

IEA Solares Heizen und Kühlen (SHC) Task 56: Gebäudeintegrierte Solare Fassaden für Lüftung, Heizung, Kühlung, Klimatisierung und Beleuchtung

F. Ochs, M. Magni,
E. Venturi, G. Dermentzis,
N. Franzoi, D. Venus,
M. Hauer, D. Geisler-Moroder

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

45/2020

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

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:
Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

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

Auszugsweise Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet. Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung der Republik Österreich und der Autorin/des Autors ausgeschlossen ist. Nutzungsbestimmungen:
<https://nachhaltigwirtschaften.at/de/impressum/>

IEA Solares Heizen und Kühlen (SHC) Task 56: Gebäudeintegrierte Solare Fassaden für Lüftung, Heizung, Kühlung, Klimatisierung und Beleuchtung

F. Ochs, M. Magni, E. Venturi, G. Dermentzis, N. Franzoi
Universität Innsbruck

D. Venus
AEE INTEC

M. Hauer, D. Geisler-Moroder
Bartenbach

Innsbruck, April 2020

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms



des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)

Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Programm FORSCHUNGSKOOPERATION INTERNATIONALE ENERGIEAGENTUR. Es wurde vom Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) initiiert, um Österreichische Forschungsbeiträge zu den Projekten der Internationalen Energieagentur (IEA) zu finanzieren.

Seit dem Beitritt Österreichs zur IEA im Jahre 1975 beteiligt sich Österreich aktiv mit Forschungsbeiträgen zu verschiedenen Themen in den Bereichen erneuerbare Energieträger, Endverbrauchstechnologien und fossile Energieträger. Für die Österreichische Energieforschung ergeben sich durch die Beteiligung an den Forschungsaktivitäten der IEA viele Vorteile: Viele Entwicklungen können durch internationale Kooperationen effizienter bearbeitet werden, neue Arbeitsbereiche können mit internationaler Unterstützung aufgebaut sowie internationale Entwicklungen rascher und besser wahrgenommen werden.

Dank des überdurchschnittlichen Engagements der beteiligten Forschungseinrichtungen ist Österreich erfolgreich in der IEA verankert. Durch viele IEA Projekte entstanden bereits wertvolle Inputs für europäische und nationale Energieinnovationen und auch in der Marktumsetzung konnten bereits richtungsweisende Ergebnisse erzielt werden.

Ein wichtiges Anliegen des Programms ist es, die Projektergebnisse einer interessierten Fachöffentlichkeit zugänglich zu machen, was durch die Publikationsreihe und die entsprechende Homepage www.nachhaltigwirtschaften.at gewährleistet wird.

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

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzfassung	7
2	Abstract	8
3	Zusammenfassung	9
4	Ausgangslage	13
5	Projekthalt	15
6	Ergebnisse	21
6.1.	Übersicht zu Solaraktive Fassaden	21
6.1.1.	Allgemeine Aspekte.....	21
6.1.2.	Komponenten von BISES und ihre Integration in das Gebäude.....	23
6.2.	Methodik und Workflow	24
6.2.1.	Aspekte der Simulation gebäudeintegrierter Solarer Fassadensysteme (BISES)....	24
6.2.2.	Gründe für Gebäude-, HLK- und EE-Simulation	25
6.2.3.	Technisch-ökonomische Analyse	27
6.2.4.	Monatliche Primärenergie-Konversionsfaktoren	28
6.3.	Energiebedarf, Lasten und Solarpotenzial.....	29
6.3.1.	Energiebedarf.....	29
6.3.2.	Lasten.....	30
6.3.3.	Größenordnung und Beiträge zum Endenergiebedarf	31
6.3.4.	Be- und Entfeuchtung.....	33
6.3.5.	Heizwärmebedarf vs. Heizlast.....	34
6.3.6.	Solarpotenzial.....	36
6.4.	Gebäude-, Anlagen- und EE-Simulation	38
6.4.1.	Modellierung und Modellierungsansatz	38
6.4.2.	Workflow	40
6.5.	Fallstudien zur Kostenoptimalen Integration von BISES	42
6.5.1.	Beiträge Nationale Projekte (FFG Projekt IEA SHC T56)	42
6.5.2.	Internationale Projekte	53
6.6.	Entwurf von Tageslichtsystemen.....	54
6.6.1.	Multi-Objektive-Optimierung für eine korrekte Tageslichtplanung	54
6.6.2.	Benutzerinteraktion und die Rolle der Benutzer	55
6.6.3.	Wohlbefinden, Gesundheit und Produktivität.....	55
6.6.4.	Blick nach außen.....	56
6.6.5.	Wirtschaftliche Aspekte und ROI	56
6.7.	Publikationen	57
7	Vernetzung und Ergebnistransfer	59
7.1.	Zielgruppen	59

7.2. Internationale Partnertreffen	59
8 Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen	65

1 Kurzfassung

Im Rahmen der IEA SHC Task 56 wurden „Gebäudeintegrierte Solarfassadensysteme für Heizung, Lüftung und Kühlung (HLK) sowie Beleuchtung“ anhand einer Literaturrecherche, Stakeholder-Workshops, Labortests, in-situ Monitoring sowie dynamischer Gebäude- und Anlagensimulationen untersucht. Ein gebäudeintegriertes Solarfassadensystem besteht aus Elementen, die Sonnenenergie nutzen und/oder steuern und erneuerbare thermische und/oder elektrische Energie an das HLK-System des Gebäudes liefern, welches Heizung, Kühlung und Lüftung sowie/oder Tageslichtsteuerung bereitstellt.

Gebäudeintegrierte Solarfassadensysteme (BISES – building integrated solar envelope system):

Dieser Bericht gibt einen Überblick über die untersuchten Solarfassadensysteme und präsentiert Ergebnisse detaillierter dynamischer Gebäude- und Anlagensimulationen. Anschließend wird eine techno-ökonomische Analyse durchgeführt, um verschiedene Lösungen vergleichen zu können. Es wurden sowohl Wohn- und Nichtwohngebäude (Büro, Schule, Bücherei) als auch neu gebaute und sanierte Gebäude berücksichtigt. Dieser Bericht konzentriert sich auf die energetische und wirtschaftliche Bewertung solcher solaren Fassadensysteme auf Gebäudeebene. Im Wohnbau werden Solarthermie- (ST) sowie Photovoltaik- (PV)- und Photovoltaik-Thermische (PVT)-Systeme normalerweise auf dem Dach des Gebäudes montiert. Die Verwendung von Fassaden wird selten berücksichtigt und die Tageslichtnutzung wird, wenn überhaupt, an die Bewohner delegiert, wobei Jalousien und/oder Vorhänge i.d.R. manuell gesteuert werden. Virtuelle Fallstudien wurden mittels numerischer Simulation untersucht. Der erste Schritt war der Vergleich und die Parametrisierung einer Bürozelle in verschiedenen Berechnungs- und Simulations-Plattformen.

Es wurden Simulationen in drei europäischen Klimazonen (kalt: Stockholm, moderat: Stuttgart, warm: Rom) durchgeführt, welche unterschiedliche heizungs- und kühlungsdominierte Standorte sowie unterschiedliche solare Potentiale darstellen. Zusätzlich wurden für einzelne Fallstudien weitere europäische und nichteuropäische lokale Klimazonen berücksichtigt, z.B. Graz (AUT), Innsbruck (AUT), Stuttgart (DEU), Strasbourg (FRA), Eindhoven (NEL) und Montreal (CAN). Des Weiteren wurden Demofälle analysiert. Für alle virtuellen Fallstudien wurde eine techno-ökonomische Analyse verschiedener Technologien, einschließlich passiver Komponenten (Gebäudehülle, Wärmerückgewinnung (WRG), Duschwasserrückgewinnung (DWRG)), aktiver Komponenten (Wärmepumpe) und erneuerbarer Energien (ST, PV, PVT), durchgeführt. Je nach Klima und Gebäudetyp, d.h. Wohngebäude und Nichtwohngebäude sowie Anwendung können kostenoptimale Lösungen basierend auf geeigneten Kombinationen von passiven und aktiven Komponenten identifiziert werden. Die Kosteneffizienz verschiedener Technologien wurde im Vergleich zu ihren Primärenergieeinsparungen bewertet. Die untersuchten virtuellen Fälle von Solarfassadensystemen zeigen das Potenzial der Integration von passiver und aktiver Solartechnologie. Es wurde eine Methodik entwickelt, um verschiedene Lösungen zu analysieren und zu vergleichen. Basierend auf den präsentierten Ergebnissen können Designrichtlinien ausgearbeitet werden. Darüber hinaus können die untersuchten numerischen Modelle in zukünftigen Arbeiten verwendet werden, um Solarfassadensysteme weiter zu fördern und zu optimieren.

2 Abstract

Within the framework of IEA SHC Task 56, "Building Integrated Solar Façade Systems for Heating, Ventilation and Cooling (HVAC) and Lighting" were investigated by means of a literature review, stakeholder workshops, laboratory tests, in-situ monitoring and dynamic building and system simulations. A building-integrated solar façade system consists of elements that use and/or control solar energy and supply renewable thermal and/or electrical energy to the building's HVAC system that provides heating, cooling and ventilation and/or daylight control.

Building integrated solar envelope system (BISES): This report provides an overview of the solar envelope systems investigated and presents results of detailed dynamic building and system simulations. Subsequently, a techno-economic analysis is carried out in order to compare different solutions. Residential and non-residential buildings (office, school, library) as well as newly built and renovated buildings were considered. This report focuses on the energetic and economic evaluation of such solar façade systems at building level. In residential buildings, solar thermal (ST) as well as photovoltaic (PV) and photovoltaic-thermal (PVT) systems are usually mounted on the roof of the building. The use of facades is rarely considered, and the use of daylight is delegated, if at all, to the residents, with blinds and/or curtains usually controlled manually.

Virtual case studies were examined by means of numerical simulation. The first step was the comparison and parameterization of an office cell in different calculation and simulation platforms. Simulations were performed in three European climate zones (cold: Stockholm, moderate: Stuttgart, warm: Rome) representing different heating and cooling dominated locations and different solar potentials. In addition, other European and non-European local climate zones were considered for individual case studies, e.g. Graz (AUT), Innsbruck (AUT), Stuttgart (DEU), Strasbourg (FRA), Eindhoven (NEL) and Montreal (CAN). Furthermore, demo cases were analysed.

For all virtual case studies, a techno-economic analysis of different technologies, including passive components (building envelope, heat recovery, shower water recovery), active components (heat pump) and renewable energies (ST, PV, PVT) was carried out. Depending on the climate and building type, i.e. residential and non-residential buildings and application, cost-optimal solutions based on suitable combinations of passive and active components can be identified. The cost-efficiency of different technologies was evaluated in comparison to their primary energy savings. The investigated virtual cases of solar façade systems show the potential of integrating passive and active solar technology. A methodology was developed to analyse and compare different solutions. Based on the presented results, design guidelines can be elaborated. Furthermore, the numerical models investigated can be used in future work to further promote and optimize solar façade systems.

3 Zusammenfassung

Einleitung: Im Rahmen der IEA SHC Task 56 wurden „Gebäudeintegrierte Solarfassadensysteme für Heizung, Lüftung und Kühlung (HLK) sowie Beleuchtung“ anhand einer Literaturrecherche, Stakeholder-Workshops, Labortests, in-situ Monitoring sowie dynamischer Gebäude- und Anlagensimulationen untersucht. Ein gebäudeintegriertes Solarfassadensystem besteht aus Elementen, die Sonnenenergie nutzen und/oder steuern und erneuerbare thermische und/oder elektrische Energie an das HLK-System des Gebäudes liefern, welches Heizung, Kühlung und Lüftung sowie/oder Tageslichtsteuerung bereitstellt. Für die detaillierte technische und wirtschaftliche Analyse dieser Solarfassadensysteme auf Gebäudeebene wurden Gebäude- und Anlagensimulationen mit Referenzgebäuden durchgeführt. Darüber hinaus wurden Erfahrungen aus Demo-Projekten in die Analyse einbezogen.

Gebäudeintegrierte Solarfassadensysteme (BISES – building integrated solar envelope system): Dieser Bericht gibt einen Überblick über die untersuchten Solarfassadensysteme und präsentiert Ergebnisse detaillierter dynamischer Gebäude- und Anlagensimulationen. Anschließend wird eine techno-ökonomische Analyse durchgeführt, um verschiedene Lösungen vergleichen zu können. Ein integrierter und systemischer Ansatz ist erforderlich, um Solarfassaden, die in das HLK- und/oder Beleuchtungssystem des Gebäudes integriert sind, zu fördern. Es wurden sowohl Wohn- und Nichtwohngebäude (Büro, Schule, Bücherei) als auch neu gebaute und sanierte Gebäude berücksichtigt. In der IEA SHC Task 56 wurden Energieeffizienz, Primärenergieeinsparung, Raumluftqualität, thermischer und visueller Komfort sowie architektonische Integration auf Komponenten- und Gebäudeebene untersucht. Dieser Bericht konzentriert sich auf die energetische und wirtschaftliche Bewertung solcher solaren Fassadensysteme auf Gebäudeebene.

Im Wohnbau werden Solarthermie- (ST) sowie Photovoltaik- (PV)- und Photovoltaik-Thermische (PVT)-Systeme normalerweise auf dem Dach des Gebäudes montiert. Die Verwendung von Fassaden wird selten berücksichtigt und die Tageslichtnutzung wird, wenn überhaupt, an die Bewohner delegiert, wobei Jalousien und/oder Vorhänge i.d.R. manuell gesteuert werden. Im Nichtwohngebäudebereich (hier liegt der Schwerpunkt auf Büroräumen) werden Solarsysteme noch seltener und wenn meist auch nur auf dem Dach des Gebäudes eingesetzt. In Bürogebäuden ist die Tageslichtsteuerung zur Reduzierung von Blendung, zur Verbesserung des visuellen Komforts und zur Reduzierung des Einsatzes von künstlichem Licht immer noch nicht Stand der Technik und das Wissen darüber ist stark begrenzt.

Virtuelle Fallstudien: Virtuelle Fallstudien wurden mittels numerischer Simulation untersucht. Der erste Schritt war der Vergleich und die Parametrisierung einer Bürozelle (siehe Magni et al. 2019 für weitere Details) in verschiedenen Berechnungs- und Simulationsplattformen wie:

- Energy+
- TRNSYS
- IDA ICE
- Modelica
- Matlab/Simulink (CarnotUIBK)
- Matlab/Simulink (AlmaBuild)
- DALEC
- PHPP

Es wurden Simulationen in drei europäischen Klimazonen (kalt: Stockholm, moderat: Stuttgart, warm: Rom) durchgeführt, welche unterschiedliche heizungs- und kühlungsdominierte Standorte sowie unterschiedliche solare Potentiale darstellen (siehe dazu Tabelle 1).

Tabelle 1: Klimazonen für die Untersuchung von Solarfassadensystemen mit Heizgradtagen (HGT), Kühlgradtagen (KGT), jährlicher globaler horizontaler Strahlung (I_G) und jährlicher globaler Strahlung an einer Südfassade ($I_{G,90}$) gem. PHPP

Klima	Typ	HGT [kKh]	/ KGT [kKh]	/ I_G [kWh/(m ² a)]	/ $I_{G,90}$ [kWh/(m ² a)]
1 Stockholm (STO)	Kalt	92	52	954	943
2 Stuttgart (STU)	Moderat	79	56	1106	945
3 Rom (ROM)	Warm	45	89	1637	1339

Zusätzlich wurden für einzelne Fallstudien weitere europäische und nichteuropäische lokale Klimazonen berücksichtigt, z.B. Graz (AUT), Innsbruck (AUT), Stuttgart (DEU), Strasbourg (FRA), Eindhoven (NEL) und Montreal (CAN). Des Weiteren wurden Demofälle analysiert. Die Fallstudien für Wohn- und Nichtwohngebäude sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Tabelle 2: Überblick über Fallstudien mit Solarfassaden, Wohn- (EFH, MFH) und Nichtwohngebäude (Büro)

1 Hülle, WRG, WP, PV versch. Standorte (Bürozelle)	5 Solarthermische Fassade (Bürozelle)
2 Beleuchtung, WP, PV, Batterie (Bürozelle)	6 PVT für Luftvorheizung (Bürozelle)
3 Verschattung/Tageslichtregelung (Bürozelle)	7 Varennes Bücherei, Canada (PVT, DEMO)
4 fortschrittliche Tageslichtnutzung (Bürozelle)	8 Copenhagen Int. School, DK (BIPV, DEMO)
1 EFH – Hülle, WRG, WP, PV, DWRG	4 MFH A-d-L (At) – PV Fassade (IBK, DEMO)
2 MFH (WRG, WP, PV)	5 Solar Decathlon (Concordia, DEMO)
3 MFH (WRG-WP, PV)	

Tabelle 3 gibt einen Überblick über die wichtigsten Leistungsindikatoren, die zur Bewertung und zum Vergleich verschiedener Solarfassadensysteme verwendet wurden.

Tabelle 3: Leistungsindikatoren (Key Performance Indicators KPI)

KPI	Beschreibung
TK	Thermischer Komfort: Operative Temperatur ϑ_{op} / [°C], relative Feuchte rF / [%]
RLQ	Raumluftqualität: CO ₂ / [ppm], relative Feuchte rF / [%]
VK	Visueller Komfort: Blendungsbegrenzung (cd/m ² ; DGP)
TV	Tageslichtversorgung: Tageslichtautonomie (DA, cDA, sDA)
NE	Nutzenergie / [kWh/(m ² a)]
EE	Endenergie (gelieferte Energie) / [kWh/(m ² a)]
LCF/SCF	Lastdeckungsfaktor, Versorgungsdeckungsfaktor
SF	Solare Deckung
PE	Primärenergie PE / [kWh _{PE} /(m ² _{EB} a)]: monatliche PE Konversionsfaktoren, (Ochs et al., 2018)
JGK	Jährliche Gesamtkosten / [€/m ² _{EB} a]: kapitalisierte Investmentkosten, Betrieb und Wartung

Ergebnisse, Diskussion und Schlussfolgerungen: Für alle virtuellen Fallstudien wurden die Primärenergieeinsparungen und die kapitalisierten jährlichen Gesamtkosten bewertet. Eine techno-ökonomische Analyse verschiedener Technologien, einschließlich passiver Komponenten (Gebäudehülle, Wärmerückgewinnung (WRG), Duschwasserrückgewinnung (DWRG)), aktiver Komponenten (Wärmepumpe) und erneuerbarer Energien (ST, PV, PVT), wurde durchgeführt. Je nach Klima und Gebäudetyp, d.h. Wohngebäude und Nichtwohngebäude sowie Anwendung (Heizung, Kühlung, Warmwasser, Beleuchtung, Geräte) können kostenoptimale Lösungen basierend auf geeigneten Kombinationen von passiven und aktiven Komponenten identifiziert werden. Die Kosteneffizienz verschiedener Technologien wurde im Vergleich zu ihren Primärenergieeinsparungen bewertet. Abbildung 1 zeigt beispielhaft die Ergebnisse einer Simulationsstudie eines Einfamilienhauses (EFH). Die kapitalisierten Kosten für die eingesparte kWh PE verschiedener passiver und aktiver Technologien wird gegen die Primärenergie bzw. Primärenergieeinsparung aufgetragen. Die untersuchten virtuellen Fälle von Solarfassadensystemen zeigen das Potenzial der Integration von passiver und aktiver Solartechnologie. Es wurde eine Methodik entwickelt, um verschiedene Lösungen zu analysieren und zu vergleichen. Basierend auf den präsentierten Ergebnissen können Designrichtlinien ausgearbeitet werden. Darüber hinaus können die untersuchten numerischen Modelle in zukünftigen Arbeiten verwendet werden, um Solarfassadensysteme weiter zu fördern und zu optimieren.

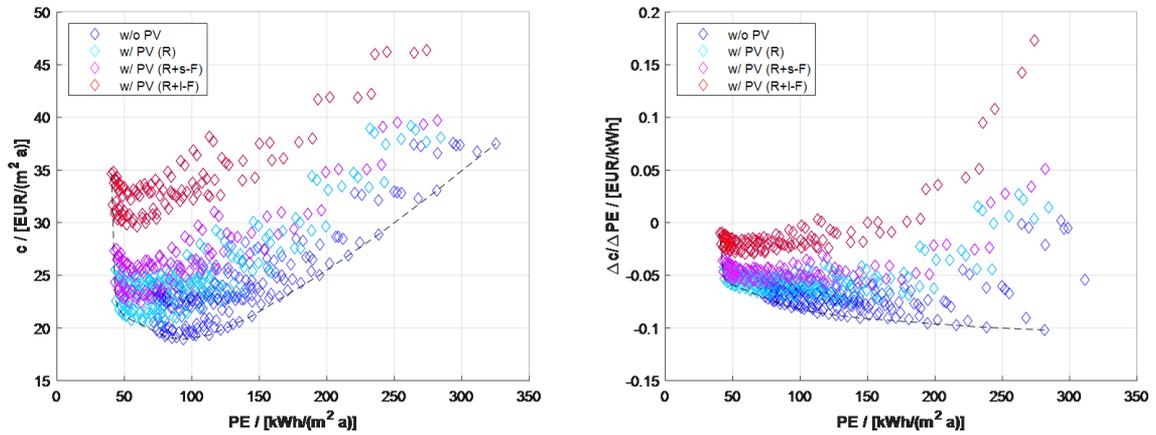


Abbildung 1: Kapitalisierte jährliche spezifische Kosten (links) und kapitalisierte Kosten pro eingesparter kWh PE (rechts) als Funktion der Primärenergie für ein EFH in Straßburg ohne PV, mit 5 kW_p auf dem 45° geneigten südorientierten Dach (R), sowie zusätzlich 1 kW_p (R+s-F) oder 5 kW_p (R+l-F) auf der Südfassade

4 Ausgangslage

Die Neufassung der EU Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (EPBD, 2010/31/EU) verpflichtet die Mitgliedstaaten, Mindestanforderungen an die Energieeffizienz von Gebäuden, Bauelementen und technischen Gebäudesystemen einzuführen. Erneuerbare Energie vor Ort (oder in der Nähe) soll dazu beitragen den verbleibenden geringen Energiebedarf zu decken und damit den CO₂-Fußabdruck bzw. den nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf weiter deutlich zu reduzieren.

Entsprechend wird neben der Energieeffizienz der Einsatz von erneuerbarer Energie, insbesondere der Photovoltaik (PV) und im Speziellen gebäudeintegrierte Photovoltaik (BIPV – building integrated PV) in Zukunft eine wichtige Rolle bei den sog. Niedrigstenergiegebäuden (nZEB - nearly zero energy building) einnehmen. PV bietet großes Potenzial für den Ausbau erneuerbarer Stromerzeugung. In Österreich bildet Photovoltaik eine der zentralen Säulen des Energiesystems zur Erreichung der nationalen Klima- und Energieziele¹.

Für Gebäude ist die passive Solarenergienutzung ebenso bedeutend und insbesondere für Nichtwohngebäude kann zudem die Tageslichtnutzung einen Beitrag leisten die Energieeffizienz und den visuellen Komfort zu verbessern.

Mittlerweile erreicht PV eine hohe technische Zuverlässigkeit und die Entwicklung wird mittelfristig konkurrenzfähige Stromgestehungskosten ermöglichen. Im Hinblick auf Gebäudeintegration steht die PV jedoch noch am Anfang der Entwicklung. Technologieinnovationen müssen vorangetrieben werden: es müssen zuverlässige und kostengünstige PV-Bauprodukte entwickelt werden, die effizient und attraktiv in Gebäude integriert werden können. Des Weiteren muss die Integration in die Gebäudetechnik, inkl. thermischer und ggf. elektrischer Speicher bereits in der Entwurfsphase erfolgen. Digitale Planungs- und Bauprozesse können diese Entwicklung unterstützen.

Nationale und internationale Demonstrationsprojekte der letzten Jahre zeigen, dass Gebäude mit (BI)PV Nettonull bzw. Plusenergiestandard erreichen können. Eine breite Markteinführung derartiger Gebäude scheitert derzeit jedoch, da geeignete Prozesse und Werkzeuge, um Photovoltaik bereits in frühen Entwurfs- und Entscheidungsphasen von Bauwerken integrieren zu können, fehlen.

Die Anforderungen der EU Richtlinie sollen auf der Grundlage einer kostenoptimalen Methodik festgelegt werden. Diese Methodik führt zum ersten Mal die Voraussetzung ein, statt wie bisher i.d.R. üblich nur die Investitionskosten, die globalen Lebenszykluskosten von Gebäuden zu berücksichtigen, um ihre zukünftigen Anforderungen an die Energieeffizienz zu bestimmen. Dabei müssen sowohl die betriebswirtschaftlichen als auch die volkswirtschaftlichen Auswirkungen berücksichtigt werden. Die Methodik zur Berechnung des kostenoptimalen Niveaus der Mindestenergieeffizienz für Gebäude und Gebäudeelemente wurde in der delegierten Verordnung der Kommission für Kostenoptimalität (2010/31 / EU) festgelegt. Die Umsetzung der Methodik auf nationaler Ebene lässt den Mitgliedstaaten jedoch ein hohes Maß an Flexibilität hinsichtlich der Auswahl der Eingabedaten (z.B.

¹ #mission2030, Die österreichische Klima- und Energiestrategie, BMNT (2018) <https://mission2030.info/wp-content/uploads/2018/10/Klima-Energiestrategie.pdf>

Trinkwarmwasser- (TWW) Bedarf, Haushaltsstrombedarf) für die Berechnung, der Auswahl der Referenzgebäude, der Energiekosten und Primärenergieumrechnungsfaktoren, etc. zu.

Eine transparente und international anwendbare Methodik wird benötigt, um die kostenoptimalen Anforderungen an nZE-Gebäude und die optimale Integration von erneuerbarer Energie, insbesondere PV bewerten zu können. Der IEA SHC Task 56 konzentriert sich entsprechend auf die kritische Analyse, die Simulation, Labortests und vor-Ort-Monitoring von Fassaden-Systemen mit aktiven und/oder passiven Elementen zur Nutzung der einfallenden Sonnenenergie mit folgenden Verwendungszwecken:

- Lieferung von erneuerbarer thermischer oder elektrischer Energie für die Versorgung des Gebäudes mit Wärme und/oder Kälte
- Reduzierung des Wärme- und Kältebedarfs von Gebäuden, während die Tageslichtnutzung kontrolliert wird.

Dabei werden Technologien für Wohngebäude und Gebäude mit tertiärer Nutzung berücksichtigt, im Neubau und in der Sanierung. Die zentrale Aufgabe ist die Integration von Fassaden-Lösungen in das Gebäude-Energiesystem (Lüften, Heizen, Kühlen, Klimatisieren und Beleuchtung) mittels eines systematischen Ansatzes. Die Gesamtenergieeffizienz, der thermische und visuelle Komfort und die Raumluftqualität sowie die architektonische Integration werden dabei gleichermaßen adressiert. Die österreichische Beteiligung konzentrierte sich inhaltliche auf zwei Bereiche.

- Systeme zur Tageslichtnutzung, Verschattung und Blendschutz
- Systeme zur Wärme- und Kälteerzeugung auf Basis von Wärmepumpen unter Verwendung von erneuerbarer Energie (PV, ST)

1. Systeme zur Tageslichtnutzung, Verschattung und Blendschutz

Im Tageslichtbereich werden laufend neue Systemlösungen entwickelt, simulations- und messtechnisch charakterisiert und evaluiert und schließlich in Planungsprojekten umgesetzt. Dabei werden optimale lichttechnische Funktionalität und bauphysikalische Effizienz immer in gleicher Weise berücksichtigt.

2. Systeme zur Wärme- und Kälteerzeugung auf Basis von Wärmepumpen unter Verwendung von erneuerbarer Energie (PV, ST)

Im Fokus stehen simulationstechnische Untersuchungen zur Ermittlung des Primärenergieverbrauchs von mit PV gekoppelten Wärme- und Kälteversorgungssystemen. Primäres Ziel ist dabei die Weiterentwicklung von kostengünstigen Systemen, welche einen minimalen nichterneuerbaren Primärenergieverbrauch im Kernwinter aufweisen (Reduzierung „Winterloch“).

5 Projektinhalt

Das Programm "Solar Heating and Cooling" wurde 1977 als eines der ersten Programme der IEA gegründet. Das Mission Statement bringt den wesentlichen Inhalt auf den Punkt, nämlich:

"Weiterführend das hervorragende internationale und gemeinschaftliche Programm im Bereich der Technologien und Entwicklungen für solares Heizen und Kühlen zu sein."

Die thermische Energie der Sonne kann sowohl zum Heizen wie auch zum Kühlen verwendet werden. Zentrale Anwendungsgebiete finden sich dort, wo Wärme bei relativ niedrigen Temperaturen benötigt wird, wie etwa Warmwasserversorgung oder Raumheizung. Solare Anwendungen können auch zur Kühlung verwendet werden, sofern das Angebot (sonnige Sommertage) und die Nachfrage (kühle Innenräume) gut zusammenpassen.

Aufgrund diverser Einschränkungen (Kosten, Gebäudeeffizienz, Politik) wird allerdings nur ein geringer Anteil des benötigten Heiz- und Kühlbedarfs über solare Energie gelöst. Um diese Einschränkungen zu überwinden und den Weltmarkt zu durchdringen, arbeitet das IEA SHC Programm in drei wesentlichen Bereichen:

- Ausbildung von Benutzern und Entscheidungsträgern
- Ausweitung des Marktes für Solarthermie
- Forschung, Entwicklung und Evaluierung von Hardware, Materialien und Designs

Im SHC-Programm der IEA folgende Hauptziele definiert (IEA SHC, 2015):

- Bereitstellung von technischen Grundlagen und Analysen zu solaren Heiz- und Kühltechnologien, deren Auslegung und Anwendung.
- Unterstützung bei der signifikanten Verbesserung des Leistungsvermögens von solaren Heiz- und Kühltechnologien.
- Verstärkung der Kooperation zwischen Industrie und öffentlicher Hand zur Steigerung des Marktanteils von solaren Heiz- und Kühltechnologien.
- Unterstützung bei der Weiterbildung von Entscheidungsträgern und der Öffentlichkeit zum Status und Nutzen von solaren Heiz- und Kühltechnologien.

Die **IEA SHC Task 56** baut auf folgenden Tasks auf, bei denen Österreich bereits maßgeblich beteiligt war.

- Task 21 Daylight in Buildings
- Task 27 Performance of Solar Facade Components
- Task 28 Solar Sustainable Housing
- Task 31 Daylighting Buildings in the 21st Century
- Task 41 Solar Energy and Architecture
- Task 44 Solar and Heat Pump Systems
- Task 50 Advanced lighting solutions for retrofitting buildings

Der **IEA SHC Task 56** konzentrierte sich auf die kritische Analyse, die Simulation, Labortests und vor-Ort-Monitoring von Fassaden-Systemen, die mit aktiven und/oder passiven Elementen versehen sind, welche die einfallende Sonnenenergie verwenden und/oder kontrollieren (bzw. regeln). Dabei liegt der Fokus auf mindestens einer oder mehrere der folgenden Verwendungszwecke:

- Lieferung von erneuerbarer thermischer oder elektrischer Energie für die Versorgung des Gebäudes mit Wärme und/oder Kälte.
- Reduzierung des Wärme- und Kältebedarfs von Gebäuden, während die Tageslichtnutzung kontrolliert wird.

Dabei werden Technologien für Wohngebäude und Gebäude mit tertiärer Nutzung berücksichtigt, im Neubau und in der Sanierung. Die zentrale Aufgabe ist die Integration von Fassaden-Lösungen in das Gebäude-Energiesystem (Lüftung, Heizung, Kühlung, Klimatisierung und Beleuchtung) mittels eines systematischen Ansatzes. Die Gesamtenergieeffizienz, der thermische und visuelle Komfort und die Raumluftqualität sowie die architektonische Integration werden dabei gleichermaßen adressiert.

Solarthermie und PV-Anlagen werden im Wohnungsbau in der Regel auf dem Dach montiert. Selten wird dabei versucht diese in die Gebäudehülle zu integrieren. Dadurch entstehen Nachteile bezogen auf die Ästhetik zudem ist die Fläche limitiert (insbesondere im Mehrgeschossbau). Im Gegenteil, die Verwendung von Fassaden ist bisher nahezu unerforscht. Die Tageslichtsteuerung wird gewöhnlich an die Bewohner delegiert (manuelle Benutzung von Jalousien und Vorhängen). Dadurch ist im Sommer und in den Übergangszeiten häufig eine vermeidbare hohe thermische Belastung festzustellen.

Auch im tertiären Bereich (Büros, Schulen, Krankenhäuser) ist das Dach in den meisten Fällen die einzige Oberfläche, die für die Installation von Solarthermie und PV verwendet wird. Während automatisierte Fassadensteuerung in Bezug auf Verschattung heutzutage bereits Stand der Technik ist, gibt es noch deutliches Verbesserungspotential bei Fassadensystemen, welche Tageslichtnutzung durch Lichtumlenkung ermöglichen und dabei den visuellen Komfort verbessern, sowie diese mit Anforderungen an den thermischen Komfort in Einklang bringen können.

Darüber hinaus ist es häufig der Fall, dass wenn energieeffiziente Technologien zusammen mit traditionellen Komponenten installiert werden, erstere nur zusätzlich installiert werden, wodurch die Investitionskosten unnötig steigen und das Energieeinsparpotential kaum ausgeschöpft wird.

Diese IEA SHC Task 56 richtet das Hauptaugenmerk auf technische Lösungen, die den Massenmarkt durch eine industrialisierte Integration aktiver Komponenten in Fassadenelemente adressieren. Es kann davon ausgegangen werden, dass damit das beste Kosten-Nutzen-Verhältnis erreicht wird insbesondere durch:

- Optimierung der Installations- und Wartungskosten
- Ermöglichung einer optimierten Steuerung/Regelung und kontinuierliches Monitoring
- Ermöglichen eines zuverlässigen Betriebs und vorhersagbare Effizienz
- Letztendlich Multifunktionalität sicherzustellen, d.h. mehr als eine Funktion der oben genannten Funktionen bereitzustellen (multifunktionale Systeme)

- Ersetzung eines Teils des Nachheizsystems (anstatt zusätzliche Funktionalität bereitzustellen)
- Reduktion des Primärenergieverbrauchs durch die Maximierung der Nutzung von Solarenergie

Trotz des Fokus auf industrialisierte Lösungen werden „Best Practice“ Beispiele von maßgeschneiderten Individuallösungen in Bezug auf Effizienz und Marktpotential analysiert. Das strategische Ziel dieses IEA SHC Task 56 ist es, Forschung und Innovation innerhalb der wissenschaftlichen Gemeinschaft und dem privaten Sektor zu koordinieren, um damit die Nutzung von in Fassaden integrierten Technologien zu fördern.

Spezifische Ziele dieses IEA SHC Task 56 sind:

- Relevante Information in Bezug auf Effizienz und Kosten über am Markt verfügbare und sich in Entwicklung befindenden Solaren Fassadensystem zu sammeln
- Bewerten und (Weiter-)Entwickeln von Testmethoden für die Charakterisierung der Effizienz von Solaren Fassaden und Fassadenelementen (Charakterisierung der thermischen und elektrischen Leistungsfähigkeit und der Nutzung des Tageslichts)
- Bewertung und (Weiter-)Entwicklung von Simulationsmodellen für die Charakterisierung der Effizienz von Solaren Fassaden und Fassadenelementen (Charakterisierung der thermischen und elektrischen Leistungsfähigkeit sowie Nutzung des Tageslichts)
- Entwickeln von Design, Herstellungs- und Installationsrichtlinien für industrialisiert gefertigte Solare Fassaden unter Berücksichtigung technischer und architektonischer/ästhetischer Aspekte sowie Aspekte der Wirtschaftlichkeit, der Finanzierung und der Kundenakzeptanz
- Bewerten und (Weiter-)Entwickeln von Geschäftsmodellen für Solare Fassaden
- Das öffentliche Bewusstsein für diese Technologie zu steigern.

Für Task 56 wurde unter Leitung von Roberto Fedrizzi (Operating Agent, Eurac, Italien) eine Untergliederung in drei Subtasks mit folgenden Schwerpunkten und Hauptverantwortlichkeiten bei der Ausarbeitung und Durchführung des Arbeitsplanes vorgenommen:

- Subtask A: Klassifizierung von Solaren Fassaden und Kommunikation, Michaela Meir (Aventa, NOR),
- Subtask B: Charakterisierung der Effizienz von Solaren Fassadensystemen, Christoph Maurer (FHG ISE, DEU),
- Subtask C: Bewertung der Solaren Fassadensysteme auf Gebäudeebene, Fabian Ochs (UIBK, AUT)

In **Subtask A** wurden folgende Einzelprojekte (Aktivitäten) definiert:

- Aktivität A.1 – Marktüberblick
- Aktivität A.2 – SWOT Analyse
- Aktivität A.3 – Dissemination

Subtask B gliedert sich in Einzelprojekte mit folgendem Inhalt:

- Aktivität B.1 – Strategien für die Marktdurchdringung
- Aktivität B.2 – Simulationsmodelle für Solare Fassadenelemente
- Aktivität B.3 – Labortests von Solaren Fassadenelementen

Subtask C

Die Österreichische Beteiligung konzentrierte sich auf Subtask C, die im Folgenden detaillierter beschrieben wird:

Die Subtask C besteht aus 5 Aktivitäten:

Aktivität C1 - Modellaufbau, Ausarbeitung und Systemdefinition

Die ausführliche technische Analyse der Solaren Fassaden, d.h. in die Fassade integrierte Gebäudetechnik-, Heiztechnik- und Kühlsysteme erfolgt auf Gebäudeebenen durch Gebäude- und Anlagen-Simulation anhand von Referenzobjekten. Basierend auf Erfahrungen aus vorangegangenen (IEA SHC Task44) und laufenden (EU-FP7 iNSPiRe) Projekten, werden ausgewählte Referenzobjekte analysiert und klassifiziert in Bezug auf folgende Aspekte:

- Neue Gebäude oder Gebäudesanierung (Gebäude-Alter und Standard)
- Strom-, Warmwasser- und Wärme/Kältebedarf
- Benutzerprofile, Raumluftqualitäts- sowie thermische und visuelle Komfort-Anforderungen
- Klima-Randbedingungen und Verfügbarkeit erneuerbarer Energien für den Standort.

Darüber hinaus werden Systemdimensionierungsrichtlinien und Regeln für den Systementwurf hervorgehoben und kategorisiert. Synergien und Konflikte zwischen verschiedenen Technologien sollen identifiziert werden. Maßnahmen werden vorgeschlagen, um Konflikte zwischen konkurrierenden Technologien zu vermeiden, unter Berücksichtigung von Vorfertigung und industrialisierter Fertigung, Verfügbarkeit von Raum innerhalb der Fassade, Dimensionierungsrichtlinien für die Kopplung von verschiedenen Teilsystemen. Dies dient als Basis für Aktivität C2.

Aktivität C2 – System-Simulationen

Gebäude- und Anlagen-Simulationen werden durchgeführt mit dem Ziel der Entwicklung und Optimierung von Kontrollstrategien für die gekoppelte Regelung der Raumluftqualität des thermischen und visuellen Komforts bei gleichzeitiger optimalen Energieeffizienz. Die Gebäude- und Anlagensimulation beinhaltet folgende Teilsysteme:

- Lüftungs-Wärmerückgewinnung und Lüftungs-Verteilung
- (Wärme/Kälte/Strom) Energieerzeugung, -speicherung und -verteilung
- Tageslicht und Kunstlichtsysteme

Aktivität C3 – Technische, ökologische und wirtschaftliche Analyse der Simulationsergebnisse

Die technisch-wirtschaftliche Detailanalyse der Simulationsergebnisse wird durchgeführt mit dem Ziel die Auswirkungen der Integration der Gebäudetechnik in die Fassade in verschiedenen Gebäuden und Klimazonen bewerten zu können.

Die Simulationsergebnisse werden analysiert und Informationen werden dahingehend organisiert, dass sie für Gebäude- und HLK-Designer nutzbar sind, z.B. in Form eines Pre-Design-Tools (siehe auch C5) unter Verwendung von Effizienzdaten aus Aktivität B2. Informationen werden ausgewertet, um insbesondere Aussagen zu treffen zu:

- Bewohnerbezogene Aspekte (Raumluftqualität, thermischer und visueller Komfort)
- Energie- und Umweltaspekte (Endenergie, Primärenergie, LCA)
- Wirtschaftliche Aspekte (LCC)

Aktivität C4 – Analyse von Monitoring-Ergebnisse (Demo-Gebäude)

Es erfolgt ein Monitoring von Gebäuden mit in die Fassade integrierter Gebäudetechnik, um die tatsächliche Effizienz unter realen Betriebsbedingungen verstehen zu können. Dafür werden typische Wohn- und/oder Büro-Gebäude, welche mit einer Solaren Fassade ausgestattet sind mindestens für eine Saison messtechnisch überwacht. Für die Analyse und Auswertung der Messdaten wird der gleiche Ansatz wie bei den Simulationen (Aktivität C3) angewendet. Wenn notwendig erfolgt eine Normalisierung der Ergebnisse mithilfe von Simulationen (die in Aktivität C2 entwickelt werden) und Extrapolation auf Norm-Randbedingungen und Nutzer-Verhalten.

Aktivität C5 – Entwicklung Pre-Design Tool

Ein Werkzeug (z.B. PHPP) wird (weiter) entwickelt, welches das detaillierte Design während der Task und danach für die Planung des Energiesystems oder für Energie-Audits (Sanierung) ermöglicht. Das Pre-Design-Tool sollte ermöglichen, die Gesamtenergieeffizienz eines Gebäudes, welches mit einer Solaren Fassade ausgestattet ist zu bewerten in Bezug auf:

- Lüftungs-Wärmerückgewinnung und Luft-Verteilung
- (Wärme/Kälte/Strom) Energieerzeugung, Speicherung und Verteilung
- Tageslicht- und Kunstlicht-Systeme

Vereinfachte Algorithmen werden (weiter)entwickelt. Die Algorithmen werden basierend auf den Ergebnissen der Simulationsmodelle (Subtask B und C) entwickelt und validiert.

Folgende internationale Partner waren an der IEA SHC Task 56 beteiligt:

- Italy (EURAC: **OA**, Solarinvent SRL)
- Norway (AVENTA: **SubT A**, NTNU)
- Germany (Fraunhofer ISE: **SubT B**, Fraunhofer IBP, HTF Stuttgart, PHI, Facade-Lab)
- Austria (University Innsbruck: **SubT C**, Bartenbach, AEE INTEC)
- Canada (SolarWall, CZEBS Concordia University)
- Denmark (Cenergia (Kuben Management), Aalborg University Copenhagen)
- Irland (DIT)

- Spain (Tecnalia)
- Sweden (Lund University)
- The Netherlands (Eindhoven University of Technology, Delft University)
- United Kingdom (London South Bank University, University of Ulster)

6 Ergebnisse

6.1. Übersicht zu Solaraktive Fassaden

6.1.1. Allgemeine Aspekte

Solare Fassadensysteme wurden in der IEA SHC Task 56 als Fassadensystem definiert, die Elemente umfassen, welche die einfallende Sonnenenergie nutzen und/oder steuern, mit einer oder mehreren der folgenden Anwendungen:

- Lieferung erneuerbarer thermischer oder/und elektrischer Energie an die Systeme zur Heizung, Kühlung und Belüftung von Gebäuden.
- Reduzierung des Heiz- und Kühlbedarfs von Gebäuden bei gleichzeitiger Kontrolle des Tageslichts.

Obwohl diese Definition das Unterscheidungsmerkmal von Lösungen für Solare Fassaden klar beschreibt, bleibt der Anwendungsbereich hinsichtlich der anwendbaren Technologien breit gefächert. Dieser umfasst in der Tat eine sehr diversifizierte Gruppe von Lösungen, von denjenigen, welche die Tageslicht- und Sonneneinstrahlung regeln (hauptsächlich Verschattungssysteme) bis hin zu solchen, welche die Erzeugung aus erneuerbaren Energiequellen integrieren (hauptsächlich PV, ST oder PVT). Solche Systeme können auch mit anderen aktiven Komponenten (mechanische Lüftung mit Wärmerückgewinnung, Wärmepumpen usw.) gekoppelt werden, wodurch ein noch breiteres Spektrum an Kombinationen von Produkten und Anwendungen entsteht.



Abbildung 1: Beispiele von Solaren Fassadensystemen.

Gebäudeintegrierte Solare Fassaden können passive Elemente (d.h. Verschattung, Tageslichtregelung) und/oder aktive Elemente (BIPV, BIST, BIPVT) umfassen. Fassaden mit Elementen für Tageslicht/Verschattung, Blendschutz (solare Gewinne, Kunstlicht) werden vor allem in Nichtwohngebäuden eingesetzt und sind in der Lage:

- visuellen Komfort zu garantieren (unter Beibehaltung des thermischen Komforts);
- die Tageslichtnutzung zu verbessern;
- Primärenergieeinsparungen zu ermöglichen (durch Verringerung des Heiz- und Kühlbedarfs).

Fassaden mit aktiven Elementen (d.h. Solarthermie (ST), gebäudeintegrierte Solarthermie (BIST), Photovoltaik-Thermie (PVT) oder Wärmepumpe (WP) und/oder Lüftung mit Wärme-/Energierückgewinnung (HRV/ERV) gekoppelt mit PV, gebäudeintegrierter Photovoltaik (BIPV)) für Heizung/Kühlung/Lüftung können sowohl in Wohn- als auch in Nichtwohngebäuden eingesetzt werden. Diese

- tragen zur Gewährleistung bzw. Verbesserung der thermischen Behaglichkeit und der Raumluftqualität bei und
- ermöglichen Primärenergieeinsparungen (durch die Verringerung des Heiz- und Kühlbedarfs sowie Maximierung der Nutzung erneuerbarer Energien).

Im Falle eines Bürogebäudes sind Vereinfachungen und Annahmen zur Gebäudegeometrie und zum Nutzerverhalten notwendig, und es muss ein guter Kompromiss zwischen der Genauigkeit des Modells und dem Rechenaufwand gefunden werden. Für die Bewertung von Solaren Fassaden auf Gebäudeebene wurde der Ansatz des Referenzgebäudes mit einer detailliert beschriebenen Bürozeile, welche sich an verschiedenen Standorten befinden kann, gewählt: der erste Schritt besteht darin, eine reale Gebäudegeometrie zu vereinfachen, indem elementare Module identifiziert werden. Eine zweite Vereinfachung besteht in der Annahme, dass das thermische Verhalten der Referenzzeile in einer Referenzetage, mit dem einer Reihe von Referenzbürozeilen vergleichbar ist, die entsprechend der Exposition des Gebäudes ausgerichtet sind. Die Gültigkeit dieser letzten Aussage hängt letztlich von der Grundfläche und dem Oberflächen-Volumenverhältnis ab. Belegung (Anzahl der Personen, Aktivität, und Belegungsprofil, etc.), Geräte, Beleuchtung, Beschattung, Belüftung und Infiltration müssen genau definiert werden. Gebäudekomponenten, Energiesystem, Warmwasser- und Tageslichtsystem müssen ebenfalls definiert werden.

Im Wohnungsbereich ist die Anwendung von Solaren Fassaden bei Mehrfamilienhäusern (mit einer verhältnismäßig kleinen verfügbaren Dachfläche) relevanter als bei Einfamilienhäusern (mit relativ großer Dachfläche in Bezug auf die Energiebezugsfläche). Der Referenzgebäude-Ansatz lässt sich nicht ohne weiteres auf Mehrfamilienwohnhäuser anwenden, da jedes Gebäude in der Regel individuell ist (Geometrie, Grundriss, Anzahl der Stockwerke, beheizter/unbeheizter Keller usw.). Bei Wohngebäuden liegt der Schwerpunkt außerdem auf der Qualität der Gebäudehülle, der Effizienz des HLK-Systems und dem (fassadenintegrierten) EE-System. Die Gewährleistung eines hohen thermischen Komforts und einer hohen Raumluftqualität ist eine Voraussetzung (die für jede Technologie nachgewiesen werden muss). Der visuelle Komfort (Tageslicht und Blendung) ist in Wohngebäuden in der Regel jedoch nicht relevant. Abhängig von der untersuchten Technologie muss in der Regel entweder eine Wohnung oder das gesamte Gebäude berücksichtigt werden, und es ist nicht trivial, ein gemeinsames MFH-Referenzgebäude zu definieren.

Um zu verstehen, welche technischen Lösungen oder welche Kombinationen von Technologien die Bedürfnisse der Stakeholder und Investoren besser erfüllen können, sind die zu erwartenden Vorteile gründlich zu bewerten, möglichst unter Verwendung quantitativer Indikatoren, die den Vergleich zwischen verschiedenen Technologien erleichtern. Diese Aufgabe ist jedoch nicht einfach, da die Wertung oft multivariant ist, mit Schwerpunkten und Gewichtungsfaktoren, die sich je nach Gesprächspartner unterscheiden, und eine solide Methodik für eine quantitative Bewertung muss noch entwickelt werden.

In diesem Bericht werden verschiedene Technologien und Lösungen erörtert, und die Frage der Vergleichbarkeit verschiedener Lösungen wird mit Hilfe des Ansatzes der Kostenoptimalität durchgeführt (welcher in Artikel 2.14 der EPBD als das kostenoptimale Energieeffizienzniveau definiert ist), welches während der abgeschätzten wirtschaftlichen Lebensdauer unter Berücksichtigung der finanziellen und makroökonomischen Auswirkungen zu den geringsten Lebenszykluskosten führt. Es wird davon ausgegangen, dass alle im Bericht vorgestellten Lösungen die Anforderungen an die Raumluftqualität in Innenräumen sowie den thermischen und visuellen Komfort erfüllen (Luftwechsel, Tageslicht, operative Temperatur und Raumluftfeuchte), so dass sich der Vergleich auf die Indikatoren Primärenergie und Lebenszykluskosten (LCC) beschränken kann.

6.1.2. Komponenten von BISES und ihre Integration in das Gebäude

Für die Untersuchung von gebäudeintegrierte Solare Fassaden (BISES) auf Gebäudeebene sind folgende Komponenten und Anwendungen enthalten, siehe Tabelle 1.

Tabelle 1: Komponenten von Solarfassaden, Verwendung und Art der Systemintegration.

	Technologie	Verwendung	System	Bemerkung
1	Dämmung	Wärme, Kälte	• -	Passiv
2	Fenster	Wärme, Kälte, Tageslicht	-	Passiv
3	Tageslicht (Jalousien, Verschattung usw.)	Verschattung, Blendschutz, Tageslicht	(Einfluss auf WB. KB. WL, KL)	Solar-Passiv
4	(BI)PV	Elektrizität	Heizung, Kühlung mit Wärmepumpe, MVHR, E-Boiler, usw. Hilfsgeräte, Haushaltsgeräte	Solar-Aktiv
5	(BI)ST	Wärme	Heizung, Warmwasser, Quelle für WP (Kühlung)	Solar-Aktiv
6	(BI)PVT	Wärme, Elektrizität	Vorheizen, Quelle für WP (Heizung, Warmwasser, Kühlung)	Solar-Aktiv
7	MVHR (HRV/ERV)	Wärme (Kälte), Befeuchtung, Entfeuchtung	Lüftung, Heizung, Kühlung, Entfeuchtung	Aktiv
8	Wärmepumpe	Wärme, Kälte, Entfeuchtung	Heizen, Kühlen, Warmwasser, Entfeuchtung	Aktiv
9	Speicher	Wärme, Elektrizität	Heizen, Warmwasser, Kühlen, Hilfsenergie. Haushaltsgeräte	Passiv
10	SDWR	Wärme	TWW	Passiv
11	Rohre		Wärme/Kälteverteilung, Lüftung	Passiv

6.2. Methodik und Workflow

6.2.1. Aspekte der Simulation gebäudeintegrierter Solarer Fassadensysteme (BISES)

Gebäudeintegrierte Solare Fassaden (BISES) umfassen eine Vielzahl von Technologien (PV, ST, PVT usw.), die in das Gebäude und in die Gebäudetechnik integriert sind. Die Integration von Solaren Fassadensystemen beinhaltet also mehrere Aspekte. Die Fassadenintegration hat einen architektonischen und gestalterischen Aspekt; darüber hinaus ist der bauphysikalische Aspekt zu berücksichtigen. Hinzu kommt der Grad der Integration in das Gebäude-HLK-System, einschließlich thermischer und/oder elektrischer Speicherung. In diesem Bericht werden Aspekte des thermischen

(und visuellen) Komforts und der Raumluftqualität behandelt. Der Schwerpunkt liegt auf Systementwurf und Regelungsoptimierung. Schließlich gibt es noch den Aspekt des Gebäudes als Prosumer mit dem Wechselseitigen Einfluss auf das Energiesystem bzw. Stromnetz. Stichworte dazu sind Netz-Interaktion und "intelligente Gebäude".

Im Rahmen der IEA Task 56 SubTask C lag der Schwerpunkt auf der Bewertung und Optimierung von BISES auf Gebäudeebene mittels dynamischer Gebäude-, HLK- und EE-Simulationen. Die Netzinteraktion wurde durch Auswertung der Simulations- (und Monitoring-) Ergebnisse in Bezug auf die Primärenergie unter Verwendung monatlicher Umrechnungsfaktoren für die Primärenergie berücksichtigt (siehe Abschnitt 6.2.4).

6.2.2. Gründe für Gebäude-, HLK- und EE-Simulation

Gebäude-, HLK- und EE-Simulationen können mehrere Aspekte umfassen und unterschiedliche Ziele und Zielsetzungen haben. Häufig wird eine Simulation durchgeführt, um eine Technologiebewertung und/oder ein Technologieranking mit vergleichbaren Randbedingungen (Nutzerverhalten, Klima, etc.) zu erhalten. Die Hauptindikatoren sind die Systemleistung und -effizienz für einen bestimmten Bereich des (visuellen und) thermischen Komforts und der Raumluft (RLQ). Gewöhnlich umfasst eine solche Untersuchung die techno-ökonomische Analyse und einen Optimierungsprozess.

Aufgrund der komplexen Abhängigkeiten und der multi-objektiven Natur des Optimierungsproblems kann die Gebäude- und Systemsimulation eine wertvolle Unterstützung für Designer und Entscheidungsträger sein. Abhängig von Umfang und Zielsetzung kann die Evaluierung von BISES auf mehreren Ebenen durchgeführt werden:

- auf Komponentenebene (z.B. PVT-Kollektorkennfeld);
- (HLK-)Systemebene (z.B. PVT-Kollektor als Quelle für die Wärmepumpe);
- auf Gebäude- (und HLK-) Ebene (z.B. EFH im PH-Standard mit WP und PVT-Kollektor).

Bei der Bewertung von BISES sollte das Energiesystem, in dem das Gebäude betrieben wird, berücksichtigt werden. In einer "fossilen" Umgebung wird der Gesamtnutzen anders ausfallen als in einer "grünen" Umgebung. Ein vereinfachter Ansatz wird im Abschnitt über monatliche Primärenergiefaktoren diskutiert.

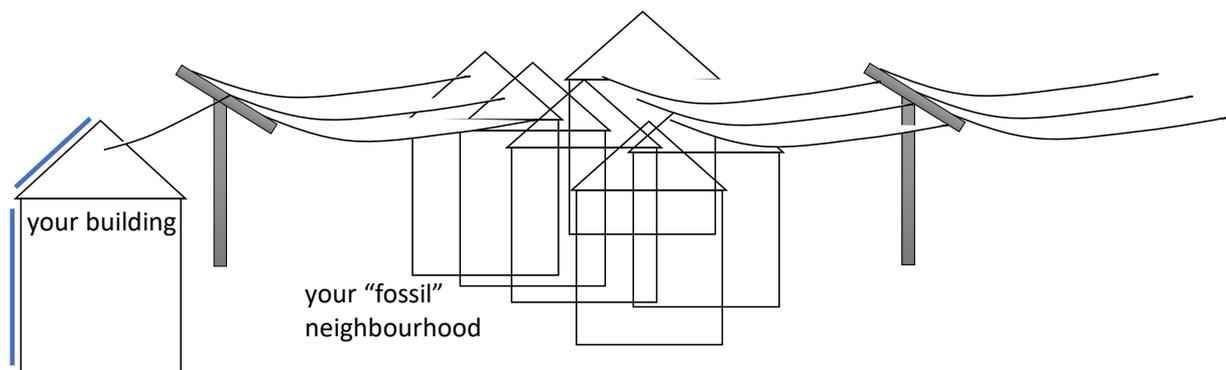


Abbildung 2: Solarfassade auf einem Gebäude in einer "fossilen" Nachbarschaft.

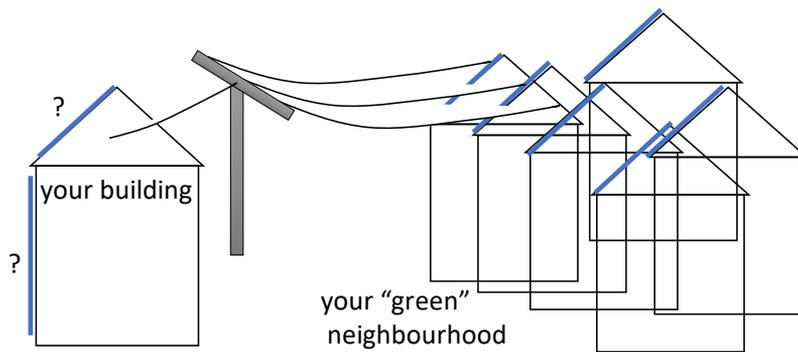


Abbildung 3: Solarfassade auf einem Gebäude in einer "grünen" Nachbarschaft.

Auf Komponenten- und Gebäudeebene adressiert die Optimierung:

- Entwurf und Dimensionierung von Komponenten,
- Systemkonzept und -design, und
- Regelungsoptimierung einschließlich Reduzierung der Hilfsenergien (Ventilatoren, Pumpen, etc.).

Innerhalb der IEA SHC Task 56 sind die Hauptziele in SubT C:

- eine detaillierte technisch-ökonomische Analyse, und
- die Bewertung der Auswirkung der Integration von Komponenten von Solaren Fassaden für verschiedene Gebäude und unter verschiedenen klimatischen Bedingungen

basierend auf (dynamischer) Gebäude-, HLK- und EE-Simulation.

Zur Bewertung verschiedener Systeme und Systemkonzepte wurden die folgenden Leistungsindikatoren (KPIs) definiert:

- Heizwärmebedarf (HWB), Heizlast (HL);
- Kühlbedarf (KB), Kühllast (KL);
- Thermische Behaglichkeit (ϑ_{op} , rH);
- Raumluft-Qualität (IAQ, CO₂-Konzentration);
- Visueller Komfort (→ Büro);
- Lastdeckungsfaktor (LCF) und Versorgungsdeckungsfaktor (SCF), Solare Deckung;
- PE/CO₂-Einsparungen (Nicht-EE, Energiebilanz einschließlich Haushaltsgeräte);
- Wirtschaftlichkeit (LCC / jährliche spezifische kapitalisierte Kosten).

6.2.3. Technisch-ökonomische Analyse

Für die wirtschaftliche Bewertung werden die jährlichen kapitalisierten Kosten bestimmt und die folgenden wirtschaftlichen Parameter benötigt:

- Investitions- und Installationskosten;
- Betrachtungszeitraum (20 a);
- Lebensdauer von ST, PV, WP, MVHR, etc., Wiederbeschaffungswert (z.B. nach 15 a) und Restwert (nach Ende des Betrachtungszeitraums);
- Zinssatz und Inflationsrate ($i = 3\%$).
- Energie-/Strompreis (durchschnittlich $0,25 \text{ €/kWh}$).
- Instandhaltungskosten (z.B. 5% der Investition).

Ziel der techno-ökonomischen Analyse und Kosten-Optimalität

Ziel der techno-ökonomischen Analyse ist es in der Regel, unter bestimmten Randbedingungen (z.B. Kostenparameter) und Einschränkungen (z.B. Grenzen für thermischen und visuellen Komfort sowie Raumluftqualität, max. CO₂-Emissionen, etc.) kostenoptimale Lösungen zu finden. Die techno-ökonomische Analyse ermöglicht die Entwicklung eines Technologie-Rankings auf makroökonomischer Ebene. Im Rahmen einer globalen Optimierung können verschiedene Technologien untersucht werden (z.B. die Integration von Energiespeichern in das Gebäude und ihr Einfluss auf das lokale, regionale oder nationale Energiesystem). Auf mikroökonomischer Ebene hat die individuelle Optimierung in der Regel zum Ziel, eine optimale Auslegung der Komponenten zu finden (Dimensionierung) und/oder den Betrieb des Gebäudes und des Systems zu optimieren (Regelungsoptimierung, Inbetriebnahme und Fehlererkennung).

Eine techno-ökonomische Analyse kann entsprechend zwei verschiedene Ebenen umfassen:

- Mikroökonomische Optimierung → Kosten für Gebäudeeigentümer/-betreiber (Systemkonzept/Größe, Regelung, Kostenreduktion).
- Makroökonomische Bewertung → Kosten für die Gesellschaft (Technologie-Ranking, PE/CO₂-Einsparungen, volkswirtschaftliche Kosten).

Kritische Bemerkung zur techno-ökonomischen Analyse und Kostenoptimalität

Die hier dargestellten Gestaltungsrichtlinien basieren auf den Ergebnissen einer techno-ökonomischen Analyse. Im Rahmen der IEA SHC Task 56 wurde die Methodik der EU (EPBD, nZEB, Kosten-Optimalität) unter Verwendung von Standard- und/oder Referenzbedingungen dem Grunde nach eingehalten.

Das kostenoptimale Niveau wird in Artikel 2.14 der EPBD definiert als "das Gesamtenergieeffizienzniveau, das während der geschätzten wirtschaftlichen Lebensdauer mit den niedrigsten Kosten verbunden ist", und zwar aus zwei verschiedenen Perspektiven:

- finanziell (mit Blick auf die Investition selbst auf der Gebäudeebene), und
- makroökonomisch (mit Blick auf die Kosten und den Nutzen der Energieeffizienz für die Gesellschaft als Ganzes).

Im Unterschied zur Empfehlung der EU werden der Haushaltsstrom im Wohngebäude bzw. die elektrischen Geräte im Bürogebäude berücksichtigt. Zudem wird hier eine Evaluierung des PV Eigenverbrauchs empfohlen anstelle einer Nettojahresbilanz, da diese unrealistischer Weise voraussetzt, dass das Stromnetz als kostenloser saisonaler Speicher zur Verfügung steht.

Einzelne Empfehlungen und Entscheidungen können von den abgeleiteten allgemeinen Trends jedoch abweichen, und zwar aufgrund

- von Komfort- und Gesundheitsaspekten;
- von individuellen Wünschen/Meinungen/Erfahrungen;
- von gestalterischen/architektonischen/kulturellen Aspekten;
- von lokalen Anreizen, Förderung, Einschränkungen (historisch, aktuell und zukünftig erwartet);
- von Besonderheiten des lokalen Markts/der lokalen Bedingungen (Verfügbarkeit von Technologie, Preis, Wettbewerb, Erfahrung und Ausbildung usw.);
- des lokalen Energiesystems (Fernwärmesysteme, Strom-Mix, Biomasse usw.);
- der Grenzen der Investitionen;
- usw.

6.2.4. Monatliche Primärenergie-Konversionsfaktoren

Ein nachhaltiger und verantwortungsvoller Umgang mit Ressourcen ist erforderlich, um den Klimawandel abzuschwächen. Mikroökonomische Ziele berücksichtigen in der Regel die kapitalisierten Investitionskosten und/oder die vom Stromnetz bezogene Energie, lassen aber in der Regel die Umweltauswirkungen außer Acht. Auf makroökonomischer Ebene muss das Ziel jedoch die Reduzierung des (nicht erneuerbaren) Primärenergieverbrauchs (PE) und der CO₂-Emissionen sein. Es besteht Bedarf an einer geeigneten Bewertungsmethode für den Vergleich und die Einstufung verschiedener passiver und aktiver Gebäudetechnologien, z.B. nach ihren Auswirkungen auf den PE-Verbrauch. Die nationalen Umrechnungsfaktoren für PE/CO₂ unterscheiden sich von Land zu Land erheblich, können aus politischen Gründen beeinflusst werden und sind Änderungen unterworfen. Saisonale Schwankungen werden überhaupt nicht berücksichtigt.

Der Strom-Mix ist und wird in Zukunft in höherem Maße durch die verfügbaren erneuerbaren Energiequellen, wie Wasserkraft, Windenergie und Photovoltaik, mit starken Unterschieden in der täglichen und saisonalen Verfügbarkeit beeinflusst. Ohne den Aufbau von saisonalen Speichern werden fossile Brennstoffe auch in der Nahen und mittleren Zukunft überwiegend die Winterlast decken. Der Strom-Mix wird zudem auch von der Last beeinflusst: Gebäude haben - in heizungsdominierten Klimazonen - eine hohe Nachfrage im Winter und eine geringere Nachfrage im Sommer. Der Anteil der Elektrizität zum Heizen ist noch relativ gering, wird aber mit dem verstärkten Einsatz von Wärmepumpen und Elektroheizungen zunehmen. Daher werden Einsparungen im Winter einen höheren Wert haben. Anmerkung: Die Deckung des Kühlbedarfs im Sommer durch EE ist aufgrund der Gleichzeitigkeit von Kühlbedarf und Verfügbarkeit von Solarenergie weniger kritisch (sofern dieser in einem gewissen Rahmen gehalten wird).

Eine PE-Evaluierungsmethode, die es erlaubt, die zukünftige Entwicklung der Last (d.h. des Gebäudebestands) und des Strom-Mix (Anteil der EE) mit saisonalen Schwankungen einzubeziehen, wurde entwickelt und im Rahmen der IEA SHC Task 56 angewendet. Die Auswirkungen auf die

Rangordnung verschiedener passiver und aktiver Technologien in Abhängigkeit von verschiedenen Szenarien des Energie-Mix können aufgezeigt werden.

Ein Beispiel: Netto-Nullenergiegebäude (NZEB) könnten die Netzlast im Winter nicht signifikant reduzieren, weisen aber im Sommer eine übermäßige PV-Überproduktion auf. Das Missverhältnis zwischen (Strom-)Nachfrage und PV-Ertrag muss berücksichtigt werden.

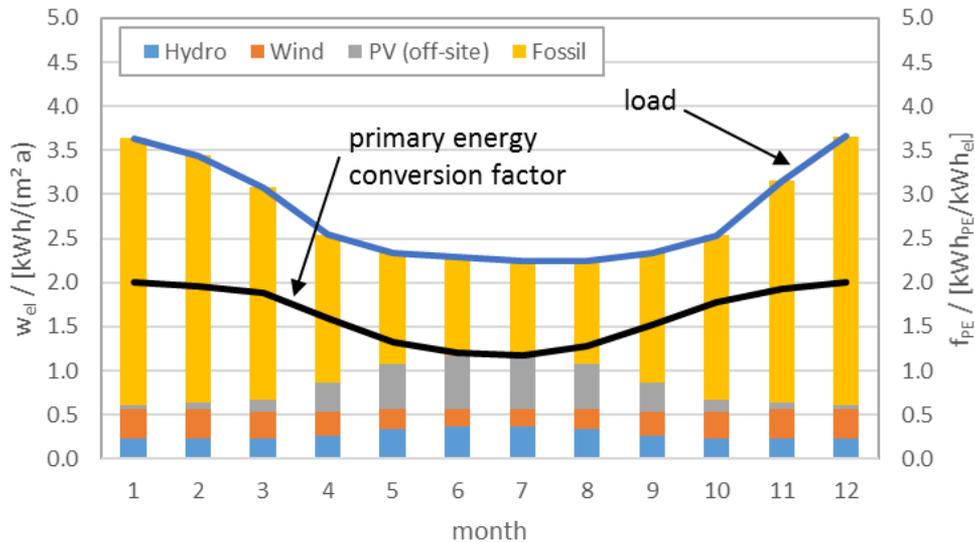


Abbildung 4: Monatlicher Anteil erneuerbarer Energien (Wasserkraft, Wind, Photovoltaik, fossile Energieträger) und entsprechender PE-Umwandlungsfaktor, Beispiel eines PH mit einer HP für Heizung und Warmwasserversorgung mit einem Anteil von 10 % Wasserkraft, 10 % Wind, 10 % Photovoltaik und 70 % fossiler Energieträger am Strommix.

Tabelle 2: Monatliche PE-Umrechnungsfaktoren nach Abbildung 4.

	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	mit.
A: 10-10-10	2.01	1.96	1.89	1.60	1.33	1.20	1.18	1.28	1.53	1.78	1.92	2.01	1.6
B: 10-30-30	1.53	1.42	1.23	0.50	0.08	0.08	0.08	0.08	0.33	0.98	1.33	1.54	0.8

6.3. Energiebedarf, Lasten und Solarpotenzial

6.3.1. Energiebedarf

Das Verständnis des Energiebedarfs eines Gebäudes, d.h. des Energiebedarfs für Heizung, Kühlung, Warmwasserbereitung, Hilfsenergien (insbesondere für die Belüftung), Beleuchtung und Haushaltsgeräte, ist von wesentlicher Bedeutung, um energieeffiziente Systeme mit einem hohen Anteil an erneuerbaren Energien zu konzipieren. Der erste Schritt sollte immer darin bestehen, den Bedarf (und die Last) durch passive und aktive Maßnahmen zu reduzieren und dann EE zu integrieren. Um mögliche Einsparungen vorherzusagen zu können, muss die Energienachfrage korrekt vorhergesagt werden, zumindest auf monatlicher Basis.

6.3.2. Lasten

Die korrekte Vorhersage von Heiz- und Kühllasten ist die Grundlage für eine angemessene Systemauslegung. Unterdimensionierung kann zu Unbehagen führen (Untertemperatur, Überhitzung) und muss vermieden werden. Umgekehrt kann eine Überdimensionierung zu suboptimaler Effizienz, kürzerer Lebensdauer der Geräte (An-/Aus Zyklen) führen und ist zudem mit höheren Investitionskosten verbunden.

Traditionell werden der Energiebedarf und die Last auf der Grundlage von Erfahrungswerten ermittelt und beinhalten eine ausreichende Sicherheitsmarge, obwohl es eine Reihe von Normen gibt. Die Gebäudesimulation kann nicht nur den Entwurf besserer Gebäude unterstützen, sondern auch die genauere Dimensionierung des HLK-Systems und damit die Planung mit geringeren Investitionskosten und besserer Effizienz ermöglichen.

Die Dimensionierung hat einen direkten Einfluss auf die Effizienz eines Systems und die korrekte Vorhersage der Heizlast, und der Kühllast, einschließlich der Entfeuchtungs- und Befeuchtungslast, ist der Schlüssel zum Erreichen eines hohen Effizienzniveaus. Die Größe der Geräte hat direkten Einfluss auf die:

- die Kosten der Geräte,
- Kompaktheit (Gebäudeintegration, Design, Platzbedarf), und
- Schallemissionen.

Der Systementwurf und die Komponentenauslegung sollten die Identifizierung von Synergien und Konflikten zwischen verschiedenen Technologien einschließen und versuchen, Konflikte beim Entwurf zu vermeiden:

- Vorfertigung/Industrialisierung,
- Platzeinschränkungen, und
- Regeln für die geeignete Kopplung verschiedener Teilsysteme.

Dies ist abhängig von:

Gebäude-Typ:

- Wohngebäude (MFH, EFH),
- Büro
- andere (hier nicht behandelt).

Klima:

- Kalt (z.B. Stockholm),
- moderat (z.B. Stuttgart)
- Warm (z.B. Rom).

Anwendung (je nach Gebäudetyp und Klima).

6.3.3. Größenordnung und Beiträge zum Endenergiebedarf

Eine mögliche Größenordnung für den Endenergiebedarf eines typischen Büro- und eines typischen Wohngebäudes ist in der folgenden Abbildung für ein gemäßigtes Klima dargestellt. Während in Bürogebäuden Beleuchtung und andere elektrische Verbraucher dominieren, sind in Wohngebäuden Heizung und Warmwasserbereitung von größerer Bedeutung. Der Heizwärmebedarf in Wohngebäuden mit geringer Effizienz kann einen Anteil von 50% haben und kann in Hocheffizienzgebäuden auf etwa 15% reduziert werden. In hocheffizienten Wohngebäuden hat Warmwasser einen erheblichen Anteil, und Haushaltsgeräte tragen mit etwa 50% zum gesamten Endenergiebedarf bei.

Auch in gemäßigten Klimazonen gibt es in Bürogebäuden einen signifikanten Anteil der Kühlung nahezu unabhängig von der Gebäudehülle (aber deutlich abhängig von der Verschattungsstrategie), während aktive Kühlung in Wohngebäuden normalerweise nicht erforderlich ist.

In diesem Beispiel hat ein Hocheffizienzgebäude mit guter Gebäudehülle, Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung, Wärmepumpenheizung und hocheffizienten Haushaltsgeräten (z.B. LED-Leuchten) einen "niedrigen" Bedarf im Bereich von $45 \text{ kWh}_{el}/(\text{m}^2 \text{ a})$ im Falle des Wohngebäudes und ca. $65 \text{ kWh}_{el}/(\text{m}^2 \text{ a})$ im Falle des Bürogebäudes. Ein ineffizientes Gebäude mit schlechter Gebäudehülle, Abluftanlage und elektrischer Direktheizung hat einen "hohen" Bedarf im Bereich von $90 \text{ kWh}_{el}/(\text{m}^2 \text{ a})$ im Falle des Wohngebäudes und etwa $125 \text{ kWh}_{el}/(\text{m}^2 \text{ a})$ im Falle des Bürogebäudes.

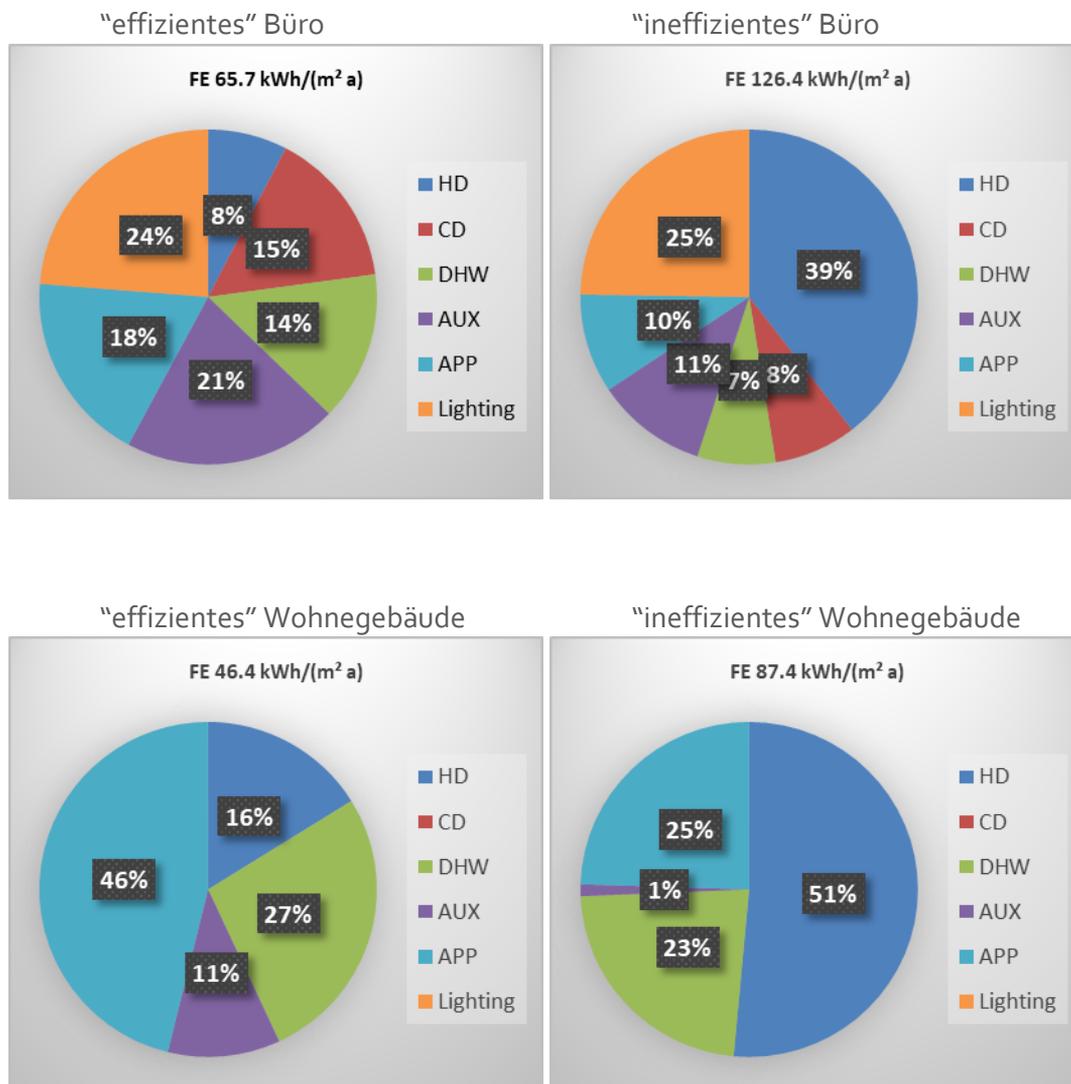


Abbildung 5: Mögliche Bandbreite des (elektrischen) Endenergiebedarfs eines typischen Bürogebäudes (oben) und eines typischen Wohngebäudes (unten); (links) hocheffizientes Gebäude mit "niedrigem" Bedarf; (rechts) ineffizientes Gebäude mit "hohem" Bedarf (HD: Heizwärmebedarf, CD: Kühlbedarf, DHW: Trinkwarmwasserbedarf, AUX: Hilfsenergie, APP: Haushaltsstrom, allgemeine elektrische Verbraucher, Lighting: Beleuchtung).

Während in Bürogebäuden ein großer Teil der Last (insbesondere Kühlung und auch Beleuchtung) tagsüber (d.h. während der Anwesenheitszeiten von Personen) auftritt, ist die Last in Wohngebäuden eher gleichmäßiger verteilt.

Anmerkung: Zusätzliche Lasten aus Aufzügen etc. werden hier nicht berücksichtigt.

In Bezug auf die Nicht-EE-Primärenergie ($f_{PE_{nonRE}} = 2,3$) ergibt sich ein Bereich von etwa 105 kWh/(m² a) bis 200 kWh/(m² a) für Wohngebäude und 150 kWh/(m² a) bis 190 kWh/(m² a) für Nichtwohngebäude (Büro), ohne Berücksichtigung von Erneuerbaren Energien (vor Ort).

6.3.4. Be- und Entfeuchtung

In kühlungsdominierten Klimazonen kann die Entfeuchtung wesentlich zur Kühllast und zum Kühlbedarf beitragen. Der Einsatz von Lüftungsanlagen mit Energierückgewinnung kann den Entfeuchtungsbedarf und die Entfeuchtungslast reduzieren. In den folgenden Abbildungen ist eine typische Last für ein Bürogebäude in einem warmen (Rom), gemäßigten (Stuttgart) und kalten (Stockholm) Klima für den Fall ohne mechanische Lüftung mit Wärmerückgewinnung (WRG / MVHR), mit Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (HRV), und mit Energierückgewinnung (d.h. Wärme und Feuchte, ERV) dargestellt.

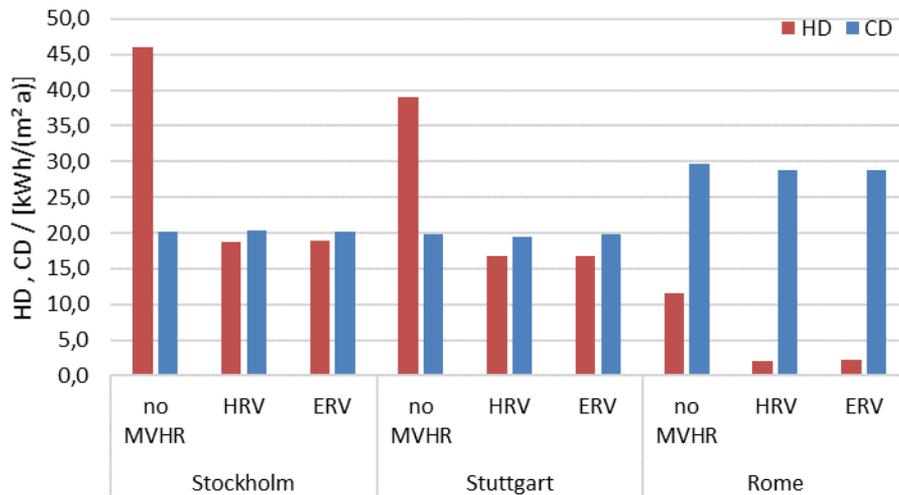


Abbildung 6: Heizwärmebedarf (HD) und Kühlbedarf (CD) für warmes (Rom), gemäßigtes (Stuttgart) und kaltes (Stockholm) Klima ohne Wärmerückgewinnung (no MVHR), mit Wärmerückgewinnung (HRV) und mit Energierückgewinnung (ERV).

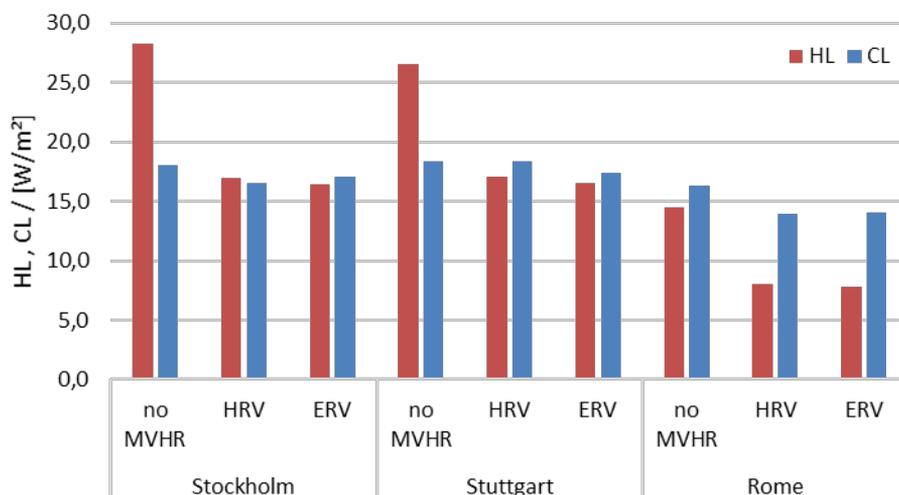


Abbildung 7: Heizlast (HL) und Kühllast (CL) für warmes (Rom), gemäßigtes (Stuttgart) und kaltes (Stockholm) Klima ohne Wärmerückgewinnung (no MVHR), mit Wärmerückgewinnung (HRV) und mit Energierückgewinnung (ERV).

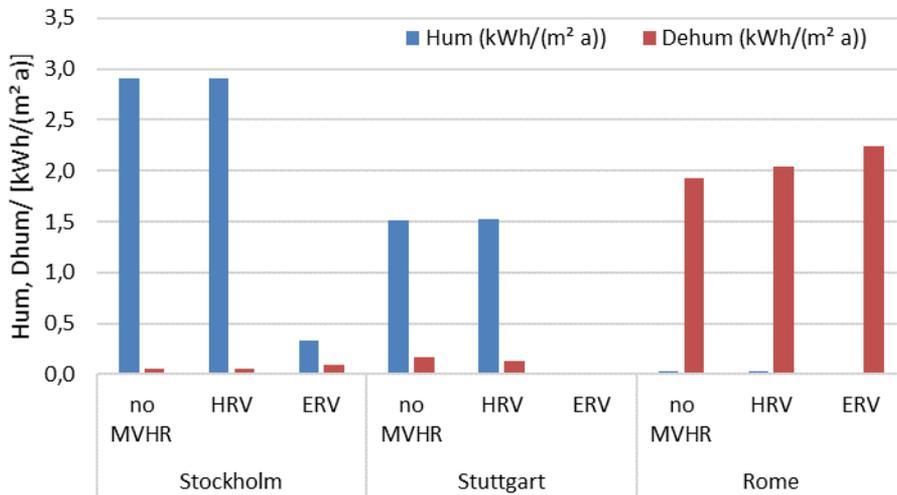


Abbildung 8: Typischer Befeuchtungsbedarf (Hum) und Entfeuchtungsbedarf (Dehum) für warmes (Rom), gemäßigt (Stuttgart) und kaltes (Stockholm) Klima ohne Wärmerückgewinnung (no MVHR), mit Wärmerückgewinnung (HRV) und mit Energierückgewinnung (ERV).

6.3.5. Heizwärmebedarf vs. Heizlast

Bürogebäude

Abbildung 9 zeigt die Heizlast (HD) als Funktion des Heizwärmebedarfs (HWB) für eine Reihe von verschiedenen Gesamtwärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) mit und ohne Lüftungsanlage (WRG/MVHR) für die drei verschiedenen Klimazonen. In Stockholm kann mit WRG (MVHR) der Wärmebedarf um ca. 30 kWh/(m² a) und die Heizlast um 12 W/m² reduziert werden. In Rom kann der Heizwärmebedarf mit WRG und guter Hüllqualität auf Null reduziert werden. Ohne WRG beträgt der Heizwärmebedarf maximal 10 kWh/(m² a) bei einer Heizlast von 14 W/m². Es ist ein leichter Anstieg des Kühlbedarfs mit zunehmender Hüllqualität (niedrigerer U-Wert und niedriger g-Wert (SHGC)) erkennbar. Es gibt keinen signifikanten Einfluss der WRG auf den Kühlbedarf und die Kühllast, wie in Abbildung 10 zu sehen ist. Anmerkung: In allen Fällen wird freie Kühlung und WRG-Bypass berücksichtigt. Aufgrund der Verschattungsregelung wird die Kühllast von den internen Gewinnen dominiert.

Für den Fall ohne WRG wird eine Abluftanlage mit einem SFP von 0,2 Wh/m³ angenommen. Es ist wichtig anzumerken, dass eine solches Abluftsystem vor allem in den kalten Klimazonen (Stockholm und Stuttgart) zu einigen unangenehmen Stunden führen würde (Kaltluftabfall, Zugserscheinungen). Für alle Varianten wird eine konstante elektrische Hilfsenergie (Regelung) von 20 W angenommen. Elektrische Energie für Hilfsgeräte und Beleuchtung sind hier zusammen mit den Haushaltsgeräten zusammengefasst.

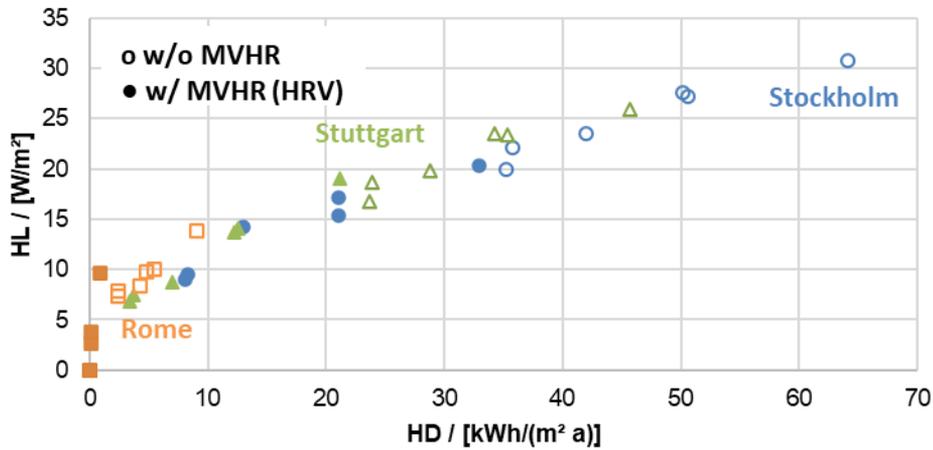


Abbildung 9: Heizlast (HL) vs. Heizwärmebedarf (HD) für Rom, Stuttgart und Stockholm mit und ohne WRG (MVHR), Leuchtstoffröhren.

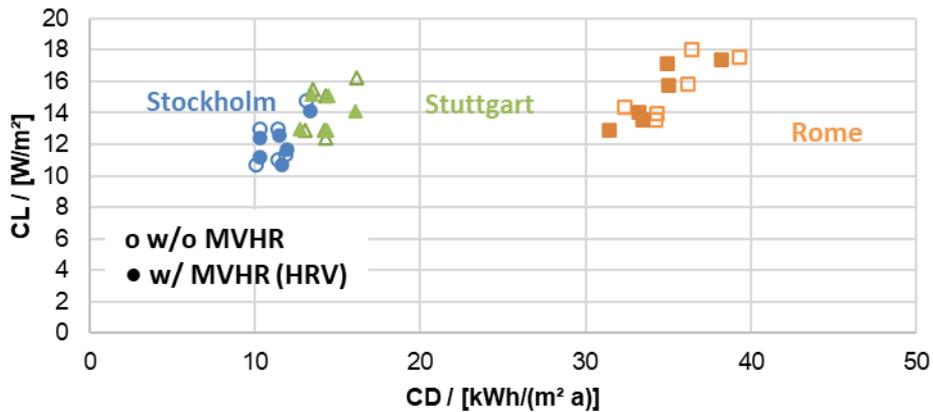


Abbildung 10: Kühllast (CL) vs. Kühlbedarf (CD) für Rom, Stuttgart und Stockholm mit und ohne WRG (MVHR), Leuchtstoffröhren.

Wohngebäude

In Wohngebäuden (hier EFH) folgt die Heizlast einem ähnlichen Trend wie im Fall der Bürozeile. Sie liegt auch in der gleichen Größenordnung wie die Heizlast des Bürogebäudes. Eine Lüftungsanlage mit WRG (MVHR) kann den Energiebedarf und die Heizlast erheblich senken, vgl. Abbildung 11.

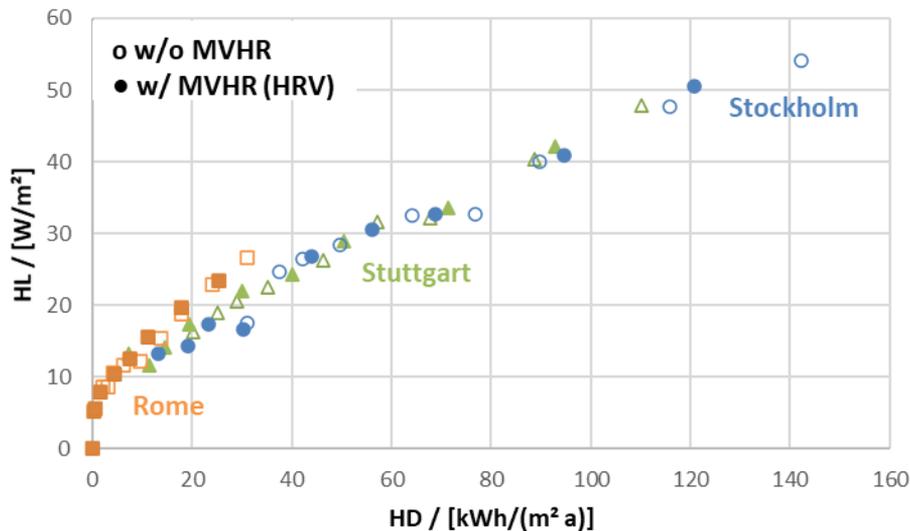


Abbildung 11: Heizlast (HL) vs. Heizwärmebedarf (HD) für Rom, Stuttgart und Stockholm mit und ohne Wärmerückgewinnung (MVHR) für ein EFH.

6.3.6. Solarpotenzial

Basierend auf der einfachen Abschätzung der Endenergie (siehe oben) kann der maximal mögliche Beitrag von EE (vor Ort) für die verschiedenen Gebäudetypen abgeschätzt werden.

Bürogebäude

Ein typisches Bürogebäude mit einer Energiebezugsfläche von z.B. 27 m² kann eine opake Fläche von 5,4 m² haben, und bei großen Bürogebäuden ist der Platz auf dem Dach zumindest in Relation zur Energiebezugsfläche in der Regel begrenzt. Das Verhältnis von PV-Fläche zur Energiebezugsfläche (EBF bzw. A_T) beträgt in diesem Fall 20%. Auch wenn diese Fassade nach Süden ausgerichtet ist und nicht z.B. durch andere Gebäude verschattet wird, ist der Jahresertrag mit etwas mehr als 20 kWh/(m²_{AT} a) vergleichsweise gering (die Endenergie liegt zwischen 65 kWh/(m²_{AT} a) und 125 kWh/(m²_{AT} a), siehe oben). So kann ein hoher Anteil der PV selbst verbraucht werden. Der Versorgungsdeckungsfaktor liegt typischerweise im Bereich von SCF = 70 % für alle Fälle und alle (hier untersuchten) Klimazonen. Der Lastdeckungsfaktor variiert stark mit dem Klima und dem Gebäudestrombedarf und reicht von 15 % (Stockholm, Gebäude mit schlechter Effizienz) bis zu 50 % in Rom (Gebäude mit hoher Effizienz).

Mit PV kann die Nicht-EE-Primärenergie in einem Bürogebäude von ca. 125 kWh_{PE}/(m²_{AT} a) auf ca. 75 kWh_{PE}/(m²_{AT} a) bzw. von 65 kWh_{PE}/(m²_{AT} a) auf ca. 15 kWh_{PE}/(m²_{AT} a) reduziert werden (auf Basis einer Nettobilanz).

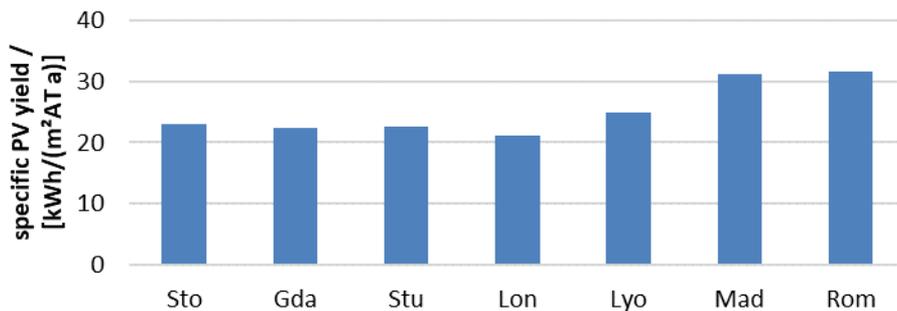


Abbildung 12: Typischer PV-Jahresertrag bezogen auf die Energiebezugsfläche (EBF bzw. treated area A_T) einer Bürozeile mit 27 m² Energiebezugsfläche und 5,4 m² opaker Fassadenfläche ca. 0,8 kWp PV.

Wohngebäude - EFH

Ein typisches EFH mit einer Energiebezugsfläche von 140 m² hat auf dem Dach Platz für eine 5 kWp PV-Anlage. Die opake Fassade ist in der Regel groß genug, um weitere 5 kWp abzudecken, aber die Installation ist wesentlich aufwändiger und damit teurer, und außerdem muss eine mögliche Verschattung in Betracht gezogen werden. Wie oben gezeigt, kann ein effizientes EFH in einem gemäßigten Klima (z.B. Straßburg) einen jährlichen Gesamtenergiebedarf von 45 kWh/(m² AT a) haben. Bei einem PV-Jahresertrag von 38 kWh/(m² AT a) mit einer Dachanlage kann selbst auf Jahresbasis der Bedarf nicht vollständig gedeckt werden. Mit zusätzlichen 5 kWp an der Fassade würde sich der Jahresertrag (ohne Verschattung) auf ca. 60 kWh/(m² AT a) erhöhen.

Typischerweise liegt der Lastdeckungsfaktor (LCF) in Wohngebäuden (EFH) im Bereich von 10% für Gebäude mit geringer Effizienz bis etwa 40% für Gebäude mit hoher Effizienz. Der Versorgungsdeckungsfaktor (SCF) ist im Bereich von 40% relativ unabhängig von der Gebäudequalität (für die 5 kWp-Anlage und ohne große zusätzliche Speicherkapazitäten). Der SCF kann mit Batterien um ca. 10%-Punkte erhöht werden, während der LCF um nur ca. 5% erhöht werden kann. Mit PV kann die Nicht-EE-Primärenergie des effizienten EFH von ca. 105 kWh/(m² a) auf ca. 60 kWh/(m² a) reduziert werden bzw. auf etwa Null bei einer Jahres-Nettobilanz.

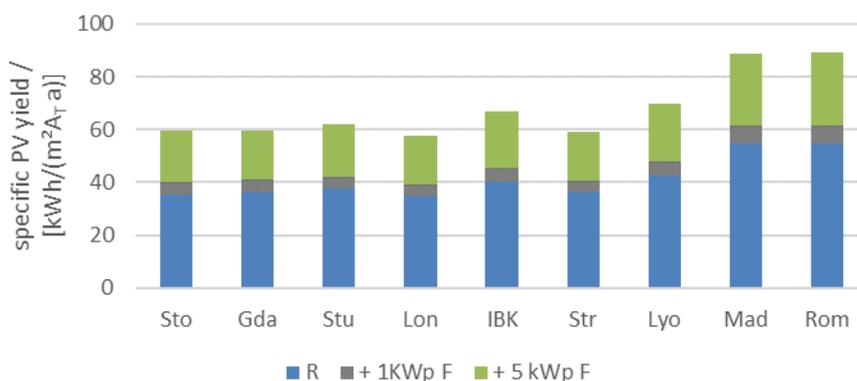


Abbildung 13: Typischer PV-Jahresertrag bezogen auf die Energiebezugsfläche eines Einfamilienhauses (EFH) mit 140 m² Energiebezugsfläche und 5 kWp PV-Anlage auf dem Dach (45° Süd) und optional zusätzlich 1 kWp oder 5 kWp an der Südfassade.

Wohngebäude - MFH

Größe, Form und Anzahl der Stockwerke können bei Mehrfamilienhäusern erheblich variieren, und mit zunehmender Anzahl der Stockwerke nimmt der Ertrag einer PV-Anlage auf dem Dach anteilig für jede Wohnung offensichtlich ab. In einem typischen 5-stöckigen Gebäude könnte die Energiebezugsfläche 700 m² betragen, die verfügbare Dachfläche 80 m² und die opake Fassade 115 m² (nach Süden ausgerichtet). Der Heizwärmebedarf ist typischerweise niedriger als in EFH (wegen des besseren Verhältnisses von Oberfläche zu Volumen), stattdessen ist der Warmwasserbedarf wegen der höheren Belegung und der höheren Verteilungsverluste typischerweise höher.

Das Verhältnis von PV-Fläche zur Energiebezugsfläche ist mit 10% ohne Fassade und etwa 30% mit Fassade im Vergleich zur EFH relativ gering (23% ohne Fassade und 45% mit Fassade).

Insgesamt liegt der Lastdeckungsfaktor in einem hocheffizienten MFH mit PV auf dem Dach im Bereich von 25% bis maximal 30% bei einem Versorgungsdeckungsfaktor von typischerweise nicht mehr als 65%.

6.4. Gebäude-, Anlagen- und EE-Simulation

6.4.1. Modellierung und Modellierungsansatz

Ein optimaler HLK-Entwurf ist fallspezifisch (abhängig von Art und Nutzung des Gebäudes, Standort usw.), und es wird eine sorgfältige Auslegung und Dimensionierung des Systems und der Komponenten empfohlen. Die Gebäude- und Anlagen-Simulation kann dazu beitragen, das Systemdesign, die optimale Inbetriebnahme und den Betrieb (d.h. die Regelung) des Systems zu verbessern.

Die große Auswahl von Technologien und Systemkonzepten und -kombinationen zusammen mit den verschiedenen Ebenen und Größenordnungen dieses multidimensionalen Optimierungsproblems ist eine echte Herausforderung.

Einige Aspekte, wie Raumluftqualität, thermische Behaglichkeit, und insbesondere auch die visuelle Behaglichkeit, können nur auf einer detaillierten Ebene, d.h. auf Raum- oder Bürozellenebene, untersucht werden. Auch einige Aspekte der Fassadenintegration erfordern einen Blick ins Detail, d.h. auf die Komponentenebene (z.B. fassadenintegrierter PVT-Kollektor gekoppelt mit einem dezentralen Lüftungsgerät oder einer Wärmepumpe).

Andere Aspekte wie die Untersuchung des Einflusses einer Technologie in einem Gebäude in Wechselwirkung mit dem Stromnetz erfordern die Gebäude- und Anlagen Systemebene oder sogar die Stadtteil- oder regionale Ebene (wie z.B. bei Anschluss an das Fernwärmesystem).

Referenzgebäude oder Benchmark

Ein gemeinsames Referenzgebäude ist nützlich, um verschiedene Technologien einschließlich des Einflusses verschiedener Klimazonen zu vergleichen. Der resultierende Primärenergieverbrauch einer bestimmten Technologie und Regelungsstrategie kann direkt mit denen anderer Lösungen verglichen werden. Für ein gemeinsames Referenzgebäude ist eine detaillierte Beschreibung erforderlich:

- Geometrie (Größe, Verglasungsverhältnis, Ausrichtung, Erdkopplung).
- Gebäudeenergiestandard (Qualität der Gebäudehülle, Luftdichtheit usw.).
- Standort.
- Nutzung (Nutzungsprofil, interne Gewinne, Belüftung und Verschattung).
- Soll-Temperatur.
- Heizung (Betriebstemperatur, d.h. Vorlauf und Rücklauf).
- Kühlung (Betriebstemperatur, d.h. Vorlauf und Rücklauf).
- Entfeuchtung (absolute Feuchtigkeit).
- Belüftung/Infiltration:
 - Luftdichtheit und Fensterbelüftung;
 - mechanische Lüftungsrate / Wirksamkeit der Wärmerückgewinnung;
 - Nachtlüftung (Volumenstrom und Regeleinstellungen und -sollwerte).
- Beschattung (Reduktionsfaktor und Regeleinstellungen und -sollwerte).

Im Falle von Wohngebäuden dient ein spezifisches Gebäude mit einem Referenzsystem als Benchmark. Die Lösungen für die Solaren Fassaden werden im Hinblick auf die Energieeffizienz und den Primärenergieverbrauch mit diesem Benchmark verglichen. Die Aufrechterhaltung des thermischen Komforts und der Raumluftqualität muss für jede Lösung nachgewiesen werden und ist eine Voraussetzung.

Zonierung

Gebäudemodelle und Modellierungsansätze müssen die verschiedenen Maßstäbe berücksichtigen, und eine geeignete thermische Zonierung ist der Schlüssel zur genauen Vorhersage der Effizienz und Leistung einer Technologie auf Gebäudeebene und ermöglicht gleichzeitig die Untersuchung des Einflusses auf den Komfort bzw. der Regelung, um das Gebäude innerhalb des Komfortbereichs zu halten und die erforderliche RLQ zu gewährleisten.

Insbesondere die Untersuchung von Tageslicht und Blendung, die eine Zonierung auf Raumebene und gleichzeitig die Berücksichtigung der Abhängigkeiten mit dem HLK-System eines Gebäudes erfordert, ist eine herausfordernde Aufgabe.

Ein 1-Zonen-Modell eines Gebäudes ist in der Regel ausreichend, um den Heiz- und Kühlbedarf eines Gebäudes ausreichend genau vorherzusagen. Es ist jedoch nicht möglich, den Einfluss unterschiedlicher Nutzung, Funktion und Belegung von Zonen, Orientierung, Lage (innen/außenliegend, oben/zentral/unten), usw. vorherzusagen. Außerdem ist die korrekte Vorhersage der Wärmekapazität und des Feuchtigkeitspuffers des Gebäudes nur begrenzt möglich.

Ein 1-Zonen-Modell einer Zelle (oder einer Wohnung oder eines Raumes in einem MFH) ist einfach und schnell zu entwickeln, erlaubt aber weder die Modellierung eines zentralen HLK-Systems noch die Interaktion mit dem Stromnetz.

Mehrzonensmodelle sind komplex, erfordern viele Informationen, die während der Planungsphase des Gebäudes möglicherweise nicht verfügbar sind, und zeichnen sich durch lange Simulationszeiten aus.

Die Extrapolation des Energiebedarfs (Heizen/Kühlen) von einer Bürozelle (oder einer Wohnung) auf das gesamte Gebäude beschränkt sich auf einfache Geometrien und ist fehleranfällig. Umgekehrt ist eine Vorhersage des thermischen und visuellen Komforts auf der Grundlage eines Ein-Zonen-

Gebäudes ebenfalls nicht möglich. Um beides mit einem Modell genau vorhersagen zu können, sind daher entweder sehr komplexe Modelle erforderlich oder es müssen Unsicherheiten in Kauf genommen werden.

Von der Zelle zum Gebäude ...

Es gibt einige Ansätze, um von einer Zelle/Zone auf das gesamte Gebäude zu extrapolieren, aber es sind weitere Arbeiten dazu erforderlich und konnten im Rahmen der IEA SHC Task 56 nicht weiterverfolgt werden.

6.4.2. Workflow

Im Subtask C des IEA SHC T56 wurde die folgende Methodik entwickelt und implementiert:

- Auf Simulation (oder Berechnung oder Monitoring) basierende Bewertung des Gebäudes (z.B. Bürozone, Bürogebäude, Wohnung oder Gebäude).
- Ermittlung des monatlichen Energiebedarfs (Nutzenergie UE):
 - Wärmebedarf,
 - Kühlungsbedarf,
 - Warmwassersbedarf,
 - Hilfsenergiebedarf,
 - Lichtbedarf, und
 - Haushaltsstrombedarf.
- Bewertung der Effizienz von HLK-Systemen (z.B. Wärmepumpe, Solarwärmepumpe usw.).
- Ermittlung des Bedarfs an elektrischer Energie (Endenergie).
- (vor Ort) EE-Erzeugung (PV, PVT), Analyse auf Zeitschritt-Ebene, mindestens monatlich:
 - PV Eigenverbrauch
 - LCF
 - SCF
- Monatlicher Verbrauch an elektrischer Energie.
- Elektrische Energiebilanz -> monatlich eingekaufte (elektrische) Energie (Netzlaster).
- Strom-Mix (fossil, nuklear, EE), monatliche Nicht-EE-PE-Umrechnungsfaktoren
- -> Nicht-EE-Primärenergiebedarf / Primärenergieeinsparungen (in Bezug auf Referenz).
- Wirtschaftliche Analyse (Kosten pro eingesparte kWh_{PE} auf der Grundlage von LCC).

Für die Berechnung/Simulation der Zelle des Referenzbüros (siehe Abbildung 14) wurden verschiedene Programme verwendet. Die validierten Modelle werden auf der Web-Plattform IEA SHC Task56 veröffentlicht und sind frei verfügbar. Zusammen mit den Modellen wird ein „Factsheet“ zur Verfügung gestellt, in dem eine kurze Beschreibung über die Verwendung der Modelle enthalten ist. Die Beschreibung der Programme, das Verfahren zur Kalibrierung der Modelle sowie die Stärken und Schwächen der Programme befindet sich im englischen Bericht, der auf der IEA SHC Task56-Webplattform verfügbar ist.

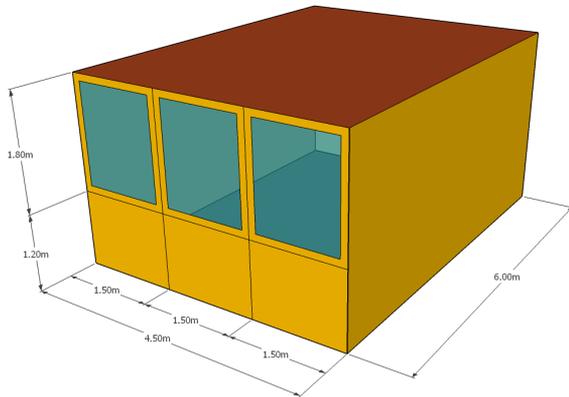


Abbildung 14: 3D Ansicht auf die Referenz-Bürogebäudezelle.

Vorentwurfs-Tools vs. spezialisierte-Design und Optimierungs-Tools

Der Bau eines neuen Gebäudes oder eine gründliche Renovierung durchlaufen mehrere Phasen. In jeder Phase des Projekts hat der Benutzer unterschiedliche Bedürfnisse. In der Regel werden in der Vorplanung verschiedene Lösungen untersucht und verglichen, wobei die Details außer Betracht bleiben. In diesem ersten Schritt stehen in der Regel keine detaillierten Daten zur Verfügung und Vorentwurfs-Tools, die in der Lage sind, schnell Ergebnisse zu liefern, sind vorzuziehen.

Sobald die beste Lösung oder ein begrenzter Satz von Lösungen (für die Gebäudehülle und die HLK) feststeht, können diese im Detail untersucht und optimiert werden. Um die Details der Interaktion zwischen dem Gebäude und den HLK-Komponenten zu analysieren, wird ein Tool benötigt, das das dynamische Verhalten des untersuchten Systems vorhersagen kann.

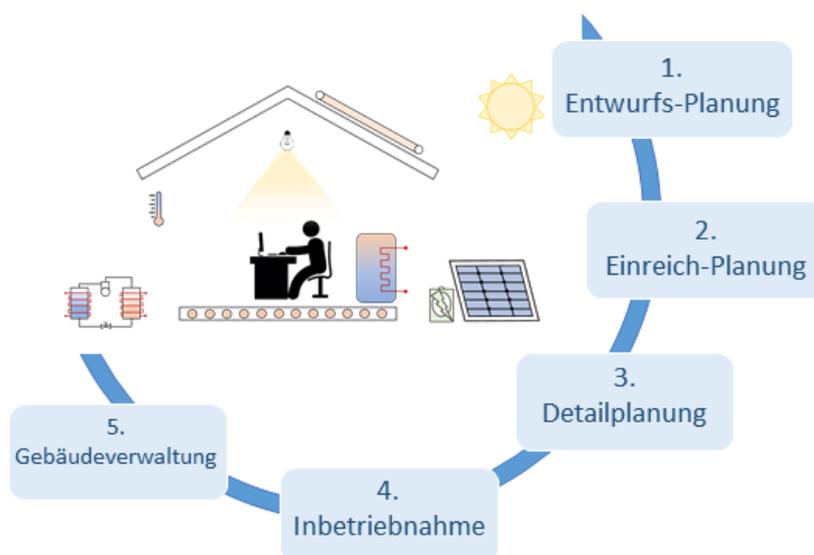


Abbildung 15: Schematische Darstellung der Bauplanungsphasen.

Monitoring

Im Falle eines Monitorings (Demo-Gebäude) besteht in der Regel auch die Notwendigkeit, den gemessenen Energiebedarf zu Normalisierung in Bezug auf:

- Klima (Umgebungstemperatur, Sonneneinstrahlung);
- Benutzer-Verhalten;
- Innentemperatur (Sollwert);
- Belegung (interne Gewinne);
- Belüftung;
- Beschattung;
- Warmwasserbedarf;
- usw.

Die Gebäude-, Anlagen- und EE-Simulation kann diesen Prozess unterstützen.

6.5. Fallstudien zur Kostenoptimalen Integration von BIPV

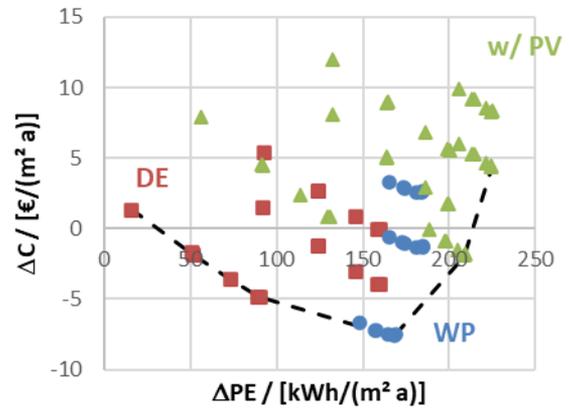
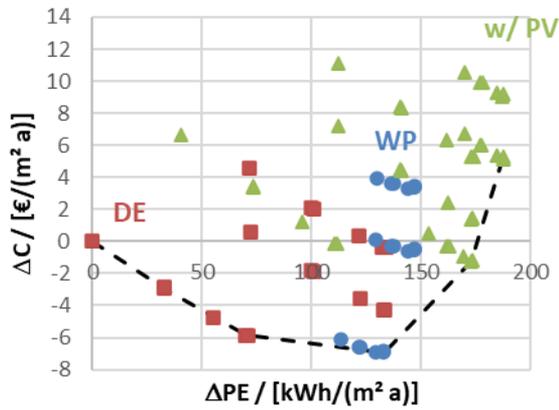
6.5.1. Beiträge Nationale Projekte (FFG Projekt IEA SHC T56)

Kostenoptimalität für Bürogebäude - Variation der Gebäudehülle und Anlagentechnik und BIPV (UIBK)

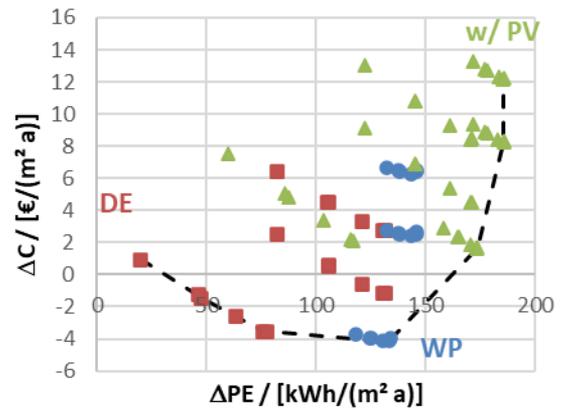
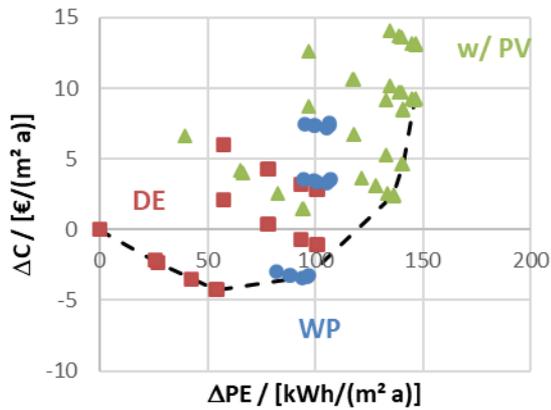
Diese Studie vergleicht die Effizienz (in Bezug auf Kosten vs. Primärenergie bzw. Kostendifferenz vs. Primärenergieeinsparung) und die Kostenoptimalität (in Bezug auf Kosten pro eingesparter kWh Primärenergie vs. Primärenergieeinsparung) für die Bürozelle in drei Klimazonen durch Variation der Qualität der Gebäudehülle, der Anlagentechnik (WRG, Wärmepumpe) und unter Berücksichtigung von EE (BIPV), siehe Abbildung 16.

Abhängig davon, ob heizungs- oder kühlungsdominierte Standorte berücksichtigt werden, unterscheiden sich die kostenoptimalen Lösungen bzw. Kombinationen aus passiven und aktiven Komponenten deutlich, jedoch ist das Kostenoptimum jeweils in einem ähnlichen Bereich der Primärenergie. In kalten Klimazonen sind effiziente Fassaden und der Einsatz von Wärmepumpen kostenoptimal, in südlichen Standorten (hier am Bsp. Rom) dagegen hat die Qualität der Gebäudehülle keinen signifikanten Einfluss auf die Gesamteffizienz des Gebäudes. Hier kann mit einem (BI)PV-System der Netzstrombedarf im Falle von Leuchtstoffröhren auf ca. 67% und im Falle von LED auf ca. 50% reduziert werden. In allen untersuchten Klimazonen wird bei allen Systemkombinationen die Verwendung von LED anstelle von Leuchtstoffröhren empfohlen.

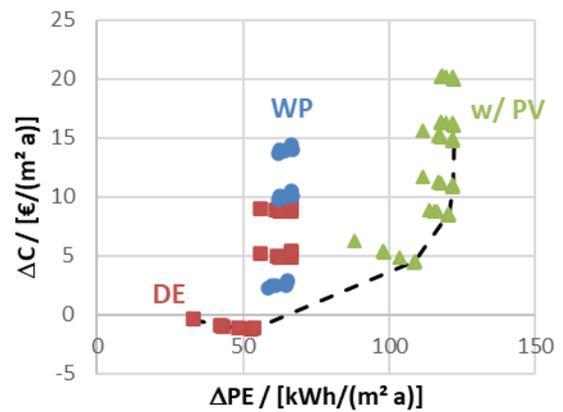
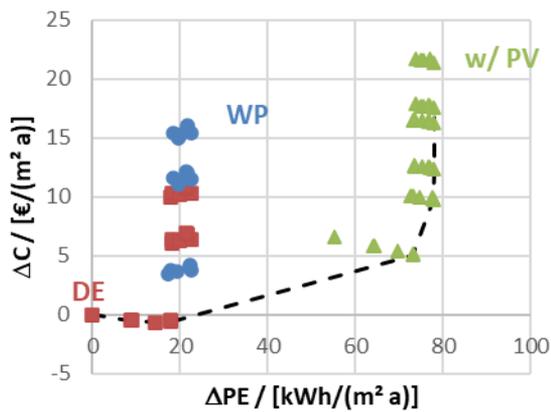
Die Ergebnisse zeigen jedoch auch, dass (BI)PV unter den gegebenen Randbedingungen nicht wirtschaftlich ist, weder in den kühl- noch in den heizungsdominierten Klimazonen. Andererseits ist PV erforderlich, um den Primärenergiebedarf auf ausreichend niedrige Primärenergie zu reduzieren.



(a)



(b)



(c)

Abbildung 16: Spezifische jährliche kapitalisierte Differenzkosten (ΔC) als Funktion der spezifischen Primärenergieeinsparungen (ΔPE) im Vergleich zum Referenzfall für die

untersuchten Fälle in den drei Klimazonen (Stockholm (a), Stuttgart (b), Rom (c)); für Leuchtstoffröhren (links) und LED-Beleuchtung (rechts)

Aus den Ergebnissen dieser Studie kann schlussgefolgert werden, dass auf europäischer Ebene empfohlen werden kann, in zentralen/nördlichen Klimazonen eher die Verbesserung der Gebäudehülle und den Einsatz von Wärmepumpen zu fördern und es aber Vorteile hat den Einsatz von PV in südlichen Klimazonen zu subventionieren.

Analyse der Auswirkungen verschiedener HLK-Konfigurationen und Regelungsstrategien auf den Primärenergieverbrauch und die Gesamtkosten für ein Bürogebäude (UIBK)

In der vorliegenden Studie werden verschiedene Technologien für die Renovierung eines Bürogebäudes bewertet, wobei sowohl die wirtschaftliche Durchführbarkeit als auch die Umweltauswirkungen für die Klimazonen von Rom, Stuttgart und Stockholm berücksichtigt werden.

Dezentrale Heiz- und Kühlsysteme (bzw. Luft-Luft, On/Off und modulierend), werden in Kombination mit Photovoltaikpaneelen (PV), Batterie und effizienter Beleuchtung (LED) berücksichtigt, um die erreichbaren Energieeinsparungen und die zusätzlichen Kosten zu untersuchen.

Die Umweltauswirkungen werden in Form von Einsparung des Stromverbrauchs und der Primärenergie (PE_{tot}) bewertet, die mit konstanten und monatlichen Umrechnungsfaktoren berechnet werden, die verschiedene Szenarien mit unterschiedlichem Anteil erneuerbarer Energien am Strom-Mix darstellen.

Es konnte beobachtet werden, dass die Methode zur Berechnung der Energieeinsparungen das Ranking der Renovierungspakete beeinflusst. Hohe Energieeinsparungen mit geringen Zusatzkosten sind mit WP in Kombination oder nicht mit LED und PV in Stockholm und Stuttgart und mit LED und PV in Kombination mit elektrischer Heizung in Rom erreichbar. Die Batterie bringt zusätzliche Energieeinsparungen jedoch mit hohen Zusatzkosten.

Einfluss von integralen Tages- und Kunstlichtlösungen auf Energiebedarf und Benutzerkomfort (Bartenbach)

Integrale Steuerungsstrategien für Tages- und Kunstlichtsysteme spielen eine entscheidende Rolle, um dem Gebäudenutzer ein hohes Maß an visuellem und thermischem Komfort zu ermöglichen und gleichzeitig den Energiebedarf für Heizung, Kühlung und Beleuchtung zu senken. In der durchgeführten Studie wurde das Potenzial für Energieeinsparung und Benutzerkomfort an verschiedenen Beschattungs- und Tageslichtumlenkssystemen analysiert und in Kombination mit einem dimmbaren, auf Tageslicht ergänzenden Kunstlichtsystem bewertet. Neben dem Energiebedarf wurden die Anforderungen an den visuellen Komfort durch Tageslichtverfügbarkeit und Blendschutz bewertet. Diese Studie repräsentiert eine typische Büroeinrichtung mit einer nach Süden ausgerichteten Fassade und beinhaltet eine vergleichende Bewertung für die verschiedenen Standorte in Stockholm, Stuttgart und Rom.

Im Rahmen der IEA SHC Task 56 wurden verschiedene Lösungen für integrierte Solarfassaden bei Büro und Wohngebäude untersucht und mittels Gebäude- und Systemsimulation bewertet. Um eine optimale Fassadenintegration durch teilweise widersprüchliche Technologien wie HLK, erneuerbare Energien und Beleuchtung zu erreichen, war die Steuerungsoptimierung dieser Systeme eines der Hauptziele, um eine optimale Lösung vorzuschlagen. Voraussetzung ist, dass für jede Lösung thermischer und visueller Komfort gewährleistet ist. Darüber hinaus besteht der Bedarf, den Einfluss

von geeigneten Tageslichtstrategie auf die resultierenden Heiz- und Kühlanforderungen bzw. -lasten zu verstehen. Während Ersteres die Reduzierung der Betriebskosten über die gesamte Lebensdauer ermöglicht, könnte Zweites die Optimierung der HLK-Dimensionierung und damit die Reduzierung von Investitionskosten ermöglichen. Dies könnte in Zukunft ein zusätzlicher Treiber für innovative Tageslichtlösungen sein.

Als Testmodell wurde eine nach Süden ausgerichtete Bürozeile (Breite: 4,5 m / Tiefe: 6 m / Höhe: 3 m) untersucht, die aus drei unabhängigen Fassadenbereichen von jeweils 1 m Höhe besteht: einer opaken Brüstung (FA₁) und zwei transparenten Fassadenbereichen (FA₂ / 3). Beide sind entweder mit einem beweglichen Beschattungs- oder einem Tageslichtumlenksystem ausgestattet. Die Steuerung des Fassadensystems umfasst sowohl: (1) eine einstrahlungsbasierte Steuerung zur Vermeidung von Überhitzung im Sommer als auch (2) eine Blendschutzsteuerung basierend auf einem Leuchtdichteschwellwert an der Innenseite der Fassade. Die Steuerung des künstlichen Lichts wird in drei unterschiedlichen Modi untersucht: (1) entweder ständig eingeschaltet während der Belegung, (2) in einer Ein-Aus-Strategie basierend auf der Verfügbarkeit von Tageslicht oder (3) kontinuierlich gedimmt, abhängig vom verfügbaren Tageslicht, um 500 lx auf der Arbeitsebene zu garantieren. Die verschiedenen Szenarien werden in drei Fällen zusammengefasst, die in Tabelle 3 aufgeführt sind. Jeder Fall stellt eine schrittweise Verbesserung dar und wird mit der Referenz verglichen, die den einfachsten Fall darstellt, bei dem ein herkömmlicher Beschattungsscreen als Sonnenschutz und Kunstlicht während der Belegungszeit aktiv ist.

Tabelle 3: Untersuchte Fallstudien zur verbesserten Integration von Tageslichtsystemen.

Fallstudien	Fassaden- und Kunstlichtsituation
Referenzfall	Kunstlicht während der Belegung ständig an Verglaste Fassade + Sonnenschutz mit außenliegendem Screen
Fall 1 + tageslichtabhängige Kunstlichtsteuerung	Kunstlicht on/off, basierend auf Tageslichtverfügbarkeit Verglaste Fassade + Sonnenschutz mit außenliegendem Screen
Fall 2 + Tageslichtumlenksystem	Kunstlicht on/off, basierend auf Tageslichtverfügbarkeit Verglaste Fassade + Beschattungslamelle (FB ₂) und Spiegellamelle (FB ₃)
Fall 3 + tageslichtabh. Kunstlichtsteuerung & Tageslichtumlenkung	Kunstlicht gedimmt, basierend auf Tageslichtverfügbarkeit Verglaste Fassade + Beschattungslamelle (FB ₂) und Spiegellamelle (FB ₃)

Für die Auswertung der Studie wird DALEC - "Day- and Artificial Light with Energy Calculation" verwendet. Es Entwurfswerkzeug für Lichtdesigner, Architekten und Bauingenieure in der frühen Planungsphase gedacht und ermöglicht eine einfache und schnelle Bewertung verschiedener Fassadenlösungen. Obwohl die Software einfach zu bedienen ist, berücksichtigt sie die komplexen Wärme- und Beleuchtungsprozesse in Gebäuden und ermöglicht eine einfache Bewertung der Heiz-, Kühl- und Kunstlichtlasten. Innerhalb des IEA SHC Task 56 wurde DALEC validiert und mit mehreren anderen dynamischen Simulationswerkzeugen verglichen.

Die untersuchten Fälle zeigen einen signifikanten Rückgang des Energiebedarfs für künstliches Licht durch Implementierung einer Dimmsteuerungsstrategie unter Berücksichtigung der Verfügbarkeit

von Tageslicht. Der visuelle Komfort in Bezug auf Blendschutz und ausreichende Tageslichtautonomie kann durch eine verbesserte Steuerungsstrategie von Blindsystemen zur Tageslichtumlenkung angemessen berücksichtigt werden. Tageslichtumlenksysteme zeigen in allen Klimazonen Vorteile, insbesondere für die Tageslichtung im fassadenfernen Bereich sowie für eine gleichmäßige Lichtverteilung. Trotzdem ist es immer ein Gleichgewicht zwischen solare Gewinne (zunehmende Kühllasten) und Tageslichtverfügbarkeit (erhöhte Tageslichtautonomie). Die Ergebnisse für eine kontinuierliche Tageslichtautonomie in Fall 3 sind gleich wie in Fall 2, sie unterscheiden sich nur im Kunstlichtbedarf aufgrund der verbesserten Dimmsteuerung, vgl. Abbildung 17.

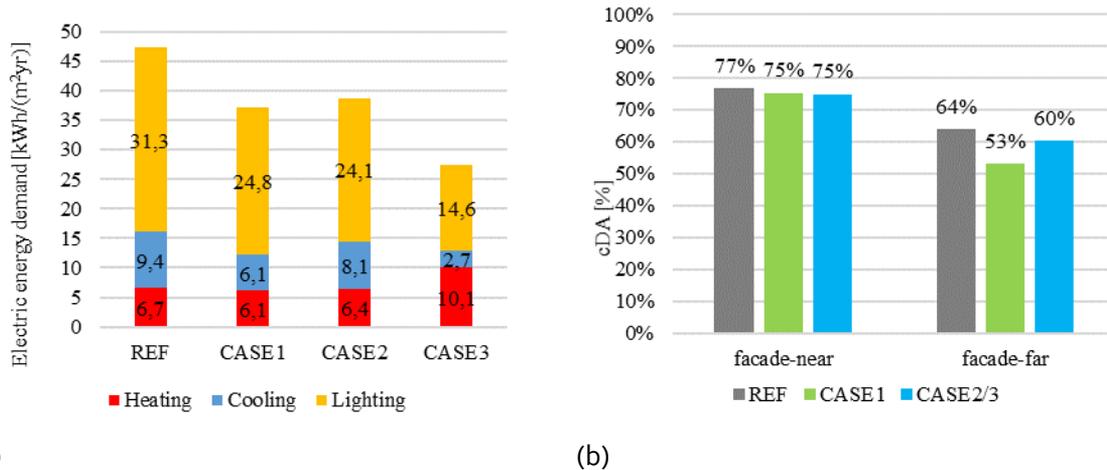


Abbildung 17: Elektrischer Energiebedarf für Heizen, Kühlen und Beleuchtung (a) und kontinuierliche Tageslichtautonomie (b) für Stockholm.

Fallstudie Renovierung eines Mehrfamilienhauses (Projekt SaLÜH!)

Eine Simulationsstudie zu einem Mehrfamilienhaus (MFH) mit dezentralem (d.h. wohnungsweisem) System für Heizung und Warmwasserbereitung und einer Photovoltaikanlage (PV) wurde in der Simulationsumgebung CARNOT/Simulink durchgeführt, um das Potenzial zur Reduzierung des Netzstrombezugs zu evaluieren. PV-Strom wird selbst verbraucht und deckt den Strombedarf für Heizung, Warmwasserbereitung, Lüftung und Haushaltsgeräte ab. Es werden mehrere Technologien in Betracht gezogen, um verschiedene Konzepte zu untersuchen. Für die Raumheizung und die Warmwasserbereitung werden ein elektrisches System, Wärmepumpen (WP) und eine Kombination aus diesen in Betracht gezogen. Darüber hinaus werden vier Varianten von PV-Installationen (keine PV, Dach, Fassade oder Dach u. Fassade) untersucht. Um die Ergebnisse zu untersuchen, werden konstante und monatliche Primärenergie (PE) Faktoren (f_{PE}) berücksichtigt. Schließlich wird eine Kostenanalyse durchgeführt, um die wirtschaftliche Machbarkeit der vorgestellten Varianten zu bewerten.

Die Ergebnisse der Simulationen zeigen, dass nur ein rel. kleiner Prozentsatz (unter 26%) des Strombedarfs aus PV gedeckt werden kann. Abbildung 18 zeigt den Energiebedarf für verschiedene PV-Flächen. Eine PV-Installation auf dem Dach und eine PV-Installation an der Fassade führt zur gleichen Jahresenergieproduktion, wenn die PV-Fläche an der Fassade 41% mehr beträgt als nur das Dach (am Standort Innsbruck). Die Installation eines PV-Feldes auch an der Fassade (zusätzlich zum Dach) der Wohnung führt aufgrund des geringen Eigenverbrauchs nicht zu einer signifikanten Reduzierung des vom Netz bezogenen Stroms (-11% im besten Fall). Der Einsatz eines täglichen

Stromspeichers könnte evaluiert werden, um den selbst verbrauchten Strom zu erhöhen (maximal 95% im Falle von PV-Dach + Fassade).

Die Verwendung von Jahres-Primärenergiefaktoren anstelle von Monatswerten überschätzt die Reduzierung des Primärenergiebedarfs durch PV in allen Fällen im Vergleich zum Fall ohne die Photovoltaikanlage. Eine maximale Reduzierung des PE-Bedarfs von 24% (im Vergleich zum Fall ohne PV-Anlage) kann erreicht werden, wenn PV auf dem Dach und an der Fassade installiert wird und ein monatlicher Primärenergieumrechnungsfaktor mit einem Jahresmittelwert von 1,64 angenommen wird. Der PE-Bedarf kann erheblich reduziert werden (-4,6% im Falle von HP sowohl für Raumheizung als auch für Warmwasser, das stündliche Profil von Warmwasser und PV auf dem Dach und der Fassade) im Vergleich zum Fall ohne PV, wenn die tägliche elektrische Speicherung berücksichtigt wird. Die Einsparung des PE-Bedarfs wird leicht überschätzt (je nach Fall zwischen 1% und 6%) im Falle der jährlichen f_{PE} im Vergleich zu dem Fall, in dem monatliche f_{PE} -Werte berücksichtigt werden.

Alle Fälle führen zu Primärenergieeinsparungen im Vergleich zum Referenzfall (elektrische Anlage ohne PV). Konzepte mit PV auf Dach + Fassade sind die einzigen, die zu einer Kostensteigerung führen. PV auf dem Dach zeigt höhere wirtschaftliche Einsparungen im Vergleich zur PV auf der Fassade. Der optimale Fall für PE und Kosten ist derjenige mit HP sowohl für Heizung als auch für Warmwasser- und PV-Installation auf dem Dach.

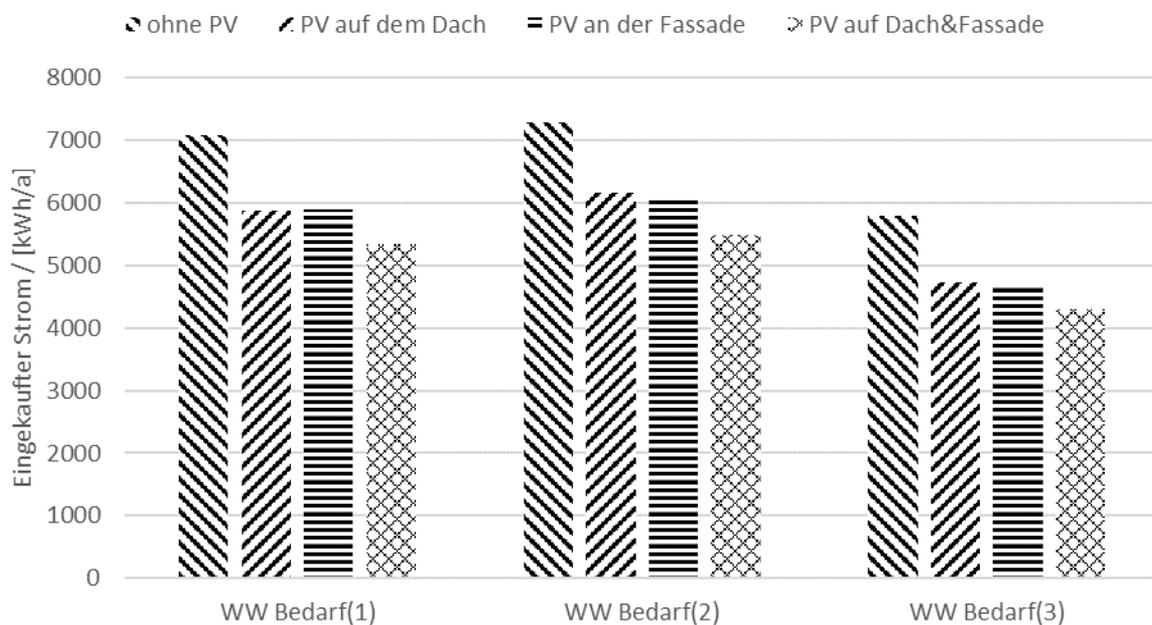


Abbildung 18: Jährlich eingekaufter Strom je nach PV-Größe für drei verschiedene Warmwasserbedarf. Es werden nur Fälle mit Luft/Luft WP als Heizsystem berücksichtigt

HVACviaFacade (AEE INTEC)

Basierend auf dem Forschungsprojekt HVACviaFACADE wurden Lösungen für ein saniertes mehrstöckiges Wohngebäude mit 12 Wohnungen untersucht und bewertet.

Für die Simulation wurde der Ansatz einer virtuellen Durchschnittswohnung gewählt, was bedeutet, dass der Wärmebedarf der Wohnung 1/12 des gesamten Gebäudes beträgt. Die Simulationen wurden für das Klima von Graz, Österreich, mit der Simulationssoftware TRNSYS durchgeführt.

Die untersuchten dezentralen fassadenintegrierten Solartechnologien bestehen aus einem Referenzsystem und fünf alternativen Lösungen. Das Referenzsystem ist ein direktes elektrisches Heizsystem zur Raumheizung und Warmwasserbereitung. In diesem Referenzsystem ist keine PV-Anlage enthalten. Die fünf alternativen Lösungen sind:

- Referenzsystem + 14,6 m² PV pro Wohnung an der Fassade
- Referenzsystem + 34,9 m² PV pro Wohnung an der Fassade und auf dem Dach
- Außenluft-Wärmepumpe für Heizung und Warmwasserbereitung, ohne PV
- Außenluft-Wärmepumpe + 5,6 m² PV pro Wohnung an der Fassade
- Außenluft-Wärmepumpe +14,6 m² PV pro Wohnung an der Fassade

Die wichtigsten Kenngrößen, die für die Bewertung der Konzepte verwendet wurden, sind der Primärenergiebedarf unter Verwendung verschiedener Primärenergiefaktoren (Monats- und Jahresfaktoren) und die Lebenszykluskosten über 20 Jahre.

Die Analyse der Simulationsergebnisse zeigt, dass das Primärenergie-Reduktionspotenzial im Vergleich zum Referenzsystem zwischen 20 und 110 kWh/m²a beträgt. Die zusätzlichen Lebenszykluskosten der alternativen Lösungen liegen zwischen 1 und 8,5 EUR/m²a. Die höchsten Primärenergie-Reduktionen, aber auch die höchsten Kosten, werden von den Systemen mit einer großen PV-Anlage erreicht.

Kostenoptimalität am Bsp. eines Einfamilienhaus - Variation der Qualität der Gebäudehülle und Anlagentechnik sowie Integration von EE (UIBK)

Ein typisches freistehendes Einfamilienhaus (EFH) wird als virtuelle Fallstudie verwendet, um die kostenoptimale Konfiguration der Gebäudehülle, der Anlagentechnik und der Integration erneuerbarer Energien (PV) für verschiedene europäische Klimabedingungen zu untersuchen.

Das Einfamilienhaus mit 2 Geschossen und 140 m² Energiebezugsfläche ist das in der IEA SHC T44/HPT A38 bzw. dem IEA HPT A 49 verwendete Referenzgebäude und dort im Detail beschrieben.

Die folgenden Varianten des Systems werden in der Studie untersucht:

- Mit und ohne mechanische Lüftung mit Wärmerückgewinnung (MVHR)
- Heizung und Warmwasserbereitung: Direkte elektrische luft- oder erdgekoppelte Wärmepumpe
- Mit oder ohne Duschwasserrückgewinnung (DWRG/SDWR)
- Mit oder ohne PV: 5 kWp (30 m² auf dem Süddach mit einer Gesamtfläche von 32,5 m²) + sowie wahlweise 1 kWp oder 5 kWp an der Südfassade (mit 51,7 m² opaker Gesamtfläche)

Die Analyse wird in 2 Schritten durchgeführt:

- 1) Einfaches Gebäude, Jahresbilanz (PHPP), "EU-Referenz"-Klima (Strasbourg STR) mit 3 Gebäudehüllenqualitäten: Passivhaus (PH), Niedrigenergiehaus, "Referenz"-Klima (Ref);
- 2) Einfaches Gebäude, dynamische Simulation, Monatsbilanz mit verschiedenen Gebäudequalitäten und in verschiedenen Klimazonen.

Für jedes Klima wurden 576 dynamische Gebäude- und Anlagen-Simulationen durchgeführt und analysiert.

Die kostenoptimale Kombination von Gebäudehülle (Wand, Fenster), HLK (MVHR, Wärmepumpe) und erneuerbaren Energien (PV) hängt vom Klima ab. In allen Fällen ist das Minimum der jährlichen kapitalisierten Kosten (Investition, Wartung und Betrieb) im Vergleich zu PE (oder Kostendifferenz im Vergleich zu Primärenergieeinsparungen) relativ flach und eine breite Auswahl an Kombinationen liefert ähnliche Ergebnisse.

Die Integration von EE (hier PV) in das Gebäudedach ist erforderlich, um hohe Primärenergieeinsparungen zu erzielen, vgl. Abbildung 19. Allerdings scheint insbesondere unter den derzeitigen Randbedingungen eine fassadenintegrierte PV in Wohngebäuden wirtschaftlich nicht machbar zu sein.

Auch die Wärmerückgewinnung kann den Primärenergiebedarf deutlich reduzieren. Dennoch ist die WRG unter den gegebenen Randbedingungen nicht wirtschaftlich, wird aber aufgrund von Komfort- und Luftqualitätseinschränkungen trotzdem empfohlen. Die Rückgewinnung von Duschabflusswasser ist in einigen der untersuchten Fälle wirtschaftlich, jedoch sind die potenziellen Einsparungen nur im Falle einer direkten elektrischen Wassererwärmung signifikant. In Kombination mit einer (zu empfehlenden) Wärmepumpe (Warmwasserbereiter) sind die Primärenergieeinsparungen relativ gering.

Im Europäischen Vergleich, siehe Abbildung 20 bzw. Abbildung 21 zeigt sich, dass an allen untersuchten Standorten das Minimum der Kosten bei einer nicht erneuerbaren Primärenergie (PE) relativ flach ist. Es kann gezeigt werden, dass es ein mathematisches Minimum bei einem PE von etwa 90 kWh/(m² a) für kalte Klimazonen und etwa 60 kWh/(m² a) für gemäßigttere Klimazonen gibt. Darüber hinaus könnten mit geringen Mehrkosten zusätzliche PE-Einsparungen von etwa 50 kWh/(m² a) erzielt werden.

Um zukünftig die Umsetzung von Lösungen mit niedrigen Lebenszykluskosten zu unterstützen, sind Förderungen erforderlich, da der Mehraufwand in Bezug auf die zu tätigen Investitionen derzeit eine Hürde darstellt.

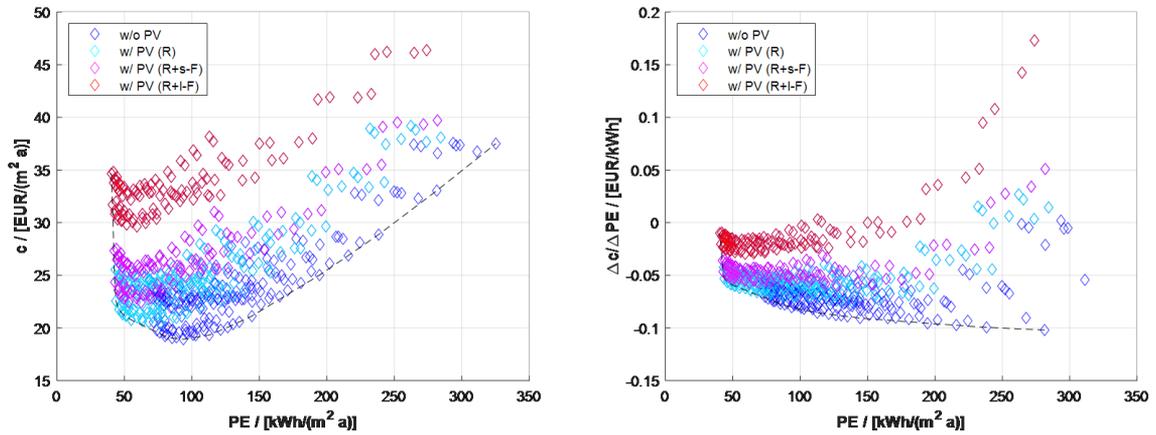


Abbildung 19: Kapitalisierte jährliche spezifische Kosten (links) und kapitalisierte Kosten pro eingesparter kWh PE (rechts) als Funktion der nicht-erneuerbaren Primärenergie für ein EFH in Straßburg ohne PV, mit 5 kWp auf dem 45° geneigten südorientierten Dach (R), sowie zusätzlich 1 kWp (R+s-F) oder 5 kWp (R+l-F) auf der Südfassade

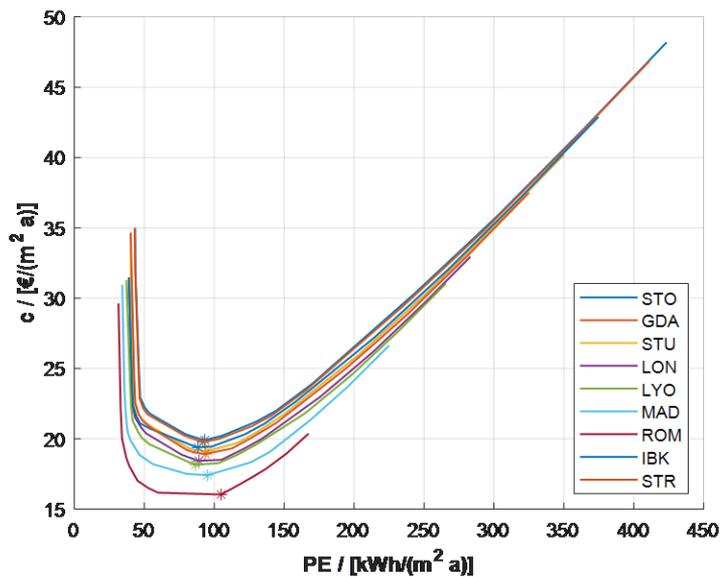


Abbildung 20: Kurve mit den niedrigsten Kosten pro n. ern. Primärenergie (PE) für 9 verschiedene europäische Klimazonen (ohne Kühlung)

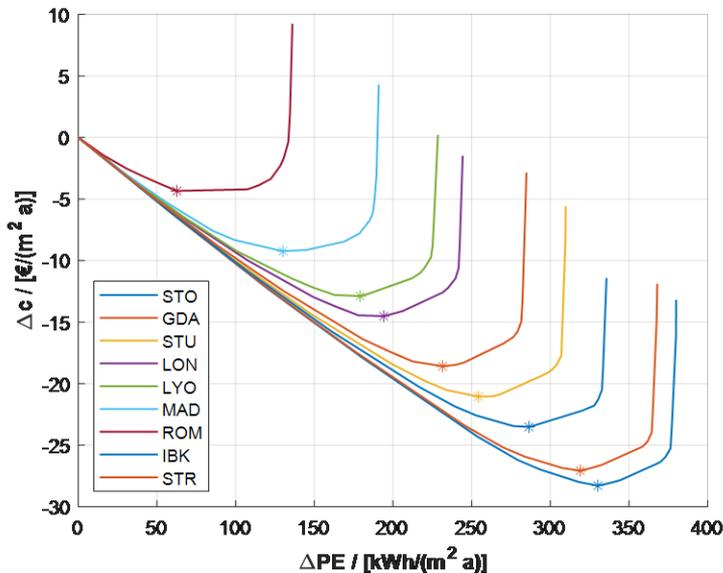


Abbildung 21: Kurve mit der niedrigsten Kostendifferenz pro eingesparter pro n. ern. Primärenergie (PE) für 9 verschiedene europäische Klimazonen (ohne Kühlung)

An-der-Lan (Demo, UIBK)

An-der-Lan Demo-Gebäude in Österreich ist ein neuer kleiner Wohnkomplex mit 14 kleinen Wohnungen und mehreren Gemeinschaftsräumen. Die Heizungsanlage ist vollständig elektrisch, um die Investitionskosten niedrig zu halten und die Verteilverluste zu reduzieren. Der niedrige Wirkungsgrad des elektrischen Systems wird durch die Integration einer großen PV-Fläche in der Südfassade kompensiert. Die PV-Anlage soll einen Großteil der Energie für Heizung, Warmwasser und Haushaltsstrom der Apartments bereitstellen. Darüber hinaus soll Energie für Lüftung, Aufzug und eine Ladestation für Elektroautos bereitgestellt werden. Um den Anteil des Eigenverbrauchs zu erhöhen wurden elektrische Speicher mit einer Kapazität von ca. 2 kWh integriert.

Ein umfangreiches Monitoring-System ist installiert, das die Messung der Temperatur in jeder Wohnung und jedem Gemeinschaftsraum des Gebäudes umfasst. Darüber hinaus wird der Energiebedarf des Gebäudes alle 15 Minuten mit elektrischen Energiezählern gemessen. Die Energie für Heizung, Warmwasser und Haushaltsgeräte wird für jede einzelne Wohnung und jeden Gemeinschaftsraum gemessen.

Messdaten der Raumheizung werden mit den Ergebnissen des PHPP (Passivhaus-Planungspaket) sowohl mit Standard- als auch mit gemessenen Werten der Innen- und Außentemperatur und der Sonneneinstrahlung verglichen. Der gemessene Wärmeverbrauch ist auch unter Berücksichtigung der realen Außen- und Innenbedingungen höher als die prognostizierten Werte. Der berechnete Heizwärmebedarf beträgt nach PHPP 8,8 kWh/(m² a) bei Auslegungs-Innen- und Außenbedingungen und 9,3 kWh/(m² a) bei Ist-Werten für Innen- und Außenbedingungen für 2019. Die gemessenen Verbräuche liegen mit 27,0 kWh/(m² a) deutlich höher. Die Gründe für den signifikant höheren Wärmeverbrauch konnten während der Projektlaufzeit noch nicht vollständig identifiziert werden. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass folgende Aspekte einen Beitrag leisten:

- Nutzerverhalten (hauptsächlich Fensterlüftung, aber auch Verschattung)
- Nutzung von Kellerräumen (Übertemperatur im Keller)
- Gebäudequalität und strukturelle Aspekte (Wärmebrücken, Grundwassereinfluss, etc.)

Das PV-System wurde anhand der Monitoring-Daten analysiert und mit den Simulationsdaten verglichen, wobei eine gute Übereinstimmung festgestellt wurde. Jeden Monat auch im Hochsommer und trotz der Batterien wird ein Teil der von der PV-Anlage erzeugten Energie in das Netz eingespeist, während gleichzeitig Strom aus dem Netz bezogen wird. Erwartungsgemäß ist die Nutzung des Netzes in der Wintersaison deutlich höher als im Sommer. Es ist erkennbar, dass ein Stromfluss vom Netz zu den Batterien stattfindet, wenn der Ladezustand unter einen Schwellenwert (ca. 11%) fällt.

Unter Verwendung der PHPP-Ergebnisse (d.h. mit dem Planungswert für den Heizwärmebedarf von 15 kWh/(m² a) wird eine parametrische Studie durchgeführt, um das untersuchte System (Direktelektrische Heizung und Warmwasser in Kombination mit PV - Fall A) mit anderen Systemvarianten zu vergleichen. Einerseits werden Verbesserungen wie Duschwasser-Wärmerückgewinnung oder ein größeres PV-System untersucht (Fälle B und C), andererseits werden Varianten mit einem zentralen Wärmepumpensystem untersucht: Erdreich als Wärmequelle einer Wärmepumpe im Fall E, Luft/Wasser-Wärmepumpe in den Fällen D und F. Zusätzlich verfügt Fall F über ein kleineres PV-System.

Um die Zeit des Jahres, in der Strom vom Netz bezogen wird, in die Auswertung einzubeziehen, wurde die monatliche Zusammensetzung des Strom-Mix mit Hilfe von Primärenergieumrechnungsfaktoren berücksichtigt. Abbildung 22 vergleicht die betrachteten Varianten auf der Basis des Primärenergiebedarfs. Es werden sowohl konstante, nicht erneuerbare Primärenergiefaktoren (der Jahreswert von 1,32 für Österreich, nach OIB 2015) als auch monatliche Faktoren (Szenario "10-10-10", geringer Anteil erneuerbarer Energieträger am Strom-Mix, und "10-30-30" Szenario, höherer Anteil erneuerbarer Energieträger am Strom-Mix) berücksichtigt. Die Rangfolge der betrachteten Fälle nach dem Primärenergiebedarf ändert sich, wenn verschiedene PE-Faktoren berücksichtigt werden. Dennoch werden die Extremfälle (C mit dem niedrigsten PE-Bedarf und D mit dem höchsten PE-Bedarf) immer mit allen PE-Faktoren bestätigt. Mit monatlichen PE-Faktoren erzielen diejenigen Technologien, die auch im Winter zu Einsparungen beitragen, wie z.B. die Duschwasser-Wärmerückgewinnung, höherwertige Einsparungen als diejenigen, die hauptsächlich im Sommer beitragen, wie z.B. PV. Schließlich ist festzuhalten, dass die Implementierung einer WP nicht nur die Energieeffizienz erhöht, sondern auch die Kühlung im Sommer ermöglichen würde.

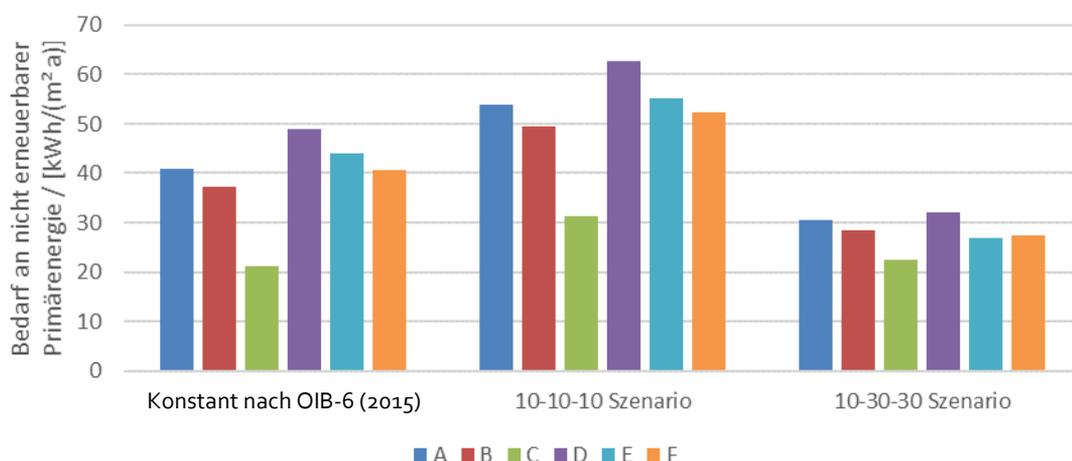


Abbildung 22: Bedarf an nichterneuerbarer Energie für die untersuchten Varianten und für verschiedene Primärenergieumrechnungsfaktoren

Neben der energetischen Bewertung der Konzepte wurde auch eine ökonomische Bewertung der verschiedenen Varianten durchgeführt. Die größte PV-Anlage in Kombination mit der elektrischen Heizung (Fall C) führt zu den höchsten Primärenergieeinsparungen, aber auch zu den höchsten Zusatzkosten. Fälle mit Wärmepumpe weisen die geringste Kostenerhöhung bezogen auf den Lebenszyklus auf, während Fälle mit elektrischer Direktheizung und PV die größte Kostendifferenz zum Referenzfall aufweisen. Ein anderer Trend zeigt sich bei der direkten elektrischen Heizung mit PV nur in der Südfassade (mit und ohne DWRG): die Primärenergieeinsparung ist den Fällen mit Wärmepumpen vergleichbar, aber mit deutlichen Kostenunterschieden. Fall F, mit Luft/Wasser Wärmepumpe wurde bezüglich der Größe der PV Anlage so ausgelegt, dass sich bei Verwendung eines Jahreswerts für den Primärenergieumrechnungsfaktor ein mit Fall A vergleichbarer Primärenergiebedarf ergibt. Für die Szenarien 10-10-10 bzw. 10-30-30 ergibt sich damit ein geringerer Primärenergiebedarf für Fall F. Gleichzeitig sind die Lebenszykluskosten geringer.

6.5.2. Internationale Projekte

Die folgenden Projekte wurden von den internationalen Partnern der IEA SHC Task 56 beigetragen. Hier wird nur ein kurzer Überblick gegeben. Eine ausführlichere Übersicht findet sich in D.C3 und die detaillierten Beiträge mit den Simulationsergebnissen sind in D.C2 der IEA SHC Task 56.

Integration der PV-Module in die Gebäudehülle - BIPV/T-Konzept (HFT Stuttgart)

In dieser Forschungsarbeit wurde das im IEA SHC Task56 definierte Büroreferenzgebäude als Fallbeispiel für die Analyse von gebäudeintegrierten PV-Systemen (BIPV) mit der Möglichkeit, Luft vorzuheizen - also auch die PV-Module zu kühlen - um damit ein BIPV-Thermie-System zu realisieren, untersucht. Simulationen zeigen, dass aus thermischer Sicht BIPV sowohl im Winter als auch im Sommer vorteilhaft sind, zudem erhöht die Kühlung der PV-Module immer der elektrische Wirkungsgrad, insbesondere im Sommer.

Integration von solarthermischen Kollektoren in Vorhangfassaden in einem Bürogebäude: simulationsbasierte Bewertung der Leistungsfähigkeit und Effizienz (EURAC)

In dieser Arbeit werden die Leistungsfähigkeit und Effizienz von solarthermischen Kollektoren, die in die Fassade eines Bürogebäudes integriert sind, bewertet. Die solarthermischen Kollektoren ermöglichen es, die Sonnenstrahlung in Wärme umzuwandeln, die zur Deckung eines Teils des Energiebedarfs des Gebäudes für Raumheizung und Warmwasserbereitung verwendet wird. Die Simulationsergebnisse zeigten die Möglichkeit, interessante Reduzierungen beim Einsatz von Wärmeerzeugern aus fossilen Quellen zu erreichen, mit besseren Leistungen für größere und nach Süden ausgerichtete Solarfassaden.

Solarthermische Jalousie als synergetische und adaptive Sonnenschutzeinrichtung in zweischaligen Fassaden (FHG ISE)

Solarthermische Jalousien (STVB) bieten eine neuartige Lösung zur Reduzierung des Energiebedarfs von Gebäuden mit hochtransparenten Fassaden. Sie können Sonnenschutzfunktionen wie adaptiven Blendschutz, Steuerung von solaren Wärmegewinnen und Tageslicht bieten. Gleichzeitig dienen die STVB als solarthermischer Kollektor und können zur Vorwärmung von Warmwasser oder als Quelle für Wärmepumpen verwendet werden. Die STVB kann in Glasfassaden integriert werden und verhindert die Überhitzung des Zwischenraums, indem sie überschüssige Wärme entziehen. Erste vorläufige Ergebnisse zeigten, dass die STVB den Kühlbedarf im Vergleich zu einer ähnlichen Fassade

mit konventioneller Jalousie reduzieren können. Innerhalb eines Folgeprojekts ist geplant, die STVB im Rahmen eines realen Bauprojekts zu realisieren und ein Monitoring zur Validierung der Simulationsergebnisse durchzuführen.

Kindow sonnennachgeführte Vertikal-Jalousien (TUE)

In dieser Fallstudie wird die Leistung eines innovativen Sonnenschutzsystems für Innenräume (das sonnennachgeführte Vertikaljalousiesystem Kindow) im Vergleich zu anderen konventionellen Lösungen zur Steuerung des Einlasses von solaren Gewinnen und Tageslicht bewertet. Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass das innovative Kindow-Sonnenschutzkonzept im Vergleich zu herkömmlichen automatisierten Sonnenschutzlösungen eine bessere Tageslicht- und Sehbehaglichkeit sowie eine bessere Energieeffizienz und niedrigere spezifische Gesamtkosten bietet.

Copenhagen International School (Kuben Management)

Internationale Schule in Kopenhagen mit BIPV.

Solar Dectholon China mit BIPVT (Concordia)

Solar Dectholon (China) Gebäude der Concordia Universität mit BIPVT

Varenes Library (Concordia)

Bücherei mit BIPV und BIPVT.

6.6. Entwurf von Tageslichtsystemen

Die effektive Nutzung von Tageslicht in Bürogebäuden ist eine wesentliche Designüberlegung zur Verbesserung des Wohlbefindens, der Gesundheit und der Produktivität von Büroangestellten ([11] [12] [13] [14]). Zusätzlich kann die Tageslichtnutzung den Energieverbrauch eines Gebäudes deutlich reduzieren ([12] [13] [14] [15]). Solaraktive Gebäudehüllen, die sich auf die Nutzung des Tageslichts konzentrieren, können zur Erreichung dieser Ziele beitragen, aber ihre erfolgreiche Anwendung ist komplexer als ein reiner technologischer Wechsel [14] und [16]. Bei der Entwicklung, Anwendung und Regelung von fassadenintegrierten Tageslichtsystemen müssen die konkurrierenden Effizienzaspekte der Tageslichtversorgung, des visuellen und thermischen Komforts, der Kosten und der Energieeffizienz (einschließlich der Energiegewinnung) abgewogen werden (vgl. [12], [14], [16], [17], [18]). Die neue Norm EN 17037 "Tageslicht in Gebäuden" bietet Planern Empfehlungen für eine adäquate Tageslichtgestaltung unter Berücksichtigung der Aspekte Tageslichtversorgung, Besonnungsdauer, Sichtbezug nach Außen und Blendschutz [19].

6.6.1. Multi-Objektive-Optimierung für eine korrekte Tageslichtplanung

Die Aufgabe, die positiven Auswirkungen der Nutzung von Sonnenenergie (höhere Tageslichtautonomie und verbesserter Sichtbezug nach Außen, reduzierter Beleuchtungs- und Heizenergieverbrauch) mit ihren negativen Auswirkungen (visueller Diskomfort durch Blendung, erhöhter Kühlenergieverbrauch) in Einklang zu bringen, ist komplex und beeinflusst die Energieeffizienz von Gebäuden durch die Wechselwirkungen von thermischen und visuellen Anforderungen maßgeblich. Der traditionelle Ansatz in der Bauindustrie für die Planung von

Fassaden bestand darin, diese beiden physikalischen Bereiche als getrennte Design- und Ingenieurprobleme zu behandeln. Mit dem Aufkommen einer verstärkten Tageslichtnutzung, hochreflektierenden Metallbeschichtungen und fortschrittlichen Sonnenschutzsteuerungen werden diese Bereiche jedoch immer enger miteinander verknüpft. Die beiden in DC.2 vorgestellten Fallstudien zu Tageslichtsystemen und verbesserter Kunstlichtregelung (siehe in DC.2 die Abschnitte 2.2.4 und 2.2.5) weisen auf diese Wechselwirkungen hin und geben Empfehlungen für eine korrekte Bilanzierung.

Es gibt mehrere interagierende Designmerkmale, die genutzt werden können, um die Auswirkungen von fassadenintegrierten Tageslichttechnologien auf die gesamte Gebäudeeffizienz zu verbessern. Traditionell werden diese Merkmale von verschiedenen Entscheidungsträgern zu verschiedenen Zeitpunkten im Lebenszyklus eines Gebäudes entworfen. Die Entwickler von Fassadensystemen können die Effizienz von fassadenintegrierten Tageslichttechnologien durch das Design (Geometrie) ihrer Produkte und die Spezifikation der verwendeten Materialien (physikalische Eigenschaften) verbessern. Bei dynamischen Fassadensystemen können auch Regelungsaspekte (Regeln, Soll- und Schwellenwerte und Sensoren) genutzt werden, um die Gesamteffizienz zu verbessern. Außerdem können Gebäudeplaner gebäudebezogene Entwurfsaspekte (Dimensionierung von Fenstern, Verglasung und anderen Fassadenmerkmalen) als Optimierungsparameter verwenden. Die Kombination aus fassadenintegriertem Tageslichtprodukt, Regelungskonzept und dem Gesamtgebäude sollte als ein integriertes System betrachtet werden. Die Verbesserung der Effizienz von fassadenintegrierten Tageslichttechnologien erfordert daher einen ganzheitlichen Ansatz, der all diese Design- und Regelungsaspekte in integrierter Weise berücksichtigt [20, 21]. Besonderes Augenmerk sollte auf die Beurteilung der visuellen Komfortbedingungen gelegt werden.

6.6.2. Benutzerinteraktion und die Rolle der Benutzer

Das Management der Tageslichtnutzung auf eine angenehme Art und Weise wird durch die Notwendigkeit, die Rolle der Benutzer der Gebäude, ihre individuellen Gewohnheiten und persönlichen Vorlieben angemessen zu berücksichtigen, immer schwieriger. Daher fordern die Bewohner eine aktive Regelung der fassadenintegrierten Tageslicht- und Verschattungseinrichtungen, da sie es ermöglicht, auf ihre persönlichen visuellen Komfortbedingungen einzugehen [14, 22, 23, 24, 25]. Traditionellerweise wird die Bereitstellung von Maßnahmen zur Vermeidung von Belästigung durch Blendung nicht als integraler Bestandteil des Gebäudeentwurfsprozesses behandelt und oft als Verantwortung des Mieters des Gebäudes betrachtet. Wie im Detail in den in DC.2 vorgestellten Fallstudien (siehe Abschnitte 2.1.4.3, 2.2.4 und 2.2.5) dargestellt wird, hat die Art und Weise, wie mit Blendung umgegangen wird, einen sehr starken Einfluss auf die anderen Effizienz Aspekte der Fassade, und es wird empfohlen, die Vermeidung von visuellem Unbehagen als ein wesentliches Ziel bei der Fassadengestaltung in Betracht zu ziehen.

6.6.3. Wohlbefinden, Gesundheit und Produktivität

Bei der Verbesserung der visuellen Raumumgebung können fassadenintegrierte Tageslichtsysteme zum Wohlbefinden, zur Gesundheit und zur Produktivität von Büroangestellten beitragen. Bisher basierten Normen und Praktiken der Innenbeleuchtung nur auf visuellen Bedürfnissen (d.h. auf der Erfüllung von Sehaufgaben), enthielten jedoch keine Empfehlungen für Beleuchtungskonzepte, die nicht-visuelle Effekte auf den Menschen auslösen sollten. In den letzten Jahren verstärkte die

wissenschaftliche Forschung die Bemühungen, nicht-visuelle Wirkungen von Licht zu erforschen. Tatsächlich wurde nachgewiesen, dass die Synchronisation der inneren Uhr des Menschen (das sogenannte „zirkadiane Entrainment“) durch den Zeitpunkt, die Intensität, die Dauer und die Wellenlänge der Lichtexposition beeinflusst wird und von der Geschichte der Lichtexposition abhängt [26, 27, 28, 29]. Obwohl in den letzten Jahren mehrere Modelle und Metriken entwickelt und Normen veröffentlicht wurden [30, 31, 32], gibt es keinen wissenschaftlich fundierten Konsens über eine angemessene Mindestbeleuchtungsstärke für eine effektive zirkadiane Beleuchtung oder darüber, wie lang die Belichtungsdauer sein muss. Das Wissen über die biologischen Wirkungen von Licht basiert auf begrenzten Daten, hauptsächlich aus Studien, die während der Nacht unter streng kontrollierten Laborbedingungen und in Disziplinen der Neurowissenschaften und der Photobiologie durchgeführt wurden. Die Umsetzung der Ergebnisse aus diesen Studien in nützliche Metriken und Zahlen für Lichtdesigner ist von wachsendem Interesse, um durch die Entwicklung anwendbarer Richtlinien für zirkadianes Lichtdesign eine Orientierungshilfe zu bieten.

Methoden zur Bewertung der zirkadianen Wirksamkeit von Tageslichttechnologien sind publiziert [29, 33, 34, 35], die es Planern ermöglichen, das Spektrum, den Zeitpunkt, die Intensität und die Dauer der Lichtexposition des Bewohners in Bezug auf Ziele zu analysieren, die den zirkadianen Rhythmus unterstützen. Da solche Methoden bald zuverlässiger und breiter verfügbar sein werden, wird empfohlen, diese Bewertungsmethoden in den Entwurfsprozess von solaraktiven Fassaden zu integrieren.

6.6.4. Blick nach außen

Der Grad der visuellen Verbindung zur Außenwelt wurde mit dem Wohlbefinden und der Produktivität der Gebäudebenutzer in Verbindung gebracht. Obwohl die Forschung auf diesem Gebiet nicht zu allgemein anerkannten Design-Richtlinien oder Metriken geführt hat [13], gibt es genügend Belege dafür, dass der Inhalt der Aussicht, die Klarheit der Aussicht und die Menge und Proportionen der Aussicht wichtige Faktoren sind [36, 37, 38, 39, 40]. Es wird empfohlen, diese Faktoren im Designprozess zu berücksichtigen, und kürzlich wurden mehrere Workflows zur Unterstützung solcher Überlegungen vorgeschlagen [41, 42, 43, 44, 45, 46, 47].

6.6.5. Wirtschaftliche Aspekte und ROI

Obwohl es genügend Forschungsergebnisse gibt, die auf die Bedeutung des visuellen Komforts, der Exposition gegenüber Tageslicht und der Sicht für die Verbesserung der Gesundheit, des Wohlbefindens und der Produktivität der Bewohner hinweisen, können diese Ergebnisse nicht in quantifizierbare finanzielle Vorteile oder vermiedene Kosten durch spezifische Tageslichttechnologien umgesetzt werden [11, 13, 37, 48, 49].

Die Fallstudie 1.2.4 zeigte, dass selbst bei bescheidenen Annahmen hinsichtlich der erhöhten Wirtschaftsleistung von Büroangestellten die finanziellen Vorteile eines erhöhten visuellen Komforts eine größere Größenordnung haben als die finanziellen Vor- oder Nachteile, die Tageslichttechnologien in Bezug auf ihre Energieeinsparung und die Dimensionierung von Klimaanlage haben könnten. Bei der Planung von solaraktiven Fassaden wird daher empfohlen, einen starken Schwerpunkt auf die Effizienz der Tagesbeleuchtung und des visuellen Komforts zu legen.

Im Hinblick auf die Energieeffizienz hängen die Kompromisse bei der Abwägung der unerwünschten Auswirkungen der Aufnahme von Solarenergie mit ihren positiven Auswirkungen stark von der Effizienz der Kälteanlagen und der Stromerzeugung ab. Fallstudie 1.2.4 zeigte, dass Designentscheidungen stark durch unterschiedliche Annahmen bezüglich dieser Effizienz beeinflusst werden können.

Es ist wahrscheinlich, dass die zunehmende Marktdurchdringung erneuerbarer Energien die Eigenschaften der Stromnetze verändern wird und dass hocheffiziente Kühllösungen in naher Zukunft häufiger zum Einsatz kommen werden. Da solche Veränderungen wahrscheinlich innerhalb der erwarteten Lebensdauer eines Gebäudes eintreten werden, wird empfohlen, dass die Planer für derartige Annahmen realistische und vorzugsweise mehrere Szenarien in Betracht ziehen und Planungslösungen wählen, die gegenüber solchen Veränderungen robust sind.

6.7. Publikationen

Im Rahmen des IEA SHC Task 56 wurden Beiträge für folgende internationale Konferenzen und Journals erarbeitet und publiziert:

Magni, Mara; Ochs, Fabian; Bonato, Paolo; D'Antoni, Matteo; Geisler-Moroder, David; de Vries, Samuel; Loonen, Roel; Maccarini, Alessandro; Afshari, Alireza; Calabrese, Toni (2019): Comparison of simulation results for an office building between different BES tools: The challenge of getting rid of modeller influence and identifying reasons for deviations; Building Simulation Conference, 2019.

Synopsis: Das Modell des Referenzbürogebäudes, über das in der IEA SHC Task 56 berichtet wird, wird von verschiedenen Experten für Gebäudesimulationen mit verschiedenen Tools (d.h. Dynamiksimulationstools wie EnergyPlus, TRNSYS, CarnotUIBK, ALMAbuild, DALEC, Modelica und Quasi-Stationärzustand-Berechnungswerkzeug wie PHPP) implementiert. Damit sollen Abweichungen zwischen der resultierenden Energiebilanz für Heizung und Kühlung der eingesetzten Tools identifiziert werden, die auf unterschiedlichen Detaillierungsgraden ihrer Modelle ist von großer Bedeutung, während gleichzeitig der Versuch, den Benutzereinfluss zu eliminieren, sich als eine echte Herausforderung dargestellt hat. Daraus lässt sich schließen, dass es selbst bei einer relativ einfachen Fallstudie schwierig ist, eine gute Übereinstimmung zwischen verschiedenen Werkzeugen, ohne eine zusätzliche Kalibrierung zu erreichen.

Hauer M., De Michele G., Babich F., Plörer D, Avesani S.: Building Simulation Conference (2019): Modelling of complex fenestration systems – application of different toolchain approaches on real case scenarios; Building Simulation Conference, 2019.

Synopsis: In diesem Beitrag wird eine vergleichende Studie zwischen bekannten Simulationstools vorgestellt, die deren Fähigkeiten bei der Bewertung komplexer Fenstersysteme in Bezug auf Wärme- und Tageslichtleistung aufzeigt.

Georgios Dermentzis, Fabian Ochs, Marcus Gustafsson, Toni Calabrese, Dietmar Siegele, Wolfgang Feist, Chiara Dipasquale, Roberto Fedrizzi, Chris Bales (2019): A comprehensive evaluation of a

monthly-based energy auditing tool through dynamic simulations, and monitoring in a renovation case study; Energy and Buildings, 2019.

Synopsis: Ein Energieaudit-Tool (PHPP) wurde gegen ein dynamisches Simulationstool (TRNSYS) evaluiert und für die Bewertung von Energiesparmaßnahmen in einer Demo-Fallstudie eingesetzt. Der umfassende Vergleich der nutzbaren Heiz- und Kühlbedarfe und -lasten berücksichtigt drei Gebäudetypen (Ein-, Mehrfamilienhaus und Bürogebäude), drei Gebäudeenergieniveaus (vor der Renovierung und nach der Renovierung mit einem Heizbedarf von 45 und 25 kWh/(m²-a)) und sieben europäische Klimate.

Calabrese, Toni; Ochs, Fabian; Siegele, Dietmar; Dermentzis, Georgios (2019): Compact ventilation and heat pump with recirculation air for renovation of small apartments; E3S Web of Conferences 111, 2019.

Synopsis: Ein neues kompaktes und kostengünstiges Heiz- und Lüftungskonzept für die dezentrale Sanierung von Kleinwohnungen in Mehrfamilienhäusern wurde im Rahmen des österreichischen Projektes "SaLÜH!" durch eine dynamische Gebäude- und HLK-Simulationsstudie entwickelt und untersucht, die auf den Ergebnissen von Labormessungen an Funktionsmodellen basiert.

Calabrese, Toni; Ochs, Fabian; Siegele, Dietmar; Dermentzis, Georgios (2019): Deep Renovation of Multi-Family-Houses With Compact Heat Pumps; E3S Web of Conferences 111, 2019.

Synopsis: Ein neues kompaktes und kostengünstiges Heiz- und Lüftungskonzept für die dezentrale Sanierung von Kleinwohnungen in Mehrfamilienhäusern wurde im Rahmen des österreichischen Projektes "SaLÜH!" durch eine dynamische Gebäude- und HLK-Simulationsstudie entwickelt und untersucht, die auf den Ergebnissen von Labormessungen an Funktionsmodellen basiert. Das Potential von BIPV für die Versorgung wurde simulationstechnisch untersucht.

David Geisler-Moroder, Christian Knoflach, Silvia Öttl, Wilfried Pohl (2018): Characterization of advanced daylighting systems and combined lighting and thermal simulation; Advanced Building Skins Conference, 2018.

Synopsis: Dieser neuartige und innovative, ganzheitliche Ansatz ermöglicht eine nachhaltige und energieeffiziente Gebäudeplanung sowohl bei Neubauten als auch bei Sanierungen. Im Gegensatz zu anderen vereinfachten Werkzeugen für frühe Entwurfsphasen erlaubt DALEC die Einbeziehung komplexer Tageslichtsysteme durch BSDFs und winkelabhängige SHGCs in die Berechnungen. Damit kann die resultierende Tageslichtbeleuchtung - und damit auch die erforderliche elektrische Beleuchtung - für den Raum mit höherer Genauigkeit berücksichtigt werden.

7 Vernetzung und Ergebnistransfer

7.1. Zielgruppen

Mit 2021 müssen alle Gebäude als Niedrigstenergiegebäude (nZE) und damit mit Erzeugung von erneuerbarer Energie vor Ort ausgeführt werden. I.d.R. ist im Geschosswohnbau die Dachfläche nicht ausreichend für hohe solare Deckungsanteile. Entsprechend sind die Ergebnisse des IEA SHC Task 56 für die Gesamte Hochbau- und TGA-Branche relevant. Insbesondere für TGA-Planer, Energieberater und Betreiber von Wohngebäuden (Wohnbaugesellschaften) sind die neuen Anforderungen und insbesondere die Möglichkeiten und Herausforderungen der Integration Solarer Fassaden in nZE Gebäude interessant. Auch für die TGA Planer können wichtige Impulse für neue Entwicklungen sowie Regelungsoptimierung abgeleitet werden.

Für die Politik, die Energieinstitute und für die Wohnbauförderung sind die Ergebnisse der techno-ökonomischen Bewertung relevant.

Die Ergebnisse wurden auf der Website <https://task56.iea-shc.org/> zur Verfügung gestellt. Zudem wurden nationale und internationale Workshops mit Stakeholdern abgehalten (s.u.).

7.2. Internationale Partnertreffen

Folgende internationale Partnertreffen wurden während der Laufzeit abgehalten:

- International Partnertreffen
- IEA-SHC Task 56 - 9th Experts Meeting
February 03-04, 2020 - EURAC, Bolzano, Italy
- IEA-SHC Task 56 - 8th Experts Meeting
October 24-25, 2019 – FHG ISE, Freiburg, Germany
- IEA SHC Task 56 - 7th Experts meeting
March 6-8, 2019 - SBI, Aalborg University and Kuben Management, Denmark
- IEA SHC Task 56 - 6th Experts Meeting
September 19-21, 2018 - Concordia University, Montreal, QC, Canada
- IEA SHC Task 56 - 5th Experts Meeting
March 6-7, 2018 - Innsbruck University and Bartenbach GmbH, Innsbruck, Austria
- IEA SHC Task 56 - 4th Experts Meeting
September 21-22, 2017 - TUE, Eindhoven, Netherlands
- IEA SHC Task 56 - 3rd Experts Meeting
March 2-3, 2017 - Dublin Institute of Technology - Grangegorman, Dublin, Ireland
- IEA SHC Task 56 - 2nd Experts Meeting
September 13-14, 2016 - Technische University Darmstadt, Germany
- IEA SHC Task 56 - Kick-off Meeting
March 21-22, 2016 - EURAC, Bolzano, Italy

Zudem erfolgte die Durchführung von zwei Industrieworkshops.

- Industry Workshop Active Solar Facades
September 21, 2018 - Concordia University, Montreal, QC, Canada
- Industry Workshop Active Solar Facades
March 8, 2019 - Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg University, Copenhagen, Denmark

Es wurden regelmäßig Newsletter erstellt und auf <https://task56.iea-shc.org/> veröffentlicht und über den Emailverteiler der IEA SHC disseminiert (Solar Update).

Auf der Advanced Building Skins 2018 in Bern wurde eine eigene Session zur IEA SHC Task 56 durch UIBK organisiert mit folgenden Beiträgen:

Heating with a PV Façade in a Passive House

- » Passive House with PV façade and electric heating, Low costs and minimal installation effort vs. Performance, PV potential and evaluation of PE consumption
- » Georgios Dermentzis, University of Innsbruck, Austria

Active roofs and façades technologies

- » Active facades - building integrated solar collectors, The "Summer garden" concept, Active House evaluation of the energy and indoor climate
- » Jakob Klint, Kuben Management, Copenhagen, Denmark

Advanced daylighting systems and combined lighting and thermal simulation

- » Daylight system characterization, Integrated design for day- and electric light and user comfort, Comparison of a simplified and a complex simulation approach
- » David Geisler-Moroder, Bartenbach GmbH, Aldrans, Austria

Solar thermal façade systems – An interdisciplinary approach

- » Three new technologies of aesthetic solar thermal façades, Solar thermal venetian blinds as adaptive energy harvesting, Thermally activ. build. components
- » Stephan Gießler, solidian GmbH, Albstadt, D, Christoph Maurer, Fraunhofer ISE Freiburg, D

Heating with façade-integrated heat pumps

- » Compact façade integrated MVHR and heat pump for decentral ventilation and heating, Potential of onsite-PV to reduce non-RE PE consumption, project "SaLÜH"
- » Fabian Ochs, University of Innsbruck, Austria

Im Rahmen der **IEA SHC Solar Academy** wurde ein Webinar organisiert: IEA SHC Solar Academy: Building Integrated Solar Envelope Systems for HVAC and Lighting - Task 56, September 18, 2019, 2:00pm GMT

- Roberto Fedrizzi: Assessment of Building Integrated Solar Envelope Systems (Bises) - Critical review and lessons learned
- Fabian Ochs, Detailed performance assessment of Building Integrated Solar Envelope Systems by means of numerical simulation.

- Martin Hauer: Combined thermal and lighting simulation of envelope systems through a fast pre-design software

Während der Tagung **Energieaktive Fassaden**, Wien 13.12.2018 wurden Aktivitäten der IEA SHC Task 56 präsentiert:

- Roberto Fedrizzi (EURAC), Aktivitäten und Erkenntnisse aus drei Jahren IEA SHC Task 56
- David Geisler-Moroder (Bartenbach), Kombinierte lichttechnische und thermische Bewertung von Fassadensystemen
- Dagmar Jähnig, David Venus (AEE INTEC), Bauteilintegrierte kleinstwärmepumpenbasierte Warmwasserbereiter
- Paul-Rouven Denz, Priedemann Facade-Lab (Neue Entwicklungen bei solarthermischen Fassaden)
- Fabian Ochs (UIBK), Fassadenintegrierte, kompakte und kostengünstige Fortluft/Zuluft-Wärmepumpen, Entwicklungen aus den Projekten iNSPiRe und SaLÜH!
- Frank Salg (Vaillant), Fabian Ochs (UIBK), Erfahrungen aus dem iNSPiRe Demo Gebäude –Sanierung eines Mehrfamilienhauses zum nZEB

IEA SHC Exco

Beim IEA SHC Exco Meeting Wien, 7. Juni 2019, wurde der IEA SHC Task 56 von Fabian Ochs präsentiert.

Teilnahme an Konferenzen:

Im Rahmen der IEA SHC Task 56 wurden Beiträge für folgende internationale Konferenzen erarbeitet:

Int. Konferenzen

[16th Conference of IBPSA 2019](#)

2-4 Sept, 2019, Rome. International Building Performance Simulation Association (IBPSA)

3th REHVA World Congress *CLIMA 2019*

6 May - 29 May 2019; Bucharest

ISEC - International Sustainable Energy Conference 2018

October 3-5, 2018 - Congress, Graz, Austria

[13th Conference on Advanced Building Skins 2018](#)

October 1-2, 2018 - Kursaal Bern, Bern, Switzerland

EuroSun 2018 - 12th International Conference on Solar Energy for Buildings and Industry

September 10-13, 2018 - HSR University of Applied Science, Rapperswil, Switzerland

7th International Building Physics Conference (IBPC 2018). Syracuse, NY, USA, 2018

September 23 - 26. 2018. Syracuse: Syracuse University

SHC 2017 - International Conference on Solar Heating & Cooling for Buildings & Industry 2017
October 29-November 2, 2017 - Jumeirah at Etihad Towers, Abu Dhabi, United Arab Emirates

Task 56 session at 12th Conference on Advanced Building Skins 2017
October 2, 2017 - Kursaal Bern, Bern, Switzerland

IEA SHC Task 56 - Partners session at 11th Conference on Advanced Building Skins 2016
October 10-11, 2016 - Congress Center Kursaal, Bern, Switzerland

Die im Rahmen der IEA SHC Kooperation erarbeiteten Konferenzbeiträge sind unten aufgelistet:

David Venus, Façade integrated HVAC systems for the renovation of residential buildings, ABS 2016, Bern

Hernandez, Sebastian; Ochs, Fabian (2016): **Prefabricated timber envelopes for retrofit with integrated heating and building services**. In: Advanced Building Skins 2016. 02.-03. October 2016, Bern, Switzerland. Wilen: Advanced Building Skins GmbH., ISBN 978-3-98120539-8, S. 1 - 9.

Ochs, Fabian; Dermentzis, Georgios; Siegele Dietmar (2017): **Façade Integrated MVHR and Heat Pump**. In: Advanced Building Skins 2017. Conference Proceedings of the 12th Conference on Advanced Building Skins, 2-3 October 2017, Bern, Switzerland. Wilen: Advanced Building Skins GmbH., ISBN 978-3-9524883-1-7, elektronisch.

Toni Calabrese, Fabian Ochs, Dietmar Siegele, Georgios Dermentzis, Potential of covering electricity needs of a flat of a MFH with decentral compact heat pumps with PV – Simulation study for different DHW profiles and PV field sizes, EuroSun 2018, Rapperswil, CH

Matteo D'Antoni, David Geisler-Moroder, Paolo Bonato, Fabian Ochs, Mara Magni, Samuel de Vries, Roel Loonen, Roberto Fedrizzi, **Definition of a reference office building for simulation based evaluation of solar envelope systems**, EuroSun 2018, Rapperswil, CH

Fabian Ochs, Dietmar Siegele, Toni Calabrese, Georgios Dermentzis, **Deep Renovatiob of Multi-Family-Houses With Compact Heat Pumps**, ISEC 2018, Graz, At

Dagmar Jaehnig, Thomas Ramschak, David Venus, Karl Höfler, Christian Fink, **Building Retrofit Using Facade-Integrated Energy Supply systems**, ISEC 2018, Graz, At

Ochs, Fabian; Dermentzis, Georgios (2018): **Evaluation of Efficiency and Renewable Energy Measures Considering the Future Energy Mix**. In: 7th International Building Physics Conference (IBPC 2018). Proceedings. Syracuse, NY, USA, September 23 - 26. 2018. Syracuse: Syracuse University., S. 1271 - 1276. (DOI)

Toni Calabrese, Fabian Ochs, Dietmar Siegele, Georgios Dermentzis, Compact façade integrated MVHR and heat pump for decentral ventilation and heating, Potential of onsite-PV to reduce non-RE PE consumption, project "SaLüH", ABS 2018, Bern, CH

Georgios Dermentzis, Fabian Ochs, Passive House with PV façade and electric heating, Low costs and minimal installation effort vs. Performance, PV potential and evaluation of PE consumption, ABS 2018, Bern, CH

David Geisler-Moroder, Christian Knoflach, Silvia Öttl, Wilfried Pohl, Characterization of advanced daylighting systems and combined lighting and thermal simulation, ABS 2018, Bern, CH

ABS 2019

David Geisler-Moroder, Wilfried Pohl (BB), Eleanor S. Lee, Wang T. (LBNL): **Contribution to the Advanced Daylight modelling of facade systems for energy and comfort analysis**, Advanced Building Skins 2019. 28-29 October 2019, Bern, Switzerland

Ochs, Fabian; Calabrese, Toni; Siegele, Dietmar; Dermentzis Georgios (2019): Prefabricated modular façade elements for refurbishment with integrated heat pump / Heating with façade integrated heat pumps - results of the Austrian FFG project "SaLÜH!". In: Advanced Building Skins 2019. 28-29 October 2019, Bern, Switzerland. Bern: Advanced Building Skins., ISBN 978-3-9524883-0-0, elektronisch.

Hauer M., De Michele G., Babich F., Plörer D, Avesani S., **Modelling of complex fenestration systems – application of different toolchain approaches on real case scenarios**; In: Corrado, V.; Gasparella, A.: Building Simulation 2019. Proceedings of the 16th Conference of IBPSA. 2-4 Sept, Rome. International Building Performance Simulation Association (IBPSA) (= Proceedings of the International Building Performance Simulation Association, 16)., ISBN 978-1-7750520-1-2, S. 4926 - 4935. ([DOI](#))

Magni, Mara; Ochs, Fabian; Bonato, Paolo; D'Antoni, Matteo; Geisler-Moroder, David; de Vries, Samuel; Loonen, Roel; Maccarini, Alessandro; Afshari, Alireza; Calabrese, Toni (2019): **Comparison of simulation results for an office building between different BES tools: the challenge of getting rid of modeller Influence and Identifying Reasons for deviations**. In: Corrado, V.; Gasparella, A.: Building Simulation 2019. Proceedings of the 16th Conference of IBPSA. 2-4 Sept, Rome. International Building Performance Simulation Association (IBPSA) (= Proceedings of the International Building Performance Simulation Association, 16)., ISBN 978-1-7750520-1-2, S. 1475 - 1482. ([DOI](#))

Calabrese, Toni; Ochs, Fabian; Siegele, Dietmar; Dermentzis, Georgios (2019): **Compact ventilation and heat pump with recirculation air for renovation of small apartments**. In: E3S Web of Conferences 111, No. 1011. ([DOI](#))

Es erfolgte die Teilnahme und Präsentationen an jährlich stattfindenden Carnot User Meetings:

Carnot User Meeting 2017, Düsseldorf,

- Wärmepumpen und Gebäude, Ochs. F.
- Co-Simulation mit FMU und anderen Tools, Ochs F., Siegele D.

Carnot User Meeting 2018, Darmstadt,

- Heating with compact decentral heat pumps - results of the Austrian FFG project SaLÜH!, Ochs. F., Calabrese T.

Carnot User Meeting 2019, Wels,

- Double-stage Heat Pump with de-superheater – PM from dynamic measurements, Ochs F. Monteleone W.
- Ventilation with multi-zone models in Carnot, D. Siegele, Ochs F.
- Comparison of simulation results for an office building Magni M., Ochs F.

- Building modelling workflow using GBXML (short summary), Siegele D., Ochs F.
- Introduction to ALMA Toolbox, showcase, features, workflow, Campana J. P., Morini G. L.

Carnot User Meeting 2020, Biberach

- Comparison of Simulation Results for an Office Building Between Different BES Tools, Magni M., Ochs F.
- Simulation of decentral DHW preparation in (large) multi-family buildings, Ochs F., Breuss S.
- CarnotUIBK and AlmBuild, Ochs F., Magni M., Morini G.L.

8 Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen

In diesem Bericht (basierend auf den detaillierten Berichten der IEA SHC Task 56, DC.1, DC.2, DC.3 und DC.4) wurden Empfehlungen für die Integration und Bewertung gebäudeintegrierter Solarer Fassadensysteme (BISES) vorgeschlagen, die auf Simulations- und Monitoring-Ergebnissen basieren und im Rahmen der IEA SHC Task 56 erarbeitet wurden. BISES umfasst mehrere aktive Komponenten wie PV, ST, PVT und auch Tageslichtkomponenten, die in das HLK-System eines Gebäudes integriert sind.

Im Rahmen der IEA SHC Task 56 wurde eine Methodik für die Bewertung von BISES auf Gebäudeebene vorgeschlagen und Fallstudien wurden entsprechend untersucht. Über die Simulationsergebnisse verschiedener Fallstudien wird in DC.2 ausführlich berichtet, und die Ergebnisse von Monitoring-Projekten sind in D.C4 zu finden. Auf der Grundlage einer techno-ökonomischen Analyse können einige allgemeine Schlussfolgerungen gezogen werden, aber es ist anzumerken, dass spezifische Empfehlungen von der Art und den Merkmalen des Gebäudes, der Klimazone, dem Ziel der Nutzung, den örtlichen Randbedingungen und nicht zuletzt von persönlichen Interessen abhängen können. Die Richtlinien in diesem Bericht basieren auf einer Lebenszykluskosten-Analyse (LCC), dem Grunde nach der Empfehlung der EU (nZEB, EPBD) folgt. Die Realität sieht jedoch so aus, dass Entscheidungen immer noch häufig auf der Minimierung der Investitionskosten basieren.

Um hohe Primärenergieeinsparungen (PE) auf kostenoptimalem Niveau zu erzielen, sollte der erste Schritt immer die Reduzierung des Energiebedarfs durch passive und aktive Maßnahmen sein und danach die Integration von EE in das Gebäude und das HLK-System. Ein niedriger Energiebedarf führt auch zu geringeren Lasten, was eine Verkleinerung des Systems und eine Verringerung der HLK- und EE-Investitionskosten ermöglicht. Um mögliche Einsparungen, die durch die Integration von EE erzielt werden können, berechnen zu können, muss der Energiebedarf korrekt vorhergesagt werden, zumindest auf monatlicher Basis. Eine korrekte Vorhersage der Bedarfe und Lasten ist auch die Grundlage für ein angemessenes Systemdesign und ideale Komponentendimensionierung. Sowohl eine Unter- als auch eine Überdimensionierung muss vermieden werden, um Diskomfort (Unterkühlung, Überhitzung), suboptimale Effizienz, kürzere Lebensdauer der Geräte (An-/Aus Zyklen) und höhere Investitionskosten zu vermeiden. Gebäude- und HLK-Simulationen können sowohl die optimale Systemauslegung als auch die genaue Vorhersage möglicher Einsparungen und der damit verbundenen Lebenszykluskosten unterstützen. Darüber hinaus können für jede Lösung eine ausreichende Raumluftqualität sowie ein ausreichender thermischer und visueller Komfort nachgewiesen werden.

Der Energiebedarf in Bürogebäuden ist hauptsächlich auf die Beleuchtung und andere elektrische Lasten zurückzuführen. Tageslicht kann einen wesentlichen Beitrag zur Verbesserung der Gesamteffizienz des Gebäudes leisten, und der Einsatz von LED anstelle von Leuchtstoffröhren wird dringend empfohlen. Die verfügbare Fläche für erneuerbaren Energien (EE) ist im Bürogebäude allgemein relativ gering im Vergleich zur Energiebezugsfläche. Darüber hinaus ist in den meisten Klimazonen, insbesondere in Gebäuden mit guter Qualität der Gebäudehülle, die Kühlung

dominanter als die Heizung. Daher ist in der Regel ein erheblicher Eigenverbrauch des Stroms aus EE möglich. Die Gleichzeitigkeit von Energieproduktion und -verbrauch (Anwesenheit von Personen und Geräten während des Tages) trägt zu einem hohen PV-Eigenverbrauch bei. Unterschiedliche Ergebnisse für kostenoptimale Lösungen erhält man, wenn man heizungs- oder kühlungsdominierte Standorte vergleicht. Insgesamt kann BISES in Kombination mit einer verbesserten Gebäudehülle zu einer signifikanten Reduzierung des importierten (Netz-)Stroms führen. Die Einführung von Wärmepumpen scheint vorteilhaft zu sein, aber unter den gegenwärtigen Randbedingungen benötigt die Anwendung von BISES Subventionen, um wirtschaftlich wettbewerbsfähig zu sein. Insbesondere der Einsatz von Batterien zur Erhöhung des Eigenverbrauchs ist aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten derzeit nicht zu empfehlen. Außerdem wurden Tageslichtanalysen durchgeführt, die mögliche Lösungen zur Reduzierung des Energieverbrauchs und zur gleichzeitigen Verbesserung des visuellen Komforts aufzeigten. Die Implementierung einer Dimm-Regelungsstrategie ermöglicht es, den Energiebedarf für künstliche Beleuchtung deutlich zu senken. Die Balance zwischen passiven Solarerträgen (mit zunehmender Kühllast) und Tageslichtverfügbarkeit (erhöhte Tageslichtautonomie) ist fallabhängig und muss immer berücksichtigt werden.

Im Wohnbereich haben die Haushaltsgeräte einen erheblichen Anteil am Gesamtenergiebedarf und sollten nicht außer Acht gelassen werden. In gemäßigten und kalten Klimazonen ist der Hauptenergiebedarf auf die Raumheizung und die Warmwasserbereitung zurückzuführen. Je besser die Gebäudehülle, desto relevanter ist der Warmwasserbedarf. Die Kühlung kann in warmen Klimazonen auch einen bedeutenden Beitrag haben, aber die Kühlung (wenn sie durch passive Maßnahmen in akzeptablen Grenzen gehalten wird) ist weniger kritisch, da die Lasten hauptsächlich während des Tages und im Sommer auftreten, wenn Solarenergie zur Verfügung steht. Hocheffiziente Wohngebäude haben aufgrund der Warmwasserbereitung, der Hilfsenergien und der Geräte immer noch einen beträchtlich hohen Bedarf, der zumindest teilweise durch EE gedeckt werden kann. Im Falle von EFH steht in der Regel eine recht große Fläche für EE zur Verfügung, daher ist eine Netto-Null-Energiebilanz möglich. Dynamische Simulationen zeigen jedoch, dass der Eigenverbrauch relativ gering ist, wobei der Lastdeckungsfaktor (LCF) nur im Bereich zwischen 15 % und 40 % für gemäßigte und bis zu 50 % für warme Klimazonen liegt, mit einem Versorgungsdeckungsfaktor (SCF) von bis zu 50 % für kleinere PV-Systeme und nur 25 % für größere Systeme. Stattdessen muss bei MFH eine hohe Variabilität aufgrund der möglichen Größe, Form und Anzahl der Stockwerke berücksichtigt werden. In der Regel ist die verfügbare Dachfläche im Verhältnis zur Energiebezugsfläche klein und die Nutzung der Fassade zusätzlich zum Dach ist relevanter als im EFH. Im Wohnbereich erwies sich die WRG als unwirtschaftlich, diese wird aber dennoch empfohlen, um ein hohes Niveau der Raumluftqualität zu gewährleisten und um Unbehaglichkeitssituationen (Kaltluft) zu vermeiden. Mit einer Abluftanlage kann dies nicht garantiert werden, insbesondere an Standorten mit kühlem Klima. Die Anwendung von DWRG ist in einigen Fällen wirtschaftlich, aber sie trägt nur im Falle einer direkt-elektrischen (DE) Warmwasserbereitung, welche grundsätzlich vermieden werden sollte, signifikant zu PE-Einsparungen bei. Im Fall von Luft-WP und insbesondere im Fall von GW-WP ist der Vorteil relativ gering. Die Anwendung von PV ermöglicht in vielen Fällen eine Reduzierung der PE auf null. Die Kostenoptimalitäts-Kurve ist relativ flach, und mehrere Kombinationen führen zu ähnlichen jährlichen kapitalisierten Kosten- und PE-Einsparungen. Das Klima beeinflusst die kostenoptimale Kombination von Gebäudehülle, HLK und erneuerbaren Energien. Es ist anzumerken, dass die Annahme der Kostenparameter (wie z.B. Strompreise, Preisentwicklung und lokale Variation der Geräte- und Installationskosten) und das Nutzerverhalten wichtige Faktoren sind und die Ergebnisse

erheblich beeinflussen können. Im europäischen Kontext führte der Einsatz von BISES zu niedrigen PE-Werten in gemäßigten bis warmen Klimazonen. Die Reduzierung des PE ist jedoch in kalten Klimazonen kosteneffektiv, sofern nicht sehr hohe PE-Einsparungen erzielt werden sollten.

Die potenziellen PE-Einsparungen von BISES auf Gebäudeebene wurden für verschiedene Szenarien der (zukünftigen) Energiemix-Zusammensetzung durch Anwendung monatlicher Primärenergiefaktoren analysiert. Es konnte beobachtet werden, dass die Zusammensetzung des Strom-Mix die kostenoptimale Lösung und die Einstufung der verschiedenen Technologien beeinflusst. Mit (künftigen) höheren Anteilen erneuerbarer Energien am Strom-Mix wird die EE vor Ort weniger vorteilhaft, stattdessen würden Technologien, die den Energiebedarf im Winter senken, wie passive Lösungen, Wärmerückgewinnung oder Wärmepumpen, die BISES übertreffen.

Betrachtet man nur die Investitionskosten (was in vielen Fällen immer noch das relevante Entscheidungskriterium ist), so erfordern die Lösungen mit hohen PE-Einsparungen eindeutig auch höhere Investitionen. Daher sind Anreize erforderlich, um die Umsetzung kostenoptimaler Lösungen mit hoher PE-Einsparung zu fördern.

Generell können für die IEA SHC Task 56 folgende Schlussfolgerungen abgeleitet werden. Trotz des vielversprechenden Potentials von BISES und der Notwendigkeit BISES zur Erreichung der ambitionierten Klimaschutzziele einzusetzen, stehen einer breiten Markteinführung Barrieren entgegen, die im Folgenden aufgelistet werden:

Technische Barrieren

- Oft maßgeschneiderte Lösungen mit BISES, damit höhere Risiken
- Design der Hülle muss aktive Komponenten berücksichtigen damit geringere Flexibilität beim Design (und höhere Kosten)
- Potenziell weniger zuverlässige Konstruktion/Installation mit BISES
- Potenziell geringere Nutzungsdauer der aktiven Komponenten im Vergleich zur Nutzungsdauer der Fassade (Zugänglichkeit, Wartung, etc.)
- Verfügbarkeit von Ersatzteilen -> Geschäftsmodell
- Technologische Integration mit den übrigen Systemen (Luft, Wasser, Strom, Regelung ...) kann herausfordernd sein

Barrieren bei der Planung

- Mangelnde Ausbildung (Techniker und Gebäudeplaner)
- Fehlende Demos (best practice Beispiele)
- Fehlende Planungswerkzeuge, die einfach zu verwenden sind
- Keine Einheitliche Definition (und Grenzwerte) von Leistungsindikatoren (KPIs)
- Interdisziplinäre Fähigkeiten erforderlich
- Keine klaren Vorteile für den Planer bei der Verwendung von BISES
- Architektonische Integration kann eine Herausforderung sein
- Überschneidungen von Rollen und Verantwortlichkeiten, Schnittstellendefinition fehlt
- 2D-Kataster ermöglichen keine Bewertung von Solarfassadenlösungen

Barrieren bei Normen/Standards

- Schnittpunkte von Normen für aktive Bauteile und konstruktive Bauprodukte
- Normen unterscheiden sich zwischen Ländern und Regionen
- Komplexe öffentliche Ausschreibungen:
 - Keine gemeinsamen Basisdaten
 - Nicht genug Gewicht für diese Lösungen (Präferenz für Standardlösungen)
- PV-Eigenverbrauch vs. Netzanschluss; keine eindeutige Regelung

Barrieren bei Geschäftsmodellen

- Hohe Investition - für den Eigentümer, Nutzen für den Mieter/Benutzer
- generell ist es schwierig mit neuen Modellen zu überzeugen
- Energieeffizienz hat häufig keine Priorität. Es ist schwierig, Mehrwerte wie den Komfort oder freie Sicht abzuschätzen bzw. zu monetarisieren
- Kostenwettbewerbsfähigkeit mit anderen nicht integrierten Technologien
- Haftungsrisiko
- Finanzierungsrisiko

Weiterführende IEA-Kooperationsprojekte sind geplant bzw. schon in Vorbereitung, u.a. „Solar Energy Buildings.“ Auf nationaler Ebene startet u.a. im Rahmen der FFG SdZ Ausschreibung das Projekt „RENEWnow“ für die Steigerung der Energieeffizienz und die Erhöhung der EE im Bereich der Sanierung. Eine direkte Nachfolge des IEA SHC Task 56 wurde im Rahmen eines Workshops bei Eurac in Bozen im Februar 2020 diskutiert.

Weiterführende Aktivitäten sollten folgende Punkte umfassen.

- Technologieentwicklung (Wärmepumpen, Lüftung, Duschwasserwärmerückgewinnung, (BI)PV, Tageslichtsysteme, etc.) mit dem Ziel kompakte und kostengünstige und langlebige Systemlösungen anbieten zu können
- Vorfertigung und Entwicklung von Systemlösungen insbesondere für die Sanierung
- Weiterentwicklung von Förderinstrumentarien, Berücksichtigung von Lebenszykluskosten
- Weiterentwicklung von Design und Simulationstools, die entlang der Planungsphase von Gebäuden die Integration von Erneuerbaren Energien insbesondere BISES ermöglichen und fördern.
- Einbindung und Bewertung von EE auf Stadtteilebene
- Effizienzgarantien (Energie-Contracting), Tools für die genauere Vorhersage der Effizienz und für (teil)automatisierte Überwachung und Optimierung während der Inbetriebnahme und während des Betriebs von Gebäuden
- Umsetzung der Empfehlungen in der OIB-6, insbesondere der monatlichen Primärenergiebewertung; Festlegung von für die Erreichung der Klimaschutzziele notwendigen maximalen Grenzwerte für nichterneuerbare PE und CO₂.

Literaturverzeichnis

- [1] E. Taveres-Cachat, F. Goia und S. Grynning, „Solar efficiency index of building envelopes and load matching in low energy buildings,“ in *7th International Building Physics Conference IBPC2018*, Syracuse, NY, USA, 2018.
- [2] D. B. Crawley, L. K. Lawrie, C. O. Pedersen and F. C. Winkelmann, „EnergyPlus: Energy Simulation Program,“ *ASHRAE Journal*, vol. 42, pp. 49-56, 2000.
- [3] S. Klein, W. Beckman, J. Mitchell, J. Duffie, N. Duffie, T. Freeman und et al., „TRNSYS 17, TRaNsient SYstem Simulation program.,“ University of Wisconsin, Madison, WI, USA, 1979.
- [4] D. Siegele, E. Leonardi and F. Ochs, „A new MATLAB Simulink Toolbox for Dynamic Building Simulation with BIM and Hardware in the Loop compatibility,“ in *Building Simulation*, Rome, 2019.
- [5] J. P. Campana, G. L. Morini und M. Magni, „The benchmark of the SIMULINK open library ALMABuild for dynamic modelling of buildings,“ in *16th International Conference on Sustainable Energy Technologies – SET 2017*, Bologna, 2017.
- [6] M. Wetter, W. Zuo und S. Noudui, „Modeling of Heat Transfer in Rooms in the Modelica "Buildings" Library,“ in *Building Performance Simulation conference*, Sydney (AUS), 2011.
- [7] M. Werner, D. Geisler-Moroder, B. Junghans, O. Ebert and W. Feist, „DALEC – a novel web tool for integrated day- and artificial light and energy calculation,“ *Journal of Building Performance Simulation*, vol. 10, no. 3, pp. 344-363, 2016.
- [8] Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, „Fener,“ [Online]. Available: <https://fener-webport.ise.fraunhofer.de/>. [Accessed 06 04 2020].
- [9] W. Feist, „PHPP - Passive House Planning Package,“ [Online]. Available: https://passivehouse.com/04_phpp/04_phpp.htm. [Accessed 16 01 2019].
- [10] D. B. Crawley, J. W. Hand, M. Kummert und B. T. Griffith, „Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs,“ *Building and Environment*, Bd. 43, pp. 661-673, 2008.
- [11] P. Wargocki, O. Seppänen, J. Andersson, A. Boerstra, D. Clements-Croome, K. Fitzner und S. Hanssen, *Indoor climate and productivity in offices*, Rotterdam: REHVA / ISSO, 2007.
- [12] C. Reinhart, *Daylighting Handbook II: Daylight Simulations and Dynamic Facades*, Boston.: Building Technology Press, 2018.
- [13] M. Knoop, O. Stefani, B. Bueno, B. Matusiak, R. Hobday, A. Wirz-Justice, K. Martiny, T. Kantermann, M. Aarts und N. Zemmouri, „Daylight: What makes the difference?,“ *Lighting Research & Technology*, 2019.
- [14] K. Konis und S. Selkowitz, „Effective Daylighting with High-Performance Facades, Cham, Switzerland: Springer, 2017.
- [15] W. Beck, D. Dolmans, G. Dutoo, A. Hall und O. Seppänen, *Solar Shading. REHVA Guidebook 12*, Forssa, Finland: REHVA, 2010,.

- [16] T. Kuhn, State of the art of advanced solar control devices for buildings, *Solar Energy*, 2017.
- [17] R. Loonen, Approaches for computational performance optimization of innovative adaptive façade concepts, Eindhoven.: Eindhoven university of technology, 2018 .
- [18] F. Favoino, F. Fiorito, A. Cannavale, G. Ranzi und M. Overend, „Optimal control and performance of photovoltachromic switchable glazing for building integration in temperate climates,“ *Applied energy*, Bd. 178, pp. 943-961, 2016.
- [19] CEN, „European Daylight Standard (EN 17037): Daylighting in Buildings,“ Brussels, 2019.
- [20] R. C. G. M. Loonen, F. Favoino, J. L. M. Hensen und M. Overend, „Review of current status, requirements and opportunities for building performance simulation of adaptive facades,“ *Journal of Building Performance Simulation*, Bd. 10, Nr. 2, pp. 205-223, 2017.
- [21] K. Bodde, S. Vries de, R. Loonen und J. L. M. Hensen, „Coupled design optimization of façade design and automated shading control for improving visual comfort in office buildings,“ Eindhoven University of Technology, Eindhoven, 2020.
- [22] C. Reinhart, *Daylighting Handbook II: Daylight Simulations and Dynamic Facades*, Boston.: Building Technology Press, 2018.
- [23] A. Luna-Navarro, R. Loonen, M. Juaristi, A. Monge-Barrio, S. Attia und M. Overend, „Occupant-Facade interaction: A review and classification scheme,“ *Building and Environment*, 2020.
- [24] S. A. Sadeghi, P. Karava, I. Konstantzos und A. Tzempelikos, „Occupant interactions with shading and lighting systems using different control interfaces: A pilot field study,“ *Building and Environment*, Bd. 97: p, pp. 177-195, 2016.
- [25] W. O'Brien, A. Athienitis und K. Kapsis, „Manually-operated window shade patterns in office buildings: A critical review,“ *Building and Environment*, Bd. 60, pp. 319-338, 2013.
- [26] R. J. Lucas, S. N. Peirson, D. M. Berson, T. M. Brown, H. M. Cooper, C. A. Czeisler, M. G. Figueiro, P. D. Gamlin, S. W. Lockley, J. B. O'Hagan, L. L. A. Price, I. Provencio, D. J. Skene und G. C. Brainard, „Measuring and using light in the melanopsin age,“ *Trends in neurosciences*, Bd. 37, Nr. 1, pp. 1-9, 2014.
- [27] M. Rea und M. Figueiro, „Light as a circadian stimulus for architectural lighting,“ *Lighting Research & Technology*, Bd. 50, Nr. 4, pp. 497-510, 2018.
- [28] M. Figueiro, M. Kalsher, B. Steverson, J. Heerwagen, K. Kampschroer und M. Rea, „Circadian-effective light and its impact on alertness in office workers,“ *Lighting Research & Technology*, Bd. 51, Nr. 2, pp. 171-183, 2019.
- [29] K. Konis, „A circadian design assist tool to evaluate daylight access in buildings for human biological lighting needs,“ *Solar Energy*, Bd. 191, pp. 449-458., 2019.
- [30] WELL, „The WELL Building Standard v2 with Q1 2019 Addenda,“ WELL Building Institute, New York, 2019.
- [31] UL, „UL RP 24480: Recommended Practice and Design Guideline for Promoting Circadian Entrainment with Light for Day-Active People (In public review.,“ Underwriters Laboratories, Northbrook, 2019.

- [32] CIE, „026/E: CIE System for Metrology of Optical Radiation for ipRGC-Influenced Responses to Light".,“ CIE, Vienna, 2018..
- [33] M. Inanici, M. Brennan und E. Clark, „Spectral daylighting simulations: Computing circadian light,“ in *BS2015: 14th Conference of International Building Performance Simulation Association*, Hyderabad, India, 2015.
- [34] Solemma, *ALFA - Adaptive Lighting for Alertness*, Boston, United States.: Solemma and Alertness CRC.
- [35] D. Geisler-Moroder und A. Dür, Estimating melatonin suppression and photosynthesis activity in real-world scenes from computer generated images". in Conference on Colour in Graphics, Imaging, and Vision. 2010. Society for Imaging Science and Technology..
- [36] H. Hellinga, *Daylight and View : The Influence of Windows on the Visual Quality of Indoor Spaces*, Delft: Delft University Press, 2013.
- [37] L. Heschong, „Windows and offices: A study of office worker performance and the indoor environment,“ California Energy Commission, California , 2003.
- [38] I. Konstantzos, Y.-C. Chan, J. C. Seibold, A. Tzempelikos, R. W. Proctor und J. B. Protzman, „View Clarity Index: a new metric to evaluate clarity of view through window shades,“ *Building and Environment*, Bd. 90, pp. 206-214, 2015.
- [39] W. H. Ko, S. Schiavon, H. Zhang, L. Graham, G. Brager, I. Mauss und Y.-W. Lin, „The Impact of a View from a Window on Thermal Comfort, Emotion, and Cognitive Performance,“ *Building and Environment*, 2020.
- [40] J. Wienold, *Daylight glare in offices*, Fraunhofer, 2010.
- [41] J. Mardaljevic, „Aperture-based daylight modelling: Introducing the 'View Lumen'“, in *Proceedings of IBPSA Building Simulation 2019*, Rome, 2019.
- [42] J. Wienold, „Dynamic simulation of blind control strategies for visual comfort and energy balance analysis,“ in *Proceedings of IBPSA Building Simulation 2007*, Glasgow, 2007.
- [43] H. Hellinga und T. Hordijk, „The D&V analysis method: A method for the analysis of daylight access and view quality,“ *Building and Environment*, Bd. 79, pp. 101-114., 2014.
- [44] I. Turan, C. Reinhart und M. Kocher, „Evaluating Spatially-Distributed Views in Open Plan Work Spaces,“ in *Proceedings of IBPSA Building Simulation 2019*, Rome, 2019.
- [45] I. Konstantzos und A. Tzempelikos, „A Holistic Approach for Improving Visual Environment in Private Offices,“ *Procedia environmental sciences*, Bd. 38 , pp. 372-380, 2017.
- [46] W. Li und H. Samuelson, „A New Method for Visualizing and Evaluating Views in Architectural Design,“ *Developments in the Built Environment*, 2020.
- [47] P. Pilechiha, M. Mahdavejad, F. Pour Rahimian, P. Carnemolla und S. Seyedzadeh, „Multi-objective optimisation framework for designing office windows: quality of view, daylight and energy efficiency,“ *Applied Energy*, Bd. 261, 2020.
- [48] L. Edwards und P. Torcellini, „Literature review of the effects of natural light on building occupants,“ National Renewable Energy Lab, Golden, CO.(US), 2002.

- [49] M. Boubekri, I. N. Cheung, K. J. Reid, C.-H. Wang und P. C. Zee, „Impact of windows and daylight exposure on overall health and sleep quality of office workers: a case-control pilot study,“ *Journal of clinical sleep medicine: JCSM: official publication of the American Academy of Sleep Medicine*, Bd. 10, Nr. 6, p. 603, 2014.
- [50] Ochs, Fabian; Dermentzis, Georgios (2018): Evaluation of Efficiency and Renewable Energy Measures Considering the Future Energy Mix. In: 7th International Building Physics Conference (IBPC 2018). Proceedings. Syracuse, NY, USA, September 23 - 26. 2018. Syracuse: Syracuse University., S. 1271 - 1276. (DOI)
- [51] Magni, Mara; Ochs, Fabian; Bonato, Paolo; D'Antoni, Matteo; Geisler-Moroder, David; de Vries, Samuel; Loonen, Roel; Maccarini, Alessandro; Afshari, Alireza; Calabrese, Toni (2019): Comparison of simulation results for an office building between different BES tools: the challenge of getting rid of modeller Influence and Identifying Reasons for deviations. IBPSA., Rome, 2019. ISBN 978-1-7750520-1-2, S. 1475 - 1482.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Beispiele von Solaren Fassadensystemen.	21
Abbildung 2: Solarfassade auf einem Gebäude in einer "fossilen" Nachbarschaft.	25
Abbildung 3: Solarfassade auf einem Gebäude in einer "grünen" Nachbarschaft.	26
Abbildung 4: Monatlicher Anteil erneuerbarer Energien (Wasserkraft, Wind, Photovoltaik, fossile Energieträger) und entsprechender PE-Umwandlungsfaktor, Beispiel eines PH mit einer HP für Heizung und Warmwasserversorgung mit einem Anteil von 10 % Wasserkraft, 10 % Wind, 10 % Photovoltaik und 70 % fossiler Energieträger am Strommix.	29
Abbildung 5: Mögliche Bandbreite des (elektrischen) Endenergiebedarfs eines typischen Bürogebäudes (oben) und eines typischen Wohngebäudes (unten); (links) hocheffizientes Gebäude mit "niedrigem" Bedarf; (rechts) ineffizientes Gebäude mit "hohem" Bedarf (HD: Heizwärmebedarf, CD: Kühlbedarf, DHW: Trinkwarmwasserbedarf, AUX: Hilfsenergie, APP: Haushaltsstrom, allgemeine elektrische Verbraucher, Lighting: Beleuchtung).	32
Abbildung 6: Heizwärmebedarf (HD) und Kühlbedarf (CD) für warmes (Rom), gemäßigtes (Stuttgart) und kaltes (Stockholm) Klima ohne Wärmerückgewinnung (no MVHR), mit Wärmerückgewinnung (HRV) und mit Energierückgewinnung (ERV).	33
Abbildung 7: Heizlast (HL) und Kühllast (CL) für warmes (Rom), gemäßigtes (Stuttgart) und kaltes (Stockholm) Klima ohne Wärmerückgewinnung (no MVHR), mit Wärmerückgewinnung (HRV) und mit Energierückgewinnung (ERV).	33
Abbildung 8: Typischer Befeuchtungsbedarf (Hum) und Entfeuchtungsbedarf (Dehum) für warmes (Rom), gemäßigtes (Stuttgart) und kaltes (Stockholm) Klima ohne Wärmerückgewinnung (no MVHR), mit Wärmerückgewinnung (HRV) und mit Energierückgewinnung (ERV).	34
Abbildung 9: Heizlast (HL) vs. Heizwärmebedarf (HD) für Rom, Stuttgart und Stockholm mit und ohne WRG (MVHR), Leuchtstoffröhren.	35
Abbildung 10: Kühllast (CL) vs. Kühlbedarf (CD) für Rom, Stuttgart und Stockholm mit und ohne WRG (MVHR), Leuchtstoffröhren.	35
Abbildung 11: Heizlast (HL) vs. Heizwärmebedarf (HD) für Rom, Stuttgart und Stockholm mit und ohne Wärmerückgewinnung (MVHR) für ein EFH.	36
Abbildung 12: Typischer PV-Jahresertrag bezogen auf die Energiebezugsfläche (EBF bzw. treated area A_T) einer Bürozeile mit 27 m ² Energiebezugsfläche und 5,4 m ² opaker Fassadenfläche ca. 0.8 kWp PV.	37
Abbildung 13: Typischer PV-Jahresertrag bezogen auf die Energiebezugsfläche eines Einfamilienhauses (EFH) mit 140 m ² Energiebezugsfläche und 5 kWp PV-Anlage auf dem Dach (45° Süd) und optional zusätzlich 1 kWp oder 5 kWp an der Südfassade.	37
Abbildung 14: 3D Ansicht auf die Referenz-Bürogebäudezeile.	41
Abbildung 15: Schematische Darstellung der Bauplanungsphasen.	41
Abbildung 16: Spezifische jährliche kapitalisierte Differenzkosten (ΔC) als Funktion der spezifischen Primärenergieeinsparungen (ΔPE) im Vergleich zum Referenzfall für die untersuchten Fälle in den drei Klimazonen (Stockholm (a), Stuttgart (b), Rom (c)); für Leuchtstoffröhren (links) und LED-Beleuchtung (rechts)	43

Abbildung 17: Elektrischer Energiebedarf für Heizen, Kühlen und Beleuchtung (a) und kontinuierliche Tageslichtautonomie (b) für Stockholm.	46
Abbildung 18: Jährlich eingekaufter Strom je nach PV-Größe für drei verschiedene Warmwasserbedarf. Es werden nur Fälle mit Luft/Luft WP als Heizsystem berücksichtigt	47
Abbildung 19: Kapitalisierte jährliche spezifische Kosten (links) und kapitalisierte Kosten pro eingesparter kWh PE (rechts) als Funktion der nicht-erneuerbaren Primärenergie für ein EFH in Straßburg ohne PV, mit 5 kWp auf dem 45° geneigten südorientierten Dach (R), sowie zusätzlich 1 kWp (R+s-F) oder 5 kWp (R+l-F) auf der Südfassade	50
Abbildung 20: Kurve mit den niedrigsten Kosten pro n. ern. Primärenergie (PE) für 9 verschiedene europäische Klimazonen (ohne Kühlung)	50
Abbildung 21: Kurve mit der niedrigsten Kostendifferenz pro eingesparter pro n. ern. Primärenergie (PE) für 9 verschiedene europäische Klimazonen (ohne Kühlung)	51
Abbildung 22: Bedarf an nichterneuerbarer Energie für die untersuchten Varianten und für verschiedene Primärenergieumrechnungsfaktoren	52

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Komponenten von Solarfassaden, Verwendung und Art der Systemintegration.	24
Tabelle 2: Monatliche PE-Umrechnungsfaktoren nach Abbildung 4.	29
Tabelle 3: Untersuchte Fallstudien zur verbesserten Integration von Tageslichtsystemen.	45

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Beschreibung	Abkürzung	Beschreibung
AT	Energiebezugsfläche	LCC	Life Cycle Cost (Lebenszykluskosten)
BIPV	Gebäudeintegrierte Photovoltaik	LCF	Load Cover Factor (Lastdeckungsfaktor)
BIPVT	Gebäudeintegrierte Photovoltaik-Thermie	LED	Light emitting diode
BISES	Gebäudeintegrierte Solare Fassade	MFH	Mehr-Familien Haus
BIST	Gebäudeintegrierte Solarthermie	MVHR	Mechanische Lüftung mit Wärmerück- gewinnung
DA	Daylight Autonomy	NZEB	Netto-Nullenergiegebäude
DE	Direkt Elektrisch	nZEB	Nearly-Zero Energy Building (Niedrigstenergiegebäude)
DHW	Domestic Hot Water (Trinkwarmwasser)	PE	Primärenergie
DWRG	Duschwasserrück- gewinnung	PH	Passivhaus
EE	Erneuerbare Energien	PV	Photovoltaik
EFH	Einfamilienhaus	PVT	Photovoltaik-Thermie
EPBD	Energy Performance of Building Directive	RLQ	Raumluftqualität
ERV	Energy Recovery Ventilation (Lüftung mit Energierückgewinnung)	ROI	Return on Investment
EU	Europäische Union	SCF	Supply Cover Factor (Versorgungs- Deckungsfaktor)
FE	Final Energy / Endenergie	SDWR	Shower Drain Water Recovery (Dusch- Wasserrückgewinnung)
GW	Grundwasser	SFP	Specific Fan Power (Spezifische Ventilatorleistung)
HWB / HD	Heizwärmebedarf	SHGC	Solar Heat Gain Coefficient (g-Wert)
HL	Heizlast	ST	Solarthermie
HLK	Heizung Lüftung Kühlung	TWW	Trinkwarmwasser
HRV	Heat Recovery Ventilation (Wärmerück- Gewinnung)	UE	Useful Energy (Nutzenergie)
IAQ	Indoor Air Quality (Raumluftqualität)	WB	Wärmebedarf
KB (CB)	Kühlungsbedarf	WL	Wärmelast
KL (CL)	Kühllast	WP	Wärmepumpe
KPI	Key Performance Indicator (Leistungsindikator)		



**Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)**

Radetzkystraße 2, 1030 Wien

[bmk.gv.at](https://www.bmk.gv.at)