



ENERGIE UND BAUDENKMAL

# Fenster und Türen







## Energie und Baudenkmal. Ein Handbuch

### Impressum

<b>Herausgeber</b>	Kantonale Denkmalpflege Bern und Kantonale Denkmalpflege Zürich
<b>Steuerungsausschuss</b>	Michael Gerber, Peter Baumgartner
<b>Projektleitung</b>	Siegfried Moeri, ADB Büro für Architektur, Denkmalpflege und Baugeschichte, Burgdorf
<b>Autorinnen und Autoren</b>	Dr. Marion Wohlleben, Kunsthistorikerin Zürich Siegfried Moeri, dipl. Arch. ETH, Architekturhistoriker Burgdorf unter Mitarbeit von: Nicole Müller, Projektleiterin nachhaltiges Bauen, CSD Ingenieure Bern Bruno Schletti, CSD Ingenieure Bern
<b>Fachexperten</b>	Ernst Baumann, Bauphysiker Bazenheid, Richard Widmer, Haustechnikingenieur Wil (SG) Randi Sigg-Gilstad, Kantonale Denkmalpflege Bern, und Roger Strub, Kantonale Denkmalpflege Zürich
<b>Lektorat</b>	by the way communications AG, Bern
<b>Layout und Gestaltung</b>	Paola Moriggia, Grafik & Webdesign, Bern

## Energie und Baudenkmal. Ein Handbuch

«Besonnenheit» ist ein Begriff, der heutzutage leider ein klein wenig aus der Mode gekommen ist. Dabei ist er in der vielfach äusserst emotional und hitzig geführten Energiedebatte rund um die Baudenkmäler recht passend und damit eigentlich bereits wieder trendig.

Es ist offenkundig, dass der gesellschaftliche wie auch der politische Druck, handeln zu müssen – insbesondere nach Fukushima –, sukzessive gewachsen ist. Diese Last bekommen direkt auch die Denkmäler zu spüren. Sie müssen plötzlich, wie jedes x-beliebige Bauwerk, als energiepolitische Aushängeschilder erhalten und werden dreifachverglast, geschäumt und anderweitig eingepackt oder mit Kollektoren bedeckt. Vielerorts sind dafür in einer irritierend hektischen Betriebsamkeit Gesetze gelockert, Verordnungen aufgeweicht und eine beeindruckende Menge an Merkblättern verfasst worden.

Sie ist selbstverständlich unbestritten, die laute Forderung nach einem massvollen Umgang mit der Energie. Es soll aber besonnen – also umsichtig, gelassen, gründlich und sorgfältig – darüber nachgedacht werden können, welche Rolle die verschwindend kleine Zahl an Denkmalschutzobjekten dabei spielen soll. Parallel dazu müsste eigentlich zwingend eingefordert werden, dass die ganze Massnahmenpalette auf die übrigen 95–98 % nicht schützenswerten Gebäude (je nach Kanton) angewandt wird.

Das heisst nun beileibe nicht, dass nicht auch die Denkmäler selbst einen Beitrag leisten können, natürlich ohne dem Objekt schweren Schaden zuzufügen. Nicht verhindern, sondern ermöglichen, dies aber mass- und respektvoll.

Davon handelt dieses Handbuch. Es ist kein allumfassendes Nachschlagewerk und damit kein Werkzeugkasten für Heimwerker. Es ist auch keine rechtsverbindliche Richtschnur – dafür sind die kantonalen Gesetzgebungen und Bauvorschriften zu verschieden. Es ist vielmehr ein Werk, das zum Nachdenken über den Energiehaushalt am und im Gebäude anregen soll, es zeigt eine Vielzahl von Möglichkeiten (und notabene auch Grenzen), es ist also eine Art Vorschlagewerk. Damit mit Besonnenheit auf eine qualitätvolle Umwelt, die natürliche wie die gebaute, hingearbeitet werden kann.

Michael Gerber  
Denkmalpfleger des Kantons Bern

Beat Eberschweiler  
Denkmalpfleger des Kantons Zürich

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einführung</b>	<b>6</b>
Erhalten und sparen	7
Gemeinsamkeiten und Konflikte	7
Kompensation für nicht zu erreichende Energiewerte	9
Lösungsfindung – ein interdisziplinärer Prozess	9
<b>2. Baudenkmal und Energie – Grundlagen</b>	<b>10</b>
<b>2.1 Historische Bauten und Energie</b>	<b>11</b>
Bauen mit dem Klima und den vorhandenen Ressourcen	11
Erfindungsreichtum und Baukultur	12
Baudenkmal und energetische Verbesserung	13
<b>2.2 Auftrag und Grundsätze der Denkmalpflege</b>	<b>14</b>
Denkmäler sind Zeugen und widerspiegeln die Vielfalt der Geschichte	14
Schutz und Prävention	14
Denkmalpflegerische Grundsätze	14
<b>2.3 Grundlagen Energie</b>	<b>16</b>
Energie	16
Energiebilanz am Gebäude	17
<b>3. Nichtbauliche Massnahmen zur Senkung des Energieverbrauchs</b>	<b>19</b>
<b>3.1 Einführung</b>	<b>20</b>
Energiesmessung	20
Energiebuchhaltung	20
<b>3.2 Nutzer und Nutzung</b>	<b>21</b>
Bedürfnisse der Nutzer	21
Behaglichkeit und Komfort	21
<b>3.3 Gebäudebewirtschaftung</b>	<b>22</b>
Technische Betriebsoptimierungen	22
Optimierungen im Bereich Wärmeerzeugung	22
Optimierungen im Bereich Raumheizung	23
Optimierungen im Bereich Brauchwasser	23
Optimierung im Bereich Beleuchtung	23
Optimierung von Geräten	23
Wartung, Unterhalt und Ersatz von Anlageteilen	23

<b>4. Energetische Nachbesserung von Fenstern und Aussentüren, Fensterersatz</b>	<b>24</b>
<b>4.1 Zur Geschichte des Fensters</b>	<b>25</b>
Zur Geschichte des Fenterglases	28
Bedeutung von Glas am Baudenkmal	29
Verbindungen Glas – Rahmen	29
<b>4.2 Bauphysikalische Aspekte des Fensters</b>	<b>31</b>
Wärmeverluste durch die Fenster	31
Luftdichtigkeit und Lüftung	32
<b>4.3 Denkmalpflegerische Grundsätze für die Fenstererhaltung</b>	<b>33</b>
<b>4.4 Massnahmen zur energetischen Verbesserung von Fenstern</b>	<b>33</b>
Vorgehen	33
Massnahmen – Übersicht	34
Technische Hinweise zur Fensterreparatur	35
Einsatz von beschichteten Gläsern bei EV- und DV-Fenstern	38
<b>4.5 Fensterersatz und Fensterrekonstruktion</b>	<b>39</b>
<b>4.6 Temporäre Schutzvorrichtungen</b>	<b>42</b>
<b>4.7 Aussentüren (Haustüren)</b>	<b>43</b>
Bildnachweise	46
Literaturauswahl	47

# 1. Einführung

## Erhalten und sparen

Mit der vorliegenden Publikation «Energie und Baudenkmal» verfolgen wir das Ziel, den Erhaltungsauftrag der Denkmalpflege mit den neuen Anforderungen des Klimaschutzes bestmöglich in Einklang zu bringen. Denkmalpflege soll den Denkmalbestand in Substanz und Wirkung erhalten und möglichst unversehrt überliefern. Klimaschutz soll die Treibhausgase, die durch Verbrennung fossiler Energieträger entstehen, reduzieren und so eine weitere Erderwärmung verhindern. Beides sind öffentliche Belange, die durch Bundesrecht (Natur- und Heimatschutzgesetz NHG und Energiegesetz) sowie durch kantonale Gesetze und Verordnungen geregelt sind. Für den Denkmalschutz sind Eingriffe am Baudenkmal nur zulässig, wenn sie es weder in seiner materiellen Substanz schädigen noch in Gestalt und Wirkung beeinträchtigen – ein Grundsatz, der durch den notwendigen Klimaschutz nicht ausser Kraft gesetzt wird.

Allerdings fordert die gleichzeitige Umsetzung beider Belange eine Reihe von Kenntnissen, und zusätzlich sind Flexibilität und guter Wille notwendig, um zu guten Lösungen zu kommen. Weil alte Bauten anders funktionieren als Neubauten, ist es für die energetische Sanierung wichtig, über historische Bauweisen und das bauphysikalische Verhalten von Altbauten Bescheid zu wissen. Alles auf diesem Gebiet Wissenswerte wurde für dieses Handbuch zusammengetragen. Es soll für Denkmal- und Sanierungsfachleute und für interessierte Nichtfachleute ein nützliches Kompendium für die energetische Optimierung historischer Bauten sein. Die hier zusammengestellten Informationen über Massnahmen, Materialien und Techniken sind das Ergebnis langjähriger Beratungstätigkeit in der Baudenkmalpflege. Alle hier beschriebenen Sanierungsmethoden und -mittel beruhen auf praktischen Erfahrungen. Sie sollen eine verlässliche Grundlage und notwendige Orientierung auf dem Gebiet der energetischen Bausanierung bieten. Folglich werden nur solche Massnahmen empfohlen, die aus denkmalpflegerischer Sicht für den Einsatz am Baudenkmal geeignet sind und sich langfristig bewährt haben.

Unter Baudenkmal oder Schutzobjekt werden hier alle rechtlich geschützten Bauten und Anlagen verstanden ebenso die in den Inventaren des Bundes, der Kantone und Gemeinden sinngemäss als erhaltenswert oder schützenswert verzeichneten Bauten und Anlagen – Einzelbauten, Gruppen von Bauten und Ensembles. Aufgrund ihrer historischen Bedeutung bedürfen sie eines besonderen, schonenden und angemessenen Umgangs.

Der zahlenmässige Anteil von Baudenkmalern am Gesamtbaubestand ist sehr gering. Im Schweizer Durchschnitt beträgt er ungefähr zwei bis drei Prozent. Im

Kanton Bern ist diese Zahl etwas höher, weil hier die Bauten zweier Schutzkategorien, schützenswert und erhaltenswert, zusammengezählt werden. Bauten der Kategorie erhaltenswert unterliegen in der Praxis weniger strengen Auflagen und haben einen grösseren Veränderungsspielraum.

Da der Denkmalbestand insgesamt klein ist, bedeutet das, dass die von ihm verbrauchte Energiemenge wie auch die mit ihm zu realisierenden Einsparmöglichkeiten vergleichsweise gering sind. Dieser Tatsache sollte man sich bewusst sein, besonders wenn es um schwer zu optimierende Bauten geht. In den meisten Fällen lassen sich aber auch bei Baudenkmalern durch intelligent geplante Massnahmen ansehnliche energetische Verbesserungen erreichen. Noch weniger Schwierigkeiten bereitet in dieser Hinsicht der allgemeine Baubestand. Doch auch hier sollte man bedenken, dass nicht jede Massnahme überall gleich sinnvoll ist. Die auf technische Innovation angelegten Bereiche Verkehr, Industrie und Elektronik sind viel flexibler und bieten mehr Möglichkeiten zur Kompensation. Daher kann man ihnen auch mehr zutrauen und zumuten als dem auf Dauer angelegten Baubestand. Durch Forschung und Entwicklung ist der technische Bereich weit besser geeignet, alternative Energiegewinnung und Speicherung voranzutreiben und Energie einzusparen. Damit ein hohes Gut wie das Klima nicht um den Preis eines anderen hohen Gutes, der Baukultur, erkaufte wird, braucht man verantwortungsvolle und auf lange Sicht angelegte Konzepte. Die Klimaziele lassen sich letztlich nur durch einen ressourcenschonenden Umbau der Wirtschaft zur Nachhaltigkeit sowie durch die individuelle und gesellschaftliche Veränderung des sorglosen und verschwenderischen Konsum- und Mobilitätsverhaltens erreichen. Schonender Umgang mit dem Bestand, der Reparatur und Reversibilität sind von jeher Grundsätze und Arbeitsmethoden der Denkmalpflege und sie sind auch ein Beitrag zur Nachhaltigkeit.

## Gemeinsamkeiten und Konflikte

Denkmalschutz und Klimaschutz erscheinen zwar zuweilen als Gegensätze, doch haben sie bei genauerer Betrachtung auch wesentliche Gemeinsamkeiten: Für beide steht der Schutz nicht erneuerbarer Ressourcen im Vordergrund. Für beide sind also Erhalten und Sparen zentral. Während man die Endlichkeit und Gefährdung natürlicher Ressourcen wie Erdöl, saubere Luft oder sauberes Grundwasser grundsätzlich erkannt zu haben scheint, steht es mit dem Verständnis für die Gefährdungen der menschengemachten, kulturellen Ressourcen schlechter, oft fehlt es ganz. Das zeigt sich beispielsweise in der nicht seltenen Behauptung, Denkmalschutz verhindere einen wirksamen Klimaschutz. Mag sich das in einzelnen Fällen auch so darstellen, so ist aufs Ganze gesehen der Einsatz für Bauerhaltung und Baupflege



das genaue Gegenteil von Verhinderung: Die Erhaltung bestehender Bauten, insbesondere von Baudenkmälern mit ihrer historischen Zeugenschaft und ihren zumeist natürlichen Baumaterialien, trägt zur Ressourcenschonung bei. Vor allem Massivbauten, aber auch Holzkonstruktionen aus vor- und frühindustrieller Zeit, erfüllen Nachhaltigkeitskriterien wie Dauerhaftigkeit, Stabilität, Speicherfähigkeit oder Schadstofffreiheit. Das macht ihre Erhaltung ökologisch und ökonomisch sinnvoll. Ihre Reparaturfähigkeit hat gegenüber Abbruch und Neubau den Vorteil, dass Bauschutt vermieden wird, zusätzliche Energie für Entsorgung und Neubau entfällt und keine neuen Emissionen produziert werden.

Da im Klimaschutz die Gesamtenergiebilanz zählt, ist es zweitrangig, wo die schädlichen Emissionen eingespart werden. Es ist also durchaus im Sinn von Effizienz und Optimierung, wenn für energetische Verbesserungen nach dem dafür am besten geeigneten Standort gesucht wird, um nicht nur ein Ziel zu erreichen, sondern zusätzlich noch Substanzschonung, Erhaltung der ästhetischen Wirkung sowie Vermeidung bauphysikalischer Schäden. Die Gesamtbilanz begnügt sich nicht mit einer Momentaufnahme des aktuellen Energieverbrauchs; sie ist das Ergebnis des ganzen Energieeinsatzes, von der Erstellung eines Produkts bis zur Entsorgung. Aus dieser Perspektive müssen historische Bauten und ihre langdauernde Existenz zwangsläufig eine Neubewertung erfahren. Die einseitige Fixierung auf die Defizite von Altbauten ist nicht länger haltbar, denn ihre Leistungen und Potenziale, die sich auf die Gesamtenergiebilanz positiv auswirken, bleiben fast immer unberücksichtigt. Die Gesamtbilanz beinhaltet darüber hinaus die in Altanlagen gespeicherte graue oder kumulierte Energie, also die Energiemenge, die für Herstellung, Transport, Lagerung, Verkauf und Entsorgung benötigt wird. Dabei werden auch alle Vorprodukte bis zur Rohstoffgewinnung berücksichtigt und der Energieeinsatz aller angewandten Produktionsprozesse addiert. Das gilt freilich für den gesamten Baubestand, nicht nur für Baudenkmäler. Deshalb sollte mit dem Baubestand als Teil der langfristigen Baukultur rücksichtsvoll umgegangen werden, ganz so wie mit dem Klima als Teil der Umwelt. Die daraus abzuleitende Konsequenz müsste lauten, Baukultur und Umwelt schonend zu nutzen, angemessen zu bewirtschaften und keinesfalls zu verbrauchen.

Denkmalschutz und Klimaschutz können folglich als zwei Facetten eines gemeinsamen Interesses betrachtet werden. Es ist das allgemeine Interesse am Fortbestand einer vielfältigen, natürlichen und kulturellen Umwelt – auch wenn die Ansichten über den besten Weg dorthin sich zuweilen unterscheiden und zu Konflikten führen. Vielfach sind kurzfristige Interessen der Grund. Aber Klima und Baukultur sind alles andere als kurzlebige Konsumartikel. Wenn wir sie erhalten wollen, bedürfen sie der Rücksicht und Weitsicht. Deshalb werden auch

die Vertreter anderer Interessen nicht umhinkommen, nach gemeinsam gangbaren Wegen zu suchen und Kompromisse einzugehen. Dabei müssen allerdings die Werte und Verluste bedacht werden, die auf dem Spiel stehen. Energetische Sanierung von Baudenkmälern lässt sich auf ganz unterschiedliche Weise realisieren, je nachdem hat man die Wahl zwischen betrieblichen, technischen und baulichen Massnahmen. Das Gebiet der Sanierung entwickelt sich laufend weiter und erlaubt schon heute verschiedene Szenarien. Dagegen gibt es zum Unikat Baudenkmal keine Alternative, Verluste lassen sich nicht kompensieren. Ein falscher Kompromiss geht schnell auf Kosten der historischen Substanz und der Denkmaleigenschaft. Darum sind Massnahmen, die ein Risiko für das Baudenkmal darstellen, keine Option. Baudenkmäler sind als Experimentierfeld ungeeignet.

Um Konflikte zu vermeiden, die sich aus unterschiedlichen Interessen ergeben können, empfiehlt es sich, die gemeinsame Grundlage zu verbreitern, auf der sich ein gutes Konzept aufbauen lässt. Damit sich eine geplante energetische Sanierung mit dem historischen Gebäude wirklich verträgt, müssen die Akteure den Bestand mitsamt seinen Stärken und Schwächen gut kennen. Man sollte sich deshalb nicht vorzeitig auf Art und Umfang einer Massnahme oder auf bestimmte Produkte festlegen, ebenso wenig wie auf konkrete Werte (U-Werte) und Gewinnerwartungen. Wichtigste Voraussetzung für das Gelingen einer energetischen Optimierung ist, dass die Massnahmen und ihre Ausführung genau auf das jeweilige Gebäude abgestimmt werden – das ist Massarbeit. Leider eignen sich die für den Neubau entwickelten marktgängigen Produkte und Angebote zur Energieeinsparung für den Einsatz im Baudenkmal oft nur bedingt. Sie können selten *tel quel* eingesetzt werden. Denn Baudenkmäler unterscheiden sich nicht nur wesentlich von Neubauten, sie sind auch untereinander sehr verschieden – hinsichtlich ihrer schutzwürdigen Eigenschaften ebenso wie hinsichtlich ihrer energetischen Situation. Aus diesem Grund gibt es auch kein Sanierungsrezept, nach dem alle Baudenkmäler auf die gleiche Art und Weise energetisch zu optimieren wären.

Wohl gibt es aber eine Reihe von Massnahmen, die in den meisten Fällen durchgeführt werden können und die eine spürbare Verbesserung der Energiebilanz bewirken, ohne dem Schutzobjekt zu schaden. Im Vordergrund stehen hier die nicht oder nur wenig invasiven, also betrieblichen und organisatorischen Massnahmen. Sie bilden einen Schwerpunkt der vorliegenden Publikation. Eine der wichtigsten Entscheidungen betrifft die Wahl eines effizienten Heizsystems, weil ein Grossteil der CO<sub>2</sub>-Emissionen durch veraltete Heizungen verursacht wird. Es werden sodann verschiedene Massnahmen und Techniken erläutert, die mit einem Baudenkmal in der



Regel kompatibel sind und zur Einsparung beitragen. Ihre Funktions- und Wirkungsweise wird dargestellt, Vorzüge und Nachteile werden kritisch geprüft. So weit möglich, werden für bestimmte Situationen Massnahmen empfohlen.

Diese Informationen für den Spezialbereich Energiesparen im Baudenkmal sollen als Orientierung auf einem schwierigen Markt dienen, der nicht auf Baudenkmäler zugeschnitten ist und immer unübersichtlicher wird. Ein Handbuch kann jedoch nur Grundwissen liefern; die direkte Bauberatung kann es nicht ersetzen. Vor einer geplanten Sanierung wird daher empfohlen, frühzeitig mit der zuständigen Beratungsstelle der Denkmalpflege Kontakt aufzunehmen, um notwendige Schritte gemeinsam zu planen und dadurch Zeit und Kosten zu sparen sowie böse Überraschungen zu umgehen. So lassen sich Konflikte vielleicht nicht ganz vermeiden, wohl aber in den meisten Fällen doch zur Zufriedenheit der Beteiligten und zum Besseren des Baudenkmals lösen.

## Kompensation für nicht zu erreichende Energiewerte

Eine energetische Sanierung von Baudenkmälern erreicht nicht die gleichen Ziele wie ein nach neuesten Erkenntnissen und Energierichtwerten erstellter Neubau. Zwar existieren durchaus Baudenkmäler, welche die geforderten Normwerte bereits heute erreichen. Doch steht bei unserer Gebäudegruppe eindeutig die Verbesserung der Energiebilanz im Vordergrund und die lässt sich, anders als Normwerte, so gut wie immer erreichen.

Es muss auch kein Grund zur Sorge sein, wenn das gewünschte oder geforderte Sparziel aufgrund baulicher, technischer oder sonstiger Gegebenheiten nicht erreicht werden kann. Unter dem Aspekt der Gesamtenergiebilanz sollte eine entspannte Sicht auf das einzelne Bauteil möglich sein. Tatsächlich fordern die Vorgaben der 2000-Watt-Gesellschaft keine bestimmten Einzelmassnahmen. Es geht dabei vielmehr um die von einer Person verbrauchte Gesamtenergiemenge, egal in welchem Lebensbereich. Energetische «Schwachstellen» im Baudenkmal lassen sich durch betriebliche oder organisatorische Massnahmen ausgleichen bis hin zu Veränderungen der Art oder Intensität der Nutzung. Solaranlagen lassen sich auf einem Nebengebäude oder besser auf den Flachdächern im nahen Gewerbegebiet effizient konzentrieren. Nicht zuletzt sind auch der Bezug von Ökostrom oder der Umstieg auf den öffentlichen Verkehr Möglichkeiten, die persönliche Energiebilanz zu verbessern und Emissionen zu reduzieren. Hier bedarf es einer weit grösseren Flexibilität von Seiten der Gesetzgeber, und es braucht andere Berechnungsmodelle (z.B. ein Bonus-system), um den Druck von Gebäuden zu nehmen, die ihm nicht standhalten können.

## Lösungsfindung – ein interdisziplinärer Prozess

Die energetische Sanierung eines Baudenkmals ist eine anspruchsvolle Aufgabe, bei der viele verschiedene Aspekte zu berücksichtigen sind. Lösbar ist sie nur durch die Zusammenarbeit von Fachleuten verschiedener Richtungen – Architektur, Bauphysik, Denkmalpflege u. a. –, die ausser ihrem Fachwissen auch einschlägige Erfahrung im Umgang mit historischen Bauten und Konstruktionen mitbringen müssen. Das angestrebte Ziel ist es, den erhaltenswerten Bestand mit den Wünschen der Nutzer und mit notwendigen energetischen Sanierungsmassnahmen so gut wie möglich in Einklang zu bringen und die beste Lösung für Baudenkmal, Klimaziele und Bauherrschaft zu finden. Für eine gute Planung und ein gemeinsames Konzept müssen den Beteiligten die wichtigsten Grundlagen bekannt sein. Dazu gehören die historische Bedeutung des Ganzen oder einzelner Teile, die den Denkmalwert begründen, genauso wie technische Daten und Fakten zur Nutzung, zum Verbrauch (Heizmaterial- und Energieverbrauch) oder zum Feuchtehaushalt. Der Art und Intensität der Nutzung und dem Nutzerverhalten muss beim Energiesparen eine grössere Rolle beigemessen werden als bisher, denn die Energie wird nicht vom Gebäude, sondern von seinen Nutzern verbraucht. Beim historischen Gebäude müssen die Sanierungsmassnahmen auf den Bestand zugeschnitten und den Gegebenheiten angepasst werden, während der Neubau einheitliche und berechenbare Ausgangsbedingungen schafft, mit denen gerechnet werden kann. Dem historischen Gebäude müssen sich Massnahmen und Bewohner in bestimmtem Umfang anpassen. Eine erfolgreiche Sanierung ist diejenige, die es gelingt, die historische Substanz in gutem Zustand zu erhalten und eine auf lange Sicht angelegte energetische Verbesserung zu erreichen. Beides trägt, anders als kurzfristige Gewinnerwartung, zur Nachhaltigkeit bei.

### Konventionen

Definitionen

Exkurse

Akzente

# 2. Baudenkmal und Energie – Grundlagen

## 2.1 Historische Bauten und Energie

Um ein Baudenkmal energetisch nachzurüsten, ohne ihm zu schaden, ist es notwendig, seine Funktionsweise zu kennen, vor allem das Zusammenspiel von Bauweise, Lüftung und Heizung einerseits und Raumklima, Temperatur und Feuchtehaushalt andererseits. Das Gebäude muss als Einheit betrachtet und behandelt werden, nicht als Konglomerat voneinander unabhängiger Bauteile. Nur wenn man versteht, wie das Ganze funktioniert, können Sanierungsfehler vermieden werden. Wie man baute, das hatte sich zu jeder Zeit auch nach den zur Verfügung stehenden Energieressourcen zu richten. Zwischen Bauweise und Energie besteht also ein Zusammenhang, nicht selten handelt es sich dabei um ein Gleichgewicht, das durch unbedachte Eingriffe empfindlich gestört werden kann – mit negativen Folgen für das Objekt.

Trotz der Eigenarten, durch die sich Bauten voneinander unterscheiden und die bei jeder Sanierung gesondert zu berücksichtigen sind, gibt es auch viele Gemeinsamkeiten. Sie zu kennen erleichtert nicht nur jede Sanierungsplanung. Kenntnisse der Grundlagen der historischen Baupraxis sowie der allgemeinen Grundsätze der Denkmalpflege, die für alle Baumassnahmen am Baudenkmal gelten und für eine energetische Optimierung nicht ausser Kraft gesetzt werden, helfen mit, unangenehme und kostspielige Fehler zu vermeiden. Das Ziel, Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) zu reduzieren, lässt sich nicht nur auf die heute geförderte, sondern auf vielfältige Art und Weise erreichen. Die Förderung von Massnahmen zum Energiesparen sollte sich daher nach der tatsächlich erreichten Reduktion der verbrauchten Energiemenge richten und nicht nach der Umsetzung von Massnahmen, deren effektive Wirkung oft gar nicht messbar ist oder ungeprüft bleibt. Anders gesagt: Energetische Optimierung soll in erster Linie das Normenziel der Reduktion erfüllen, nicht abstrakte Normwerte.

«In Zeiten, als es so etwas wie Technische Gebäudeausrüstung noch nicht gab, waren die Baumeister darauf angewiesen, alle möglichen Überlegungen anzustellen, alle möglichen natürlichen Energiequellen auszubeuten, um Gebäude im Innern nutzbar zu machen», schreibt der Architekt und Bauklimatiker Jürgen Roloff<sup>1</sup>. Immerhin führten diese Überlegungen zur Entwicklung vielfältiger, langlebiger und anpassungsfähiger Bautypen und Bauten – zu unserer Bautradition. Baustoffe, in der Regel natürliche wie Holz, Stein, Ziegel usw., und Bauweise sind aufeinander abgestimmt. Die Bauten folgen einer konstruktiven Logik<sup>2</sup>. Deren gründliche wissenschaftliche Erforschung steckt zwar noch in den Anfängen. Es liegen jedoch genügend Einzeluntersuchungen und Erfahrungswerte vor, die belegen, dass die Veränderung

einzelner Elemente, zum Beispiel des Raumklimas, sich destabilisierend auf das gesamte Gefüge oder einzelne Teile auswirken kann. Ein Dachausbau oder der Ersatz aller Fenster bewirken Veränderungen sowohl im Wärme- wie auch im Feuchtehaushalt, deren Folgen zuvor bedacht und abgeschätzt werden müssen. Besonders sind Systemwechsel – von Bautechniken und Materialien – auf ihre Auswirkungen auf das Ganze hin zu prüfen. Beim Baudenkmal dürfen keine Risiken eingegangen werden, und im Zweifelsfall muss eine zu erwartende schadensträchtige Massnahme unterlassen und nach einem anderen Weg gesucht werden. Baudenkmäler können, anders als Neubauten, nicht alle heutigen Energiezielwerte erfüllen. Damit aber auch eine energetische Optimierung nicht auf Kosten der Denkmalerhaltung erreicht wird, sind Flexibilität und die Bereitschaft zur Anpassung des Nutzerverhaltens an die baulichen Gegebenheiten gefragt sowie der Ausgleich durch kompensatorische Massnahmen.

### Bauen mit dem Klima und den vorhandenen Ressourcen

Baumeister kamen früher nicht umhin, sich an das jeweilige Klima und die vorhandenen Ressourcen anzupassen. «Ökologisches Bauen» ist daher keine Errungenschaft der zeitgenössischen Architektur. Schutz vor Witterung und optimale Ausnutzung von Aussenklima und Energiequellen waren beim Bauen wichtige Ziele zur Erreichung eines angenehmen Raumklimas. Topografische Gegebenheiten wurden möglichst ausgenutzt, und der überlegte Einsatz des Baumaterials war eine Notwendigkeit. In vorindustrieller Zeit waren Material- und Transportkosten hoch, Arbeitskräfte billig. Folglich war auch die Reparatur von schadhafte Bauteilen – Fenstern, Türen, Fussböden u. a. – üblich und handwerklich möglich.

Traditionell waren Häuser vom Keller bis zum Dachfirst auch wirtschaftliche Einheiten. Sie unterscheiden sich je nach Landschaft und Funktion, so dass wir von regionaltypischen Bauten sprechen können – in Berggebieten sind es andere als in Weinbaugebieten oder in Handelsstädten. Doch es lassen sich auch Gemeinsamkeiten beobachten: Für freistehende Häuser berücksichtigte man, wo immer es ging, die Himmels- und Wetterrichtung oder man nutzte den Schutz einer Senke oder Anhöhe. Es wurden Vorkehrungen getroffen, um Kälte abzuhalten oder, wo benötigt, zu nutzen. Keller- und Dachräume mussten für die Lagerung von Lebensmitteln und Waren zweckmässig gebaut sein, also kühl, trocken und gut belüftet. Dachräume dienten zugleich als Speicherraum und (bis heute) als thermische Pufferzone. Von der Sonneneinstrahlung profitierte man durch die Wärmespeicherfähigkeit massiver Mauern und Wände. Bei Holzkonstruktionen (Fachwerk, Strickbauten) war die

1) Jürgen Roloff, Ist klimagerechtes Bauen gleich energieeffizientes Bauen? In: Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Universität Dresden, Heft 1–2, 2004, S. 139–144

2) Déclaration d'ICOMOS France, 2008

Fassadenverkleidung (Putz, Schindelschirm oder Brett-schalung) zugleich Zier und konstruktiver Schutz vor Regen, Feuchtigkeit und Kälte. Dem Witterungsschutz dienten auch Loggien, grosse Dachvorsprünge oder die Vor- und Klebdächer – Schutzdachbänder – über den Fenstern der Giebelwand. Alle diese Bauelemente sind auch Gestaltungselemente von handwerklicher, oft sogar baukünstlerischer Qualität und aus mehreren Gründen von geschichtlichem Interesse.

Besonders grosse Sorgfalt verwendete man auf Detailierung und Fertigung von Türen und Fenstern eines Hauses. Sie sind viel mehr als nur Öffnung, sie existieren in unzähligen Varianten und sind für die Wirkung nach Innen genauso wichtig wie für die Aussenwirkung. Auch die Anordnung der Räume im Grundriss richtete sich, wo dies möglich war, nach klimatischen Gegebenheiten und Heizquellen. Optimalen Schutz bot (und bietet noch immer) die kompakte Bauweise eines Mehrzweckhauses, wo alles unter einem Dach Platz fand. Im Bauernhaus kam man mit nur einer Feuerstelle, dem Herd, aus. Oft speiste er auch den Stubenofen und wärmte noch die Kammer im Obergeschoss. Der Herd war zum Kochen, Backen, Wärmen, Heizen, Warmwasser bereiten, Trocknen und Räuchern da: Er war multifunktional. Heute existiert für jede dieser Funktionen ein eigenes Gerät, das Energie benötigt. Heizmöglichkeiten, seien es offene Kamine (Cheminées) oder Öfen, waren auch in nicht landwirtschaftlichen Gebäuden sparsam verteilt und wurden nur bei Bedarf gebraucht.

Dafür trugen verschiedene bauliche und nichtbauliche Massnahmen dazu bei, in den Häusern ein angenehmes Klima zu schaffen. Angefangen bei der Dichte einer Siedlung, die vielseitigen Schutz bietet, gehören schützende Hecken ebenso dazu wie das an der Hauswand aufgeschichtete Holz als Wetterschutz. Heu auf dem Dachboden übernimmt eine thermische Pufferfunktion, ein Obstspalier an der Hauswand sorgt für Birnen, Äpfel oder Kernobst und spendet Schatten und Kühle im Innern. Dies sind nur einige Beispiele aus dem landwirtschaftlichen Bereich und aus vorindustrieller Zeit, einer Zeit, deren Bauten uns viele interessante und wertvolle Informationen über die Lebens- und Arbeitsweisen früherer Gesellschaften liefern können. Und natürlich endet das Interesse daran nicht mit dem 19. Jahrhundert. Zwar bleibt es, solange die Hauptenergieträger Kohle, Holz und Gas waren, noch lange bei einer kompakten und massiven Bauweise. Jedoch sind seitdem auch Veränderungen zu verzeichnen. Neue Baumaterialien, Bauweisen, Bauaufgaben und Moden verwandeln das Erscheinungsbild der Siedlungen und Städte allmählich. Kohle, Holz und Gas standen bis in die 50er-Jahre des 20. Jahrhunderts nur begrenzt zur Verfügung oder waren aufwendig zu beschaffen. Man heizte folglich sparsam; für zusätzlichen Wohnkomfort sorgten Wintergärten,

Doppelfenster, Holzvertäfelte Innenräume, Textilien oder Tapeten. Billiges Erdöl für bequemeres und sauberes Heizen von Wohnungen kam erst nach dem Krieg auf den Markt. Es erlaubte eine weniger auf Energieeffizienz bedachte, weniger kompakte Bauweise und liess neue, durch Leichtigkeit geprägte Bau- und Wohnformen als Ausdruck einer allgemeinen Aufbruchsstimmung entstehen. Bauten aus dieser Periode gelten heute als wenig nachhaltig. Aber sie sind Zeugen einer Epoche mit eigener Ästhetik und Formensprache und eines neuen Lebensgefühls. Ihr verdankt die Baukultur Innovationen auf dem Gebiet der Baumaterialien, Konstruktion und Gestaltung. Die Minimierung von Baumaterial, Glasflächen oder offene Grundrisse liessen lichte und quasi schwerelose Bauten entstehen. Ideenreichtum und ein oft spielerisch anmutender Umgang mit neuen und alten Bauaufgaben macht diese heute oft pauschal abgewertete Architektur gerade wegen ihrer Andersartigkeit interessant. Aufgrund städtebaulicher, sozialer oder architektonischer Qualitäten sollte das Bestandsrecht vieler ihrer Vertreter ausser Frage stehen.

### Erfindungsreichtum und Baukultur

Die jahrhundertealte Baukultur in unserem Land zeugt von der praktischen Intelligenz und vom handwerklichen Können, die äusseren Bedingungen einer Region mit den jeweiligen Nutzungsanforderungen sowie mit den herrschenden ästhetischen Vorstellungen in immer neuen Varianten zu verbinden. Als Vorbild in baulicher und betrieblicher Hinsicht können heute besonders die Bauten aus der Zeit vor dem Erdölboom dienen, die für den haushälterischen und klimaschonenden Umgang mit knappen Ressourcen stehen. Denn ihre Leistung liegt nicht allein in der «Bewirtschaftung eines Mangels». Sie besteht vielmehr darin, dass sie trotz schwieriger Bedingungen Baukultur hervorgebracht haben, die nicht leichtfertig aufs Spiel gesetzt werden darf. Dass eine «Rückbesinnung auf althergebrachte Bauweisen» neben der Entwicklung neuer Technologien am Platz sei, meinen auch baugeschichtlich informierte Bauökologen, ohne damit ein generelles Zurück-zu-alten-Zeiten zu propagieren.<sup>1</sup> Haben wir es aber mit Baudenkmalern als vom allgemeinen Baubestand sich abhebenden Bauten zu tun, dann kommen zu den genannten Gründen, die ältere Bauten erhaltenswert machen, kulturhistorische Gründe hinzu. Eventuelle energetische Schwachstellen können nicht allein ausschlaggebend sein; beim Baudenkmal spielen sie nicht die Hauptrolle. Als einmalige Dokumente und nicht zu ersetzende Informationsquellen der Geschichte werden Baudenkmäler zu Marksteinen ihrer Umgebung und prägen die Baulandschaft. Mit ihnen verbinden sich Lebensgeschichten und kollektive Erinnerungen. Sie bereichern den Lebensraum und wirken identitätsstiftend.

1) Bauökologie – innovative Materialien und Technologien. In: Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Universität Dresden, Heft 1–2, 2004, S. 99.



Heute, wo Ressourcenschonung notwendig ist, erfordert das bauliche Erbe mehr denn je einen vernünftigen Umgang. Energiesparen beginnt bei der Analyse des Ist-Zustands und bedarf einer umsichtigen, alle relevanten Faktoren berücksichtigenden Planung. Dazu gehören Überlegungen zur Mobilität, zur Siedlungsstruktur wie zum einzelnen Gebäude, seiner Nutzung und seinen Benutzern. Die immer nur für einzelne Bereiche oder Bauteile propagierten Normen und Standards genügen dafür nicht. Kritisch ist auch die normative Festlegung von zeitgemässen Wohnbedürfnissen und Wohnstandards zu beurteilen. Die Art zu wohnen variiert je nach Individuum und Gruppe und wandelt sich auch je nach Lebensalter. Die Wohnzufriedenheit hängt vermutlich weniger von einer konstanten Temperatur in allen Räumen ab als von Faktoren wie Lage, Mietpreis und persönlichem Geschmack.

Schützenswerte Altbauten sind kaum je normenkonform. Die meisten stammen jedoch aus Zeiten, als Handarbeit und natürliche Baustoffe die Regel waren und wenig Energie zur Verfügung stand. Das heisst, dass diese Bauten «sparsam» gebaut sind, auch wenn heute viel Heizenergie verbraucht wird. Ihre traditionellen, natürlichen Materialien machen sie reparaturfreundlich, und sie lassen sich in gewissem Umfang auch energetisch verbessern. Wo Schwachstellen bleiben, müssen diese anderswo kompensiert werden. Dafür bieten sie unkonventionelle Besonderheiten, die Neubauten abgehen.

### Baudenkmal und energetische Verbesserung

Die drei wichtigsten Ziele einer energetischen Optimierung der Gebäudehülle durch nachträgliche Wärmedämmung sind: Reduktion klimaschädlicher Emissionen, Hebung der Behaglichkeit, Senkung der Heizkosten. Eine geeignete Wärmedämmung kann zur Erreichung aller drei Ziele beitragen, zwingend ist das aber nicht. Zu hohe Erwartungen über einzusparende Beträge sollten in jedem Fall gedämpft werden, denn in Berechnungen wird von Sollwerten anstatt von nutzerabhängigen Verbrauchswerten ausgegangen, was zu erheblichen Differenzen führen kann. Zudem wird die tatsächliche Reduktion der Emissionen nur selten gemessen; hier aber wären Erfolgs- und Qualitätskontrollen notwendig. Behaglichkeit lässt sich, wie oben ausgeführt, nicht so einfach verallgemeinern und kaum normieren. Behaglichkeitsempfinden hängt von mehreren, sehr unterschiedlich gewerteten Faktoren ab. So ist zum Beispiel das Wärmebedürfnis der Menschen wie ihr Frischluftbedürfnis höchst unterschiedlich (und anpassungsfähig), sodass geringer Luftwechsel wegen hoher Fensterdichtigkeit und einheitliche Raumtemperaturen nicht immer als angenehm empfunden wird.

Für Schutzobjekte ist jedoch auch klar, dass es weder allein um die Frage nach dem Dämmstoff mit dem

höchsten Sparpotenzial noch um das effizienteste Heizsystem gehen kann. Es ist vielmehr nach demjenigen System zu suchen, «das für dieses spezielle Haus mit seiner individuellen Gestaltung und seiner spezifischen Bautechnik bei der vorgesehenen Nutzung funktionsgerecht, schonend einzubauen und langfristig mit der Substanz verträglich ist. In gleicher Weise wäre zu ermitteln, welche Art der Dämmung sich mit den formalen, technischen und raumklimatischen Gegebenheiten dieses Hauses verträgt und für die Nutzung akzeptabel ist.»<sup>1</sup>

Eine Studie der Universität Zürich kommt zum Ergebnis, dass die Modernisierung von Heizungsanlagen schon kurzfristig zu einem wirtschaftlichen Ertrag für die Eigentümer führe. Dagegen zeige die Wirksamkeit der Wärmedämmung von Aussenwänden unter 15 untersuchten staatlichen Lenkungsmaßnahmen das zweitschlechteste Durchschnittsergebnis wegen der ungünstigen Relation von hohem Investitionsaufwand und geringen tatsächlichen Einsparungen.<sup>2</sup>

Die Zürcher Ergebnisse decken sich mit denen einer Reihe ähnlicher Untersuchungen über die Möglichkeit der Energieeinsparung im Gebäudebestand.<sup>3</sup>

1) Jörg Schulze, Bausubstanz, S. 49

2) Studie: Saubere Luft im Kanton Zürich, Hg. Institut für Empirische Wirtschaftsforschung der Universität Zürich, Reihe Wirtschaft und Gesellschaft, Zürich 1993

3) Batelle-Institut Frankfurt, bei Jörg Schulze, S. 13

## 2.2 Auftrag und Grundsätze der Denkmalpflege

Es ist die Aufgabe der Denkmalpflege, Anlagen und Bauten von historischer Bedeutung durch gesetzlichen Schutz und fachgerechte Pflege eine langfristige Erhaltung und Wirkung zu sichern. Der Schutz des Denkmalbestandes geschieht im Auftrag der Allgemeinheit als ideellem Mitbesitzer des Patrimoniums. Analog zum privaten Erbe soll dieses treuhänderisch weitergegeben werden.

Baudenkmäler sind Geschichtszeugen<sup>1</sup>. In ihnen sind Informationen aus dem Leben vergangener Gesellschaften in besonderer Dichte und Vielfalt gespeichert, deshalb werden sie auch als Ressourcen bezeichnet. Anders als im Geschichtsbuch ist Geschichte im Baudenkmal materiell gegenwärtig und sinnlich erfahrbar. Baudenkmäler sind Zeugen ihrer Entstehungszeit und der seitdem durchlaufenen Geschichte, die sich in Altersspuren und Veränderungen niedergeschlagen hat. Sie sind Bindeglieder zwischen Vergangenheit und Gegenwart. Wesentlichen Anteil an der Bedeutung hat auch der Standort, für den sie geplant und gebaut wurden, also ihre Ortsgebundenheit. Sowohl die landschaftliche als auch die bebaute Umgebung bilden den räumlichen, funktionalen und sozialen Zusammenhang sowie den Massstab, ohne den viel von ihrer Aussagekraft verloren geht.

### Denkmäler sind Zeugen und widerspiegeln die Vielfalt der Geschichte

Das Spektrum der Baudenkmäler deckt alle Baugattungen ab. Es ist so breit wie die Geschichte selbst. Die Charta von Venedig hält fest, dass sich der Denkmalebegriff nicht nur auf Werke der Kunst bezieht, sondern auch auf bescheidene Werke, die im Lauf der Zeit eine kulturelle Bedeutung bekommen haben.<sup>2</sup> Erstes Auswahlkriterium ist die geschichtliche Bedeutung; künstlerische Qualitäten können, müssen aber nicht vorliegen. Kunstwerke sind Denkmäler, doch bei weitem nicht alle Denkmäler sind Kunstwerke.

Die historisch bedingte Vielfalt kann nicht auf einige Typen reduziert werden. Vielmehr sind Baudenkmäler Unikate, das heisst einmalig und nicht reproduzierbar. Ihre Bedeutung liegt in ihrer Authentizität, ihrer nachweislich «erlebten» Geschichte. Die im Lauf der Zeit angelagerten Gebrauchs- und Altersspuren sollen möglichst erhalten und nicht nachträglich auf eine «ursprüngliche» Zeitschicht zurückgeführt und vereinheitlicht werden. Die Existenz vieler Schichten und Spuren zeugt von der Heterogenität und Vielfalt der Geschichte und ermöglicht, dass tradierte Geschichtsbilder für neue Fragen offen und lesbar bleiben. Aufgrund ihres Alters, das ein menschliches Lebensalter oft weit überdauert, kommt Baudenkmalern die besondere Rolle von kollektiven

Erinnerungsträgern zu. So leistet Denkmalpflege einen grundlegenden Beitrag zur Stütze des kollektiven Gedächtnisses, einem menschlichen Grundbedürfnis. Nicht zuletzt sind Baudenkmäler dauerhafte Elemente im Raum, die der Orientierung dienen. Dadurch ermöglichen sie die Identifikation mit einem Ort, einer Gegend und tragen zur Ausbildung von Zugehörigkeits- und Heimatgefühl bei.

### Schutz und Prävention

Um die historischen Informationen des Baudenkmals sicht- und lesbar zu erhalten, bedarf es neben dem rechtlichen Schutz auch fachlicher Richtlinien für den richtigen Umgang mit ihm. Damit soll gewährleistet werden, dass Erhaltenswertes nicht unwissentlich beschädigt oder zerstört wird. Für die Schadensabwehr sorgen präventive Massnahmen und ein fachgerechter Bauunterhalt. Auch Nutzungsaufgaben beziehungsweise -beschränkungen können der Prävention dienen.

Baumassnahmen dürfen den Denkmalwert nicht beeinträchtigen. Sie sollen weder die historische Substanz schmälern noch das Erscheinungsbild störend verändern. Baunormen «dürfen auf Denkmäler nicht ohne vertiefte Abklärungen angewendet werden. Von Fall zu Fall ist abzuwägen, ob auf das Einhalten einer Norm ganz oder teilweise verzichtet werden muss, oder ob das Normenziel durch andere geeignete Massnahmen erreicht werden kann.»<sup>3</sup> Das gilt gerade für energetische Verbesserungen. Eine denkmalpflegerisch wie energetisch befriedigende Lösung wird am besten in Zusammenarbeit von Energiefachplanern und Denkmalpflegefachstellen entwickelt.

### Denkmalpflegerische Grundsätze

Grundsätze und Leitvorstellungen der modernen Denkmalpflege haben sich in einer über zweihundertjährigen Geschichte entwickelt; ihr Grundstein liegt im Umfeld der Aufklärung und der französischen Revolution. Sie sind zum allgemein anerkannten Teil der Kulturgeschichte Europas und weiterer Länder geworden. Als Selbstverpflichtung der internationalen Staatengemeinschaft wurden ihre Grundsätze im Rahmen der UNESCO in der Charta von Venedig von 1964 formuliert. In Anlehnung daran haben die meisten Staaten ihre eigenen Schutzbestimmungen gesetzlich festgelegt. Im Folgenden seien sechs der wichtigsten denkmalpflegerischen Grundsätze aufgeführt.

1) Vgl. die Leitsätze der Eidgenössischen Kommission für Denkmalpflege (EKD): «Kulturgüter sind Objekte und Stätten, die für die Allgemeinheit als Zeugnisse der geistigen Tätigkeit, des Kunstschaffens oder des gesellschaftlichen Lebens von Bedeutung sind». In: Leitsätze zur Denkmalpflege in der Schweiz, Zürich 2007

2) Charta von Venedig: [www.bak.admin.ch/bak/themen/kulturpflege/00513/00524](http://www.bak.admin.ch/bak/themen/kulturpflege/00513/00524)

3) Leitsätze der Eidgenössischen Kommission für Denkmalpflege, Zürich 2007, S. 25, 4.12 Baunormen

### 1. Substanzerhaltung

Denkmalpflege ist Substanzschutz. Nur das Original enthält die umfassende historische Information. Baudenkmäler sind Sachzeugen; Substanzerhaltung zu fordern, ist daher kein «Materialfetischismus».

Sie beruht auf der Überzeugung, dass die historischen Bauten glaubwürdig, aussagefähig und verständlich nur als echte Zeugen ihrer Bauzeit und der seither durchlaufenen Zeit sind. Die Spuren der Baubiografie gehören zum Denkmal und sollen nicht zum Verschwinden gebracht werden. Gründe zur Erhaltung sind historisches Interesse, Wertschätzung der Leistungen und Investitionen der Vorfahren sowie das individuelle und kollektive Bedürfnis nach Selbstvergewisserung und Standortbestimmung durch Erinnerung.

### 2. Alter und Andersartigkeit als Merkmale

Baudenkmäler repräsentieren alle Epochen. Sie sind Zeugen von historischen Ereignissen und Zeugnis individueller oder gesellschaftlicher Leistungen auf planerischem, technischem, handwerklichem oder künstlerischem Gebiet. Denkmal ist das ganze Gebäude, nicht nur seine Hülle oder Fassade. Auch Raumausstattungen und Haustechnik sind Informationsquellen über frühere Arbeits- und Lebensformen. Da sie rascher modernisiert werden als Gebäude, sind sie entsprechend rar. Das erhöht das Interesse an historischen Innenräumen, Fenstern, Türen oder Bodenbelägen usw., die sich vom Aktuellen unterscheiden. Die Andersartigkeit des Denkmals soll erhalten bleiben, einschliesslich seiner Alters-, Gebrauchs- und Veränderungsspuren. Ziel einer Sanierungsmassnahme ist nicht der Neubauzustand.

### 3. Reparatur- und Pflegefähigkeit

Der Grundsatz der Substanzerhaltung schliesst Reparaturen keineswegs aus, im Gegenteil. Wenn Präventionsmassnahmen nicht den notwendigen Schutz vor Schäden bieten, sind Bauunterhalt und Reparatur die Garanten für das Fortbestehen. Bauen war früher auf lange Zeit angelegt, ausserdem erleichterten traditionelle Baustoffe und Bauweise den Bauunterhalt und Reparaturen, die auch eine ökonomische Notwendigkeit waren. Reparaturen dürfen keine Schäden am Denkmal verursachen oder begünstigen. Sie sollen den laufenden Unterhalt nicht behindern und bei Bedarf wiederholt werden können. Aus Erfahrung sollten Systemwechsel vermieden und historische Techniken übernommen werden. Das gilt sowohl für Konstruktionen und

Gefügetechnik als auch für Baumaterialien. Die Übernahme traditioneller und bewährter Methoden mindert Schadensrisiken und erhöht die spätere Reparatur- und Pflegefähigkeit.

### 4. Reversibilität

«Alle konservatorischen und restauratorischen Eingriffe sind auf ein Höchstmass an Reversibilität auszurichten.»<sup>1</sup> Dasselbe gilt für Ein- und Anbauten und andere bauliche Zutaten: Um alte Gefüge nicht zu destabilisieren und zu gefährden, sollten neue Elemente so eingefügt werden, dass sie unter Umständen schadlos wieder ausgebaut werden können, reversibel sind, wenn sie sich nicht bewähren oder wenn erneut Veränderungen anstehen.

### 5. Angemessenheit und der kleinstmögliche Eingriff

Seit jeher gehören An- und Umbauten zum geläufigen Umgang mit bestehenden Gebäuden. Sie sind auch bei Baudenkmalern nicht ausgeschlossen, wohl aber eingeschränkt, denn sie sollen weder die bauliche Substanz gefährden noch deren Charakter oder Wirkung beeinträchtigen. Deshalb sollte die Wahl immer auf den kleinstmöglichen Eingriff fallen. Das neue Bauelement soll nach Grösse und architektonischem Ausdruck dem Bestand angemessen sein. Es kann sich als Neues zu erkennen geben, sollte den «Stempel unserer Zeit tragen»<sup>2</sup>, jedoch ohne Dominanz gegenüber dem Baudenkmal anzustreben. Bauteile wie Dach, Gauben, Türen oder Fenster sollten nicht ohne Not erneuert werden. Die Erneuerung braucht Fingerspitzengefühl und sollte den Ausgleich zwischen dem Zeitgemässen und dem Altersgemässen schaffen.

### 6. Addition statt Ersatz

Neue Nutzungsansprüche und andere Veränderungswünsche lassen sich grundsätzlich auf zweierlei Weise umsetzen: durch Ersatz (Austausch) oder durch Addition (Hinzufügen). Um die historische Bausubstanz so wenig wie möglich zu schmälern, sollte die Maxime «Addition statt Ersatz» immer Vorrang haben. Sie verspricht nicht nur einen schonenden Umgang mit dem historischen Bestand, sie garantiert auch die Erkennbarkeit der Massnahme als neue Zutat und Zeitschicht. Ausserdem beachtet sie die Forderung der Nachhaltigkeit nach sparsamem Verbrauch von nicht erneuerbaren Ressourcen, die sonst auf der Deponie landen, entsorgt und ersetzt werden müssen und Energie verbrauchen.

1) Leitsätze der Eidgenössischen Kommission für Denkmalpflege, Zürich 2007, S. 22

2) Charta von Venedig, Artikel 9

## 2.3 Grundlagen Energie

### Energie

Seit den 1950er-Jahren und erst recht seitdem Kernenergie und Erdgas in den 60er- und frühen 70er-Jahren zur Verfügung standen, steigerten sich Energieverbrauch und allgemeiner Wohlstand in gegenseitiger Abhängigkeit. Die schier unbegrenzte Verfügbarkeit von preiswerten Energieträgern verdrängte den gewohnten haushälterischen Umgang mit Energie aus dem Alltag von Nutzern, Gebäudeplanern und Verwaltung. Die durch die OPEC-Staaten ausgelöste Ölkrise brachte mit einem Schlag eine neue Energieknappheit und deckte für die Schweiz die ungünstige Abhängigkeit vom Ausland auf. Von 1974 bis 1978 wurde die «Schweizer Gesamtenergiekonzeption» erarbeitet. Als Erstes wurde 1983 das Energiegesetz des Kantons Zürich und im Verlaufe der 1980er-Jahre die anderen kantonalen Energiegesetze in Kraft gesetzt. In der Folge erarbeiteten die Kantone gemeinsam ein Gesamtpaket energierechtlicher Vorschriften im Gebäudebereich. Die Musterverordnung der Kantone «Rationelle Energienutzung in Hochbauten» erschien 1992. Weitere Ausgaben der Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich (MuKE) folgten 2000 und 2008. Die Abhängigkeit von den erdölliefernden Staaten öffnete den Blick für alternative Energien. Erstmals wurde Kehrlichtverbrennung energetisch genutzt, die Stromerzeugung durch Wasserkraft wurde ausgebaut, und der Entwicklung und Nutzung erneuerbarer

Energieträger wie Sonnen- und Windenergie, Geothermie oder Biomasse wurde vermehrte Aufmerksamkeit geschenkt. Seit der Gesamtenergiekonzeption von 1978 erarbeitet das Bundesamt für Energie (BFE) gemeinsam mit externen Experten periodisch Energieperspektiven, mit dem Ziel, Energie zu sparen und fossile Energieträger durch erneuerbare einheimische, zu substituieren. Als eine der ersten energiepolitischen Massnahmen in der Schweiz wurde in den 1970er-Jahren die verbrauchsabhängige Heiz- und Warmwasserkostenabrechnung (VHKA) eingeführt. Die Annahme des Energieartikels in der Bundesverfassung 1990 ebnete den Weg für das erste Aktionsprogramm «Energie 2000», welches 2001 durch das Programm «EnergieSchweiz» abgelöst wurde, das bis 2020 in Aktion bleiben soll. Im Januar 2010 starteten Kantone und Bund zudem das nationale «Gebäudeprogramm». Es ist auf 10 Jahre befristet und legt das Schwergewicht auf die energetische Sanierung von Gebäuden. Dazu werden aus der Teilzweckbindung der CO<sub>2</sub>-Abgabe sowie anderen kantonalen Förderprogrammen jährlich rund 300 Millionen Franken Fördermittel bereitgestellt.

Die Knappheit der Ressourcen und die klimatischen Veränderungen führen zu einem breit abgestützten Umweltbewusstsein. Dieses und auch die Unsicherheit bezüglich der Energiepreisentwicklung erhöhen die Bereitschaft zu energetischen Liegenschaftssanierungen. Die Wohnbauten von morgen orientieren sich an der Idee der 2000-Watt-Gesellschaft, oder sie sind als Nullenergie- oder gar Plusenergie-Häuser konzipiert.

### Endenergieverbrauch der Schweiz seit 1910 in TJ (Terajoule)

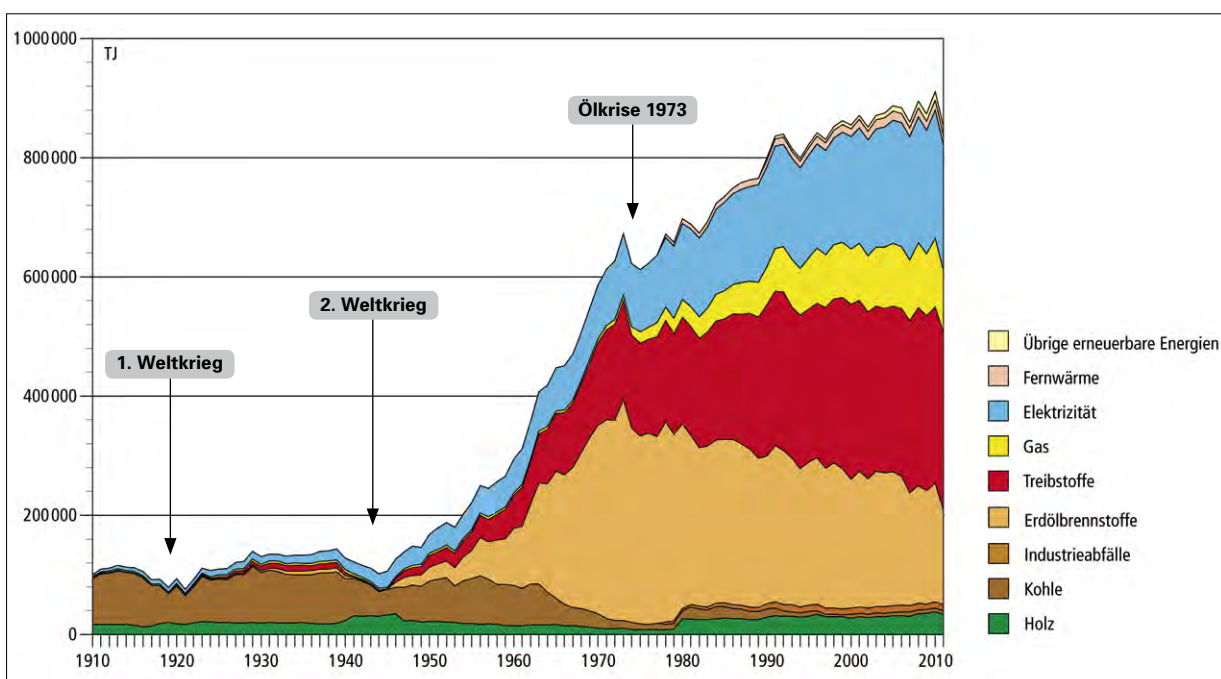


Diagramm Energieverbrauch der Schweiz seit 1910, Gesamtenergiestatistik Schweiz 2008 (Abb. 1)



**Baudenkmäler der Schweiz  
verbrauchen ca. 1% der Endenergie**

Rund 45% des Endenergieeinsatzes werden in der Schweiz für das Heizen und Kühlen sowie für die Erstellung von Gebäuden und die Warmwasseraufbereitung aufgewendet<sup>1</sup>. Etwa 2% des Gebäudebestands sind Denkmäler, einige von ihnen, wie Brücken, Speicher, Scheunen oder Wehranlagen, sind unbeheizt. Das heisst, dass der Energieeinsatz für den Denkmalbestand in einer Grössenordnung von 1% oder weniger liegt.

**Energiebilanz am Gebäude**

**Energiebilanz der Nutzungsphase**

Ausgangspunkt für die energetische Beurteilung von Gebäuden bildet die Energiebilanz. Sie ist die Bilanz der Energieflüsse eines Gebäudes unter Berücksichtigung der Wärmeverluste und der Wärmegewinne in der Nutzungsphase. Unter Betriebsenergie versteht man die gesamte Energie, welche in einem Gebäude benötigt wird, damit dieses seiner Nutzung entsprechend betrieben werden kann. Nicht berücksichtigt werden jedoch die in den mobilen Gütern (Möblierung, Büromaterial, usw.) enthaltenen Energiemengen sowie die durch die Lage eines Gebäudes induzierte Mobilität der Benutzer. Solche Ansätze werden jedoch immer wichtiger, und es gibt bereits Berechnungsmodelle, welche die Mobilität mit einer starken Standortabhängigkeit und somit einem direkten Bezug zum Gebäude berücksichtigen.

Energiebezüge von Gebäuden	
Wärme	für Raumheizung (SIA 380/1) für Brauchwasser (SIA 380/1)
Wärme und Strom	für den Betrieb von Lüftungsanlagen (SIA 380/4) für Kühlung, Befeuchtung, Entfeuchtung (Klimatisierung) SIA 380/4
Strom	für Beleuchtung (SIA 380/4) Betriebseinrichtungen, el. Geräte

**Lebenszyklus und graue Energie**

Die ganzheitliche und nachhaltige Betrachtungsweise umfasst die Bilanzierung aller aufgewendeten Energiemengen im Verlaufe des gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes. Die für die Herstellung der Baumaterialien, die Erstellung des Gebäudes, die Ersatzinvestitionen (z.B. Ersatz der Dachhaut) schliesslich die für den Gebäuderückbau und die Entsorgung der nicht recyclingfähigen Materialien aufgewendete, nicht erneuerbare Energie ist Bestandteil der grauen Energie.

Graue Energie ist die gesamte Menge nicht erneuerbarer Energie, welche für die dem Gebäudebetrieb vor- und nachgelagerten Prozesse anfällt.

Die graue Energie wird heute bei der energetischen Beurteilung eines Gebäudes noch nicht systematisch berücksichtigt. Weder die baurechtlich relevanten Berechnungen nach SIA 380 noch der Energieausweis der Kantone berücksichtigen die graue Energie. Mit dem Merkblatt 2032 des SIA steht seit 2010 in der Schweiz erstmals ein einheitliches Instrument zur Erfassung der grauen Energie zur Verfügung. Diese beträgt bei neuen Wohnbauten ca. 3000–4000 MJ (Megajoule) pro m<sup>2</sup> Geschossfläche oder bei einer 60-jährigen Amortisationsdauer gemäss SIA ca. 80 bis 100 MJ/m<sup>2</sup> und Jahr.

Produktphase	Bauphase	Nutzungsphase	Lebensende des Gebäudes	Gutschriften u. Belastungen
Rohstoffabbau	Transport	Nutzung	Abbruch	Wiederverwendung
Transport	Bau- u. Installationsstadium	Instandhaltung	Transport	Recycling, Verwertung
Herstellung Baumaterialien	Installationsstadium	Reparatur	Abfallaufbereitung	
		Ersatz	Deponie	
		Erneuerung		

Lebenszyklus Gebäude (Abb. 2)

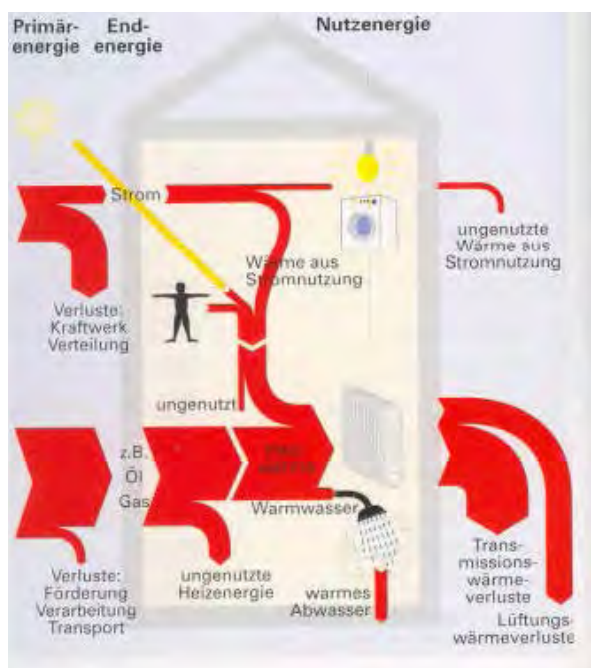
Bezüglich des Aufwands an grauer Energie stehen Baudenkmäler gut da. Erstens wurden sie fast ausschliesslich mit erneuerbarer Energie hergestellt, zweitens haben sie eine sehr hohe Lebensdauer. Das vierhundertjährige städtische Bürgerhaus wie das dreihundertjährige Bauernhaus übertreffen die Lebenserwartung eines heutigen Gebäudes um ein Mehrfaches und sparen somit mehrere Ersatzbauten samt der dafür benötigten grauen Energie.

<sup>1</sup>) Zahlen Website BFE, Bundesamt für Energie

## Heizenergie

Im privaten Haushalt werden knapp drei Viertel der Gesamtenergiemenge für die Raumwärmeerzeugung eingesetzt. Aus diesem Grund stehen Gebäudehülle und Anlagentechnik im Zentrum der energetischen Gebäudetrachtung. Die Energieverluste über die einzelnen Bauteile sind unterschiedlich und abhängig von Gebäudegrösse und -form, von der Qualität der einzelnen Bauteile, der Grösse und Lage der Fenster, von der Speicherefähigkeit sowie der Lage des Gebäudes und der Nutzung. Rund ein Viertel bis ein Drittel der Verluste geht auf das Konto der Öffnungen, die übrige Wärme entweicht je ungefähr zur Hälfte durch die Aussenwände beziehungsweise durch Dach und Boden. Zu den Transmissionsverlusten durch die Hülle addieren sich – in erhöhtem Masse in Altbauten – Verluste durch Undichtigkeiten im Bereich der Öffnungen und des Dachs. Diese unkontrollierten Lüftungsverluste können bei einem undichten Holzbau bis zu einem Drittel des gesamten Energieverlustes ausmachen.

Auf der Seite der Gewinne werden solare Gewinne durch transparente Bauteile und interne Wärmegevinne berücksichtigt.



Wärmegevinne und Wärmeverluste am Gebäude (Abb. 3)

## Energiebedarf und Energieverbrauch

Der Energieinput in das Gebäude entspricht dem Output. Es muss gleich viel Energie ins System Haus eingebracht werden, wie aus ihm entweichen kann. Der Energiebedarf ist der rechnerisch ermittelte, zu erwartende Bedarf an Energie. Er ist also eine auf Annahmen gestützte, mehr oder weniger genau kalkulierbare Grösse. Der Verbrauch hingegen ist diejenige Energie, die effektiv in einer Heizperiode verbraucht wird. Die Messung des Gesamtoutputs, getrennt nach Energieträgern, erfolgt durch den Energielieferanten (Energirechnungen) oder durch die Nutzer selbst (z.B. Holzverbrauch).

Die Berechnung des Energiebedarfs dient heute einerseits der Dimensionierung einer neuen Wärmeerzeugungsanlage und sie dient im Rahmen des gesetzlichen Energie nachweises (Baugesuchsverfahren) dem Nachweis, dass ein Bauvorhaben die Grenzwerte des erlaubten Wärmebedarfs pro m<sup>2</sup> und Jahr nicht überschreitet.

Der Gebäudeausweis der Kantone (GEAK) wird ebenfalls auf Grund von Bedarfsberechnungen nach SIA 380/1 eruiert (siehe Kap. Energieausweis der Kantone). Der Heizwärmebedarf ist bis heute das zentrale Kriterium für die energetische Beurteilung von Gebäuden. Die Bedarfsrechnung fokussiert stark auf die Gebäudehülle.

Nutzungsbedingungen und Nutzer werden standardisiert berücksichtigt. Diese Fokussierung auf die Gebäudehülle wird durch die Förderpolitik des Bundes und der Kantone unterstützt. Im Zusammenhang mit den Bemühungen zur Einsparung von Energie bei Bestandsbauten und Baudenkmalern ist jedoch der effektive Verbrauch bekannt oder auf einfache Weise messbar. Der effektive Verbrauch erfasst das ganze System Mensch und menschliches Habitat, welches für die Treibhausgasemissionen verantwortlich ist. Bestehende Bauten sollten am effektiven Verbrauch gemessen werden. Es wäre daher wichtig, den effektiven Minderverbrauch und nicht nur die bessere Dämmung zu fördern. Erste Projekte laufen an: Die KfW-Bankengruppe (ehem. Kreditanstalt für Wiederaufbau, im Besitz der Bundesrepublik Deutschland und der Bundesländer) hat am 1. April 2012 die neue «Effizienzhaus-Klasse» «Denkmal» eingeführt. Mit vergünstigten Zinssätzen, Tilgungszuschüssen oder Investitionszuschüssen können damit auch jene Immobilienbesitzer rechnen, welche die Energiebilanz ihres Baudenkmalers oder eines für das Stadtbild bedeutenden Altbaus verbessern wollen. Im neuen Fördersegment sollen sowohl die Transmissionswärmeverluste als auch die Luftdichtheit der Gebäudehülle zugunsten der erhaltenswerten Gebäudesubstanz als Förderkriterien in den Hintergrund treten. Zukünftig wird es bei diesen Baudenkmalern hauptsächlich darauf ankommen, dass durch die Sanierung der jährliche Primärenergiebedarf sinkt, ohne am Gebäude eine komplette Fassadendämmung durchführen zu müssen<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>) Frankfurter Allgemeine Zeitung, 7. Januar 2012, Birgit Ochs, Es geht auch ohne Dämmzwang

# 3. Nichtbauliche Massnahmen zur Senkung des Energieverbrauchs

## 3.1 Einführung

Nichtbauliche Massnahmen umfassen die Nutzungsbedingungen und das Nutzerverhalten sowie den Betrieb der technischen Gebäudeeinrichtungen. Die Anlagentechnik kann durch betriebliche Optimierungen und durch systematische und konsequente Wartungs- und Unterhaltsarbeiten energetisch wesentlich verbessert werden.

Nichtbauliche Massnahmen zur Energieeinsparung haben im historischen Baubestand und in besonderem Masse bei Baudenkmalern erste Priorität, weil sie aus denkmalpflegerischer Sicht schonende und aus ökonomischer Sicht höchst effiziente Massnahmen darstellen. Sie tangieren weder Substanz noch Erscheinungsbild des Denkmals; daher sind sie in einigen Fällen die einzige Möglichkeit zu seiner energetischen Ertüchtigung.

Durch betriebliche Massnahmen können beachtliche Einsparungen erreicht werden. Eine Reduktion des Wärme- und Stromverbrauchs in der Grössenordnung von 10–20% ist wohl die Regel.

Betriebliche Massnahmen unterscheiden sich von baulichen Massnahmen in Bezug auf die Investitionsgrössen. Die Kosten sollten in maximal drei Jahren amortisiert sein, ein krasser Gegensatz also zu Massnahmen an der Gebäudehülle. Mit anderen Worten sind in betriebliche Massnahmen investierte Gelder im Allgemeinen wesentlich effizienter als aufwendige Hüllämmungen, deren Amortisation – in Abhängigkeit der Entwicklung der Energiepreise – meist nur langfristig möglich sein wird. Energetische Massnahmen können nur greifen, wenn sie auch kontrolliert und überwacht werden. Eine periodische energetische Standortbestimmung ist auch im Zusammenhang mit nichtbaulichen Massnahmen richtig. Für bauliche wie für nichtbauliche Massnahmen ist der effektive Energieverbrauch und nicht der errechnete Bedarf die adäquate Grösse zur Beurteilung des Energiehaushalts von Baudenkmalern (siehe Kapitel 2.3, S. 18, Energiebedarf und Energieverbrauch). Erfolg oder Misserfolg einer Massnahme können nur eruiert werden, wenn direkt vergleichbare Messwerte und Messreihen vorliegen.

Die ständige periodische und immer identische Energiemessung steht nicht nur beim Baudenkmal zur Diskussion, sie empfiehlt sich für die Bewirtschaftung jeder Liegenschaft. Das zur Verwaltung der Daten eingesetzte Instrument ist die Energiebuchhaltung. Daten werden hier periodisch gesammelt, verglichen und ausgewertet.

## Energiemessung

In unserem Zusammenhang genügt eine Gesamtmessung. Die einfachste Methode zur Verbrauchserfassung ist die Messung des Gesamtenergieinputs, aufgeteilt nach Energieträgern. Sie wird mit den Energierechnungen direkt ins Haus geliefert. Sinnvoll ist dabei gewiss die Aufgliederung in die Verbraucher Heizung, Brauchwasser und übrige Verbraucher (Strom und Gas für Apparate, Beleuchtung und elektronische Geräte). In Anlehnung an den gemessenen Energieausweis (nach SIA 2031) empfehlen wir eine dreijährige Messreihe als Grundlage für die Diskussion über eine energetische Ertüchtigung eines Baudenkmals.

## Energiebuchhaltung

Die Energiebuchhaltung verwaltet die Messdaten, vergleicht sie und hält Veränderungen im Energieverbrauch fest. In einfachen Spalten werden Energierechnungen und/oder Zählerablesungen in stets gleichen periodischen Abständen eingetragen. Sämtliche Veränderungen, welche den Energieverbrauch beeinflussen können, müssen in der Energiebuchhaltung aufgeführt werden, so der Kauf einer neuen Tiefkühltruhe oder die Auswechslung des Heizkessels. Einfache Tabellen oder auch spezielle EDV-Tools können zur Energiebuchhaltung benutzt werden. Wichtig ist die regelmässige, sauber abgegrenzte Datenerfassung und die periodische Datenauswertung. Die Energiebuchhaltung dient nicht nur der energetischen Standortbestimmung, sie erfasst auch Erfolge und Misserfolge von getroffenen Massnahmen. Sie kann als Grundlage für einen gemessenen Energieausweis dienen und motiviert die Nutzer zum Energiesparen.

Datum	Ölzähler	Gas	Wasserzähler	Stromzähler
	l	kWh	m <sup>3</sup>	kWh
6.03–5.04		103 948	465	4324
6.04–5.05		102 020	371	3737
6.05–5.06		89 994	336	4016
6.06–5.07		71 002	352	4547
6.07–5.08		82 905	306	4031
6.08–5.09		81 965	296	4029
6.09–5.10		88 208	316	3785

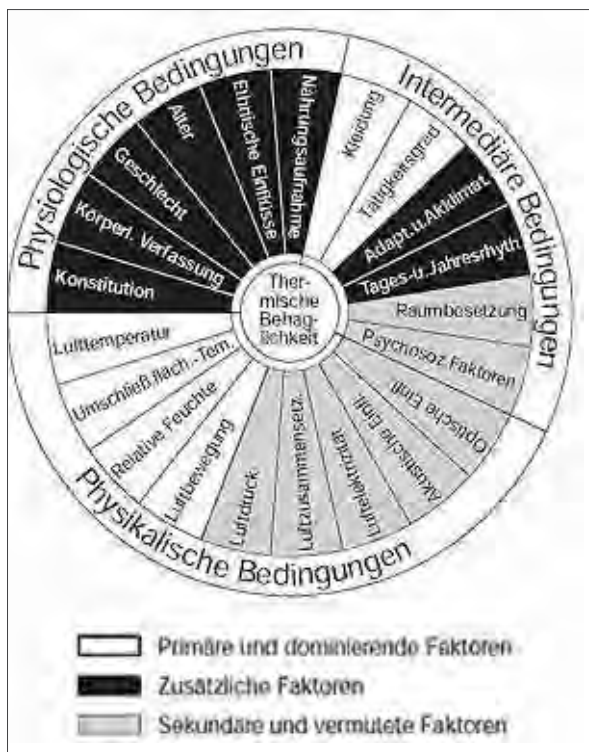
Beispiel zur Energiebuchhaltung: Villenartiges Mehrfamilienhaus in Bern. Heizung: Gastherme mit separatem Gasdurchlauferhitzer, ab Nov. 2005 mit kondensierender Kombitherme (Abb. 22)



## 3.2 Nutzer und Nutzung

### Bedürfnisse der Nutzer

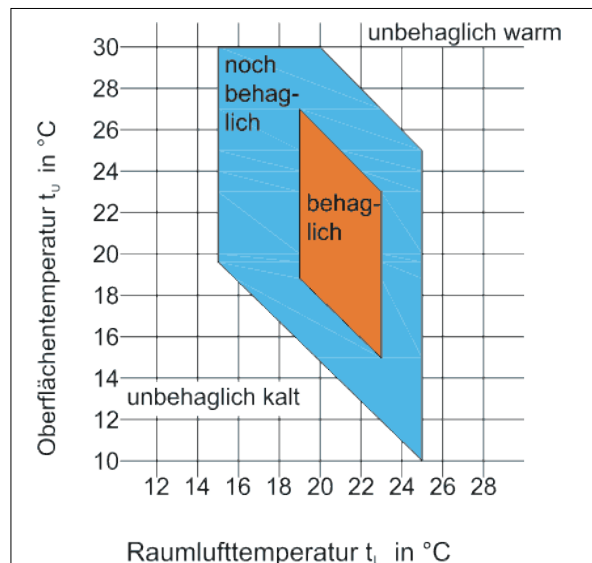
Die Haustechnik und der damit verbundene Energieverbrauch dient der Befriedigung von Bedürfnissen. Im Vordergrund stehen die Behaglichkeits- und die Komfortansprüche der Menschen an ihre Wohn- und Arbeitsräume. Unterschiedliche Bedingungen beeinflussen die individuell empfundene Behaglichkeit: Es sind erstens physikalische Größen (Raumlufttemperatur, Wandoberflächentemperatur, Luftfeuchtigkeit), zweitens physiologische Bedingungen (körperliche Verfassung wie Müdigkeit, Alter) und drittens intermediäre Konditionen (die Kleidung oder die Raumbesetzung), welche die subjektive Empfindungsgröße der Behaglichkeit bestimmen.



Physiologische, physikalische und intermediäre Bedingungen für die Behaglichkeit (Abb. 23)

Physiologische und intermediäre Bedingungen sind durch den Nutzer mindestens teilweise direkt beeinflussbar. Der Nutzer kann demnach, ohne Behaglichkeit einzubüssen, den Heizenergieverbrauch senken, wenn er sich an einem Winterabend adäquat kleidet und dadurch die Raumtemperatur z.B. um ein Grad tiefer eingestellt werden kann. Mithilfe dieser Kleinstmassnahme kann (im Bereich von 20 °C) mehr als 5% Energie gespart werden. Zwischen den physikalischen Bedingungen und dem menschlichen Empfinden herrschen komplexe Wechselwirkungen, sodass nicht einfach die Höhe der Raumlufttemperatur (der Wärmeinput) das Ausschlagge-

bende ist. So ist die Behaglichkeit unter anderem von der Temperatur der Umgebungsluft, den Oberflächentemperaturen der Umgebungsflächen, der Raumlufftfeuchtigkeit und der vorhandenen Luftturbulenz im Raum abhängig. Die empfundene Temperatur erhöht sich bei höheren Wandoberflächentemperaturen und bei möglichst geringer Luftturbulenz. Haben die Oberflächen eines Raumes höhere Temperaturen (z.B. Strahlungsheizung) und sind seine Öffnungen dicht, kann er bei gleich empfundener Temperatur auf einem niedrigeren Temperaturniveau beheizt werden.



Behaglichkeit in Abhängigkeit von Raumluft- und Oberflächentemperatur (Abb. 24)

### Behaglichkeit und Komfort

Behaglichkeit ist Bestandteil des Komfortanspruchs. Komfort besitzt aber zusätzlich die Komponente der Bequemlichkeit. Eine Wohnung ist aufgrund ihrer Möglichkeiten und ihrer Ausstattung mit Gegenständen komfortabel, wenn sie dem Menschen Behaglichkeit bietet und ihm möglichst die Arbeit verringert. In den Komfort ist auch die Komponente der Individualisierung eingebunden. Eine Wohnung gilt als komfortabel, wenn sie grosszügig ist.

Die Komfortansprüche sind seit der Nachkriegszeit rasant gestiegen. Es setzte bezüglich des Wohnens eine Entwicklung der Anlagentechnik zur Komfortsteigerung der menschlichen Behausung ein, die energieintensiv ist und die bis heute anhält. Im Zentrum stehen dabei Heizung und Warmwasserversorgung, aber auch Küche und Waschküche sind heute hochinstalliert. In der Schweiz steht pro Person ständig auf hohem Niveau beheizter Wohnraum von mehr als 40 m<sup>2</sup> Grundfläche zur Verfügung, eine sowohl aus energetischer Sicht wie auch für die Behaglichkeit kaum zwingende Situation.

## Einsparungen durch geeignetes Nutzerverhalten

Massnahme	Hinweis	Energie-relevanz	Bemerkung
Raumlufttemperatur	Bei angemessener Bekleidung genügen 20–21 °C in Wohnräumen und max. 22–23 °C im Bad	sehr gross (> 5% Einsparung pro °C)	Höhere Oberflächentemperaturen ergeben eine höhere Behaglichkeit bei effektiv niedrigerer Raumlufttemperatur
Unbenutzte Räume nicht heizen	Türen schliessen und Ventile auf Frostschutz zurückdrehen	sehr gross	Neue Systeme können mit Handy aus der Ferne aktiviert werden. Regelmässiges Lüften kann trotzdem notwendig sein
Heizflächen freihalten	Keine Möbel oder Vorhänge vor Heizkörper platzieren	mittel	Senkt Wärmeverluste nach aussen
Storen, Rolläden oder Jalousien	Im Winter in der Nacht schliessen	mittel	Senkt Abstrahlung nach aussen
Lüften	3- bis 5-mal täglich 5 Minuten Stosslüften, keine angekippten oder halb offenen Fenster im Winter. In der Nacht bei Bedarf Fenster leicht öffnen, Heizflächen ausschalten und Zimmertüre schliessen	sehr gross	Mit diesem Verhalten kühlen die Wände nicht aus, das Schimmelpilzrisiko wird reduziert
Duschen statt baden	Duschen benötigt deutlich weniger Warmwasser als baden	gross	
Warmwasserverbrauch	Hände mit Kaltwasser waschen, Warmwasser nicht ungenutzt laufen lassen (jede Sekunde zählt)	gross	Im Bereich Brauchwasser steckt die Energie fast ausschliesslich im Warmwasser
Licht löschen	Beim Verlassen des Raumes oder bei genügend Tageslicht Kunstlicht immer abschalten (Abschalten lohnt sich immer, auch für eine Minute!!)	gross	Licht an-/ausschalten braucht nie mehr Energie als brennen lassen

## 3.3 Gebäudebewirtschaftung

### Technische Betriebsoptimierungen

Durch technische, auf Nutzung und Nutzungsbedingungen abgestimmte Betriebsoptimierungen kann viel Energie gespart werden. Die Einstellungen an Anlagen werden bei Inbetriebnahme durch den Lieferanten gemacht. Um Beanstandungen zu vermeiden, stellen Installateure und Anlagebauer die Werte verständlicherweise tendenziell zu hoch ein.

Technische Betriebsoptimierungen sind Optimierungen, welche den Komfort nicht verändern, und es sind Massnahmen, die keine grossen Investitionen erfordern. Sie umfassen primär Veränderungen von Einstellungen (Betriebszeiten, Sollwerte usw.) oder sie benötigen den Einbau von kleinen Hilfsgeräten, wie z.B. einer Schalthuhr oder eines Präsenzmelders. Betriebliche Optimierungen der Anlagentechnik sind durchschnittlich in weniger als drei Jahren amortisierbar. Bei einem Gebäude liegt dort Potenzial zur technischen Optimierung, wo ein Vorgang automatisch vonstatten geht oder wo der Nutzer einer Anlage nicht optimal eingreift bzw. nicht eingreifen kann. Technische Optimierungen sind je nach Baugattung unterschiedlich, wir beschränken uns auf wichtige Optimierungen im Wohnungsbau.

### Optimierungen im Bereich Wärmeerzeugung

**Heizkurve:** Die Wassertemperaturen im Heizsystem sollen möglichst niedrig eingestellt werden (Wärmeverluste durch Verteilrohre). Das Verhältnis zwischen Aussenlufttemperatur und Heizwasservorlauftemperatur nennt man Heizkurve. Diese soll so weit wie möglich nach unten gestellt werden. Die notwendigen Temperaturen hängen von den Heizflächen und der Gebäudehülle ab.

**Beispiel:** Bei –5 °C Aussentemperatur sollten Radiatoren Vorlauftemperaturen unter 60 °C und Fussbodenheizungen solche von nicht über 45 °C haben.

**Reduktion Heizleistung:** Heizkessel sind häufig zu gross dimensioniert. Bei Heizöl- oder Gasbrennern lässt sich durch Auswechslung der Düsen die Leistung reduzieren. Dadurch kann der Wirkungsgrad verbessert (tiefere Abgastemperatur) und die Brennerlaufzeit erhöht werden. Bei einem Wohn- oder Verwaltungsgebäude sind Brenner richtig dimensioniert, wenn sie mindestens 2500 Stunden pro Jahr in Betrieb sind.

**Umwälzpumpen:** Umwälzpumpen in Heiz- oder Warmwassersystemen sind vielfach zu gross dimensioniert. Oft lässt sich an der Pumpe die Drehzahl reduzieren und damit aufgrund der langen Betriebszeiten erheblich Energie einsparen.

## Optimierungen im Bereich Raumheizung

**Thermostatventile:** Thermostatische Heizkörperventile verhindern ein Überhitzen der Räume und tragen dazu bei, dass andere Energiequellen (Sonne, Abwärme) genutzt werden können. Vor allem in südexponierten Räumen lässt sich mit Thermostatventilen viel Energie sparen.

**Nutzungszeiten:** Ausserhalb der Nutzungszeiten soll die Raumtemperatur abgesenkt werden (z.B. Nachtabsenkung). Aufgrund der Trägheit des Gebäudes soll die Nachtabsenkung bei der Heizkörperheizung um 1 Stunde und bei der Fussbodenheizung um ca. 3 Stunden vor der Nutzungszeit geschaltet werden. Die Nachtabsenkung soll mindestens 8 °C betragen. Die effizienteste Möglichkeit ist das Ausschalten der Umwälzpumpe in der Nacht.

## Optimierungen im Bereich Brauchwasser

**Wassertemperatur:** Die Temperatur im Brauchwasserspeicher soll durchschnittlich 55 °C betragen und zum Schutz vor Legionellen 1-mal wöchentlich auf über 65 °C aufgeheizt werden. Die Wärmeverluste des Warmwassernetzes sollen minimiert, die Regelbarkeit an den Wasserzapfstellen verbessert und die Verbrennungsgefahr reduziert werden.

**Warmwasserzirkulation:** In grösseren Gebäuden wird durch ein Zirkulationssystem oder mit Begleitheizbändern (hoher Stromverbrauch!) erreicht, dass bei den verschiedenen Entnahmestellen ohne Verzögerung Warmwasser verfügbar ist. Durch gutes Dämmen der Leitungen und durch die Optimierung der Pumpenleistung kann hier Energie eingespart werden. Begleitheizung und Zirkulationspumpen werden durch den Einbau einer Zeitschaltuhr nur während den Nutzungszeiten des Gebäudes aktiviert.

## Optimierungen im Bereich Beleuchtung

**Lampen (Leuchtmittel):** Energiesparlampen, Leuchtstoffröhren und LED-Lampen der Effizienzklasse A ersetzen allmählich Glühfaden- und Halogenlampen. Bestehende Beleuchtungen mit weniger effizienten Leuchtstoffröhren (T8 und T12) können durch effiziente T5-Röhren und elektronische Vorschaltgeräte ersetzt werden. Adapter ermöglichen den Einsatz neuer Röhren für bestehende Lampenfassungen.

Die Leuchte (Beleuchtungskörper) ist mitverantwortlich für die Lichtausbeute und die Lichtverteilung. Form und Material der Leuchte selbst, insbesondere ihre Innenoberfläche (Reflektoren), beeinflussen die Lichtausbeute und damit den Energieverbrauch.

Beleuchtungssteuerungen sind optimierbar. Zeitschaltuhren und «Minuterie»-Schalter sollen vor allem in allgemeinen Zonen im Gebäude und in der Aussen-

beleuchtung eingesetzt werden. Durch Bewegungs-, Präsenz- und Dämmerungssensoren lässt sich der Energieverbrauch deutlich verringern. Wichtig ist deren Einstellbarkeit. Durch Reduktion der Erkennungsdis-tanz, der notwendigen Helligkeit oder der Laufzeit an den Reglern wird erreicht, dass das Licht nur noch ausgelöst wird, wenn dies wirklich nötig ist, und dass es nur so lange wie notwendig in Betrieb ist.

## Optimierung von Geräten

Zur Minimierung des Stromverbrauchs von elektronischen Geräten wie PC, Drucker, Kopierer, Kaffeemaschine usw. lassen sich vielfach die Energieeinstellungen (Standby, «Aus») verändern. Der Verlust an Komfort (mögliche Wartezeit) steht oft in keinem Verhältnis zum Mehrenergieverbrauch durch zu spätes Ausschalten. Für denselben Zweck eignen sich auch konventionelle Steckerleisten mit Schaltern.

**Kühlgeräte:** Die durchschnittliche Umgebungstemperatur und die eingestellte Kühltemperatur sind nebst der Effizienzklasse des Geräts die dominierenden Faktoren bezüglich des Energieverbrauchs. Die Temperatur soll bei Kühlschränken nicht tiefer als 5 °C und bei Gefriergeräten nicht tiefer als -18 °C eingestellt werden. Ein Kühlgerät läuft im kühlen Keller bedeutend effizienter als in der Wohnung oder im Heizraum.

## Wartung, Unterhalt und Ersatz von Anlageteilen

Bauteile und technische Geräte müssen unterhalten werden, damit ihre Funktion ohne Effizienzverluste erhalten bleibt. Elemente mit beweglichen Teilen sind besonders wartungsintensiv. Damit Wartungsvorgänge nicht vergessen gehen, sollte ein Wartungsplan erstellt werden. Der Ersatz defekter und alter Anlageteile bietet eine Chance zur Verbesserung der Energieeffizienz. Die Auswechslung eines Heizkessels, einer alten Umwälzpumpe oder der Heizungsregelung helfen Energie sparen. Im Bereich der Brauchwassererwärmung sollen elektrische Boiler durch alternative Lösungen ersetzt werden. Bei Wasch-, Kühl- und Haushaltgeräten ist der besten Energieklasse, bei elektronischen Geräten den Modellen mit Energy-Star-Label der Vorzug zu geben.

# 4. Energetische Nachbesserung von Fenstern und Aussen- türen, Fensterersatz

Fenster erfüllen eine Vielzahl von teilweise gegensätzlichen Anforderungen. Fenster sind selektive Trennelemente zwischen dem Aussenraum und dem Gebäudeinnern: Sie lassen Licht und Wärme und bei Bedarf auch Luft ins Gebäudeinnere einfließen und sie halten Regen, Schnee, Kälte und Schall von diesem fern. Weiter schaffen sie die im Verlauf der Geschichte immer wichtiger gewordenen Sichtbezüge von innen nach aussen und von aussen nach innen (Schaufenster). Das Fenster ist spätestens seit dem Mittelalter ein zentrales Element der Fassadengestaltung. Fenster sind aber ebenso Teile der Innenräume, sowohl in Bezug auf die formale Ausgestaltung der Wandflächen wie auch in Bezug auf die Lichtführung und die Raumstimmung. Dem Fenster wurde entsprechend viel Gewicht beigemessen: ornamentierte Fenstergerichte, harmonisch proportionierte Formate und Fensterteilungen, fein profilierte Rahmen, Flügel und Sprossen und dekorativ geschmiedete und ziselierte Beschläge oder bemalte Oberflächen prägen ihr Aussehen. Aus denkmalpflegerischer Sicht sind sie daher sowohl substanziiell wie auch in Bezug auf die äussere und innere Erscheinung von zentraler Bedeutung. Fenster sind sehr oft aus baukünstlerischer sowie bauhistorischer Sicht wertvoll. Die in den letzten Jahrzehnten stetig gestiegenen und in Normen festgesetzten technischen Anforderungen an das Fenster (Anforderungen an die Dichtigkeit, an den Wärme-, den Brand- und den Schallschutz sowie an die Einbruchssicherheit) haben dem Bestand historischer Fenster stark zugesetzt. Das Fenster ist der meist geopferte Bauteil im Rahmen der aktuellen energetischen Sanierungswelle.

## 4.1 Zur Geschichte des Fensters

Der Einbau eines lichtdurchlässigen, aber nicht durchsichtigen Flachglases in die Wandöffnungen wird als Erfindung spätestens den Römern zugeschrieben. Dennoch war der Öffnungsverschluss durch verschiedenartige Holzläden, Leder und Textilien in der mittelalterlichen Profanarchitektur Europas noch für lange Zeit die vorherrschende Lösung. Mit der Entwicklung von Butzen- und Mondglas ab dem 14. Jahrhundert setzte sich allmählich die Produktion von Glasscheiben mit durch Bleistege verbundenen Butzenscheiben durch und immer grossflächigere, wenn auch noch lange Zeit kleinteilige Fensterverschlüsse, wurden möglich. Sie boten allerdings nur geringen Schutz gegen äussere Einflüsse. Bei diesen direkt an die Gewände befestigten Verschlüssen der Wandöffnung blieb bis ins 17. Jahrhundert die Trennung des Fensterelements in einen Belichtungsteil mit fest eingebauten Scheiben und einen meist kleinen, beweglichen Belüftungsteil üblich.



Fenster mit Butzenscheiben, Bauernhaus von 1705, Weissenbach, Gemeinde Boltigen (BE) (Abb. 7)

In der Renaissance wurde die gesamte Wandöffnung mit Gewände, Fenster und rahmenden Verzierungen zu einem zentralen, fassadengliedernden und schmückenden Bauelement. Die Kombination von Blendrahmen mit beweglichen Flügelrahmen stellte die erste einigermaßen dichte Fensterkonstruktion dar. Die Zylinderglasherstellung brachte wesentliche Fortschritte: grössere Glasabmessungen, erhöhter Lichtdurchlass und als wesentliche Neuerung die Glatransparenz. Spätestens jetzt kam Fenstern und Holzläden eine unterschiedliche Funktion zu; sie wurden miteinander kombiniert und hintereinander angeordnet.



Spätgotisches Staffelfenster von 1664 mit jüngeren Verglasungen. Aarau, Haus zum Erker, Rathausgasse 10 (Abb. 8)

In der Barockzeit wurde dem Fenster als fassadengestaltendem Bauteil mit plastisch hervortretenden Gewänden besondere Aufmerksamkeit geschenkt. In der Fensterkonstruktion überwog das mehrteilige, hölzerne Kreuzstockfenster in vielerlei Varianten und Formaten. Anstelle der bisher üblichen Verbindung der Scheiben durch Bleistege wurden die zunächst noch kleinteiligen Scheiben nach französischem Vorbild immer öfter in Fälze von schmalen,



einfach profilierten Holzsprossen eingesetzt und mit Leinölkitt fixiert und gedichtet (siehe Verbindungen Glas – Rahmen, S. 31). Zum Schutz von Holz und Kitt wurde nun ein Ölfarbenastrich am Fenster angebracht.



Barockes Fenster mit hölzernem Kreuzstock, Schloss Flaach (Abb. 9)

Zweiflügelige Drehflügel Fenster mit Überschlag, dem sogenannten Stulp, lösten den öffnungsteilenden Mittelpfosten ab. Auch die Beschlagtechnik wurde stetig weiterentwickelt, um die Dichtigkeit der Fenster weiter zu verbessern. Weiter wurden der doppelte Blendrahmenfalz und der Wetterschenkel eingeführt. Der Wetterschenkel wurde zusammen mit dem unteren Flügelholz aus einem Stück gearbeitet. Zur Verbesserung des Wärmeschutzes ging man dazu über, im Winter Zweitfenster (Vorfenster) aussen vor den Hauptfenstern anzubringen und sie im Frühjahr wieder zu entfernen. Vorfenster fanden in der Schweiz insbesondere in den westlichen Landesteilen weite Verbreitung und konnten sich neben den Verbundfenstern bis in die Zeit nach dem Zweiten Weltkrieg behaupten. In den östlichen und nördlichen Landesteilen wurde auch das Kastenfenster eingesetzt; das Kastenfenster stellt eine Weiterentwicklung des Vorfenster systems dar: ein Leibungs-, Sturz- und Brüstungsfutter wurde zwischen beide Fenster geschoben, Fenster und Futter waren fest miteinander verbunden, so dass das äussere Fenster ganzjährig am Bau blieb.

Kastenfenster fanden wegen ihrer guten Wärmedämmung und Winddichtigkeit grosse Verbreitung. Bei Wintersonne liess sich der innere Flügel öffnen, so dass Sonnenwärme in die Räume einstrahlen konnte. Beklagt wurde als einziger Nachteil ein relativ grosser Reinigungsaufwand. Für repräsentative Bauten des späten 19. und frühen 20. Jahrhunderts sind auch innere Vorfenster bekannt.<sup>1</sup>



Vorfenster am gotischen Bürgerhaus Rue de la Samaritaine 16 in Fribourg (Abb. 10)

Die Fenstergliederung wandelte sich langsam vom mehrteiligen Kreuzstockfenster zum sogenannten Galgenfenster, einem rechteckigen, dreiteiligen Fenster, gegliedert in einen Unterteil mit zwei Drehflügeln und einen kippbaren, querformatigen Oberlichtflügel über einem Kämpferprofil.



Uster, Lokremise 1855/56, Fassadenausschnitt Seitenflügel mit Galgenfenstern (Abb. 11)

Technische Verbesserungen der Glasproduktion führten im Verlauf der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts zur Vergrösserung der Glasflächen und damit zur Reduktion der Sprossenzahl. Das Holzwerk des Fensters erfuhr mit dem Historismus und dem Jugendstil aber weiterhin eine reiche und aufwendige Gestaltung. Vorfenster und die meisten Kastenfenster hatten den Nachteil, dass die inneren und äusseren Flügelpaare getrennt geöffnet werden mussten. Nach 1850 wurde intensiv an der Lösung dieses Problems gearbeitet. Es resultierte das Verbundfenster (Doppelverglasungsfenster).

<sup>1</sup>) Hinweis Fritz Maurer, Firma Glomet AG, Horgen.

Das Verbundfenster besitzt einen Innen- und einen Aussenflügel, die durch eigens dafür geschaffene Beschläge miteinander verbunden sind. Beide Flügel nutzen also dieselbe gemeinsame Drehachse. Der Innenflügel kann zu Reinigungszwecken geöffnet werden. Die früheste, uns bekannte technische Zeichnung eines DV-Fensters stammt aus dem Jahr 1871.<sup>1</sup> Erste Verbundfenster tauchten in der Schweiz um 1900 auf (z.B. Bau der Nationalbank am Bundesplatz in Bern, 1906, oder 1911 die Erweiterungsbauten Gustav Gulls an der ETH in Zürich).

Die kurze Periode des Jugendstils ist gekennzeichnet durch einen sehr freien Umgang mit Form, Farbe und Platzierung des Fensters in der Fassade. Obwohl das Bauelement Sprosse aufgrund der Möglichkeiten in der Glasherstellung konstruktiv weitgehend überflüssig geworden war, erhielt es als bewusst eingesetztes Gestaltungselement eine dekorative Aufwertung.



Villa Fallet in La Chaux-de-Fonds, erbaut 1906–07 von Le Corbusier (Abb. 12)

In den 1910er-Jahren wurde mit dem Ziehglas (siehe folgendes Kapitel) eine wichtige Voraussetzung für die neuen grossflächigen Verglasungen der Architektur der frühen Moderne und des Neuen Bauens geschaffen. Fensterbänder und grosse, oft liegendrechteckige Glasflächen aus Einzelscheiben und neu auch Verbundscheiben sind wesentlicher Bestandteil der Architektur jener Zeit. Erstmals in der Geschichte wurde die optische Auf-



Schulhaus Dula Luzern, Albert Zeyer 1933 (Abb. 13)

lösung der Grenze zwischen aussen und innen, die Verschmelzung von Aussen- und Innenräumen möglich. Nur wenige Jahre später wurde diese Entwicklung durch den Zweiten Weltkrieg unterbrochen.

Die Moderne der 1950er-Jahre knüpfte an die Vorkriegsmoderne an und verwendete immer grössere Fenster und Verglasungen. Im Verlauf dieser Zeit kamen die ersten Mehrscheiben-Isoliergläser auf den Markt. Hinzu gesellten sich neue Fensteröffnungsarten, wie z. B. der Schwingflügel. In den letzten Jahrzehnten bestimmten primär bauphysikalische Anforderungen das Fenster, zuerst der Lärmschutz und in neuester Zeit der Wärmeschutz. Die stete Erhöhung der Wärmedämmwerte führte schliesslich zu dicken Dreischeiben-Isoliergläsern und damit auch zu grösseren Rahmenstärken. In den letzten Jahren hat sich die Glastechnologie rasant entwickelt. Die Scheiben einer Glasfront übernehmen im Verbund mit dem Rahmen die Statik, sodass wieder schlankere Rahmen gebaut werden können.



Küsnacht, Villa Streiff, Originalverglasung von 1929 (Abb. 14)

1) Franz Fink, Der Bautischler oder Bauschreiner und der Feinzimmermann, praktisches Hand- und Hilfsbuch, Leipzig 1877



## Zur Geschichte des Fensterglases

### Geblasene Gläser

Die Herstellung von geblasenem Glas mit der Glaspfeife hat eine lange Tradition, sie fand vermutlich seit dem 3. Jahrhundert n. Chr. bis weit ins 20. Jahrhundert Verbreitung.

### Butzenglas

Mit der Butzenpfeife (spezielle Glaspfeife) wurde zunächst eine kleine Kugel geblasen. Auf der der Pfeife gegenüberliegenden Kugelseite wurde anschliessend das Hefteisen, ein Metallstab, angebracht und die Kugel von der Pfeife getrennt. Nach erneutem Erwärmen wurde die Kugel mit einer sogenannten Auftreischere aufgeschnitten und der Rand rundherum umgeschlagen. Nun rotierte man das Glas, schlug es nach Erreichen der endgültigen Grösse vom Hefteisen ab und liess es im Kühllofen langsam abkühlen. Die leichte Verdickung, die Narbe in der Glasmitte (die sogenannte Butze), stammt vom Hefteisen.



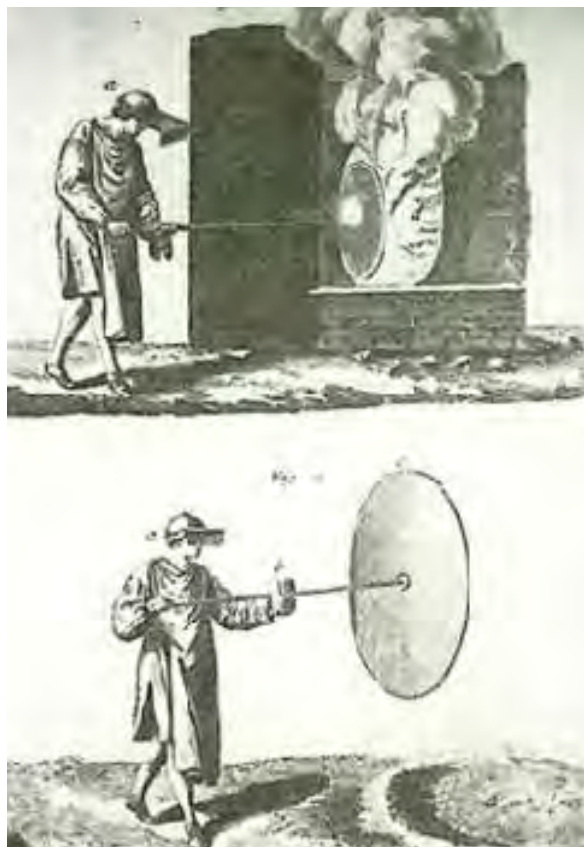
Detail einer Butzenscheibe mit mittiger Butze (Abb. 15)

### Mondglas

Mondglas ist eine Weiterentwicklung des Butzenglases. Das Hefteisen wurde stark rotiert, sodass mithilfe der Fliehkraft aus der Kugel eine Scheibe bis zu einer Grösse von 120 bis 150 cm geschleudert werden konnte. Diese Scheibe wurde ganz oder halbiert weiterverarbeitet, zuweilen auch mondformig aufgeteilt. Im Barock tauchten erstmals dünne Scheiben ohne mittige Butzen auf, die sogenannten «Tellergläser».

### Tellerglas

Um ein Teller Glas herzustellen, wurde eine Glaskugel geblasen und über einen Holzmodell gepresst. So entstand ein flacher Hohlkörper, dessen oberer Teil abgeschnitten wurde. Der tellerförmige «Boden» wurde nach dem Abkühlen als Rundscheibe genutzt oder zu anderen Formen, häufig Waben, zugeschnitten.



Glasblasen, Mondtechnik (Abb. 16)

### Zylinderglas

Streckglas oder gestrecktes Tafelglas wurde ab dem 15. Jahrhundert hergestellt. Zunächst wurde ein Glaszylinder mundgeblasen, die Enden gekappt, der Zylinder wieder erhitzt und an der heissesten Stelle aufgeschnitten. Schliesslich wurde die Glasfläche gestreckt, mit einem Polierholz geglättet und danach abgekühlt. Auf diese Weise konnten bereits recht grosse Glastafeln hergestellt werden. Später wurden die Gläser mit Pressluft geblasen. Mit diesem Verfahren wurden bis zu 12 Meter lange Zylinder gefertigt, aus welchen man wiederum Tafeln in einer Grösse herstellte, die selbst heute noch nicht mit Floatgläsern erreicht wird.

### Gewalzte Gläser

Das Walzglasverfahren wurde zum ersten Mal 1688 im französischen Saint-Gobain, dem Ursprung des heutigen gleichnamigen Weltkonzerns, angewandt. Geschmolzenes Glas wurde auf den Walztisch gegossen, verteilt und schliesslich gewalzt. Im Gegensatz zu den vorher genannten Verfahren wurde hier eine gleichmässige Dicke erreicht. Walzglas wurde für die Produktion von Spiegeln genutzt, die ungleichmässige Oberfläche bereitete jedoch Probleme. Fensterglas dieses Herstellungsverfahrens war mehrheitlich blind und Spiegelglas nur durch aufwendiges, kaltes Polieren zu erzielen.

## Ziehglas

Die Glasherstellung im Ziehverfahren, eine Entwicklung des belgischen Ingnieurs Fourcault, erfolgte ab 1913 industriell.

Eine Schamottedüse liegt in der flüssigen Schmelze. Nach dem Hochziehen durch einen Kühlkanal auf ca. 8 m Höhe kann das Glas oben zugeschnitten werden. Die Glasstärke wird ausschliesslich durch Veränderung der Ziehgeschwindigkeit variiert: langsames Ziehen ergibt dickes Glas, schnelles Ziehen hingegen dünnes Glas. Der Amerikaner Colburn entwickelte eine Methode, die seit 1917 unter dem Namen Libbey-Owens-Verfahren bekannt ist. Colburn verwendete im Gegensatz zu Fourcault keine Ziehöse. Stattdessen wird bei dem von ihm entwickelten Verfahren das Glas mit einer Fangvorrichtung direkt aus der Wanne gezogen. Nach einem Weg von ca. 70 cm läuft das noch weiche Glasband über eine polierte Stahlwalze, wird in die Horizontale umgelenkt und durchläuft anschliessend den Kühlkanal. Auf diese Weise liessen sich Ziehstreifen und -wellen, wie sie durch die Ziehöse des Fourcault-Verfahrens entstanden, vermeiden. Allen gezogenen Glassorten ist die durch den Ziehprozess bedingte – mehr oder weniger stark auftretende – optische Unruhe gemein, die gleichzeitig das stärkste Charakteristikum darstellt.

## Floatglas

Eine Revolution in der Fensterglasherstellung war das 1959 von den Gebrüdern Pilkington aus Grossbritannien vorgestellte Floatverfahren. Die Firma Pilkington Brothers nahm 1966 die industrielle Produktion von Floatglas auf. Die Glasmasse kühlte hier erstmals nicht mehr an der Luft, sondern schwimmend auf einer Metallschmelze aus Zinn (floating = schwimmend, treibend) ab. Der Traum vom durchsichtigen, planparallelen Glas ohne Butzen, Schlieren, Verwerfungen und kaum noch mit Einschlüssen und Verunreinigungen wurde erst jetzt Wirklichkeit. Schleifen und Polieren waren überflüssig geworden. Heute wird Fensterglas zu über 95% im Floatverfahren hergestellt.

## Bedeutung von Glas am Baudenkmal

Die technische Glasqualität verbesserte sich vom geblasenen zum gezogenen und vom gezogenen Glas zum Floatglas. Je älter die Gläser sind, desto deutlicher sind Unregelmässigkeiten sicht- und erlebbar. Gläser der 1950er-Jahre sind für Laien kaum mehr von Floatgläsern zu unterscheiden. Aber gerade Unregelmässigkeiten wie Farbnuancen, variierende Glasstärken, Verwerfungen, Einschlüsse und Schlieren verleihen den Gläsern ihre charakteristische Erscheinungsform. Mehr noch, Gläser formen das einfallende Licht mit und sind damit wesentlich für die Lichtstimmung der historischen Interieurs und für die Wirkung der Fenster in der Fassade verant-

wortlich. Bis ca. 1920 sind geblasene und zwischen 1920 bis 1970 gezogene Gläser die Regel. Seither wird zur Hauptsache Floatglas hergestellt. Umgekehrt werden geblasene und gezogene Fenster immer seltener. Glasart und Glaszustand spielen eine wichtige Rolle bei der Entscheidung über Fenstersanierungsvarianten. Die Beurteilung der alten Fenster und Gläser vor Planungsbeginn durch die Denkmalpflegefachstelle und den Fensterbauer sind sehr wichtig – Glasersatz, gezogenes, geblasenes oder Floatglas? Wenn immer möglich, sind die Originalgläser zu erhalten.

Es ist heute üblich, die historischen Gläser durch Floatgläser zu ersetzen. Aber auch andere Gläser können wärmebeschichtet werden. Die Diskussion über die Wahl der Glasart sollte bei Baudenkmalern vermehrt geführt werden. Ziehgläser und geblasene Gläser sind auf dem Markt erhältlich, und beide sind zu Isolierglas verarbeitbar. Ziehgläser beeinflussen den Fensterpreis in der Grössenordnung von 5%. Auch geblasene Fenstergläser (z.B. Butzen-, Teller- und Zylindertechnik) werden in einigen wenigen Glashütten in Europa noch hergestellt.

## Verbindungen Glas – Rahmen

### Bleiruten

Bleiruten waren lange Zeit unverzichtbarer Bestandteil der Verbindung einzelner Gläser untereinander. Zum einen sind es Fassungsstege und zum anderen Rahmen aus Blei, mit denen die einzelnen Glasteile zu einer ganzen Scheibe zusammengefügt wurden. Das verwendete Material besteht aus Blei (ca.  $\frac{3}{4}$ ) und aus Zinn (ca.  $\frac{1}{4}$ ), es wird auch als «Glaserblei» bezeichnet. Eine Bleirute besteht aus zwei dünnen Bleistreifen, den Bleibacken, die durch einen Bleisteg miteinander verbunden sind. Es entsteht dadurch im Querschnitt eine Doppel-T-Form bzw. eine H-Form. In den so entstehenden Falz können von beiden Seiten die Gläser eingeschoben werden. Die Knotenstellen, die sich bei der netzartigen Struktur der Bleirutenfenster zwangsläufig ergeben, werden mit Glaserblei verlötet. Bei grösseren Fensterflächen wurden zur Stabilisierung der Bleiruten und der gesamten Scheibe sogenannte «Windeisen» eingebaut, welche die Winddruckkräfte in die seitlichen Fensterrahmen (Blendrahmen) ableitet.

### Steckrahmensystem mit Holzprossen

Holzprossenfenster älterer Bauart funktionierten als unverleimtes Steckrahmensystem: Gläser, zweiseitig genutete feine Holzprossen und einseitig genutete Rahmenstücke wurden ohne Leim ineinander gesteckt. Holzdübel sicherten die Rahmeneckverbindungen. So gesteckte Fensterflügel waren in sich nicht steif, erst die Montage der Winkelbänder steifte die Fenster aus. Das System hatte den Nachteil, dass defekte Einzelgläser nur

ausgewechselt werden konnten, wenn der Fensterflügel zerlegt wurde. Diese Verglasungsart hielt sich vor allem in ländlichen Gegenden bis gegen die Mitte des 19. Jahrhunderts.

### Kittverglasungen

Seit dem späten 17. oder frühen 18. Jahrhundert wurden Kitte eingesetzt, welche aber erst im Verlaufe des 19. Jahrhunderts Verbreitung fanden. Die Sprossen wurden auf der Aussenseite gefälzt, die Fälze mit Leinölfirnis grundiert, die Scheiben in den Falz gelegt, mit Glaserdreiecken gesichert und schliesslich mit Kitt verschlossen.

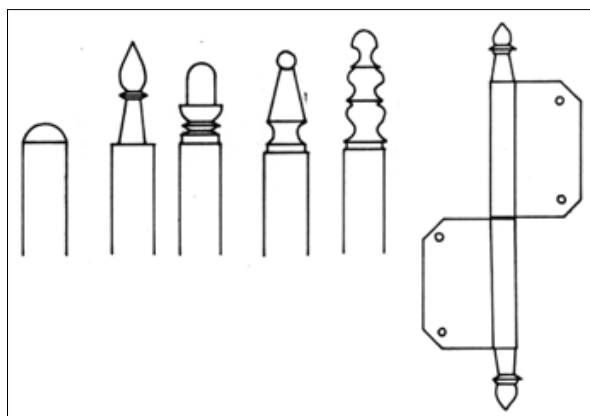
Der als Fensterkitt eingesetzte Leinölkitt wird bis heute aus ca. 85% Schlämmkreide (weicher Kalk) und ca. 15% Leinölfirnis hergestellt.

Jüngere Leinölkitt aus den sechziger und siebziger Jahren des letzten Jahrhunderts können Asbestfasern enthalten.

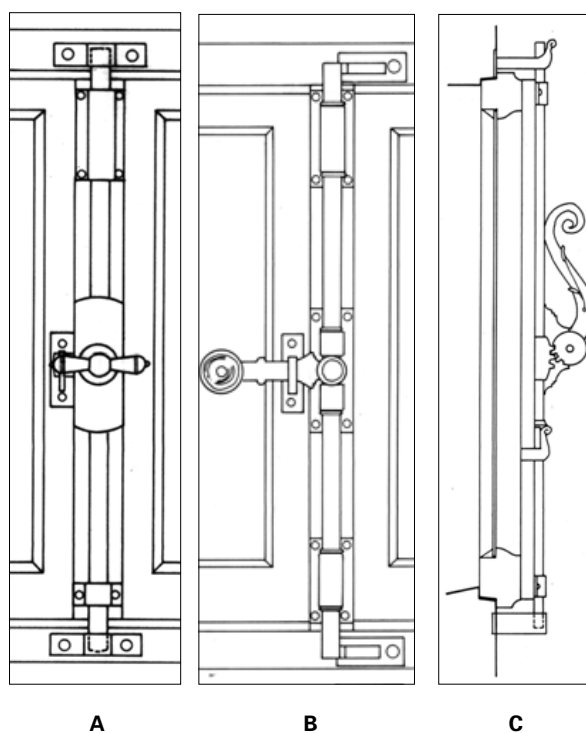
### Fensterbeschläge

Gotik und Renaissance kannten vorwiegend von Stützkloben getragene Lang-, Winkel- und Lappenbänder zur Fensterbefestigung und zur Verriegelung meist Vorreiber, kurze Schub- oder Feststellriegel. Als Neuerung brachte das Zeitalter des Barock die oft reich geformten und ziselierten S-Bänder, auch Spiralbänder genannt, die sich nur formal von den älteren Lappenbändern unterscheiden. Im Barock tauchten zudem die Fischbänder auf. Fischbänder sind Bänder, deren Lappen in das Holz der Türe und des Rahmens eingelassen, respektive eingetrieben (fichées) wurden. Sie werden bis heute eingesetzt. Der untere und obere Abschluss, die Kappen, wurden in den Formen der jeweiligen Stilströmung ausgebildet. Neue, bequemere und besser schliessende Fensterverschlüsse wurden ebenfalls im Barock eingeführt. Der Schubstangenverschluss (A) verwendet einen Drehmechanismus, der zwei Schubstangen nach oben und unten

schiebt, welche wiederum in die Ösen des Fensterrahmens laufen. Dieser Verschluss wird in der westlichen Schweiz auch Cremonenverschluss (in Frankreich: Serure à Crémone) und in den östlichen Landesteilen und in Deutschland auch Baskülenverschluss genannt. Die zu den Cremonenverschlüssen gehörigen Drehgriffe waren oft olivenförmig ausgeformt und wurden daher Oliven oder Fensteroliven genannt. Der Drehstangenverschluss (B), die sogenannte Espagnolette, besitzt eine Drehstange, die mit dem Ruder gedreht wird, bis die Haken der Stangenenden in die Endkloben des Fensterrahmens eingreifen; das Ruder wird in einem Haken (dem Ruderklöben) arretiert. Der Hebel- oder Triebstangenverschluss (C) besteht aus einer durchgehenden, halbrunden oder vierkantigen Stange, die in der Mitte mit Zähnen versehen ist und in welche der gezahnte Hebel eingreift. Diese Verschlussart wurde seltener für Fenster, häufiger als Verschluss für grössere Tore angewandt.



Fischband: Fischbandkappen von rechts nach links: Barock, Klassizismus, Biedermeier, 2. H. 19. Jh. und ab 1910 (Abb. 17)



Fensterverschlüsse seit dem 18. Jh.:  
**A** Schubstangenverschluss (Cremonenverschluss, Basküleverchluss, Basküle)  
**B** Drehstangenverschluss (Espagnolette)  
**C** Triebstangenverschluss

(Abb. 18)



## 4.2 Bauphysikalische Aspekte des Fensters

### Wärmeverluste durch die Fenster

Die Transmissionsverluste durch die Gebäudehülle betragen ca. 60 bis 80% der gesamten Wärmeverluste eines Gebäudes. 20 bis 40% betragen die Lüftungswärmeverluste durch die Öffnungen. Diese sind konstruktiv bedingt, werden jedoch zum grossen Teil durch das Nutzerverhalten beim Lüften gesteuert. Die konstruktiv bedingten Verluste sind auf Undichtheiten, vor allem zwischen Blend- und Flügelrahmen sowie im Bereich des Stulps, zurückzuführen.

### Der U-Wert des Fensters

Die für die Transmissionsverluste relevante Grösse ist der Wärmedurchgangskoeffizient U, der U-Wert (siehe Heft I, Gebäudehülle, Kap. 3.1, Bauphysikalische Grundlagen).

Das Fenster ist eine inhomogene Konstruktion, bestehend aus Holz- beziehungsweise Metallrahmen und gläsernen Füllungen. Die U-Werte von Rahmen und Glas gehen daher flächengewichtet in die Berechnung des U-Werts mit ein. Die Wärmebrückenwirkung des Glasrandverbunds von Isoliergläsern wird mit einem linearen Wärmedurchgangskoeffizienten ( $\Phi \cdot l$ ) berücksichtigt.

#### $U_w$ Wärmedurchgangskoeffizient des ganzen Fensters

$$U_w = \frac{U_g \cdot A_g + U_f \cdot A_f + \Phi \cdot l}{A_g + A_f}$$

$A_w$  Fläche des Fensters; w = window

$A_g$  Fläche des Glases; g = glass

$A_f$  Fläche des Rahmens; f = frame

$\Phi$  U-Wert des Glasrandes

$l$  Abwicklung Glasrand

Bedenkt man den prozentualen Rahmenanteil, so sind beim historischen Fenster die Gläser für die hohen Verluste verantwortlich.

Blend- und Flügelrahmen, in der Regel bei historischen Holzfenstern zwischen ca. 3.5 bis 5 cm stark, besitzen einen ungefähren U-Wert von 2.2 bis 2.7. Das traditionelle Einscheibenglas mit einer Stärke von ca. 2 bis 3mm hat einen wesentlich schlechteren Wärmedurchgangskoeffizient von ca. 5.8 W/m<sup>2</sup>K. Das gesamte Fenster erreicht im Durchschnitt einen U-Wert von ca. 4.5.

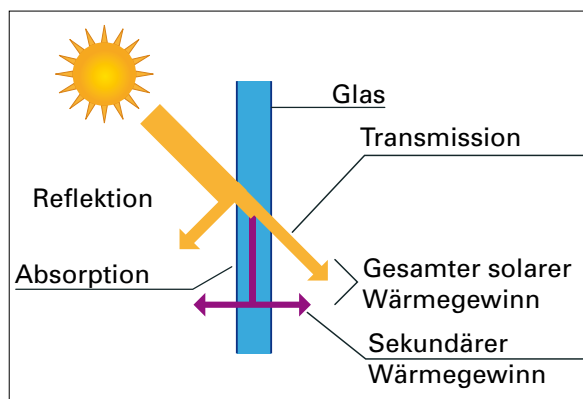
### Wärmegewinne durch die Fenster

Das Fenster ist der Bauteil mit dem grössten Potenzial an solaren Gewinnen in der Heizperiode. Solare Wärmegewinne durch das Fenster sind unter anderem abhängig

vom Objektstandort, der Fassadenorientierung, der Verschattung und den Eigenschaften des Fensters.

Die Strahlungsenergie der Sonne wird teilweise transmittiert, teilweise reflektiert und partiell vom Fenster absorbiert. Der absorbierte Teil strahlt als Wärmestrahlung in den Raum und nach aussen ab.

Die effektive, im Raum nutzbare solare Strahlung besteht aus dem transmittierten Anteil und dem sekundär vom Fenster einstrahlenden Anteil.



Direkter und indirekter Wärmegewinn durch das Fenster (Abb. 19)

### Gesamtenergiedurchlassgrad g (auch g-Wert genannt)

Der g-Wert ist die massgebende Grösse für den solaren Wärmegewinn, also den Wärmestrom von aussen nach innen. Der dimensionslose Gesamtenergiedurchlassgrad g ist der Quotient des durch die transparenten Bauteile durchgelassenen Wärmestromes (inkl. sekundäre Wärmeübertragung) zur einfallenden Gesamtstrahlung der Sonne. Der g-Wert hat einen wesentlichen Einfluss auf die passiven solaren Gewinne über die verglasten Bauteile und deshalb auch auf die Problematik der sommerlichen Überhitzung. Der g-Wert wird meist auch in Zusammenhang mit dem Tageslichtquotienten ( $\tau$ -Wert) genannt. Je tiefer der Gesamtenergiedurchlassgrad, desto schlechter wird auch die Tageslichtausbeute durch die Verglasung.

#### Typische g-Werte von Verglasungen:

Weissglas	$g = 0.85$
Einfachverglasung mit Klarglas	$g = 0.80$
Doppelverglasung mit Klarglas	$g = 0.75$
2-IV mit Klarglas	$g = 0.75$
3-IV mit Klarglas	$g = 0.70$
2-IV mit Wärmeschutzglas	$g = 0.4-0.6$
3-IV mit Wärmeschutzglas	$g = 0.35-0.55$
2-IV mit Sonnenschutzglas	$g = 0.15-0.45$
3-IV mit Sonnenschutzglas	$g = 0.15-0.40$

Alte Fenster mit einer Verglasung aus Klarglas ohne Wärmeschutzbeschichtungen weisen einen deutlich höheren g-Wert, aber auch höhere U-Werte auf als heutige Verglasungen. Der U-Wert und der g-Wert einer Verglasung haben einen Zusammenhang (vgl. unten stehende Tabelle). Fenster mit gutem Wärmeschutz (tiefer U-Wert) haben auch einen tieferen Gesamtenergiedurchlassgrad (tiefer g-Wert).

In Wohnräumen, bei denen ein hoher Ertrag an passiven solaren Gewinnen wünschenswert ist, sind Verglasungen mit möglichst hohen g-Werten zu wählen.

In Dienstleistungsgebäuden mit hohen internen Lasten und grösserer Problematik der sommerlichen Überhitzung, ist der Energiebedarf für die Kühlung zumeist relevanter als der Heizenergiebedarf. Hier sind tiefere g-Werte als Unterstützung des Sonnenschutzes vorzusehen.

	EV	EV*	DV	DV*	IV 6 mm Argon	Vaku- um- glas
Stärke (mm)	2–4	2–4	25– 45	25– 45	>12	6
$U_g$ (W/m <sup>2</sup> K)	5.8	3.7	2.8	1.8	2	< 1.3
Lichtreflexion in %	8	11	15	17	13	
Lichtdurchlässig- keit in %	90	82	81	74	78	
g-Wert	87	73	77	72	60	
Oberflächen- temperatur bei Innentemperatur + 20 °C/ Aus- sentemperatur –10 °C)	–2.6	5.6	9.1	13	12.2	

EV = Einfachverglasung, DV = Doppelverglasung  
\*: Mit Wärmedämmbeschichtung

### Funktion des Fensters im Feuchtehaushalt

Die historischen Fenster waren stets die kälteste Teilfläche einer Aussenwand. Daher kondensierte bei hoher Kälte und Luftfeuchtigkeit die Luft an der Glasfläche und tropfte von da in die für die Kondensate vorgesehene Rinne im Fensterbrett. Mit dem Einbau wärmedämmender und dichter Fenster entfällt die Glasfläche als Sollkondensatfläche. Die Gefahr von Kondensaten in den Fensterleibungen, die nun zu den kältesten Flächen der Aussenwand geworden sind, wächst. Bei Einfachfenstern mit schlanken Rahmen ist die Kondensatgefahr am grössten (kurzer Weg Aussenoberfläche – Innenoberfläche). Je weiter nach innen (siehe Abb. 24) die Leibung abgedeckt wird, desto höher ist die Oberflächentemperatur der Leibung unmittelbar innerhalb des Fensters. Die Oberflächentemperatur eines Einfachfensters ist im Schnitt 3–4 °C tiefer als diejenige eines Kastenfensters.

### Luftdichtigkeit und Lüftung

Dem Thema der Luftzirkulation zwischen innen und aussen kommt im Zusammenhang mit der Energiefrage eine zentrale Bedeutung zu. Lüftungswärmeverluste betragen 20 bis 40% der gesamten Energieverluste, bei hoch gedämmten Gebäuden gar bis zu 50%. Wir unterscheiden daher zwischen der beabsichtigten Raumlüftung mittels Öffnung der Fenster und der unbeabsichtigten Zirkulation, die durch undichte Fenster und Türen oder durch Leckagen erfolgt.

### Raumlüftung

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.

Diese Definition gilt streng genommen nur für die Verdünnungslüftung. Bei der Verdünnungslüftung (kontinuierlich) liegt die Rate der tatsächlich ausgetauschten Luft wesentlich niedriger.

Für normale Wohngebäude ohne raumluftechnische Anlagen wird eine Luftwechselrate von 1/h–3/h die Regel sein, Wohngebäude mit Raumluftechnikanlagen haben nur noch eine Luftwechselrate von ungefähr 0.5/h.

Die hygienische Mindestluftwechselrate liegt bei 0.3/h. Unterhalb dieser Grenze können Geruchsprobleme, Staub- und Mikroorganismenbelastung und problematische Radonkonzentrationen auftreten.

### Luftdichtigkeit

Bauten sind Hindernisse für den Wind. Auf der einen Seite des Gebäudes entsteht ein Überdruck und auf der anderen ein Unterdruck, der je nach Gebäudedichtigkeit besser oder schlechter ausgeglichen werden kann. Undichte Fenster und andere Bauteile dienen nur beschränkt der Lüfterneuerung, aber sie sind verantwortlich für grosse Energieverluste in der Heizperiode. Historische Fenster besitzen keine Dichtungen, daher ist es unter Umständen sinnvoll, solche nachträglich einzubauen.

In dichteren Räumen kann sich jedoch erhöhte Feuchtigkeit ansammeln, weil nach dem Abdichten weniger warme Luft entweichen kann, welche die Feuchtigkeit nach aussen abtransportiert. Dieser Tatsache ist gerade bei Baudenkmalen, bei denen eine Hülldämmung nicht möglich ist und deren Wandoberflächen relativ niedrige Temperaturen aufweisen, besondere Aufmerksamkeit zu schenken.

## 4.3 Denkmalpflegerische Grundsätze für die Fenstererhaltung

Die im Kapitel 2.2 formulierten denkmalpflegerischen Grundsätze gelten selbstverständlich auch für die Fenster. In Bezug auf Originalfenster gelten folgende konkreten Grundätze:

Originalfenster gehören zum wesentlichen Bestand eines jeden Baudenkmals, ihr Zeugniswert ist durch keine Nachbildung auch nur annähernd zu ersetzen. Sie sind daher zu reparieren, soweit dies immer möglich ist.

Je mehr wertvolle Fenster schadhaft sind, desto weniger ist es angebracht, alle auszutauschen; möglichst viele «Beweisstücke» sind in situ zu erhalten. In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, dass die Gleichartigkeit und Einheitlichkeit aller Fenster an einem Bau aus denkmalpflegerischer Sicht kein erstrebenswertes Ziel darstellt.

Geeignete Wärmedämmmassnahmen sind objektabhängig zu planen. Sind solche aus der Sicht der Denkmalpflege möglich, so sind dies in der Regel der Einbau von Dichtungen, der Glasersatz sowie der Einbau von Zweitfenstern, die wenn möglich als Kastenfenster ausgebildet werden – oder äussere Aufdoppelungen, die Einfachverglasungen zu DV- oder EV-IV-Fenstern und DV-Fenster zu EV-IV-Fenstern nachrüsten.

Glasersatz ist eine Option, wenn die in situ erhaltenen Gläser nicht bauzeitlich sind und auch sonst keine historische Bedeutung haben. Entsprechende Abklärungen mit der Denkmalpflegefachstelle sind vor Planungsbeginn zu treffen.

Werden erhaltenswerte Fenster wegen ihres schlechten Zustands ersetzt, sind sie detailgetreu und mit dem originalen Baumaterial (Holz, Metall) und mit den originalen Beschlägen nachzubauen. Für die denkmalgerechte Gestaltung von Ersatzfenstern bietet das Prinzip moderner Verbundfensterkonstruktionen (EV-IV) oder Kastenfenster die besten Voraussetzungen.

## 4.4 Massnahmen zur energetischen Verbesserung von Fenstern

### Vorgehen

Mögliche Vorgehensweisen bei energetischen Sanierungen wurden im Heft I, Gebäudehülle, Kapitel 5.1 aufgezeigt.




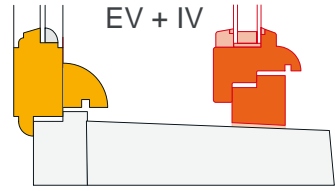

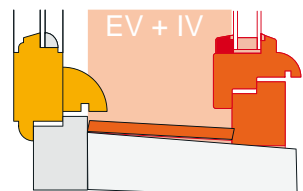

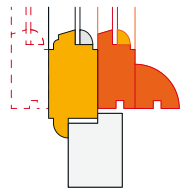

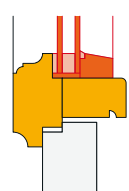
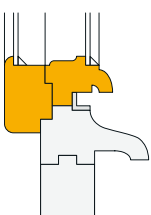
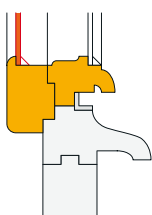
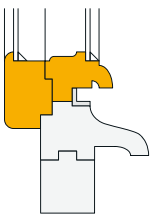
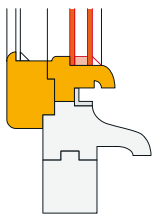
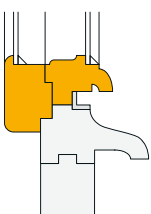
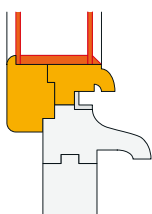
Das Vorgehen umfasst die Analyse (detaillierte Erfassung des Ist-Zustands), die Konzeptfindung, die Projektierung, die Ausführung und – beim Fenster besonders wichtig – auch der Unterhalt muss in die Betrachtungen mit einbezogen werden.

Durch die aktuellen Fördermassnahmen von Bund und Kantonen motiviert, werden heute oftmals Einzelbauteile saniert, im Fokus steht dabei häufig das Fenster. Die Einzelbauteilsanierung als bauliche Massnahme ist an sich möglich, aber die vorangehende energetische Analyse und das energetische Konzept sollten unbedingt für das ganze Objekt erstellt werden. So ist z.B. die Verhältnismässigkeit einer Massnahme nur im Kontext des ganzen Gebäudes beurteilbar. Der effektive jährliche Energieverbrauch, möglichst über mehrere Jahre ermittelt, stellt nebst dem Befund am Bau und der Analyse der Anlagentechnik eine unverzichtbare Grundlagengrösse dar. Auch er dient als Messlatte für die Verhältnismässigkeit der vorgesehenen Massnahmen.

Historische Bauten aus der Zeit vor dem Ersten Weltkrieg weisen eher kleine Fensterflächen auf. Bei nicht wenigen Baudenkmalern betragen sie nur 5 bis 10% der Fassadenfläche und damit noch bedeutend weniger bezogen auf die Gebäudehüllfläche (inkl. Boden und Dachboden). Nicht selten werden die Fenster mit erheblichem finanziellen Aufwand nachgerüstet oder gar ersetzt, doch die gewünschten energetischen Einsparungen treten nicht in erhofftem Ausmass ein.

Nachrüstung und der Ersatz der Fenster verändern das System des Feuchtehaushalts. Beschränken sich die Überlegungen auf das Fenster, können unliebsame Überraschungen entstehen. Besonders in Räumen, in denen erhöhte Feuchtigkeit anfällt, steht das Fenster nach der Sanierung nicht mehr als Sollkondensatfläche zur Verfügung, weil seine Oberflächentemperaturen jetzt wesentlich höher sind. Eine Folge davon sind, vor allem bei Massivbauten, erhöhte Feuchtigkeit im Innern und möglicherweise Schimmelbildung in Bereichen der jetzt kältesten Oberflächen, den Fensterleibungen.

**Massnahmen – Übersicht**

	Bestand	Massnahme
20.1 Dichtungseinbau für EV- und DV-Fenster	EV 	EV 
20.2 Zusatzfenster als Vorfenster	EV 	EV + IV 
20.3 Erweiterung zum Kastenfenster	EV 	EV + IV 
20.4 Aufdoppelung Rahmen und pyrolitisches Glas	EV 	DV 
20.5 Ersatz EV- durch pyrolitisches Glas IV- oder Vakuumglas	EV 	IV 
20.6 DV-Fenster: Ersatz inneres Glas durch pyrolitisches Glas	DV 	DV 
20.7 DV-Fenster zu EV- IV-Fenster	DV 	EV + IV 
20.8 Umbau DV- zu IV-Fenster	DV 	IV 

(Abb. 20)

## Technische Hinweise zur Fensterreparatur

Die Höhe des maximalen Substanzverlusts für eine ökonomisch und technisch noch sinnvolle Fensterreparatur wird je nach Quelle unterschiedlich angegeben. Je schlechter der Zustand, desto aufwendiger ist die Sanierung, aber grundsätzlich sind fast alle Fenster reparierbar. Je nach Bedeutung derselben muss auch einmal eine aufwendige Reparatur in Kauf genommen werden. Jedes Fenster muss einzeln durch den Spezialisten beurteilt werden, denn je nach Lage hat ihm die Witterung im Laufe der Zeit unterschiedlich stark zugesetzt.

Ein Ausbau des Fensterrahmens (Blendrahmens) ist meist nicht ohne Verluste realisierbar. Daher soll der Rahmen, wenn immer möglich, in situ saniert werden. Wenn es um eine Ausbesserung grösserer Rahmenschäden geht, ist dies nicht möglich; in diesem Fall muss der Ausbau zuerst an einem Fenster exemplarisch geprüft werden.

Das partielle Auswechseln von Hölzern ist substanzschonend und sichert wichtige historische Informationen. Exponierte, horizontale Teile am Fenster, wie der Wetterschenkel, das untere Blendrahmenquerholz oder der Kämpfer, sollten wegen ihrer auch künftigen Belastung besser als Ganzes ausgewechselt werden. Partielle Auswechslungen werden bei stärkeren Querschnitten mittels Zapfen- und Schlitzverbindungen, bei schwächeren Querschnitten mittels Überblattung gelöst. Bei nur oberflächennahen Schäden müssen die Partien zurückgearbeitet und mit aufgeleimten Hölzern ergänzt werden.

Auch bei den Beschlägen und Gläsern geht es darum, möglichst viel Substanz am Bau zu erhalten.

Als Farbmaterial für die Anstriche ist Ölfarbe zu bevorzugen. Wichtig ist, dass vor dem Massnahmenbeschluss der Schichten- und Farbaufbau auf dem Holz analysiert wird, sodass aus technischer und denkmalpflegerischer Sicht der geeignete Aufbau gewählt und der Farbton bestimmt werden kann.

## Zweitfenster aussen (selten raumseitig)

### (Abb. 20.2)

In unserer Gegend waren fassadenbündige Zweitfenster als Vorfenster oder Winterfenster verbreitet. Bezüglich der Wärmedämmung entsprechen solche Fenster in etwa den zu Doppelfenstern umgebauten Einfachfenstern. Die Massnahmenkombination von neuem Vorfenster und Glasersatz am bestehenden Fenster kann eine prüfungswerte Variante für eine energetische Sanierung sein. Beim Anbringen eines raumseitigen Zweitfensters ist zu beachten, dass vor allem bei Massivbauten die Gefahr zur Bildung von Kondensaten an den Leibungen mit kalten Oberflächen besteht. Dies geschieht, weil das Zweitfenster die Luftzirkulation behindert und das neue Fenster mit einer – gegenüber dem Altfenster – höheren Oberflä-

chentemperatur nicht mehr als Kondensationsfläche zur Verfügung steht.

Eine gute Möglichkeit ist daher die Ergänzung der beiden Fenster zum Kastenfenster. Hiermit können die Leibungen, wenn auch meist minimal, gedämmt werden.

## Flügelauddoppelung aussen bei EV-Fenstern

### (Abb. 20.4)

Für einfach verglaste Fenster, die umfassend erhalten werden sollen, existiert die Möglichkeit der Aufdoppelung eines zweiten Flügels auf der Aussen- oder auf der Innenseite. Diese Massnahme entspricht dem Grundsatz der Addition und der Reversibilität. Aus bauphysikalischer Sicht eignet sich im Normalfall die Aussenaufdoppelung besser, aus denkmalpflegerischer bedeutet den Verlust des Wetterschenkels und kann die äussere Erscheinung schmälern. Ob die Erhaltung des Fassadenbildes oder diejenige des Interieurs höher zu gewichten ist, bleibt eine denkmalpflegerische Abwägung. Die Tragfähigkeit der bestehenden historischen Beschläge ist differenziert zu beurteilen. Für Fischbänder gibt es in der Regel keine Probleme. Winkelbänder müssen in Ausnahmefällen mit zusätzlichen Befestigungen versehen werden. Das Aussenflügeldoppel ist meist eine Nachbildung der Aussenansicht des bestehenden Flügels. Es gibt aber auch wertvolle Fenster (z. B. Kirchenfenster), die nicht nachgebildet werden können. Bei komplexen Sprossenbildern, bei alten Bleiverglasungen oder bei Glasmalereien kann das Aussendoppel in zweifacher Hinsicht dienen: Es kann energetische Nachrüstung und gleichzeitig Schutzvorrichtung vor der Witterung und mechanischen Einwirkungen sein. In solchen Fällen werden öffnungsgrosse sprossenlose Verglasungen eingesetzt. Durch die Aufdoppelung treten die Fenster um Rahmenstärke nach aussen, die äussere Leibungstiefe wird also um diese reduziert, und es entsteht um das Fenster herum eine Schattenfuge. Da historische Bauten oft recht tiefe Leibungen aufweisen, ist diese Veränderung in den meisten Fällen vertretbar.



Altes Rathaus La Neuveville, Schutzverglasungen vor den Originalfenstern, ausgenommen das Fenster rechts aussen (Abb. 21)



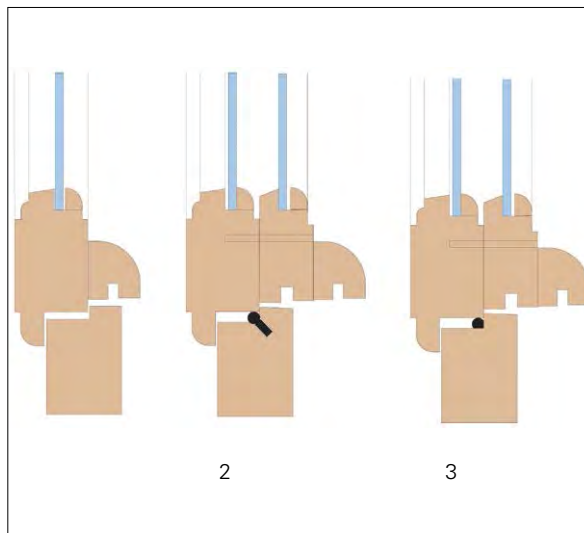
Aus bauphysikalischer Sicht ist die aussenseitige Aufdoppelung geeignet, weil die Kontaktebene von neuem und altem Flügel ausserhalb der Dichtung liegt. Die Gefahr, dass warme Raumluft zwischen die beiden Flügel gerät, ist geringer. Zudem ist die innere Oberflächentemperatur des neuen Glases höher, als es diejenige des Altfensters war. Es empfiehlt sich Wärmeschutzglas zu verwenden, die beschichtete Seite nach innen gerichtet.



Musterfensterflügel mit Aussendoppel: Innenansicht (Abb.22)

### Aufdoppelung innen (Abb. 20.4)

Innenaufdoppelungen werden mit originale Sprossenbild oder sprossenlos ausgeführt. Für innere Aufdoppelungen werden beschichtete Wärmeschutzgläser oder IV-Gläser angewendet. Im Normalfall überwiegen die Nachteile gegenüber einer Aussendoppelung. Die Kontaktebene zwischen Innenflügel und altem Aussenflügel wird innerhalb der Dichtung zu liegen kommen: Wenn die beiden Flügel nicht dicht verbunden sind, kann warme Raumluft in den Zwischenraum gelangen und an der Innenseite des äusseren, alten Fensters kondensieren und die Scheiben können beschlagen. Weiter müssen die Bänder auf die Innenseite der Aufdoppelung versetzt und angepasst oder gar ersetzt werden.

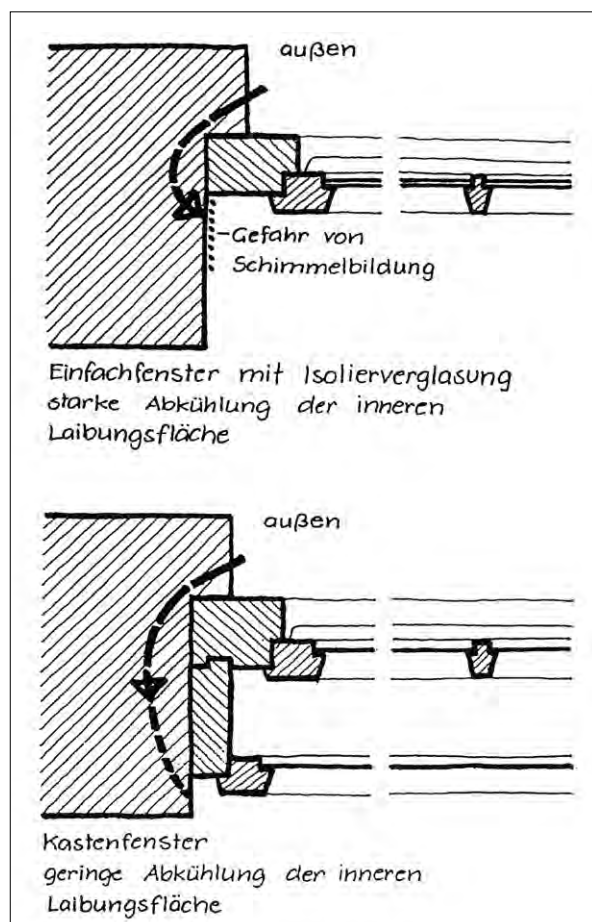


Schnittschema Aussendoppelung und Dichtung. Eine Belüftung des Zwischenraums wird empfohlen. Ein Zwischenraum zwischen Doppel und Fenster von ca. 1 mm bewirkt eine U-Wertverschlechterung von ca. 0.1 W/m<sup>2</sup>K. Dichtung eingefräst (2) oder geklebt (3) (Abb. 23)

### Erweiterung zum Kastenfenster (Abb. 20.3)

Das Kastenfenster ist eine Fensterkonstruktion, bei der zwei im Abstand der Leibungstiefe gesetzte Blendrahmenfenster durch ein Futterbrett miteinander verbunden sind. Aus energetischer Sicht sind Kastenfenster sowohl in Bezug auf die Wärmeverluste als auch in Bezug auf die passiven solaren Wärmegewinne sehr effizient. U-Werte von historischen Kastenfenstern mit zwei EV-Fenstern werden mit ca. 2.5 angegeben. Werden sie saniert und wird das neue innere Glas als Wärmeschutzglas erstellt, so kann der U-Wert des Fensters den vorgeschriebenen U-Wert von 1.3 nach MuKE n problemlos erreichen. Ist aus denkmalpflegerischer Sicht die Erweiterung vom Einfachfenster zum Kastenfenster an einem Objekt möglich (z.B. bei einfachen Putzleibungen), so ist das eine optimale Lösung, weil das Originalfenster intakt erhalten bleibt und damit bauphysikalisch eine gut funktionierende und energetisch effiziente Lösung erreicht werden kann. Grundsätzlich kann der Kasten vom bestehenden EV-Fenster nach aussen oder nach innen erweitert werden. Eine Erweiterung nach aussen ist dann sinnvoll, wenn ein Baudenkmal bereits fassadenbündige Vorfenster hat, die nachgerüstet werden können. Die Erweiterung nach innen kann hingegen bei Massivbauten sinnvoll sein. Das beide Flügel verbindende Futter kann eine willkommene Lösung zum Schutz der kondensatgefährdeten Leibungen sein (siehe Abb. 22). Bei normalen Rahmenstärken von nur wenigen Zentimetern kühlen die Leibungen stark aus und es besteht die Gefahr von Oberflächenkondensaten. Wenn nun Kastenfenster mit grösseren Tiefen, im Idealfall Leibungstiefe, ausgebildet werden, so fällt diese konstruktive Wärmebrücke wesentlich weniger ins Gewicht. Wenn noch eine murale

Leibungsfläche sichtbar bleibt, so liegt sie wesentlich weiter im Querschnittinnern und weist eine entscheidend höhere Oberflächentemperatur auf. Allerdings können an den kalten Kastenleibungen selbst unliebsame Kondensate entstehen. Aus bauphysikalischer Sicht ist weiter wichtig, dass der innere Flügel dichter ist als der äussere, sodass möglichst wenig warme Luft in den (normalerweise belüfteten) Fensterzwischenraum gelangt, die an den kalten Innenoberflächen des äusseren Fensters kondensieren könnte.



Thermische Verhältnisse in Fensterleibungen von Massivbauten (Abb. 24)

Bei Fachwerkbauten und Holzständerbauten bilden massive Holzpfosten, Stürze und Bänke den Öffnungsrahmen, sodass hier – sind Vorfenster und Fenster vorhanden – schon nahezu ein Kastenfenster realisiert ist. Die Anschlussflächen sind jedoch weniger dicht.

## Dichtungseinbau (für alle Holzfenster)

### (Abb. 20.1)

Historische Fenster haben keine Fugendichtungen. Daher sind die Lüftungsverluste im Allgemeinen hoch. Mit dem Einbau von Dichtungen werden die Lüftungswärmeverluste um bis zu 90% und die gesamten Energieverluste um bis zu einem Drittel reduziert.

Bewährt haben sich Hohlprofildichtungen (Schlauchdichtungen) aus Silikon. Der Durchmesser des Hohlprofils soll den Platzverhältnissen so angepasst werden, dass die Fuge zwar geschlossen wird, aber kein allzu grosser Druck auf die Beschläge resultiert.

Die Montage kann grundsätzlich am Blend- oder am Flügelrahmen vorgenommen werden. In der Praxis zeigt die Montage an den Flügeln Vorteile. Erstens ist die Dichtung rundum machbar (bei Blendrahmen unter Umständen unterbrochen durch die Beschläge) und zweitens können so die Flügel ausgehängt und ausserhalb der bewohnten Räume bearbeitet werden.

Bezüglich Montageart der Dichtungen, ob eingefräst oder nur geklebt, gibt es unterschiedliche Ansichten. Aus denkmalpflegerischer Sicht sind geklebte Dichtungen eher zu bevorzugen, weil die eingefrästen Nuten gerade bei schlanken Flügelquerschnitten zu unnötiger Schwächung und Substanzverlust führen. Es ist demnach wiederum im Einzelfall abzuklären, ob die Dichtung im Blendrahmen oder im Flügelrahmen eingesetzt werden kann oder ob sie nur aufgeklebt werden soll.

Die Dichtungsebene ist stets so weit innen wie möglich anzubringen. Insbesondere bei Sanierungsvarianten, welche die Einfachverglasungen zu Doppelverglasungen nachrüsten, ist darauf zu achten. Andernfalls kann feuchte Innenluft in den Glaszwischenraum eindringen und zu Scheibenbeschlag – und in der Folge auch zu Fäulnis – führen. Die Nachrüstung der historischen Fenster mit Dichtungen bedeutet nicht nur eine effiziente wärmetechnische Verbesserung, sondern sie erhöht gleichzeitig den Schallschutz. Die Erhöhung der Dichtigkeit erfordert jedoch ein diszipliniertes, richtiges Lüftungsverhalten, ansonsten können erhöhte Feuchteinträge zu Schimmelbildungen führen. Als Dichtigkeitstest kann ein Blatt Papier zwischen Rahmen und Flügel eingelegt werden: Wenn es bei geschlossenem Fenster feststeckt, also nicht ohne Widerstand herausgezogen werden kann, ist das Fenster dicht.

## Einsatz von beschichteten Gläsern bei EV- und DV-Fenstern

### Beschichtungen für den Wärme- und für den Sonnenschutz

Wärmeschutzgläser besitzen eine niedrige Emissivität und Sonnenschutzgläser einen geringen Sonnendurchgang (kleiner g-Wert). Beide Gläser werden mehrheitlich in zwei Verfahren hergestellt, als harte (pyrolytische) und als weiche (im Vakuum-Magnetron-Verfahren hergestellte) Beschichtungen. Bei der pyrolytischen Beschichtung wird das Floatglas direkt nach Verlassen des Ofens mit Metalloxiden bestäubt, die mit dem Glasmaterial verschmelzen. Die Vakuum-Magnetron-Beschichtungen sind Metalloxide, die auf das abgekühlte, bereits zugeschnittene Glas mit der Vakuum-Magnetron-Beschichtungstechnik mehrschichtig aufgetragen werden. Diese Beschichtungen sind weniger fest mit dem Glas verbunden und daher leichter zu beschädigen.

### Größenordnung der Verbesserung durch Beschichtung

	$U_g$ vorher	$U_g$ nachher
EV-Fenster	5.8 W/m <sup>2</sup> K	3.7 W/m <sup>2</sup> K
DV-Fenster	2.8 W/m <sup>2</sup> K	1.8 W/m <sup>2</sup> K

### Beschichtete Einfachgläser (Abb. 20.5 und 20.6)

Der Einsatz von beschichteten Einfachgläsern entspricht einem normalen Glasersatz. Entweder wird das Glas eines EV-Fensters oder das innere Glas eines DV-Fensters durch ein beschichtetes Wärmeschutzglas ersetzt.

Die Wärmeschutzbeschichtung verleiht dem Glas eine geringere Emissivität, das Glas verhindert somit raumseitig das Entweichen von Strahlungswärme.

Die Beschichtung liegt bei EV-Fenstern raumseitig und bei DV-Fenstern auf der geschützten Seite des Glaszwischenraums. Einen Nachteil stellt die Verschärfung der von DV-Fenstern bekannten Kondensationsprobleme dar. Bis heute können nur Floatgläser beschichtet werden. Ist das vorhandene Glas noch das Originalglas und ist es geblasenes Glas (Zylinderglas) oder gezogenes Glas, so muss die beabsichtigte Auswechslung mit der Denkmalpflege abgesprochen werden.

### Einsatz von Isolierglas für DV-Fenster (Abb. 20.7 und 20.8)

Isoliergläser gelangen im Rahmen energetischer Sanierungen oft bei jüngeren Baudenkmalern mit DV-Fenstern zur Anwendung. Für kleinteilige EV-Fenster sind sie nicht geeignet, weil die Glasstärke zu grosse Veränderungen der Flügelrahmen, der Sprossen und der Beschläge (Gewicht) nach sich ziehen. Vereinzelt können sie für grossformatige Verglasungen aus Holz oder Stahl eingesetzt werden.

Zweifachisoliergläser haben bei entsprechender Luftschichtstärke gegenüber den beschichteten Floatgläsern den Vorteil einer besseren Wärmedämmung, jedoch den Nachteil einer grösseren Bauteilstärke, zudem sind nicht beliebig kleine Scheiben herstellbar.

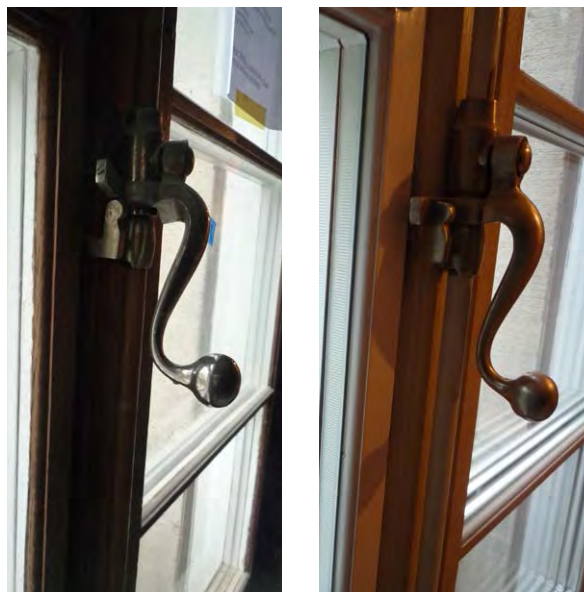
Beschichtete Einfachgläser haben einen U-Wert von 3.8 W/m<sup>2</sup>K. Die schlankesten beschichteten, mit dem Edelgas Krypton gefüllten IV-Gläser mit einem Scheibenzwischenraum von 4 mm erreichen einen U-Wert von 1.9. Floatgläser haben normalerweise eine Stärke von 4–6 mm, die Gesamtglasstärke beträgt also mindestens 12 mm. Bei kleineren Gläsern kann die Glasstärke noch um 1 mm reduziert werden, also wird eine minimale Gesamtglasstärke von 1 cm erreicht.

Isoliergläser haben den Vorteil der freien Glaswahl. Das nicht beschichtete äussere Glas kann sowohl gezogenes als auch geblasenes Glas sein. Isoliergläser werden normalerweise trocken mit einer Glasleiste eingeglast und versiegelt. Aus denkmalpflegerischen Gründen werden auch Einkittungen (Silikonkitt) vorgenommen. Die ständigen, thermisch bedingten Verformungen des Glasrandbereichs beanspruchen die Verbindung aber stark.

### Größenordnung der Verbesserung durch IV-Verglasung

	$U_g$ vorher	$U_g$ nachher
EV-Fenster	5.8 W/m <sup>2</sup> K	2 W/m <sup>2</sup> K
DV-Fenster	2.8 W/m <sup>2</sup> K	1.4 W/m <sup>2</sup> K
DV Umbau zu IV	2.8 W/m <sup>2</sup> K	1.1 W/m <sup>2</sup> K

Bei entsprechender Konstruktionsstärke werden auch Versuche mit der Nachrüstung von DV-Fenstern zu Dreifachisolierglasfenstern durchgeführt.



Küsnacht, Villa Rudolph, links DV-Fenster original, rechts Muster mit Dreifachisolierglas nachgerüstet (Abb. 25)



### Zukunft Vakuumglas (Abb. 20.5)

Im asiatischen Raum sind Vakuumgläser aus Japan, China und Korea auf dem Markt. Japanische Gläser können auch bereits von der Schweiz aus bestellt werden. Produziert werden Stärken von 6 mm, 8 mm und 10 mm. Der Randverbund der japanischen Gläser wird in einer Glasschweisstechnik hergestellt, daher können diese Gläser nicht wärmebeschichtet werden. Der U-Wert des 6-mm-Glases beträgt  $1.4 \text{ W/m}^2\text{K}$ . In Europa laufen mehrere Forschungsprojekte, in deren Rahmen bereits U-Werte von 0.2 bis  $0.5 \text{ W/m}^2\text{K}$  erreicht werden. Herausforderungen stellen der grosse atmosphärische Druck auf die Gläser und die dauerhafte Erhaltung des Vakuums dar. Der atmosphärische Druck auf die evakuierten Gläser beträgt ca. 10 Tonnen pro Quadratmeter. Daher zeigen die Vakuumgläser im vakuumierten Scheibenzwischenraum in regelmässigen Abständen gesetzte transparente Stützplättchen. Es wird davon ausgegangen, dass künftig Vakuumgläser U-Werte von bis zu 0.4 erreichen, also mindestens so gut sein werden wie die heute erhältlichen dicken und schweren Dreifachisoliertgläser.

## 4.5 Fensterersatz und Fensterrekonstruktion

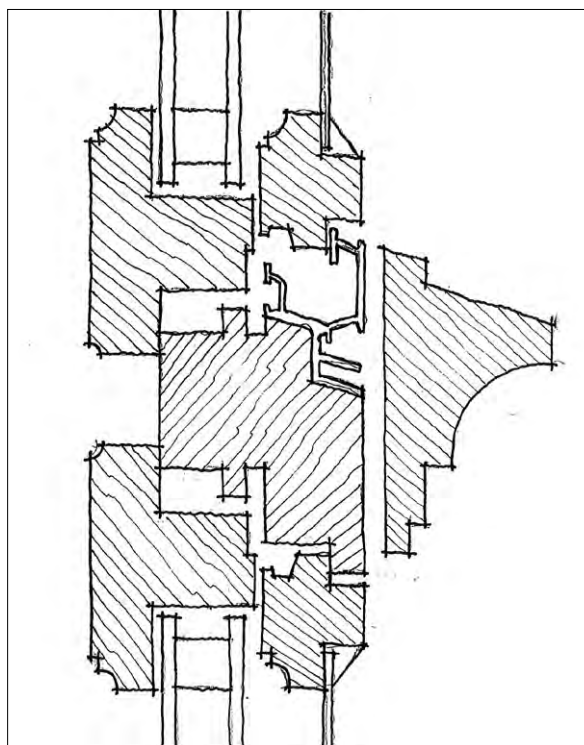
Wir unterscheiden den Ersatz historischer Fenster von der Rekonstruktion nicht erhaltener historischer Fenster als zwei verschiedene Aufgaben, die aus technischer Sicht letztlich ähnlich oder gleich gelöst werden. Beide sind im Zusammenhang mit der energetischen Nachrüstung von Denkmälern von hoher Wichtigkeit. Geht es für die historischen Fenster (es müssen nicht zwingend die bauzeitlichen sein) darum, diese möglichst komplett und unverändert am Baudenkmal zu erhalten, so kann eine energetische Sanierung im anderen Fall eine Chance zur Verbesserung darstellen, nämlich dann, wenn die Fenster in den letzten Jahrzehnten bereits ausgewechselt und durch ungeeignete ersetzt wurden. In einem ersten, der Planung vorangehenden Schritt muss daher eine sorgfältige Analyse und Beurteilung des Fensterbestands vorgenommen werden. Die Denkmalpflege eruiert den historischen und gestalterischen Wert sämtlicher vorhandenen Fenster. Der Befund bildet die Grundlage für die weiteren Entscheidungen.

Nur in seltenen Fällen ist es nicht möglich, historische Fenster zu reparieren und nachzurüsten, viel häufiger bietet sich die Chance, Bausünden vergangener Jahrzehnte zwar nicht rückgängig zu machen, sie aber zu korrigieren und damit das Denkmal aufzuwerten. Das in situ am Bau gefundene Original dient als Vorbild. Sind keine Fenster erhalten, liefern alte Fotos und Zeichnungen, aber auch die in situ erhaltenen Spuren (z. B. Kämpferabdrücke an Gewänden), wichtige Hinweise

für eine Rekonstruktion. Sind auf diese Weise keine oder nicht genügend Anhaltspunkte auffindbar, so wird die Fachstelle mittels analogen Objekten Lösungsansätze liefern.

Die Wahl des technischen Systems ist abhängig von der Art und der Bedeutung des Baudenkmals. An herausragenden Baudenkmalen kann der Fensterersatz in Einzelfällen auch einmal eine vollständige Rekonstruktion ohne wärmetechnische Nachrüstung darstellen. Im Normalfall aber werden EV-IV- und IV-Lösungen diskutiert. Die IV-Gläser werden konventionell in Flügelrahmen eingeglast oder im Trennverfahren zwischen zwei Teilrahmen eingefügt (Sandwich-Konstruktion).

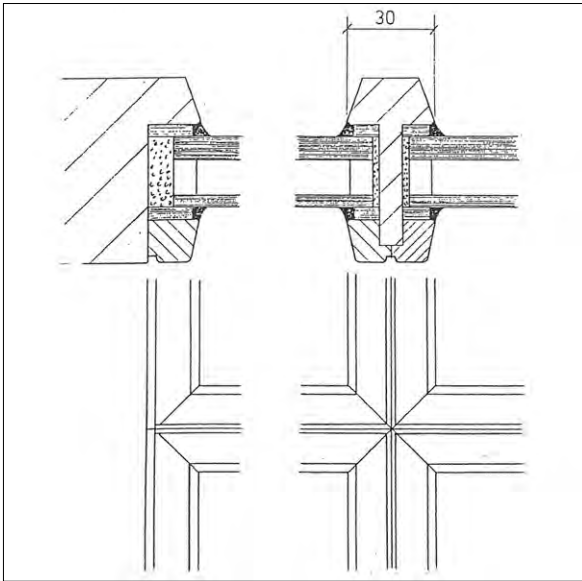
1. Der Bau von EV-IV-Fenstern mit einem aussenseitig angeordneten EV-Fenster mit echten Sprossen, gemäss dem Vorbild des Originals, und einem raumseitigen, durchgehenden IV-Glas (evtl. mit rahmenbündigen aufgesetzten Sprossen, und diesen entsprechend, zusätzlichen Stegen im Isolierglas).



Kämpferdetail EV-IV-Lösung (Abb. 26)

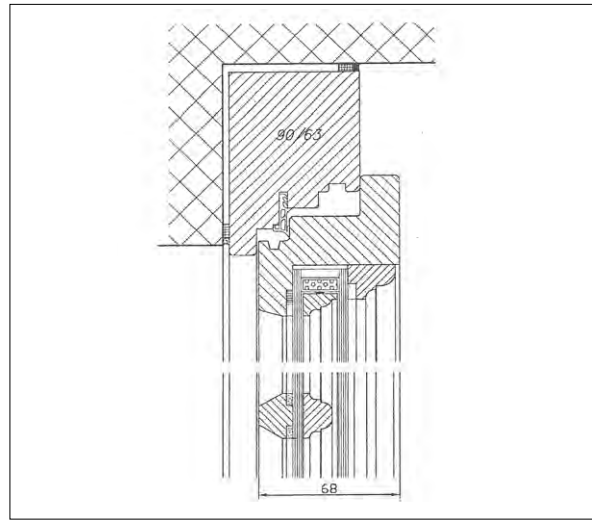
EV-IV-Fenster sind aus denkmalpflegerischer Sicht geeignete Fenster, weil sowohl äusseres Erscheinungsbild wie auch Machart und Materialisierung (Holz und Kitt) dem Original nahekommen, und die neue IV-Verglasung im Sinn eines Additivs als innen hinzugefügt erkennbar ist. Aus technischer Sicht werden so die Versiegelungen der IV-Verglasung gut geschützt. Die konstruktiv bedingte, gegenüber dem Original massivere Erscheinung mag indes ein Nachteil sein.

2. Der Bau eines IV-Fensters mit glastreuernden Sprossen. Der Bau von Fenstern mit echten Sprossen und Isoliergläsern erfordert für feine Sprossen Sonderlösungen, so beispielsweise Holz-Messingsprossen, die sowohl aus energetischen wie auch ökonomischen Überlegungen nicht immer infrage kommen. Für grössere Fenster mit Sprossenbreiten ab ca. 30 mm (z.B. Gewerbe- oder Industriebauten) ist dieses System geeignet.



Isolierverglasung mit echten Sprossen: Horizontal (Abb. 27)

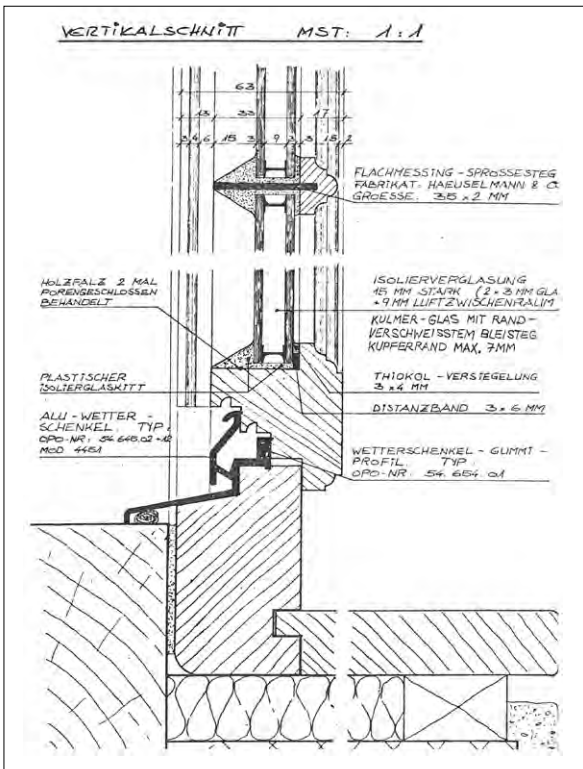
3. Der Bau eines IV-Fensters mit aufgesetzten Aussenprossen und sprossenförmigem Steg im Glaszwischenraum.



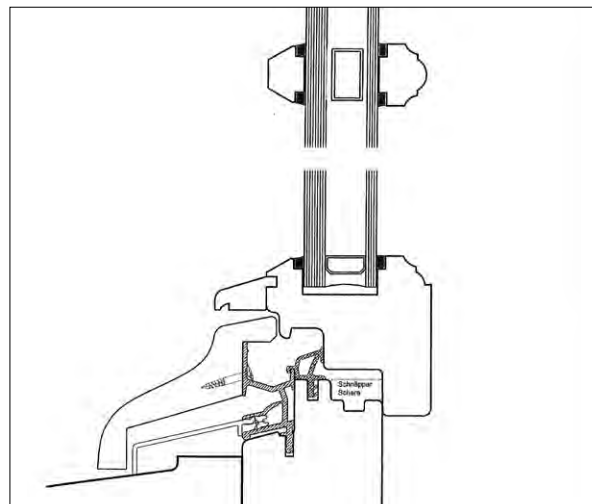
Isolierverglasung mit aussen aufgesetzten Sprossen und Steg im Glaszwischenraum (Abb. 29)

4. Der Bau eines IV-Fensters mit beidseitig rahmenbündigen (aufgesetzten) Sprossen und im Bereich der Sprossen einem Steg im Glaszwischenraum. Entsprechend dem Randverbund können die Glasstege im Bereich der Sprossen in Alu, in Chromstahl (beide energetisch schlechter), in Kunststoff und in speziellen Fällen in Holz bestellt werden. Auf dem Markt werden sehr unterschiedliche IV-Fenstersysteme angeboten, von schwerfälligen Produkten mit viel zu breiten Profilen bis hin zu eleganten, von aussen erst auf den zweiten Blick als Ersatz erkennbaren Fenstern.

Im Allgemeinen werden praktikable Lösungen mit konventionellen, einteiligen Fögelrahmen angeboten. Einzelne jüngerere Fabrikate gehen nicht mehr vom System des



Isolierverglasung mit echten Sprossen: Vertikalschnitt (Abb. 28)



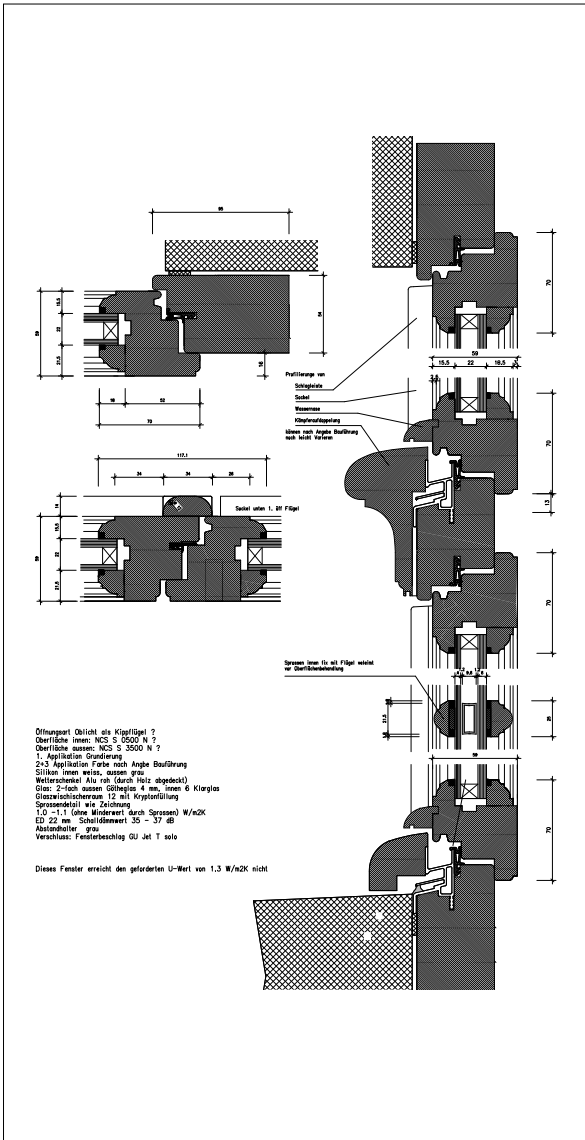
Isolierverglasung mit beidseitig aufgesetzten Sprossen: Vertikalschnitt (Abb. 30)





Gassenfront mit rekonstruierten Fenstern, Hotel Adler in Bern (Abb. 31)

in einen massiven Flügelrahmen eingesetzten Glases aus, sie nutzen den Verbund beider Elemente als Gesamttragwerk. Daher können die Holzteile wieder feiner dimensioniert werden. Dieses sogenannte Trennverfahren funktioniert nach dem Prinzip einer Sandwichkonstruktion: Das Isolierglas wird zwischen zwei Rahmenteile eingelegt. Nicht nur die Rahmendimensionen, auch die Profilierung der Rahmen und Sprossen können heute dank der CNC-Technik wieder zu erschwinglichen Preisen auf das Vorbild abgestimmt werden. Keine Nachbildung kann jedoch ein Original ersetzen.



Fensterrekonstruktion mit IV-Fenster, mit konventionellem Rahmen, Hotel Adler Bern, Vertikalschnitt (Abb. 32)



Muster IV-Fenster mit schlanken Flügelrahmen und Sprossen, hergestellt im Trennverfahren, ohne Glas (Abb. 33)

5. Der Bau von Fenstern mit Dreifachisolierverglasungen. Die rasante Entwicklung in der energetischen Fensterverbesserung zog unmittelbar eine Verschärfung der wärmetechnischen Bestimmungen nach sich. Die Dreifachisolierverglasungen sind im Vormarsch. Ihre nur bedingte Eignung (grosse Bautiefe) für Sprossenfenster wird hier und dort evident. Aus diesem Grund sind Dreifachisolierverglasungen aus denkmalpflegerischen Gründen in aller Regel nicht einsetzbar. Immerhin gibt es einige Lösungsansätze – wiederum auf der Basis von konventionellen Flügelrahmen und auch von solchen im Trennverfahren –, die hoffen lassen.

## 4.6 Temporäre Schutzvorrichtungen

Natürgemäß sind die Wärmeverluste in einer kalten Winternacht am grössten. Es ist daher sinnvoll, auch die Jalousien, Rolladen und andere Temporärverschlüsse in die energetischen Betrachtungen mit einzubeziehen. Sie waren früher selbstverständlicher Bestandteil wärmetechnischer Überlegungen. Die technische Verbesserung der Fenster und Gläser in den letzten Jahrzehnten hat dazu geführt, dass die temporären Schutzvorrichtungen heute auf den Sonnenschutz und die Raumabdunkelung reduziert sind. Die Temporärvorrichtungen beeinflussen aber sowohl die Transmission als auch den ungewollten Luftwechsel durch undichte Fenster positiv. Die nachfolgende, vom Hessischen Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz herausgegebene Tabelle zeigt, dass mit konventionellen Gläsern verglaste Fenster durch Vorhänge und Rolladen in der Nacht mehr als 25% Energie einsparen helfen. Sind die Fenster gar mit Wärmeschutzgläsern ausgestattet ( $U$ -Wert  $1.1 \text{ W/m}^2\text{K}$ ), dann lassen sich mit denselben Massnahmen nächtlich immerhin noch mehr als 10% Energie einsparen.

Vielerorts sind die alten Brettjalousien durch solche mit Lamellen ersetzt oder ganz entfernt worden. Daher ist es wichtig, im Rahmen der energetischen Überlegungen zum Fenster die Fassaden auch einer bauhistorischen Kurzanalyse zu unterziehen (z.B. durch die Denkmalpflegefachstelle).

Die Rekonstruktion von nicht erhaltenen Brettjalousien kann das Denkmal optisch aufwerten und gleichzeitig einen Beitrag zum Energiesparen darstellen. Mit konventionellen geschlossenen Brettjalousien kann der Wärmedurchgang immerhin um ca. 25% gesenkt werden. Sind Jalousien nicht erhalten und müssen sie nachgebaut werden, ist es in einigen Fällen denkbar, diese als hölzerne Sandwich-Konstruktionen mit einer innenliegenden Hochleistungsdämmung zu realisieren. Damit könnte der Wärmedurchgang durch die Fenster während der Nacht um mehr als die Hälfte reduziert werden. Der Bau von Temporärvorrichtungen kann einen aktiven Beitrag zur Erhaltung von historischen Fenstern darstellen. Hier und dort könnte auf eine Fenstersanierung zugunsten einer einfachen Reparatur verzichtet werden. Vorhaben dieser Art sind mit der Denkmalpflegefachstelle abzusprechen.

	nur Glas	Vorhang	Rolladen	Vorhang + Rolladen	gedämmter Klappläden
Isolierglas	100% $U_{\text{eff}}: 2,6$	94% $U_{\text{eff}}: 2,4$	80% $U_{\text{eff}}: 2,1$	73% $U_{\text{eff}}: 1,9$	21% $U_{\text{eff}}: 0,55$
Wärmeschutzglas	42% $U_{\text{eff}}: 1,1$	38% $U_{\text{eff}}: 1,0$	35% $U_{\text{eff}}: 0,9$	31% $U_{\text{eff}}: 0,8$	16% $U_{\text{eff}}: 0,42$

Verschiedene temporäre Wärmeschutzmassnahmen während den Nachtstunden.  $U$  in  $\text{W/m}^2\text{K}$  (Abb. 34)

## 4.7 Aussentüren (Haustüren)

Aussentüren müssen witterungsbeständig sein (Schlagregen), eine hohe mechanische Festigkeit aufweisen, um durch die unzähligen Öffnungs- und Schliessvorgänge nicht beschädigt zu werden, und sie müssen dem Schall- und dem Wärmeschutz genügen. Haustüren von jüngeren Baudenkmalern haben zusätzlich die Funktion, Licht in das Haus einzulassen. Hauseingänge sind aber auch Visitenkarten, die stets sorgfältig und oft reich ausgestaltet wurden. Ihnen kommt daher aus denkmalpflegerischer Sicht eine besondere Stellung zu.

### Historisches

Bis weit ins 20. Jahrhundert wurden Aussentüren zur Hauptsache aus Holz gezimmert. In anderen Materialien gefertigte Türen (wie Bronzetüren oder Natursteintüren) blieben Einzelfälle. Bis heute wird vorzugsweise das dauerhafte und widerstandsfähige Eichenholz für den Haustürbau eingesetzt.

### Haustürkonstruktionen

Haustüren sind zweiteilige Konstruktionen. Sie bestehen aus dem Türgericht (Türgerüst) mit oder ohne Supraporte und den Türflügeln.

Für Holztüren wurden vorwiegend folgende vier Konstruktionsarten angewandt, teilweise in Kombination von 1 und 3:

1. Brettertüre mit Einschubleisten
2. Aufgedoppelte Brettertüre
3. Türe als Rahmenwerk mit Füllungen (gestemmte Türen)
4. Vollflächen- und Schalentüren



Haupteingang, ehem. Bauernhaus Stokerenweg 2, Buch, Gemeinde Mühleberg (Abb. 35)

Die Brettertüre dominierte im Mittelalter den Hausbau; sie besteht aus einer Reihe vertikaler Bohlen, die durch zwei oder drei Einschubleisten verbunden sind. Die Einschubleiste dient zugleich der Befestigung von Bändern z.B. Langbändern. Die Brettertüre mit Aufdoppelung besitzt aussenseitig ein dekoratives Doppel mit Zierbrettern.

Brettertüren sind oft als Doppeltüren ausgebildet, d. h., die obere und untere Hälfte sind einzeln beweglich. In der Renaissance kamen gestemmte Türen auf. Diese bestehen aus einem einfachen oder mehrfeldrigen Rahmen und eingetuteten Füllungen.



Haus zum Kiel, Zürich, barockes Eingangsportal mit gestemmten Türflügeln (Abb. 36)

### Das Türgericht

Historische Türgerichte aus Naturstein oder Holz sind massive Pfosten, Schwellen und Stürze, in denen für den Türanschlag ein Falz angebracht ist. Um eine grössere Dichtheit zu erlangen, wurden seit dem 18. Jahrhundert hölzerne Blendrahmen auf die Konstruktion aufgesetzt. Die formale Ausgestaltung des Türgerichts veränderte sich mit den Baustilen und Moden.

An (nachträglich) verrandeten und verschalten Bauten sowie an Putzbauten wurden auch für Aussentüren die für Innentüren verbreiteten verkleideten Türgerichte eingesetzt. Diese bestehen aus dem Futter (in den Leibungen) und Blendrahmen auf beiden Öffnungsstirnseiten.



## Türbeschläge

Türbeschläge, Bänder, Kloben und Schlösser entwickelten sich parallel zu den Fensterbeschlägen. In Stützkloben eingehängte Lang-, Winkel- und Kreuzbänder dienten als Befestigungs- und Drehmechanismen der Türen. Nebst den Langbändern tauchten in der Renaissance und im Barock S-Bänder und im Barock und Klassizismus Fischbänder auf. Sie fanden im 19. Jahrhundert grosse Verbreitung.



Ziseliertes S-Band um 1690 (Herrenhaus, Brännengut, Bern) (Abb. 37)

## Schlösser

Haustüren mussten seit jeher abschliessbar sein, um das Eigentum vor Dieben zu schützen. Das Türschloss ist ein wichtiges Element von historischen Aussentüren. Bis weit ins 20. Jahrhundert zierten Kastenschlösser die Haustüren. Wohnhauseingänge zeigten meist auf der Innenseite den geschmiedeten Kasten und auf der Aussen-seite einen verzierten Schild. Die seit der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts aufkommenden Einsteckschlösser und das in den USA um die Mitte des 19. Jahrhunderts erfundene, in der Schweiz erst viel später eingeführte Zylinderschloss unterscheiden sich als Einbauschlösser dadurch vom alten Kastenschloss, dass sie nicht mehr sichtbar waren und daher – mit Ausnahme der beiden

Schlösser – keine gestalterische Aufmerksamkeit mehr erhielten. Bei der Instandstellung von alten Haustüren ist die Erhaltung der alten kunsthandwerklich interessanten Schlösser ein wichtiges Anliegen.



Klassizistisches Kastenschloss mit Langschild (Abb. 38)

## Energetische Nachbesserung von Aussentüren

Als die Gebäude noch mit Einzelraumheizungen funktionierten, erschlossen Aussentüren meist unbeheizte Räume wie Korridore oder Eingangshallen (Vestibül, Foyer) oder Küchen. Die Verluste von Heizenergie waren dementsprechend klein.

Durch den Einbau von Zentralheizungen hat sich die Situation teilweise geändert. In Gebäuden mit wohnungsweise individuellem Ausgang wie Einparteien- und Reihenhäusern ist heute die Aussentüre die Grenzfläche zwischen beheiztem Innenraum und Aussenklima. Bei Mehrfamilienhäusern mit Treppenhäusern bilden letztere eigentliche Pufferzonen.

### Konkrete Massnahmen

Prüfungswerte Massnahmen zur energetischen Verbesserung von Türen sind:

#### Türreparatur

- Abdichtung der Türen
- Aufdopplung eines neuen Rahmens
- Optimierung von Türgläsern
- Aufdoppelung von Türblättern



Die energetischen Verluste von Aussentüren sind in erster Linie Lüftungsverluste, weil die mechanisch stark beanspruchten Rahmen und Flügel mit der Zeit nicht mehr dicht schliessen.

Erst in zweiter Linie sind hier die Wärmeverluste auch ein Aspekt des Wärmedurchgangswiderstands von Türflügel und Rahmen, also transmissive Verluste. Allerdings fällt die meist weniger als 2 m<sup>2</sup> grosse Türfläche, verglichen mit der übrigen Gebäudehüllfläche, kaum ins Gewicht.

Jede Sanierung von Aussentüren beeinflusst die Feuchteverhältnisse im Gebäudeinnern. Die Massnahmen führen zur Reduktion des Luftwechsels und damit zur Erhöhung der Luftfeuchte.

### Türreparatur

Die Instandsetzung (die Wiederherstellung der ursprünglichen Funktionstüchtigkeit durch Reparatur von Rahmen und Rahmenfälzen, Schliessmechanismen und Oberflächenbehandlungen) und das Verschliessen von Schwundspalten in Füllungen sind die günstigsten und aus der Sicht der Denkmalpflege die besten und schonendsten Massnahmen. Aus energetischer Sicht sind sie meist sehr effizient, weil die Hauptverluste, die Lüftungsverluste damit drastisch reduziert werden können.

### Anbringen von Dichtungen

Das Anbringen von Dichtungen an Haustüren ist aus diesem Grund ebenfalls meist sehr effizient und vermag die Lüftungsverluste stark zu reduzieren. Türdichtungen (empfohlen werden Schlauchdichtungen aus Kautschuk) werden stark beansprucht; daher ist es angezeigt, diese so substanzschonend wie möglich einzufräsen. Um Rahmenkondensate zu vermeiden, müssen die Dichtungen so weit innen wie möglich an Rahmen oder Türflügel befestigt werden.

### Einbau eines Rahmendoppels, Rahmeneratz

Stark abgenützte und mechanisch beschädigte Rahmen mit defekten Rahmenfälzen sollen repariert werden. Ist eine Reparatur nicht möglich, so kann je nach Türtyp ein Blendrahmen aufgedoppelt oder der Rahmen ersetzt werden.

Bei alten massiven Türgerichten, bei denen Türpfosten Sturz und Schwellen abgenützt sind, kann ein Rahmendoppel eingesetzt werden. Diese Massnahme bedingt jedoch bereits eine Anpassung der Türbänder.

### Aufdoppelung Türflügel

Die Reparatur des Türflügels steht an erster Stelle. Ist der Türflügel zu schwach geworden, kann ein Türblatt aufgedoppelt werden. Das neue Doppel ist schwerer als die bereits havarierte Türe. Deshalb wird die Konstruktion meist so gewählt, dass das Original keine statische Funktion mehr übernimmt, sondern diejenige einer Blende,

welche an das neue Türblatt aussenseitig angehängt ist. Diese Massnahme bedeutet meist auch den Verlust der Originalbeschläge: Die alten Bänder können die neuen Lasten oft nicht tragen, und durch die Aufdoppelung müssten die Bänder verkröpft werden. Immerhin ermöglicht die Aufdoppelungsvariante die Erhaltung des alten Türflügels in situ.

### Optimierung Türglas

Partiell verglaste Aussentüren besitzen einen U-Wert von zwischen 2 und 3 W/m<sup>2</sup>K, ihre Gläser hingegen einen solchen von zwischen 5 und 6. Sind die bauzeitlichen oder auch nachträglich eingesetzten geblasenen oder gezogenen Gläser nicht erhalten, so können sie durch pyrolytische Gläser oder durch IV-Gläser ersetzt werden.

### Zusätzliche Türebene/Windfang

Bei geeigneten Grundrissen mit Korridoren und dergleichen (z.B. Mehrfamilienhäusern) kann der Einbau einer Zweitüre eine Pufferzone schaffen und die Lüftungsverluste reduzieren helfen.

### Türersatz

Der Austausch einer historischen Türe widerspricht grundsätzlich den Zielen der Denkmalpflege. Ein Austausch ist nur dann möglich, wenn der Bauteil extremen Verschleiss und/oder irreparable Schäden aufweist oder bereits zuvor stark nachteilig verändert worden ist. In diesem Fall steht die Rekonstruktion der Originaltüre oder ein guter Entwurf für eine passende neue Tür im Vordergrund. Wird rekonstruiert, dann ist die formal identische und technisch analoge, originalgetreue Rekonstruktion anzustreben. Sind Einzelteile wie einzelne bemalte Originalfüllungen erhalten, sollen diese in die neue Türe eingesetzt werden.

Ist eine Türe gar nicht erhalten und findet sich auch kein Vorbild mehr am Objekt, ergeben sich im Grundsatz zwei Möglichkeiten:

1. Analoge Rekonstruktion: Vergleiche mit Türen von gleichen Bautypen aus der gleichen Zeit und der gleichen Region dienen als Grundlage für eine Nachbildung. In diesem Fall unterstützt die Denkmalpflegefachstelle die Bemühungen.
2. Auf die historische Umgebung fein abgestimmte Neubildung: Eine Türe wird in intensiver Auseinandersetzung mit dem Objekt neu gestaltet. Diese Variante ist zweifellos die anspruchsvollere.

**Bildnachweise**

- |  |                            |
|--|----------------------------|
| 1 Diagramm Bundesamt für Energie, Ittigen  | 35 Bild Büro ADB, Burgdorf |
| 2 Tabelle bauforumstahl, Düsseldorf  | 36 Bild Büro ADB, Burgdorf |
| 3 Diagramm aus: Hirsch Harry und Lohr Alex, Energiegerechtes Bauen und Modernisieren; Grundlagen und Beispiele für Architekten, Bauherren und Bewohner, 1996, S. 42                  | 37 Bild Büro ADB, Burgdorf |
| 4 Angaben Eigentümerin der Liegenschaft  | 38 Bild Büro ADB, Burgdorf |
| 5 Schema BetonMarketing Deutschland GmbH, Erkrath  |                            |
| 6 Diagramm Webseite www.bau-sv.de, Henry Pfeifer und Lutz Elmar Vogel, Leipzig   |                            |
| 7 Bild Archiv Denkmalpflege des Kantons Bern, Bern   |                            |
| 8 Bild Büro ADB, Burgdorf  |                            |
| 9 Bild Archiv Denkmalpflege des Kantons Zürich, Dübendorf  |                            |
| 10 Bild Büro ADB, Burgdorf   |                            |
| 11 Bild Archiv Denkmalpflege des Kantons Zürich, Dübendorf   |                            |
| 12 Foto Office du patrimoine et de l'archéologie, Neuchâtel  |                            |
| 13 Bild Denkmalpflege des Kantons Luzern, Luzern   |                            |
| 14 Bild Archiv Denkmalpflege des Kantons Zürich, Dübendorf   |                            |
| 15 Bild Archiv Denkmalpflege des Kantons Bern, Bern, Ausschnitt  |                            |
| 16 Aus Encyclopédie ou Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers; Herausgegeben von Denis Diderot, 1751  |                            |
| 17 Aus Merkblätter des Bundesamts für Bevölkerungsschutz, Fenster 1, 2003, Moritz Flury-Rova   |                            |
| 18 Aus Merkblätter des Bundesamts für Bevölkerungsschutz, Fenster 1, 2003, Moritz Flury-Rova   |                            |
| 19 Zeichnung Paola Moriggia, Grafik & Webdesign, Bern  |                            |
| 20 Zeichnung Büro ADB, Burgdorf  |                            |
| 21 Bild Büro ADB, Burgdorf   |                            |
| 22 Bild Büro ADB, Burgdorf   |                            |
| 23 Zeichnung Büro ADB, Burgdorf  |                            |
| 24 Neumann Hansrudolf, Fenster im Bestand, Grundlagen der Sanierung in Theorie und Praxis. Renningen 2003, S. 126  |                            |
| 25 Bild Archiv Denkmalpflege des Kantons Zürich, Dübendorf   |                            |
| 26 Detail Hanspeter Würsten, Denkmalpflege des Kantons Bern, Bern  |                            |
| 27 Detail, Rosa Frères, Fensterbau, Busswil-Biel   |                            |
| 28 Aus der Beispielsammlung der Denkmalpflege des Kantons Bern, Bern   |                            |
| 29 Detail Lips-Friedli AG, Fensterbau, Wynigen   |                            |
| 30 Schreinerei Meier AG, Zell  |                            |
| 31 Bild Büro ADB, Burgdorf   |                            |
| 32 Plan Schreinerei Iseli, Biembach i. E.  |                            |
| 33 Bild Büro ADB, Burgdorf   |                            |
| 34 Broschüre Energieeinsparung an Fenstern und Aussentüren, Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Wiesbaden, Überarbeitete Fassung 02/10 |                            |

## Literaturauswahl

### Allgemeine Literatur, Grundlagen

- Arbeitskreis Energieberatung Weimar      Energieförderung in Thüringen. Energiepotentiale im Gebäudebestand, thermische Gebäudesanierung, Wandheizungen. Heft 1. Weimar 1996
- Baumann, Ernst      Denkmalpflege und Energiesparen – Konfliktsituation oder Ideallösung? Hg. Hochbauamt des Fürstentums Liechtenstein, Denkmalpflege und Archäologie. Triesen 2006
- Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege      Energetische Modernisierung und Denkmalpflege. München 2009
- Brandenburgisches Amt für Denkmalpflege      Energieeinsparung contra Denkmalpflege? Facharbeitsgespräch durchgeführt am Brandenburgischen Landesamt für Denkmalpflege und Archäologisches Landesmuseum. Wünsdorf am 29.8.2007 (Manuskript)
- Briggwedde, Fritz      Die Zukunft des Bauens liegt im Bestand. In: Bauökologie – Wissenschaft nachhaltigen Bauens (Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Universität Dresden), Heft 1–2/2004 (Generalsekretär der Deutschen Stiftung Umwelt)
- Brunner, Conrad U.      Wärmeschutz für Altbauten. Neuere Erkenntnisse zur Verbesserung. In: SIA 43/1992, S. 803–809
- Brunner, Conrad U.; Humm, Othmar (Hg.)      Sanierungen. Schriftenreihe Faktor, Heft 1. Zürich 2004
- Bundesamt für Verkehrs-, Bau- und Wohnungswesen (Hg.)      Leitfaden Nachhaltiges Bauen. Berlin 2001
- Bundesdenkmalamt (Hg.)      Richtlinie Energieeffizienz am Baudenkmal. Wien 2011
- Deutsche Stiftung Denkmalschutz      Zukunftsmarkt Energie sparender Denkmalschutz? Tagungsband: Kolloquium der Deutschen Stiftung Denkmalschutz, der Deutschen Bundesstiftung Umwelt und der Technischen Universität Dresden am 10. September 2005 in Dresden. Dresden 2006
- Deutsches Nationalkomitee für Denkmalschutz      Energieeinsparung bei Baudenkmalern. Dokumentation der Tagung des Deutschen Nationalkomitees für Denkmalschutz am 19. März 2002 in Bonn. Schriftenreihe des Deutschen Nationalkomitees, Band 67
- Deutsches Nationalkomitee für Denkmalschutz      Für Nachhaltigkeit und Baukultur – Investoren und Denkmalpfleger als Partner in der Verantwortung. Empfehlung des Deutschen Nationalkomitees für Denkmalschutz. Wiesbaden 2000
- Deutsches Zentrum für Handwerk und Denkmalpflege (Hg.)      Klimaschutz und Denkmalschutz – Argumente und Hinweise für die energetische Modernisierung von Baudenkmalern. Probstei Johannesberg (Hg.). Fulda 1998
- Domus Antiqua Helvetica Sektion Raetia (Hg.)      Energie in historischen Wohnbauten, Zusammenfassung der Fachtagung vom 28.1.2011 in Chur. Zürich 2011
- English Heritage (Hg.),      Adapting to a Changing Climate. Conservation bulletin, Nr. 57. Frühjahr 2008
- Gänssmantel, Jürgen; Geburtig, Gerd, u.a.      Sanierung und Facility Management. Nachhaltiges Bauinstandhalten und Bauinstandsetzen. Wiesbaden 2005
- Grosse Ophoff, Markus; Haspel, Jörg u.a.      Neue Wege zur Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege. Dokumentation des Symposiums «Qualitätsmanagement in der Bestandspflege». In: Initiativen zum Umweltschutz Band 51. Braunschweig 2002
- Hänggi, Marcel      Wir Schwätzer im Treibhaus. Warum die Klimapolitik versagt. Zürich 2008
- Hanser, Christian u. Inderbizin, Jürg      Die volkswirtschaftliche Bedeutung der Denkmalpflege in der Schweiz. NIKE (Hg.). Bern 1991
- Hegger, Manfred; Fuchs, Matthias u.a.      Energie Atlas, nachhaltige Architektur. Stuttgart 2007
- Imholz, Robert      Denkmalpflege als staatliche Aufgabe. In: Zürcher Denkmalpflege, 16. Bericht 2001–2002. Zürich und Egg 2005
- Institut Wohnen und Umwelt (IWU) (Hg.)      Einsparungen beim Heizwärmebedarf – ein Schlüssel zum Klimaproblem. Darmstadt 1995

Kerschberger, Alfred; Brillinger, Martin; Binder, Markus	Energieeffizient Sanieren. Mit innovativer Technik zum Niedrigenergie-Standard. Berlin 2007
Königstein, Thomas	Ratgeber energiesparendes Bauen. Stuttgart 2007
Künzel, Helmut	Bauphysik, Geschichte und Geschichten. Stuttgart 200
Künzel, Helmut	Bauphysik und Denkmalpflege. Stuttgart 2009
Nussbaum, Hans Christian	Die Hygiene des Wohnungswesens. Leipzig 1907
Pfeiffer, Martin	Energetische Gebäudesanierung. Berlin 2002
Schulze, Jörg	Energetische Modernisierung im Bestand – Erhaltungsbeitrag oder Gefährdungspotential? In: Energieeinsparung bei Baudenkmalern. Dokumentation der Tagung des Deutschen Nationalkomitees für Denkmalschutz am 19.3.2002 in Bonn. Schriftenreihe des Deutschen Nationalkomitees, Band 67, S. 7–14
Schulze, Jörg	Denkmalpflege – die Baukultur der Nachhaltigkeit. Einführung in das Thema. Wiesbaden 2012
Schulze, Jörg	Energieeinsparung am Baudenkmal – Herausforderung für Architekten, Ingenieure und Denkmalpfleger. Positionen der Denkmalpflege und des Denkmalschutzes. In: Energieeffiziente Sanierung von Baudenkmalen und Nichtwohngebäuden. Technische Universität Dresden, Fakultät Bauingenieurwesen, Institut für Baukonstruktion und Institut für Gebäude- und Solartechnik (Hg.), S. 15–21. Dresden 2007
Staatsministerium des Innern, Freistaat Sachsen (Hg.)	Energetische Sanierung von Baudenkmalen, Handlungsanleitung für Behörden, Denkmaleigentümer, Architekten und Ingenieure. Dresden 2010
Technische Universität Dresden (Hg.)	Energieeffiziente Sanierung von Baudenkmalen und Nichtwohngebäuden. Technische Universität Dresden, Fakultät Bauingenieurwesen, Institut für Baukonstruktion und Institut für Gebäude- und Solartechnik (Hg.). Dresden 2007
Technische Universität München (Hg.)	Denkmalpflege und Instandsetzung. Vorträge am Institut für Entwerfen und Baukonstruktion der TU-München im WS 2004/2005 (Beiträge von Königs, Huse, Mader, Albrecht, Barthel, Emmerling)
Verband Schweizerischer Ziegelindustrie (Hg.)	Element 29, Wärmeschutz im Hochbau. 1. Auflage. Zürich 2010
Weller, Bernhard; Fahrion, Marc-Steffen; Jakubetz, Sven	Denkmal und Energie. Wiesbaden 2012
Will, Thomas	Sparen und Bewahren – Ökonomie und Ökologie am Baudenkmal. In: Zukunftsmarkt Energie sparender Denkmalschutz? Tagungsband: Ein gemeinsames Kolloquium der Deutschen Stiftung Denkmalschutz, der Deutschen Bundesstiftung Umwelt und der Technischen Universität Dresden am 10.9.2005 in Dresden; Dresden 2006, S. 10–14
Will, Thomas	Erinnerung und Vorsorge. Denkmalpflege als Ökologie des Kulturraums. In: Bauökologie – Wissenschaft nachhaltigen Bauens (Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Universität Dresden), Heft 1–2/2004, S. 64–68



**Literatur zum Thema Fenster und Türen**

- Schmidt, Wolf Reparatur historischer Holzfenster. Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, Denkmalpflege Informationen Sonderausgabe A. München 2004
- Nike Fenster, Nike Bulletin, Heft 5, 2004
- Eidg. Kommission für Denkmalpflege Fenster am historischen Bau – ein Grundsatzpapier von der EKD. In: Nike Bulletin, Heft 5, 2004
- Neumann, Hansrudolf Fenster im Bestand, Grundlagen der Sanierung in Theorie und Praxis. Renningen 2003
- Schrader, Mila Fenster Glas und Beschläge als historisches Baumaterial. Suderburg-Hösseringen 2001
- Eicher und Pauli AG Sanierung von einfach- und doppeltverglasten Fenstern, Bundesamt für Energie (Hg.). Bern 2001
- Landesamt für Denkmalpflege Hessen Bauberater: Fenster in Hessen, Schloss Biebrich (Wiesbaden) 2006
- Landesamt für Denkmalpflege Hessen Bauberater: Türen in Hessen. Schloss Biebrich (Wiesbaden) 2005
- Vereinigung der Landesdenkmalpfleger Arbeitsblätter: Historische Fenster und Dachräume, 1991
- Klos, Hermann Das Fenster im 20. Jahrhundert. Sonderdruck aus Nachrichtenblatt 2/2009 Holzmanufaktur, Rottweil GmbH. Rottweil 2009
- Reitmayer, Ulrich Holzfenster in handwerklicher Konstruktion. Stuttgart 1940
- Graef, August Der praktische Fensterbauer, Werkzeichnungen aller vorkommenden Tischlerarbeiten teilweise in Verbindung mit Glaserarbeiten. Nachdruck der Ausgabe von 1874. Hannover 1992
- Kramp, Guido Erhaltenswert – Wege zur denkmalgerechten Fenstersanierung. In: Bausubstanz 3, März 2000, S. 28–30
- Scheppat, Rick Das Fenster als energetischer Raum. In: Der Architekt, Heft 4, 2010, S. 34–38
- Brunner, Conrad U., Humm Othmar (Hg.) Fenster, Schriftenreihe Faktor, Heft 30. Zürich 2011