



## Wärmetechnische Ertüchtigung der Fenster in einem denkmalgeschützten Gebäude



### Lernmodul Fensterelemente II Hinweise für Lehrende

Das Projekt GESA wird im Rahmen des ESF-Bundesprogramms „Berufsbildung für nachhaltige Entwicklung befördern. Über grüne Schlüsselkompetenzen zu klima- und ressourcenschonendem Handeln im Beruf – BBNE“ durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit sowie den Europäischen Sozialfonds gefördert.

# 1 Grundsätzliches und Aufbau des Lernmoduls

Die Lernmodule orientieren sich an real durchgeführten Sanierungsarbeiten in einem denkmalgeschützten Bauwerk, das im Gründerzeitalter um 1900 in Hamburg im Wald des Niendorfer Geheges erbaut wurde. Seit 2017 wird das Gebäude der 'Villa Mutzenbecher' durch einen öffentlich gemeinnützigen Träger restauriert. Jugendliche und Erwachsene aus unterschiedlichen Bildungsgängen können außerhalb des Lernorts Schule ihre berufliche Handlungskompetenz hinsichtlich denkmalgerechter Sanierungspraxis erweitern. Im Zuge des ESF-Bundesprogramms „Berufsbildung für nachhaltige Entwicklung – Über grüne Schlüsselkompetenzen zu klima- und ressourcenschonendem Handeln im Beruf (BBNE)“ liegt ein weiterer Schwerpunkt in der Förderung von nachhaltigkeitsbezogenen Kompetenzen.

Im Sinne der Agenda 2030 sollen Fachkräfte in der Lage sein, ihr berufliches Handeln unter Beachtung ökologischer, sozialer und ökonomischer Wirkungen zu beurteilen. Besonders die Baubranche kann durch energieeffiziente Gebäude wesentlich zur Emissionsminderung und damit zum Klimaschutz beitragen. Sobald Gebäude – insbesondere im Bestand – energetisch saniert werden, ist gewerkeübergreifende Kooperation gefragt. Erst im Dialog aller beteiligten Gewerke sowie mit Planer:innen und Architekt:innen lassen sich die Schnittstellen der Berufe organisieren und Arbeitsprozesse so koordinieren, dass ein Gebäude als ganzheitliches System realisiert werden kann. Die Beteiligten qualifizieren sich indem sie ihr berufliches Fachwissen um Kenntnisse zu neuen Produkten und Arbeitsweisen erweitern.

**Alle Module berücksichtigen deshalb die vier Bezugspunkte (s. Abbildung 1):**

1. Anforderungen des Denkmalschutzes im historischen Kontext
2. Berufliche Bildung für nachhaltige Entwicklung (BBNE)
3. Gewerke übergreifendes Lernen
4. Inhalte der Ordnungsmittelvorgaben der betreffenden Ausbildungsberufe

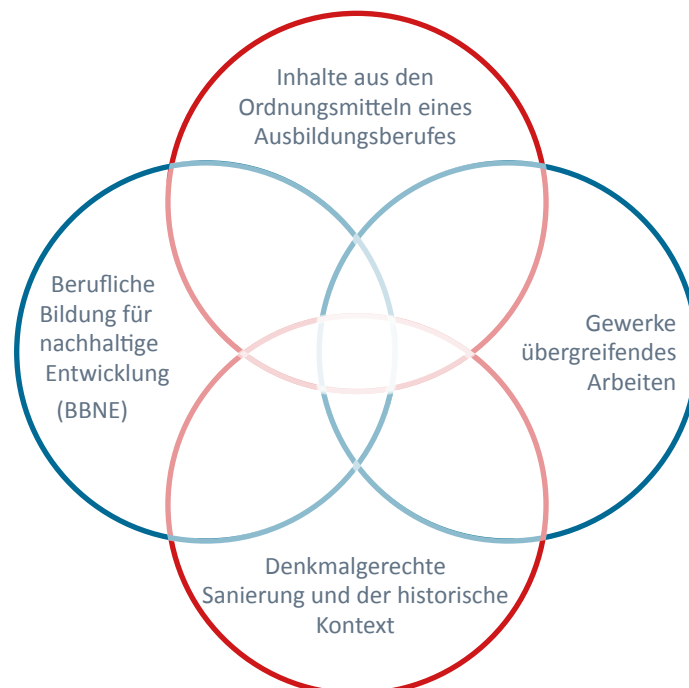

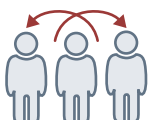







Abbildung 1: Didaktische Bezugspunkte für die Lernmodule

Die insgesamt 18 Lernmodule teilen sich in ungefähr gleicher Anzahl in Querschnitts- und Fachmodule auf. In den Querschnittsmodulen werden grundlegende Inhalte des Denkmalschutzes, der Beruflichen Bildung für nachhaltige Entwicklung und des Gewerke übergreifenden Arbeitens thematisiert. Ausgangspunkt der Fachmodule sind konkrete Sanierungsarbeiten in der Villa. Die berufsfachlichen Anforderungen, die sich aus den jeweiligen Ordnungsmitteln der Ausbildungsberufe ergeben, werden darin mit den Querschnittsinhalten verknüpft. Dabei werden auch die Schnittstellen der vor- und nachgelagerten Gewerke beachtet.

Sämtliche Lernmodule wurden zunächst als haptische, erfahrungsorientierte und authentische Lernangebote konzipiert. Die Arbeitsmaterialien bestehen aus Selbstlernphasen als auch aus Phasen, die von Lehrenden anzuleiten sind. Ein Modul dauert mindestens zehn Zeitstunden. Module, die in der Villa Mutzenbecher umgesetzt werden, lassen sich direkt mit dem realen Gegenstand verbinden. Alle Materialien sind auch als OER veröffentlicht, wodurch sie sich auch außerhalb durchführen lassen.

Die Lernmaterialien sind am Seitenrand mit kurzen schriftlichen Hinweisen und Icons ausgestattet.

Icons zur schnelleren Orientierung		Szenario/ Kundenauftrag	
Gewerke übergreifendes Arbeiten		Informationen	
Bezug zur Beruflichen Bildung für nachhaltige Entwicklung		Aufgaben	
Besonderheiten des Denkmalschutzes		Material	

## 2 Kurzübersicht über das Modul

Zuordnung zu Ordnungsmitteln	<p><b>Ausbildungsrahmenplan:</b> Diese Lerneinheit berührt verschiedene Aspekte des Ausbildungsberufsbildes, insbesondere</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>→ Gestalten und Konstruieren von Erzeugnissen (§4, 6)</li> <li>→ Planen und Vorbereiten von Arbeitsabläufen, Arbeiten im Team (§4, 7)</li> <li>→ Einrichten, Sichern und Räumen von Arbeitsplätzen (§4, 8)</li> <li>→ Herstellen von Teilen und Zusammenbauen zu Erzeugnissen (§4, 11)</li> <li>→ Durchführen von Holzschutzmaßnahmen (§4, 13)</li> <li>→ Durchführen von Montage- und Demontearbeiten (§4, 14)</li> <li>→ Instandhalten von Erzeugnissen (§4, 15)</li> </ul> <p><b>Rahmenlehrplan:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>→ LF 10, Baukörper abschließende Bauelemente herstellen und montieren</li> <li>→ LF11 ‚Erzeugnisse warten und instand halten‘</li> </ul>
Thema	Nachhaltige und denkmalgerechte Fenstersanierung
Querschnittmodul oder Fachmodul	Fachmodul
Zielgruppe	Auszubildende im Tischlerhandwerk
Zeitraumen	10 Stunden
übergeordnete Kompetenzförderung	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Die Lernenden können begründet entscheiden, wie eine wärmetechnische Ertüchtigung der Bestandsfenster konstruiert werden kann ohne denkmalpflegerische Aspekte zu vernachlässigen.</li> <li>→ Die Lernenden können die notwendigen Sanierungsmaßnahmen an den Baukörper abschließenden Bauelementen erläutern.</li> <li>→ Die Lernenden können die Schnittstellen des Tischlerhandwerks zu anderen Gewerken erkennen und Konsequenzen für ihre eigene Tätigkeit ziehen.</li> </ul>
Kurzbeschreibung	Die Auszubildenden setzen sich exemplarisch mit der Bedeutung einer nachhaltigen und denkmalgeschützten Sanierung der Baukörper abschließenden Bauelemente auseinander und entwickeln Lösungen für deren wärmetechnische Ertüchtigung. Die Auszubildenden identifizieren erste Gewerke übergreifende Schnittstellen, die bei der Sanierung der Villa Mutzenbecher zu berücksichtigen sind.
Inhalt und Aufgabe	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Durchführung einer Baubeschreibung und Schadenserfassung an den Fenstern der ‚Villa Mutzenbecher‘</li> <li>→ Erarbeiten der Fertigungsunterlagen zur wärmetechnischen Ertüchtigung der Bestandsfenster.</li> <li>→ Erfassung und Berücksichtigung von Gewerke übergreifenden Schnittstellen.</li> </ul>
Material	(mobiles) Endgerät mit Internetverbindung Präsentationsmaterial Utensilien zum Erstellen von technischen Zeichnungen Ggf. CAD-Software

### 3 Einleitung in das Lernmodul

Baukörper abschließende Bauelemente – Fenster und Türen – müssen verschiedene, sich teilweise widersprechende Funktionen erfüllen. Sie sind zum einen ein prominentes Element der Fassadengestaltung mit einer großen Wirkung auf das Gesamtbild eines Gebäudes. Besonders deutlich wird dies zum Beispiel bei dem Ersatz relativ kleinteiliger Fensterflächen durch großflächige Elemente in historischen Häusern. Zum anderen sind die technischen Anforderungen als Teil der Gebäudehülle vielfältig: Einbruchschutz, Belichtung für die Innenräume oder bauphysikalische Überlegungen zum Wärme- bzw. Kälteschutz spielen hier eine Rolle. Dies weist schon auf eine weitere Anforderung hin: den Umweltschutz. Die ausgewählten Werkstoffe, der Herstellungsprozess, die verwendeten Materialien zur Befestigung in der Fassade, die Stoffe zum Abdichten und auch die Entsorgung ausgedienter Elemente müssen mit Blick auf eine möglichst geringe negative Auswirkung auf die Umwelt geplant bzw. verwendet werden. In der energetischen Gebäudesanierung im Bestand spielen die Bauteile der Gebäudehülle eine große Rolle um z.B. den Wärmeenergieverlust so gering wie möglich zu halten. Für die Fenster sind grundsätzlich der komplette Ersatz oder die Ertüchtigung der Konstruktion mögliche Vorgehensweisen, um dem Bestreben nach Energieeinsparung zu genügen.

Die Villa Mutzenbecher entstand um die Jahrhundertwende des 19. Und 20. Jahrhunderts und wurde in dieser mehrfach durch Anbauten erweitert. Beachtet man die Flächenteilung der Fenster in der Villa können diese dem Späthistorismus (ca. 1890 – 1910) zugeordnet werden. Die Fenster sind aus Nadelholz gefertigt (Kiefer). Für die unteren Querhölzer der Flügel und Blendrahmen wurde überwiegend ein widerstandsfähiges Laubholz (Eiche) gewählt. Neue Nutzungs- bzw. Lebensgewohnheiten stellen gerade historische Fenster vor Herausforderungen, die sie in ihrer ursprünglichen Gestalt nicht erfüllen können. In welcher Form eine Ertüchtigung der vorhandenen Elemente oder ein Austausch durch ein neues Fenster in historischen Gebäuden in Frage kommt, hängt von den Rahmenbedingungen der Sanierung ab. In unter Denkmalschutz stehenden Gebäuden ist ein Austausch durch neue, moderne Fenster im Prinzip ausgeschlossen.

Bauwerke, wie die Villa Mutzenbecher, zeichnen sich durch massive Mauerwerke, Holzbalkendecken, Einzelofenheizungen, reichhaltige Ausstattung (z.B. Stuck) und große Räumlichkeiten aus. Teilweise haben bereits Modernisierungsarbeiten stattgefunden bevor die Gebäude unter Denkmalschutz gestellt wurden. Dadurch ist es möglicherweise nötig auch Ideen für einen Rückbau in den Ursprungszustand zu entwickeln. Sanierungsmaßnahmen müssen teilweise widersprüchliche Ziele in Einklang bringen ([vgl. www.baunetzwissen.de](http://www.baunetzwissen.de)):

- ▶ Erhalt stadtbildprägender Stilmerkmale aus der Gründerzeit (Veranda, Hauseingänge etc.)
- ▶ Schutz wesentlicher bau- oder kunstgeschichtlicher Bauteile (z.B. Mauern, Fenster etc.)
- ▶ Modernisierung der Gebäudeausstattung gemäß des aktuellen Ausstattungsstandards
- ▶ Verantwortungsvoller sowie nachhaltiger Umgang mit natürlichen Ressourcen, (z.B. Heizenergie)
- ▶ Einhaltung aktueller gültiger Schutzmaßnahmen, um Leben und Gesundheit der Bewohner zu gewährleisten
- ▶ zeitgemäßer Brandschutz

Da es während der Sanierungsarbeiten in einem denkmalgeschützten Gebäude keine Standardlösungen geben kann, ist es notwendig die zuständige Denkmalbehörde von Anfang an in den Planungsprozess einzubeziehen.

In diesem Lernmodul zur wärmetechnischen Ertüchtigung der Fenster wird es genau um die obigen Zusammenhänge gehen. Die Lernenden sollen erfahren, was es bedeutet, nachhaltig und denkmalgeschützt zu sanieren. Dabei gilt es, bei ihnen ein Bewusstsein für die Wichtigkeit des Erhalts der beste-

henden Fenster hervorzurufen, indem auf historische, gegenwärtige und zukünftige Fensterkonstruktionen eingegangen wird. Sie sollen fachlich kompetent beurteilen können, mit welchen Konstruktionen eine möglichst schonende Sanierung und energetische Ertüchtigung erreicht werden kann.

Die Verlaufsplanung in diesem Lernmodul ist als ein möglicher Vorschlag anzusehen. Sie ist nicht verbindlich. Letztendlich liegt es in Ihrer Verantwortung als Lehrkraft, den Kenntnisstand der Klasse zu den Methoden und Sozialformen einzuschätzen, um daraus Handlungsoptionen abzuleiten. Sehen Sie dieses Modul nicht als fertiges „Material“ sondern als Hilfestellung für Ihren Unterricht.

## 4 Rahmenbedingungen

### Zielgruppe

Das Lernmodul wurde für Auszubildende zum/zur „Tischler/in“ in der zweiten Hälfte der Ausbildung konzipiert. Die Auszubildenden benötigen bereits ein grundlegendes holztechnisches Vorwissen, wie z.B. Aufbau des Holzes, Verhalten des Holzes unter Wittereinfluss, Holzschutz (chemisch/konstruktiv), Holzschädlinge am verbauten Holz. Diese Inhalte können auch im Modul selbst zum Lerngegenstand werden. Konsequenterweise verlängert sich dadurch die zeitliche Durchführung.

### Organisatorisches

Das vorliegende Lernmodul lässt sich auf zweierlei Weise durchführen. Zum einen kann es in der Villa Mutzenbecher stattfinden. Dort ist das Angebot haptisch, erfahrungsorientiert und authentisch angelegt und die benötigten Materialien (Anschauungsobjekte, Beamer, Arbeitsblätter, Flipcharts etc.) vorhanden. Zum anderen kann das Modul an jeder beliebigen Bildungsstätte durchgeführt werden, sofern für die Auszubildenden ein PC mit Internetzugang und Visualisierungs- sowie Präsentationsmaterialien für die einzelnen Modulphasen vorhanden sind. Auf der Homepage: <https://bbne-mutzenbecher.blogs.uni-hamburg.de/> finden sich sämtliche Unterlagen sowie ein 3D-Rundgang durch die Villa.

### Ordnungsmittelbezug

Die Inhalte des Lernmoduls lassen sich aus der Verordnung über die Berufsausbildung zum Tischler/zur Tischlerin vom 25. Januar 2006 und dem Rahmenlehrplan für den Ausbildungsberuf Tischler/Tischlerin vom 13. Januar 2006 entnehmen. In Bezug auf den Ausbildungsrahmenplan ist das Modul mit den Fertigkeiten, Kenntnissen und Fähigkeiten des Ausbildungsberufsbildes „Gestalten und Konstruieren von Erzeugnissen“ (§4, 6), „Planen und Vorbereiten von Arbeitsabläufen, Arbeiten im Team“ (§4, 7), „Einrichten, Sichern und Räumen von Arbeitsplätzen“ (§4, 8), „Herstellen von Teilen und Zusammenbauen zu Erzeugnissen“ (§4, 11), „Durchführen von Holzschutzmaßnahmen“ (§4, 13), „Durchführen von Montage- und Demontearbeiten“ (§4, 14), „Instandhalten von Erzeugnissen“ (§4, 15) verbunden. Aus dem Rahmenlehrplan berührt das Modul Inhalte aus dem Lernfeld 10 „Baukörper abschließende Bauelemente herstellen und montieren“ (z.B. Bauphysikalische Zusammenhänge, Öffnungs- und Bauarten, Dicht- und Dämmstoffe, Beschlagtechnik, Verglasungssysteme, Konstruktiver Holzschutz) und dem Lernfeld 11 „Erzeugnisse warten und instand halten“ (z.B. Schadensanalyse, Gestaltungsmerkmale von Baustilen, Pflege- und Wartungsanleitungen, Instandhaltungstechniken). Darüber hinaus werden Inhalte angesprochen, die nicht unmittelbar in den Ordnungsmitteln enthalten sind, aber für die Praxis des/der Tischlers/Tischlerin von hoher Bedeutung sind. Dazu gehört beispielsweise die Auseinandersetzung mit den Rahmenbedingungen einer denkmalgerechten Sanierung von Fenstern und das Gewerke übergreifende Arbeiten im Bereich der Befestigung des Elementes am Baukörper.

## 5 Sachdarstellung und didaktische Analyse

Das Fenster ist ein wichtiges Element der Gebäudehülle: „Es versorgt unsere Räume mit Luft und Sonne, schützt vor Regen und Wind, gegen Hitze und Kälte und schließlich gegen Geräusche“ (Reitmayer 1950). Diese mittlerweile über siebzig Jahre alte Einschätzung ist nach wie vor aktuell. Die verschiedenen Funktionen stehen teilweise im Widerspruch zueinander und müssen gegeneinander abgewogen werden, um ein technisch einwandfreies Fenster zu planen, zu fertigen und zu montieren. Die Sanierung von Bestandsfenstern in denkmalgeschützten Gebäuden bedeutet noch eine weitere Herausforderung: Die Fenster sollen in ihrem historischen Wert erhalten und trotzdem einem modernen Wohn- und Nutzungsverhalten dienen können. Moderne Nutzungs- und Lebensgewohnheiten stellen historische Fenster vor Herausforderungen, denen sie nicht immer ausreichend gerecht werden können. Leider fallen Bestandsfenster trotz ihrer ästhetischen Bedeutung häufig einem Austausch gegen moderne Fenster zum Opfer.

Denkmalschutz ist eine weitere ‚Anforderung‘ an ein Fenster

Als Richtlinie für Gesetze, Definitionen und Herangehensweisen im Bereich Denkmalschutz und -pflege, gilt europaweit die Charta von Venedig von 1964 (Zweiter internationaler Kongress der Architekten und Denkmalpfleger 1964/1989). Im Rahmen eines internationalen Kongresses wurden Grundsätze für die Restaurierung und Konservierung von Denkmälern erarbeitet und niedergeschrieben, die bis heute maßgeblich sind (vgl. Hubel 2006, 146ff).

Die Villa Mutzenbecher ist 2007 unter Denkmalschutz gestellt worden. Die Villa soll für eine Nutzung als Bildungs- und Kultureinrichtung vorbereitet werden. Dieses hat Auswirkungen auf die Sanierung. Hier muss von Fall zu Fall gemeinsam mit dem Denkmalschutzamt und allen an der Sanierung beteiligten Fachleuten verhandelt und entschieden werden, welche Maßnahmen geeignet sind, die Villa in einen denkmalgerechten und nutzbaren Zustand zu verwandeln.

Wenn man die allgemeinen Grundsätze der Denkmalpflege auf die historischen Fenster anwendet, lässt sich Folgendes festhalten:

Die Originalfenster gehören zum wesentlichen Bestandteil der ‚Villa Mutzenbecher‘, ihr Wert ist durch keine Nachbildung auch nur annähernd zu ersetzen. Sie sind daher zu reparieren, soweit dies technisch möglich ist. Auch die Dichtungsebene zwischen Baukörper und Fensterelement ist hier aus Gewerke übergreifender Sicht zu beachten. Eine wärmetechnische Ertüchtigung der Fensterkonstruktion ist mit besonders sensiblen Methoden vorzunehmen, um die Bestandsfenster nicht zu gefährden.

Im Zentrum der Bemühungen steht also die möglichst vollständige Bewahrung der originalen Substanz. Somit haben Reparaturen und Ergänzungen immer Vorrang vor Erneuerungen. Im Lernmodul Fensterbau I (Denkmalgerechte Behandlung der Fenster in einem historischen Gebäude) wird ein Denkmal- bzw. Reparaturkonzept für verschiedene Fensterelemente entwickelt. In diesem Konzept ist festgelegt, welche Arbeiten durchgeführt werden müssen. Das Konzept umfasst keine möglichen und notwendigen Maßnahmen zur energetischen Ertüchtigung der Fenster. Dies ist der Inhalt des vorliegenden Lernmoduls Fensterbau II.

Denkmalpflege bedeutet genaue Analyse und Planung

Die Begriffe Wärme, Wärmebrücke, Wärmedämmung, Wärmedurchgangskoeffizient bilden einen Themenkomplex, der insbesondere von Tischler\*innen beherrscht werden muss, da er den Baukörper im Allgemeinen und das Fenster im Speziellen betrifft. Viele Immobilieneigentümer\*innen versuchen klimaschädliche Emissionen zu reduzieren, Heizkosten zu senken und die Behaglichkeit auch im Altbau zu heben.

Am und im Baukörper findet immer ein Wärmefluss statt. Dies geschieht sobald zwei unterschiedliche Systeme aufeinandertreffen: ein kühles Außenklima und ein beheiztes Innenklima. Wärme beschreibt in diesem Zusammenhang die über die Grenze beider Systeme transportierte, thermische Energie. Aus

diesem Transportvorgang lässt sich Wärme als Prozessgröße definieren. Im Gegensatz dazu stellt Temperatur eine Zustandsgröße dar. Der Prozess des Wärmeenergietransportes findet in der Regel vom höheren zum niedrigeren Temperaturniveau statt (2. Hauptsatz der Thermodynamik). In diesem Prozess wird zwischen der Diffusion, der Radiation und der Konvektion von Wärme unterschieden. Diese lassen sich wie folgt beschreiben:

*Wärmediffusion*, auch Wärmeleitung, beschreibt den Energiefluss in Materialien von Teilchen zu Teilchen, ohne dass diese ihren Ort verändern. Die Energie wird als Stoßenergie von stark schwingenden (nahe der Wärmequelle) zu schwach schwingenden Molekülen weitergegeben. Dies findet sowohl in Feststoffen als auch in Flüssigkeiten und Gasen statt. Eine für die bauphysikalische Betrachtung relevante Größe für die Wärmeleitung eines Materials ist die Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  in W/mK (Watt pro Meter und Kelvin).

*Wärmeradiation*, auch Wärmestrahlung, bezeichnet die Energieübertragung durch elektromagnetische Strahlung von Oberfläche zu Oberfläche. Die von der Oberfläche eines Körpers ausgesendete elektromagnetische Strahlung kann beim Auftreffen auf einen anderen Körper absorbiert, reflektiert oder durchgelassen (Transmission) werden. Beispiel hierfür ist die Wärmestrahlung der Sonne.

*Wärmekonvektion*, auch Wärmeströmung oder Wärmemitführung, ist der Transport von Wärme durch örtliche Verschiebung von Teilchen in leichtbeweglichen, also gasförmigen oder flüssigen Stoffen. Das Wegführen der Wärme von Wärmequellen ist eine Folge davon, dass flüssige und gasförmige Stoffe (Fluide) die sich erwärmen ihr Raumgewicht verkleinern, sich also ausdehnen. Dies hat zur Folge, dass erwärmte, leichte Fluide nach oben steigen und kältere, schwerere Fluide absinken.

Die Notwendigkeit des Wärmeschutzes im Bauwesen liegt zum einen in der Auswirkung von Wärme auf die Gesundheit des Menschen und zum anderen in der Wirtschaftlichkeit von Bauten im Zusammenhang mit Energiekosten und Umweltschäden begründet. Zentrale Größen für das Innenklima, und damit für die Behaglichkeit<sup>1</sup> in Bauwerken sind die Raumlufttemperatur, die Oberflächentemperatur und die relative Raumluftfeuchte.

Die Wärmeverluste durch die Gebäudehülle bestehen zu etwa 60-80% aus Transmissionswärmeverlusten und zu 20-40% aus Konvektionswärmeverlusten<sup>2</sup>. Das Fenster hat daran einen maßgeblichen Anteil. Um den Wärmedurchgang<sup>3</sup> eines Bauteils zu betrachten, wird der sog. Wärmedurchgangskoeffizient U, auch U-Wert in W/m<sup>2</sup>K herangezogen. Ein Fenster ist eine inhomogene Konstruktion aus verschiedenen Materialien. Daher wird der U-Wert bei Fenstern durch die Addition einzelner Bauteile und das Einbeziehen von Flächenverhältnissen ermittelt. Es besteht z.B. aus einem Holzrahmen und einer gläsernen Füllung. Da die Flächenanteile von Glas und Rahmen unterschiedlich sind, gehen diese anteilig in die Berechnung des U-Wertes mit ein. Hinzu kommt die Wärmebrückenwirkung<sup>4</sup> des Glasrandverbundes bei Isoliergläsern<sup>5</sup>.

---

<sup>1</sup>Behaglichkeit ist eine individuell zu betrachtende Größe. Neben den physikalischen Größen (s.o.) sind auch physiologische (Müdigkeit, Alter) als auch intermediäre (Kleidung, Raumbesetzung) Parameter einflussgebend.

<sup>2</sup>Wärmeverluste durch die Öffnungen können konstruktionsbedingt sein, z.B. mangelnde Fugendichtheit zwischen Flügel- und Blendrahmen und am Stulp, werden aber größtenteils durch das Lüftungsverhalten der Nutzer bestimmt (vgl. Wohlleben/Moeri 2014, 31)

<sup>3</sup>In diesem Falle die Transmissionswärmeverluste.

<sup>4</sup>Wärmebrücken sind definiert als Teilbereiche von Bauteilen, an denen, im Vergleich zum restlichen Bauteil, ein erhöhter Wärmedurchgang stattfindet. Sie können z.B. geometrisch oder konstruktiv bedingt sein.

<sup>5</sup>Der Glasrandverbund wird zusätzlich mit einem linearen Wärmedurchgangskoeffizienten bei der Berechnung des U-Wertes berücksichtigt ( $\phi^*$ ).



$U_w$  Wärmedurchgangskoeffizient des ganzen Fensters:

$$U_w = \frac{U_g * A_g + U_f * A_f + \phi * l}{A_g + A_f}$$

Abbildung 2: Formel zur Berechnung des U-Wertes

$A_w = A_g + A_f$	Fläche Fenster (w=window)
$A_g$	Fläche des Glases (g=glass)
$A_f$	Fläche des Rahmens (f=frame)
$U_g$	U-Wert Verglasung (g=glass)
$U_f$	U-Wert Rahmen (f=frame)
$\phi$	linearer U-Wert des Glasrandes
$l$	Länge des Glasrandes

Bei historischen Fenstern sind demzufolge die Gläser für die hohen Verluste verantwortlich: Für historische Blend- und Flügelrahmen von etwa 35 bis 50 mm Stärke wird in der Literatur ein ungefährender U-Wert von 2,2 bis 2,7 W/m<sup>2</sup>K angenommen, für ein historisches Einscheibenglas von etwa 2 bis 3 mm Stärke ein U-Wert von ungefähr 5,8 W/m<sup>2</sup>K.

Außerdem hat das Fenster eine wichtige Funktion im Feuchtehaushalt des Baukörpers. Aus den konstruktionsbedingten U-Werten historischer Fenster lässt sich schließen, dass das Fenster stets der kälteste Teil einer Außenwand gewesen ist. Folge war die Kondensation an Glasflächen insbesondere bei tiefen Außentemperaturen und hoher relativer Luftfeuchte im Innenklima. Dieser Sachverhalt ist bei der wärmetechnischen Ertüchtigung von Bestandsfenstern unbedingt zu beachten. Die Kondensatfläche kann sich z.B. von der Glasfläche zur Fensterlaibung verschieben. Zum Schutz der Bausubstanz und zur Steigerung der Behaglichkeit muss auch die beabsichtigte Raumlüftung z.B. durch Öffnen der Fenster und die unbeabsichtigte Zirkulation durch konstruktivbedingte Leckagen herangezogen werden<sup>6</sup>. Genannt sei hier die sog. Luftwechselrate<sup>7</sup>

Die Luftdichtigkeit eines Baukörpers<sup>8</sup>, speziell der Fenster, hat in Bezug auf die Lüfterneuerung zwar nur einen geringen Anteil, ist jedoch maßgeblich für den Wärmeverlust mit verantwortlich. Insbesondere ist dies an historischen Fenstern ohne Dichtungen nachzuweisen. Im Umkehrschluss birgt eine dichte Gebäudehülle wiederum Probleme den Feuchtehaushalt betreffend. Da im Baudenkmal selten eine Dämmung der Außenhülle realisiert werden kann, können die Innenwandoberflächen relativ niedrige Temperaturen aufweisen. Dies muss bei fehlenden Sollkondensatflächen (Glasflächen, s.o.) stets mit betrachtet werden, damit die Luftfeuchte nicht an der Innenwandoberfläche kondensiert.

Es gibt verschiedene Möglichkeiten historische Bestandsfenster wärmetechnisch zu ertüchtigen. Einen innovativen Vorschlag für die Fenster der Villa Mutzenbecher liefert Singelmann (2019). Im Prozess der Abstimmungen mit dem Denkmalschutzamt ist für die Fenster der Villa letztlich vereinbart worden ein innenliegendes zweites Fenster, ähnlich einem ‚Kastendoppelfenster‘, zu konstruieren. Ein Kastendoppelfenster verfügt über einen Kasten aus vier meistens eingnuteten Brettern zwischen dem äußeren Hauptfenster und dem inneren Fenster.

<sup>6</sup>Konstruktiv meint hier Leckagen an den Anschlüssen zwischen Baukörper und Blendrahmen, sowie zwischen Blend- und Flügelrahmen.

<sup>7</sup>„Die Luftwechselrate mit der Einheit (1/h) gibt das Vielfache des Raumluftvolumens an, das als frische Zuluft pro Stunde zugeführt wird. [...] Beispiel:  $n = 1/h$ : Das Raum-/Gebäudevolumen wird in einer Stunde einmal ausgetauscht. Für normale Wohngebäude ohne raumluftechnische Anlagen wird eine Luftwechselrate von  $1/h$ – $3/h$  die Regel sein, [...]“ (Wohlleben und Moeri 2014, 32)

<sup>9</sup>Der Baukörper ist Windlasten ausgesetzt, die auf der einen Seite für einen Überdruck auf dem Gebäude, auf der anderen Seite für einen Unterdruck sorgen. Konstruktiv bedingt ist diese Luftdichtigkeit bei historischen Bauten weniger gut als bei modernen.

Die Entwicklung der Doppelfenster vom einfachen, vorgesetztem Winterfenster zum Kastenfenster ‚gipfelte‘ letztlich dann in den ersten Isolierverglasungen in den 1970er Jahren. Die Überlegung durch zwei Glasscheiben mit einem Zwischenraum einen wärmetechnischen Vorteil im Vergleich zur Einfachverglasung zu erzielen wird bei der Konstruktion von Kastendoppelfenstern in der Villa Mutzenbecher aufgenommen. Die Villa war ursprünglich nicht für die ganzjährige Nutzung vorgesehen. Dies ist wohl auch ein Grund dafür, dass keine Verbund- bzw. Doppelfenster verbaut wurden obwohl diese zur Bauzeit schon bekannt waren. Die Konstruktion von Doppelfenstern dient letztlich dazu, ein zu starkes Auskühlen der Räume durch die großen Glasflächen der Einfachfenster zu verringern. Außerdem reduziert sich durch die zweite Fensterebene die Zuglufterscheinungen an den meist dichtungslosen Einfachfenstern. Die drei beispielhaft gezeigten historischen Konstruktionen von Doppelfenstern ähneln sich in einem wesentlichen Konstruktionsdetail: Der Zwischenraum zwischen dem äußeren und dem inneren Fenster ist ca. 120mm.

### Einfaches Fenster mit Vorfenster

Im ersten Beispiel wird ein äußeres Fenster als Winterfenster genutzt. In den warmen Jahreszeiten wurden die Fensterflügel ausgehängt und eingelagert. Der Abstand zwischen den beiden Fensterebenen wird durch die Ausbildung der Fensterlaibung erzeugt. Beide Fenster sind in einen Steinfalz eingelassen und am Mauerwerk befestigt.

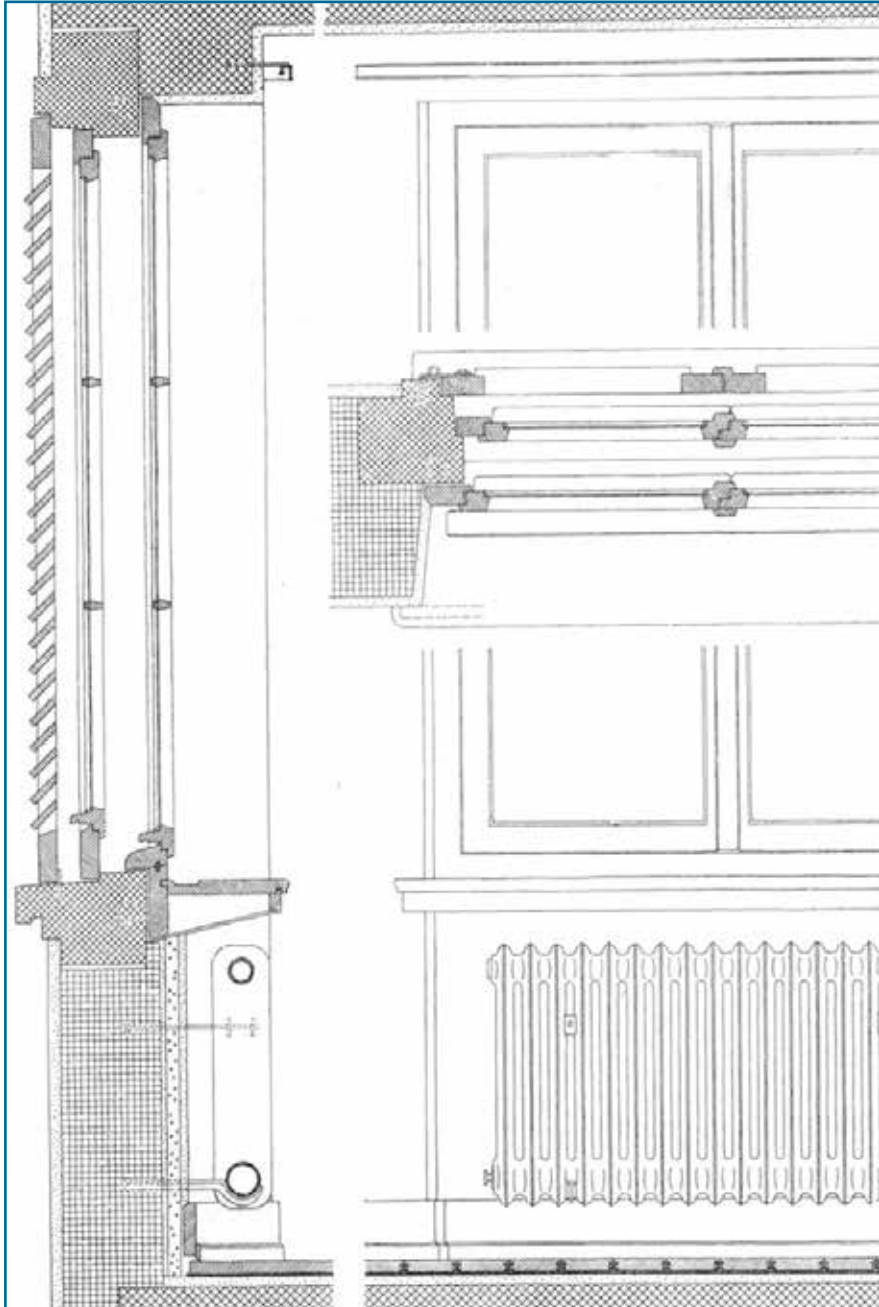


Abbildung 3:  
Einfaches Fenster  
mit Vorfenster  
(vgl. Hess 1949, 269)

## Zargenfenster

Beim Zargenfenster wird der Abstand zwischen den Fensterebenen durch Zargenbretter erzeugt. Das äußere Fenster ist im Mauerwerk befestigt. Am äußeren Blendrahmen sind nun die Zargenbretter eingetütet und an diesen Brettern wiederum der innere Blendrahmen befestigt. Bei dieser Konstruktion werden die inneren Flügel in den wärmeren Jahreszeiten ausgehängt und eingelagert.

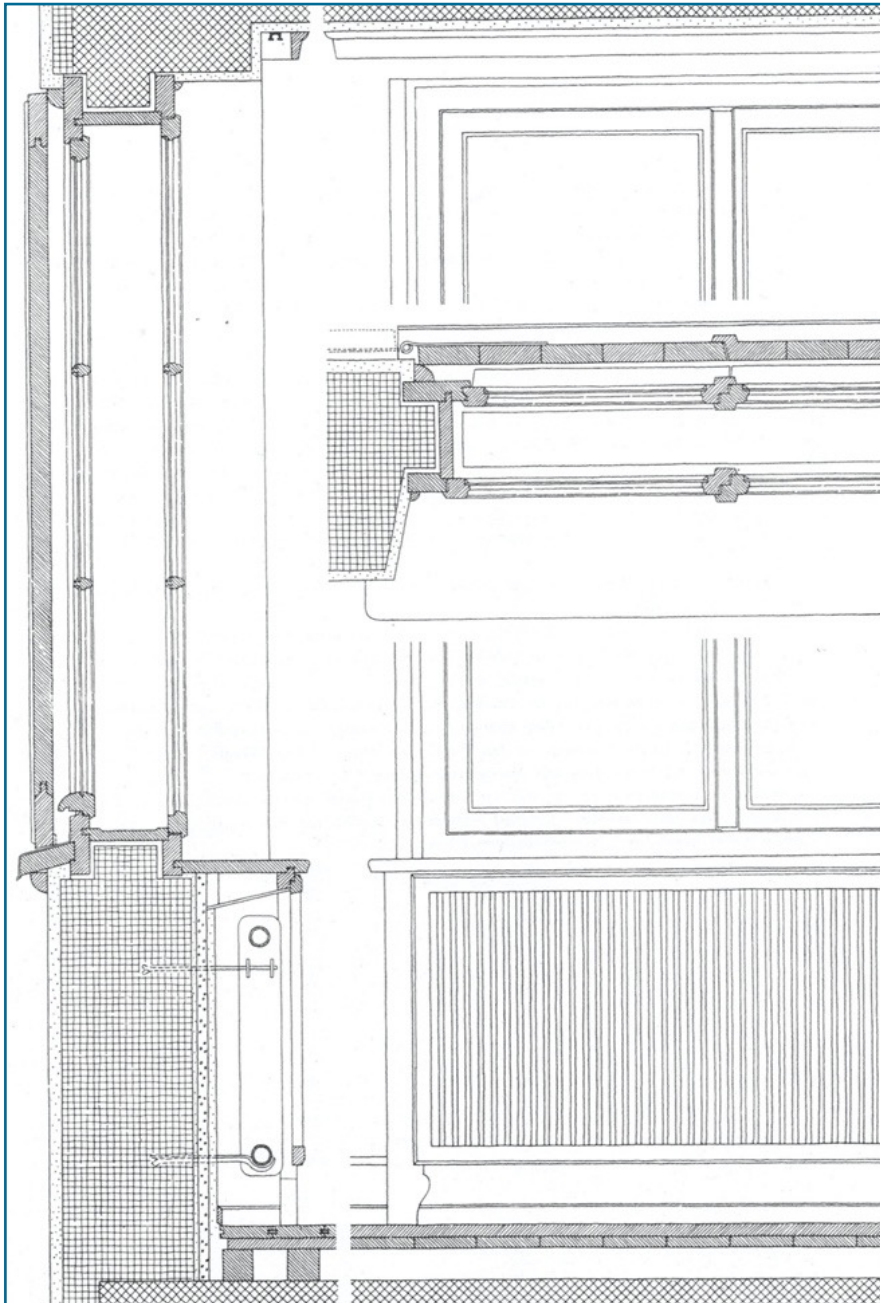


Abbildung 4:  
Zargenfenster  
(vgl. Hess 1949, 271))

### Kastendoppelfenster

Die Konstruktion des Kastendoppelfensters ist der des Zargenfensters sehr ähnlich. Der wesentliche Unterschied besteht darin, dass das Kastendoppelfenster als eine Einheit im Maueranschlag eingebaut ist. So kann es als eine in der Werkstatt komplett montierte Einheit in der Gebäudehülle befestigt werden. Die Montage des Zargenfensters muss dagegen in Einzelteilen (Außenfenster, Zargenkasten, Innenfenster) erfolgen.

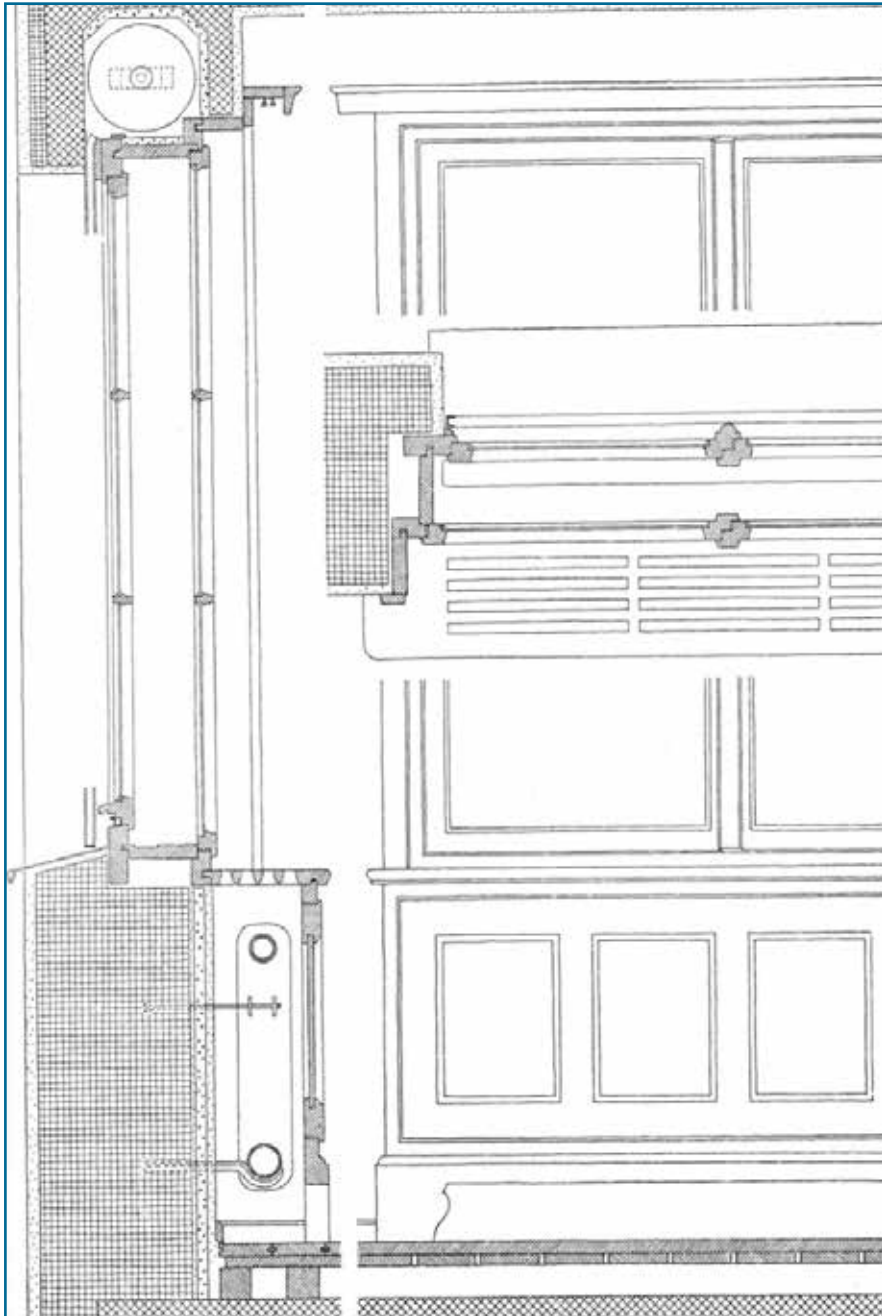


Abbildung 5:  
Kastenfenster mit Rolladen  
(vgl. Hess 1949, 273)

Bei der Konstruktion von Doppelfenstern müssen die Bedienbarkeit und die Öffnung beider Fensterebenen von innen gewährleistet sein. Öffnen beide Fensterebenen nach innen, bedeutet dies, dass das innere Fenster in der Regel größer konstruiert sein muss. Da in der Villa Mutzenbecher die Innenfenster nachträglich eingebaut werden, führt dies bei einigen Fenstern (z.B. dem Venezianischen Fenster) zu Konstruktionen, die von den historischen Vorlagen durchaus abweichen müssen.

Die nachträgliche Montage von Innenfenstern ist ein guter Kompromiss zwischen dem Denkmalschutz und den Anforderungen durch die ganzjährige Nutzung. Das neue innere Fenster erfüllt die oben beschriebenen Anforderungen zur Verringerung der Wärmeverluste, zur Berücksichtigung des Feuchtehaushaltes und zur Luftdichtigkeit der Gebäudehülle sehr gut.

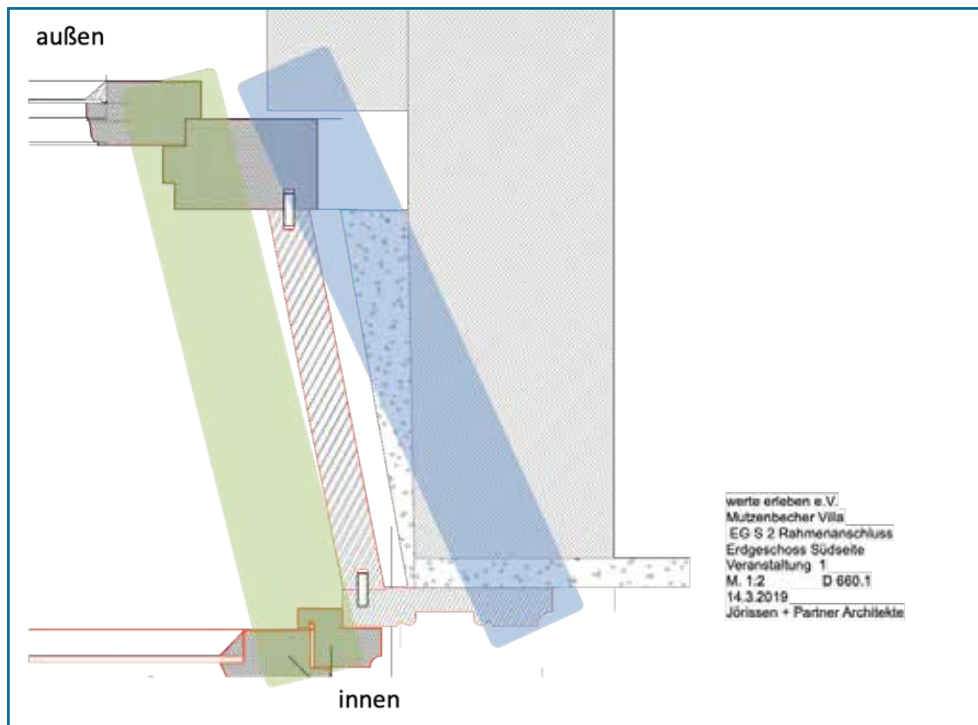


Abbildung 6:  
Dichtungsebenen

Im Anschlussbereich zwischen der Fensterkonstruktion und dem Bauwerk gilt grundsätzlich gilt die Regel ‚innen dichter als außen‘ (blauer Bereich). Dies bedeutet, dass die Luftfeuchtigkeit des Innenraumes nicht in den Anschlussbereich eindringen kann. Die äußere Dichtungsebene muss also diffusions-offener gestaltet sein als die innere Dichtungsebene damit Feuchtigkeit nach außen abgeleitet werden kann (vgl. IFT 2020, 167f). Diese Regel muss auch für die Konstruktion der zusätzlichen Innenfenster berücksichtigt werden. Insofern ist zwischen dem Flügel und dem Blendrahmen des Innenfensters eine umlaufende Dichtung einzuplanen, damit die Fugen der inneren Fensterkonstruktion dichter sind als die Fugen der historischen, äußeren Fenster (grüner Bereich). Die Konstruktion soll zum einen eine Luftdichtigkeit zum Innenraum gewährleisten, dadurch die Wärmeverluste minimieren und durch die diffusionsoffenen Fugen der historischen Außenfenster ein Beschlagen der äußeren Scheiben im Winter verhindern.

Gewerkeschnittstellen lassen sich nach zeitlicher oder räumlicher Verortung und in Anlehnung an Bubenik (2001, S.123) auf dreierlei Art unterscheiden (vgl. Mersch & Rullán Lemke, 2016, S.143ff):

- ▶ bauorganisatorischer Art (A), d.h. die Fachkräfte unterschiedlicher Gewerke arbeiten im gleichen Raum zur gleichen Zeit und nutzen daher z.B. ein gemeinsames Arbeitsumfeld, den Baustrom, Wasser etc.
- ▶ bauablaufbezogener, prozessualer Art (B), d.h. die baulichen Leistungen überschneiden sich zeitlich und produktbezogen nur in geringerem Maße. Die Fußbodenerstellung hat einen speziellen Ablauf, an dem z.B. Estrichleger:in und Parkettleger:in aufeinanderfolgend beteiligt sind.
- ▶ bauteil- oder produktbezogener Art (C), d.h. die Fachkräfte arbeiteten fast zeitgleich sowie räumlich und materiell an einem Bauteil bzw. Bauprodukt zusammen. Z.B sind an einem Blendrahmenanschluss eines Fensters mehrere Gewerke beteiligt.

## Zielsetzung der Lerneinheit, Kompetenzbeschreibung

Der Austausch von alten Fenstern ist eine häufige Arbeit, die von Tischlereien im Rahmen einer energetischen Ertüchtigung von Bestandsgebäuden ausgeführt wird. Die denkmalgerechte Behandlung von historischen Bestandsfenstern und die behutsame Verbesserung der wärmetechnischen Eigenschaften findet nur sehr selten statt. In diesem Modul werden die Auszubildenden aufgefordert die denkmalgerechte wärmetechnische Verbesserung der historischen Fenster zu planen und ihre Ideen den Kolleg\*innen bzw. der Architektin vorzustellen. Je nach Möglichkeit können auch kleine Modelle z.B. zum Aufbau eines Vorsatzfensters oder eines Kastenfensters erstellt werden..

**Das Lernmodul verfolgt dieses Ziel, indem es folgende Kompetenzen bei den Lernenden fördert:**

### Die Lernenden

- ▶ historische Fensterkonstruktionen und Konstruktionsdetails erkennen.
- ▶ die verschiedenen Möglichkeiten einer wärmetechnischen Ertüchtigung von historischen Bestandsfenstern begründet beschreiben.
- ▶ für ein konkretes Bestandsfenster eine wärmetechnische Ertüchtigung planen.
- ▶ die Auswirkungen der wärmetechnischen Ertüchtigung auf die Feuchtebilanz des Gebäudes bestimmen.
- ▶ die Erneuerung der Bauwerksanschlüsse des Bestandsfensters planen.
- ▶ Die Bauwerksanschlüsse der Innenfenster planen.
- ▶ sich fachkompetent mit Architektin und Mitarbeitenden des Denkmalschutzamtes abstimmen.



## Ablauf des Lernmoduls

Lernphase	Zeit	Lehr-/Lern-Aktivität	Methoden/Medien
Informieren I: Begehung der Villa und Erfassen des Auftrags	45	<p>Lehrkraft kündigt ein Informationsgespräch mit der Architektin an. Diese benötigt Vorschläge zur denkmalgerechten wärmetechnischen Ertüchtigung der Fenster in der Villa.</p> <p>Azubis erkundigen sich bei einem Rundgang über den Zustand der Fenster und besondere Konstruktionsdetails einzelner Fensterkonstruktionen (z.B. vierflügeliges Fenster und das Venezianische Fenster im 1. OG)</p> <p><b>Anmerkungen:</b> Der Rundgang ist virtuell (LINK) oder real in der Villa möglich.</p> <p>Wichtig ist, dass die Azubis einen Eindruck von der Villa Mutzenbecher bekommen.</p>	<p><b>Szenario</b> „Begehung und Bestandsaufnahmen der Villa Mutzenbecher“</p> <p><b>Aufgabe</b> „Erkundung der Fenster in der Villa Mutzenbecher“</p>
Planen und Entscheiden	90	Die Azubis suchen sich in Gruppen (3-4 Personen) ein Fenster aus und nehmen die Bauaufnahme eines Bestandfensters vor.	<b>Aufgabe</b> „Beschreibung und Bauaufnahme des Fensterelements“
Informieren II	45	Die Azubis informieren sich über die verschiedenen Möglichkeiten einer wärmetechnischen Ertüchtigung eines historischen Fensters anhand von Fachbüchern und historischen Vorschlägen.	<b>Information</b> „Informationen über Doppelfenster und Kastendoppelfenster aus den Lehrbüchern und den Informationen für Lernende“
Durchführen	225	Die Gruppen entwerfen einen Vorschlag zur wärmetechnischen Ertüchtigung eines historischen Fensters mit einem zusätzlichen Innenfenster.	<b>Material</b> Zeichenmaterial bzw. CAD Software
Bewerten	45	Die Azubis bewerten die eigene Arbeit und die Arbeit ihrer Kolleg:innen, indem sie Unterschiede und Gemeinsamkeiten benennen und ggf. unterschiedliche Lösungsansätze diskutieren.	„Protokoll der Auswertung“

Der geplante Zeitrahmen dieses Lernmoduls beträgt ca. 450 Minuten.



## Wärmetechnische Ertüchtigung der Fenster in einem denkmalgeschützten Gebäude




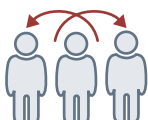





### Lernmodul Fensterelemente II (Lösungen)

Das Projekt GESA wird im Rahmen des ESF-Bundesprogramms „Berufsbildung für nachhaltige Entwicklung befördern. Über grüne Schlüsselkompetenzen zu klima- und ressourcenschonendem Handeln im Beruf – BBNE“ durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit sowie den Europäischen Sozialfonds gefördert.

Die insgesamt 18 Lernmodule teilen sich in ungefähr gleicher Anzahl in Querschnitts- und Fachmodule auf. In den Querschnittsmodulen werden grundlegende Inhalte des Denkmalschutzes, der Beruflichen Bildung für nachhaltige Entwicklung und des Gewerke übergreifenden Arbeitens thematisiert. Ausgangspunkt der Fachmodule sind konkrete Sanierungsarbeiten in der Villa. Die berufsfachlichen Anforderungen, die sich aus den jeweiligen Ordnungsmitteln der Ausbildungsberufe ergeben, werden darin mit den Querschnittsinhalten verknüpft. Dabei werden auch die Schnittstellen der vor- und nachgelagerten Gewerke beachtet.

Sämtliche Lernmodule wurden zunächst als haptische, erfahrungsorientierte und authentische Lernangebote konzipiert. Die Arbeitsmaterialien bestehen aus Selbstlernphasen als auch aus Phasen, die von Lehrenden anzuleiten sind. Ein Modul dauert mindestens zehn Zeitstunden. Module, die in der Villa Mutzenbecher umgesetzt werden, lassen sich direkt mit dem realen Gegenstand verbinden. Alle Materialien sind auch als OER veröffentlicht, wodurch sie sich auch außerhalb durchführen lassen.

Die Lernmaterialien sind am Seitenrand mit kurzen schriftlichen Hinweisen und Icons ausgestattet.

Icons zur schnelleren Orientierung		Szenario/ Kundenauftrag	
Gewerke übergreifendes Arbeiten		Informationen	
Bezug zur Beruflichen Bildung für nachhaltige Entwicklung		Aufgaben	
Besonderheiten des Denkmalschutzes		Material	

## Erläuterungen zu den Icons



Das Icon „**Szenario/Kundenauftrag**“ steht zu Beginn jedes Lernmoduls. Es soll grafisch darstellen, dass es sich bei der nebenstehenden Textstelle um das übergreifende Lernszenario bzw. den Kundenauftrag eines Lernmoduls handelt.



Das Icon „**Information**“ soll grafisch darstellen, dass es sich bei der nebenstehenden Textstelle um wichtige Sachinformationen, wie z.B. technische Tabellen, Produkt- und Herstellerangaben, Gesetze, Vorschriften und fachliche Infotexte zur Bearbeitung von Lern- und Arbeitsaufgaben handelt.



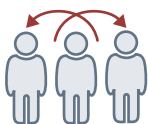
Das Icon „**Aufgaben**“ soll kennzeichnen, dass es sich nebenstehend um eine Lern- und Arbeitsaufgabe handelt, die in Einzelarbeit, zu zweit oder im Team bearbeitet werden kann.



Das Icon „**Material**“ soll darauf verweisen, dass z.B. Grafiken, Protokollvorlagen oder Grundrisse zur Bearbeitung der Aufgaben beitragen.



**Berufliche Bildung für nachhaltige Entwicklung (BBNE):** Das Icon steht für Inhalte, die einen besonderen und unmittelbaren Bezug zu BBNE haben. Unter BBNE wird folgendes verstanden: „BBNE ist eine berufliche Bildung zu zukunftsfähigen Denken und Handeln in beruflichen, betrieblichen, gesellschaftlichen und privaten Kontexten, die es ermöglicht die Auswirkungen des eigenen beruflichen Handelns auf die Welt zu verstehen und verantwortungsvolle Entscheidungen zu treffen.“



Das Icon „**Gewerke übergreifendes Arbeiten**“, verweist darauf, dass die nebenstehenden Textinhalte im unmittelbaren Zusammenhang mit Gewerke übergreifender Zusammenarbeit steht. Darunter wird verstanden, dass sich Handwerker:innen aus unterschiedlichen Gewerken (z.B. Elektriker:in und Tischler:in) abstimmen müssen. Zur fachgerechten Umsetzung müssen Absprachen über sogenannte Schnittstellen geführt werden.



Das Icon „**Besonderheiten des Denkmalschutzes**“ soll ausdrücken, dass es sich bei der nebenstehenden Textstelle um besondere Anforderungen handelt, die mit dem Denkmalschutz verbunden sind. Eine wesentliche Herausforderung besteht darin, die Gebäudeausstattung im Sinne des Denkmalschutzes zu erhalten, d.h. sie nahe dem ursprünglichen Zustand wiederherzustellen.



## Denkmalgerechte Behandlung der Bestandsfenster in der Villa Mutzenbecher



Die Villa Mutzenbecher

In der Villa Mutzenbecher sind noch alle Originalfensterelemente vorhanden. Teilweise wurden sie in den letzten ca. 100 Jahren an verschiedenen Stellen repariert und die Oberflächenbeschichtung erneuert. An einigen Stellen wurden die Reparatur und Wartungsarbeiten nicht fachgerecht ausgeführt. Im Rahmen der Sanierung sollen natürlich auch die Fenster denkmalgerecht überarbeitet werden.



Die Architektin beauftragt Sie damit ein Konzept zur wärmetechnischen Ertüchtigung der Bestandsfenster zu erstellen. Nach einer ersten unverbindlichen Anfrage vereinbaren Sie mit ihr einen Termin. Zuerst führt Sie die Architektin herum. Durch die Kurzbegehung bekommen Sie einen ersten Überblick über den Zustand des Gebäudes insgesamt und den Zustand der Fensterelemente. Ihre Aufgabe ist es nun die Maßgaben des Denkmalschutzes zu berücksichtigen und ein Konzept zu entwickeln, wie die Fensterelemente wärmetechnisch ertüchtigt werden können, damit sie die Anforderungen der zukünftigen ganzjährigen Nutzung der Villa erfüllen.

Nach der Instandsetzung wird die Villa Mutzenbecher eine Bildungs- und Begegnungsstätte mit den Schwerpunkten Stadtteil- und Stadtgeschichte, Umwelt-Bildung, Berufsbildung, Waldpädagogik, Kunst, Theater, Musik. Die Villa wird eine Kreativwerkstatt für alle Generationen.

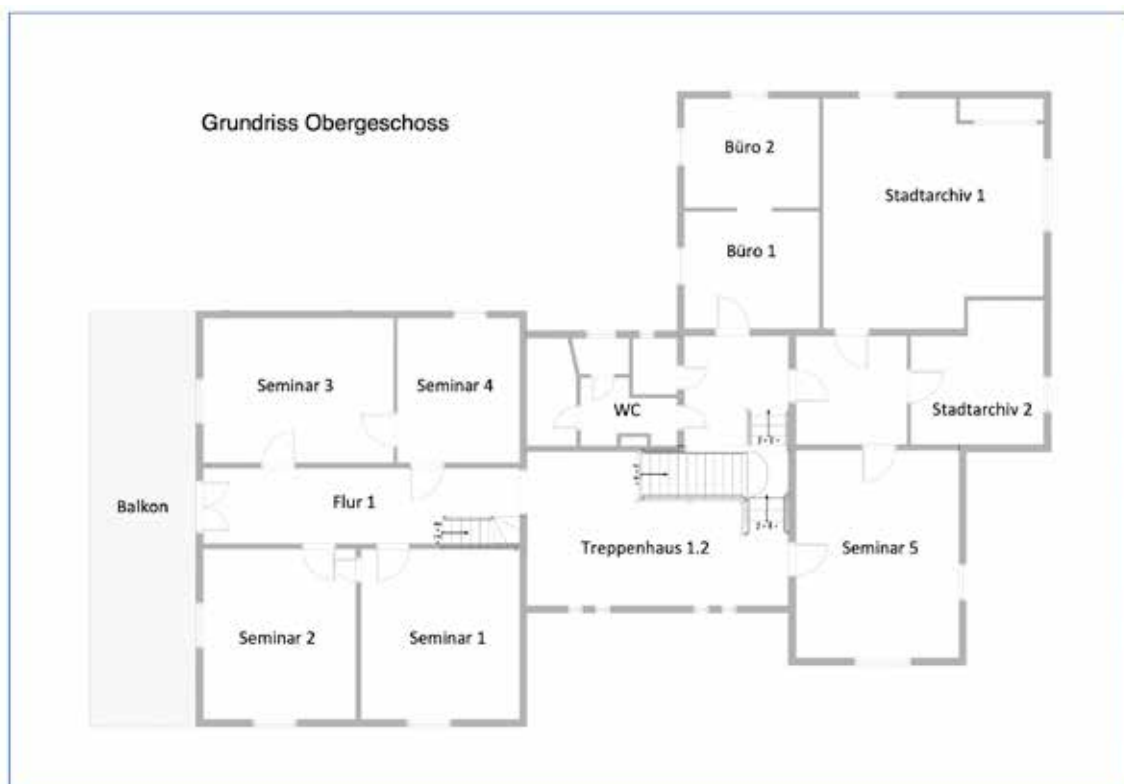


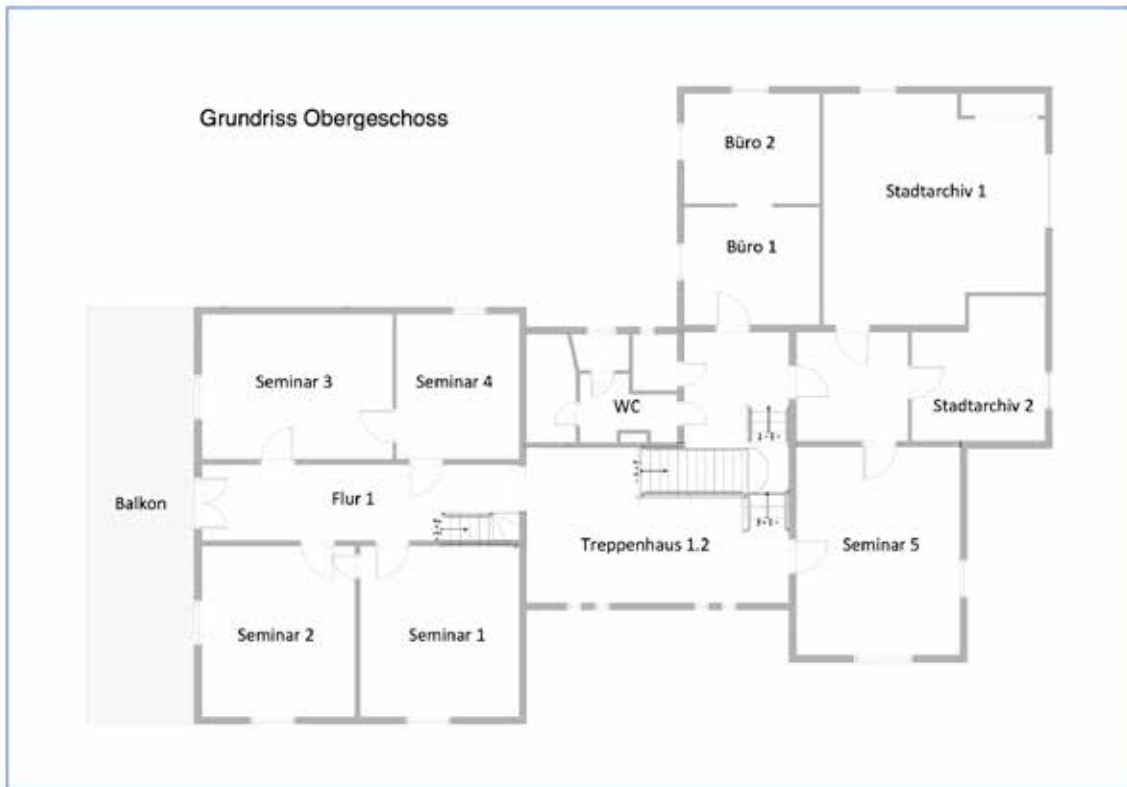
## Begehung der Villa Mutzenbecher

1. Bitte machen Sie sich mit der Villa Mutzenbecher vertraut. Starten Sie den 3D-Rundgang (<https://bbne-mutzenbecher.blogs.uni-hamburg.de/>) und schauen Sie sich sämtliche Räume an. Achten Sie besonders auf die verschiedenen Fensterelemente der Villa Mutzenbecher
2. Beschreiben Sie kurz, welche unterschiedlichen Fensterelemente sie in der Villa gefunden haben.



Zur Orientierung und für erste Notizen stellt Ihnen die Architektin einfache Grundrisse des Erdgeschosses und der ersten Etage zur Verfügung.







## Fensterelemente, Wärme-/Kälteschutz und Denkmalschutz

Denkmalschutz ist eine weitere ‚Anforderung‘ an ein Fenster

Das Fenster ist ein wichtiges Element der Gebäudehülle: „Es versorgt unsere Räume mit Luft und Sonne, schützt vor Regen und Wind, gegen Hitze und Kälte und schließlich gegen Geräusche“ (Reitmayer 1950). Diese mittlerweile über siebzig Jahre alte Einschätzung ist nach wie vor aktuell. Die verschiedenen Funktionen stehen teilweise im Widerspruch zueinander und müssen gegeneinander abgewogen werden, um ein technisch einwandfreies Fenster zu planen, zu fertigen und zu montieren. Die Sanierung von Bestandsfenstern in denkmalgeschützten Gebäuden bedeutet noch eine weitere Herausforderung: Die Fenster sollen in ihrem historischen Wert erhalten und trotzdem einem modernen Wohn- und Nutzungsverhalten dienen können. Moderne Nutzungs- und Lebensgewohnheiten stellen historische Fenster vor Herausforderungen, denen sie nicht immer ausreichend gerecht werden können. Leider fallen Bestandsfenster trotz ihrer ästhetischen Bedeutung häufig einem Austausch gegen moderne Fenster zum Opfer.



Als Richtlinie für Gesetze, Definitionen und Herangehensweisen im Bereich Denkmalschutz und -pflege, gilt europaweit die Charta von Venedig von 1964 (Zweiter internationaler Kongress der Architekten und Denkmalpfleger 1964/1989). Im Rahmen eines internationalen Kongresses wurden Grundsätze für die Restaurierung und Konservierung von Denkmälern erarbeitet und niedergeschrieben, die bis heute maßgeblich sind (vgl. Hubel 2006, 146ff).

Die Villa Mutzenbecher ist 2007 unter Denkmalschutz gestellt worden. Die Villa soll für eine Nutzung als Bildungs- und Kultureinrichtung vorbereitet werden. Dieses hat Auswirkungen auf die Sanierung. Hier muss von Fall zu Fall gemeinsam mit dem Denkmalschutzamt und allen an der Sanierung beteiligten Fachleuten verhandelt und entschieden werden, welche Maßnahmen geeignet sind, die Villa in einen denkmalgerechten und nutzbaren Zustand zu verwandeln.

Wenn man die allgemeinen Grundsätze der Denkmalpflege auf die historischen Fenster anwendet, lässt sich Folgendes festhalten:

Die Originalfenster gehören zum wesentlichen Bestandteil der ‚Villa Mutzenbecher‘, ihr Wert ist durch keine Nachbildung auch nur annähernd zu ersetzen. Sie sind daher zu reparieren, soweit dies technisch möglich ist. Auch die Dichtungsebene zwischen Baukörper und Fensterelement ist hier aus Gewerke übergreifender Sicht zu beachten. Eine wärmetechnische Ertüchtigung der Fensterkonstruktion ist mit besonders sensiblen Methoden vorzunehmen, um die Bestandsfenster nicht zu gefährden.

Im Zentrum der Bemühungen steht also die möglichst vollständige Bewahrung der originalen Substanz.

Denkmalpflege bedeutet genaue Analyse und Planung

Somit haben Reparaturen und Ergänzungen immer Vorrang vor Erneuerungen. Im Lernmodul Fensterbau I (Denkmalgerechte Behandlung der Fenster in einem historischen Gebäude) wird ein Denkmal- bzw. Reparaturkonzept für verschiedene Fensterelemente entwickelt. In diesem Konzept ist festgelegt welche Arbeiten durchgeführt werden müssen. Das Konzept umfasst keine möglichen und notwendigen Maßnahmen zur energetischen Ertüchtigung der Fenster. Dies ist der Inhalt des vorliegenden Lernmoduls Fensterbau II.

Die Begriffe Wärme, Wärmebrücke, Wärmedämmung, Wärmedurchgangskoeffizient bilden einen Themenkomplex, der insbesondere von Tischler\*innen beherrscht werden muss, da er den Baukörper im Allgemeinen und das Fenster im Speziellen betrifft. Viele Immobilieneigentümer\*innen versuchen klimaschädliche Emissionen zu reduzieren, Heizkosten zu senken und die Behaglichkeit auch im Altbau zu heben.

Am und im Baukörper findet immer ein Wärmefluss statt. Dies geschieht sobald zwei unterschiedliche Systeme aufeinandertreffen: ein kühles Außenklima und ein beheiztes Innenklima. Wärme beschreibt in diesem Zusammenhang die über die Grenze beider Systeme transportierte, thermische Energie. Aus diesem Transportvorgang lässt sich Wärme als Prozessgröße definieren. Im Gegensatz dazu stellt Temperatur eine Zustandsgröße dar. Der Prozess des Wärmeenergie transportes findet in der Regel vom



höheren zum niedrigeren Temperaturniveau statt (2. Hauptsatz der Thermodynamik). In diesem Prozess wird zwischen der *Diffusion*, der *Radiation* und der *Konvektion* von Wärme unterschieden. Diese lassen sich wie folgt beschreiben:

*Wärmediffusion*, auch Wärmeleitung, beschreibt die Weitergabe von Energie in Materialien von Teilchen zu Teilchen, ohne dass die Teilchen ihren Ort verändern. Die Energie wird als Stoßenergie von stark schwingenden (nahe der Wärmequelle) zu schwach schwingenden Teilchen weitergegeben. Dies

Wärmetechnische  
Grundbegriffe

findet in festen Stoffen, in Flüssigkeiten und in Gasen statt. Eine für die bauphysikalische Betrachtung relevante Größe für die Wärmeleitung eines Materials ist die Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  in W/mK (Watt pro Meter und Kelvin).

*Wärmestrahlung*, auch Wärmestrahlung, bezeichnet die Energieübertragung durch elektromagnetische Strahlung von Oberfläche zu Oberfläche. Die von der Oberfläche eines Körpers ausgesendete elektromagnetische Strahlung kann beim Auftreffen auf einen anderen Körper absorbiert, reflektiert oder durchgelassen (*Transmission*) werden. Beispiel hierfür ist die Wärmestrahlung der Sonne.

*Wärmekonvektion*, auch Wärmeströmung, ist der Transport von Wärme durch örtliche Verschiebung von Teilchen in leichtbeweglichen, also gasförmigen oder flüssigen Stoffen. Das Wegführen der Wärme von Wärmequellen ist eine Folge davon, dass flüssige und gasförmige Stoffe (Fluide) die sich erwärmen ihr Raumbgewicht verkleinern, sich also ausdehnen. Dies hat zur Folge, dass erwärmte, leichte Fluide nach oben steigen und kältere, schwerere Fluide absinken.

Die Notwendigkeit des Wärmeschutzes im Bauwesen liegt zum einen in der Auswirkung von Wärme auf die Gesundheit des Menschen und zum anderen in der Wirtschaftlichkeit von Bauten im Zusammenhang mit Energiekosten und Umweltschäden begründet. Zentrale Größen für das Innenklima, und damit für die Behaglichkeit<sup>10</sup> in Bauwerken sind die Raumlufttemperatur, die Oberflächentemperatur und die relative Raumluftfeuchte.

Die Wärmeverluste durch die Gebäudehülle bestehen zu etwa 60-80% aus Transmissionswärmeverlusten und zu 20-40% aus Konvektionswärmeverlusten<sup>11</sup>. Das Fenster hat daran einen maßgeblichen Anteil. Um den Wärmedurchgang<sup>12</sup> eines Bauteils zu betrachten, wird der sog. Wärmedurchgangskoeffizient U, auch U-Wert in W/m<sup>2</sup>K herangezogen. Ein Fenster ist eine inhomogene Konstruktion aus verschiedenen Materialien. Daher wird der U-Wert bei Fenstern durch die Addition einzelner Bauteile und das Einbeziehen von Flächenverhältnissen ermittelt. Es besteht z.B. aus einem Holzrahmen und einer gläsernen Füllung. Da die Flächenanteile von Glas und Rahmen unterschiedlich sind, gehen diese anteilig in die Berechnung des U-Wertes mit ein. Hinzu kommt die Wärmebrückenwirkung<sup>13</sup> des Glasrandverbundes bei Isoliergläsern<sup>14</sup>.

Bei historischen Fenstern sind demzufolge die Gläser für die hohen Verluste verantwortlich: Für historische Blend- und Flügelrahmen von etwa 35 bis 50 mm Stärke wird in der Literatur ein ungefähre U-Wert von 2,2 bis 2,7 W/m<sup>2</sup>K angenommen, für ein historisches Einscheibenglas von etwa 2 bis 3 mm Stärke ein U-Wert von ungefähr 5,8 W/m<sup>2</sup>K.

<sup>10</sup>DBehaglichkeit ist eine individuell zu betrachtende Größe. Neben den physikalischen Größen (s.o.) sind auch physiologische (Müdigkeit, Alter) als auch intermediäre (Kleidung, Raumbesetzung) Parameter einflussgebend.

<sup>11</sup>Wärmeverluste durch die Öffnungen können konstruktionsbedingt sein, z.B. mangelnde Fugendichtheit zwischen Flügel- und Blendrahmen und am Stulp, werden aber größtenteils durch das Lüftungsverhalten der Nutzer bestimmt (vgl. Wohlleben/Moeri 2014, 31)

<sup>12</sup>In diesem Falle die Transmissionswärmeverluste.

<sup>13</sup>Wärmebrücken sind definiert als Teilbereiche von Bauteilen an denen, im Vergleich zum restlichen Bauteil, ein erhöhter Wärmedurchgang stattfindet. Sie können z.B. geometrisch oder konstruktiv bedingt sein.

<sup>14</sup>Der Glasrandverbund wird zusätzlich mit einem linearen Wärmedurchgangskoeffizienten bei der Berechnung des U-Wertes berücksichtigt ( $\phi * l$ ).

$U_w$  Wärmedurchgangskoeffizient des ganzen Fensters:

$$U_w = \frac{U_g * A_g + U_f * A_f + \phi * l}{A_g + A_f}$$

Abbildung 2: Formel zur Berechnung des U-Wertes

$A_w = A_g + A_f$	Fläche Fenster (w=window)
$A_g$	Fläche des Glases (g=glass)
$A_f$	Fläche des Rahmens (f=frame)
$U_g$	U-Wert Verglasung (g=glass)
$U_f$	U-Wert Rahmen (f=frame)
$\phi$	linearer U-Wert des Glasrandes
$l$	Länge des Glasrandes

Außerdem hat das Fenster eine wichtige Funktion im Feuchtehaushalt des Baukörpers. Aus den konstruktionsbedingten U-Werten historischer Fenster lässt sich schließen, dass das Fenster stets der kälteste Teil einer Außenwand gewesen ist. Folge war die Kondensation an Glasflächen insbesondere bei tiefen Außentemperaturen und hoher relativer Luftfeucht im Innenklima. Dieser Sachverhalt ist bei der wärmetechnischen Ertüchtigung von Bestandsfenstern unbedingt zu beachten. Die Kondensatfläche kann sich z.B. von der Glasfläche zur Fensterlaibung verschieben. Zum Schutz der Bausubstanz und zur Steigerung der Behaglichkeit muss auch die beabsichtigte Raumlüftung z.B. durch Öffnen der Fenster und die unbeabsichtigte Zirkulation durch konstruktivbedingte Leckagen herangezogen werden<sup>15</sup>. Genannt sei hier die sog. Luftwechselrate<sup>16</sup>.

Die Luftdichtigkeit eines Baukörpers<sup>17</sup>, speziell der Fenster, hat in Bezug auf die Lufterneuerung zwar nur einen geringen Anteil, ist jedoch maßgeblich für den Wärmeverlust mit verantwortlich. Insbesondere ist dies an historischen Fenstern ohne Dichtungen nachzuweisen. Im Umkehrschluss birgt eine dichte Gebäudehülle wiederum Probleme den Feuchtehaushalt betreffend. Da im Baudenkmal selten eine Dämmung der Außenhülle realisiert werden kann, können die Innenwandoberflächen relativ niedrige Temperaturen aufweisen. Dies muss bei fehlenden Sollkondensatflächen (Glasflächen, s.o.) stets mit betrachtet werden, damit die Luftfeuchte nicht an der Innenwandoberfläche kondensiert.

Es gibt verschiedene Möglichkeiten historische Bestandsfenster wärmetechnisch zu ertüchtigen. Einen innovativen Vorschlag für die Fenster der Villa Mutzenbecher liefert Singelmann (2019). Im Prozess der Abstimmungen mit dem Denkmalschutzamt ist für die Fenster der Villa letztlich vereinbart worden ein innenliegendes zweites Fenster, ähnlich einem ‚Kastendoppelfenster‘, zu konstruieren. Ein Kastendoppelfenster verfügt über einen Kasten aus vier meistens eingenuiteten Brettern zwischen dem äußeren Hauptfenster und dem inneren Fenster.

<sup>15</sup>Konstruktiv meint hier Leckagen an den Anschlüssen zwischen Baukörper und Blendrahmen, sowie zwischen Blend- und Flügelrahmen.

<sup>16</sup>„Die Luftwechselrate mit der Einheit (1/h) gibt das Vielfache des Raumluftvolumens an, das als frische Zuluft pro Stunde zugeführt wird. [...] Beispiel:  $n = 1/h$ : Das Raum-/Gebäudevolumen wird in einer Stunde einmal ausgetauscht.

Für normale Wohngebäude ohne raumluftechnische Anlagen wird eine Luftwechselrate von  $1/h$ – $3/h$  die Regel sein, [...]“ (Wohleben und Moeri 2014, 32)

<sup>17</sup>Der Baukörper ist Windlasten ausgesetzt, die auf der einen Seite für einen Überdruck auf dem Gebäude, auf der anderen Seite für einen Unterdruck sorgen. Konstruktiv bedingt ist diese Luftdichtigkeit bei historischen Bauten weniger gut als bei modernen.

Die Entwicklung der Doppelfenster vom einfachen, vorgesetztem Winterfenster zum Kastenfenster ‚gipfelte‘ letztlich dann in den ersten Isolierverglasungen in den 1970er Jahren. Die Überlegung durch zwei Glasscheiben mit einem Zwischenraum einen wärmetechnischen Vorteil im Vergleich zur Einfachverglasung zu erzielen wird bei der Konstruktion von Kastendoppelfenstern in der Villa Mutzenbecher aufgenommen. Die Villa war ursprünglich nicht für die ganzjährige Nutzung vorgesehen. Dies ist wohl auch ein Grund dafür, dass keine Verbund- bzw. Doppelfenster verbaut wurden obwohl diese zur Bauzeit schon bekannt waren. Die Konstruktion von Doppelfenstern dient letztlich dazu, ein zu starkes Auskühlen der Räume durch die großen Glasflächen der Einfachfenster zu verringern. Außerdem reduziert sich durch die zweite Fensterebene die Zuglufterscheinungen an den meist dichtungslosen Einfachfenstern. Die drei beispielhaft gezeigten historischen Konstruktionen von Doppelfenstern ähneln sich in einem wesentlichen Konstruktionsdetail: Der Zwischenraum zwischen dem äußeren und dem inneren Fenster ist ca. 120mm.

### Einfaches Fenster mit Vorfenster

Im ersten Beispiel wird ein äußeres Fenster als Winterfenster genutzt. In den warmen Jahreszeiten wurden die Fensterflügel ausgehängt und eingelagert. Der Abstand zwischen den beiden Fensterebenen wird durch die Ausbildung der Fensterlaibung erzeugt. Beide Fenster sind in einen Steinfalz eingelassen und am Mauerwerk befestigt.

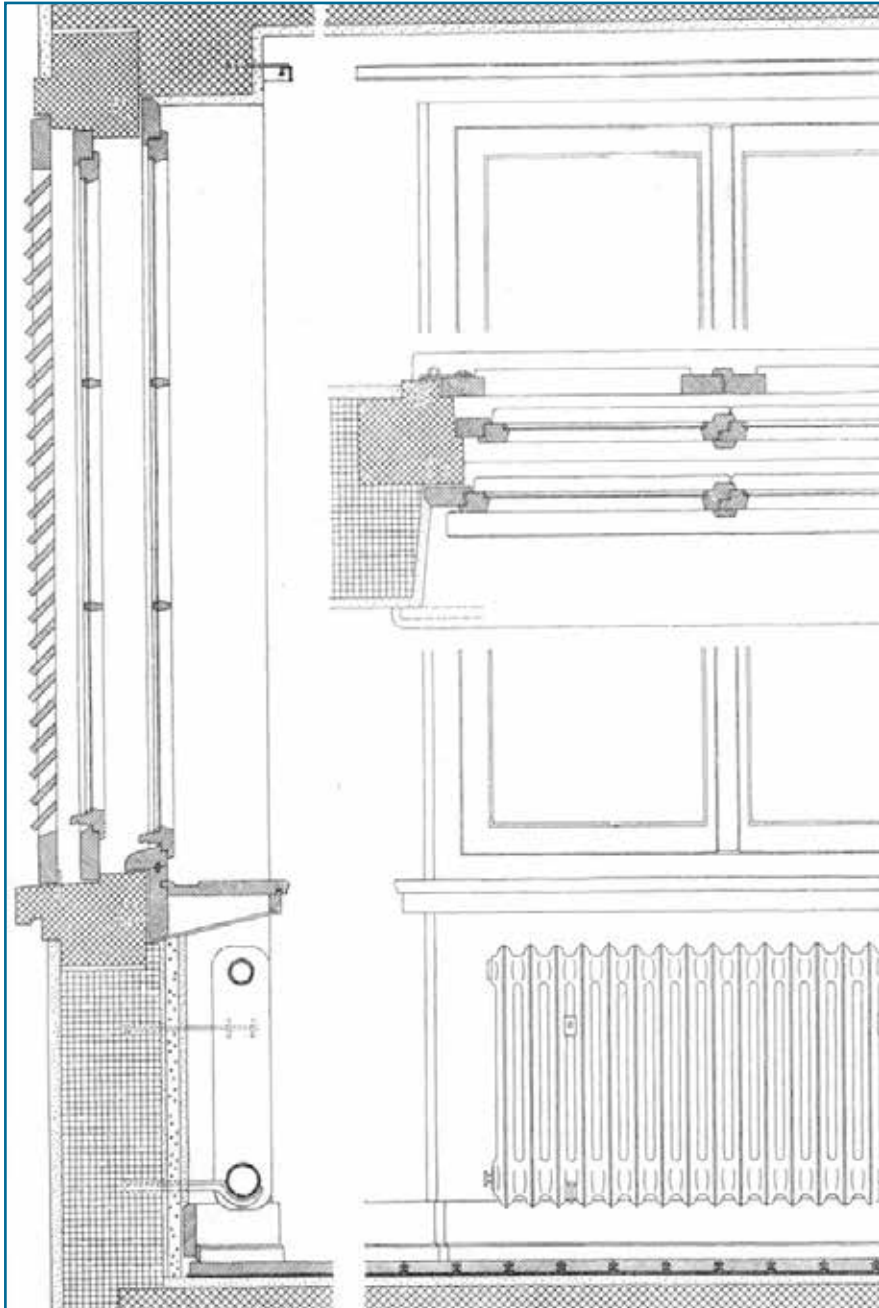


Abbildung 3:  
Einfaches Fenster  
mit Vorfenster  
(vgl. Hess 1949, 269)

## Zargenfenster

Beim Zargenfenster wird der Abstand zwischen den Fensterebenen durch Zargenbretter erzeugt. Das äußere Fenster ist im Mauerwerk befestigt. Am äußeren Blendrahmen sind nun die Zargenbretter eingetütet und an diesen Brettern wiederum der innere Blendrahmen befestigt. Bei dieser Konstruktion werden die inneren Flügel in den wärmeren Jahreszeiten ausgehängt und eingelagert.

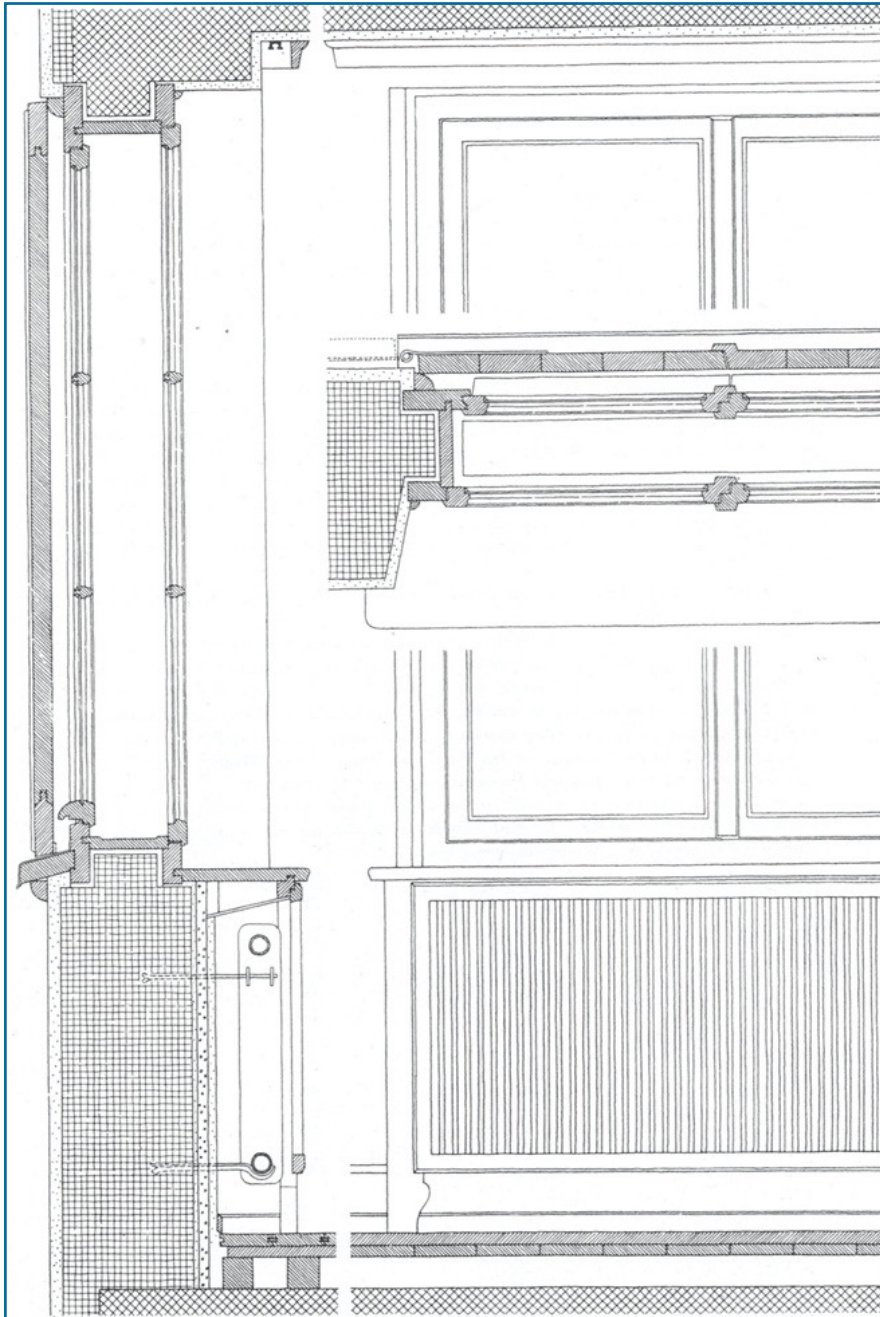


Abbildung 4:  
Zargenfenster  
(vgl. Hess 1949, 271))

### Kastendoppelfenster

Die Konstruktion des Kastendoppelfensters ist der des Zargenfensters sehr ähnlich. Der wesentliche Unterschied besteht darin, dass das Kastendoppelfenster als eine Einheit im Maueranschlag eingebaut ist. So kann es als eine in der Werkstatt komplett montierte Einheit in der Gebäudehülle befestigt werden. Die Montage des Zargenfensters muss dagegen in Einzelteilen (Außenfenster, Zargenkasten, Innenfenster) erfolgen.

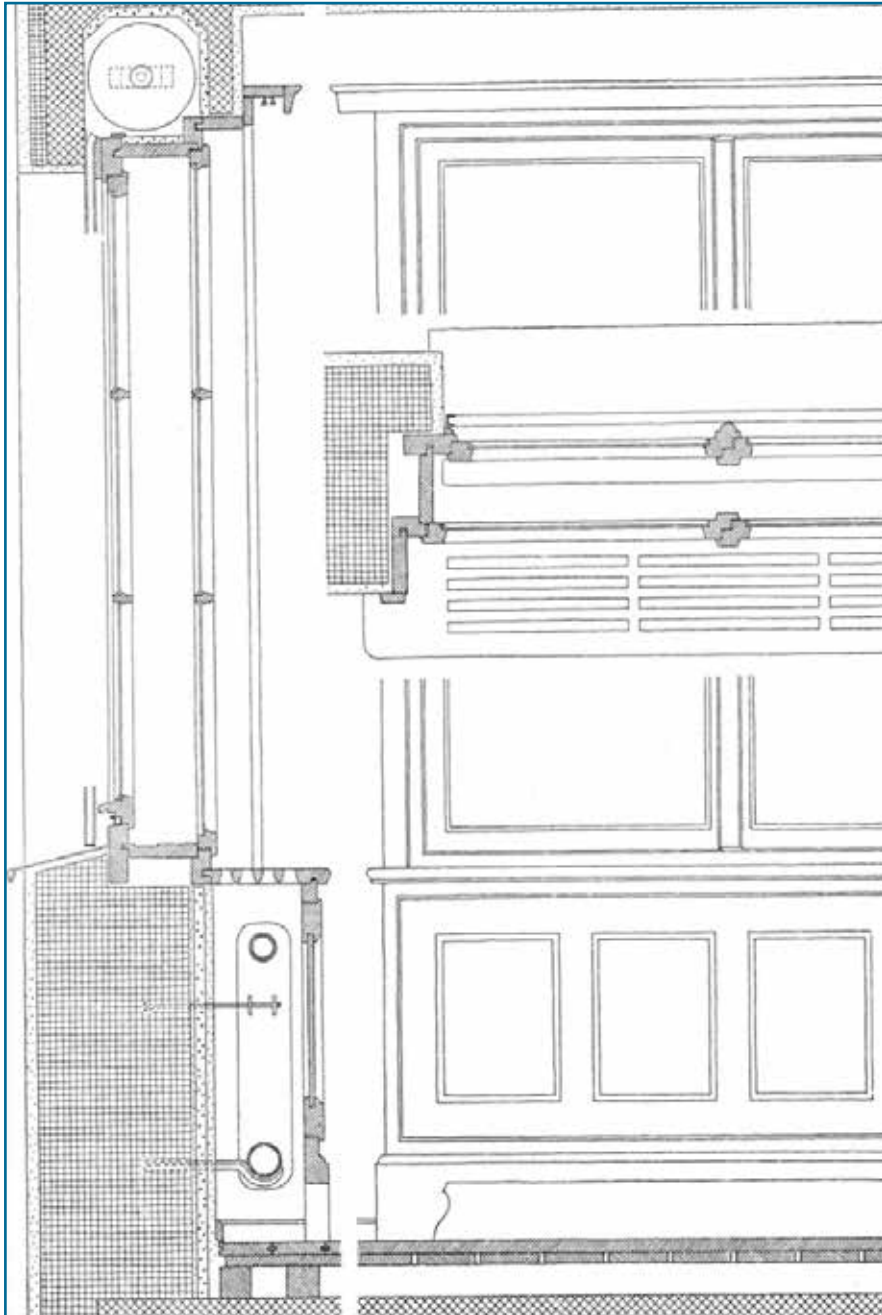


Abbildung 5:  
Kastenfenster mit Rolladen  
(vgl. Hess 1949, 273)

Bei der Konstruktion von Doppelfenstern müssen die Bedienbarkeit und die Öffnung beider Fensterebenen von innen gewährleistet sein. Öffnen beide Fensterebenen nach innen, bedeutet dies, dass das innere Fenster in der Regel größer konstruiert sein muss. Da in der Villa Mutzenbecher die Innenfenster nachträglich eingebaut werden, führt dies bei einigen Fenstern (z.B. dem Venezianischen Fenster) zu Konstruktionen, die von den historischen Vorlagen durchaus abweichen müssen.

Die nachträgliche Montage von Innenfenstern ist ein guter Kompromiss zwischen dem Denkmalschutz und den Anforderungen durch die ganzjährige Nutzung. Das neue innere Fenster erfüllt die oben beschriebenen Anforderungen zur Verringerung der Wärmeverluste, zur Berücksichtigung des Feuchtehaushaltes und zur Luftdichtigkeit der Gebäudehülle sehr gut.

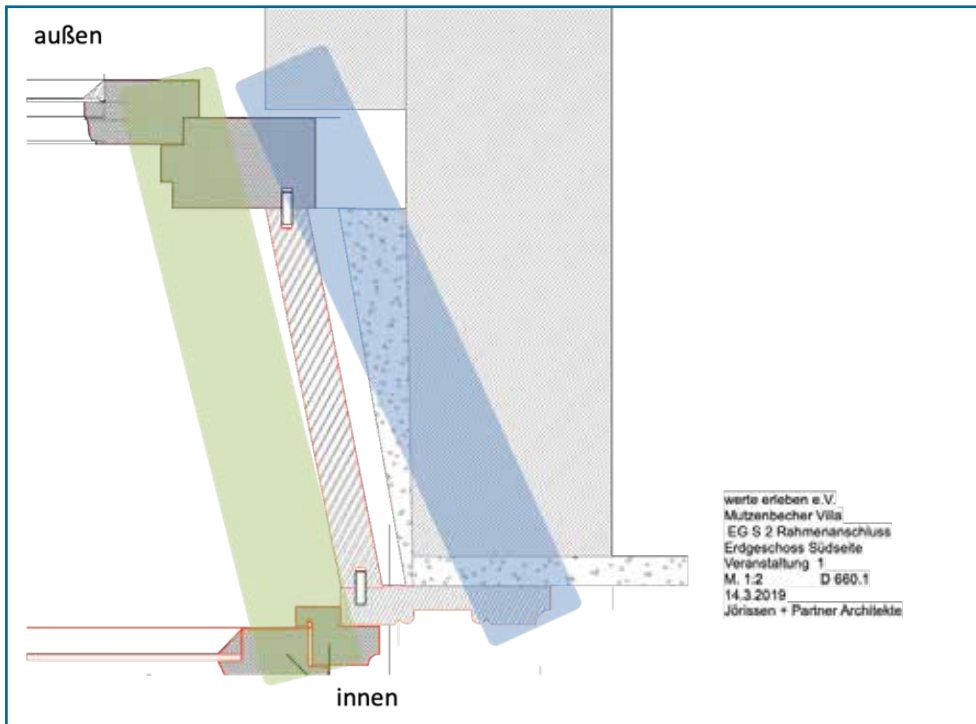


Abbildung 6:  
Dichtungsebenen



## Auswahl eines Fensterelements

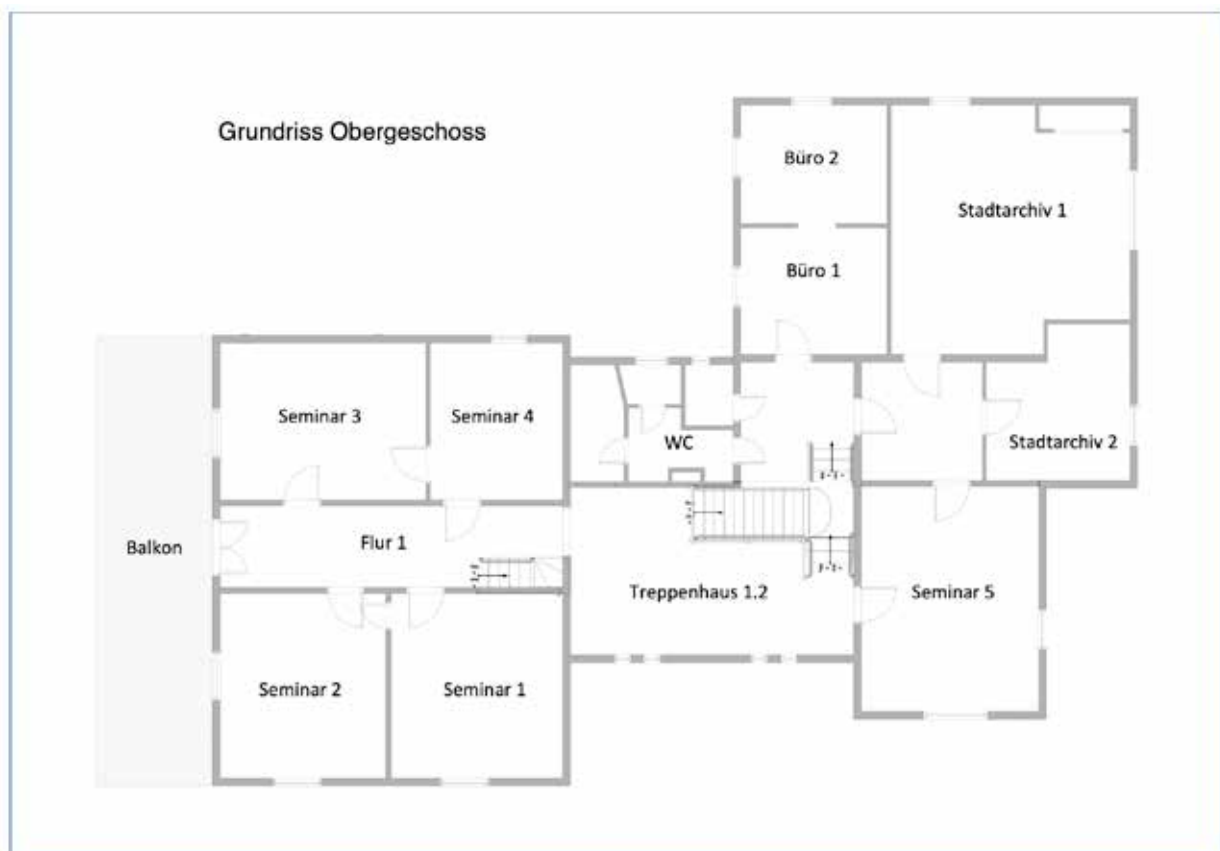
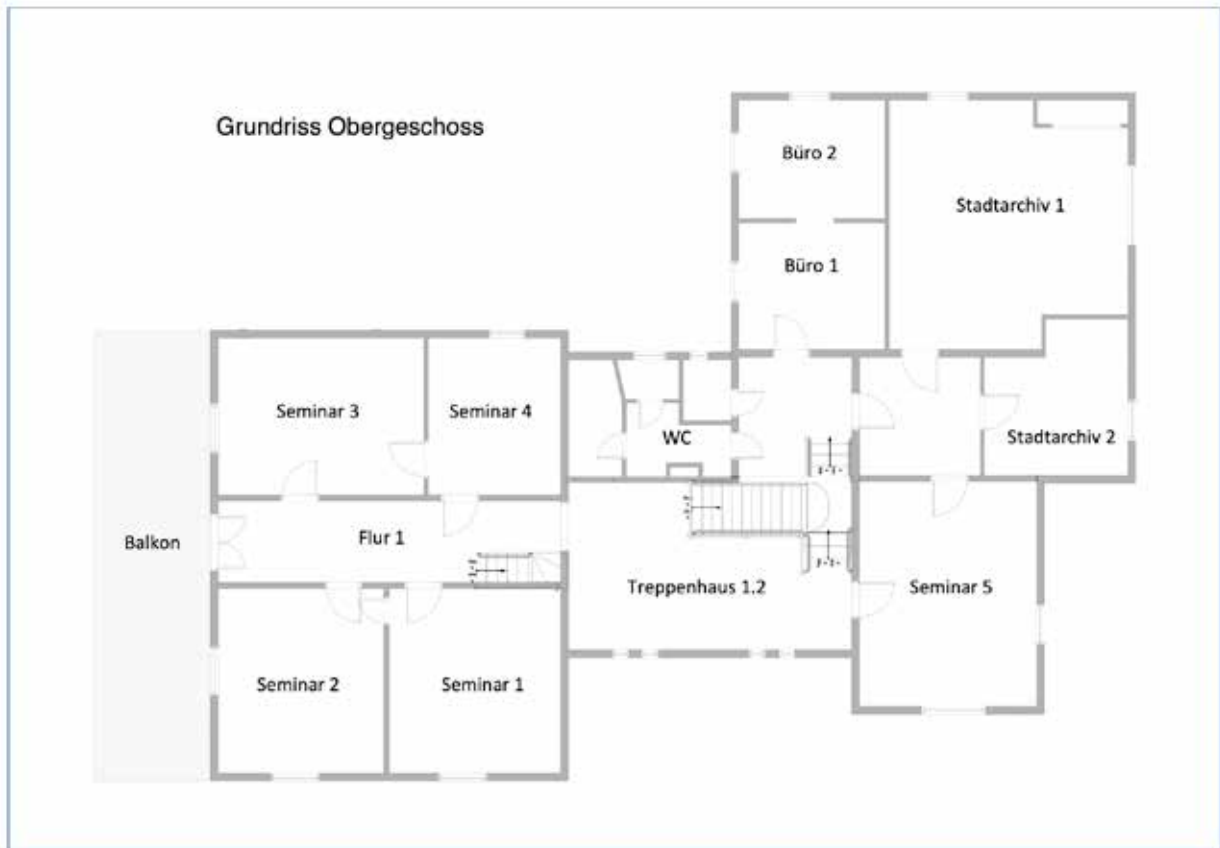
Suchen Sie sich ein Fensterelement anhand der Grundrisse des Erdgeschosses oder des Obergeschosses aus und markieren Sie es im Grundriss. Beachten Sie dabei, dass die verschiedenen Elemente unterschiedliche Schwierigkeitsgrade in der wärmetechnischen Ertüchtigung beinhalten. So ist ein einfaches, zweiflügliges Fenster (z.B. im



Büro 1) deutlich einfacher zu bearbeiten, als das ‚Venezianische Fenster‘ (Seminarraum 5) im ersten Obergeschoss.

Erarbeiten Sie anschließend die ‚Beschreibung und Bauaufmaß des Fensterelements‘ für ihr Fensterelement. Sie können dazu die Vorlagen nutzen oder eigene Dokumente erstellen.







## Beschreibung und Bauaufmaß des Fensterelements

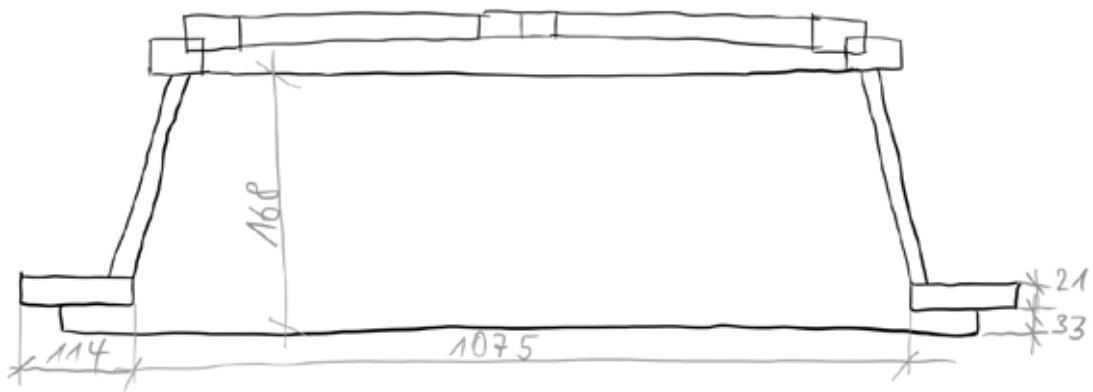
Einbauort (im Grundriss markieren)	Im 1. OG, Büro 1 (im Grundriss gelb markiert)
Bauart (z.B. Aufteilung, Drehflügel, Dreh-Kippflügel, usw.)	Zweiflügliges Fenster mit zwei Drehflügeln, Öffnung nach außen
Einbauart (z.B. im Mauerfalz, in der Luftschicht, usw.)	Eingebaut in einen Mauerfalz
Befestigung am Baukörper, Abdichtung zum Baukörper	Durch das vorhandene Fensterfutter ist keine Befestigung zu sehen. Auf Grund des Baujahres wird der Blendrahmen wahrscheinlich durch Bankeisen oder einfachen Blechlaschen am Mauerwerk befestigt sein.  Außen sind offene Fugen zwischen Blendrahmen und Mauerwerk zu sehen. Einige Stellen scheinen mit Mörtel ausgefüllt zu sein.
Rahmen-konstruktion	Das Fenster besteht aus einem Blendrahmen und zwei Flügelrahmen die ca. 44mm stark sind.
Eckverbindungen	Einfache Schlitz und Zapfenverbindungen
Beschläge	Drehbeschläge: Fitschenbänder Verriegelung: Drehstangenriegel der oben und unten im Blendrahmen verschließt. Der Griff wird im linken Fensterflügel gesichert. Eckwinkel eingelassen und verschraubt
Verglasung	Einfachverglasung im Kittfalz
Oberflächen-beschichtung	Deckend Weiß. Scheinbar Ölfarbe (Vermutung auf Grund des Alters)
Besonderes	Die unteren Querstücke im Blendrahmen und Flügelrahmen scheinen aus Eiche gefertigt zu sein.



Die Beschreibung sollte durch Skizzen/Fotos ergänzt werden.



rechts 1085  
links 1078





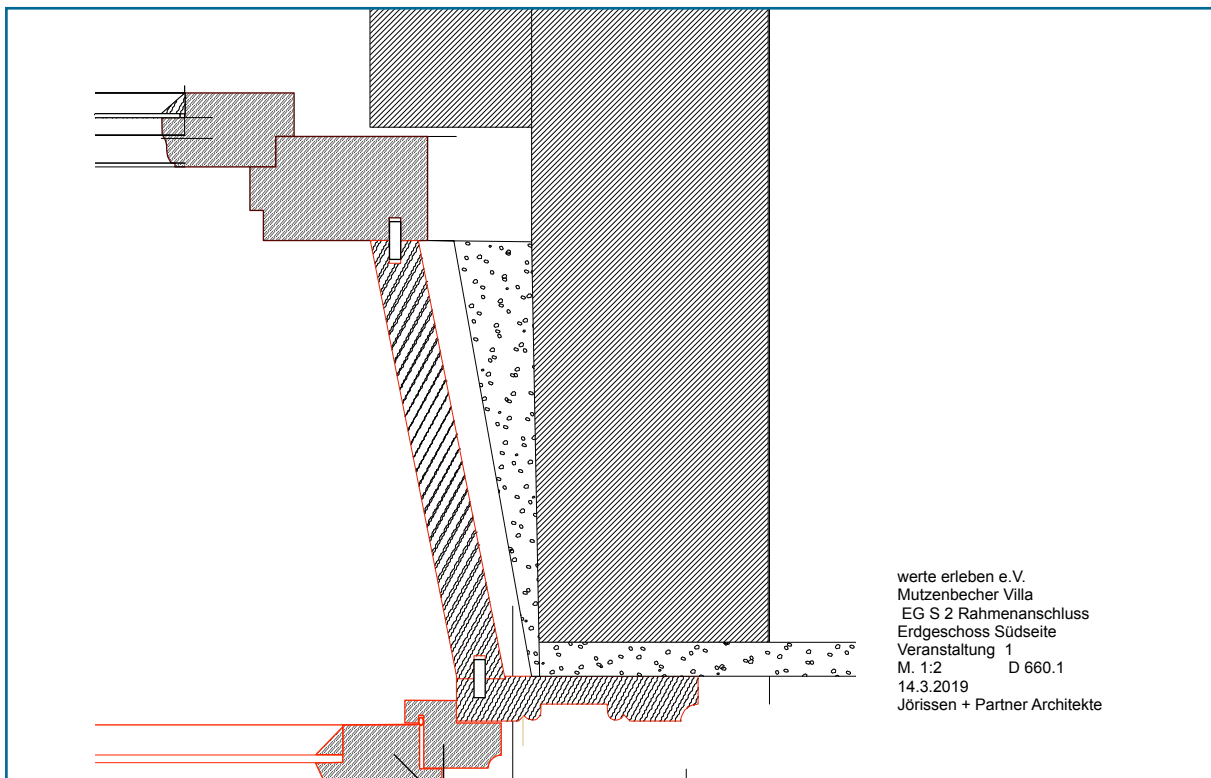
## Wärmetechnische Ertüchtigung

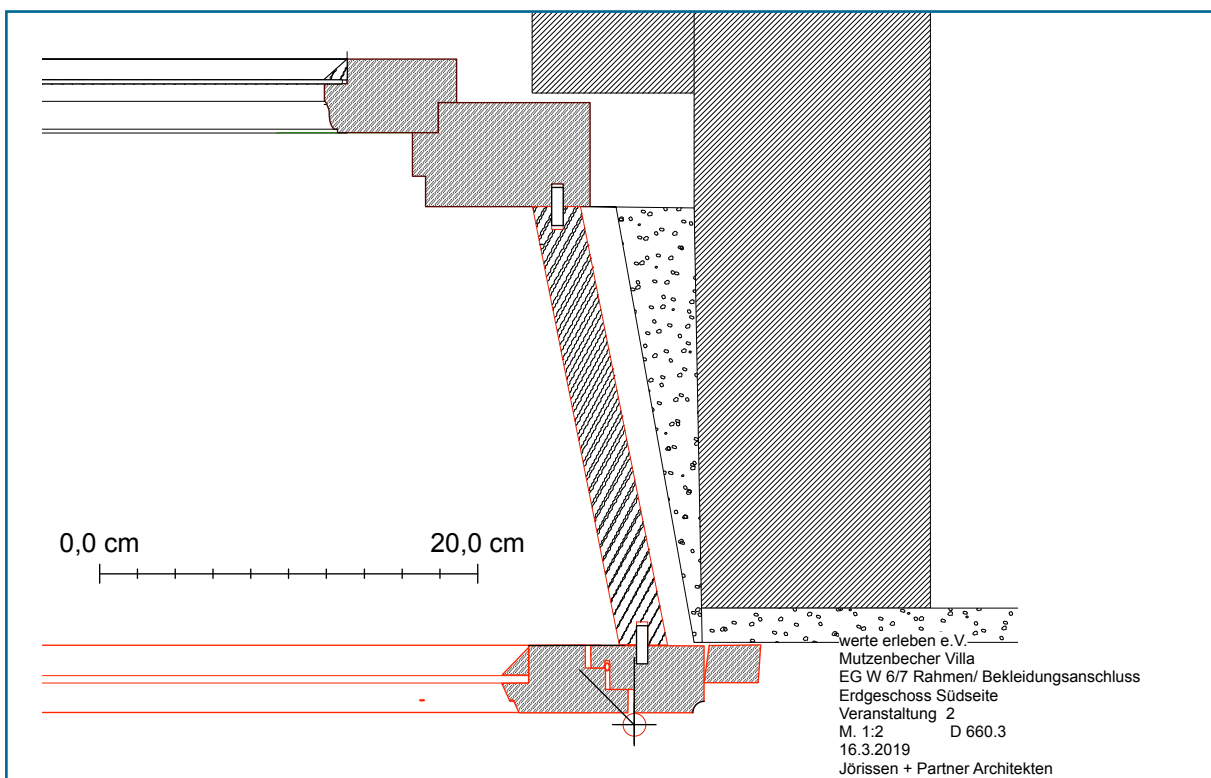
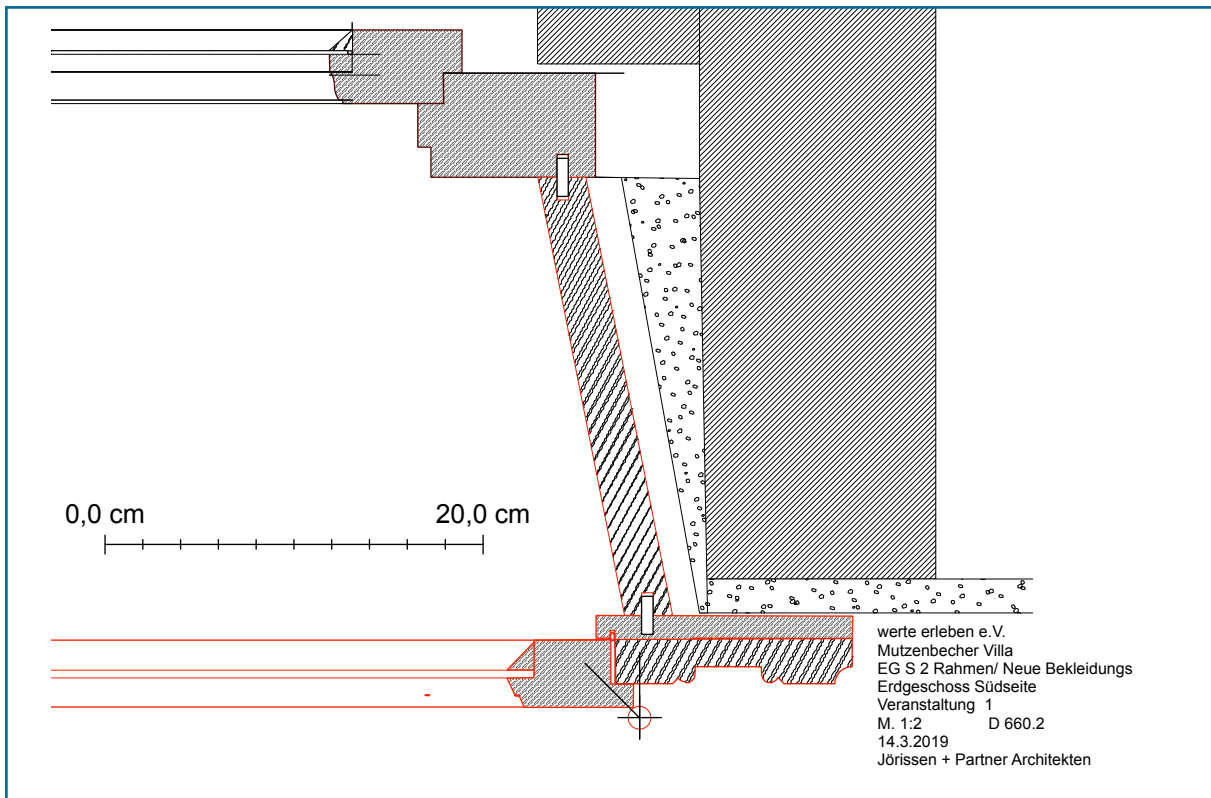
Konstruieren Sie für das von Ihnen ausgesuchte Fenster ein innen liegendes Doppelfenster. Fertigen Sie hierzu alle notwendigen Zeichnungen mit allen fertigungsrelevanten Maßen an. Achten Sie bitte bei der Konstruktion darauf, dass das Bestandsfenster in seiner Funktion nicht eingeschränkt werden darf (Öffnung).



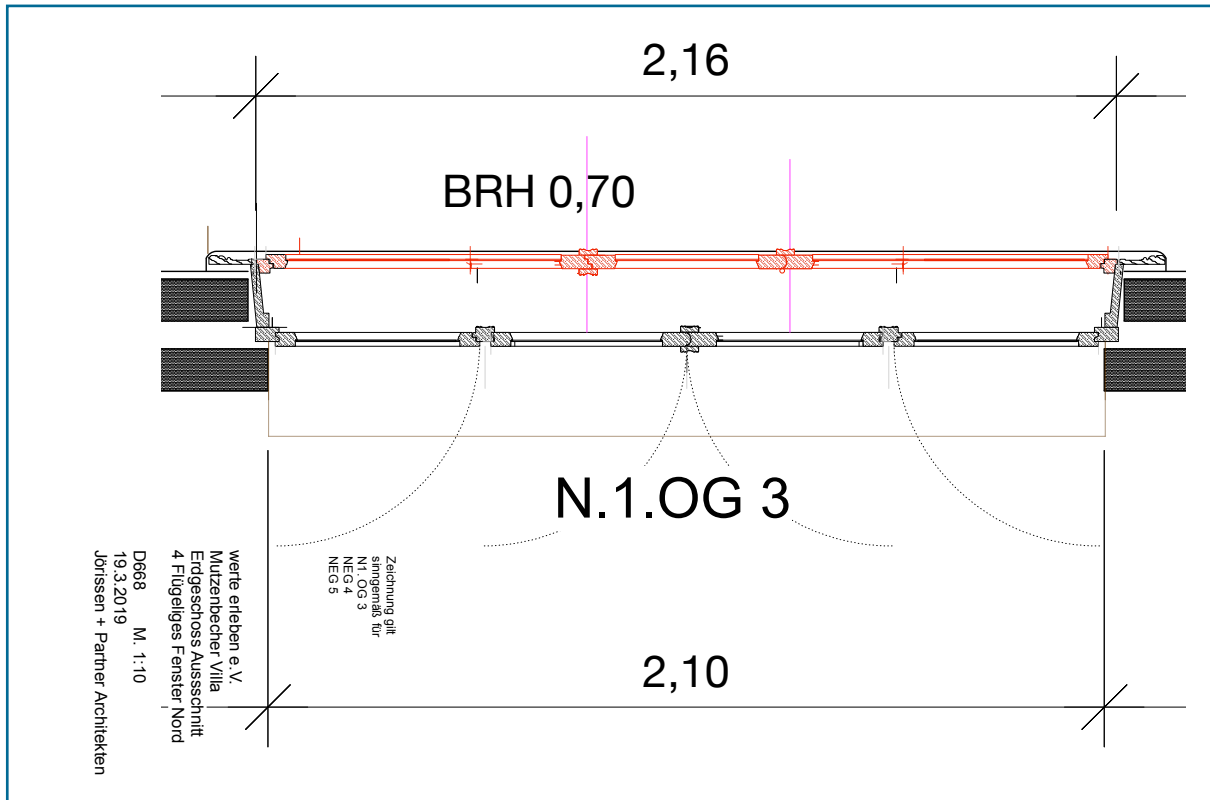
## Vorschläge zur wärmetechnischen Ertüchtigung

Mögliche Ergebnisse als CAD-Zeichnung

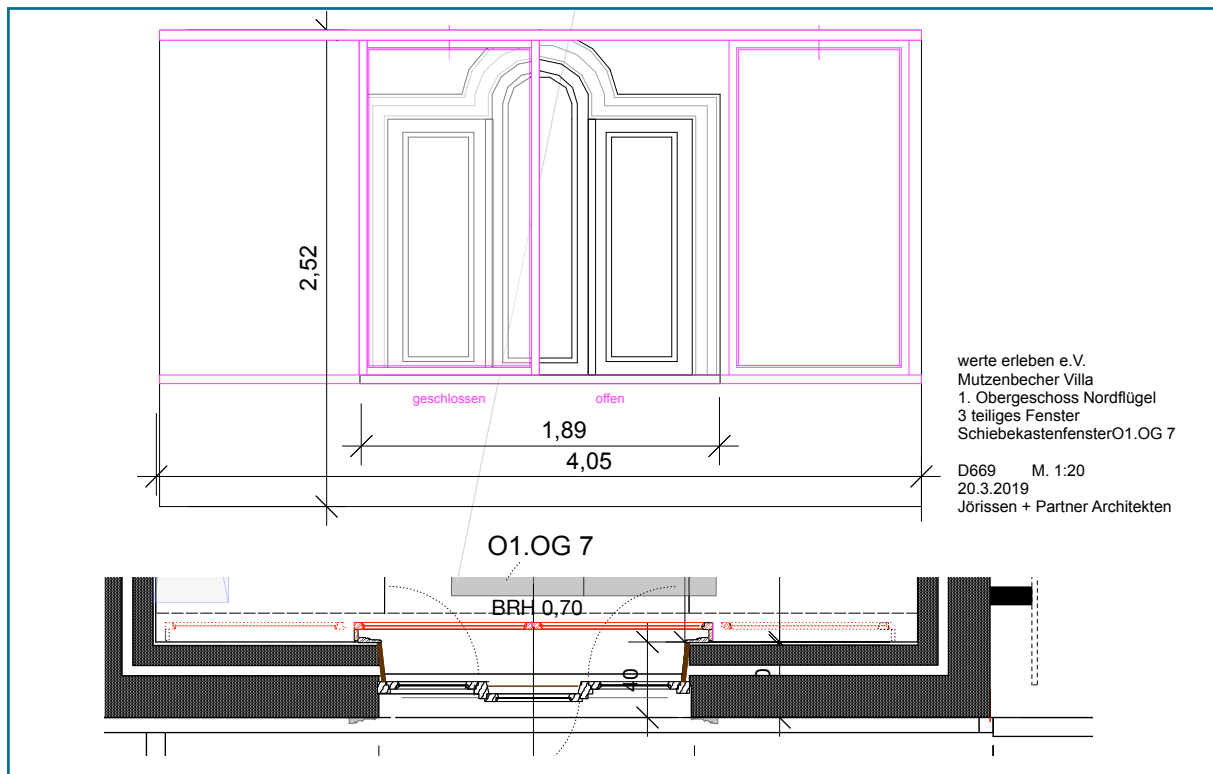




Beispiellösung für das vierflügelige Fenster im 1. OG



Beispiellösung für das venezianische Fenster im 1. OG





## Wärmetechnische Ertüchtigung der Fenster in einem denkmalgeschützten Gebäude


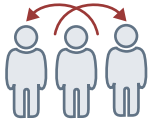







### Lernmodul Fensterelemente II Aufgaben für Lernende

Das Projekt GESA wird im Rahmen des ESF-Bundesprogramms „Berufsbildung für nachhaltige Entwicklung befördern. Über grüne Schlüsselkompetenzen zu klima- und ressourcenschonendem Handeln im Beruf – BBNE“ durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit sowie den Europäischen Sozialfonds gefördert.

## Arbeitsmaterial für Lernende (Icons)

Im folgenden Lernmodul werden Sie am Rand Icons finden. Sie sind Erkennungszeichen für eine dahinterliegende Funktion. Des Weiteren werden in einigen Textabschnitten, in kleinen grünen Kästchen, kurze Zusammenfassungen bzw. Anregungen zum Inhalt gegeben.

<b>Icons zur schnelleren Orientierung</b>		Szenario/ Kundenauftrag	
Gewerke übergreifendes Arbeiten		Informationen	
Bezug zur Beruflichen Bildung für nachhaltige Entwicklung		Aufgaben	
Besonderheiten des Denkmalschutzes		Material	



## Erläuterungen zu den Icons



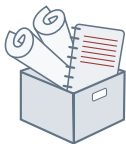
Das Icon „**Szenario/Kundenauftrag**“ steht zu Beginn jedes Lernmoduls. Es soll grafisch darstellen, dass es sich bei der nebenstehenden Textstelle um das übergreifende Lernszenario bzw. den Kundenauftrag eines Lernmoduls handelt.



Das Icon „**Information**“ soll grafisch darstellen, dass es sich bei der nebenstehenden Textstelle um wichtige Sachinformationen, wie z.B. technische Tabellen, Produkt- und Herstellerangaben, Gesetze, Vorschriften und fachliche Infotexte zur Bearbeitung von Lern- und Arbeitsaufgaben handelt.



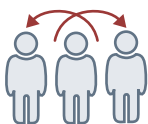
Das Icon „**Aufgaben**“ soll kennzeichnen, dass es sich nebenstehend um eine Lern- und Arbeitsaufgabe handelt, die in Einzelarbeit, zu zweit oder im Team bearbeitet werden kann.



Das Icon „**Material**“ soll darauf verweisen, dass z.B. Grafiken, Protokollvorlagen oder Grundrisse zur Bearbeitung der Aufgaben beitragen.



**Berufliche Bildung für nachhaltige Entwicklung (BBNE):** Das Icon steht für Inhalte, die einen besonderen und unmittelbaren Bezug zu BBNE haben. Unter BBNE wird folgendes verstanden: „BBNE ist eine berufliche Bildung zu zukunftsfähigen Denken und Handeln in beruflichen, betrieblichen, gesellschaftlichen und privaten Kontexten, die es ermöglicht die Auswirkungen des eigenen beruflichen Handelns auf die Welt zu verstehen und verantwortungsvolle Entscheidungen zu treffen.“



Das Icon „**Gewerke übergreifendes Arbeiten**“, verweist darauf, dass die nebenstehenden Textinhalte im unmittelbaren Zusammenhang mit Gewerke übergreifender Zusammenarbeit steht. Darunter wird verstanden, dass sich Handwerker:innen aus unterschiedlichen Gewerken (z.B. Elektriker:in und Tischler:in) abstimmen müssen. Zur fachgerechten Umsetzung müssen Absprachen über sogenannte Schnittstellen geführt werden.



Das Icon „**Besonderheiten des Denkmalschutzes**“ soll ausdrücken, dass es sich bei der nebenstehenden Textstelle um besondere Anforderungen handelt, die mit dem Denkmalschutz verbunden sind. Eine wesentliche Herausforderung besteht darin, die Gebäudeausstattung im Sinne des Denkmalschutzes zu erhalten, d.h. sie nahe dem ursprünglichen Zustand wiederherzustellen.



## Denkmalgerechte Behandlung der Bestandsfenster in der Villa Mutzenbecher



Die Villa Mutzenbecher

In der Villa Mutzenbecher sind noch alle Originalfensterelemente vorhanden. Teilweise wurden sie in den letzten ca. 100 Jahren an verschiedenen Stellen repariert und die Oberflächenbeschichtung erneuert. An einigen Stellen wurden die Reparatur und Wartungsarbeiten nicht fachgerecht ausgeführt. Im Rahmen der Sanierung sollen natürlich auch die Fenster denkmalgerecht überarbeitet werden.



Die Architektin beauftragt Sie damit ein Konzept zur wärmetechnischen Ertüchtigung der Bestandsfenster zu erstellen. Nach einer ersten unverbindlichen Anfrage vereinbaren Sie mit ihr einen Termin. Zuerst führt Sie die Architektin herum. Durch die Kurzbegehung bekommen Sie einen ersten Überblick über den Zustand des Gebäudes insgesamt und den Zustand der Fensterelemente. Ihre Aufgabe ist es nun die Maßgaben des Denkmalschutzes zu berücksichtigen und ein Konzept zu entwickeln, wie die Fensterelemente wärmetechnisch ertüchtigt werden können, damit sie die Anforderungen der zukünftigen ganzjährigen Nutzung der Villa erfüllen.

Nach der Instandsetzung wird die Villa Mutzenbecher eine Bildungs- und Begegnungsstätte mit den Schwerpunkten Stadtteil- und Stadtgeschichte, Umwelt-Bildung, Berufsbildung, Waldpädagogik, Kunst, Theater, Musik. Die Villa wird eine Kreativwerkstatt für alle Generationen.

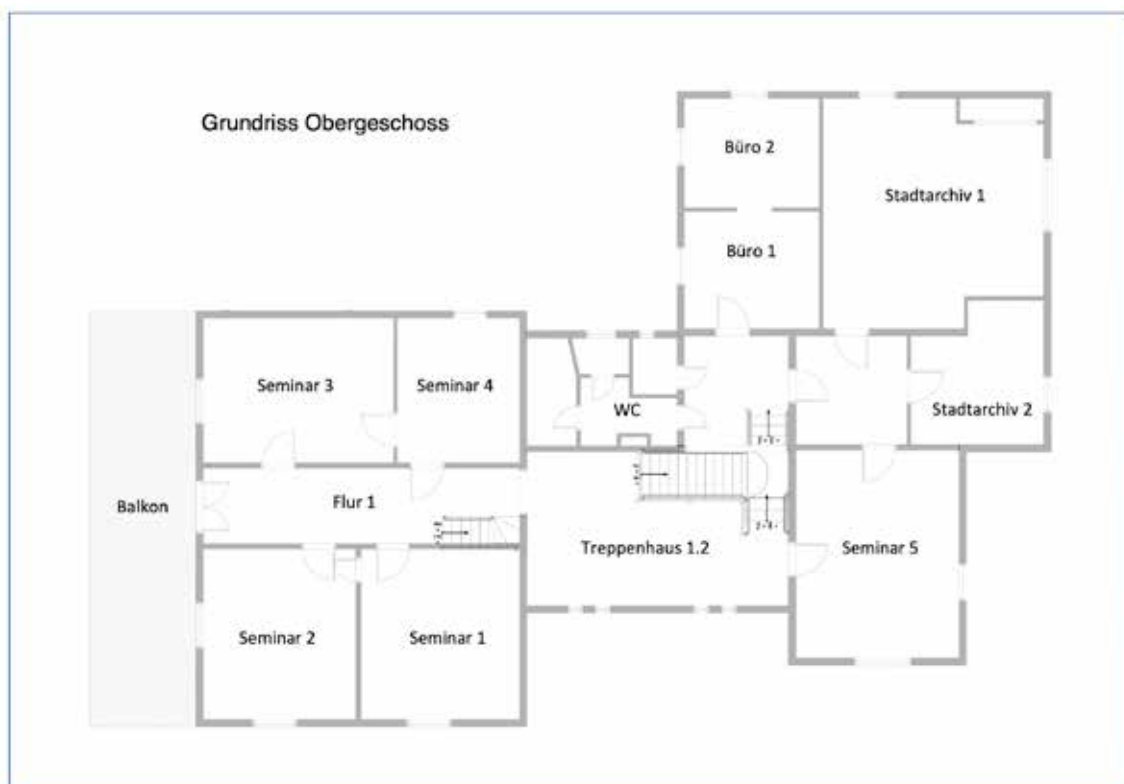


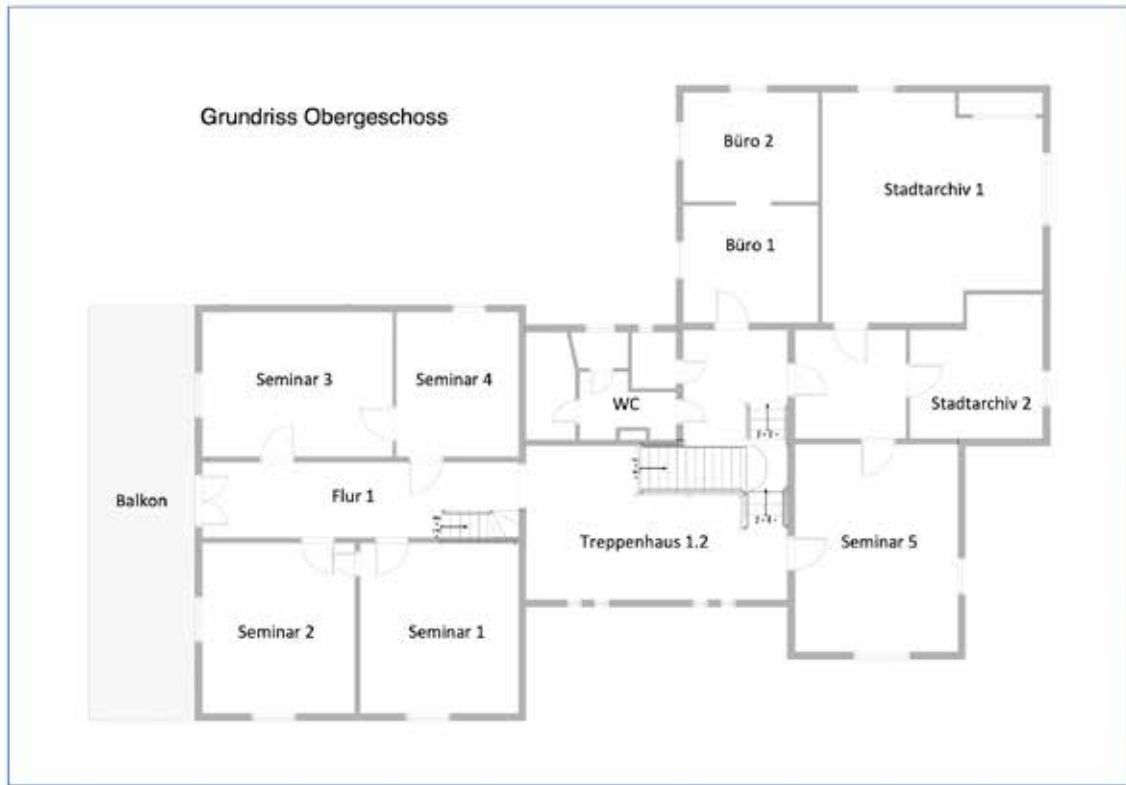
## Begehung der Villa Mutzenbecher

1. Bitte machen Sie sich mit der Villa Mutzenbecher vertraut. Starten Sie den 3D-Rundgang (<https://bbne-mutzenbecher.blogs.uni-hamburg.de/>) und schauen Sie sich sämtliche Räume an. Achten Sie besonders auf die verschiedenen Fensterelemente der Villa Mutzenbecher
2. Beschreiben Sie kurz, welche unterschiedlichen Fensterelemente sie in der Villa gefunden haben.



Zur Orientierung und für erste Notizen stellt Ihnen die Architektin einfache Grundrisse des Erdgeschosses und der ersten Etage zur Verfügung.







## Fensterelemente, Wärme-/Kälteschutz und Denkmalschutz

Das Fenster ist ein wichtiges Element der Gebäudehülle: „Es versorgt unsere Räume mit Luft und Sonne, schützt vor Regen und Wind, gegen Hitze und Kälte und schließlich gegen Geräusche“ (Reitmayer 1950). Diese mittlerweile über siebzig Jahre alte Einschätzung ist nach wie vor aktuell. Die verschiedenen Funktionen stehen teilweise im Widerspruch zueinander und müssen gegeneinander

Denkmalschutz ist eine weitere ‚Anforderung‘ an ein Fenster

abgewogen werden, um ein technisch einwandfreies Fenster zu planen, zu fertigen und zu montieren. Die Sanierung von Bestandsfenstern in denkmalgeschützten Gebäuden bedeutet noch eine weitere Herausforderung: Die Fenster sollen in ihrem historischen Wert erhalten und trotzdem einem modernen Wohn- und Nutzungsverhalten dienen

können. Moderne Nutzungs- und Lebensgewohnheiten stellen historische Fenster vor Herausforderungen, denen sie nicht immer ausreichend gerecht werden können. Leider fallen Bestandsfenster trotz ihrer ästhetischen Bedeutung häufig einem Austausch gegen moderne Fenster zum Opfer.

Als Richtlinie für Gesetze, Definitionen und Herangehensweisen im Bereich Denkmalschutz und -pflege, gilt europaweit die Charta von Venedig von 1964 (Zweiter internationaler Kongress der Architekten und Denkmalpfleger 1964/1989). Im Rahmen eines internationalen Kongresses wurden Grundsätze für die Restaurierung und Konservierung von Denkmälern erarbeitet und niedergeschrieben, die bis heute maßgeblich sind (vgl. Hubel 2006, 146ff).

Die Villa Mutzenbecher ist 2007 unter Denkmalschutz gestellt worden. Die Villa soll für eine Nutzung als Bildungs- und Kultureinrichtung vorbereitet werden. Dieses hat Auswirkungen auf die Sanierung. Hier muss von Fall zu Fall gemeinsam mit dem Denkmalschutzamt und allen an der Sanierung beteiligten Fachleuten verhandelt und entschieden werden, welche Maßnahmen geeignet sind, die Villa in einen denkmalgerechten und nutzbaren Zustand zu verwandeln.

Wenn man die allgemeinen Grundsätze der Denkmalpflege auf die historischen Fenster anwendet, lässt sich Folgendes festhalten:

Die Originalfenster gehören zum wesentlichen Bestandteil der ‚Villa Mutzenbecher‘, ihr Wert ist durch keine Nachbildung auch nur annähernd zu ersetzen. Sie sind daher zu reparieren, soweit dies technisch möglich ist. Auch die Dichtungsebene zwischen Baukörper und Fensterelement ist hier aus Gewerke übergreifender Sicht zu beachten. Eine wärmetechnische Ertüchtigung der Fensterkonstruktion ist mit besonders sensiblen Methoden vorzunehmen, um die Bestandsfenster nicht zu gefährden.

Im Zentrum der Bemühungen steht also die möglichst vollständige Bewahrung der originalen Substanz. Somit haben Reparaturen und Ergänzungen immer Vorrang vor Erneuerungen. Im Lernmodul Fensterbau I (Denkmalgerechte Behandlung der Fenster in einem historischen Gebäude) wird ein Denkmal- bzw. Reparaturkonzept für verschiedene Fensterelemente entwickelt. In diesem Konzept ist festgelegt welche Arbeiten durchgeführt werden müssen. Das Konzept umfasst keine möglichen und notwendigen Maßnahmen zur energetischen Ertüchtigung der Fenster. Dies ist der Inhalt des vorliegenden Lernmoduls Fensterbau II.

Denkmalpflege bedeutet genaue Analyse und Planung

Die Begriffe Wärme, Wärmebrücke, Wärmedämmung, Wärmedurchgangskoeffizient bilden einen Themenkomplex, der insbesondere von Tischler\*innen beherrscht werden muss, da er den Baukörper im Allgemeinen und das Fenster im Speziellen betrifft. Viele Immobilieneigentümer\*innen versuchen klimaschädliche Emissionen zu reduzieren, Heizkosten zu senken und die Behaglichkeit auch im Altbau zu heben.

Am und im Baukörper findet immer ein Wärmefluss statt. Dies geschieht sobald zwei unterschiedliche Systeme aufeinandertreffen: ein kühles Außenklima und ein beheiztes Innenklima. Wärme beschreibt in diesem Zusammenhang die über die Grenze beider Systeme transportierte, thermische Energie. Aus diesem Transportvorgang lässt sich Wärme als Prozessgröße definieren. Im Gegensatz dazu stellt Temperatur eine Zustandsgröße dar. Der Prozess des Wärmeenergietransportes findet in der Regel vom

höheren zum niedrigeren Temperaturniveau statt (2. Hauptsatz der Thermodynamik). In diesem Prozess wird zwischen der Diffusion, der Radiation und der Konvektion von Wärme unterschieden. Diese lassen sich wie folgt beschreiben:

*Wärmediffusion*, auch Wärmeleitung, beschreibt die Weitergabe von Energie in Materialien von Teilchen zu Teilchen, ohne dass die Teilchen ihren Ort verändern. Die Energie wird als Stoßenergie von stark schwingenden (nahe der Wärmequelle) zu schwach schwingenden Teilchen weitergegeben. Dies findet in festen Stoffen, in Flüssigkeiten und in Gasen statt. Eine für die bauphysikalische Betrachtung relevante Größe für die Wärmeleitung eines Materials ist die Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  in W/mK (Watt pro Meter und Kelvin).

Wärmeradiation, auch Wärmestrahlung, bezeichnet die Energieübertragung durch elektromagnetische Strahlung von Oberfläche zu Oberfläche. Die von der Oberfläche eines Körpers ausgesendete elektromagnetische Strahlung kann beim Auftreffen auf einen anderen Körper absorbiert, reflektiert oder durchgelassen (Transmission) werden. Beispiel hierfür ist die Wärmestrahlung der Sonne.

*Wärmekonvektion*, auch Wärmeströmung, ist der Transport von Wärme durch örtliche Verschiebung von Teilchen in leichtbeweglichen, also gasförmigen oder flüssigen Stoffen. Das Wegführen der Wärme von Wärmequellen ist eine Folge davon, dass flüssige und gasförmige Stoffe (Fluide) die sich erwärmen ihr Raumgewicht verkleinern, sich also ausdehnen. Dies hat zur Folge, dass erwärmte, leichte Fluide nach oben steigen und kältere, schwerere Fluide absinken.

Die Notwendigkeit des Wärmeschutzes im Bauwesen liegt zum einen in der Auswirkung von Wärme auf die Gesundheit des Menschen und zum anderen in der Wirtschaftlichkeit von Bauten im Zusammenhang mit Energiekosten und Umweltschäden begründet. Zentrale Größen für das Innenklima, und damit für die Behaglichkeit in Bauwerken sind die Raumlufttemperatur, die Oberflächentemperatur und die relative Raumluftfeuchte.

Die Wärmeverluste durch die Gebäudehülle bestehen zu etwa 60-80% aus Transmissionswärmeverlusten und zu 20-40% aus Konvektionswärmeverlusten. Das Fenster hat daran einen maßgeblichen Anteil. Um den Wärmedurchgang eines Bauteils zu betrachten, wird der sog. Wärmedurchgangskoeffizient  $U$ , auch  $U$ -Wert in  $W/m^2K$  herangezogen. Ein Fenster ist eine inhomogene Konstruktion aus verschiedenen Materialien. Daher wird der  $U$ -Wert bei Fenstern durch die Addition einzelner Bauteile und das Einbeziehen von Flächenverhältnissen ermittelt. Es besteht z.B. aus einem Holzrahmen und einer gläsernen Füllung. Da die Flächenanteile von Glas und Rahmen unterschiedlich sind, gehen diese anteilig in die Berechnung des  $U$ -Wertes mit ein. Hinzu kommt die Wärmebrückenwirkung des Glasrandverbundes bei Isoliergläsern.

---

<sup>19</sup> Behaglichkeit ist eine individuell zu betrachtende Größe. Neben den physikalischen Größen (s.o.) sind auch physiologische (Müdigkeit, Alter) als auch intermediäre (Kleidung, Raumbesetzung) Parameter einflussgebend.

<sup>20</sup> Wärmeverluste durch die Öffnungen können konstruktionsbedingt sein, z.B. mangelnde Fugendichtheit zwischen Flügel- und Blendrahmen und am Stulp, werden aber größtenteils durch das Lüftungsverhalten der Nutzer bestimmt (vgl. Wohlleben/Moeri 2014, 31)

<sup>21</sup> In diesem Falle die Transmissionswärmeverluste.

<sup>22</sup> Wärmebrücken sind definiert als Teilbereiche von Bauteilen, an denen, im Vergleich zum restlichen Bauteil, ein erhöhter Wärmedurchgang stattfindet. Sie können z.B. geometrisch oder konstruktiv bedingt sein.

<sup>23</sup> Der Glasrandverbund wird zusätzlich mit einem linearen Wärmedurchgangskoeffizienten bei der Berechnung des  $U$ -Wertes berücksichtigt ( $\phi * I$ ).

---

$U_w$  Wärmedurchgangskoeffizient des ganzen Fensters:

$$U_w = \frac{U_g * A_g + U_f * A_f + \phi * l}{A_g + A_f}$$

Abbildung 2: Formel zur Berechnung des U-Wertes

$A_w = A_g + A_f$	Fläche Fenster (w=window)
$A_g$	Fläche des Glases (g=glass)
$A_f$	Fläche des Rahmens (f=frame)
$U_g$	U-Wert Verglasung (g=glass)
$U_f$	U-Wert Rahmen (f=frame)
$\phi$	linearer U-Wert des Glasrandes
$l$	Länge des Glasrandes

Bei historischen Fenstern sind demzufolge die Gläser für die hohen Verluste verantwortlich: Für historische Blend- und Flügelrahmen von etwa 35 bis 50 mm Stärke wird in der Literatur ein ungefährender U-Wert von 2,2 bis 2,7 W/m<sup>2</sup>K angenommen, für ein historisches Einscheibenglas von etwa 2 bis 3 mm Stärke ein U-Wert von ungefähr 5,8 W/m<sup>2</sup>K.

Außerdem hat das Fenster eine wichtige Funktion im Feuchtehaushalt des Baukörpers. Aus den konstruktionsbedingten U-Werten historischer Fenster lässt sich schließen, dass das Fenster stets der kälteste Teil einer Außenwand gewesen ist. Folge war die Kondensation an Glasflächen insbesondere bei tiefen Außentemperaturen und hoher relativer Luftfeuchte im Innenklima. Dieser Sachverhalt ist bei der wärmetechnischen Ertüchtigung von Bestandsfenstern unbedingt zu beachten. Die Kondensatfläche kann sich z.B. von der Glasfläche zur Fensterlaibung verschieben. Zum Schutz der Bausubstanz und zur Steigerung der Behaglichkeit muss auch die beabsichtigte Raumlüftung z.B. durch Öffnen der Fenster und die unbeabsichtigte Zirkulation durch konstruktivbedingte Leckagen herangezogen werden<sup>6</sup>. Genannt sei hier die sog. Luftwechselrate<sup>25</sup>

Die Luftdichtigkeit eines Baukörpers<sup>26</sup>, speziell der Fenster, hat in Bezug auf die Lüfterneuerung zwar nur einen geringen Anteil, ist jedoch maßgeblich für den Wärmeverlust mit verantwortlich. Insbesondere ist dies an historischen Fenstern ohne Dichtungen nachzuweisen. Im Umkehrschluss birgt eine dichte Gebäudehülle wiederum Probleme den Feuchtehaushalt betreffend. Da im Baudenkmal selten eine Dämmung der Außenhülle realisiert werden kann, können die Innenwandoberflächen relativ niedrige Temperaturen aufweisen. Dies muss bei fehlenden Sollkondensatflächen (Glasflächen, s.o.) stets mit betrachtet werden, damit die Luftfeuchte nicht an der Innenwandoberfläche kondensiert.

Es gibt verschiedene Möglichkeiten historische Bestandsfenster wärmetechnisch zu ertüchtigen. Einen innovativen Vorschlag für die Fenster der Villa Mutzenbecher liefert Singelmann (2019). Im Prozess der Abstimmungen mit dem Denkmalschutzamt ist für die Fenster der Villa letztlich vereinbart worden ein innenliegendes zweites Fenster, ähnlich einem ‚Kastendoppelfenster‘, zu konstruieren. Ein Kastendoppelfenster verfügt über einen Kasten aus vier meistens eingeneteten Brettern zwischen dem äußeren Hauptfenster und dem inneren Fenster.

<sup>24</sup> Konstruktiv meint hier Leckagen an den Anschlüssen zwischen Baukörper und Blendrahmen, sowie zwischen Blend- und Flügelrahmen.

<sup>25</sup> „Die Luftwechselrate mit der Einheit (1/h) gibt das Vielfache des Raumluftvolumens an, das als frische Zuluft pro Stunde zugeführt wird. [...] Beispiel:  $n = 1/h$ : Das Raum-/Gebäudevolumen wird in einer Stunde einmal ausgetauscht.

Für normale Wohngebäude ohne raumlüftechnische Anlagen wird eine Luftwechselrate von 1/h–3/h die Regel sein, [...]“ (Wohlleben und Moeri 2014, 32)

<sup>26</sup> Der Baukörper ist Windlasten ausgesetzt, die auf der einen Seite für einen Überdruck auf dem Gebäude, auf der anderen Seite für einen Unterdruck sorgen. Konstruktiv bedingt ist diese Luftdichtigkeit bei historischen Bauten weniger gut als bei modernen.

Die Entwicklung der Doppelfenster vom einfachen, vorgesetztem Winterfenster zum Kastenfenster ‚gipfelte‘ letztlich dann in den ersten Isolierverglasungen in den 1970er Jahren. Die Überlegung durch zwei Glasscheiben mit einem Zwischenraum einen wärmetechnischen Vorteil im Vergleich zur Einfachverglasung zu erzielen wird bei der Konstruktion von Kastendoppelfenstern in der Villa Mutzenbecher aufgenommen. Die Villa war ursprünglich nicht für die ganzjährige Nutzung vorgesehen. Dies ist wohl auch ein Grund dafür, dass keine Verbund- bzw. Doppelfenster verbaut wurden obwohl diese zur Bauzeit schon bekannt waren. Die Konstruktion von Doppelfenstern dient letztlich dazu, ein zu starkes Auskühlen der Räume durch die großen Glasflächen der Einfachfenster zu verringern. Außerdem reduziert sich durch die zweite Fensterebene die Zuglufterscheinungen an den meist dichtungslosen Einfachfenstern. Die drei beispielhaft gezeigten historischen Konstruktionen von Doppelfenstern ähneln sich in einem wesentlichen Konstruktionsdetail: Der Zwischenraum zwischen dem äußeren und dem inneren Fenster ist ca. 120mm.



### Einfaches Fenster mit Vorfenster

Im ersten Beispiel wird ein äußeres Fenster als Winterfenster genutzt. In den warmen Jahreszeiten wurden die Fensterflügel ausgehängt und eingelagert. Der Abstand zwischen den beiden Fensterebenen wird durch die Ausbildung der Fensterlaibung erzeugt. Beide Fenster sind in einen Steinfalz eingelassen und am Mauerwerk befestigt.

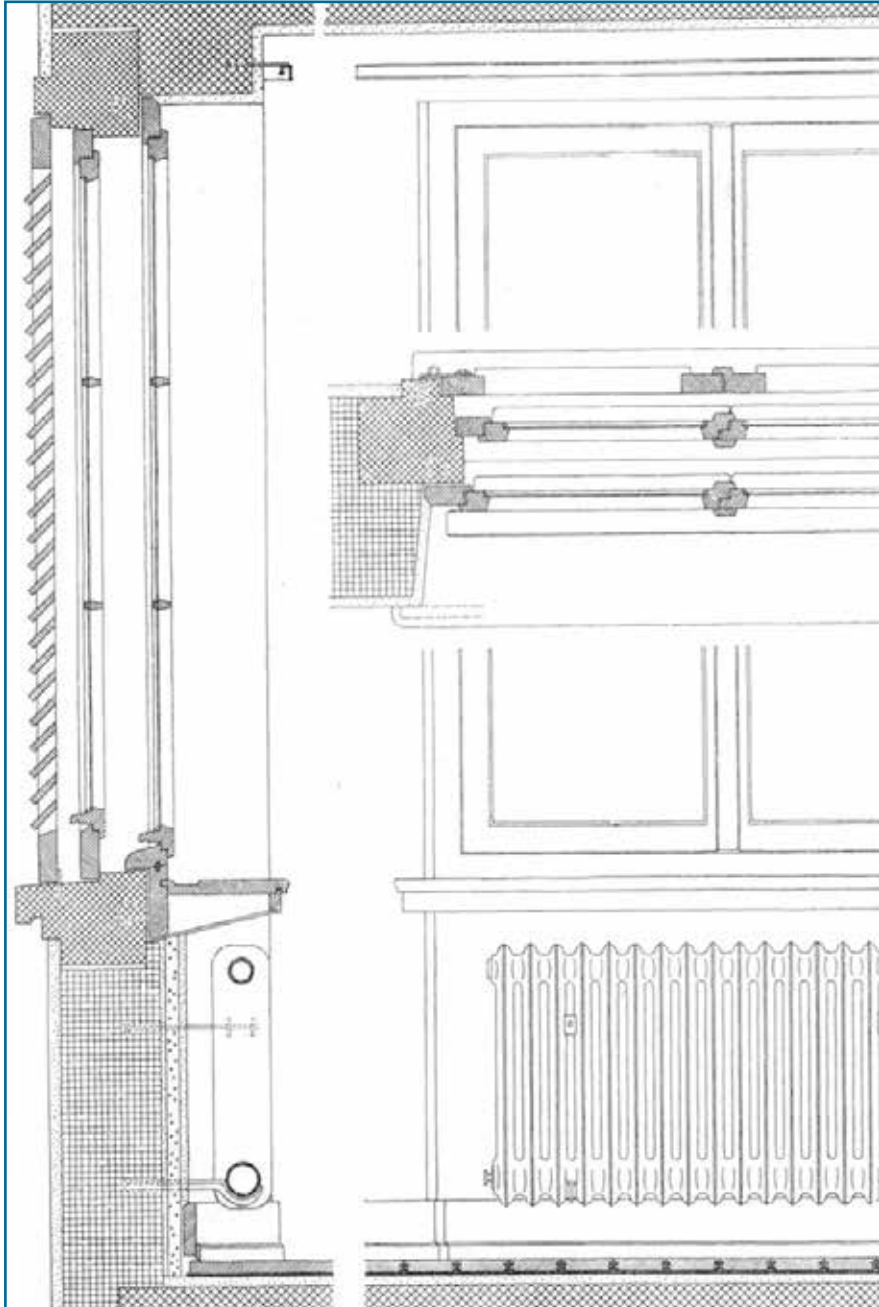


Abbildung 3:  
Einfaches Fenster  
mit Vorfenster  
(vgl. Hess 1949, 269)

## Zargenfenster

Beim Zargenfenster wird der Abstand zwischen den Fensterebenen durch Zargenbretter erzeugt. Das äußere Fenster ist im Mauerwerk befestigt. Am äußeren Blendrahmen sind nun die Zargenbretter eingetütet und an diesen Brettern wiederum der innere Blendrahmen befestigt. Bei dieser Konstruktion werden die inneren Flügel in den wärmeren Jahreszeiten ausgehängt und eingelagert.

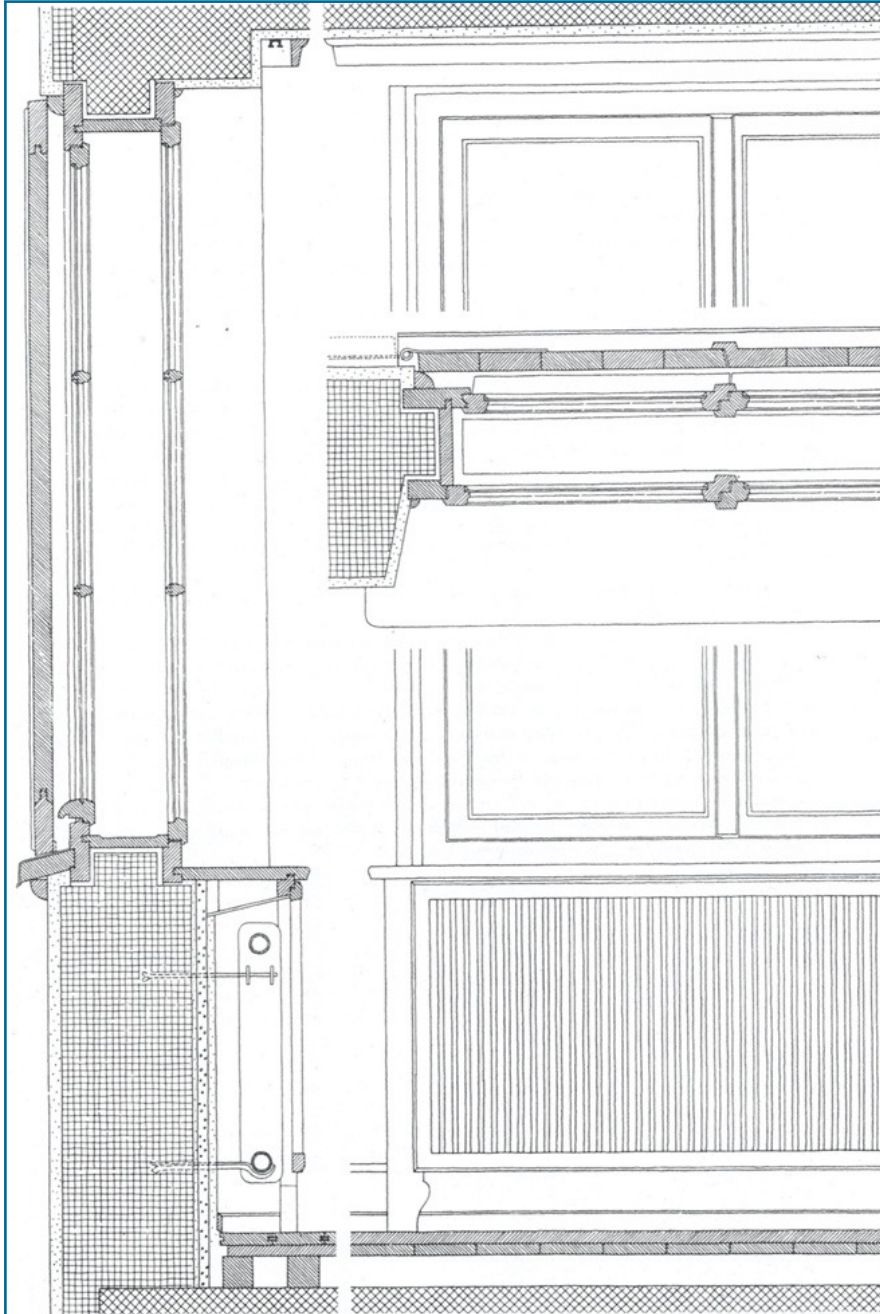


Abbildung 4:  
Zargenfenster  
(vgl. Hess 1949, 271))

### Kastendoppelfenster

Die Konstruktion des Kastendoppelfensters ist der des Zargenfensters sehr ähnlich. Der wesentliche Unterschied besteht darin, dass das Kastendoppelfenster als eine Einheit im Maueranschlag eingebaut ist. So kann es als eine in der Werkstatt komplett montierte Einheit in der Gebäudehülle befestigt werden. Die Montage des Zargenfensters muss dagegen in Einzelteilen (Außenfenster, Zargenkasten, Innenfenster) erfolgen.

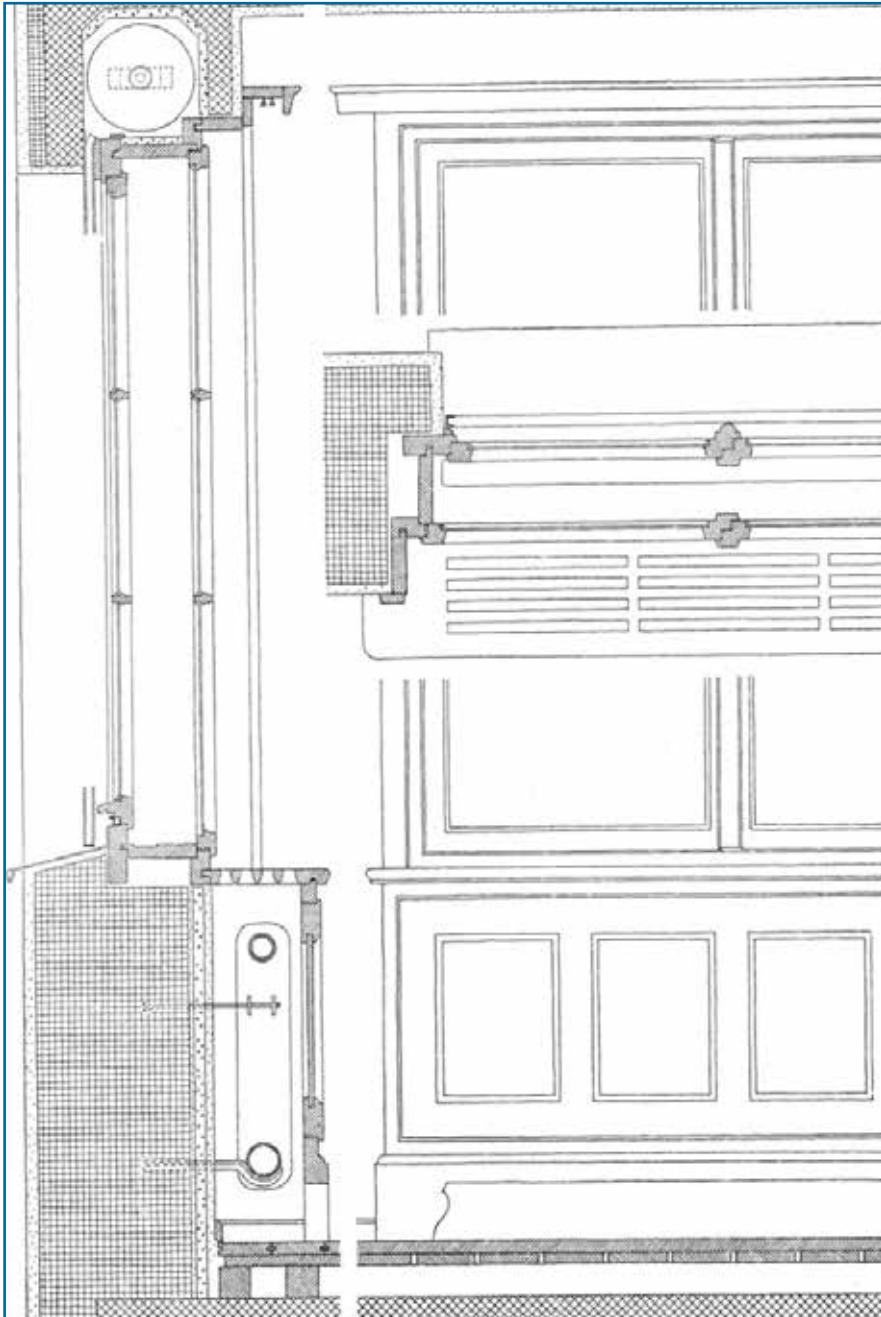


Abbildung 5:  
Kastenfenster mit Rolladen  
(vgl. Hess 1949, 273)

Bei der Konstruktion von Doppelfenstern müssen die Bedienbarkeit und die Öffnung beider Fensterebenen von innen gewährleistet sein. Öffnen beide Fensterebenen nach innen, bedeutet dies, dass das innere Fenster in der Regel größer konstruiert sein muss. Da in der Villa Mutzenbecher die Innenfenster nachträglich eingebaut werden, führt dies bei einigen Fenstern (z.B. dem Venezianischen Fenster) zu Konstruktionen, die von den historischen Vorlagen durchaus abweichen müssen.

Die nachträgliche Montage von Innenfenstern ist ein guter Kompromiss zwischen dem Denkmalschutz und den Anforderungen durch die ganzjährige Nutzung. Das neue innere Fenster erfüllt die oben beschriebenen Anforderungen zur Verringerung der Wärmeverluste, zur Berücksichtigung des Feuchtehaushaltes und zur Luftdichtigkeit der Gebäudehülle sehr gut.

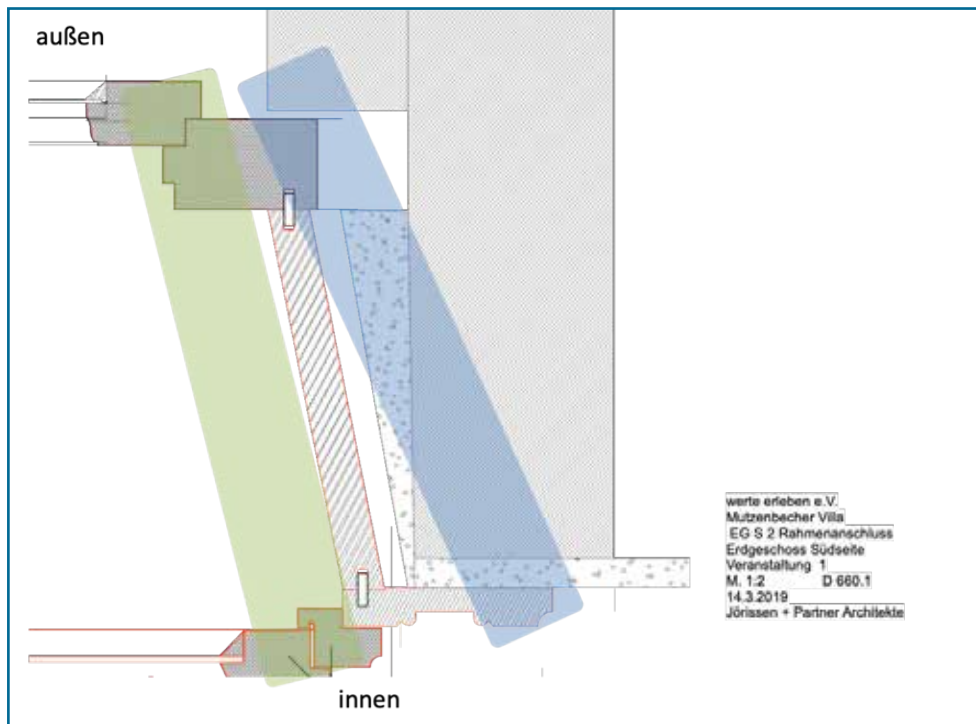


Abbildung 6:  
Dichtungsebenen

Im Anschlussbereich zwischen der Fensterkonstruktion und dem Bauwerk gilt grundsätzlich gilt die Regel ‚innen dichter als außen‘ (blauer Bereich). Dies bedeutet, dass die Luftfeuchtigkeit des Innenraumes nicht in den Anschlussbereich eindringen kann. Die äußere Dichtungsebene muss also diffusions-offener gestaltet sein als die innere Dichtungsebene damit Feuchtigkeit nach außen abgeleitet werden kann (vgl. IFT 2020, 167f). Diese Regel muss auch für die Konstruktion der zusätzlichen Innenfenster berücksichtigt werden. Insofern ist zwischen dem Flügel und dem Blendrahmen des Innenfensters eine umlaufende Dichtung einzuplanen, damit die Fugen der inneren Fensterkonstruktion dichter sind als die Fugen der historischen, äußeren Fenster (grüner Bereich). Die Konstruktion soll zum einen eine Luftdichtigkeit zum Innenraum gewährleisten, dadurch die Wärmeverluste minimieren und durch die diffusionsoffenen Fugen der historischen Außenfenster ein Beschlagen der äußeren Scheiben im Winter verhindern.

Gewerkeschnittstellen lassen sich nach zeitlicher oder räumlicher Verortung und in Anlehnung an Bubenik (2001, S.123) auf dreierlei Art unterscheiden (vgl. Mersch & Rullán Lemke, 2016, S.143ff):

- ▶ bauorganisatorischer Art (A), d.h. die Fachkräfte unterschiedlicher Gewerke arbeiten im gleichen Raum zur gleichen Zeit und nutzen daher z.B. ein gemeinsames Arbeitsumfeld, den Baustrom, Wasser etc.
- ▶ bauablaufbezogener, prozessualer Art (B), d.h. die baulichen Leistungen überschneiden sich zeitlich und produktbezogen nur in geringerem Maße. Die Fußbodenerstellung hat einen speziellen Ablauf, an dem z.B. Estrichleger:in und Parkettleger:in aufeinanderfolgend beteiligt sind.
- ▶ bauteil- oder produktbezogener Art (C), d.h. die Fachkräfte arbeiteten fast zeitgleich sowie räumlich und materiell an einem Bauteil bzw. Bauprodukt zusammen. Z.B sind an einem Blendrahmenanschluss eines Fensters mehrere Gewerke beteiligt.



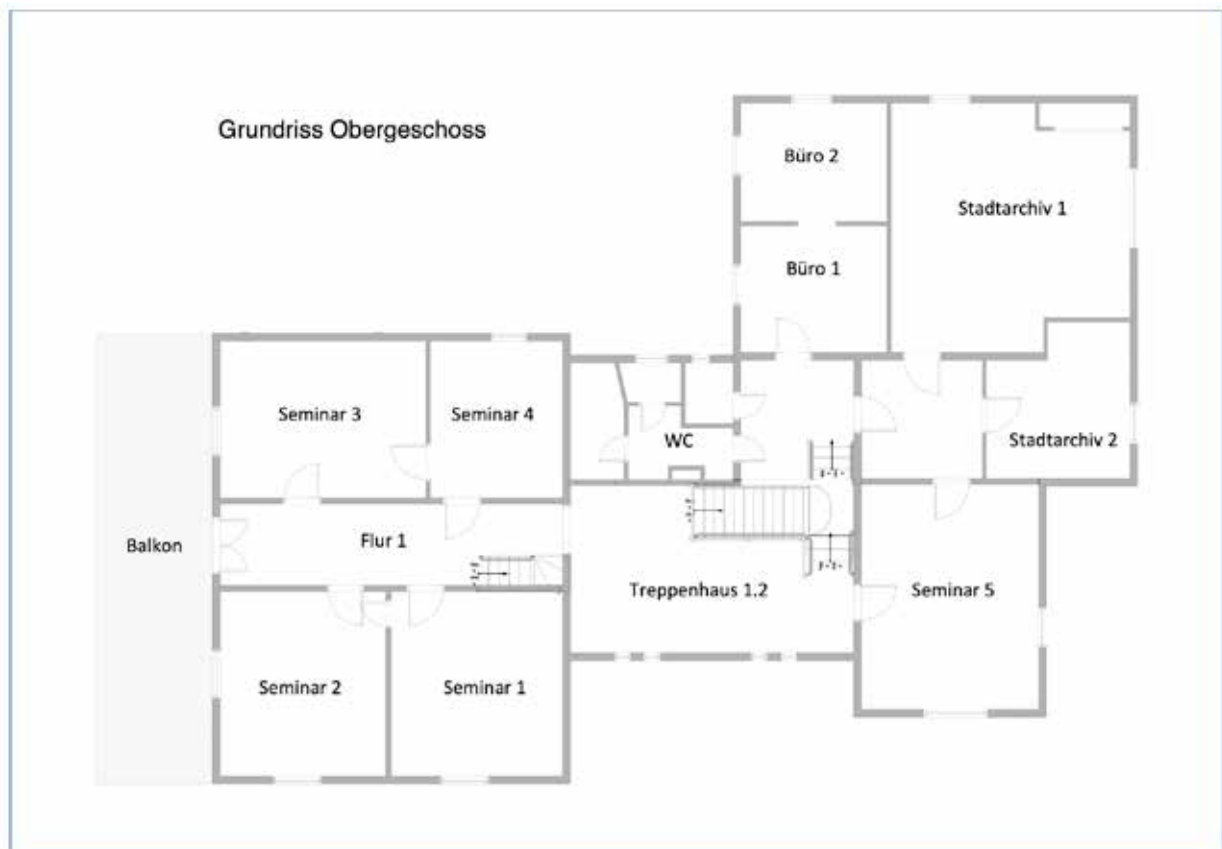
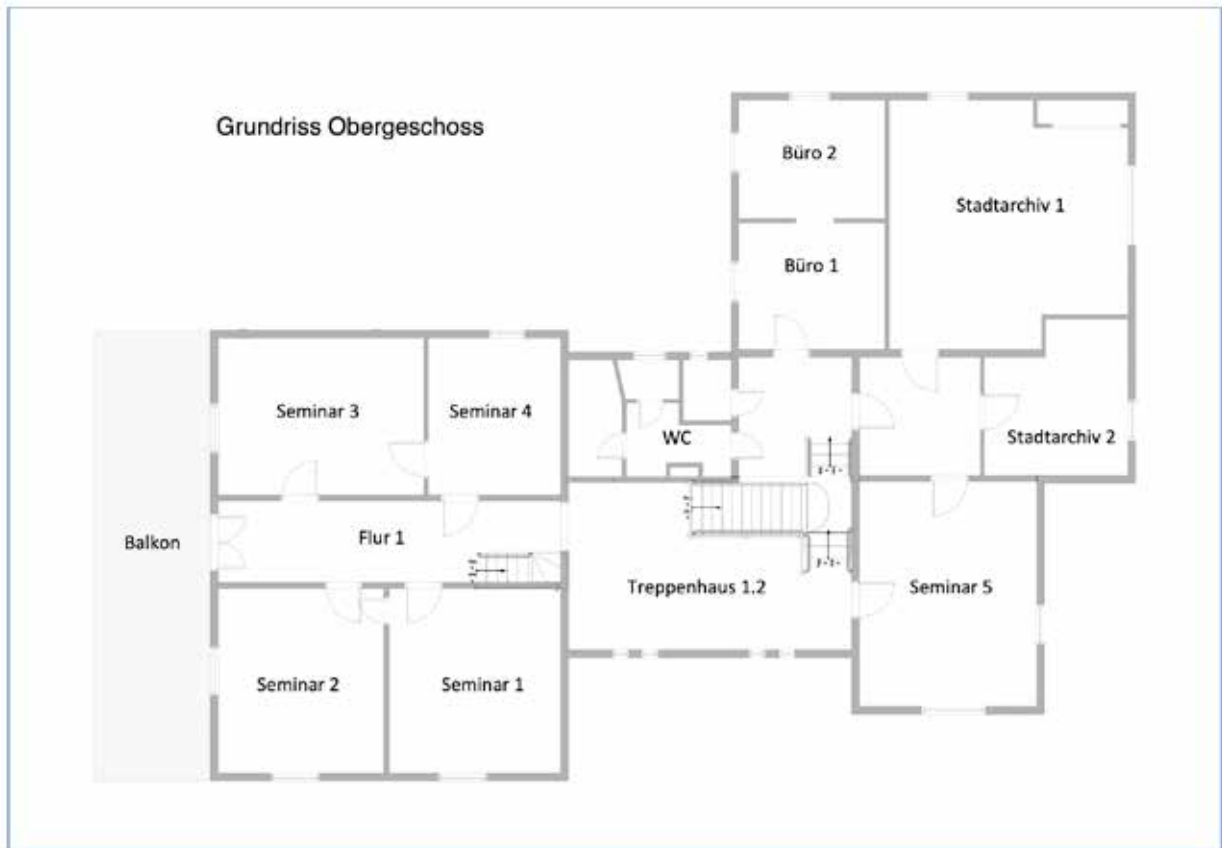
## Auswahl eines Fensterelements

Suchen Sie sich ein Fensterelement anhand der Grundrisse des Erdgeschosses oder des Obergeschosses aus und markieren Sie es im Grundriss. Beachten Sie dabei, dass die verschiedenen Elemente unterschiedliche Schwierigkeitsgrade in der wärmetechnischen Ertüchtigung beinhalten. So ist ein einfaches, zweiflügliges Fenster (z.B. im



Büro 1) deutlich einfacher zu bearbeiten, als das ‚Venezianische Fenster‘ (Seminarraum 5) im ersten Obergeschoss.

Erarbeiten Sie anschließend die ‚Beschreibung und Bauaufmaß des Fensterelements‘ für ihr Fensterelement. Sie können dazu die Vorlagen nutzen oder eigene Dokumente erstellen.





## Beschreibung und Bauaufmaß des Fensterelements

Einbauort (im Grundriss markieren)	
Bauart (z.B. Aufteilung, Drehflügel, Dreh- Kippflügel, usw.)	
Einbauart (z.B. im Mauerfalz, in der Luftschicht, usw.)	
Befestigung am Baukörper, Abdichtung zum Baukörper	
Rahmen- konstruktion	
Eckverbindungen	
Beschläge	
Verglasung	
Oberflächen- beschichtung	
Besonderes	





Die Beschreibung sollte durch Skizzen/Fotos ergänzt werden.



## Wärmetechnische Ertüchtigung

Konstruieren Sie für das von Ihnen ausgesuchte Fenster ein innen liegendes Doppelfenster. Fertigen Sie hierzu alle notwendigen Zeichnungen mit allen fertigungsrelevanten Maßen an. Achten Sie bitte bei der Konstruktion darauf, dass das Bestandsfenster in seiner Funktion nicht eingeschränkt werden darf (Öffnung).

## Literatur

**Freie und Hansestadt Hamburg** – Kulturbehörde – Denkmalschutzamt (2016): Praxishilfe-Denkmalpflege. Hinweise für Architekten und Bauherren. Hamburg.

**Gerner, M.;** Gärtner, D. (1996): Historische Fenster. Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt GmbH.

**Hess, Friedrich** (1949): Konstruktion und Form im Bauen. Stuttgart: Union Druckerei

**Hubel, Achim** (2006): Denkmalpflege. Geschichte, Themen, Aufgaben. Eine Einführung. Ditzingen: Reclam Sachbuch.

**IFT 2020:** Leitfaden zur Planung und Ausführung der Montage von Fenstern und Haustüren für Neubau und Renovierung. Gütegemeinschaft Fenster, Fassaden und Haustüren e.V. Frankfurt.

**Klos, H.** (2012): Restaurierungsethische Grundsätze und ihre baupraktische Umsetzung am Beispiel des Bauteils Fenster. In T. Huckfeldt, U. Arnold, & H. J. Wenk, Holzfenstern und -türen. Band II (S. 213-239). Köln: Rudolf Müller Verlagsgesellschaft.

**Lindlar, Gereon** (2009): Konservierung – Restaurierung – Rekonstruktion. In: T. Huckfeldt, H.-J. Wenk (Hrsg.): Holzfenster. (S. 257 – 264). Köln: Rudolf Müller Verlagsgesellschaft.

**Schmidt, W.** (2004): Denkmalpflege Informationen. Reparatur historische Holzfenster. München: Bayrisches Landesamt für Denkmalpflege.

**Schulze, J.** (2003): Das Fenster in der Denkmalpflege. In H. R. Neumann, Fenster im Bestand. Rennigen: expertverlag.

**Singelmann, Tim** (2019): Planung einer schall- und wärmeschutztechnischen Ertüchtigung für ein Bestandsfenster in der Villa Mutzenbecher unter Berücksichtigung denkmalpflegerischer Aspekte. In: **W. Kuhlmeier, A. Zopff, S. Schütt-Sayed, I. Höfert** (Hrsg.): Schriftenreihe Villa Mutzenbecher – Berufliche Bildung und Nachhaltigkeit. Sanierung von Fenstern und Türen: Drei Beispiele. (S. 65 – 106). Hamburg

**Wohlleben, Marion und Sigfried Moeri.** Energie und Baudenkmal. Ein Handbuch Band II Fenster und Türen. Herausgeber: Kantonale Denkmalpflege Bern und Kantonale Denkmalpflege Zürich. Bern, 2014.

Zweiter Internationaler Kongress der Architekten und Denkmalpfleger (1964/1989): Charta von Venedig. [http://www.dnk.de/uploads/media/135\\_1964\\_Charta\\_von\\_Venedig.pdf](http://www.dnk.de/uploads/media/135_1964_Charta_von_Venedig.pdf). Zuletzt aufgerufen am 2.12.2019