

Zweitveröffentlichung



Bellendorf, Paul; Tenschert, Ruth; Schmölder, Alexandra; u. a.

Ein praxisorientierter Leitfaden für den ressourcenschonenden Umgang mit historischen Gläsern und Fenstern profaner Gebäude

Datum der Zweitveröffentlichung: 11.09.2025

Verlagsversion (Version of Record), Beitrag in Sammelwerk

Persistenter Identifikator: urn:nbn:de:bvb:473-irb-110352x

Erstveröffentlichung

Bellendorf, Paul; Tenschert, Ruth; Schmölder, Alexandra; u. a. (2024): Ein praxisorientierter Leitfaden für den ressourcenschonenden Umgang mit historischen Gläsern und Fenstern profaner Gebäude, in: Sophie Wolf, Laura Hindelang, Francine Giese, u. a. (Hrsg.), Glass in Architecture from the Pre- to the Post-industrial Era : Production, Use and Conservation, Berlin, Boston: De Gruyter, S. 283–295, doi: 10.1515/9783110793468-017.

Rechtehinweis

Dieses Werk ist durch das Urheberrecht und/oder die Angabe einer Lizenz geschützt. Es steht Ihnen frei, dieses Werk auf jede Art und Weise zu nutzen, die durch die für Sie geltende Gesetzgebung zum Urheberrecht und/oder durch die Lizenz erlaubt ist. Für andere Verwendungszwecke müssen Sie die Erlaubnis der Rechteinhaberinnen und Rechteinhaber einholen.

Für dieses Dokument gilt eine Creative-Commons-Lizenz.



Die Lizenzinformationen sind online verfügbar:

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode>

16

EIN PRAXISORIENTIERTER LEITFADEN FÜR DEN RESSOURCENSCHONENDEN UMGANG MIT HISTORISCHEN GLÄSERN UND FENSTERN PROFANER GEBÄUDE

Paul Bellendorf, Ruth Tenschert, Alexandra Schmölder, Katrin Lenz, Ralf Kilian, Stefan Bichlmair, Christine Milch, Olivia Jorgji und Matthias Fischer

Abstract

From October 2018 to August 2021, the University of Bamberg, in collaboration with the Fraunhofer Institute for Building Physics (IBP) researched innovative solutions to improve the energy efficiency of historic glazing and glass windows. One reason for the project was the fact that in the preservation of secular monuments, historic glazing and windows from the era of industrialization are today still considered to be of little value, often being regarded as disposable assets. On the other hand, the production of glass requires considerable resources and energy. The aim of the project was to increase the value of industrially produced flat glass installed in secular buildings and to investigate the relationship between the resource-saving improvement of existing windows and their replacement. For this purpose, the life cycle of glazings was analysed. The key criteria of this evaluation were the consumption of material resources and primary energy, and the recycling rate of glazings.

During the project, the improvement of existing windows was tested, climatically monitored and evaluated using examples of adaptive (retrofitted) window systems. The test site was the Alte Schöfflerei in Benediktbeuern. The advantage of retrofitting windows is the resource-saving preservation of the existing windows. The measure allows to minimize heat losses and thus lowers the demand for heating energy as well as the CO₂-footprint.

The results were summarized in a practice-oriented guideline on the resource-friendly handling of historic glass and historic windows. The guideline presents a suitable procedure for the quality assurance in the handling of existing buildings and considers aspects of resource efficiency and environmental balance.

Keywords

Historic sheet glass, window, retrofitting, life-cycle assessment

Zugrundeliegende Problemstellung

Der optische Eindruck eines Gebäudes wird maßgeblich von der Fassade geprägt. Fensteröffnungen und deren Verschluss sind hierbei wesentliche und stilprägende Elemente (Abb. 1). Die Art und die Materialauswahl von Fenstern haben damit auf die Wahrnehmung eines Gebäudes einen essenziellen Einfluss. Kommt es z. B. im Zuge einer energetischen Sanierung zu einer »Ertüchtigung« der Fenster kann damit der



1 Fassade eines Hauses um 1900 in der Herzog-Max-Strasse, Bamberg, mit historischer Verglasung.

Charakter eines Gebäudes massiv verändert werden (Abb. 2). Vielfach werden bei solchen Massnahmen – auch bei eigentlich erhaltenswerter Bausubstanz – nicht nur die originalen Rahmen aus Holz durch solche aus Kunststoff ersetzt, sondern es wird auch die originale Glasscheibe durch eine energetisch günstigere Mehrfachverglasung aus moderner Floatglasproduktion ausgetauscht. Dieser Wechsel ist aus zweierlei Gründen problematisch: Zum einen geht dabei aus denkmalpflegerischer Sicht ein erheblicher Anteil der originalen Substanz und des ursprünglichen Erscheinungsbildes der Fassade verloren. Zum anderen werden aus der Perspektive der Nachhaltigkeit die bereits für die Herstellung verwendeten Ressourcen wie Rohstoffe und Energie vernichtet. Aufgrund der unbekanntenen Materialzusammensetzung werden heute historische Gläser nur in seltenen Fällen dem Recycling zugeführt; sie werden deponiert und damit dem Materialkreislauf entzogen.

Das »KlimaGlas«-Forschungsvorhaben

Ein interdisziplinär zusammengesetztes Forscherteam, bestehend aus Expertinnen und Experten der Restaurierungswissenschaft am Kompetenzzentrum für Denkmal-



2 Fassade eines Hauses um 1900 in der Herzog-Max-Strasse, Bamberg, mit neuen modern geteilten Alufenstern.

wissenschaften und Denkmaltechnologien (KDWT) der Universität Bamberg sowie vom Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP) Holzkirchen und Stuttgart, hat sich dieser Problemstellung angenommen. Mit Finanzierung des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt und Verbraucherschutz wurde unter dem Titel »Innovative Lösungen für die energetische Ertüchtigung historischer Gläser und Glasfenster – Praxisversuche in der Alten Schäferei, Kloster Benediktbeuern« von Oktober 2018 bis August 2021 an möglichen Lösungen geforscht.¹

Aufgabenstellung des Forschungsvorhabens

In den 1960er-Jahren wurde die industrielle Produktion von Flachglas nach dem Floatverfahren eingeführt² und löste die historische Flachglasherstellung und ihre Produkte sukzessive ab. Bereits davor konnte zwar Flachglas in einem kontinuierlichen Prozess aus einer Schmelzwanne heraus hergestellt werden, allerdings sind mit diesen »Ziehverfahren« keine wirklich perfekten Produkte erzielt worden. Einschlüsse wie kleine Luftblasen oder von den Rollen aus dem Ziehprozess stammende Dickenunterschiede erzeugen winzige Störungen auf und im Glas.³ Diese Unregelmässigkeiten sind ver-

antwortlich dafür, dass ein historisches Flachglas massgeblich zur Lebendigkeit der Fassade beiträgt (Abb. 1).

An unsanierten Gebäuden aus der Zeit vor den 1960er-Jahren lassen sich heute noch die nach den historischen Ziehverfahren produzierten Gläser finden. Aufgrund der Verwendung als Einscheibenverglasung können diese Fenster heute nicht mehr den energetischen Anforderungen und Vorgaben entsprechen. Eine Folge ist der Austausch der alten Fensterrahmen und Gläser durch moderne Systeme. Damit geht unweigerlich auch der Verlust an historischen Zeugnissen der traditionellen Flachglasherstellung einher. Aus denkmalpflegerischer Sicht entsteht daraus ein Antagonismus zwischen Denkmalerhalt und Ortsbildpflege auf der einen und Energieeinsparung auf der anderen Seite; für das Forschungsvorhaben ergaben sich folgende Fragen:

1. In welchem Verhältnis steht eine die Ressourcen schonende Ertüchtigung von historischen Bestandsfenstern im Vergleich zu deren Austausch?
2. Welche Optionen einer Erhaltung und Ertüchtigung gibt es und wie stellen sich diese bauphysikalisch und ökologisch dar?

Ziel war es, energetische Sanierungsmöglichkeiten aufzuzeigen, damit Bestandsgläser und Fensterkonstruktionen aus der Zeit vor 1960 sowohl den heutigen energetischen als auch denkmalpflegerischen Kriterien genügen und weiterverwendet werden können.

Zur Methodik des Projekts

Zur Beantwortung der beiden Forschungsfragen wurden an der Alten Schäferei des Klosters Benediktbeuern (Abb. 3) modellhaft zeitgemässe Konstruktionen entwickelt, eingebaut sowie messtechnisch beurteilt. Zum Einsatz kamen zum einen adaptiv vorgesezte Fenster, zum anderen wurde versucht, die originalen Scheiben u. a. durch eine Erweiterung zum Isolierglas zu modifizieren und dadurch energetisch zu optimieren.

Parallel dazu wurde der Lebenszyklus von historischen Gläsern in einer ökologischen Bilanzierung (Ökobilanz) untersucht, mit einem Schwerpunkt auf der Abbildung der traditionellen Methoden der Glasherstellung. Die hierfür notwendigen Schlüsselindikatoren wie Ressourcenverbrauch in Form des Rohstoff- und Energieeinsatzes, der mögliche Beitrag zum Klimawandel und das Potenzial zur stofflichen Verwertung (Recycling) lagen zu Projektbeginn nicht in Datenbanken vor, sondern mussten anhand einer gezielten Literatur- und Archivrecherche für historische Gläser erst ermittelt werden.

Auch wenn der denkmalverträglichen Ertüchtigung oberste Priorität einzuräumen ist, sind die originalen Gläser, z. B. aufgrund grösserer Beschädigungen, nicht immer zu halten und es stellt sich die Frage nach den Möglichkeiten des Recyclings bauzeitlicher Gläser. Historische Rezepturen konnten aufgrund einer eher unstetigen Zusammensetzung der Ausgangsrohstoffe nicht in dem Masse standardisiert werden, wie



3 Die Fassade der Alten Schäferei in Benediktbeuern wird, wie viele andere Denkmalfassaden, von verschiedenen Fenstertypen geprägt.

das für heutige Produkte gilt. Die Zusammensetzung historischer Gläser ist in der Regel nicht bekannt. Da selbst kleinste Beimengungen von Schwermetallen die Qualität, etwa die Glasfarbe, die Oberflächencharakteristika oder die optischen Eigenschaften (negativ) beeinflussen können, ist eine Rückführung in die moderne Produktionskette damit quasi ausgeschlossen. Falls die Deponierung aber keine Option darstellen sollte, kann man die zur ursprünglichen Produktion der Gläser notwendigen Rohstoffe und Ressourcen nur dann im Kreislaufsystem behalten, wenn eine Ertüchtigung stattfinden kann. Folgerichtig wurden als Alternative zu Deponie und Entsorgung die Möglichkeiten der Ertüchtigung von Bestandsfenstern mittels einer adaptiv vorgesetzten Fensterebene getestet, messtechnisch analysiert sowie ökologisch bilanziert.

Ergebnisse

Die Ergebnisse des Vorhabens mündeten in einem online frei verfügbaren »Leitfaden zur energetischen Ertüchtigung von Bestandsfenstern und Gläsern in historischer Bausubstanz als Beitrag zum Klimaschutz« (Abb. 4).⁴ Der Leitfaden richtet sich primär



Leitfaden zur energetischen Ertüchtigung von Bestandsfenstern und Gläsern in historischer Bausubstanz als Beitrag zum Klimaschutz



4 Titelseite des Leitfadens zur energetischen Ertüchtigung von Bestandsfenstern und Gläsern in historischer Bausubstanz als Beitrag zum Klimaschutz.

an Akteure der Sanierung historischer Bauwerke und Denkmale und will Lösungsvorschläge für die unterschiedlichen Fragestellungen rund um den Erhalt und die Ertüchtigung historischer Fenster geben.

Die Publikation ist in mehrere Teile untergliedert. Es beginnt mit der denkmalpflegerischen Relevanz von Fenstern im Altbau, gefolgt von einer Betrachtung des Denkmalschutzes als aktiven Ressourcen- und Klimaschutz. Im Anschluss werden mehrere Varianten der Sanierung zur Erhaltung historischer Fenster vorgestellt. Die Ergebnisse der Ökobilanz werden im Abschnitt »Umweltpotenziale der Sanierung historischer Fenster« vorgetragen. Die Kernaussagen des Leitfadens werden im Folgenden wiedergegeben.⁵

Denkmalschutz als aktiver Ressourcen- und Klimaschutz

Am 1. Januar 2016 trat das ambitionierte Programm »Transformation unserer Welt: die Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung«⁶ der Vereinten Nationen in Kraft. Es hat eine Laufzeit von 15 Jahren und beinhaltet 17 Oberziele mit 169 Unterzielen für eine nachhaltige Entwicklung (Englisch »Sustainable Development Goals«, SDGs).⁷ Die Ziele richten sich an die komplette Staatengemeinschaft und haben eine ökonomische, soziale und ökologische Dimension. An mehreren Stellen in den SDGs gibt es konkrete Schnittpunkte mit der Baudenkmalpflege, so z. B. im Zusammenhang mit der Energieeffizienz (Ziel 7.3), der effizienten Nutzung natürlicher Ressourcen und bei der Abfallvermeidung (Ziel 12.2 und 12.5) oder ganz konkret beim Ziel 11.4, bei dem die gesamte Staatengemeinschaft aufgefordert wird, die Anstrengungen zum Erhalt von Weltkultur und -naturerbe zu verstärken.⁸

Dem Baudenkmal kommt beim Gebäudebestand eine besondere Bedeutung zu. Zum einen ist es gelebte Nachhaltigkeit, da beim Bau vor allem nachwachsende Rohstoffe zum Einsatz kamen, die heute gut der Wiederverwendung zugeführt werden können. Darüber hinaus waren und sind die Materialien über einen sehr langen Zeitraum in der Verwendung. All dies sorgt dafür, dass die Bilanz der zur Erstellung eines heutigen Baudenkmals eingesetzten Materialien äusserst positiv zu bewerten ist. Dem gegenüber steht allerdings die vielfach deutlich schlechtere Energiebilanz in der Nutzung. Betrachtet man ein Baudenkmal ausschliesslich von Seiten des Energiebedarfs während der Nutzung, wäre ein solches Gebäude mit den Zielen der nachhaltigen Entwicklung nicht vereinbar.

Die zum Verschluss der Fensteröffnungen verwendeten Gläser sind ein Produkt der zur Herstellung benötigten Rohstoffe (Sand, Soda und Kalk) sowie der zum Schmelzen eingesetzten Energie. Kommt es aufgrund von energetischen Massnahmen zum Austausch der Scheiben, werden die stofflich gebundenen Rohstoffe und die aufgewendete Energie nicht nur dem Denkmal entzogen, sondern es werden für die Herstellung der Ersatzmaterialien ähnliche Rohstoffe und Energien ein weiteres Mal benötigt. Aufgrund der geringen Recyclingquote von Flachglas fällt darüber hinaus Schutt an. Im Sinne der Ziele der nachhaltigen Entwicklung wäre also die langfristige Erhaltung der bereits eingesetzten Rohstoffe wünschenswert.

Varianten der Sanierung zur Erhaltung historischer Fenster

An der Alten Schäferei in Benediktbeuern (Abb. 3) wurden vier unterschiedliche Varianten der energetischen Fensteroptimierung modellhaft umgesetzt und messtechnisch untersucht. Die jeweiligen Varianten werden im Leitfaden ausgiebig, teilweise mit Konstruktionszeichnungen, vorgestellt, sodass hier nur eine kurze Zusammenfassung der Varianten gegeben wird.

Bei der Ertüchtigung der bestehenden Einfachverglasung durch Scheibenaustausch oder Erweiterung zum Isolierglas wird der vorhandene Fensterrahmen erhalten. Beim Scheibentausch geht allerdings die originale Glasfläche verloren und wird durch ein

modernes Wärmeschutzglas mit geringem Scheibenzwischenraum ersetzt. Es besteht aber auch die Möglichkeit, das originale Glas in ein Wärmeschutzglas, dann als äussere Scheibenebene, zu integrieren. Dies ermöglicht es, die originale Ästhetik der Glasfassade zu erhalten. Die Auswirkungen der Sanierungsvariante auf die Bausubstanz ist gering. Gegebenenfalls muss die Glasfalztiefe angepasst werden. Sowohl beim Scheibenaustausch als auch bei der Erweiterung zum Isolierglas müssen Rohstoffe und Energie für die Produktion der zusätzlichen Gläser aufgebracht werden. Hinsichtlich der Ressourcenschonung sollte bei der Erweiterung zum Isolierglas das Bestandsglas erhalten werden, wie es heute bereits vereinzelt durch Fachfirmen angeboten wird.

Besonders bei tieferen Fensterlaibungen, wie sie im Altbau häufig anzutreffen sind, kann die Erweiterung des bestehenden Einfachfensters durch ein inneres Vorsatzfenster (Metall- oder Holzrahmen) mit moderner Wärmeschutzverglasung in Betracht gezogen werden. Dabei wird raumseitig niveaugleich ein Vorsatzfenster platziert, das aus einem Isolierglas bestehen kann (Abb. 5). Das historische Fenster verbleibt an seinem ursprünglichen Ort und bekommt eine vitrinenartige Erweiterung. Für die Installation ist gegebenenfalls ein lotrechtes Anpassen der Wandoberfläche notwendig, um einen ebenen Verschluss zu ermöglichen. Für die Anpassung und Installation des Vorsatzfensters muss unter Umständen lokal der Putz oder die Dämmschicht entfernt werden, um eine Befestigung zu verankern. Das Zusatzfenster stellt eine notwendige Ressource für Rahmen und Glasebene(n) dar. Hinsichtlich der Ressourcenschonung wäre ein Rahmen aus Holz einem aus Metall zu bevorzugen. Das originale Fenster kann vollständig erhalten und weiter genutzt werden.

Die Erweiterung des bestehenden Einfachfensters zum Kastenfenster mit neuer Wärmeschutzverglasung stellt eine substanzschonende Variante zur energetischen Optimierung von historischen Fenstern dar. Dabei wird das bestehende Fenster in der Fensternische zu einem zweiflügeligen Holz-Kastenfenster ausgebaut. Die Variante liefert einen hohen Grad an Ressourcenschonung am Bestand, allerdings werden Ressourcen für die zusätzliche Glasebene benötigt. Beim Einbau des Fensters sollte statt moderner Schaumsysteme bevorzugt die traditionelle Methode der Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen zur Anwendung kommen. Gegebenenfalls ist eine Anpassung der Fensterlaibung sowie des Sturzes zum Einbau des tieferen Kastenfensters notwendig.

Ein Einfachkastenfenster kann zum Kastenfenster mit Wärmeschutzverglasung, mit zusätzlicher Ertüchtigung der Bestandsscheibe zu einem Isolierglas, erweitert werden. Bei dieser Variante wird die bestehende historische Glasebene hin zu einem Isolierglas energetisch optimiert. Die originale Scheibe kann dabei erhalten werden, was sich positiv auf den Ressourcenverbrauch auswirkt. Allerdings werden Rohstoffe und Energie für die Produktion der zusätzlichen Scheibenebene benötigt. Die Eingriffe in die bestehende Bausubstanz sind gering, ggf. kann es zur Anpassung der Glasfalztiefe kommen.



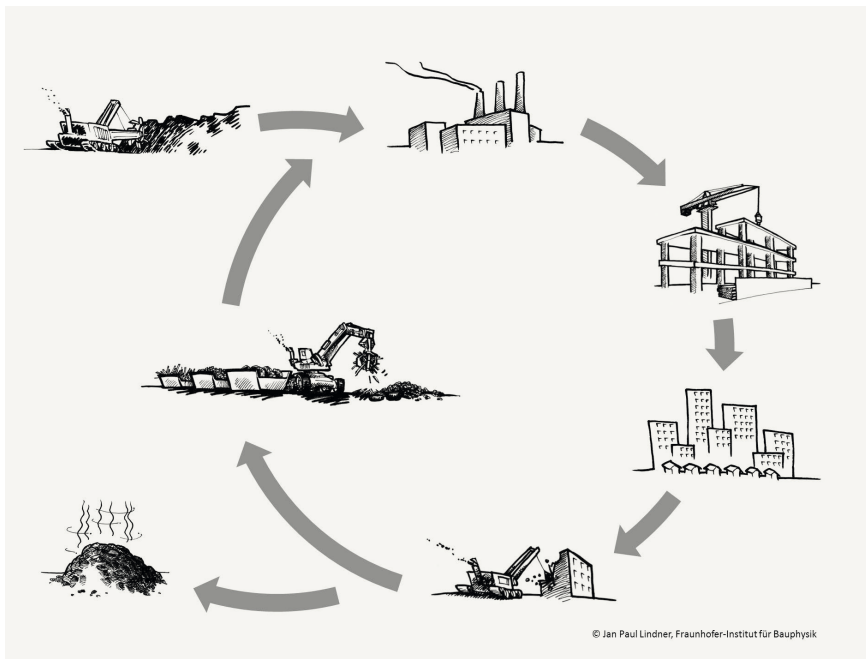
5 Vorsatzfenster mit Metallrahmen, bündig mit der inneren Wandoberfläche montiert.

Umweltpotenziale der Sanierung historischer Fenster

Um die ökologischen Effekte und Umweltpotenziale der unterschiedlichen Varianten historischer Fenster aus der alten Schöfflerei in Benediktbeuern beurteilen zu können, wurde dazu eine Ökobilanz erstellt.⁹ Diese berücksichtigte den gesamten Produktlebenszyklus inklusive Herstellung und Gebäudebetrieb (Abb. 6). Mittels der Ökobilanz sollte die ökologisch vorteilhafteste Variante der Sanierung über den Lebenszyklus identifiziert werden. Weiterhin wurden Einsparpotenziale von treibhausgasrelevanten Emissionen über den Beitrag zur globalen Erwärmung (GWP) und Potenziale zur Minimierung des Verbrauchs von primärenergetischen fossilen Energieträgern und Ressourcen (PENRT) benannt.

Untersucht wurden drei Varianten, wobei zwei mit jeweils zwei Subvarianten vertreten waren.

- Variante 1a: Scheibenaustausch: Die historische Glasscheibe wurde durch eine moderne Isolierglasscheibe ersetzt.
- Variante 1b: Kopplung mit Isolierglas: Die historische Glasscheibe wurde mit einem Isolierglas gekoppelt, das historische Fenster also in einem Scheibenaufbau zur Wärmeschutzverglasung integriert.



6 Lebenszyklus von Bauprodukten.

- Variante 2: Inneres Vorsatzfenster; entweder mit Metallrahmen (M) oder Holzrahmen (H).
- Variante 3a: Erweiterung des historischen Fensters zum Kastenfenster mit Metallrahmen (M) oder Holzrahmen (H).
- Variante 3b: Die in einem existierenden historischen Kastenfenster vorhandenen historischen Gläser wurden durch moderne Isolierglasscheiben ersetzt.

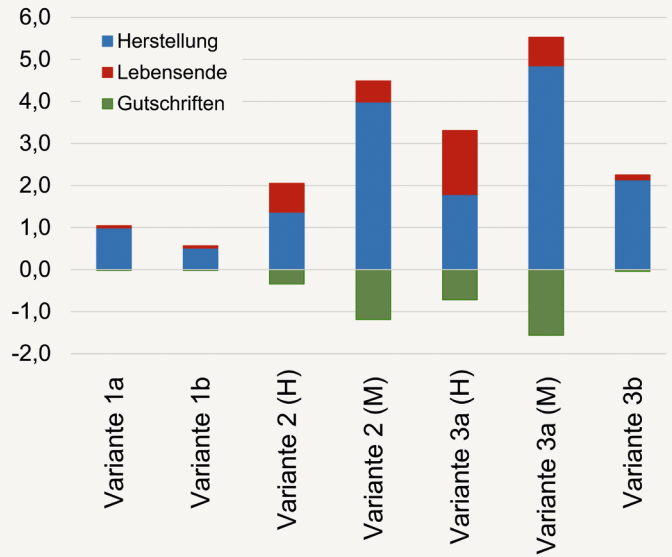
Für die Berechnung der globalen Erwärmung wurden für die unterschiedlichen Varianten die Anteile von »Herstellung«, »Lebensende« sowie »Gutschriften« berechnet und aufsummiert (Abb. 7). Konstruktionsbedingte Umweltpotenziale sind als Herstellung und Lebensende definiert. Bei den Gutschriften handelt es sich um positive Effekte, die gegebenenfalls aus dem Recycling resultieren.

Der Betrieb wird separat als »betriebsbedingte Potenziale« ausgewiesen (Abb. 8). Als Annahme wurden hier drei unterschiedliche energetische Niveaus der Sanierung über einen Zeitraum von 30 Jahren betrachtet. Die Annahmen definieren sich wie folgt:

- Referenz: Gebäudehülle und Fenster unsaniert, Wärmebereitstellung über dezentralen Ölofen, Endenergiebedarf $315 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$.
- Niveau 1: Teilsanierung Gebäudehülle und Sanierung Fenster, Wärmebereitstellung über dezentralen Ölofen, Endenergiebedarf $185 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$.
- Niveau 2: Teilsanierung wie Niveau 1, Wärmebereitstellung über zentralen Hack-schnitzelkessel, Endenergiebedarf $192 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$.

Wie erwartet ergeben sich die grössten konstruktionsbedingten Unterschiede der Umweltpotenziale für die globale Erwärmung aus den unterschiedlichen zusätzlich

Globale Erwärmung (GWP) in [kg CO₂-Äquiv./ 1m² Fensterfläche * a]



7 Konstruktionsbedingte Umwelt-
potenziale der Sanierungsvarianten,
»Global Warming Potential« (GWP).

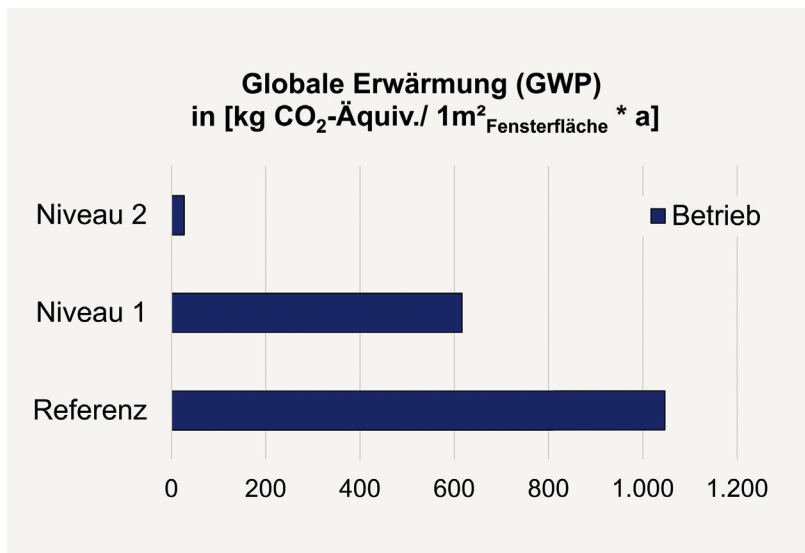
benötigten Materialmassen, vor allem aus Konstruktionselementen (Abb. 7). Besonders die Varianten mit Metallrahmen [Variante 2 (M) sowie 3a (M)] schneiden hier ungünstig ab. Die Gutschriften aus dem Recycling haben zwar einen positiven Effekt, liegen aber deutlich über dem Mehraufwand bei der Herstellung. Die Ergebnisse der ökologischen Analyse für die Optionen der Ertüchtigung sind unter Lebenszyklusperspektive vergleichbar. Bei Präferenz einer ressourcenschonenden Ertüchtigung und niedriger konstruktionsbedingter Umweltwirkungen können die Optionen 1b (Kombination aus historischer Glasscheibe mit modernem Isolierglas) und/oder 2 (inneres Vorsatzfenster mit Holzrahmen) aufgrund der vorliegenden Ergebnisse als ökologisch vorteilhaft empfohlen werden.

Bereits eine energetische Sanierung auf dem Niveau 1 führt zu einer Reduktion des Beitrags zur globalen Erwärmung um ca. 41%. Durch eine weitergehende Optimierung kann sogar eine Verringerung von ca. 96% erreicht werden (Niveau 2) (Abb. 8).

Die ökologische Analyse hat gezeigt, dass historische Gebäude ihren Anteil zum Klimaschutz beitragen können. Bereits heute existieren ressourcenschonende Varianten der Sanierung für historische Fenster, die sowohl gut für das Klima sind als auch den denkmalpflegerischen Aspekt berücksichtigen.

Zusammenfassung

Historische Fensterkonstruktionen mit ihren nach traditionellen Herstellungstechniken gefertigten Gläsern stellen besonders prägende Elemente jeder Fassade dar, insbesondere von Denkmälern oder anderen kulturell bedeutenden Bauten. Durch die



8 Umweltpotenziale im Betrieb der Varianten der Sanierungsvarianten, »Global Warming Potential« (GWP).

denkmalpflegerische Herangehensweise des Erhaltens und Ertüchtigens des überkommenen Fensterbestands wird das einzigartige Erscheinungsbild eines Denkmals bewahrt, wobei der sparsame Umgang mit natürlichen Ressourcen als Leitidee fungiert. Die praktischen Ertüchtigungsversuche in der Alten Schäferei in Benediktbeuern waren durch ein umfassend angelegtes bauphysikalisches Untersuchungskonzept unterlegt und wurden kontinuierlich begleitet. Durch Praxiserprobung konnte demonstriert werden, dass durch die Ertüchtigung historischer Fenster in verschiedenen Varianten Energie im Gebäudebetrieb eingespart werden kann. Im Gegensatz zum einfachen Fensteraustausch wurde durch eine Erhaltung der bestehenden Scheiben und ihrer vergleichbaren energetischen Ertüchtigung aber auch gezeigt, dass der Einsatz neuer Ressourcen für konstruktive Aspekte bei der Sanierung deutlich verringert und Nachhaltigkeitsaspekte bewusst berücksichtigt werden können. Die Erkenntnisse aus dem Vorhaben wurden durch eine Ökobilanz untermauert, in der der Lebenszyklus von Gläsern und Fenstern Gegenstand der Analyse war und in der mögliche Szenarien der energetischen Ertüchtigung vergleichend bilanziert wurden.

Das Projekt hat gezeigt, dass ein wissensgeleiteter Umgang mit historischen Gebäuden einen wertvollen Beitrag zum Klimaschutz leisten kann und ressourcenschonende Varianten der Sanierung historischer Fenster auf dem Weg hin zu einem klimaneutralen Konzept bereitstehen und bereits jetzt genutzt werden können. Einsparungspotenziale und Vorteile sind in einem Leitfaden zusammengefasst worden, der jetzt allen Akteuren der Sanierung des historischen Gebäudebestandes zur Verfügung steht. Die Übertragbarkeit auf jegliche Bestandsbauten zeigt darüber hinaus neue Möglichkeiten in der ressourcenschonenden Gebäudesanierung auf dem Weg zur klimaneutralen Gesellschaft auf. Die Forschungsergebnisse zeigen, dass maximaler Substanzerhalt denkmalpflegerisch die wünschenswerte Variante darstellt. Ein solcher Erhalt ist zugleich aus Sicht der Nachhaltigkeit von Ressourcen und als eine klimaschonende Massnahme optimal.

- 1 Förderkennzeichen TLK01U-64547.
- 2 Barker 1977, 419; Spoerer et al. 1988, 178.
- 3 König 1934.
- 4 Bellendorf et al. 2021.
- 5 Der nachfolgende Text basiert weitgehend auf dem des Leitfadens.
- 6 Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie, Neuauflage 2016, 22, <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/975292/730844/3d30c6c2875a9a08d364620ab7916af6/deutsche-nachhaltigkeitsstrategie-neuauflage-2016-download-bpa-data.pdf?download=1> (aufgerufen am 25.01.2024).
- 7 UN General Assembly, Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development. 25. September 2015, <https://sdgs.un.org/2030agenda> (aufgerufen am 30.04.2022).
- 8 Bellendorf 2020.
- 9 Die ökologische Bilanz wurde gemäß DIN EN ISO 14040 und 14044 berechnet. Die Ergebnisse sind damit objektiv und vergleichbar.

Bibliografie

BARKER 1977

Theodore Cardwell Barker, *The Glassmakers*. Pilkington: The Rise of an International Company 1826–1976, London: Weidenfeld and Nicolson, 1977.

BELLENDORF 2020

Paul Bellendorf, »Denkmalschutz und Ressourcenschutz: Denkmale und historische Profanverglasungen unter dem Gesichtspunkt der Ziele nachhaltiger Entwicklung«, in: Wolfgang Brassat (Hg.), *Komplexität und Diversität des kulturellen Erbes*. Forschungsbeiträge aus dem Institut für Archäologische Wissenschaften, Denkmalwissenschaften und Kunstgeschichte, Bamberg: University of Bamberg Press, 2020, 145–152.

BELLENDORF ET AL. 2021

Paul Bellendorf, Ruth Tenschert, Alexandra Schmölder, Katrin Lenz, Ralf Kilian, Stefan Bichlmaier, Christine Milch, Olivia Jorgji, *Leitfaden zur energetischen Ertüchtigung von Bestandsfenstern und Gläsern in historischer Bausubstanz als Beitrag zum Klimaschutz*, <https://fis.uni-bamberg.de/entities/publication/c450fda1-95dc-4713-a450-8fcceb7e1b5e/details> (aufgerufen am 15.11.2023), Otto-Friedrich-Universität Bamberg, 2021.

KÖNIG 1934

Walther König, »Fensterglas«, in: Walther König, Lambert von Reis und Rudolf Simon (Hg.), *Flachglas*, Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft M. B. H., 1934, S. 3–40.

SPOERER 1977

Mark Spoerer, Albert Busl, Heinz W. Krewinkel, *500 Jahre Flachglas. 1487–1987. Von der Waldhütte zum Konzern*. 2. Aufl., Schorndorf: Hofmann, 1988.