

Retrofitted Building Skins – Energetische Optimierung der Gebäudehülle im Bestand

Jutta Albus¹, Lena Rehnig¹

¹ Technische Universität Dortmund, Fakultät Architektur und Bauingenieurwesen, Juniorprofessur Ressourceneffizientes Bauen, August-Schmidt-Straße 8, 44227 Dortmund, Deutschland; jutta.albus@tu-dortmund.de; lena.rehnig@tu-dortmund.de

Abstract

Um das Klimaziel der Bundesregierung zu erreichen, gilt die energetische Optimierung im Gebäudesektor als eine übergeordnete Aufgabe, die nicht nur die Erstellung neuer Gebäude, sondern auch die Ertüchtigung des Gebäudebestands betrifft. Gegenstand der Forschungs- und Lehrtätigkeiten des Lehrgebiets bilden Entwurfsentwicklungen, die durch innovative Gebäudehüllen und Fassadentechnologien einen nachhaltigen und ressourcenschonenden Beitrag auch für den hohen Anteil von Bestandsgebäuden leisten. Sanierungs- und Instandhaltungsmaßnahmen werden vor dem Hintergrund energetischer Optimierungsstrategien, nachhaltiger Gebäudekonzeption und ressourcenschonendem Materialeinsatz entwickelt und fokussieren dabei aktive und passive Maßnahmen. Dabei soll insbesondere der Anteil von bestehenden Büro- und Verwaltungsbauten betrachtet werden, der neben dem Wohngebäudebestand ein erhebliches Potential zur Reduzierung von CO₂-Emissionen aufzeigt.

Retrofitted Building Skins – energetic optimization of the building envelope of existing buildings. In order to adapt to the Federal Government's Climate Action Programme, energy optimization in the building sector is considered an important task that not only affects the construction of new buildings, but also the renovation of existing building stock. The research and teaching activities of the junior professorship focus on architectural design developments that follow sustainable and resource-saving parameters by implementing innovative building skins and facade technologies to improve the energetic building performance. Renovation and maintenance methods are developed against the background of energy optimization strategies, sustainable building design and resource-efficient use of materials, focusing on the implementation of active and passive measures. This paper emphasizes the proportion of existing office and administrative buildings, which, in addition to the residential building stock, have considerable potential to reduce CO₂ emissions.

Glasbau 2022. Herausgegeben von Bernhard Weller, Silke Tasche.

This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs License, which permits use and distribution in any medium, provided the original work is properly cited, the use is non-commercial and no modifications or adaptations are made.

Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL.

Schlagwörter: Klimaschutzziele der Bundesregierung, Gebäudehülle von Bestandsgebäuden, energetische Optimierungsstrategien

Keywords: Federal Government's Climate Action Programme, building envelope of existing buildings, energetic optimization strategies

1 Nachhaltige Optimierung bestehender Fassaden zur Verlängerung der Nutzungsphase von Bestandsgebäuden

Die Bundesregierung verabschiedete einen Klimaschutzplan, der bis zum Jahr 2050 eine Klimaneutralität der gesamten Gesellschaft zum Ziel hat [1]. Einen wesentlichen Beitrag obliegt dem Bauwesen (Bild 1), welches bis 2030 eine Reduktion der derzeitigen CO₂-Äquivalenten um 50%–60% beisteuern muss. Laut Umweltbundesamt und deren veröffentlichten CO₂-Emissionsdaten für das Jahr 2020 ist der Gebäudesektor der einzige Bereich, in dem die Klimaziele des Klimaschutzgesetzes verfehlt wurden. Statt der Zielsetzung die CO₂-Emissionen um 5 Mio. Tonnen zu senken, wurde lediglich eine Reduzierung um ca. 3 Mio. Tonnen erreicht [2].

Um das Klimaziel der Bundesregierung zu erfüllen, gilt die energetische Optimierung im Gebäudesektor als eine übergeordnete Aufgabe, die nicht nur durch die Errichtung neuer Gebäude, sondern insbesondere auch die Sanierung und energetische Verbesserung des Gebäudebestands erreicht werden kann. Mit der Einführung der EnEV am 01. Februar 2002 (seit November 2020 GEG) soll eine Steigerung des energetischen Effizienzstandards von Wohn- und Nichtwohngebäuden herbeigeführt werden. Die Maßnahmen sind bisher insbesondere auf den Neubau derer gerichtet. Der große An-

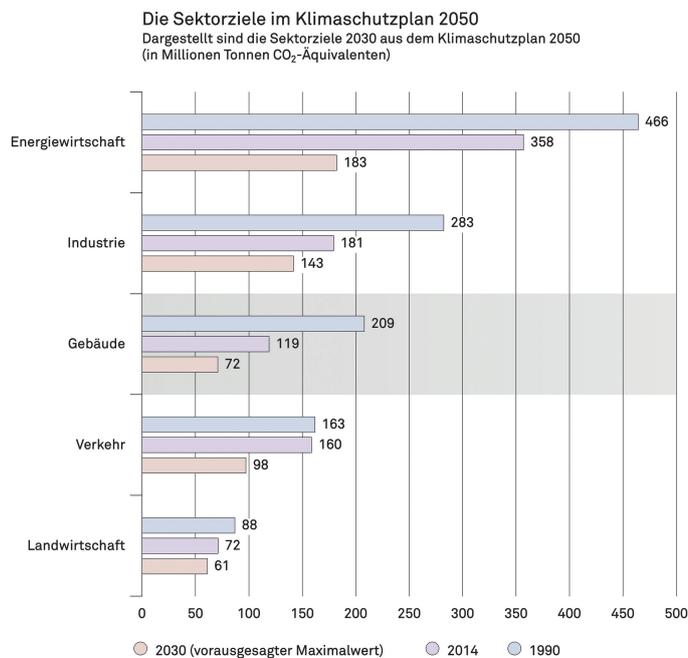


Bild 1 Klimaschutzplan 2050 (© Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, überarbeitete Grafik)

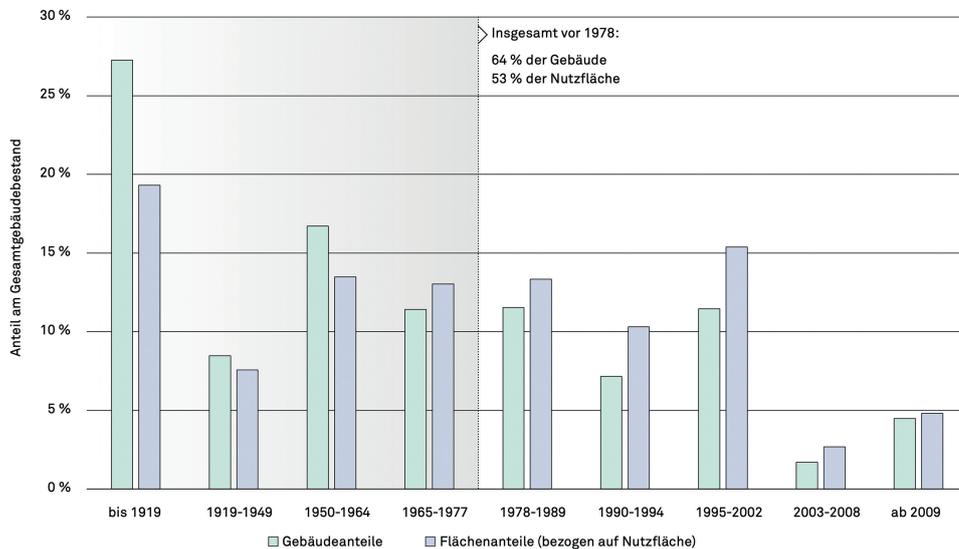


Bild 2 Anteile der Baualtersklassen von Büro- und Verwaltungsgebäuden
(© dena Studie Büroimmobilien, überarbeitete Grafik)

teil des Bestands von Büro- und Verwaltungsgebäuden, der laut IW-Schätzmodell (Bild 2) ca. 64% ausmacht und eine Bausubstanz aufweist, die vor Einführung der Wärmeschutzverordnung 1978 errichtet wurde, wird dabei weitestgehend vernachlässigt [3].

Wenige, nur vereinzelt publizierte Untersuchungen beschäftigen sich mit der energetischen Sanierung von Bestandsgebäuden und verweisen auf entsprechende Einsparpotentiale in diesem Segment [4] [5]. Eine Tendenz hinsichtlich der klimatischen Erhaltung des Gebäudebestands ist zwar erkennbar, die Maßnahmen sind jedoch nicht weitreichend und differenziert genug, um dem großen Anteil von Gebäuden mit einer Baualtersklasse vor 1978 gerecht zu werden [6]. Der Bereich des Wohnungsbaus steht hier deutlich im Fokus der Untersuchungen.

Dies lässt sich auch daran erkennen, dass der Bürogebäudebestand deutlich jünger als der Wohngebäudebestand ist, da die Nutzungsdauer von Bürogebäuden im Vergleich zu Wohngebäuden, die bezogen auf die Wohnfläche einen Anteil der vor 1978 errichteten Gebäude von 67% aufweist geringer ist und sie häufiger durch einen kompletten Neubau ersetzt werden [3].

Eine Anpassung bisheriger Maßnahmen im Gebäudesektor zum Schutz des Klimas, die sich überwiegend auf den Neubau konzentrieren, ist unabdingbar. Ca. 50% der CO₂-Emissionen entstehen als Graue Energie (Primärenergie zur Gewinnung, Herstellung, Transport, Verarbeitung, Einbau und Entsorgung von Materialien/Bauteilen) noch bevor ein Gebäude fertiggestellt wird [7]. Um den hohen Verbrauch an Grauer Energie zu vermeiden und somit einem Großteil an entstehenden CO₂-Emissionen entgegen zu wirken, ist eine Verlängerung der Nutzungsphase im Lebenszyklus eines Gebäudes notwendig. Ist der Rückbau eines Gebäudes am Ende einer möglichst langen Nutzungsphase unumgänglich, sollten, zur Verringerung erneut produzierter Grauer Energie, Baumaterialien des Bestands recycelt und wiederverwertet werden können (Bild 3).

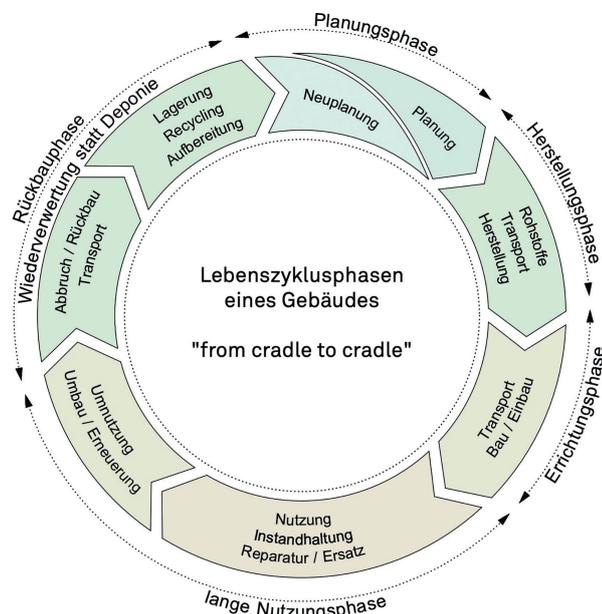


Bild 3 Nachhaltige Lebenszyklusphasen eines Gebäudes "from cradle to cradle" (© JP REB TU Dortmund)

Vor diesem Hintergrund und den aufgezeigten Untersuchungsergebnissen wird deutlich, dass die Sanierung bestehender Büro- und Verwaltungsbauten, dessen Großteil laut IW-Schätzmodell (Bild 2) ca. 64% ausmacht und vor Einführung der Wärmeschutzverordnung 1978 errichtet wurden [3], einen wesentlichen Beitrag zur Reduzierung der CO₂-Emissionen des Bausektors darstellt.

Dabei entwickelt der Bereich der Gebäudehülle für eben diese Bautypologie großes Potenzial zur Reduzierung des Energiebedarfs, wobei entsprechend einer adaptiven Außenhaut unterschiedliche Ansätze verfolgt werden. Charakterisiert werden hierbei passive Maßnahmen, die beispielsweise durch baukonstruktive und materialtechnische Veränderungen Verbesserungen herbeiführen, und aktive Maßnahmen, die appliziert innerhalb der Fassadenebene Verwendung finden und ergänzend zur Gebäudetechnik agieren. Im Sinne eines ganzheitlichen Konzepts wird hierbei eine Anpassung der Gebäudehülle mittels eines auf die lokalen klimatischen und funktionalen Anforderungen reagierenden Fassadenaufbaus forciert, der durch seine Veränderbarkeit zur Energieeinsparung beiträgt und die energetische Gesamtbilanz des Bestandsgebäudes wesentlich verbessert.

Durch integrale Planung und die intelligente Einbindung von Glas- und Fassadenanwendungen können sowohl technische und energetische Parameter, und damit das Ressourcenmanagement eines Gebäudes, nachhaltig verbessert werden und dabei gleichzeitig gestalterisch wirken. Fenster- und Glasapplikationen, wie z. B. Fassadenbegrünungen, Kollektoren, Lichtlenkungssysteme oder veränderbare Komponenten aus innovativen Materialien werden unter anderem als Regulator im Bereich der Gebäudehülle eingesetzt, um gleichermaßen energetische Einsparungen als auch Gewinne zu erzielen.

Die ganzheitliche Betrachtung und Entwicklung nachhaltiger Konzepte im Gebäudebestand ist eines der wesentlichen Schwerpunkte der Juniorprofessur für Ressourcen-

effizientes Bauen. Als zukünftige Architekten und Planer sollen die Studierenden dahingehend sensibilisiert werden, in einem integrativen Entwurfsansatz sowohl gestalterische, konstruktive, funktionale, technische, wirtschaftliche als auch energieeffiziente und nachhaltige Eigenschaften zu berücksichtigen und weiterzuentwickeln [8].

2 Konzepte zur energetischen Optimierung von Fassaden an einem bestehenden Bürogebäude von 1960 in Köln

Im Rahmen des Seminars „Energieeffiziente Gebäudehülle“ entwickelten Studierende Konzepte zur energetischen Optimierung einer bestehenden Fassade an einem Bürogebäude in Köln. Ziel des Seminars war eine ganzheitliche Betrachtung des bestehenden Bürogebäudes und die Entwicklung innovativer Konzepte zur Ertüchtigung der Gebäudehülle. Das zu behandelnde Gebäude ist ein vier- bis sechsgeschossiger Bestandsbau aus dem Jahr 1960 im Süden der Stadt Köln. Es handelt sich um ein Bürogebäude mit einem Café im Erdgeschoss, das von der Straße erschlossen werden kann und einer Parkzone im Untergeschoss, die rückseitig vom Innenhof zugänglich ist (Bild 4) [9].



Bild 4 Straßenseitige Ansichten des Bürobestandsgebäudes an der Ecke Severinstraße und Löwengasse in Köln (© JP REB TU Dortmund)

Bevor die Studierenden sich mit der Konzeption der Entwurfsaufgabe auseinandergesetzt haben, sollte durch eine vorgeschaltete Analysephase eine Wissensgrundlage geschaffen werden, um die Vielfalt von Optimierungsansätzen für die klimatische Sanierung der Gebäudehülle aufzuzeigen und eine Varianz der Entwurfslösungen zu erreichen. Ein grundlegender Baustein ist dabei der Identifikationsgrad eines Bestandsgebäudes und damit sein Erhalt und eine Verlängerung der Lebensdauer, um die Entwicklung eines zeitgemäßen Sanierungskonzepts auch im sozial-gesellschaftlichen Kontext zu verankern. Aufgrund einer hohen Nutzerakzeptanz kann ein langer Lebenszyklus und eine nachhaltige Nutzung gewährleistet werden.

Die Entwurfsentwicklung erfolgte auf unterschiedliche Art und Weise, berücksichtigte aktuelle Herausforderungen und forcierte insbesondere Prinzipien, die zum einen das Aufheizen während der Sommermonate vermeiden und zum anderen den Gewinn solarer Energie während der Wintermonate unterstützen (Bild 5).

Die nach Süden orientierte Längsfassade, deren Kopfbau in den Straßenraum des Erdgeschosses krägt, erfordert einen hohen sommerlichen Wärmeschutz, und muss dennoch genügend Tageslicht-/Belichtungsqualität für die Büronutzung des ersten bis

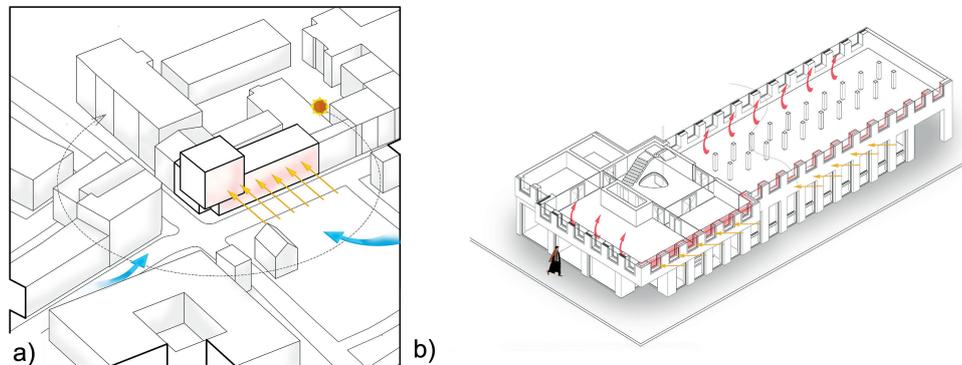


Bild 5 a) Urban-klimatische Parameter Bestandsgebäude; b) Solare Einstrahlung und energetische Erträge/Nachteile des Bestandsbaus (© Leonie Meiings, JP REB TU Dortmund)

vierten Obergeschosses gewährleisten. Eine gleichmäßige Öffnung der Fassaden durch raumhohe öffnere Fensterflügel ermöglicht in diesem Bereich eine gute Belichtung während der Arbeitszeiten. Die Fassade des Bestandsbaus wird dafür komplett zurückgebaut und mit zusätzlichen Öffnungen versehen, damit ein gleichmäßiges Bild entsteht. Da sich das Gebäude aufgrund seiner Lage in einer möglichen Windschneise seitens des Rheins befindet, wird durch ein Ventilations- und Querlüftungskonzept eine Aufheizung der Geschossebenen vermieden und nicht nur im Fall von Klimaspitzen ein gutes Raumklima erreicht (Bild 6). Angepasst an den jeweiligen Bedarf eignet sich dafür die offene Grundrissstruktur, wobei jedoch in Betracht gezogen werden muss, dass kein zu starker Luftstrom während der Tages-/Arbeitszeiten entsteht, der die Behaglichkeit einschränkt und Lüftungsprinzipien primär zu Zeiten nach der betrieblichen Nutzung stattfinden. Zudem wäre eine (automatische) Kontrolle der Lüftungszyklen wichtig, um unnötige Wärmeverluste sowie zu hohe Luftfeuchtigkeit zu ver-

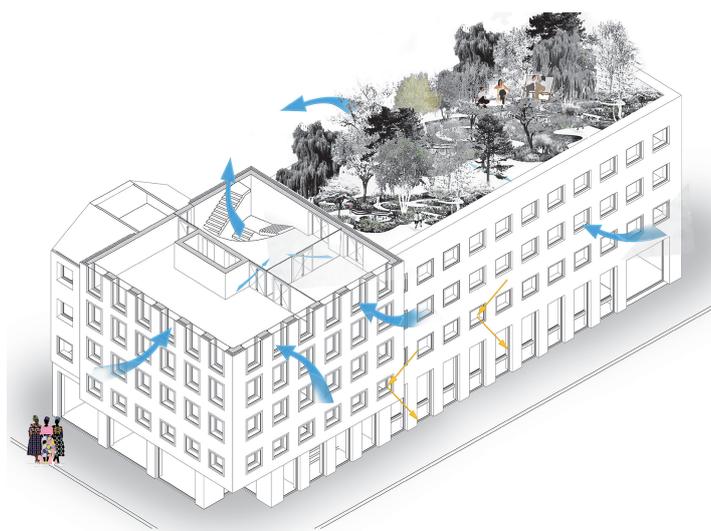


Bild 6 Ventilations- und Querlüftungskonzept zur Klimatisierung der Innenräume, Fassadestruktur und Dachgarten (© Leonie Meiings, JP REB TU Dortmund)



Bild 7 a) Detailschnitt der Fassade; b) Teil der südlichen Gebäudeansicht der geplanten Sanierungsmaßnahmen (© Leonie Meiings, JP REB TU Dortmund)

meiden. Ergänzend zu diesem Konzept würde ein automatisches Lüftungssystem mit Wärmerückgewinnung hinzugeschaltet, das die Außenluft filtert, die Innenluft abkühlt und diese anschließend der Innenluft wieder zuführt [10].

Die Fassaden des Kopfbaus unterscheiden sich von den Fassaden des Erdgeschosses durch eine unterschiedliche baukonstruktive Ausführung. Hier ähneln die Fensterelemente dem Typus eines Kastenfensters, und ein 3-fach-isolierverglaster Drehflügel, der tief in der Leibung sitzt, wird mit einer sonnenschutzbeschichteten Einfachscheibe kombiniert, die den äußeren Öffnungsabschluss bildet. Analog zu dem historischen Kastenfenster werden Potentiale dieser Fassadenlösung ausgeschöpft, in dem zum einen durch den Puffer eine hervorragende Dämmwirkung erzielt, und zugleich die Möglichkeit der Belüftung gegeben wird. Lamellenraffstore im SZR und ein innenseitiger Vorhang sorgen für den nötigen Sonnen- und Blendschutz (Bild 7).

Im Bereich der opaken Wandflächen wird eine mit der Verglasungsebene bündige Vorhangfassade eingesetzt. Die mittels Anker bündig montierten Natursteinplatten bilden den generellen Wandaufbau, der durch die Hinterlüftung und eine Holzwolldämmschicht einen optimalen Dämmstandard ermöglicht und Transmissionswärmeverluste minimiert. Der Sockelbau wird analog der konstruktiven Logik des Kopfbaus fortgeführt, setzt aber ein außenbündiges Fenster mit integriertem Lamellenraffstore ein, sodass die Leibung als Aufenthalts- und Sitzmöglichkeit genutzt werden kann. Das Dach geht als fünfte Fassade in die Konzeption mit ein, und wirkt durch eine extensive Begrünung zur Reduzierung der CO₂-Anteile im Stadtraum.

Das ganzheitliche Konzept stellt dar, welche passiven Prinzipien vorrangig dazu beitragen können, eine energetische Ertüchtigung durch baukonstruktive, gestalterische Maßnahmen zu erreichen und gleichzeitig eine anspruchsvolle Architektursprache umzusetzen. Die Elementierbarkeit der Fassade, die einen effizienten Bauablauf und Produktionsprozess gewährleistet, verfolgt gleichzeitig die Idee eines hohen Maßes an Rezyklierbarkeit durch reversible Verbindungen, die einen Wiedereinsatz der Bauteile und deren lange Lebensdauer ermöglicht.

3 Sanierungskonzepte für die Neue Nationalgalerie in Berlin

In einem weiteren Seminar wurde, in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl Tragkonstruktionen, der Umgang mit ikonografischen Bestandsgebäuden und deren heutigen energetischen und nachhaltigen Anforderungen examiniert und konzeptionell weiterentwickelt. Die Neue Nationalgalerie am Kulturforum in Berlin, welche 1968 nach dem Entwurf von Ludwig Mies van der Rohe (1886–1969) eröffnet worden ist, gilt als Ikone der modernen Architektur (Bild 8). Im Jahr 2015 begann die umfangreiche Sanierung des unter Denkmalschutz stehenden Gebäudes durch das Architekturbüro David Chipperfield Architects. Die Wiedereröffnung war am 22. August 2021 [11].

Das Seminar nimmt unter dem Motto „Mies Under Construction“ und Hinzuziehung aktueller digitaler Werkzeuge die Sanierungsmaßnahmen um das Projekt zum Anlass, sich kritisch und ergebnisoffen mit der Neuen Nationalgalerie als alltäglich genutzten musealen Raum, aber auch als ikonografisches, denkmalgeschütztes Bauwerk, auseinanderzusetzen.

Mittels vorgeschalteter Untersuchungen hinsichtlich der Wechselwirkung zwischen Tragkonstruktion und Gebäudehülle sowie der damals eingesetzten Konstruktionsprinzipien sollten Optimierungspotenziale für Konstruktion und Materialität im Sinne einer nachhaltig aufgestellten und integralen Architektur erarbeitet werden, die in einem nächsten Schritt durch einen integralen Planungsansatz und der Hinzuziehung digitaler Werkzeuge zu einem optimierten Entwurfskonzept weiterentwickelt wurden. Im Fokus stand dabei die Transformation der ausgezeichneten Architektur in das heutige Jahrtausend [12]. Mithilfe eines parametrischen Modells wurde das zuvor erarbeitete Konzept analysiert und auf die skizzierten Tragkonstruktions- und Nachhaltigkeitskriterien überprüft (Bild 9).

Die Ergebnisse des Seminars stellen unterschiedliche Herangehensweisen dar. Eine der Arbeiten setzte sich zum Ziel, den Außenraum vor der thermischen Hülle unter dem



Bild 8 Neue Nationalgalerie, Ansicht Potsdamer Straße, 1968 (© Reinhard Friedrich, Staatliche Museen zu Berlin, Nationalgalerie)

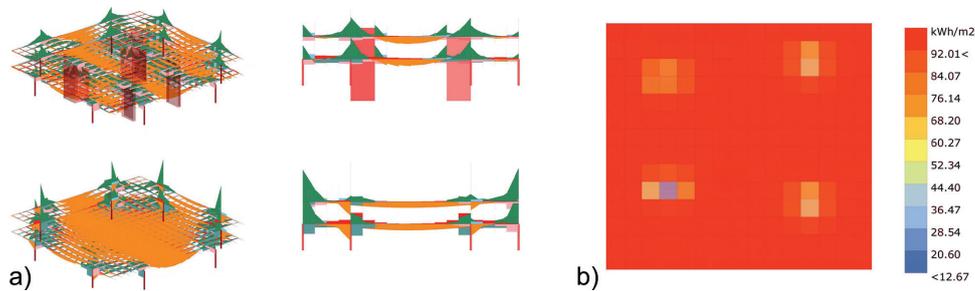


Bild 9 a) Parametrische Analyse der Tragkonstruktion; b) parametrische Analyse der solaren Einstrahlung auf die Dachfläche (© Leonie Meiings, JP REB TU Dortmund)

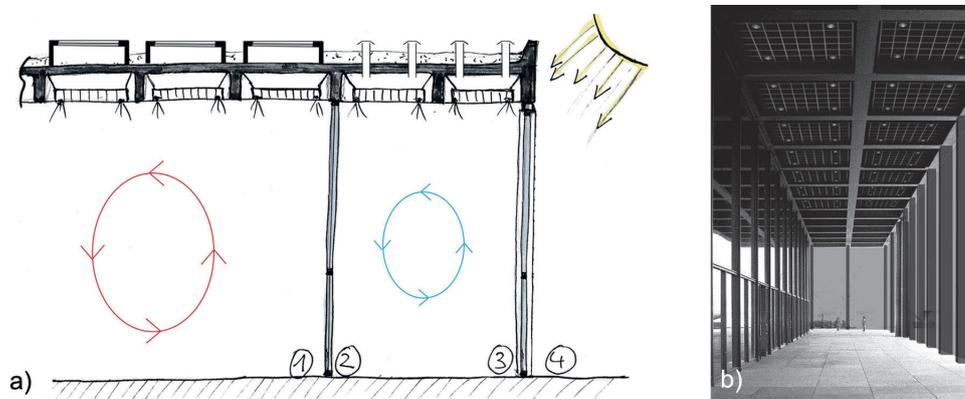
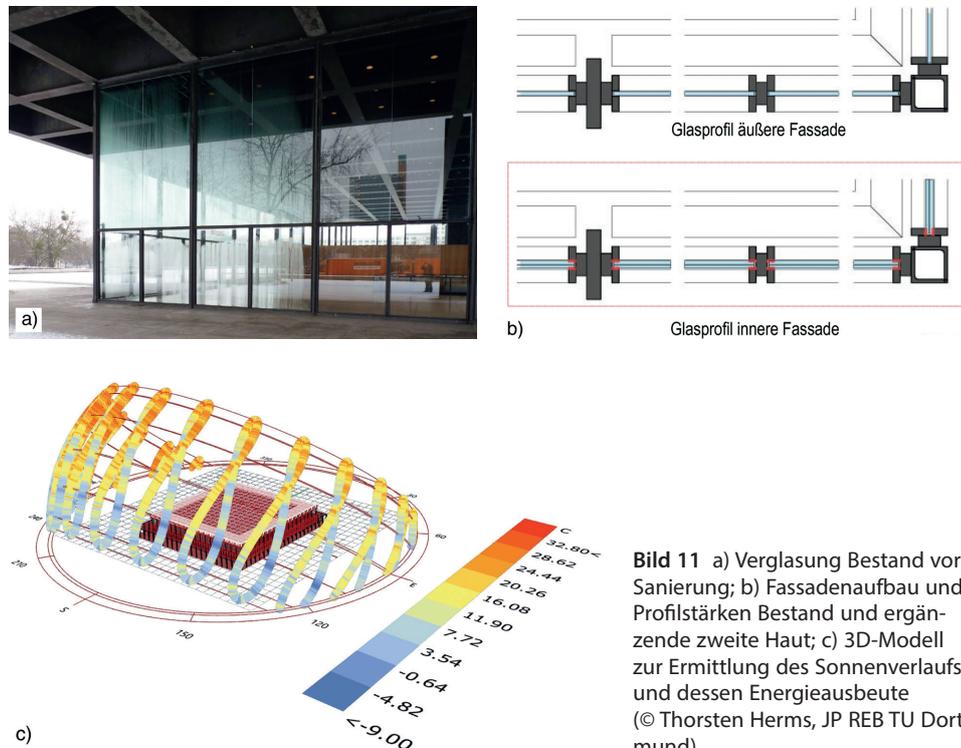


Bild 10 a) Vertikaler skizzenhafter Schnitt durch die beiden Fassadenebenen als klimatische Wärme- und Kältepuffer; b) Perspektive Sanierungsentwurf mit Blick in die neu entstandene klimatische Zwischenschicht (© Thorsten Herms, JP REB TU Dortmund)

umlaufenden Dachüberstand durch eine zweite Fassade als klimatischen Wärme-/ Kältepuffer zu nutzen und zum einen ökologische und ökonomische Verbesserungen zu erreichen. Neben der Senkung der Betriebskosten und einer möglichst geringen CO_2 -Bilanz war der Erhalt des fließenden Raums der Nationalgalerie ein weiterer Aspekt des Entwurfskonzepts (Bild 10).

Die filigrane Glasfassade des Bestandsgebäudes hält den heutigen Temperaturschwankungen und Witterungseinflüssen nicht mehr stand und bauphysikalische Mängel wie z. B. Glasbruch, Kondensat-Ausfall usw. machen einen Austausch der Verglasungseinheiten unumgänglich. Das Konzept entwickelt eine zweite Haut, sodass das Gebäude eine Pufferzone erhält. Hierdurch werden zum einen klimatische Verbesserungen erzielt, und durch die geöffnete Dachhaut Ventilations-/Kühlungsprinzipien im Zwischenraum integriert, um auf die unterschiedlichen tages- und jahreszeitlichen Bedarfe zu reagieren. Zum anderen wird der Lichteinfall von außen reguliert und je nach Anforderung gesteuert, wodurch zusätzlich für Verschattung vor direkter Solarstrahlung insbesondere auf der Süd- und Westseite gesorgt wird. Die neue Fassade gleicht in ihrer Gestalt durch schlanke Glasprofile der Originalkonstruktion, und er-



weitere den Bestandsbau in einer historisch angelehnten Architektursprache (Bild 11a und Bild 11b). Die ausladende Dachfläche wird dazu genutzt, PV-Elemente so zu applizieren, dass ein optimaler Ertrag und eine Reduzierung der Betriebskosten erreicht wird. Durch eine im digitalen 3D-Modell stattfindende Ermittlung des Sonnenverlaufs über das Jahr wird die maximale Energieausbeute für die große Dachfläche berechnet und die regenerativen Energieträger entsprechend appliziert (Bild 11c). Das Konzept fokussiert die Wahrung des denkmalgeschützten Gebäudes durch minimalinvasive Maßnahmen, wobei bestehende Komponenten wie z. B. der Installationsschacht als tragkonstruktive Einheit zusätzlich ertüchtigt werden, schlanke Konstruktionselemente im Bereich der Verglasungen eingesetzt und die PV-Elemente kaum wahrnehmbar in der Dachhaut integriert werden.

Eine zweite Konzeptidee verfolgte den Gedanken, Nachhaltigkeit nicht nur im Sinne der baukonstruktiven energetischen Sanierung zu verstehen, sondern auch Nutzungsszenarien eines Gebäudes zu berücksichtigen. Die Maßnahme entwickelt vor dem Hintergrund des Wettbewerbs zur Erweiterung des Museums die Generierung von mehr Fläche, weshalb ein wesentlicher Aspekt dieses Entwurfs eine Aufstockung des Bestands inne hat (Bild 12).

Die Hülle des aufgestockten Holztragwerks und des bestehenden Stahl-Trägerrosts der ehemaligen Dachkonstruktion soll zum einen die Problematik der Transmissionswärmeverluste des bestehenden Trägerrosts lösen und zum anderen aktiv durch Photovoltaik-Elemente zur Energieversorgung beitragen. Die Konstruktion baut sich aus

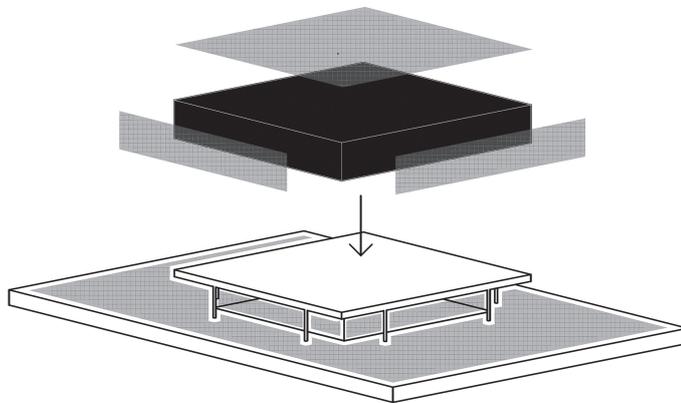


Bild 12 Konzeptpiktogramm Aufstockung und Sanierung der Neuen Nationalgalerie Berlin (© Leonie Meiings, JP REB TU Dortmund)

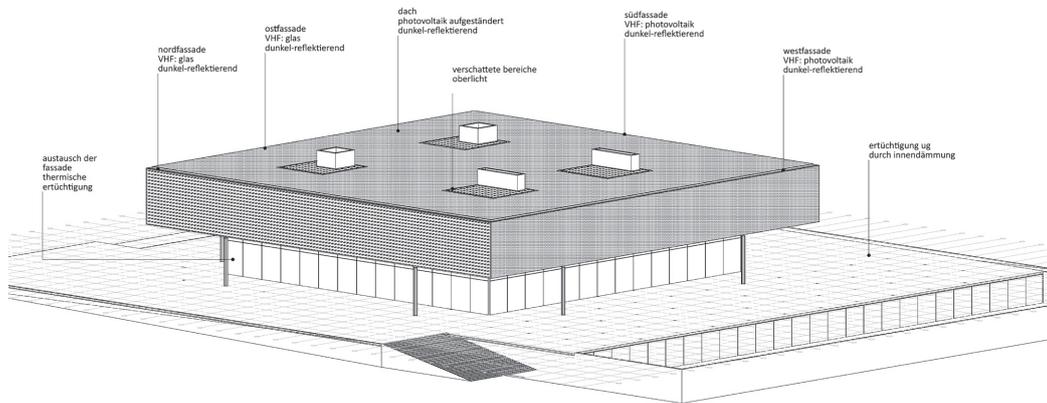


Bild 13 Sanierungskonzept Neue Nationalgalerie Berlin (© Leonie Meiings, JP REB TU Dortmund)

einer Holzrahmenkonstruktion als tragendes Element und aus Holzwohle-Dämmplatten zur Reduzierung der Transmissionswärmeverluste und einer vorgehängten, hinterlüfteten Fassade, die je nach Ausrichtung mit Photovoltaik-Elementen oder VSG-Glas bekleidet ist, auf Holz und Dämmung sind natürlich-organische Baustoffe, die gut in den Wertstoffkreislauf zurückgeführt werden können. Die vorgehängte hinterlüftete Fassade ist durch reversible Verbindung mängelfrei zurückzubauen und generiert durch solare Einstrahlung Energie (Bild 13).

Um die Transmissionswärmeverluste auch über die bestehende Fassade zu reduzieren, soll die Fassade ausgetauscht werden. Das Glas soll von den Stahlprofilen getrennt und Stahl sowie Glas fachgerecht recycelt werden. Ersetzt wird die Fassade durch eine Konstruktion des Fenster-Herstellers MHB, der ein Stahlrahmenfenster mit GFK-Isolatoren im Zuge der Bauhaus Sanierung Dessau entwickelt hat, welches einen U -Wert von $U_{fr} = 1,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ erreicht und gleichzeitig die schlanke Profilästhetik beibehält.

4 Fazit und Ausblick

In Anbetracht der Notwendigkeit, unser Klima für nachfolgende Generationen zu schützen und einen folgenschweren Klimawandel zu verhindern, ist der Gebäudesektor und damit Architekt*Innen und Planer*Innen dazu verpflichtet, umzudenken und eine ganzheitliche nachhaltige Betrachtung der Gebäudeentwicklung zum einen bereits von Beginn an in der Planung zu berücksichtigen und zum anderen den Gebäudebestand durch innovative Technologien und Konzepte energetisch und nachhaltig zu verbessern. Die Lehrergebnisse stellen beispielhaft dar, wie eine Verknüpfung von passiven Entwurfsprinzipien mit aktiven, regenerativen Maßnahmen zu wechselseitigen Effekten führt, die im Sinne einer ganzheitlichen Entwurfsentwicklung Verbesserungen erreicht, und auch für den Gebäudebestand langlebige und dauerhafte Ansätze implementiert werden können.

Einen entscheidenden Einfluss hat hierbei die Gebäudehülle. Ein adaptiver Fassadenaufbau verfolgt eine Anpassungsfähigkeit auf klimatische Veränderungen auch im Umgang mit dem Gebäudebestand und erreicht mittels einer bedarfsorientierten Konstruktion sowohl energetische Einsparungen als auch die Speicherung oder gewinnbringende Weiterleitung von Energie. Dadurch kann ein wesentlicher Beitrag zum Klimaschutz im Gebäudesektor auch für bestehende Nichtwohngebäude geleistet werden.

5 Literatur

- [1] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) (2016) *Klimaschutzplan 2050*, Berlin [online]. https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimaschutzplan_2050_bf.pdf (Zugriff am: 05. Juli 2021)
- [2] Verlagsanstalt Handwerk GmbH (2021) *Klimabilanz 2020 – Handlungsbedarf im Gebäudesektor*, Gebäudehülle – Fachmagazin für Fassade, Fenster und Glas. Düsseldorf: Verlagsanstalt Handwerk GmbH.
- [3] Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) (2017) *Dena-STUDIE Büroimmobilien – Energetischer Zustand und Anreize zur Steigerung der Energieeffizienz*, Berlin [online]. <https://www.dena.de/newsroom/publikationsdetailansicht/pub/studie-bueroimmobilien-energetischer-zustand-und-anreize-zur-steigerung-der-energieeffizienz/> (Zugriff am: 05. Juli 2021)
- [4] Deutsche Bundesstiftung Umwelt (dbu) (2008) *Informationsveranstaltung zur energetischen Sanierung*, Osnabrück [online]. https://www.dbu.de/123artikel28220_537.html
- [5] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) (2010) *Leitfaden. Baubestand nachhaltig weiterentwickeln*, Berlin [online]. https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/themen/bauen/leitfaden-energetischen-sanieren-gestalten.pdf?__blob=publicationFile&v=2
- [6] Naturschutzbund Deutschland (NABU) (2012) *Strategie für eine wirkungsvolle Sanierung des deutschen Gebäudebestandes*, Berlin [online]. https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/energie/strategie_f_r_eine_wirkungsvolle_sanierung_des_deutschen_geb_udebestandes_endg.pdf

- [7] Concular UG (2021) *Zirkuläres Wirtschaften – Der ewige Kreis? Concular kennt einen Weg zur Wiedernutzung von Baustoffen!* Vortrag Virtuelle ArchitektOUR Heinze GmbH [online]. <https://vimeo.com/showcase/7324757/video/558416233> (Zugriff am: 10. Juli 2021).
- [8] Albus, J. (2018) *Interaktive Fassaden und energetische Funktionen von Gläsern*, Glass Technology Live Booklet, Glasstec Düsseldorf.
- [9] Albus, J.; Nowak, M.; Rehnig, L. (2020) *Adaptive Skins – Konzepte zur energetischen Optimierung von Fassaden an bestehenden Bürogebäuden*, Aufgabenstellung Wahlpflichtfach Energieeffiziente Gebäudehülle, TU Dortmund, Fakultät Architektur und Bauingenieurwesen, Juniorprofessur Ressourceneffizientes Bauen.
- [10] Hegger, M.; Fuchs, M.; Stark, T.; Zeumer, M. (2007) *Energie Atlas*, München: Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG; 1. Auflage, S. 99 ff.
- [11] BerlinOnline Stadtportal (2021) *Neue Nationalgalerie* Berlin [online]. <https://www.berlin.de/museum/3109113-2926344-neue-nationalgalerie.html> (Zugriff am: 14. Juli 2021).
- [12] Staatliche Museen zu Berlin (2021) *Wiedereröffnung der Neuen Nationalgalerie ab 22. August 2021*, Berlin [online]. <https://www.smb.museum/nachrichten/detail/wiedereroeffnung-der-neuen-nationalgalerie-ab-22-august-2021/> (Zugriff am: 18.10.21).
- [13] Albus, J.; Hartz, C.; Rehnig, L.; Schaffer, D. (2020) *Neue Nationalgalerie Berlin*. Aufgabenstellung Wahlpflichtfach Sondergebiete des ressourceneffizienten Bauens und Bauart. TU Dortmund, Fakultät Architektur und Bauingenieurwesen, Juniorprofessur Ressourceneffizientes Bauen und Lehrstuhl Tragkonstruktionen.

