


Abbildung 17: Spiegel an gegenüberliegendem Gebäude(teil) zur Lichtlenkung in untere Stockwerke

anzubringen, die Tageslicht in die Räume leiten?)

5.3.2 Kleine Änderungen an der Fassade möglich (z.B. Fenstertausch)

Können kleinere Änderungen an der Fassade durchgeführt werden (z.B. Fenstertausch), so können folgende Maßnahmen die Tageslichtversorgung in den Räumen verbessern.

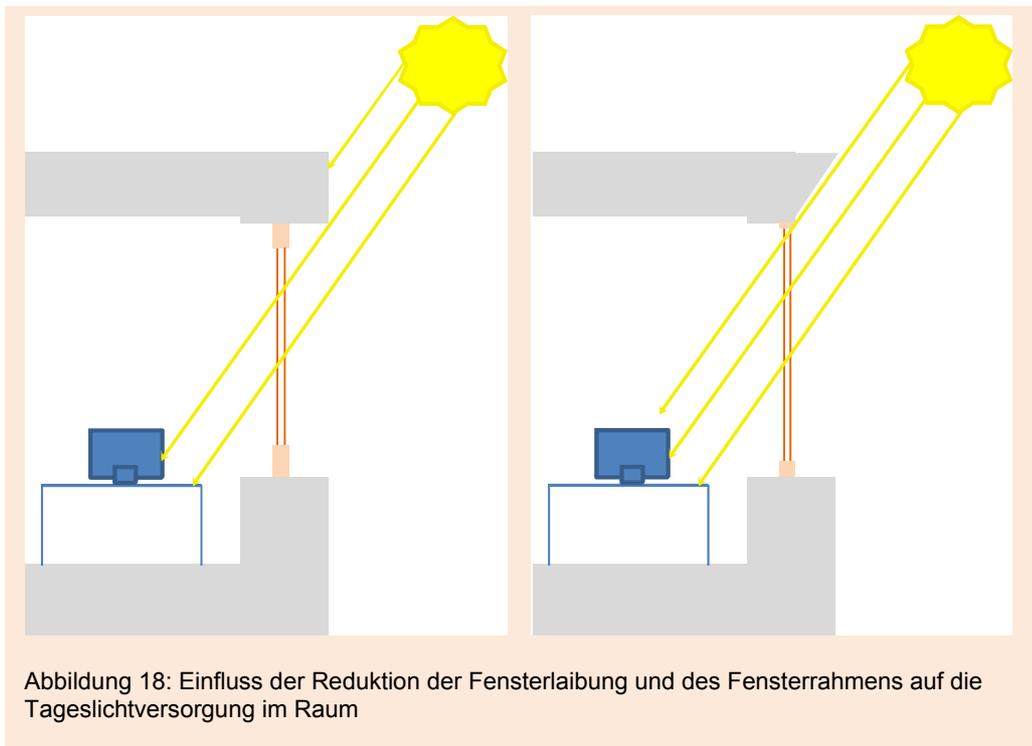
- Erhöhung des Glasanteils durch
 - (Teilweise) Fixverglasung
 - dünnere Rahmen
 - Verringerung des Fenstersprossenanteils
- Vergrößerung des τ -Wertes (Tageslichttransmissionsgrad) des Glases
- Anbringen von tageslichtsteuernden Systemen an der Fassadenaußenseite. Diese Systeme sind besonders dann effektiv, wenn die Decke des Raumes möglichst stark reflektiert, diese von Witterungseinflüssen geschützt werden oder regelmäßig gereinigt werden. Es gibt hier auch spezielle Systeme, die für nordorientierte oder verschattete Fassaden geeignet sind.
- Helle (reflektierende) Fensterbretter und Fensterlaibungen

5.3.3 Fassadensanierung geplant

Wird eine umfassende Fassadensanierung geplant, so sind folgende Fragestellungen zur Erhöhung des Tageslichtanteils im Raum relevant:

- Können Fensteröffnungen vergrößert werden?

- Können die Fensterlaibungen (innen/außen/oben) durch Schrägen reduziert werden, ohne Wärmebrücken und/oder statische Probleme zu verursachen?



6 Steuerung von Sonnenschutz- und künstlichen Beleuchtungssystemen

6.1 Steuerung von Sonnenschutzsystemen

Inwieweit das Sonnenschutzsystem funktioniert, hängt maßgeblich von dessen Benutzung ab. Zu Zeiten immer flexibleren Arbeitszeiten und Arbeitsweisen kann nicht gewährleistet werden, dass der Gebäudenutzer den Sonnenschutz zur richtigen Zeit bedient um eine sommerliche Überhitzung zu vermeiden.

Deshalb geht der derzeitige Trend weg von einer manuellen Einzelraumsteuerung der Systeme hin zu einer zentralen Steuerung mit individueller Übersteuerung. Die Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Systeme sind wie folgt:

	Funktion	Vorteil	Nachteil
manuelle Einzelraumsteuerung	Steuerung mechanisch über Zugband oder Kurbelantrieb	kostengünstig wartungsarm	Trotz Sonnenschutz erhöhte Überhitzungsgefahr aufgrund Nutzerverhalten
motorbetriebene Einzelraumsteuerung	Komfortable individuelle Motorsteuerung	in der Handhabung komfortabler	Gleicher Nachteil wie manuelle Einzelraumsteuerung Im Vergleich mit manueller Steuerung teurer bei Investkosten (Motoren) und Betrieb (Wartung der Motoren)
zentrale Zeitsteuerung	Die Verschattung wird zonen- bzw. fassadenweise zentral gesteuert. Die Steuerung erfolgt anhand	Die Bedienung und Funktion des Sonnenschutzes ist nicht mehr abhängig der einzelnen Nutzer. Der Sonnenschutz wird meist zu mehreren Intervallen	Die Kosten einer zentralen Steuerung steigen. Neben den Invest- und Betriebskosten für Motoren und die dezentralen Bedienelemente müssen die

	programmierter Zeiten.	<p>zentral geschlossen.</p> <p>Merklich geringere Kühlkosten und komfortablere Räume.</p> <p>Der Sonnenschutz kann auch in der Nacht zentral geschlossen werden um z.B. in der Heizperiode die Wärmeverluste zu verringern.</p> <p>Die zentrale Steuerung kann von Mitarbeitern individuell übersteuert werden.</p>	Kosten für die zentrale Steuerung und deren Bedienung hinzugerechnet werden.
zentrale Steuerung nach Sonnenstand	Die Steuerung erfolgt zentral und ist abhängig vom aktuellen Sonnenstand.	<p>Treten solare Lasten auf, so weiß dieses System, dass der Sonnenschutz geschlossen werden muss, auch ohne Nutzer.</p> <p>Die Steuerung ist meist auch kombiniert mit sonstigen Programmierungen. Die Vorteile einer Zeitsteuerung gelten auch hier.</p>	<p>Die Reaktionszeiten der Steuerung müssen aufwendig durchdacht werden. Verschatten Wolken die Sonne kurzfristig, so können häufiges Öffnen und Schließen des Sonnenschutz störend sein bzw. die Wartungs- und Instandhaltungszyklen erhöhen.</p> <p>Die Kosten der solargeführten Steuerung sind höher, als die einer zeitgesteuerten Steuerung.</p>
zentrale Steuerung nach Windstärke	<p>Die Steuerung ist lediglich ein Sicherungsinstrument, dass der Sonnenschutz bei zu hohen Windlasten hochgefahren wird um Schäden am Sonnenschutz zu vermeiden.</p> <p>Die Steuerung wird meist mit anderen zentralen Steuerungen kombiniert.</p>	Schäden am Sonnenschutz werden vermieden.	Gleiche Nachteile wie bei anderen zentralen Steuerungssystemen.

6.2 Kombinierte Sonnenschutz und Beleuchtungssteuerung

Eine automatische Steuerung des Verschattungssystems zur Steigerung des Tageslichteintrages führt – basierend auf der ÖNORM EN 15193 – nicht auf eine Verbesserung des Tageslichtquotienten, sondern zu einer Reduktion der Betriebsdauer für künstliche Belichtung.

Gleichzeitig führt eine automatische Steuerung der Verschattung zu einer erheblichen Reduktion des Kühlbedarfs KB^* , der als Indikator für die Vermeidung der sommerlichen Überwärmung in der OIB Richtlinie 6 enthalten ist. Das Niveau des KB^* in der OIB Richtlinie 6 führt dazu, dass Gebäude mit moderatem bis hohem Fensterflächenanteil und einer 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung oft nur mit strahlungsabhängiger Steuerung der Verschattung die Anforderungen einhalten können.

Gleichzeitig sollte die Steuerung des Sonnenschutzes sowie der Lichtlenkung untrennbar mit der Steuerung der Beleuchtung im Gebäudeinneren verknüpft sein, sodass neben der Verbesserung des Nutzungskomforts durch die hohe Tageslichtversorgung auch eine Einsparung ein Kunstlichts erfolgt.

Anhand der DIN 18599-4 können die Betriebsdauern für Kunstlicht in Abhängigkeit der Präsenzsteuerung sowie des Einsatz eines Dimmers für verschiedene Verschattungssysteme (manuell, automatisch gesteuert, automatisch gesteuert mit Tageslichtlenkung) ermittelt werden. Damit können die Auswirkungen auf den Energiebedarf für die Beleuchtung ermittelt werden.

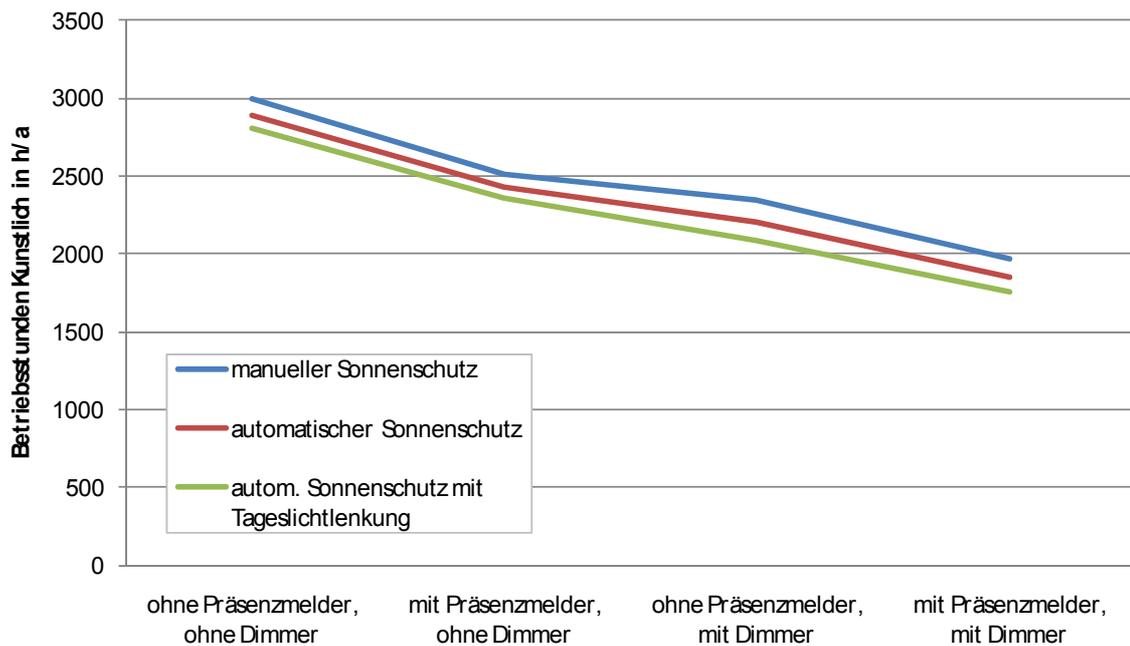


Abbildung 19: Beispielhafte Darstellung der Auswirkungen von Steuerungen der Verschattung und der Beleuchtung sowie eines Dimmers auf die Betriebsstunden für künstliche Beleuchtung auf Basis der DIN 18599 Teil 4

Durch den Einsatz von steuerbaren Verschattungssystemen kann der Wärmeeintrag reduziert und die Tageslichtversorgung gesteigert werden, jedoch alleinig dadurch kann der Energiebedarf für die Beleuchtung nur geringfügig eingespart werden. Erst durch Präsenzmelder sowie Dimmer für die Berücksichtigung des Tageslichtes können Energieeinsparungen erzielt werden. Entsprechend der Berechnungen an einem Beispielgebäude können dadurch ca. 1/3 der Beleuchtungsenergie eingespart werden.

7 Unterschiedliche Sonnenschutztechnologien

7.1 Außenjalousien und Raffstore

Außenjalousien und Raffstore bestehen aus verstellbaren Lamellen, die außen vor der Fassade angebracht sind. Sie haben eine hohe Sonnenschutzwirkung, wobei die Abschattung durch die verstellbaren Lamellen stufenlos regelbar ist. Diese Systeme können bis zu 90% der einstrahlenden Sonnenenergie vom Innenraum des Gebäudes abhalten und reduzieren dadurch wesentlich den Kühlbedarf eines Gebäudes. Mit lichtlenkenden (im oberen Drittel) und perforierten (im unteren Bereich) Lamellenbehängen kann auch bei geschlossenem Zustand ausreichend Tageslicht in das Rauminnere geleitet werden und die Sicht nach außen gewährleistet werden. Im Winter lässt der Sonnenschutz im geöffneten Zustand solare Einträge zu und im geschlossenen Zustand reduziert er Wärmeverluste in der Nacht.

Als Nachteile von Außenjalousien und Raffstores sind einerseits die Windanfälligkeit - sofern sie nicht von einer Doppelfassade oder Prallscheibe geschützt sind - und andererseits der höhere Wartungs- und Reinigungsaufwand zu nennen.

Zahlen und Fakten Außenjalousien und Raffstore:

Sonnenschutzwirkung: hoch, Abschattungsfaktor bedarfsgerecht einstellbar, bis zu $z < 0,15$.

In Kombination mit einem Standard-Wärmeschutzglas ($g_{\text{glas}} = 0,65$) lassen sich damit g_r -Werte unter 0,1 erreichen.

Nutzung solarer Einträge im Winter: hoch durch gänzlich wegnehmbare Behänge.

Tageslichtnutzung: mittel, Voraussetzung sind helle Behängoberflächen. Zweigeteilte Behänge, die über Kopf stärker geöffnet sind, erlauben eine Tageslichtnutzung auch bei geschlossenem Sonnenschutz.

Blendschutz: gut, Außenjalousien sind für jede Fassadenorientierung geeignet. Die Lamellen müssen nicht geschlossen werden, um eine Blendung zu vermeiden.

Sichtkontakt zur Außenwelt: mittel bei nicht geschlossenen Lamellen; Neben der Einstellung der Lamellen hängt die Versprossung auch von der Lamellenbreite ab. Lamellen mit einer Perforierung gewährleisten eine Sicht nach Außen auch im geschlossenen Zustand.

Gebrauchstaugliche Windgeschwindigkeiten: ca. 10-20 m/s, bei windfesten Produkten bis zu 33 m/s.

Lebensdauer: ca. 10-20 Jahre.

7.2 Lichtlenkjalousien

Lichtlenkjalousien sind stufenlos verstellbare Lamellen, die aufgrund hochreflektierender Eigenschaften energiearmes Tageslicht optimal in den Innenraum weiterleiten. Günstigere Systeme sind mit weißen oder hellgrauen Lamellen ausgestattet, deren Lichtlenkung jedoch nicht so ausgeprägt ist, wie bei hochreflektierenden Systemen. Liegen Lichtlenkjalousien außerhalb der Fensterfläche, so schirmen sie perfekt solare Lasten ab, sodass der außeninduzierte Kühlbedarf stark reduziert werden kann. Sie müssen jedoch von Witterungseinflüssen geschützt werden, da sonst die reflektierenden Eigenschaften aufgrund der Verschmutzung rasch ihre Wirkung verringern. Sind Lichtlenkjalousien innerhalb der Dämmebene angebracht, so werden jedoch die Wärmelasten nicht so effizient vom Innenraum abgewendet.

So wie Außenjalousien und Raffstores kann im halbgeschlossener Zustand die Sicht nach außen sichergestellt und in der Heizperiode im geschlossenen Zustand die Wärmeverluste reduziert und im geöffneten Zustand solare Wärmeeinträge nutzbar gemacht werden.

Zahlen und Fakten Lichtlenkjalousie:

Sonnenschutzwirkung: hoch, Abschattungsfaktor bedarfsgerecht einstellbar, außenliegend bis zu $z < 0,1$, innen liegend bis zu $z < 0,3$.

In Kombination mit einem Standard-Wärmeschutzglas ($g_{\text{glas}} = 0,65$) lassen sich damit g_r -Werte unter 0,07 (außenliegend) bzw. 0,2 (innen liegend) erreichen.

Nutzung solarer Einträge im Winter: hoch durch gänzlich wegnehmbare Behänge.

Tageslichtnutzung: hoch durch hoch reflektierende Behänge und gezielte Tageslichtlenkung.

Blendschutz: gut, Lichtlenkjalousien sind für jede Fassadenorientierung geeignet. Die Lamellen müssen nicht geschlossen werden, um eine Blendung zu vermeiden.

Sichtkontakt zur Außenwelt: mittel bei nicht geschlossenen Lamellen; Neben der Einstellung der Lamellen hängt die Versprossung auch von der Lamellenbreite und ggf. einer Perforierung ab.

Gebrauchstaugliche Windgeschwindigkeiten: kein Erfordernis, wenn Lichtlenkjalousien vor Witterungseinflüssen geschützt eingebaut werden (Optimalfall), sonst gleiche Anforderungen wie Außenliegende Jalousien.

Lebensdauer: ca. 10-20 Jahre.

7.3 Rollläden und Tageslichtrollläden

Rollläden bestehen aus Profilstäben aus Aluminium, Holz oder Kunststoff, die im offenen Zustand in einem Rollkasten aufgerollt untergebracht sind. Ausgefahren können Rollläden einen Großteil der direkten solaren Lasten abschirmen jedoch zwischen den Profilstäben Tageslicht durchlassen. Als Blendschutz sind Rollläden nur im fast geschlossenen Zustand geeignet. Da der Raum zwischen den Profilstäben relativ klein ist, kann jedoch dann keine Sicht nach außen gewährleistet werden.

Die Profilstäbe können zur gänzlichen Abdunkelung auch ganz geschlossen werden. Damit stellen sie auch einen guten Einbruchschutz dar. Im geschlossenen Zustand reduzieren Rollläden im Winter Wärmeverluste. Werden die Rollläden geöffnet, können solare Einträge nutzbar gemacht werden.

Zahlen und Fakten Rollläden und Tageslichtrollläden:

Sonnenschutzwirkung: hoch, Abschattungsfaktor $z < 0,15$ bzw. $z < 0,25$ bei Tageslichtrollläden.

In Kombination mit einem Standard-Wärmeschutzglas ($g_{\text{glas}} = 0,65$) lassen sich damit g_r -Werte unter 0,1 bzw. 0,16 erreichen.

Nutzung solarer Einträge im Winter: hoch durch gänzlich wegfuhrbare Behänge. Geschlossene Rollläden können zudem die U-Werte der Verglasung deutlich verbessern.

Tageslichtnutzung: schlecht bzw. mittel bei Tageslichtrollläden

Blendschutz: Herkömmliche Rollläden sind als Blendschutz **nicht geeignet**, da sie da sie den Raum zu stark verdunkeln. Tageslichtrollläden liefern einen **guten** Blendschutz, außer bei flachem Sonnenstand unter 20° .

Sichtkontakt zur Außenwelt: **Kein Sichtkontakt** bei geschlossenem Behang. Bei Tageslichtrollläden **guter** Außenkontakt, da der Behang nicht vollständig schließt.

Gebrauchstaugliche Windgeschwindigkeiten: ca. 20-30 m/s.

Lebensdauer: ca. 15-25 Jahre.

7.4 Fassadenmarkisen und Markisoletten

Fassadenmarkisen und Markisoletten zeichnen sich durch ihre textilen Materialien aus, die einerseits höhenverstellbar sind und andererseits sich auch für eine bessere Sicht nach außen und Tageslichtversorgung ausstellen lassen. Sie bieten einen sehr hohen Sonnenschutz und Blendschutz. Der Lichttransmissionsgrad beträgt 2-15 % um einen gewissen Durchblick zu gewährleisten.

Der flächige Textilbelag ermöglicht keine Tageslichtlenkung und der ausreichende Blendschutz steht im Widerspruch mit einem wünschenswert möglichst hohen Tageslichteintrag. Fassadenmarkisen und Markisoletten sind aufgrund ihrer textilen Materialität und ihrer Vollflächigkeit angriffig gegen hohe Windlasten.

In der Heizperiode ermöglichen Fassadenmarkisen und Markisoletten ebenso wie andere Systeme eine Reduktion der Wärmeverluste im geschlossenen Zustand und solare Gewinne im geöffneten Zustand.



Quelle: e7

Abbildung 20: Schienengeführte Markise auf Elementfassade



Quelle: e7

Abbildung 21: Markisolette mit Sicht nach außen im geschlossenen Zustand

Zahlen und Fakten Fassadenmarkisen und Markisoletten:

Sonnenschutzwirkung: hoch, Abschattungsfaktor meist $z < 0,2$, abhängig vom Transparenzgrad des Behanges. In Kombination mit einem Standard-Wärmeschutzglas ($g_{\text{glas}} = 0,65$) lassen sich damit g_r -Werte unter 0,13 erreichen.

Nutzung solarer Einträge im Winter: hoch durch gänzlich wegnehmbare Behänge.

Tageslichtnutzung: Abhängig vom Transparenzgrad des Behanges. **Mittel bis schlecht** bei Fassadenmarkisen, **mittel** bei Markisoletten, da hier der Tageslichteintrag durch seitlichen Lichteinfall erhöht ist.

Blendschutz: gut, abhängig vom Transparenzgrad des Behanges. Für einen guten Blendschutz sind Gewebe mit einer Lichttransmission unter 10% empfohlen.

Sichtkontakt zur Außenwelt: gut, abhängig vom Transparenzgrad und von der Webart des Behanges.

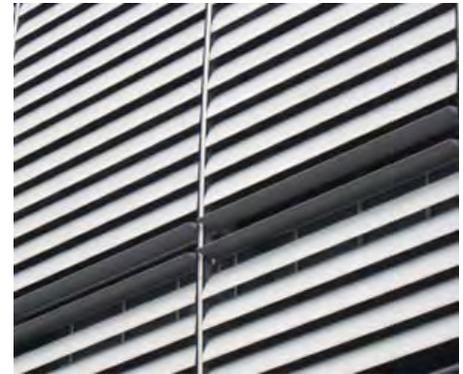
Gebrauchstaugliche Windgeschwindigkeiten: ca. 10 m/s, moderne windstabile Systeme auch bis 20 m/s und mehr.

Lebensdauer: ca. 10-15 Jahre.

7.5 Horizontale und vertikale Großlamellen

Großlamellen sind nicht wegnehmbare Elemente an der Fassade, die starr oder schwenkbar ausgeführt werden können. Die Lamellen bestehen meist aus Aluminium, Edelstahl, Metall- oder Textilgeweben. Metallische Lamellen sind aufgrund der besseren Durchsicht oft perforiert.

Bewegliche vertikale Lamellen auf der Ost- und Westfassade ermöglichen im Vergleich mit horizontalen Lamellen eine relativ freie Aussicht bei gleichzeitig hoher Sonnenschutzwirkung. Horizontale Lamellen sind gegen sommerliche Überhitzung primär auf Südfassaden geeignet.



Quelle: e7

Abbildung 22: individuell steuerbare horizontale Großlamellen

Sonnengesteuert mit Motorbetrieb können Großlamellen einen wesentlichen Beitrag zur Kühllastreduktion leisten. Nichtschwenkbare Systeme haben dagegen nur bei einem genau darauf ausgerichteten Sonnenstand die gewünschte Sonnen- und Blendschutzwirkung und haben zur restlichen Zeit nur eine eingeschränkte Wirkung.

Zahlen und Fakten feststehende vertikale Elemente:

Sonnenschutzwirkung: hoch bei schwenkbaren Lamellen. Abschattungsfaktor bis zu $z < 0,3$ je nach Transparenz der Lamellen. In Kombination mit einem Standard-Wärmeschutzglas ($g_{\text{glas}} = 0,65$) lassen sich damit g_t -Werte unter 0,2 erreichen. **Gering** bei starren Elementen.

Nutzung solarer Einträge im Winter: gering durch permanente Verschattung der Glasfläche.

Tageslichtnutzung: mittel, Tageslichteintrag wird permanent reduziert.

Blendschutz: gut bis mittel bei schwenkbaren Lamellen, je nach Art und Transparenz des Materials; **schlecht** bei starren Elementen.

Sichtkontakt zur Außenwelt: mittel mit permanenter Versprossung.

Gebrauchstaugliche Windgeschwindigkeiten: ca. 30 m/s; Systeme nicht wegnehmbar, müssen daher windfest ausgeführt werden.

Lebensdauer: ca. 15-30 Jahre.

7.6 Feststehende Verschattungselemente

Feststehende Verschattungselemente können unterschiedlichste Formen annehmen. Sie können über oder vor die Fenster angebracht werden. Sind horizontale Verschattungselemente über den Fenstern angebracht, so besteht freie Sicht nach außen.

Horizontale Fixverschattungen reduzieren südseitig solare Wärmelasten, da hier die Sonne in den Sommermonaten hoch steht. Im Winter lassen diese ungehindert solare Einträge zu. Ost- und Westseitig können horizontale Fixverschattungen jedoch keinen Sonnen- und Blendschutz bieten und sind dort nicht empfehlenswert.

Im Vergleich zu Systemen mit beweglichen Elementen sind jedoch die Wartungs- und Instandhaltungskosten feststehender Elemente wesentlich geringer und deren Lebensdauern höher.

Zahlen und Fakten feststehende horizontale Elemente:

Sonnenschutzwirkung: mittel bis gering, Abschattungsfaktoren je nach System unterschiedlich. Auskragende Elemente nur für Südfassaden geeignet.

Nutzung solarer Einträge im Winter: hoch bei auskragenden Elementen, weil tiefe Sonnenstände nicht abgeschattet werden, **gering** bei vorgesetzten Elementen, da sie die Glasfläche permanent verschatten.

Tageslichtnutzung: schlecht, Tageslichteintrag (sowohl direkte Einstrahlung als auch die diffuse Himmelsstrahlung) wird permanent reduziert.

Blendschutz: nicht als Blendschutz **geeignet**.

Sichtkontakt zur Außenwelt: ungehinderter Sichtkontakt bei auskragenden Elementen; **mittel** mit permanenter Versprossung bei vorgesetzten Elementen.

Gebrauchstaugliche Windgeschwindigkeiten: ca. 30 m/s; Systeme nicht wegfahrbar, müssen daher windfest ausgeführt werden.

Lebensdauer: ca. 15-30 Jahre.

7.7 Innenverschattung

Innenseitige Verschattungssysteme können sehr unterschiedlich ausgestaltet werden. Sie können sehr nah an der Fensterscheibe (z.B. direkt an den Fensterrahmen) oder in einem größeren Abstand an der Decke angebracht werden. Je näher an der Fensterscheibe und je reflektierender die Materialien, desto stärker können solare Wärmelasten im Sommer reduziert werden, wenn auch niemals so viel wie bei außenliegenden Systemen. Auf der anderen Seite gilt, je höher der Absorptionsgrad des Behanges, desto mehr Sonnenstrahlung wird im Raum in Wärme umgewandelt.

Meist sind Innenverschattungen als Rollos, Jalousien, Plissees oder Folien ausgeführt. Plissees falten sich zieharmonikaartig zusammen und können auch von unten nach oben ausgezogen werden um einerseits den Blendschutz zu gewährleisten, zum anderen aber weiterhin Tageslicht und solare Einträge in den Innenraum zu lassen. Hier gibt es auch

tageslichtlenkende Systeme, die mehr Tageslicht in den Raum reflektieren können, als andere.

Der Vorteil von Innenverschattungen ist, dass sie ganzjährig wind- und witterungsunabhängig Blendschutz bieten können und im Vergleich zu Außenverschattung geringere Investitions- und Wartungskosten aufweisen und auch bei denkmalgeschützten Gebäuden nachträglich montiert werden können. Während der Heizperiode können auch solare Einträge im geschlossenen Zustand nutzbar gemacht werden. Was hier positiv ist, wirkt sich dafür im Sommer auf die Kühllasten gegenteilig aus und sind deshalb als alleinige Sonnenschutzeinrichtung nicht zu empfehlen.

Zahlen und Fakten Innenverschattungen (Beispiel textile Innenbeschattung):

Sonnenschutzwirkung: mittel bis gering, Abschattungsfaktor z meist über 0,5, bei sehr hellen oder hochreflektierenden Oberflächen auch geringer. In Kombination mit einem Standard-Wärmeschutzglas ($g_{\text{glas}} = 0,65$) lassen sich damit g_T -Werte von rund 0,33 erreichen.

Nutzung solarer Einträge im Winter: hoch

Tageslichtnutzung: schlecht bei geschlossenen textilen Innenverschattungen, **gut**, wenn der Behang von unten nach oben fährt. **mittel** bei Innenjalousien mit hellen Behangoberflächen.

Blendschutz: hoch, witterungsunabhängig, geeignet für jede Fassadenorientierung.

Sichtkontakt zur Außenwelt: mittel bis gering bei textilen Innenverschattungen, **mittel** bei Innenjalousien, abhängig vom Transparenzgrad des Behanges.

Gebrauchstaugliche Windgeschwindigkeiten: kein Erfordernis.

Lebensdauer: ca. 15-25 Jahre.

7.8 Sonnenschutzglas

Sonnenschutzglas bietet einen permanenten Sonnenschutz durch eine spezielle Sonnenschutzschicht, die die kurzwelligen Infrarotstrahlen aus dem eintretenden Licht filtern, die dem Raum die meiste Wärmeenergie zuführen. Dadurch ermöglicht es eine Reduktion der Kühllasten ohne die Sicht nach außen durch zusätzliche Verschattungsmaßnahmen zu behindern. Das ist besonders dann positiv zu werten, wenn vollkommen glatte Fassaden gewünscht sind, oder zu hohe Windlasten keine Außenverschattung zulassen. Eine sommerliche



Abbildung 23: Sonnenschutzglas

Überhitzung ist bei einem gängigen Sonnenschutzglas (g-Wert 0,3 bis 0,5) jedoch nicht ausgeschlossen.

Bei Sonnenschutzverglasungen mit einem g-Wert geringer als 0,45 kann es auch zu einer Verschiebung der Farbwiedergabe kommen und der Tageslichteintrag wird geringer, was wiederum den Kunstlichtbedarf erhöht und die Arbeitsplatzqualität beeinträchtigt. Bei tiefstehender Sonne wird auch bei sehr niedrigen g-Werten ein Blendschutz notwendig sein.

Da der Sonnenschutz permanent besteht, verhindert er während der Heizperiode den willkommenen Wärmeeintrag. Das bedeutet, dass was in der Übergangs- bis Sommerzeit an Kühlenergie eingespart wird, erhöht in der Heizperiode den Heizenergieverbrauch.

Es gibt jedoch auch schon Gläser, die sich je nach Sonneneinstrahlung verdunkeln können. Dadurch können einerseits die positiven Eigenschaften der Verschattung genutzt werden, andererseits solare Gewinne im Winter. Diese Gläser sind jedoch relativ teuer und müssen – ähnlich wie Sicherheitsgläser gesteuert werden.

Zahlen und Fakten Sonnenschutzglas:

Sonnenschutzwirkung: mittel bis gering, $g_t = g_{\text{glas}}$, zwischen 0,3 und 0,5.

Nutzung solarer Einträge im Winter: gering infolge permanenter Verschattung.

Tageslichtnutzung: mittel bis schlecht, je höher der Sonnenschutz, umso geringer der Tageslichteintrag.

Blendschutz: nicht geeignet.

Sichtkontakt zur Außenwelt: hoch, freie Sicht auch bei starkem Sonnenschutz, häufig aber Farbverfälschung durch die Sonnenschutzbeschichtung.

Gebrauchstaugliche Windgeschwindigkeiten: kein Erfordernis.

Lebensdauer: ca. 15-25 Jahre.

7.9 Sonderfunktion Blendschutz

Sonnenschutz bedeutet, dass solare Lasten draußen gehalten werden sollen um die sommerliche Überwärmung zu reduzieren. Während der Übergangszeit oder in den Wintermonaten sind die sommerlichen Lasten jedoch Wärmegewinne, die einen positiven Beitrag zur Beheizung des Gebäudes leisten.

Da die direkte Sonneneinstrahlung aber auch in den Wintermonaten bei Bildschirmtätigkeit störend wirkt, muss zusätzlich zum Sonnenschutz auch ein Blendschutz angebracht werden. Im Vergleich zu Sonnenschutzsystemen ist der Blendschutz meist ein günstigeres System.

Blendschutzsysteme gibt es in sehr unterschiedlicher Form. Besonders sinnvoll sind jene Systeme, die semitransparent sind - um eine gewisse Sicht nach Außen zu gewährleisten und transluzent bzw. von unten nach oben zu schließen sind um Tageslicht in den Raum eindringen zu lassen.



Quelle: e7

Abbildung 24: Transluzenter und semitransparenter Blendschutz

8 Künstliche Beleuchtung in Kombination mit Tageslicht und Verschattung

Beleuchtungssysteme werden meistens für jene Nutzungszeit ausgelegt, in der Tageslicht nicht vorhanden ist, also der Nachtzeit. Die Beachtung von Energieeffizienzkriterien bei der Lichtplanung ist zwar noch nicht Standard, wird aber in jüngster Zeit verstärkt berücksichtigt.

Da in Arbeitsräume Fenster vorgeschrieben sind und dadurch Tageslicht erhalten, kann durch sorgfältige Planung der Einsatz des Kunstlichts auf ein Mindestmaß reduziert werden.

Im Rahmen der Beleuchtungsplanung für Neubau aber auch Bestand sollte deshalb folgende Aspekte unbedingt bedacht werden, um Beleuchtungssysteme mit niedrigem Energieverbrauch zu installieren:

8.1 Effiziente Beleuchtungstechnologie

Ohne effiziente Beleuchtungskörper keine energiesparende Beleuchtung. Diese muss schon im Zuge der Beleuchtungsplanung und Ausschreibung gefordert werden, damit diese umgesetzt wird. Bei Bürogebäuden sind z.B. 8 W/m² Anschlussleistung ausreichend für eine gute Arbeitsplatzbeleuchtung. Dimmbare indirekt/direkt Beleuchtung mit Verspiegelung und LED Systeme können diese Anschlussleistung bereits liefern. Dies sogar meist mit einem höheren Beleuchtungskomfort als herkömmliche Systeme.

8.2 Beleuchtungssteuerung

8.2.1 Mehrere Beleuchtungsschalt- und -stromkreise

Je individueller die Bedienung der Beleuchtung erfolgt, desto effizienter kann diese geführt werden. Für jeden Arbeitsplatz sollte deshalb die Beleuchtung separat bedienbar sein.

Für die Gebäudereinigung ist meist auch nicht die volle Beleuchtungsstärke notwendig. Ein separater Schaltkreis für die Beleuchtungsreinigung oder eine gedimmte Reinigungsbeleuchtung reduziert den Kunstlichtbedarf.

Die Beleuchtung sollte zentral steuerbar sein. Das ermöglicht, dass z.B. am Abend die gesamte Beleuchtung ab einem gewissen Zeitpunkt gänzlich ausgeschaltet werden kann. Diese sollte jedoch für z.B. Nachtarbeiter übersteuerbar sein. Die Beleuchtung muss in

9 Wirtschaftlichkeit

	Techn. Machbarkeit ohne Komplettsanierung	Technische Machbarkeit mit Komplettsanierung	Kosten	Ökologische Sinnhaftigkeit	Komfort- verbesserung (Raumtemperatur)
innenliegender Sonnenschutz					
Sonnenschutzfolien					
Sonnenschutzglas					
Standard-Außenjalousie Raffstore					
Außenjalousie/Raffstore m. Tageslichtl. u. Perforierung für Sicht nach außen					
Verbundfenster mit Standardjalousien im Scheibenzwischenraum					
Verbundfenster m. Tageslichtl. u. Perforierung für Sicht nach außen					

Fassadenmarkise					
Freitragende Raffstoren					
Rollladen (nur für Räume zur Verdunkelung)					
Großlamellen horizontal beweglich				 (wenn im Süden)	 (wenn im Süden)
Großlamellen vertikal beweglich				 (wenn West/Ost)	 (wenn West/Ost)
Feststehende horizontale Elemente über dem Fenster				 (wenn im Süden)	 (wenn im Süden)
Prallscheibe					
Doppelfassade					

ANHANG

10 Begriffsbestimmungen

Reflexion (R)

Die Reflexion ρ_e gibt an, welcher Anteil von einem Bauteil zurückgeworfen wird.
(Darstellungsgrößen sind 0 - 100 % oder 0 bis 1)

Transmission (T)

Die Transmission τ_e gibt an welcher Anteil von einem Bauteil durchgelassen wird.
(Darstellungsgrößen sind 0 - 100 % oder 0 bis 1)

Absorption (A)

Die Absorption α_e gibt an welcher Anteil aufgenommen wird und damit das Bauteil erwärmt.
(Darstellungsgrößen sind 0 - 100 % oder 0 bis 1)

g-Wert (g_{total})

Der Gesamtenergiedurchlasswert g_{total} bezeichnet die eintretende Sonnenenergiemenge und ist u.a. abhängig von der Glasbeschaffenheit:

$$g_{total} = g \times z\text{-Faktor}$$

z-Faktor (z)

Der **Abminderungsfaktor** z (öfter auch Fc-Faktor) beschreibt die Wirksamkeit des Sonnenschutzes gegen **Sonneneinstrahlung** und ist Grundlage für die Berechnung des g-Wertes. Der z-Faktor ist u.a. abhängig vom eingesetzten Glas und variiert entsprechend.

Tageslichtquotient (TQ)

Der Tageslichtquotient ist das Verhältnis der Außenbeleuchtungsstärke zur Innenbeleuchtungsstärke in %, bei bedecktem Himmel.

Leuchtdichte (L)

Die Leuchtdichte ist ein Maß für den Helligkeitseindruck, den eine leuchtende oder beleuchtete Fläche hervorruft. Die Maßeinheit ist cd/m^2 . Nur die Leuchtdichte ist ein Maß für die vom Menschen empfundene Helligkeit. Sie ist deshalb für die Thematik **Blendung** und Blendschutz eine wichtige Größe.

Beleuchtungsstärke (Lux)

Die Beleuchtungsstärke, ist ein Maß für die Lichtstrahlung, die auf eine Fläche fällt, und diese beleuchtet. Je größer die Strahlungsmenge pro Flächeneinheit ist, umso größer ist die

Beleuchtungsstärke. Die Maßeinheit ist Lux (lm). Die Beleuchtungsstärke ist die wichtigste lichttechnische Größe, da sich alle gesetzlichen Vorschriften über die Beleuchtung von Arbeitsplätzen auf die Beleuchtungsstärke beziehen.

Lichtausbeute (lm/W)

Die Lichtausbeute ist der Lichtstrom einer Lichtquelle bezogen auf ihre elektrische Leistungsaufnahme. Sie wird in Lumen pro Watt (lm/W) angegeben. Eine sehr schlechte Lichtausbeute hat die Glühbirne, während das diffuse Tageslicht am günstigsten abschneidet.

Lichtstrom (lm)

Der Lichtstrom ist ein Maß für die gesamte von der Lichtquelle ausgesandte Lichtstrahlung (Lichtleistung). Die Maßeinheit ist das Lumen (lm).

Lichtstärke (cd)

Die Lichtstärke ist ein Teil des Lichtstroms, der in eine bestimmte Richtung strahlt. Sie wird in Candela (cd) gemessen.

11 Richtlinien und Literatur

11.1 EU Richtlinien

EU-Richtlinie 2002/91/EG über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (EU-Gebäuderichtlinie EPBD).

EU-Richtlinie 90/270/EWG des Rates vom 29. Mai 1990 über die Mindestvorschriften bezüglich der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes bei der Arbeit an Bildschirmgeräten.

11.2 Österreichische Rechtsgrundlagen

BGBl. Nr. 450/1994, Bundesgesetz über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Arbeit (ArbeitnehmerInnenschutzgesetz - ASchG): § 66. Sonstige Einwirkungen und Belastungen, § 68. Besondere Maßnahmen bei Bildschirmarbeit.

BGBl. II Nr. 124/1998, Verordnung der Bundesministerin für Arbeit, Gesundheit und Soziales über den Schutz der Arbeitnehmer/innen bei Bildschirmarbeit (Bildschirmarbeitsverordnung - BS-V).

BGBl. II Nr. 368/1998, Verordnung der Bundesministerin für Arbeit, Gesundheit und Soziales, mit der Anforderungen an Arbeitsstätten und an Gebäuden auf Baustellen festgelegt und die Bauarbeiterschutzverordnung geändert wird (Arbeitsstättenverordnung – AStV): § 25 Lichteintrittsflächen und Sichtverbindung.

BGBl. II Nr. 251/2009, Vereinbarung gemäß Art. 15a. B-VG zwischen dem Bund und den Ländern über Maßnahmen im Gebäudesektor zum Zweck der Reduktion des Ausstoßes an Treibhausgasen.

11.3 Normen und Richtlinien

OIB-Richtlinie 3: Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz. Wien: Österreichisches Institut für Bautechnik.

OIB-Richtlinie 6: Energieeinsparung und Wärmeschutz.

OIB-Leitfaden Energietechnisches Verhalten von Gebäuden.

Erläuternde Bemerkungen zu OIB-Richtlinie 6: „Energieeinsparung und Wärmeschutz“ und zum OIB-Leitfaden „Energietechnisches Verhalten von Gebäuden“.

ÖNORM B 8110-3, Wärmeschutz im Hochbau – Teil 3: Wärmespeicherung und Sonneneinflüsse.

ÖNORM B 8110-6, Wärmeschutz im Hochbau – Teil 6: Grundlagen und Nachweisverfahren – Heizwärmebedarf und Kühlbedarf.

ÖNORM EN 12216, Abschlüsse: Terminologie, Benennungen und Definitionen.

ÖNORM EN 13125, Abschlüsse - Zusätzlicher Wärmedurchlasswiderstand - Zuordnung einer Luftdurchlässigkeitsklasse zu einem Produkt.

ÖNORM EN 13363-1, Sonnenschutzeinrichtungen in Kombination mit Verglasungen: Berechnung der Solarstrahlung und des Lichttransmissionsgrades – Teil 1: Vereinfachtes Verfahren (konsolidierte Fassung).

ÖNORM EN 13363-2, Sonnenschutzeinrichtungen in Kombination mit Verglasungen: Berechnung der Solarstrahlung und des Lichttransmissionsgrades – Teil 2: Detailliertes Berechnungsverfahren.

ÖNORM EN 13561, Markisen: Leistungs- und Sicherheitsanforderungen.

ÖNORM EN 13659, Abschlüsse außen: Leistungs- und Sicherheitsanforderungen.

ÖNORM EN 14501, Abschlüsse – Thermischer und visueller Komfort: Leistungsanforderungen und Klassifizierung.

ÖNORM EN ISO 10077-1, Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen - Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten - Teil 1: Allgemeines (ISO 10077-1:2006 + Cor 1:2009, konsolidierte Fassung).

ÖNORM EN ISO 10077-2, Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen - Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten - Teil 2: Numerisches Verfahren für Rahmen (ISO 10077-2:2003).

ÖNORM EN ISO 13786, Wärmetechnisches Verhalten von Bauteilen – Dynamisch-thermische Kenngrößen – Berechnungsverfahren (ISO 13786:2007).

ÖNORM EN ISO 13791, Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Sommerliche Raumtemperaturen bei Gebäuden ohne Anlagentechnik – Allgemeine Kriterien und Validierungsverfahren (ISO 13791:2004).

ÖNORM H 6040, Lüftungstechnische Anlagen – Kühllastberechnung.

ÖISS Richtlinien für den Schulbau. Stand Dezember 2009. Wien: Österreichisches Institut für Schul- und Sportstättenbau.

12 Checkliste zur Verbesserung des Sonnenschutzes im Bestand

Notizen

Die Checkliste dient unter Berücksichtigung der bestehenden Gebäudehülle (Massivbau bzw. Loch- und Bandfassade oder Leichtbau bzw. Element- oder Pfosten-Riegel-Fassade) sowie der Eingriffstiefe die Tageslichtversorgung und den sommerlichen Komfort zu verbessern.

12.1 Umfassende Fassadensanierung

12.1.1 Verbesserung der Tageslichtversorgung

- Können Fensteröffnungen vergrößert werden?
- Können die Fensterlaibungen (bei Loch- und Bandfassaden innen/außen/oben) durch Schrägen reduziert werden, ohne Wärmebrücken und/oder statische Probleme zu verursachen?
- Können Tageslichtlenkende Systeme (Spiegel, reflektierende, helle Fensterbretter, Jalousien) eingesetzt werden?

12.1.2 Nachrüsten von Sonnenschutzsystemen

- West/Ost-Fassade:
 - Können außenliegende, vertikale und bewegliche Systeme angebracht werden?
 - Können außenliegende, tageslichtlenkende und im Blickbereich perforierte Systeme angewendet werden?

- Süd-Fassade:
 - Können horizontale Fixverschattungen über dem Fenster angebracht werden?
 - Können außenliegende horizontale, bewegliche Verschattungselemente angebracht werden?
- Sind Windgeschwindigkeiten größer 10m/s zu erwarten? Wenn ja, auf windstabile Systeme achten, Windwächter einzubauen oder eine Prallscheibe anzubringen.
- Liegt das Gebäude in einer lärm- oder staubintensiven Gegend? Wenn ja, kann eine Prallscheibe hier eine erhebliche Lärmreduktion erwirken und den Reinigungsaufwand des Sonnenschutzes maßgeblich reduzieren.

12.2 Kleinere Änderungen an der Fassade möglich (z.B. Fenstertausch)

12.2.1 Verbesserung der Tageslichtversorgung

- Kann der Glasanteil an der Fassade erhöht werden (z.B. durch (teilweise) Fixverglasung, dünnere Rahmen, Verringerung des Fenstersprossenanteils, etc.)?
- Kann durch Glastausch der τ -Werte (Tageslichttransmissionsgrad) des Glases erhöht werden?
- Können Tageslichtlenkende Systeme (Spiegel, reflektierende, helle Fensterbretter, Jalousien) eingesetzt werden?

12.2.2 Nachrüsten von Sonnenschutzsystemen

- Können außenliegende Systeme wie bei einer umfassenden Sanierung (siehe 12.1) angebracht werden?
- Wenn nicht, können im Zuge eines Fenstertausches Verbundfenster mit einem zwischenliegenden Sonnenschutz eingebaut werden (tageslichtlenkend und mit Sichtverbindung nach außen im geschlossenen Zustand)?

12.3 Keine Änderungen an der Fassade möglich

12.3.1 Verbesserung der Tageslichtversorgung

- Können Vorhänge und Store beseitigt werden und mit transluzenten und semitransparenten Blendschutzsystemen ausgetauscht werden?
- Können innenliegenden tageslichtlenkende Systemen angebracht werden?
- Sind die Räume mit hellen Farben, die Decke mit reflektierenden Farben ausgemalt?
- Ist es möglich außerhalb der Räume (z.B. gegenüberliegenden Gebäudeteilen) Spiegel anzubringen, die Tageslicht in die Räume leiten?

12.3.2 Nachrüsten von Sonnenschutzsystemen

- Sind Kastenfenster vorhanden? Können hier im Scheibenzwischenraum Verschattungssysteme angebracht werden?

- Kann ein innenliegender, flexibler Sonnenschutz mit hochreflektierender Beschichtung angebracht werden?
- Sind die Beschwerden so groß, dass eine Sonnenschutzfolie (am besten außen am Glas) angebracht werden muss? (ACHTUNG: Diese hält in der Heizperiode auch die solaren Gewinne ab.)

12.4 Steuerung von Sonnenschutzsystemen

- Sind die Nutzer oft außerhalb ihres Raumes, gibt es Großraumbüros? Dann ist eine zentrale solare bzw. zeitabhängige Steuerung sinnvoll.
- Sind am Standort hohe Windlasten? Ist an einen Windwächter und an eine windabhängige Steuerung gedacht?
- Kann die Steuerung des Sonnenschutzes mit einer Steuerung der künstlichen Beleuchtung kombiniert werden?

13 Literaturverzeichnis

Adnot, J. et al. (1999). Energy Efficiency of Room Air-Conditioners (EERAC). Study for the Directorate-General for Energy (DGXVII) of the Commission of the European Communities. Final report.

Adnot, J. et al. (2003). Energy Efficiency and Certification of Central Air Conditioners (EECCAC). Study for the D.G. Transportation-Energy (DGTREN) of the Commission of the E.U. Final report.

ARGE Sonnenschutztechnik. (Hrsg., 2002). Handbuch für Sonnen- und Wetterschutzanlagen

BauNetz Media GmbH. (Stand Dezember 2010) www.baunetzwissen.de. Berlin

Gerstmann, J. (2009). Produktbeschreibungen für nachhaltigen Sommerkomfort: Sonnenschutz. Bericht für IEE Intelligent Energy Europe im Rahmen des Projektes Keep Cool II. Meise (Belgien): ES-SO European Solar Shading Organization.

Hausladen, G, de Saldanha, M. Liedl, P. & Sager, C. (Hrsg., 2005). KlimaDesign: Lösungen für Gebäude, die mit weniger Technik auskommen können. München, Callwey.

Hausladen G., de Saldanha, M., & Liedl, P. (Hrsg., 2006). KlimaSkin. Konzepte für Gebäudehüllen, die mit weniger Energie mehr leisten. München: Callwey.

Varga, M., Gerstmann, J., Kuh, Ch., Hofer, G., (Hrsg., 2010) Technologieleitfaden Sonnenschutzsysteme. Wien: MA27 EU Strategie und Wirtschaftsentwicklung