

„EnShade - innovative multifunktionale Sonnenschutz-Wärmedämm-PV-Systeme in Leichtbauweise zur hocheffizienten energetischen Dämmung verglaster Gebäudeöffnungen mit integrierter solarer Energiegewinnung“

Stefan Krause¹, Robert Seibt¹, Peter Kaufmann¹

¹Institut für Strukturleichtbau und Energieeffizienz gGmbH, Chemnitz

Abstract

Verglaste Flächen an Industrie- und Gewerbegebäuden tragen aufgrund ihrer im Vergleich zu den Wänden der Gebäude geringeren Wärmedämmung überproportional zu Wärmeverlusten bei. Darüber hinaus bedingen Gebäudeverglasungen einen infolge meist hoher Flächenanteile an der Gebäudehülle erhöhten energetischen Aufwand für die Klimatisierung des Gebäudes, sofern im Falle hoher solarer Einstrahlung keine hinreichende Verschattung gewährleistet werden kann. Ziel des hier dargestellten Forschungs- und Entwicklungsprojekts „EnShade“ war die signifikante Gebäudeenergiebedarfsreduzierung sowie eine erhöhte Nutzung regenerativer Energien (PV) für verglaste Gebäudehüllflächen. Dafür wurden im Rahmen des Projektes multifunktionale Sonnenschutz-, Wärmedämm- und PV-Systeme zur Steigerung der Energieeffizienz verglaster Gebäudeöffnungen entwickelt. Die erarbeiteten konzeptionelle Entwürfe und konstruktiven Gestaltungen wurden in Funktions- und Großdemonstratoren überführt und erprobt.

1. Einleitung

Das innovative multifunktionale Fensterladensegment, dient sowohl der effektiven Wärmedämmung und damit der Einhaltung der aus der EnEV ab 2016 (vgl. [1]) abzuleitenden Forderungen zur Minimierung von Wärmeverlusten im Winter, als auch zur Abschattung sowie als sommerlicher Wärmeschutz mit dem Ziel der Reduzierung des Energieaufwandes für die Klimatisierung von Gebäuden. Beide Aspekte sind verbindliche Bestandteile der Festlegungen des Klimaschutzplans 2050 der Bundesrepublik Deutschland [2], der auf den Pariser Klimaschutzvertrag [3] Bezug nimmt und das zentrale Ziel dieses Vertrages – die Absenkung der prognostizierten Klimaerwärmung auf einen Anstieg von unter 2 K bezogen auf die weltweite Durchschnittstemperatur – durch konkrete Energieeinsparmaßnahmen zur Verminderung des CO₂-Austoßes untersetzt. Abb. 1 illustriert dies am Beispiel der zunehmenden Verschärfung der Energiesparvorgaben für den Heizenergiebedarf von Neubauten (vgl. [4]), die sich perspektivisch nur durch konsequente Verbesserung der Gebäudedämmung einhalten lassen.

Entwicklung des zulässigen Heizenergiebedarfs
Anforderungen im Neubau

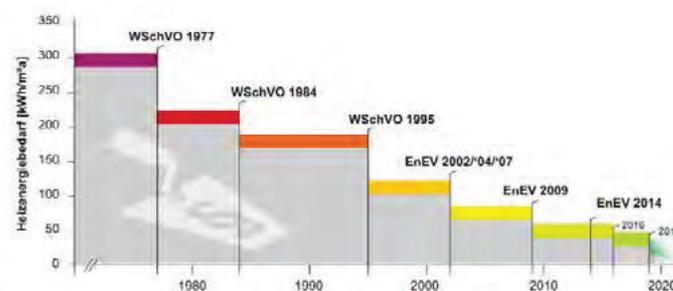


Abb. 1: Entwicklung der gesetzlichen Energiesparvorgaben für Neubauten ([4])

Im Sinne dieser Vorgaben soll das entwickelte System einen wesentlichen Beitrag zur Verbesserung der Energiebilanz von Gebäuden leisten, indem dem Anstieg der zur Temperierung erforderlichen Heiz-

und Kühllasten – der mit dem mit modernen architektonischen Konzepten einhergehenden steigenden Anteil von Gebäudeverglasungen zusammenhängt – entgegengewirkt wird ([5], [6]). Der Stand der Wissenschaft und Technik ist gekennzeichnet durch Einzellösungen für die Funktionalitäten Wärmedämmung, regenerative Stromerzeugung mittels Photovoltaik (PV) sowie Verschattung. Abb. 2 stellt eine stark vereinfachte Übersicht der zu Projektbeginn auf dem Markt vorhandenen Einzel- und Kombinationslösungen dar.

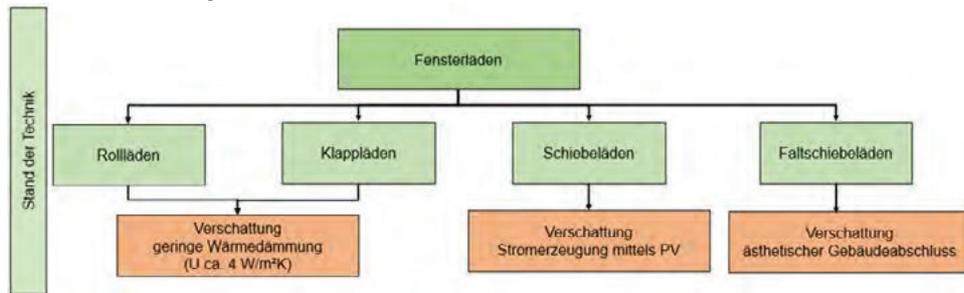


Abb. 2: Stand der Technik am Markt verfügbarer Fensterläden bei Projektbeginn

2. Zielstellung

Das Gesamtziel des Vorhabens war die Produkt- und Verfahrensentwicklung eines energieeffizienten, thermisch hochdämmenden Sonnenschutzsystems mit integrierten PV-Modulen zur solaren Energiegewinnung, das als vorgelagerte Komponente an Gebäudeverglasungen zu installieren ist und deren Energiebilanz erheblich verbessert (Abb. 3).

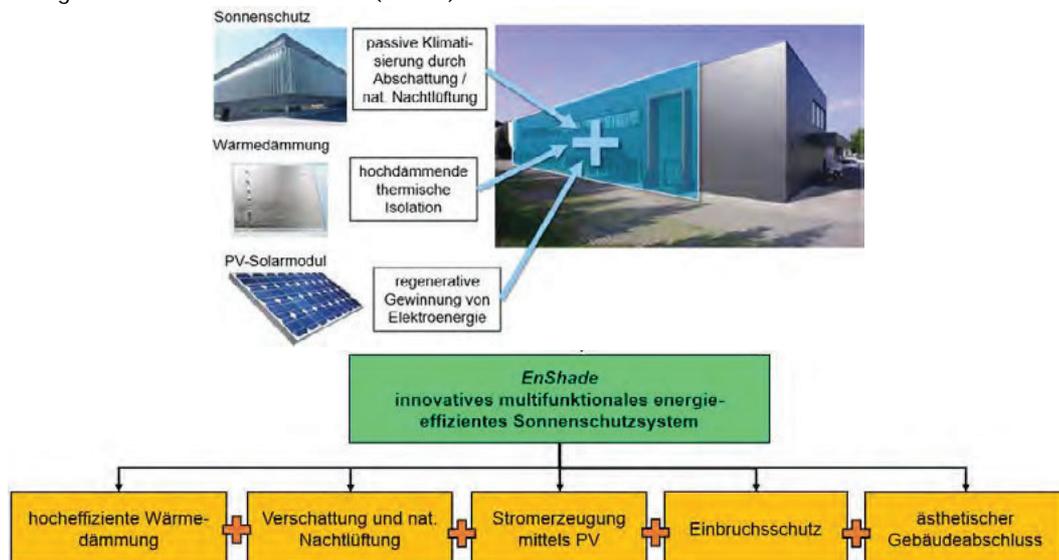


Abb. 3: *EnShade*: Multifunktionales Sonnenschutz-, Wärmedämm- und PV-System zur Steigerung der Energieeffizienz verglaster Gebäudeöffnungen

Das Projekt zielte durch innovative Funktionsintegration hocheffizienter Wärmedämmung, effektiven (geregelt) Sonnenschutzes und PV-Stromgewinnung auf eine erhebliche Verbesserung der Gesamtenergiebilanz von Gebäuden ab, was durch die Entwicklung eines thermisch optimierten, PV-aktiven Fensterladensegments unter Verwendung innovativer, schlanker und hochwärmedämmender Bauelemente in Form von vakuum-isolierten Paneelen (VIP), integriert in eine effektiv abdichtende und Wär-

mebrücken reduzierte Rahmenkonstruktion mit einer speziell dafür zu entwickelnden neuartigen smarten Antriebs- und Steuertechnologie erreicht werden soll, die saisonal auch die natürliche Nachtlüftung unterstützt

3. Konzeptlösungen

Für die zielgerichtete Entwicklung des EnShade-Systems wurden potentielle Anwendungsfälle analysiert und bewertet und anschließend zur Ableitung der funktionalen Zielstellungen Nutzerprofile entwickelt. Bei den ausgewählten Anwendungsfällen handelt es sich um Nichtwohngebäude, im Speziellen um industrielle Gebäude mit Lichtbändern sowie Bürogebäude mit entsprechenden Fensterabmessungen, die aufgrund der durchgeführten Anforderungs- und Bedarfsanalyse gewählt wurden. Im Ergebnis der durchgeführten Anforderungsanalyse wurde eine Bewertungsmatrix zur Auswahl eines geeigneten Fensterladenprinzips für das EnShade-System mit dem Ziel der Überprüfung der Integrierbarkeit der Einzelfunktionalitäten und Anforderungen in geeignete Fensterladentypen entwickelt. Im Ergebnis wurden Roll- und Klappläden aufgrund der nicht umsetzbaren angestrebten Multifunktionalität des EnShade-Systems ausgeschieden und der Entwicklungsfokus auf Falthebe-, Schiebe- und Faltschiebeläden gelegt, da:

- Lasten und Beanspruchungen (Eigengewicht und Windlasten) konstruktiv sinnvoll über fassaden-nahe Lager bzw. Führungen abgetragen werden können,
- der Platzbedarf von eingeklappten Läden bzw. der Klappradius beim Ein- und Ausklappen des Systems wegen der Teilung der abzuschattenden bzw. thermisch zu dämmenden Fläche in mehrere Einzelsegmente nur einen Bruchteil der Gesamtfläche bzw. -länge beträgt und damit sehr platzsparend gebaut werden kann und
- das Faltprinzip den Abdichtvorgang zwischen den Ladensegmenten und dem Gebäudeanschluss beim Schließen auf natürliche Weise unterstützt

Das entwickelte Lösungskonzept für den funktionalen Aufbau eines Falthebeladens zeigt Abb. 4.

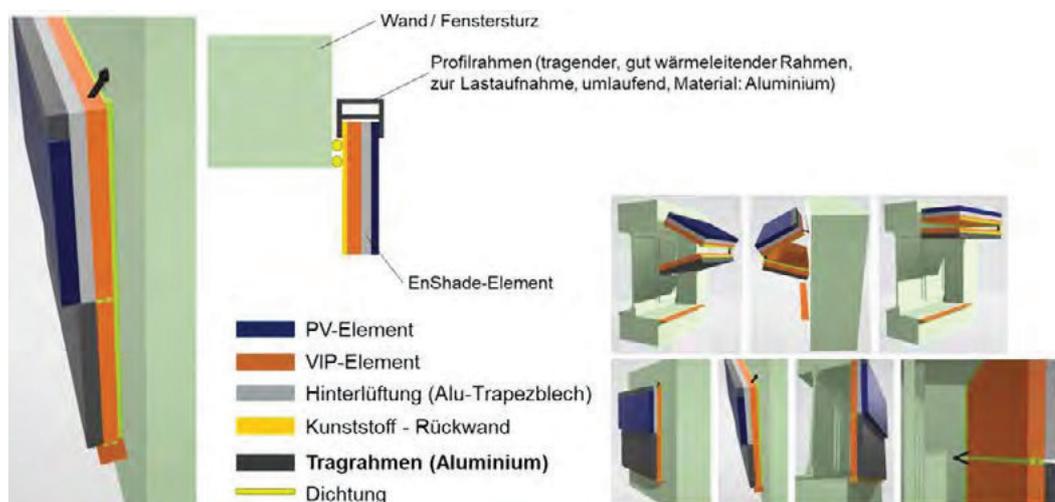


Abb. 4: Lösungskonzept für den funktionalen Aufbau eines Falthebeladens

Bei Falthebeläden, die auf die Fensterfasche aufgesetzt sind, können die Dichtungen zwischen Wand und EnShade-Element innerhalb des das EnShade-Element umschließenden Aluminium-Rahmens angeordnet werden. Wird für das EnShade-Element eine Rückwand aus wenig wärmeleitendem Material (z.B. Kunststoff, Aramid-Kunststoff-Verbund oder GFK) verwendet, können dadurch Wärmebrücken an der Oberkante und an den Seitenkanten weitgehend ausgeschlossen werden. Die Dichtung zwischen

EnShade-Fensterladen und Wand wird als Dreifachdichtung ausgeführt, und die wärmedämmenden Eigenschaften zweier eingeschlossener Luftkammern zu nutzen.

Als Lösungsansatz zur Vermeidung einer Wärmebrücke durch den Aluminiumrahmen in der Gelenkachse des Falthebeladens wurde die Kunststoff-Rückwand des EnShade-Elements zur Halbschale erweitert, d.h., das Element wurde an den Seiten umlaufend von einer nur gering wärmeleitenden Hülle umschlossen, die gleichzeitig einen Teil der tragenden Funktion übernimmt.

Darüber hinaus wurden Konzepte und konstruktive Lösungen für ein- und mehrflügelige Schiebeläden, einen Schiebeladen mit verstellbaren Lamellen sowie für einen Faltschiebeladen entwickelt, die hier nicht näher erörtert werden.

Infolge der rückwandigen Wärmedämmung der PV-Module konnte konzeptionell nicht ausgeschlossen werden, dass sich die Module bei hoher Sonneneinstrahlung sehr stark erwärmen, was potentiell zur Leistungsminderung, zur Lösung von Klebeverbindungen oder zur Beschädigung der Module (bei Modultemperaturen über 85 °C) führen kann. Aus diesem Grund wurde ein Konzept zur PV-Modul-Hinterlüftung auf Basis natürlicher Konvektion durchströmender Luft entwickelt: Ein zwischen PV-Modul-Rückseite und VIP eingebrachten Trapezblech aus Aluminium, leitet die Wärme von der Modulrückseite an die durchströmende Luft ab, die am unteren Ende durch Öffnungen im Rahmen ein- und am oberen Modulwende wieder austritt.

4. Bau und Beprobung von Demonstratoren

Aufgrund der vielfältigen Anforderungen, die im Projekt einerseits an die EnShade-Elemente und andererseits an die funktionale Gesamtkonstruktion der Fensterläden gestellt werden, wurden zunächst zwei Funktionsdemonstratoren konstruiert und gefertigt, die für die Prüfungen auf einem biaxial verstellbaren Versuchsstand im Solarlabor des ISE befestigt und unter verschiedenen Neigungswinkeln und bei hoher Sonneneinstrahlung auf Leistung und Erwärmung geprüft bzw. auf Durchbiegung getestet wurden (Abb. 5). Eines der beiden Systeme wurde mit einer kühlenden Hinterlüftung des PV-Moduls ausgerüstet, wodurch Vergleichsmessungen zwischen hinterlüfteter und nicht hinterlüfteter Variante möglich wurden.



Abb. 5: Im Solarlabor installierte Funktionsdemonstratoren (links) und Rahmen-Belastungs-Verformungs-Prüfung (rechts)

Versuche zur Leistungs- und Modultemperaturentwicklung wurden – bei ausschließlich südlicher Ausrichtung – in verschiedenen Neigungswinkeln gegenüber der Erdnormale ausgeführt. Dabei wurden ausschließlich Messungen von solchen Tagen berücksichtigt, an denen eine hohe Sonneneinstrahlung gemessen wurde. In einer ersten Versuchsphase wurden bei konstanter Neigung der Module von 30°, 45° und 60° über 24 Stunden die Messwerte Globalstrahlung, Modulleistung, Modultemperatur und Außentemperatur erfasst und ausgewertet. In einer zweiten Messphase – einer intermittierend nachgeführten Messung – wurde die Neigung der EnShade-Funktionsdemonstratoren in zeitlichen Abschnitten von 15 Minuten an den aktuellen Sonnenstand („Elevation“) bzw. an den „mittleren optimalen Winkel“ – den durchschnittlichen optimalen Neigungswinkel für das gesamte Jahr – automatisiert motorisch angepasst. Durch das abwechselnde Einstellen der Winkel können nahezu gleichbleibende Bedingungen

für die parallelen Messungen erreicht werden, sodass eine gute Vergleichbarkeit erzielt wurde. Die Ergebnisse der Untersuchungen an den Funktionsdemonstratoren belegten, dass

- die entwickelte fügetechnologische Lösung in Form der Klebtechnologie die Anforderungen erfüllt und auf die Großdemonstratoren übertragbar ist,
- sich die lastbedingte Verformung (Durchbiegung) der Sandwichkonstruktion im Vergleich zu reinen Alu- bzw. GFK-Rahmen um ca. 45% verringert und dies ausreicht, um eine gleichmäßige Andruckkraft an die umlaufenden Dichtungen umzusetzen,
- eine kühlende Hinterlüftung nicht erforderlich ist, da die maximale Temperatur des PV-Moduls von 85°C nicht erreicht und eine relevante Leistungssteigerung nicht nachgewiesen wurde.

Die mit den beiden Funktionsdemonstratoren gewonnenen Erkenntnisse flossen in die konzeptionelle Gestaltung, in die Konstruktion und die Auswahl der zur physischen Realisierung vorgesehenen Großdemonstratoren ein. Ein Schiebeladen und ein Falthebeladen wurden als Demonstratoren realisiert. Zur Umsetzung der einzelnen Entwicklungsschwerpunkte des Vorhabens wurde ein Containergebäude ausgewählt, an welchem die EnShade-Bauelemente installiert wurden. Die konzeptionelle Lösung des konzipierten Versuchsstandes zeigt Abb. 6.

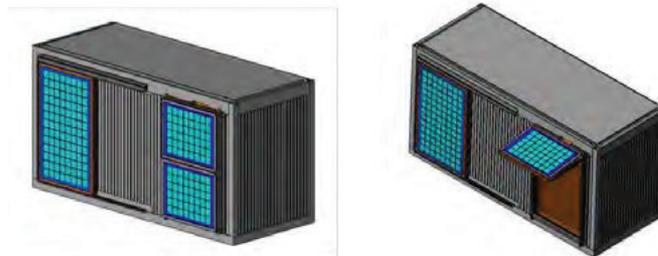


Abb. 6: EnShade-Versuchsstand für Großdemonstratoren

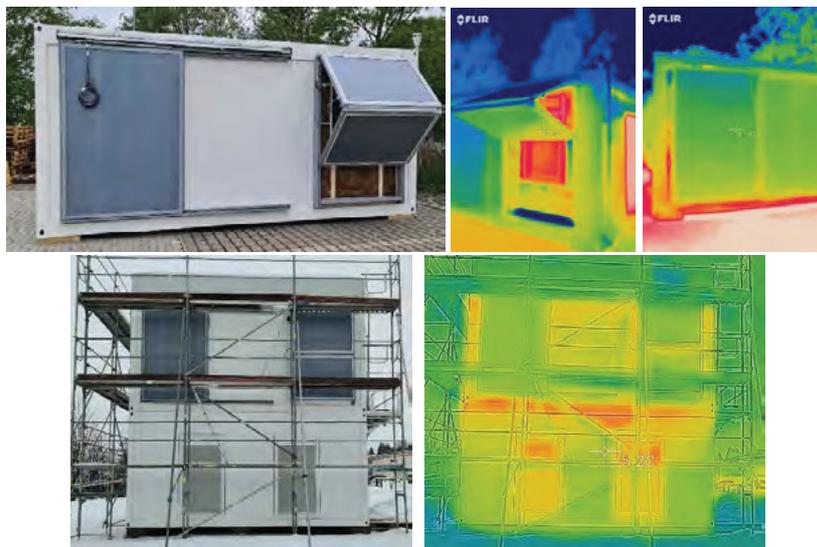


Abb. 7: EnShade-Containergebäude – installierte Demonstratoren (linke Bildhälfte) und thermographische Abbildungen des Wärmeverlustes bzw. der Dämmeigenschaften der beiden EnShade-Fensterläden im Vergleich zum restlichen Containergebäude (rechte Bildhälfte)

Nach Fertigung und Installation (Abb. 7, oben links) der beiden EnShade-Demonstratoren an einem wärme gedämmten Container und späterer Integration des Containers in ein Containergebäude (Abb. 7, unten links) wurden orientierende Messungen und thermographische Aufzeichnungen im Herbst (Abb. 7, oben rechts) bei Außentemperaturen von ca. + 5°C und im Winter (Abb. 7, unten rechts) bei Außentemperaturen von ca. -7°C ausgeführt. Die Innentemperaturen lagen bei den thermographischen Aufzeichnungen um etwa 20 bis 25 K über den jeweiligen Außentemperaturen. Die Darstellungen verdeutlichen, dass der U-Wert der Wärmedämmung beider EnShade-Fensterläden unterhalb des U-Wertes des restlichen Containergebäudes liegt.

Die wärmedämmenden Eigenschaften der EnShade-Elemente wurden darüber hinaus auch rechnerisch nachgewiesen. Für den Demonstrator Schiebeläden konnte somit ein effektiver U-Wert von 0,278 W/(m²*K) ermittelt werden.

Der Verlauf der PV-Leistung wurde im Spätsommer und Herbst über einen mehrwöchigen Zeitraum erfasst. Die Summe der realen Leistungen beider EnShade-Elemente erreichte dabei Spitzenwerte von ca. 380 W und mittlere Leistungen zwischen 150 und 300 W. Ausgehend von diesen Leistungsdaten war eine überschlägige Hochrechnung auf eine Jahresertragsmenge möglich. So konnte in Abhängigkeit der Lage des installierten Gebäudes sowie der Möglichkeit des Nachstellens des PV-Moduls durch Änderung der Neigung des Falthebelandens der angestrebte Jahresertrag von ca. 90 kWh pro Jahr und m² PV-bestückter Ladenfläche als realisierbar nachgewiesen werden.

5. Zusammenfassung

Das angestrebte Entwicklungsziel eines energieeffizienten, thermisch hochdämmenden Sonnenschutzsystems mit integrierten PV-Modulen zur solaren Energiegewinnung, das als vorgelagerte Komponente an Gebäudeverglasungen zu installieren ist und deren Energiebilanz erheblich verbessert wurde erreicht. Dazu wurden verschiedene Lösungsansätze verfolgt, die in Teilen nur konzeptionell, in anderen Teilen konzeptionell und konstruktiv umgesetzt und in zwei Fällen beispielhaft physisch realisiert und getestet wurden. Alle angestrebten Eigenschaften des EnShade-Systems konnten konzeptionell erreicht werden. Die Erfüllung vieler der angestrebten Ziele konnten darüber hinaus anhand der Demonstratoren belegt werden.

Das entwickelnde EnShade-Element kann sowohl durch Verringerung der für Gebäude erforderlichen Heiz- und Kühllasten als auch durch die Gewinnung von solarer Energie einen wesentlichen Beitrag zur Verbesserung der energetischen Bilanz leisten. Gleichzeitig kann es die dahinterliegenden Verglasungen gegen Vandalismus und Einbruch schützen.

Literaturverzeichnis

- [1] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), „Wirksamwerden der Anhebung der energetischen Anforderungen an Neubauten am 1. Januar 2016,“ 14.01.2016. [Online]. Available: <http://www.bmub.bund.de/themen/bauen/energieeffizientes-bauen-und-sanieren/energieeinsparverordnung/>.
- [2] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU), [Online]. Available: https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimaschutzplan_2050_bf.pdf. [Zugriff am 04.01.2022].
- [3] Europäische Kommission, „Pariser Übereinkommen,“ 04.01.2022. [Online]. Available: https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris_de.
- [4] S. Kersten, „Die Energieeinsparverordnung (EnEV 2014/2016), Vortrag auf dem Praxistag des Energiezentrum Willich,“ 04.01.2022. [Online]. Available: http://www.energiezentrum-willich.de/downloads/Praxistage/2015-09-25_EnEV_EZW.pdf.

- [5] S. Wirtz und M. Wirths, „Pfofen - Riegel - Konstruktionen /Elementfassaden,“ 04 01 2022. [Online]. Available: http://www.architektur.uni-siegen.de/aktuelles/brettbauko_wi/pdf/reader_fassadensysteme_2010_05_10.pdf.
- [6] Oberster Rechnungshof Bayern, „Jahresbericht 2007, TNr. 19. Staatliche Gebäude mit hohem Glasanteil in der Fassade,“ 04 01 2022. [Online]. Available: <https://www.orh.bayern.de/berichte/jahresberichte/archiv/jahresbericht-2007/beitraege-zu-baumassnahmen/262-tnr-19-staatliche-gebaeude-mit-hohem-glasanteil-in-der-fassade.html>.