



Historisches Flachglas im Baudenkmal

Zwischen Denkmalpflege, Ressourcenschutz und Energieeffizienz



Abb. 1: Ruth Tenschert bei der Begutachtung von historischen Fenstern in Bamberg [Basse 2020].

Leitung: Prof. Dr.-Ing. Rainer Drewello

Bearbeitung: Prof. Dr. Paul Bellendorf, Alexandra Schmölder M.A., Ruth Tenschert M.A.

Partner: Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP)

Laufzeit: 2018 – 2021

Finanzierung: Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz

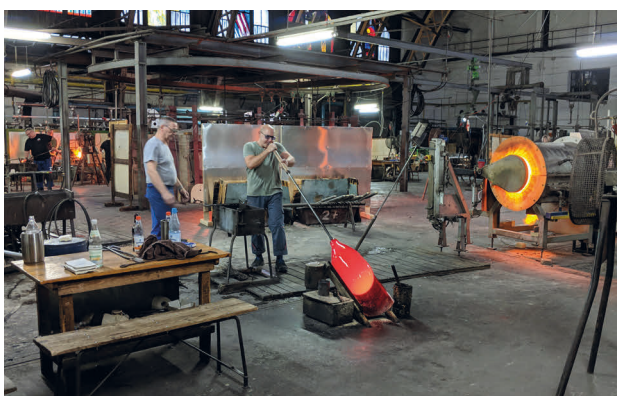


Abb. 2: Zylinderglasproduktion nach historischem Vorbild bei der Firma Lamberts in Waldsassen [Bellendorf 2018].

Fenster sind besonders stilprägende Elemente von denkmalgeschützten Gebäuden. Ihre Wirkung in der Fassade bestimmt das Erscheinungsbild und ihr Erhalt trägt per se aktiv zum Denkmalschutz bei. Bei Sanierungen werden die Fenster in der Regel komplett ersetzt, d.h. Rahmen und vor allem auch die Glasscheiben gehen unwiederbringlich verloren. Als Gründe für den Austausch werden unzureichende energetische Eigenschaften der alten Fenster, ein verbesserter Brandschutz sowie neue Schallschutzmöglichkeiten bei der Nutzung moderner Fensterkonstruktionen angeführt. Alternative Ertüchtigungsmöglichkeiten von Bestandsfenstern werden dabei häufig außer Acht gelassen. Doch gerade der Erhalt historischer Bausubstanz ist ein äußerst wichtiger denkmalpflegerischer Grundsatz, der dem Postulat der Ressourcenschonung auf vorbildliche Weise folgt.

Das Projekt

Das Ziel des Projekts „Innovative Lösungen für die Ertüchtigung historischer Gläser und Glasfenster – Praxisversuche in der Alten Schäferei, Kloster Benediktbeuern“ ist es Varianten zu erarbeiten, die den heutigen Anforderungen an Energieeffizienz und anderen bauphysikalischen Aspekten gerecht werden. Dazu werden in der Alten Schäferei des Klosters Benediktbeuern neue Fensterrahmenkonstruktionen entwickelt und vor Ort modellhaft eingebaut. Unter realen Bedingungen können so die Maßnahmen über einen längeren Zeitraum messtechnisch überwacht und bewertet werden. Ein weiterer Schwerpunkt der Betrachtungen liegt auf den historischen Glasscheiben selbst. Ihre Lebenszyklen und Ökobilanzen werden durch den Ressourcenverbrauch, den Einsatz an Primärenergien und der Recyclingrate bestimmt und können so heutigem Floatglas gegenüber gestellt werden. Als zusätzliche Variante für eine energetische Ertüchtigung wird das Aufbringen von Folien und Beschichtungen zur Verbesserung der bauphysikalischen Eigenschaften der Bestandsgläser erforscht und erprobt.

In Abstimmung mit dem Bayerischen Landesamt für Denkmalpflege testet das Fraunhofer-Institut für Bauphysik unterschiedliche Lösungswege direkt am denkmalgeschützten Gebäude im Obergeschoss der ehemaligen Schäferei in Benediktbeuern. Vorrang hat die Erhaltung der bestehenden Rahmenkonstruktion und ihrer Glasscheiben, um



Abb. 3: Die Fassade der Alten Schäferei in Benediktbeuern wird - wie viele andere Denkmalfassaden - von verschiedenen Fenstertypen geprägt [Fraunhofer IBP 2016].

den ästhetischen Fassadeneindruck und das äußere Erscheinungsbild des Gebäudes insgesamt zu gewährleisten. Moderne, perfekte Glasscheiben brechen und reflektieren das Licht anders als historische Gläser und würden den Gesamteindruck eines historischen Gebäudes deutlich verändern. Die Bestandsfenster von Denkmälern bestehen in der Regel aus Einfachverglasungen, für die unterschiedliche Möglichkeiten der Ertüchtigung vorhanden sind.

Eine Option besteht darin, die Einscheibenverglasung zu einer (Mini-)Isolierscheibe, bzw. Wärmeschutzglasscheibe, umzufunktionieren, das Fenster also um eine weitere Glasebene zu erweitern. Die vorsichtig ausgebaute Glasscheibe wird dabei um eine neue Floatglas- oder mundgeblasene Scheibe ergänzt. Beim Wiedereinbau bleibt die historische Scheibe als äußere Ebene erhalten, womit der ästhetische Charakter des Denkmals von außen kaum verändert wird. Eine andere Option der Ertüchtigung stellt das klassische Kastenfenster dar, das an sich sehr gute schallschutz- und wärmetechnische Eigenschaften aufweist. Traditionell wird es aus Kiefernholz gefertigt und kann in die oft tiefen Fensterlaibungen der Altbauten

eingepasst werden. Die Fensterkonstruktion und Aufteilung der Scheiben orientiert sich am Bestandsfenster. Eine moderne Variante des Kastenfensters besteht aus einer Stahlrahmenkonstruktion, die als Vorsatzfenster am raumseitigen Ende der Fensterlaibung die gesamte Fensteröffnung abdeckt. Beide Kastenfensterlösungen sind nach denkmalpflegerischen Gesichtspunkten reversibel und denkmalverträglich, allerdings sollte die Verankerung im Mauerwerk des Bestandes so substanzschonend wie möglich erfolgen. Die Berechnungen des Lebenszyklus von Bestandsgläsern basieren auf umfangreichen Recherchen zu den historischen Fertigungsmethoden und zur Rohstoffbeschaffung.

Erstmalig wurde eine Zusammenstellung der Rohstoffquellen in Deutschland ermittelt und diese in Verbindung mit den Glashütten eingehend untersucht. Neue Erkenntnisse zu den einzelnen Herstellungsverfahren im süddeutschen Raum ergeben eine profundere Vorstellung, wo welche Glassorte produziert wurde und über welchen Zeitraum hinweg. Zu den historischen Techniken zählen das Schleuderverfahren, hier insbesondere die spezialisierte Herstellung von großen



Abb. 4: Blick durch ein Fenster mit leichten Verzerrungseffekten historischer Scheiben am Beispiel des Markushauses in Bamberg [Bellendorf 2019].

Mondscheiben bis Mitte des 19. Jahrhunderts, das Zylinderblasverfahren, das bis ins frühe 20. Jahrhundert die bevorzugte Fertigungsmethode für Flachglas blieb, und schließlich die maschinellen Ziehverfahren, allen voran das Fourcaultverfahren, welches das Zylinderblasverfahren weitgehend ablöste. Die Ziehverfahren waren vor allem bis zur Einführung des Floatglases in den 1960er Jahren gebräuchlich, die neue Technik revolutionierte mit seiner perfekten Oberflächenstruktur und Produktionsmenge die Flachglasindustrie und stellte damit alle vorherigen Verfahren in den Schatten.

Bereits Mitte des 19. Jahrhunderts hatte im Zuge der Industrialisierung eine Automatisierung der Arbeitsprozesse begonnen. Die Verfeuerungstechnik änderte sich und bekam durch die Erfindung des Siemens-Regenerativofens einen besonderen Entwicklungsschub, der weitgehend zur Unabhängigkeit vom Energieträger Holz führte. Gleichzeitig ermöglichte die Einführung der Eisenbahn einen kostengünstigen und schnellen Transport von Rohstoffen auch über weite Strecken. Bei



Abb. 5: Energetisch ertüchtigtes Fenster in der Alten Schäferei, Benediktbeuern, mit Messaufbau [Fraunhofer IBP 2019].

Neugründungen von Glashütten fand daher eine Verlagerung der Standorte in die Nähe der Eisenbahn statt. Im Hinblick auf die Rohstoffzusammensetzung der einzelnen Flachglasvarianten ergab eine umfassende Recherche der historischen Rezepturen einen überraschend hohen Anteil an Altglas. Das Prinzip des Glasrecyclings war bereits seit der frühen Neuzeit ein integraler Bestandteil des Glasherstellungsprozesses. Altglas war kostbar und wurde gesammelt, an Glashütten verkauft und wieder eingeschmolzen. Dadurch konnte das Niederschmelzen des Glasgemenges verkürzt und erleichtert werden und die erforderliche Sandmenge im Glasgemenge reduziert werden. Für klare Fensterscheiben kam allerdings nur ungefärbtes Altglas in Frage. Heute sind die Ansprüche an die Glasqualität derart hoch, dass bei der Fensterglasproduktion nur eigene Glasabfälle wiederverwendet werden.

Auf Basis der erarbeiteten Informationen bildet das Fraunhofer-Institut für Bauphysik die für das Projekt ausgewählten historischen Glasherstellungsprozesse zunächst in Prozessfließbildern

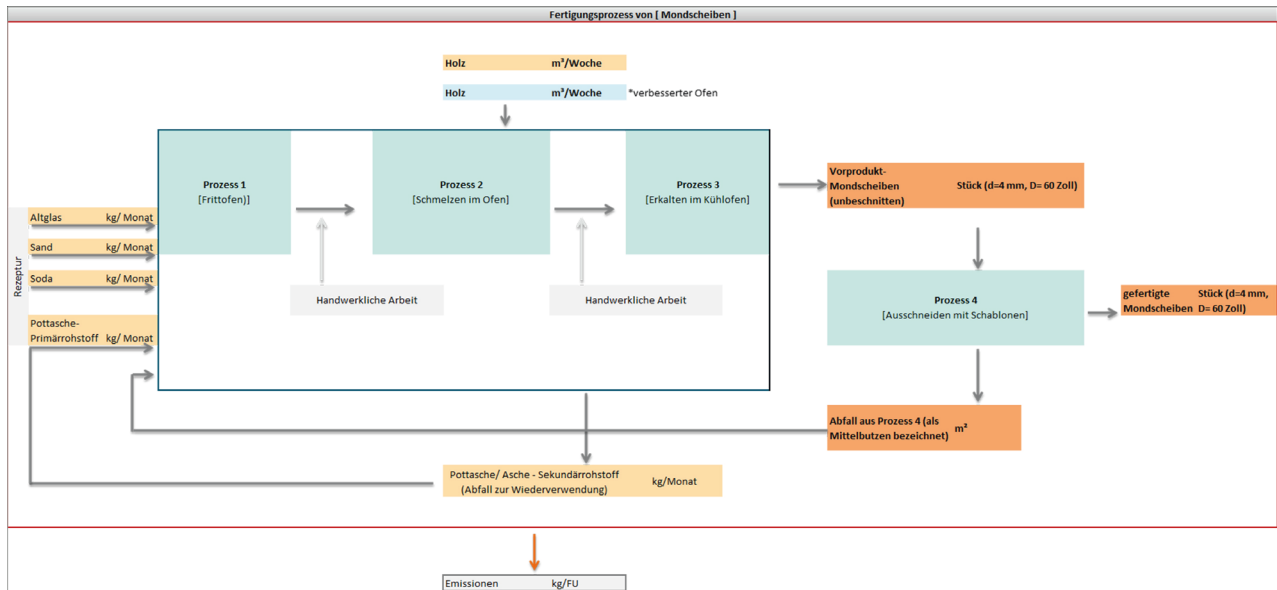


Abb. 6: Exemplarisches Prozessfließbild zum historischen Tafelglasherstellungsverfahren für Mondscheiben. [Fraunhofer IBP 2019].

ab. Diese spezifische Analyse der Stoff- und Energieflüsse ist für die Ermittlung der Ökobilanz notwendig. Besonders detaillierte Daten und Beschreibungen stehen exemplarisch für die Mondglasherstellung, das Zylinderblasverfahren aus zwei unterschiedlichen Zeitschichten und für Rezepturen von Fourcaultanlagen zur Verfügung. Häufig sind in der Fachliteratur nur die Verhältnisse der Rohstoffe für die Gemenge angegeben. Wichtig für die Berechnungen ist jedoch eine Aussage darüber, wieviel Flachglas mit welchem Energieaufwand aus einer bestimmten Menge Rohstoff produziert werden kann. Für die fünf konkreten Beispiele konnten alle erforderlichen Größen ermittelt werden. Dadurch war es möglich, für jedes Verfahren den Bezug zur funktionellen Einheit zu errechnen. Die funktionelle Einheit beschreibt, wieviel Rohstoffe und Energie pro jeweils 1 m^2 fertigem Glas bei der jeweiligen Glasdicke benötigt werden. Für die Ökobilanz wurden außerdem die CO_2 -Emissionen aus dem Einsatz von Energieträgern, dem Glasschmelzprozess und aus der Herstellung der Vorprodukte ermittelt. Zum Einsatz kommt die Software GaBi 9, die sich an den Lebenszyklusphasen nach DIN EN 15804 orientiert. Die Betrachtung ist in die vier Bereiche Herstellungsphase bzw. Produktion, Errichtungsphase, Nutzungsphase und Entsorgungsphase gliedert.

Ausblick

Die Berechnungsgrundlagen, Modelle und Erkenntnisse werden im weiteren Projektlauf genutzt, um die Bewertungsmethode zur ökologischen Le-

benszyklusanalyse weiter zu untersuchen. Durch die Vergleichbarkeit der historischen Glasherstellungsverfahren können nun die Bereiche Nutzungsphase und Lebensende der Glasprodukte eingehender betrachtet werden. Funktion und Nutzen der verschiedenen Lösungsvorschläge für die Fenstersanierung werden hinsichtlich einer ressourcenschonenden Ertüchtigung analysiert. Der Blick wird auch auf die Beschichtungsmethoden gelenkt und deren Auswirkungen auf den Fensterbestand getestet.

Zur Vermittlung der Projektergebnisse werden im Fraunhofer-Zentrum für energetische Altbausanierung und Denkmalpflege Benediktbeuern die Ertüchtigungsvorschläge der Fenster didaktisch aufbereitet und für die Allgemeinheit visuell präsentiert. Außerdem fließen die Erkenntnisse aller Arbeitspakete in die Ausarbeitung eines Leitfadens für die energetische Ertüchtigung von historischen Fensterkonstruktionen ein. Dabei wird besonderer Wert auf die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere denkmalgeschützte Gebäudetypen gelegt. Der Leitfaden ist als Handreichung für das gesamte Bau- und Sanierungshandwerk gedacht und soll als grundlegende Entscheidungshilfe in der Abwägung zwischen der Denkmalpflege mit ihrer Forderung für den Erhalt alter Fenster und Gläser mit dem Anspruch an moderne Energiestandards dienen. Somit leistet das Projekt einen wichtigen Beitrag zur Denkmalpflege und ihrem grundlegend ressourcenschonenden Ansatz.

(Alexandra Schmölder, Ruth Tenschert, Paul Bellendorf)