



ENERGIE UND BAUDENKMAL

Haustechnik



Energie und Baudenkmal. Ein Handbuch

Impressum

Herausgeber	Kantonale Denkmalpflege Bern und Kantonale Denkmalpflege Zürich
Steuerungsausschuss	Michael Gerber, Peter Baumgartner
Projektleitung	Siegfried Moeri, ADB Büro für Architektur, Denkmalpflege und Baugeschichte, Burgdorf
Autorinnen und Autoren	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
Fachexperten	Ernst Baumann, Bauphysiker Bazenheid, Richard Widmer, Haustechnikingenieur Wil (SG) Randi Sigg-Gilstad, Kantonale Denkmalpflege Bern, und Roger Strub, Kantonale Denkmalpflege Zürich
Lektorat	by the way communications AG, Bern
Layout und Gestaltung	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

1. Einführung	8
Erhalten und sparen	9
Gemeinsamkeiten und Konflikte	9
Kompensation für nicht zu erreichende Energiewerte	11
Lösungsfindung – ein interdisziplinärer Prozess	11
2. Baudenkmal und Energie – Grundlagen	12
2.1 Historische Bauten und Energie	13
Bauen mit dem Klima und den vorhandenen Ressourcen	13
Erfindungsreichtum und Baukultur	14
Baudenkmal und energetische Verbesserung	15
2.2 Auftrag und Grundsätze der Denkmalpflege	16
Denkmäler sind Zeugen und widerspiegeln die Vielfalt der Geschichte	16
Schutz und Prävention	16
Denkmalpflegerische Grundsätze	16
2.3 Grundlagen Energie	18
Energie	19
Energiebilanz am Gebäude	19
3. Gebäudehülle – der Wärmedurchgang und seine Ermittlung	21
3.1 Stationärer Wärmedurchgang	22
Wärmeleitfähigkeit Lambda (λ) in [W/mK]	22
Der Wärmedurchgangskoeffizient U (U-Wert) als Mass für den stationären Wärmedurchgang	23
3.2 Stationäre Bilanzmodelle: Die Norm SIA 380 und der Energieausweis der Kantone GEAK	24
Der Heizwärmebedarf nach SIA 380/1, Ausgabe 2009 (Thermische Energie im Hochbau)	24
Der Energieausweis der Kantone GEAK	25
Gemessener Energieausweis	25
3.3 Instationärer Wärmedurchgang	25
Dynamische Simulation	26
Solare Gewinne von Massibauten	27
Speicherung im Sommer	27
Ausgewählte Baumaterialien – Rohdichte, Wärmeleitfähigkeit und spezifische Wärmekapazität	28
3.4 Feuchte	29
Absolute und relative Luftfeuchtigkeit	29
Oberflächentemperaturen	29
Hygroskopische (Material-)Feuchte	29
Kondensate an Bauteiloberflächen	29
Dampfdiffusion durch ein Bauteil	30
Kondensate in der Konstruktion	30
Raumlufteuchtigkeit	30
Klimaeinflüsse	31
Aussenklima	31
Innenklima	31

4. Nichtbauliche Massnahmen zur Senkung des Energieverbrauchs	32
4.1 Einführung	33
Energiemessung	33
Energiebuchhaltung	33
4.2 Nutzer und Nutzung	34
Bedürfnisse der Nutzer	34
Behaglichkeit und Komfort	34
Einsparungen durch geeignetes Nutzerverhalten	35
4.3 Gebäudebewirtschaftung	35
Technische Betriebsoptimierungen	35
Optimierungen im Bereich Wärmeerzeugung	35
Optimierungen im Bereich Raumheizung	36
Optimierungen im Bereich Brauchwasser	36
Optimierungen im Bereich Beleuchtung	36
Optimierung von Geräten	36
Wartung, Unterhalt und Ersatz von Anlageteilen	36
5. Haustechnikanlagen	37
5.1 Heizungsanlagen	38
Einführung	38
5.2 Notizen zur Geschichte des Heizens	38
Nutzeransprüche und Heizkomfort	38
Zur Geschichte der Heizungsanlagen	39
5.3 Heizung und Raumklima	43
Das Raumklima	43
Raumklima und Ausstattung	43
Raumklima ohne Heizung und ohne spezifische Wärmedämmung	44
Raumklima von beheizten Räumen ohne spezifische Wärmedämmung: Beispiel Kirchen	44
Regelung und Kontrolle der Raumheizung	46
5.4 Aktuelle Heizsysteme	47
Wärmeerzeugung	47
Wärmeverteilung	48
Wärmeabgabe	48
Wärmeabgabesysteme	48
Strahlungs- oder Konvektionsheizung?	50
5.5 Sanierung der Heizungsanlage	51
Erhaltung historischer Raumheizungen	51
Verbesserung der Feuerungsanlage	51
Sanierung der Wärmeverteilung	52
6. Sanitäre Installationen	53
Brauchwassererwärmung	54
Energie zur Brauchwassererwärmung	54
Durchlauferhitzer oder Warmwasserspeicher	54
Dezentraler oder zentraler Warmwasserspeicher	55
Brauchwasserverteilung	55
7. Lüftungsanlagen	56
Zu- und Abluftanlagen (Komfortlüftung)	57
Kontrollierte Gebäudelüftung am Baudenkmal	57

8. Beleuchtung	58
8.1 Leuchte und Lampe	59
Leuchtmittel – Lampe	59
Schonendes LED für Denkmaloberflächen	60
Öffentliche Aussenbeleuchtungen	60
8.2 Lichtsteuerungen	61
8.3 Elektroleitungen	61
Bildnachweise	62
Literaturauswahl	63



Kachelofen 18. Jahrhundert, Tscharnerhaus, Münsterplatz Bern

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, Speichermöglichkeit 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 verträglich, 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 markt gängigen 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 CO₂-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 (CO₂) 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 Roloff¹. 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 Logik². 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 Brettschalung) 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 Detaillierung 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.¹ 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.»¹

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.²

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

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 Geschichtszeugen¹. 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.² 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.»³ 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

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.»¹ 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»², 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 CO₂-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)

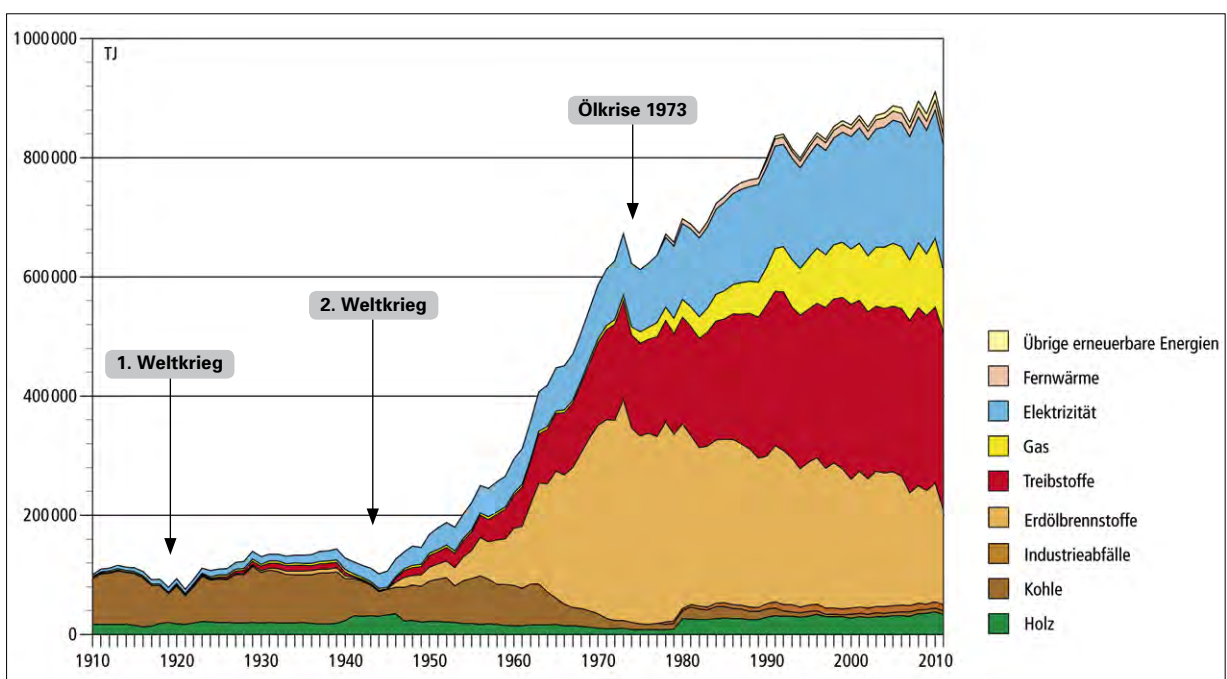


Diagramm Energieverbrauch der Schweiz seit 1910, Gesamtenergiestatistik Schweiz 2008 (Abb. 1)

**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 aufgewendet¹. 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 m² Geschossfläche oder bei einer 60-jährigen Amortisationsdauer gemäss SIA ca. 80 bis 100 MJ/m² 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)

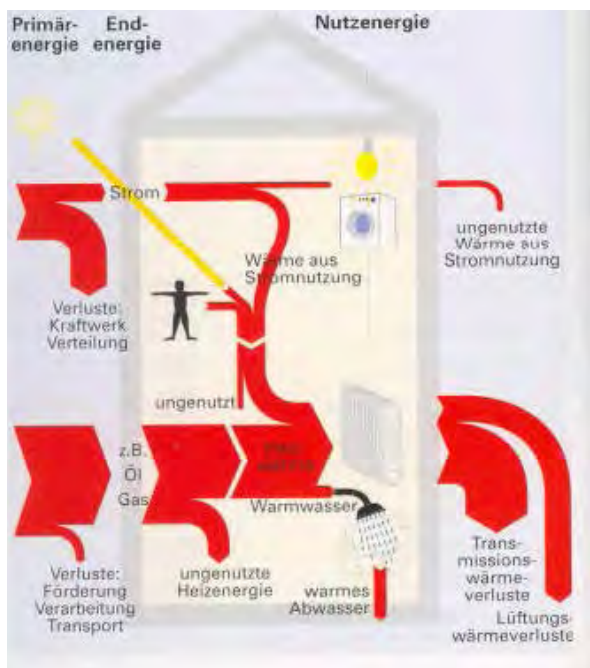
Bezüglich des Aufwands an grauer Energie stehen Baudenkmäler gut da. Erstens wurden sie fast ausschliesslich mit erneuerbarer Energie hergestellt, zweitens haben sie eine sehr hohe Lebensdauer. Das vierhundertjährige städtische Bürgerhaus wie das dreihundertjährige Bauernhaus übertrifft die Lebenserwartung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

¹) 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 m² 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 Baudenkmal 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 müssen¹.

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

3. Gebäudehülle – der Wärmedurchgang und seine Ermittlung

3.1 Stationärer Wärmedurchgang

Wie das Schema der Energiebilanz auf Seite 20 (Abb. 3) zeigt, besteht der Löwenanteil auf der Verlustseite aus Transmissionsverlusten.

Der Wärmefluss vom warmen Gebäudeinnern durch die Gebäudehülle nach dem kälteren Aussenklima im Winter, im Sommer in umgekehrter Richtung, ist eine komplexe, von mehreren Variablen wie Aussentemperatur, Besonnung, Windverhältnisse, Speicherverhalten determinierte Grösse. Mittels Strahlung und Konvektion gelangt die Raumwärme an die innere Bauteiloberfläche. Innerhalb der Aussenwand wird sie durch die Konstruktion geleitet (Wärmeleitung, Transmission). Die Aussenoberflächen geben die Wärmeenergie schliesslich mittels Konvektion an die Aussenluft und mittels Strahlung an Körper der Umgebung ab. Aussen- und Innenklima unterliegen ständigen Schwankungen. Damit verändert sich auch die für den Wärmefluss zentrale Temperaturdifferenz zwischen innen und aussen permanent. Der Wärmefluss ist also instationär. Vereinfachend genügt für Berechnungen und Nachweise in der Praxis der stationäre Zustand, das heisst, Aussen- und Innentemperatur und damit auch die Temperaturdifferenz zwischen innen und aussen werden als Konstanten betrachtet; wir sprechen von der statischen Betrachtung des Wärmedurchgangs.

Wärmeleitfähigkeit Lambda (λ) in W/mK

Die Wärmeleitfähigkeit eines Materials gibt an, welche Wärmemenge (Joule) pro Sekunde ($J/s = W$) zwischen planparallelen Flächen von $1m^2$ im Abstand von $1m$ bei einem Temperaturgefälle von 1 Kelvin unter stationären Verhältnissen durch einen homogenen Stoff geleitet wird. Je kleiner die Wärmeleitfähigkeit, desto besser die Wärmedämmwirkung des Baustoffes. Gute Wärmeleiter sind Baustoffe mit hoher Rohdichte wie z.B. Metalle. Schlecht wärmeleitende Dämmmaterialien sind hingegen sehr leicht. Wärmedämmen heisst, die Wärmeleitfähigkeit der Gesamtkonstruktion zu verringern, indem man eine kaum wärmeleitende Schicht hinzufügt. Neben der Rohdichte sind die Zusammensetzung, die Porenstruktur, der Feuchtegehalt und teilweise auch die Umgebungstemperatur die wichtigsten Einflussfaktoren auf die Wärmeleitfähigkeit (den λ -Wert) eines Materials.

Wärme

Der Begriff Wärme beschreibt die in einem System (z.B. Innenklima) enthaltene oder die über die Grenze zweier Systeme (Aussen- und Innenklima) hinweg transportierte thermische Energie. Wärme ist wie Arbeit an Transportvorgänge gebunden und daher eine Prozessgrösse. Die Temperatur hingegen ist eine Zustandsgrösse, sie beschreibt den Zustand eines Systems. Treffen zwei Systeme mit unterschiedlichen Temperaturen aufeinander, z.B. das winterliche kühle Aussenklima und das beheizte Gebäudeinnere, findet ohne weitere äussere Einflüsse immer ein Wärmefluss, also ein Energieaustausch vom höheren zum tieferen Temperaturniveau statt (2. Hauptsatz der Thermodynamik). Drei Arten des Wärmetransports werden dabei unterschieden: die Wärmeleitung, die Wärmestrahlung und die Wärmeströmung sorgen für den Ausgleich der Energieniveaus.

Wärmeleitung (Wärmediffusion)

Wärmeleitung ist der Wärmefluss von Teilchen zu Teilchen in einem Feststoff oder einem Fluid¹. Aufgrund des Energieerhaltungssatzes geht dabei keine Wärmeenergie verloren. Die charakteristische Grösse der Wärmeleitung eines Materials ist die Wärmeleitfähigkeit λ in W/mK (Watt pro Meter und Kelvin).

Wärmestrahlung (Wärmeradiation)

Wärmestrahlung ist die Übertragung von Energie durch elektromagnetische Strahlung von Oberfläche zu Oberfläche von Körpern. Jeder Körper sendet an seiner Oberfläche elektromagnetische Strahlen aus (Licht, Wärme). Trifft die Strahlung auf einen anderen Körper auf, so kann die Energie absorbiert, reflektiert oder durchgelassen (Transmission) werden. Einflussgrössen sind Grösse, Oberflächenbeschaffenheit und absolute Temperatur. Die Art der Oberfläche bestimmt die Strahlungseigenschaften, den Transmissiongrad (τ), den Absorptionsgrad (α), den Emissionsgrad (ϵ) und den Reflexionsgrad (ρ).

Wärmeströmung (Wärmekonvektion)

Der Transport von Wärme durch örtliche Verschiebung von gasförmigen (Luft) und flüssigen Teilchen (Wasser) wird als Wärmeströmung oder Konvektion bezeichnet. Der Wärmetransport durch bewegte Luft entlang von Bauteiloberflächen ist von zentraler Bedeutung im Zusammenhang mit Behaglichkeit, aber auch mit Feuchteschäden. Die Wärmeübertragung von der Luft auf Oberflächen und umgekehrt ist von grossem Einfluss auf die Bedingungen für Oberflächenkondensate und Schimmelbildung.

¹) Gase und Flüssigkeiten

Der Wärmedurchgangskoeffizient U (U-Wert) als Mass für den stationären Wärmedurchgang

Der gesamte Widerstand R, der dem Wärmedurchgang durch eine Konstruktion entgegengesetzt wird, ist

$$R = 1/U = 1/h_i + d/\lambda + 1/h_e$$

Der Kehrwert dieser Widerstandssumme ist der Wärmedurchgangskoeffizient U. Der konvektive Übergang an der inneren und äusseren Bauteiloberfläche ist komplex, abhängig von den physikalischen Eigenschaften der Luft, der Art der Strömung, der Strömungsgeschwindigkeit, der geometrischen Gestaltung, der Oberflächenbeschaffenheit und den Abmessungen des um- oder durchströmten Körpers. Vereinfachend wird in der Praxis mit einem Wärmeübergangskoeffizienten gearbeitet. Der Proportionalitätsfaktor h_i resp. h_e stellt den Wärmestrom dar, der auf 1 m² Wandfläche je Kelvin Temperaturgefälle übergeht ($h_i = h_{\text{interior}}$) oder umgekehrt den Wärmestrom, der von einer Fassadenoberfläche von 1m² an die Aussenluft übergeht ($h_e = h_{\text{exterior}}$).

$$U = \frac{1}{1/h_i + d_1/\lambda_1 + d_2/\lambda_2 + \dots + d_n/\lambda_n + 1/h_e}$$

U = Wärmedurchgangskoeffizient [W/m²K]
d = Schichtdicke [m]
λ = Wärmeleitfähigkeit [W/mK]
h_e = Wärmeübergang aussen [W/m²K]
h_i = Wärmeübergang innen [W/m²K]
U-Wert-Anforderungen gemäss gültiger SIA 380/1 (2009)

Der Wärmedurchgangskoeffizient U definiert den Wärmestrom, der im stationären Zustand durch 1 m² eines Bauteils senkrecht zur Oberfläche fliesst, wenn zwischen den beidseitig angrenzenden Räumen ein Temperaturunterschied von 1 Kelvin herrscht.

Er ist dabei abhängig von der Wärmeübertragung von der Raumluft im Innern auf die Bauteiloberfläche (Wärmeströmung und Wärmestrahlung), der Wärmeleitung durch den Bauteil und der Wärmeübertragung an der Aussenoberfläche des Bauteils an die Aussenluft. Die Wärmeübertragung von der Innenluft auf den Festkörper wird dabei im inneren (h_i), respektive im äusseren Wärmeübergang (h_e) zusammengefasst.

Statische Berechnungsverfahren berücksichtigen den Energiefluss (Gewinne/Verluste) bei fixer Temperaturdifferenz, üblicherweise einem jährlichen Durchschnittswert der Aussentemperatur zu einer fixen gewünschten Innentemperatur und zu festen Heizzeiten. Für die

Berechnung eines opaken Bauteils (z.B. Wand) werden folgende Angaben berücksichtigt:

- U-Wert (Wärmedämmeigenschaft der Wand)
- Heizgradtage (Berücksichtigung des generellen Klimas an einem Standort bei einer gegebenen Innentemperatur, ausgehend von einer fixen Heizgrenze = maximale Aussentemperatur, bei welcher noch geheizt wird)
- Fläche des Bauteils (A)

Daraus resultiert der gesamte jährliche Energieverlust über eine Gebäudehüllfläche an diesem Standort. Dieses Berechnungsverfahren ist relativ einfach und ermöglicht eine rasche Abschätzung. Die Transmissionsverluste werden wie folgt berechnet:

$$Qt_t = U \cdot A \cdot (\theta_i - \theta_a) \cdot t \text{ Heizperiode}$$

Qt_t = Transmissionsverlust
U = Wärmedurchgangskoeffizient
A = Fläche
θ_i - θ_a = Temperaturdifferenz innen - aussen
t = Heizgradtage¹

Die einzige Variable ist damit der Wärmedurchgangskoeffizient U. Es verwundert daher nicht, dass die nicht mit speziellen Dämmstoffen ausgerüsteten Baudenkmalen rechnerisch energetisch nicht gut abschneiden. In der Realität liegt aber der effektiv gemessene Verbrauch häufig weit unter dem berechneten Bedarf. Es stellt sich die Frage, wodurch diese Differenz entstehen kann. Die standardisiert berücksichtigten Parameter Nutzerverhalten und Nutzungsbedingungen spielen eine grosse Rolle. Wärmespeicherung und damit verbunden die solaren Wärmegewinne werden aber ebenfalls nur reduziert berücksichtigt (Wärmegewinne durch transparente Bauteile).

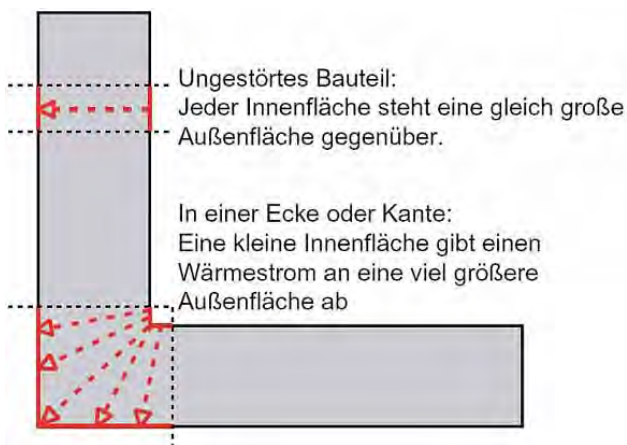
Inhomogene Bauteile

Homogene Bauteile weisen über ihre Gesamtfläche eine identische Materialisierung und damit auch einen gleichmässigen Wärmefluss auf. Homogen ist eine Betonwand, vereinfachend wird auch ein Mauerwerk, bestehend aus Mauersteinen und Fugenmörtel, als homogen bezeichnet. Inhomogene Bauteile sind Konstruktionen mit stabförmigen Tragwerkteilen und hüllenden Flächenmaterialien von unterschiedlicher Schichtdicke und mit unterschiedlichen Wärmeleitfähigkeiten. In der Praxis werden die U-Werte der Materialien einzeln bestimmt und anschliessend über die Anteile gemittelt.

¹) Heizgradtage HGT: An jedem Heiztag – Tag mit einer Tagesmitteltemperatur von weniger als 12°C – wird erhoben, um wie viel die gemessene Aussentemperatur von der angestrebten Innenlufttemperatur von 20°C abweicht. Die HGT werden für einen Monat addiert und dann durch die Anzahl Tage dividiert. Einheit [K d/a] Kelvin-Tage pro Jahr

Wärmebrücken

Eine Wärmebrücke ist ein Bauteilbereich, durch den die Wärme schneller nach aussen transportiert wird als im Normalquerschnitt. Wärmebrücken sind entweder konstruktiv (Heizkörpernische), stofflich (Betonsturz in Isoliermauerwerk) oder geometrisch bedingt. Eine geometrische Wärmebrücke ist eine Wärmebrücke, die aufgrund geometriebedingter Temperaturunterschiede in der Oberfläche von Bauteilen auftritt (z.B. Gebäudeecke). Ihr kommt gerade bei nicht dämmbaren Objekten eine gewisse Bedeutung zu. Geometrische Wärmebrücken können auch Gliederungselemente wie Ecklisenen und Gesimse sein. Diese bringen aber nicht nur Nachteile, sie sind Oberflächenvergrößerungen, die die solaren Erträge durch opake Bauteile vergrössern. Je intensiver ein Gebäude gedämmt wird, desto wichtiger und grösser (prozentualer Anteil) sind die Wärmebrückenverluste.



Gebäudeecke als geometrische Wärmebrücke (Abb. 4)

Im Bereich von Wärmebrücken sinkt bei niedrigen Ausserentemperaturen die raumseitige Oberflächentemperatur von Bauteilen stärker ab als in den «Normalbereichen». Diese führt zu erhöhter relativer Raumluftfeuchtigkeit oder gar Kondensaten im Bereich der Wärmebrücke. Eine Folge kann Schimmelbildung sein. Die Gefahr besteht bei dichten jüngeren Gebäuden viel eher als bei historischen Bauwerken mit relativ hohen Luftwechsell.

3.2 Stationäre Bilanzmodelle: Die Norm SIA 380 und der Energieausweis der Kantone GEAK

Der Heizwärmebedarf nach SIA 380/1, Ausgabe 2009 (Thermische Energie im Hochbau)

Die gesetzlichen Vorgaben zum Energieverbrauch basieren auf der SIA-Norm 380/1 (Ausgabe 2009).¹ Diese legt den Heizwärmebedarf als Kriterium für die energetische Beurteilung von Gebäuden fest. Über die Heizperiode werden Energieverluste (Transmissions- und Lüftungsverluste) und Gewinne (interne Abwärme von Personen und Geräten und solare Wärmegewinne) monatlich bilanziert; aus der Bilanz der Heizperiode resultiert die Differenz zwischen Verlusten und Gewinnen, diese entspricht dem Heizwärmebedarf. Die Speichermasse eines Gebäudes wird nur für die Ermittlung der Ausnutzung der Solarenergie durch transparente Bauteile und der internen Wärmegewinne berücksichtigt (keine Solargewinne durch opake Bauteile).

Weiter definiert die Norm Grenz- und Zielwerte für den Heizwärmebedarf, welche in die Mustervorschriften und damit in die kantonalen Gesetzen und Verordnungen übernommen werden, und sie definiert U-Werte für Einzelbauteile wiederum als Grenz- und Zielwerte. Im Rahmen eines Bauvorhabens muss die Einhaltung der Werte mittels Energienachweis belegt werden. Die Norm nennt zwei mit wenigen Ausnahmen frei wählbare Verfahren: den System- und den Einzelbauteilnachweis. Im Systemnachweis wird belegt, dass der Gesamtheizwärmebedarf einen gewissen Wert nicht überschreitet, im Einzelbauteilnachweis, dass die einzelnen Bauteile gewisse U-Werte nicht überschreiten.

Die Berechnungen werden mittels geprüfter Rechenprogramme, die in einer Übersichtsliste erfasst sind, erstellt. Für Baudenkmäler, die nur partiell oder reduziert gedämmt werden können, drängt sich der Systemnachweis auf. Mittels flankierender Massnahmen, wie zusätzlicher Dämmung eines anderen Bauteils, oder Massnahmen im Bereich der Haustechnik kann so ein Bauteil, der nicht gedämmt werden kann, entlastet werden. Wird der erlaubte Grenzwert für den Heizwärmebedarf insgesamt überschritten, muss in der Regel ein begründetes Ausnahmegesuch gestellt werden.

1) Literatur:
SIA Norm 380/1:
Thermische Energie im
Hochbau, Ausgabe 2009.
Element Nr 29, Wärme-
schutz im Hochbau,
Zürich 2010

Der Energieausweis der Kantone GEAK

Mit dem Gebäudeenergieausweis der Kantone hat die öffentliche Hand für die Schweiz ein Instrument zur einheitlichen Beurteilung und zum direkten Vergleich der energetischen Qualität der Gebäudehülle und der Anlagentechnik geschaffen.

Der GEAK geht für Gebäude vom berechneten Bedarf aus und verwendet die gemessenen Werte (effektiver Verbrauch) nur zu Kontrollzwecken. Als Berechnungsgrundlage dient den GEAK-Experten das SIA-Regelwerk, die Normen 380/1 und 380/4. Der Vergleich zwischen berechnetem Bedarf und gemessenem Verbrauch zeigt immer wieder beachtliche Unterschiede zugunsten des effektiven Verbrauchs (siehe Kap. Energiebedarf und Energieverbrauch).

Beispiel Schlossscheune Jegenstorf:

Ist-Zustand rechnerisch (Wärmebedarf): 490 MJ/m²

Ist-Zustand effektiver Verbrauch: 237 MJ/m²

Die Abweichung beträgt bei diesem Beispiel mehr als 100%. Diese enorme Differenz mag teilweise mit dem Nutzerverhalten zusammenhängen. Für die Berechnung des Wärmebedarfs bestehender Bauten müssen aber auch Annahmen getroffen werden. Das Baudenkmal ist eine inhomogene Konstruktion (z.B. inhomogenes Bruchsteinmauerwerk, mehrschichtige, nicht genau bekannte Dachboden- oder Wandaufbauten).

Die ebenfalls im Ausweis vorgeschlagenen Massnahmen («GEAK light» sogar online im Internet), die nur die energetischen Aspekte, nicht aber die denkmalpflegerischen und architektonischen berücksichtigen, können fatale Folgen haben und das Denkmal gefährden. Der GEAK dient offiziell der Standortbestimmung, als Erfolgskontrolle nach einer Sanierung, der verbesserten Vermietbarkeit (Nebenkosten) und als Beleg beim Liegenschaftenerwerb. Für die kleine Gebäudegruppe der Baudenkmäler ist er jedoch zu wenig aussagekräftig, andere Werte als die Energieeffizienzklasse treten für eine gute Vermietbarkeit und einen guten Verkaufspreis in den Vordergrund – so etwa der historische und der Liebhaberwert.

Gemessener Energieausweis

Das SIA-Merkblatt 2031 (2009) definiert eine Methode für die Energiebewertung auf der Grundlage des gemessenen Jahresverbrauchs aller vom Gebäude gebrauchten – und allenfalls zurückgelieferten – Energieträger. Die Messperiode muss mindestens drei ganze aufeinanderfolgende Jahre umfassen. Wenn das gemessene Gebäude aber nur teilweise oder nur während gewisser Jahreszeiten benutzt wird, kann kein gemessener Energieausweis erstellt werden. Dem Ausweis kommt in der Praxis leider wenig Bedeutung zu, weil sowohl baurechtliche Belange wie auch Förderbeitragsuche auf Bedarfsberechnungen nach SIA 380/1 abgestützt werden.

3.3 Instationärer Wärmedurchgang

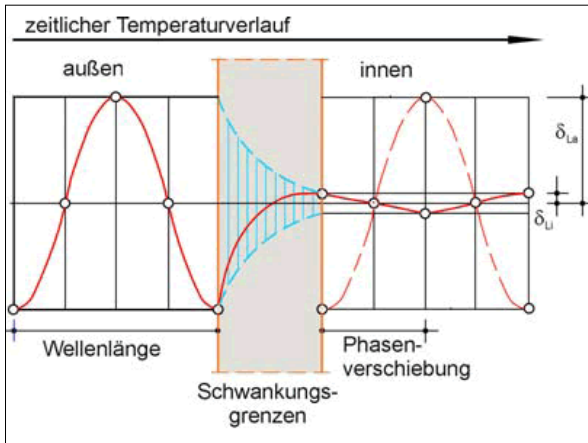
Vermindert ein Wärmestrom das Temperaturgefälle an einer Stelle nach und nach oder wird durch äussere Einflüsse eine Änderung des Temperaturgefälles erzwungen, so ist die Wärmeleitung instationär, der Wärmestrom ist nicht mehr konstant.

Diese Verminderung des Temperaturgefälles eines Wärmestroms hängt erstens mit der Wärmespeicherfähigkeit von Massivbauten zusammen. Zum Zweiten sind es Temperaturänderungen im Tagesverlauf oder infolge Änderung der Witterung, welche Veränderungen im Temperaturgefälle erzwingen. Die Tagesschwankungen werden von der speicherfähigen Aussenwand teilweise aufgefangen. Die Innentemperatur bleibt dadurch mehr oder weniger konstant. Wir sprechen daher von isothermen Bedingungen. Bei nicht speicherfähigen Wänden greifen die Aussentemperaturschwankungen als Schwankungen der Innentemperatur durch. Die Innentemperatur gleicht sich viel rascher den Aussentemperaturschwankungen an. Wir sprechen hier vom adiabatischen Zustand.

Die entsprechenden Wärmedurchgangskoeffizienten oder dynamischen U-Werte heissen Temperaturdurchgriffskoeffizient I für isotherme und Temperaturdurchgriffsquotient II für adiabatische Verhältnisse.

Massive Wände können beträchtliche freie Wärmemengen von innen und aussen aufnehmen und bei veränderten Temperaturbedingungen phasenverschoben und amplitudengedämpft wieder in Richtung des tieferen Temperaturniveaus abgeben. Damit haben sie zunächst eine ausgleichende Wirkung in Bezug auf die täglichen Temperaturschwankungen, und sie verbessern die Ausnutzung solarer Einträge sowohl des Gebäudeinneren (Einträge durch die Fenster) wie auch des Äusseren (Einträge durch opake Bauteile).

Das Temperaturamplitudenverhältnis ist das Mass der Amplitudendämpfung einer Wärmewelle, also der Verkleinerung der Temperaturdifferenz (Schwankung zwischen Tagesminimum und -maximum) im Inneren gegenüber den Schwankungen aussen. Die Phasenverschiebung ist die Zeit, die zwischen dem Auftreffen der Wärme auf der Fassadenoberfläche bis zu ihrer Abgabe an die Innenraumoberfläche verstreicht.



Darstellung der Temperaturamplitudendämpfung ($\Delta\delta$) und der Phasenverschiebung im Innern eines Massivbaus (Abb. 5)

Wärmespeicherfähigkeit $S = c \text{ (J/kgK)} \cdot \rho \text{ (in kg/m}^3\text{)}$

Die Wärmespeicherfähigkeit S eines Stoffs ist das Produkt aus seiner spezifischen Wärmespeicherkapazität c^1 (in $\text{kJ/m}^3 \text{ K}$) und seiner Dichte. Die Wärmespeicherfähigkeit S nimmt also zu, wenn sich die flächenbezogene Masse $[\text{kg/m}^2]$ vergrössert oder ein Stoff mit einer höheren spezifischen Wärmekapazität c^1 $[\text{J/kgK}]$ gewählt wird. Dieser Ladevorgang nimmt auch mit steigender Temperaturdifferenz zwischen Bauteil und Luft (Aussenlufttemperatur, Innenlufttemperatur) zu.

Die Temperaturleitfähigkeit a

Die Temperaturleitfähigkeit oder Temperaturleitzahl a gibt an, wie gross die Reichweite einer an der Oberfläche erfolgten Temperaturänderung in die Tiefe des Materials ist. Sie nimmt mit der Wärmeleitfähigkeit zu, wird aber kleiner, wenn ein grosses Speichervermögen vorhanden ist.

Die Wärmeindringzahl b

Die Wärmeindringzahl b ist ein Mass für die Fähigkeit eines Materials, Wärme aufzunehmen oder wieder abzugeben. Je grösser der Wärmeindringkoeffizient ist, desto mehr wird aufgenommen bzw. abgegeben und desto langsamer erfolgt die Wärmeaufnahme bzw. -abgabe.

Dynamische Simulation

Für eine wirklichkeitsnähere Erfassung der instationären thermischen Prozesse (die zeitlichen Verläufe von Temperaturen und Wärmeströmen durch die verschiedenen Bauteile) eignen sich dynamische Simulationsmodelle besser als gängige stationäre Bilanzmodelle auf der Basis der U -Werte wie z.B. SIA 380/1. Für deren Ermittlung müssen umfassende Daten zur Verfügung gestellt werden, deren Verarbeitung beim derzeitigen Stand der elektronischen Datenverarbeitung keine grösseren Probleme mehr darstellt. Die Klimafaktoren, die internen Lasten, das bauphysikalische Verhalten der Umgebungsflächen, Wärmeabgabe und Steuerung der Heizung und auch der Sonnenschutz werden mitberücksichtigt. Entsprechende Programme sind heute auf dem Markt, und gerade für die Beurteilung von Bauten des Bestands, also auch der Baudenkmäler, werden immer häufiger dynamische Simulationen durchgeführt. Simulationen werden bisweilen aber aus Kostengründen unterlassen.

«Im Rahmen der Revision von SIA 382/2 ist die Einführung dynamischer Berechnungsmodelle vorgesehen, welche die statische Betrachtung nach SIA 380/1 ergänzen bzw. mittel- oder langfristig ersetzen werden.»² Insbesondere lassen sich die Vorteile der massiven Bauweise bezüglich Komfort und Nutzung solarer Energiegewinne sowie der Wirkung des Wärmespeicherverhaltens nur mit dynamischen Modellen realitätsnah aufzeigen. Dies gilt insbesondere auch für Baudenkmäler, welche ohne explizite Dämmschichten konstruiert sind und Wärmespeicherung und solare Einträge ausnutzen. Daher ergibt die statische Bedarfsrechnung mit U -Wert häufig ein falsches Bild zuungunsten des Denkmals.

Beispiel: Im Vorfeld der Sanierung des Kreisgebäudes 3 in Zürich wurde als Vergleichsbasis der Energiebedarf vor der Sanierung berechnet, dynamisch simuliert und mit dem effektiven gemessenen Verbrauch verglichen³.
 Effektiver gemessener Verbrauch: 333 $\text{MJ/m}^2\text{a}$
 Verbrauch nach SIA 380/1 gerechnet: 450 $\text{MJ/m}^2\text{a}$
 Simulation mit IDA-ICE⁴: 330 $\text{MJ/m}^2\text{a}$
 Die Simulation stimmt genau mit dem effektiven Verbrauch überein. Die Bedarfsberechnung nach SIA 380/1 hingegen eruiert einen Bedarf, der gut 35% darüber liegt. Das hängt grösstenteils mit den guten Speichereigenschaften des Bauwerks zusammen.

1) Die spezifische Wärmekapazität c_p in J/kgK ist die Wärmemenge, welche benötigt wird, um bei konstantem Druck ein Kilogramm eines Stoffs um ein Grad zu erwärmen (Luft hat etwa 1 kJ/kgK).
 2) Element Nr. 29, Wärmeschutz im Hochbau, Zürich 2010, S. 26
 3) Thermische Simulation – Kreisgebäude 3, Zur Lindenstrasse 87, Hochschule Luzern, Technik und Architektur, vom 14. August 2009, S. 5
 4) IDA-ICE: Programm des schwedischen Herstellers Equa

Solare Gewinne von Massivbauten

1. Innere Solargewinne durch Wärmespeicherung

Im Innern fallen im Winter Heizungswärme, Abwärme von Personen und Apparaten und Solareinträge durch die Fenster an. Existieren speicherfähige Massen, können diese Wärme aufnehmen, die sie in der Nacht teilweise wieder an den Raum abgeben.

2. Äussere Solargewinne durch Wärmespeicherung

Auf der Aussenseite des Bauteils fallen Solareinträge durch opake Bauteile¹ an. Massive Bauteile absorbieren Sonnenlicht und werden dadurch in Abhängigkeit von ihrer Wärmespeicherkapazität, ihrer Exposition, Oberflächenbeschaffenheit und Farbe unterschiedlich stark erwärmt. Sie geben in der Nacht Wärme nach innen und nach aussen wieder ab.

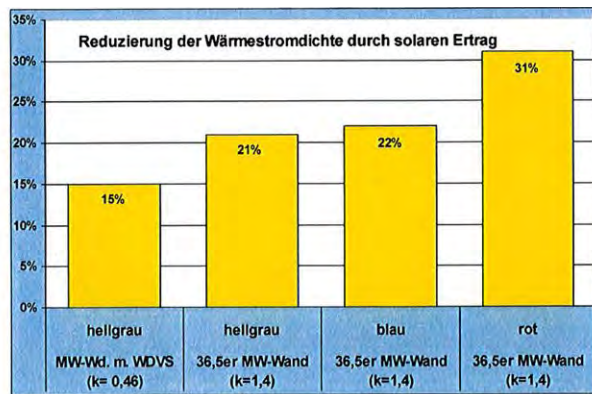
3. Reduktion der Transmissionsverluste

Die besonnten Fassadenoberflächen erwärmen sich auch an Tagen mit sehr tiefen Aussentemperaturen bis über 40 °C². Solange die Aussenoberflächentemperatur höher als die Innenoberflächentemperatur (z.B. 18 °C) ist, wird die Transmission unterbunden und es fliesst ein Wärmestrom in umgekehrter Richtung (2. Satz der Thermodynamik).

Der Wandkern wird erwärmt. Die Speicherfähigkeit beeinflusst auch die Fassadenoberflächentemperatur positiv, indem sie das höhere Temperaturniveau zeitlich verlängert. Gemäss der «Studie über den Einfluss der solaren Erträge über die Aussenwände auf den Energiehaushalt eines Wohngebäudes»³ sind die Aussenoberflächentemperaturen besonnter Fassaden bei einer Aussenlufttemperatur von zwischen -10 und 0 °C im Januar während 6 Stunden höher als 20 °C (in Berlin!).

Wärmespeichernde Bauteile haben nun die Möglichkeit, diese Energie zu speichern und phasenverschoben und amplitudengedämpft in den kalten Nachtstunden nach beiden Seiten wieder abzugeben. Bedingung ist die Nachtabsenkung der Heizung, damit der Speicher auch nach innen entladen werden kann.

Eine Wand, die viel Energie gespeichert hat, gibt nach Sonnenuntergang Wärme auch nach aussen ab. So fliesst auch nach Sonnenuntergang das Temperaturniveau nach. Die Phase erhöhter äusserer Oberflächentemperatur geht also über die eigentliche Sonnenscheindauer weit hinaus.



Durch solare Einstrahlung verringerter Transmissionswärmestrom bei Verbandmauerwerk hellgrau, blau und rot: um bis über 30% reduzierte Wärmestromdichte. Sogar bei einer Aussendämmung mit Verbundwärmedämmsystem (VWDS) wurde eine ansprechende Verringerung festgestellt. (Abb. 6)

Nebst der Speicherfähigkeit spielen Orientierung und Oberflächenbeschaffenheit (Farbe, Textur) eine wichtige Rolle: der Vergleich einer reflektierenden weissen Nordfassade mit einer dunklen südorientierten Aussenwand ergab, bei gleichen rechnerischen Wärmedurchgangskoeffizienten, bis zu 23% geringere Verluste für Letztere⁴. Unterschiedliche Oberflächenstrukturen und Farben der vornehmlich südorientierten Wände führen zu Reduktionen der Wärmeverluste von bis zu 26% gegenüber nordorientierten, nicht der Sonneneinstrahlung ausgesetzten Wänden⁵.

Im Mittel ergeben sich Verbesserungen des rechnerischen Durchgangskoeffizienten sämtlicher Aussenwände zwischen 4 und 9% für helle sowie 9 und 14% für dunkle Oberflächen.

Speicherung im Sommer

Im Sommer bieten Konstruktionen mit hohem Wärmespeichervermögen eine grössere Behaglichkeit. Wegen der Speicherfähigkeit des Bauteils treten die äusseren Temperaturspitzen phasenverschoben und amplitudengedämpft erst in den kühlen Abend- und Nachtstunden in den Raum, im Rauminnern sind Temperaturschwankungen und die Maximaltemperaturen wesentlich geringer als im Freien. Innenwärme (solare Einträge durch die Fenster) wird solange von speicherfähigen Innen- und Aussenwänden aufgenommen, wie die Wandoberflächentemperaturen unter denjenigen der Raumluft liegen. Damit ist die Wärmespeicherfähigkeit bis heute ein zentrales Element sommerlichen Wärmeschutzes.

1) Der solare Energiegewinn durch opake Bauteile wird heute in statischen Standardrechenverfahren nicht berücksichtigt.
 2/3) Matthias Bumann, Studie über den Einfluss der solaren Erträge über die Aussenwände auf den Energiehaushalt eines Wohngebäudes verfasst von Dipl.-Ing. Matthias G. Bumann Ingenieurbüro DIMaGB, Berlin Berlin im April 2009, redigiert 16.07.2009
 4/5) Christian Kupke, und Matthias Stohrer, Wärmeenergie transport durch Aussenwände unter natürlichen Klimabedingungen; Abschlussbericht der Forschungs- und Entwicklungsgemeinschaft für Bauphysik e.V. an der FH für Technik Stuttgart, 1987

Ausgewählte Baumaterialien – Rohdichte, Wärmeleitfähigkeit und spezifische Wärmekapazität

Material	Rohdichte [kg/m ³]	λ [W/mK]	c = J/kgK	S = c · ρ kJ/m ³ K
Granit	2600	2.8	1000	2014–2220
Gneis	2550	3.5	1000	2550
Marmor	2850	3.5	1000	2850
Sandstein	2600	2.3	1000	2600
Kalksteine	2000–2500	2.5	1000	2000–2500
Kalktuff	1924	0.8	1000	1924
Kunststein	1750	1.3	1000	1750
Stahlbeton (2% Stahl)	2400	2.5	1000	2400
Beton	2200	1.6	1000	2200
Stahl	7800	50	450	3510
Erdreich (Sand, Kies)	2000	2	1000	2000
Erdreich (Ton)	1500	1.5	2100	3150
Backstein	800	0.12	1000	846–1128
Vollbackstein	1800	0.8	1000	1800
Tonfliesen	2000	1	1000	2000
Gipsputz	1300	0.57	1000	1300
Mörtel (Gips, Sand)	1600	0.8	1000	1600
Mörtel (Kalk, Sand)	1600	0.8	1000	1600
Kalkmörtel	1800	0.87	1000	1800
Mörtel (Zement, Sand)	1800	1	1000	1800
Innenputz	1400	0.7	1000	1400
Aussenputz	1800	0.87	1000	1800
Fichtenholz	500	0.14	2200	1100
Buchenholz	700–750	0.17	2300	1725
Eichenholz	700–800	0.21	2400	1800
Steinwolle	30–160	0.034–0.041	1030	
Glaswolle	9–120	0.031–0.044	1030	
Schaumglas		0.041–0.05		
Schaumglasschotter lose, trocken	130–170	0.08–0.1		
Polystyrol-Hartschaum extrudiert	15–30	0.029–0.04	1450	
Polystyrol-Hartschaum expandiert	10–40	0.029–0.04	1450	
Polyurethan PUR	30–40	0.023–0.035	1400	
Korkplatten	90–160	0.055	1560	
Cellulose (Einblasflocken)	35–60	0.04–0.045	1600	
Celluloseplatten	50–80	0.05	1600	
Hanf (Flachs, Kokos)	40–50	0.05–0.07	1300	
Schafwolle	20–60	0.05		
Kalziumsilikatplatten	200–290	0.04–0.07		
Aerogelmatten	ca. 140	0.0131		
Vakuumdämmplatte	ca. 150–180	0.006–0.009	0.8	
Floatglas	2500	1.0	750	1875
Luft ruhend 20 °C	1.2	0.026	1050	1.2
Wasser ruhend 20 °C	1000	0.6	4190	4190

Quelle: SIA 381/101 Baustoffdatenbank, SIA 279 (Abb. 7)

3.4 Feuchte

Die Atmosphäre enthält als Bestandteil des Luftgemischs Wasser in gasförmigem Zustand. Luft kann in Abhängigkeit von ihrer Temperatur eine bestimmte maximale Wasserdampfmenge aufnehmen. Die Sättigungsmenge bei einer bestimmten Temperatur übt den Wasserdampf-sättigungsdruck p_s in Pa (Pascal) aus. Wird Luft abgekühlt, so reduziert sich die maximal mögliche Wasserdampfmenge und die Differenzmenge wird als Kondensat ausgeschieden. Andererseits haben vor allem poröse Baustoffe die Fähigkeit, Wasser durch Absorption von der Raumluft aufzunehmen oder bei Bedarf wieder an diese abzugeben, zu desorbieren. Diese beiden Phänomene sollen hier kurz erläutert werden.

Absolute und relative Luftfeuchtigkeit

Die absolute Luftfeuchtigkeit beschreibt die effektiv in einem Kubikmeter Luft vorhandene Menge Wasser in Form von Wasserdampf und wird in der Einheit g/m^3 angegeben. Die relative Luftfeuchtigkeit beschreibt das Verhältnis der absoluten Luftfeuchtigkeit zur Sättigungsmenge bei der vorhandenen Lufttemperatur. Sie wird in Prozent angegeben. Wird warme, feuchte Luft abgekühlt, steigt die relative Luftfeuchtigkeit. Wird kalte Luft aufgeheizt, ohne dass Feuchtigkeit zugeführt wird, sinkt die relative Feuchtigkeit und die Luft wird «trockener». Die Taupunkttemperatur definiert die tiefst mögliche Temperatur, die eine Luftmasse oder ein mit der Luft in Berührung kommender Bauteil haben kann, ohne dass es zur Kondensatausscheidung kommt. Ist die Taupunkttemperatur erreicht, beträgt die relative Luftfeuchtigkeit am betroffenen Bauteil 100% und die in der Luft enthaltene Wasserdampfmenge entspricht der Sättigungsmenge.

Oberflächentemperaturen

Die innere Oberflächentemperatur eines Bauteils ist abhängig vom Wärmedurchgangskoeffizient U des Bauteils, der Aussenlufttemperatur, der Innenraumtemperatur, der Art der Beheizung des Raumes sowie der Raumluftzirkulation. Bei der Beurteilung von Feuchteschäden infolge Kondensatbildung ist die Oberflächentemperatur eine wesentliche Kenngrösse. Wenn die Oberflächentemperatur einer Wandoberfläche niedriger ist als die Taupunkttemperatur der angrenzenden Luft, bildet sich Kondensat. Ist die Oberflächentemperatur einer Wand höher als die Taupunkttemperatur der Luft, kann Feuchte aus der Wand an die Luft abgegeben werden. In diesem Fall trocknet die Wand aus und die relative Luftfeuchtigkeit bleibt konstant.

Andauernde hohe relative Luftfeuchte an der Oberfläche und Kondensate sind die Ursachen für Schimmelbildungen. Gegenüber der Raumluft niedrigere Oberflächentemperaturen, wie sie etwa in nicht ständig beheizten

Kirchenräumen vorkommen, lösen Kaltluftströme aus, die an exponierten Stellen unangenehm spürbar sind.

Hygroskopische (Material-)Feuchte

Hygroskopische Feuchte ist die durch Absorption von Wasserdampf aus der Luft angereicherte Feuchtigkeit in porösen, kapillaraktiven Baustoffen. Diese können Raumluftfeuchtigkeit absorbieren und bei trockener Raumluft wieder desorbieren. Böden, Decken und Wände tragen so zum Ausgleich des Feuchtehaushalts eines Raumes bei. Unter dem Begriff Sorptionsfeuchte versteht man den Feuchtegehalt, der sich im stationären Zustand bei gegebener Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit in den raumumschliessenden Konstruktionen einstellt.

Kondensate an Bauteiloberflächen

Warme ungesättigte Luft wird an einer kälteren Bauteiloberfläche so stark abgekühlt, dass ihre Taupunkttemperatur unterschritten wird und damit Wasser auf der Bauteiloberfläche ausscheidet. Die absolute Raumluftfeuchtigkeit (die effektiv in der Luft enthaltene Wasserdampfmenge) und die Temperaturdifferenz zwischen der Raumlufttemperatur und der Bauteiloberflächentemperatur sind dabei die entscheidenden Grössen. Zu hohe Luftfeuchtigkeit und zu starke Abkühlung an der Bauteiloberfläche sind die Hauptursachen für Oberflächenkondensate. Kondensate können grundsätzlich während des ganzen Jahres auftreten. Klassische Winterkondensate sind primär durch grosse Temperaturdifferenzen zwischen Raumlufttemperatur und kühlen Bauteiloberflächen bedingt. Sie treten dort auf, wo dünne oder stark wärmeleitende Aussenwandkonstruktionen gegenüber der Raumlufttemperatur niedrige Oberflächentemperaturen aufweisen. Die Temperaturdifferenz zwischen der Oberfläche und der Luft hängt dabei von verschiedenen Faktoren ab, so der Art der Beheizung, der Temperaturdifferenz innen-aussen, dem U -Wert der Konstruktion, der Lage des Bauteiles und der Oberflächenbeschaffenheit. Durch die Beheizung der Innenräume steigt die Sättigungsmenge der Luft, und je nach Nutzung des Raumes liegt der vorhandene Wasserdampfgehalt über dem Taupunkt der kühlen Aussenbauteiloberflächen. Dies gilt insbesondere für schlecht belüftete Stellen, wie Aussenecken und durch Möbel abgedeckte Flächen. Durch Fassadenbesonnung oder auch durch die ungleiche Beheizung von Räumen können sich innerhalb eines Gebäudes unterschiedliche Oberflächentemperaturen einstellen: Solar erwärmte Südansichten trocknen ab und geben Feuchtigkeit an die Raumluft ab. Diese Feuchtigkeit kann unter Umständen an nicht besonnten kälteren Oberflächen (Nordfassaden) wieder kondensieren. Es kommt also zu einer Umverteilung der Feuchtigkeit im Raum. Sommerkondensate entstehen an Stellen, wo

grosse Baumassen (Kirchen, Burgen, Gebäudesockel mit Kellerräumen) tiefe Temperaturen weit in wärmere Witterungsperioden hinein erhalten. Im Frühjahr steigt mit der Aussentemperatur die absolute Raumluftfeuchtigkeit an. Werden beispielsweise Kellerräume mit noch winterkalten massiven Wänden gelüftet, so kühlt sich die einströmende warme feuchte Luft an den noch kalten Oberflächen ab; unterschreitet sie die Taupunkttemperatur, entsteht Tauwasser, das sogenannte Sommerkondensat.

Dampfdiffusion durch ein Bauteil

Zum Wasserdampf der Raumluft gesellt sich Wasserdampf von menschlichen Körperoberflächen und Wasserdampf aus menschlicher Atmung, Weiterer Wasserdampf fällt durch Verdunstung von Wasser beim Kochen, Waschen und Baden an. Die Luft als Gasgemisch übt einen Druck auf die festen Körper (z.B. Bauteile) aus, der sich aus dem Teildruck des Gasgemisches Luft und dem Wasserdampfdruck zusammensetzt. Wenn nun zwischen der Raum- und der Aussenluft unterschiedliche Wasserdampfdrucke herrschen, also ein Dampfdruckgefälle entsteht, findet in Analogie zum Wärmedurchgang ein Ausgleichsvorgang statt: Der Dampf diffundiert in Richtung niedrigerem Teildruck (im Winter von innen nach aussen). Wasserdampf kann durch einen Bauteil diffundieren, wenn dieser aus einem Material mit durchgehenden Kapillaren besteht. Als Mass für die Wasserdampfdurchlässigkeit eines Baustoffs vergleicht man eine ein Meter starke Schicht des Baustoffs mit einer gleich dicken Luftschicht.

$$\mu = \frac{\text{Durchlässigkeit der Luftschicht (s = 1m)}}{\text{Durchlässigkeit der Materialschicht (s = 1m)}}$$

Die wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke $S_d = \mu \cdot s$ (s = Stärke des Baustoffs)

Kondensate in der Konstruktion

Winterliche Flächenkondensate

Sind die im Winter angefallenen Kondensatmengen infolge Dampfdiffusion grösser als die sommerlichen Austrocknungsmengen, nimmt die Feuchtigkeit in der Konstruktion im Laufe der Jahre zu und kann zu Schäden führen.

Konvektive Kondensate

Leckstellen in der Konstruktion ermöglichen den Austritt feuchtwarmer Raumluft auf die Kaltseite der Dämmung und führen dort rasch zu grösseren Kondensatmengen.

Feuchteeintrag in die Konstruktion durch Undichtheiten in der Dampfbremse

1 mm Fuge = 800 g/24h pro m Fugenlänge

Feuchtetransport
 durch Dampfbremse: 0,5 g/m² x 24h
 durch 1 mm Fuge: 800 g/m x 24h

Konvektiver Feuchteeintrag infolge undichter Dampfbremse (Abb. 8)

Grundsätzlich gilt: Der Dampfdiffusionswiderstand muss von innen (warmseitig der Wärmedämmung) nach aussen (kaltseitig der Wärmedämmung) abnehmen.

Raumluftfeuchtigkeit

Die Feuchtigkeitsproduktion in Wohnräumen ist grösser als früher: Tägliches Duschen, Baden, Pflanzenfeuchtigkeit, Wäschetrocknen und anderes mehr erzeugen hohe Raumfeuchtigkeit. Aus energetischen Überlegungen werden die Häuser immer dichter abgeschlossen mit der Absicht, die Lüftungswärmeverluste zu reduzieren. Wenn aber die feuchte warme Raumluft nicht mehr genügend nach aussen entweichen und Feuchtigkeit abtransportieren kann, bleibt die relative Luftfeuchtigkeit ständig hoch, und auch auf gegenüber der Raumluft nur wenig kälteren Oberflächen können Kondensate ausscheiden. Wenig belüftete, ständig feuchte Oberflächen ermöglichen Pilzbildungen und Bauschäden an den Oberflächen. Das erhöhte Dampfdruckgefälle führt zur Steigerung der Dampfdiffusion durch die Aussenwand. Vor allem Konstruktionen mit zu dichten Schichten an der Aussenoberfläche, wie dichte Putze und Anstriche, können zur Durchnässung der Wände führen.

Klimaeinflüsse

Aussenklima

Die tages- und jahreszeitlichen Schwankungen und Veränderungen des Aussenklimas sind hochkomplexe variable Einwirkungsgrössen für das Bauwerk, sein Innenklima und seine energetische Bilanz.

Die massgebenden Elemente, die auf das Bauwerk einwirken, sind:

- Aussenlufttemperatur
- Luftfeuchtigkeit
- Sonnenstrahlung
- Niederschläge
- Wind
- Luftdruck
- Bewölkung, Nebel
- Tageslicht
- Topografie

Die Klimadaten für die Schweiz werden im SIA-Merkblatt 2028 «Klimadaten für Bauphysik, Energie- und Gebäudetechnik» definiert.

Auf einer einheitlichen Datengrundlage wurden für 40 Wetterstationen sämtliche für die Berechnungen notwendigen Daten neu erfasst. Basis bilden die stündlichen Messdaten des automatischen Messnetzes von MeteoSchweiz zwischen 1984 und 2003. Die Auswahl der Stationen erfolgte so, dass das besiedelte Gebiet bestmöglich abgebildet ist.

Die Daten sind im Merkblatt tabellarisch und teilweise grafisch dargestellt; sie sind auch elektronisch erhältlich. Die hauptsächlichsten Inhalte sind:

Monatliche Mittelwerte von Temperatur und Solarstrahlung für die Berechnung des Heizwärmebedarfs nach SIA 380/1

Monatliche Mittelwerte der absoluten Feuchte für Feuchteschutzberechnungen nach SIA 180 und Niederschlagssummen

Extremwerte für Feuchteschutzberechnungen gemäss SIA 180

Windgeschwindigkeitsdaten für die Beurteilung der Widerstandsfähigkeit von Sonnenschutzeinrichtungen

Winterliche Auslegungsdaten für die Berechnung der Norm-Heizlast gemäss SIA 384/201

Dazu gibt es für jede Station einen Jahresdatensatz mit stündlichen Werten zu einer Vielzahl von Parametern, ein sogenanntes «Design Reference Year (DRY)». In gleicher Weise wurde auch ein kaltes und ein warmes Extremjahr aufbereitet. Diese Daten werden vor allem für Simulationen verwendet.

Die Daten sind in den meisten handelsüblichen Berechnungsprogrammen implementiert und müssen für rechtsgültige Energienachweise bei Baugesuchen verwendet werden.

Innenklima

Die zentralen Grössen sind Raumlufttemperatur, Oberflächentemperatur und die relative Raumluftfeuchtigkeit. Die empfundene Raumtemperatur, auch operative Raumtemperatur genannt, ist der Mittelwert zwischen der Raumlufttemperatur und der mittleren Strahlungstemperatur der Umgebungsflächen. Demnach müssen Räume mit tiefen Innenoberflächentemperaturen tendenziell auf eine höhere Innenraumtemperatur beheizt werden, um die gleiche empfundene Raumtemperatur aufzuweisen.

Der Tatsache, dass sich das Innenklima infolge des veränderten Nutzerverhaltens und durch dichter werdende Hüllen und Öffnungen verändert, wird gerade bei Baudenkmalern vermehrt Rechnung getragen werden müssen. Aufklärungsarbeit wird hier vor allem bei den Gebäudenutzern zu leisten sein.

4. Nichtbauliche Massnahmen zur Senkung des Energieverbrauchs

4.1 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 Hülldämmungen, 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. 20, 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.

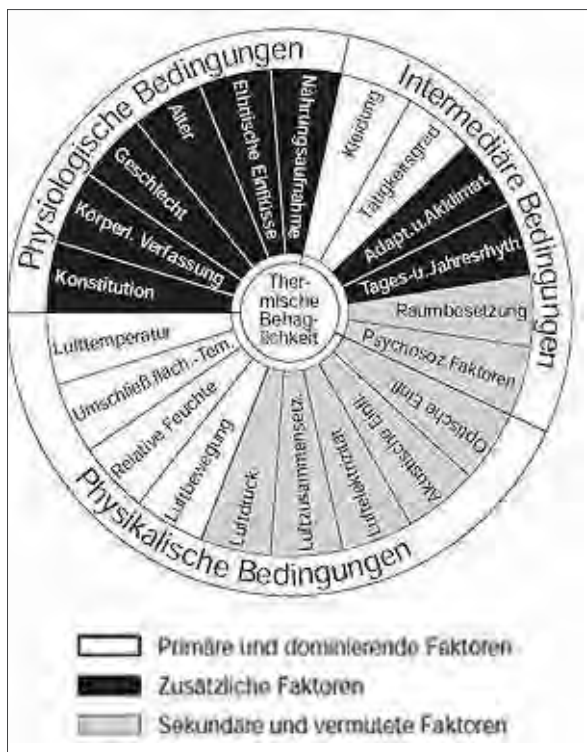
Datum	Ölzähler	Gas	Wasserzähler	Stromzähler
	l	kWh	m ³	kWh
6.03–5.04		103 948	465	4324
6.04–5.05		102 020	371	3737
6.05–5.06		89 994	336	4016
6.06–5.07		71 002	352	4547
6.07–5.08		82 905	306	4031
6.08–5.09		81 965	296	4029
6.09–5.10		88 208	316	3785

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

4.2 Nutzer und Nutzung

Bedürfnisse der Nutzer

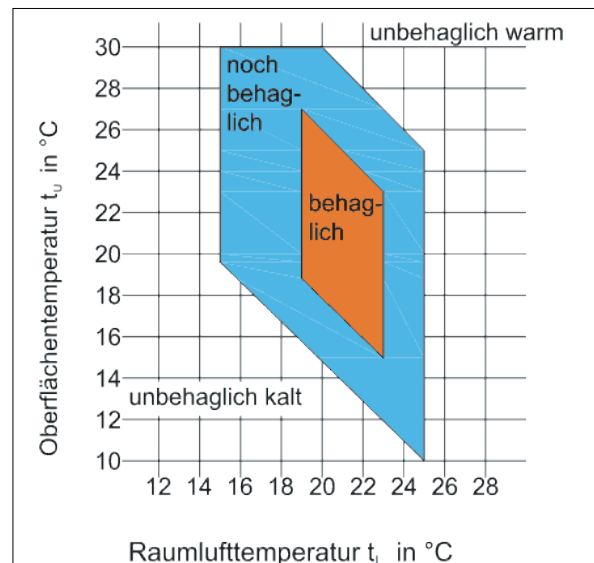
Die Haustechnik und der damit verbundene Energieverbrauch dient der Befriedigung von Bedürfnissen. Im Vordergrund stehen die Behaglichkeits- und die Komfortansprüche der Menschen an ihre Wohn- und Arbeitsräume. Unterschiedliche Bedingungen beeinflussen die individuell empfundene Behaglichkeit: Es sind 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. Strahlungseizung) 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 m² 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

4.3 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 Effizienzeinbusse 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.

5. Haustechnikanlagen

5.1 Heizungsanlagen

Einführung

Das Energiesparpotenzial durch eine Sanierung der haustechnischen Anlagen (technische Gebäudeausrüstung, Gebäudetechnik, Versorgungstechnik), insbesondere der Heizung, ist, wie mehrere Studien belegen, sehr gross. Besonders wertvoll ist in diesem Zusammenhang eine Pilotstudie der Technischen Universität Dresden aus den Jahren 2009 bis 2011, welche sich mit der energetischen Sanierung von Baudenkmalern befasst¹. Sie untersucht systematisch die energetische Effizienz konkreter Sanierungsmassnahmen von fünf verschiedenen Gebäudetypen an einer relevanten Anzahl von Baudenkmalern unter dem Aspekt der Denkmalverträglichkeit. Die Studie zeigt, dass neben der Dämmung der Aussenwände die effizienteste Massnahme zur energetischen Verbesserung von Baudenkmalern die Sanierung der Haustechnik ist. Ebenso weist sie darauf hin, dass eine Sanierung der Anlagentechnik im Vergleich mit der Hülldämmung denkmalverträglicher ist. Der Sanierung der Anlagentechnik von beheizten Baudenkmalern kommt eine hohe Bedeutung zu.

Im Folgenden werden Heizung, Lüftung, sanitäre und elektrische Installationen disziplinenweise diskutiert. Es werden keine konkreten Sanierungsvorschläge unterbreitet, sondern die Einsparpotentiale der Anlagenteile katalogförmig aufgelistet. Konkrete Sanierungskonzepte müssen im Team der an der Planung Beteiligten für den Einzelfall erarbeitet werden.

Eingangs erscheint es jedoch sinnvoll, über die ursprüngliche Haustechnik der Denkmäler (die zur Hauptsache aus der Heizung bestand), über deren Wirkungsweise und über die Ansprüche ihrer heutigen Nutzer nachzudenken.

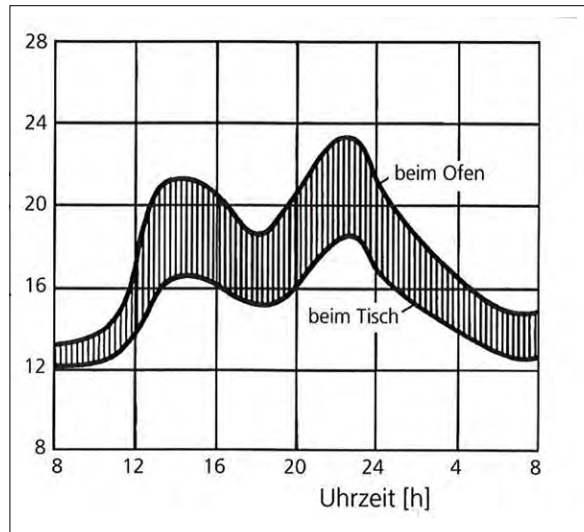
Im Zusammenhang mit haustechnischen Erneuerungen stehen aus der Sicht der Denkmalpflege folgende Themenkreise im Vordergrund:

- Substanzerhaltung (Minimierung von Eingriffen für Leitungen und Raumheizung)
- künftiges Raumklima (Substanzschonung)
- Erhaltung historisch bedeutender Haustechnik (Kachelofen, Rauchabzüge, Heizkörper)

5.2 Notizen zur Geschichte des Heizens

Nutzeransprüche und Heizkomfort

Viele beheizte Baudenkmalere sind heute mit einer Zentralheizung, bestehend aus dem Wärmeerzeuger, der Wärmeverteilung und der Wärmeabgabe, ausgestattet. Einige Baudenkmalere werden auch erst jetzt im Rahmen einer energetischen Sanierung neu zentral beheizt. Die meisten vor 1900 erstellten Objekte, und viele in der ersten Hälfte des 20. Jahrhundert errichtete Bauten wurden ursprünglich mit Einzelöfen beheizt. Der Heizkomfort mit Einzelöfen war in den letzten Jahrhunderten konstant und aus heutiger Sicht niedrig. Man begnügte sich mit einer warmen Stube und stellte keine differenzierten Anforderungen an Luft- und Oberflächentemperaturen, Luftbewegung und Raumluftfeuchtigkeit. Die Innentemperaturen waren je nach Beschickung der Öfen innerhalb eines Raums im Tagesverlauf sehr unterschiedlich. Unten stehendes Diagramm zeigt Temperaturen eines mit Kachelofen beheizten Raums im Tagesverlauf, gemessen einerseits in Ofennähe und andererseits am Tisch in Fensternähe. Die Differenzen betragen bis zu 10 °C.



Stube mit Kachelofen beheizt, Raumlufttemperatur in Abhängigkeit von Beschickung und Aufenthaltsort (Abb. 11)

Die Lufttemperatur ist also abhängig von der Beschickung und der Nähe zum Ofen. Die Temperaturregelung erfolgte primär über die Öffnungen. Eine Studie aus den späten 1950er-Jahren in 50 Wohnungen mit Einzelöfen zeigt, dass auch im Wochenverlauf unterschiedlich geheizt wurde². Von Montag bis Freitag nahm die Anzahl der beheizten Räume leicht zu, stieg zum Wochenende noch an und erreichte am Sonntag den Höchstwert; dies spiegelt die Präsenz und den Komfortanspruch der

1) Freistaat Sachsen, Staatsministerium des Innern, Energetische Sanierung von Baudenkmalern, Handlungsanleitung für Denkmaleigentümer, Architekten und Ingenieure, Dresden 2011.

2) Aus: Helmut Künzel, Bauphysik, Geschichte und Geschichten, Stuttgart, 2002, S. 37

Bewohner. Im Normalfall wurde nicht durchgeheizt. Das intermittierende Heizen (nur tagsüber) wirkte sich positiv aus, denn es bewirkte eine grössere relative Raumluftfeuchtigkeit als das Durchheizen, weil die Unterbrüche Feuchteabsorption und -desorption zwischen Raumluft und Oberflächen ermöglichten. Die Oberflächen gaben Feuchte an die Luft ab, die Raumluft nahm Feuchte von den Oberflächen der Umgebung auf.

Zur Geschichte der Heizungsanlagen

Der offene Kamin

Mindestens in gehobenen Kreisen etablierte sich zwischen dem 10. und 12. Jahrhundert der Kamin anstelle des offenen Feuers ohne Rauchabzug. In Einzelfällen sind auch Hypokaustenheizungen, wie sie die Antike kannte, für das Mittelalter belegt.

Der offene Kamin war kein besonders wirkungsvoller Wärmeerzeuger; er besitzt je nach Bauart einen Nutzungsgrad von weniger als dreissig Prozent. Die Wärme wird beim offenen Kamin zur Hauptsache als Strahlungswärme direkt vom Feuer abgegeben. Ein Grossteil der Feuer- und die Abgaswärme entweichen durch den Schornstein ins Freie. Zur Steigerung der Abstrahlung in den Raum wurde an der Kaminrückwand eine Gusseisenplatte angebracht, die in den Raum strahlte. Kaminplatte und Kamineinfassung wurden im Verlaufe der Geschichte zum Träger reicher Dekorationen und Bilddarstellungen.

Kachel- und Steinöfen

Die ältesten in Europa gefundenen Ofenkacheln stammen aus dem Hochmittelalter (um 1100). Als Vorläufer der Stubenöfen, der Kachel- und Natursteinöfen, gelten überwölbte Backöfen und Kochherde. Die frühen Öfen hatten Oberflächen aus Lehm und Kalk, in welche zwecks besserer Wärmeübertragung

und geringeren Gewichts schüssel- und becherförmige Kacheln eingesetzt wurden. Die vollflächige Ausstattung mit Kacheln war die logische Weiterentwicklung. Die Befuerung wurde von einem Nebenraum, meist der Küche, vorgenommen. Der Rauch wurde in diesen rückgeführt. Von da entwich er über einen Rauchfang oder direkt ins Freie, oder er wurde durch einen Kamin über Dach geführt. Heizungstechnisch blieb dieses System insbesondere in ländlichen Gebieten bis ins 18. Jahrhundert erhalten.

Erst in dieser Zeit wurde die Rauchführung zur Nutzung der Abwärme ausgebaut und die Öfen erhielten eigene Kamine. Bei grösseren herrschaftlichen Häusern mit mehreren Öfen wurden spezielle Heizgänge ausgebildet, die dem Personal zur Beschickung der Öfen dienten, für die Bewohner aber unsichtbar waren.

Kachel- und Natursteinöfen zeichnen sich durch eine hohe Masse aus, bedürfen einer langen Aufheizzeit, erzielen aber eine hohe Speicherwirkung.

Die grossen und heissen (bis zu ca. 80 °C) Flächen der quaderförmigen oder aus mehreren Quadern zusammengesetzten oder zylinderförmigen Öfen sind klassische Strahlungsheizungen. Der Ofen stand stets an einer Innenwand, sodass er gegen die Aussenwände, Decke und Boden strahlte. In geringerem Mass heizt der Kachelofen aber auch konvektiv, indem die Luft in Ofennähe sich



Frühe Gussplatte, als Kamin- oder Ofenplatte um 1500 (Abb. 12)



Offener Kamin von 1570, Schloss Burgstein (Abb. 13)

erwärmt, aufsteigt, sich entlang der Decke nach aussen bewegt, dann an der Aussenwand abkühlt und nach unten sinkt.



Kachelofen 18. Jahrhundert, Tscharnerhaus, Münsterplatz Bern (Abb. 14)

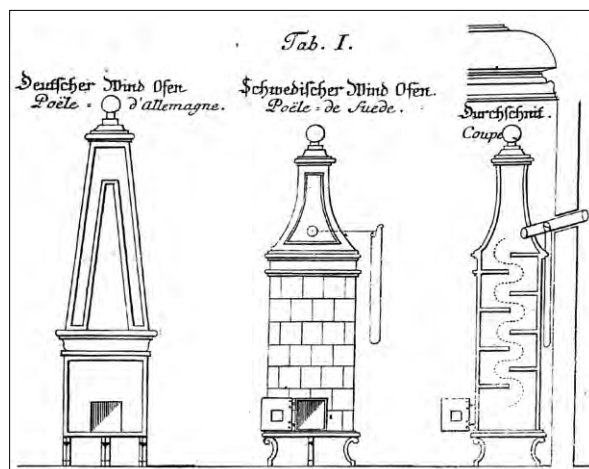
Die massiven Öfen besaßen eine hohe Wärmespeicherkapazität, sodass sie nach dem Erlöschen des Feuers während der Nacht weiterhin Wärme an den Raum abgeben konnten. Sie dienten nicht nur als Heizung, sie waren auch Sitzmöbel, Backofen und Trocknungsvorrichtung für Kleider oder Dörrobst. Gusseiserne Platten- und Kastenöfen wurden seit dem 16. Jahrhundert eingesetzt. Damit war der Typus des transportablen Ofens, der zunächst noch beschränkt verschoben und mit einer Rauchrohrverlängerung an den Kamin angeschlossen werden konnte, mindestens vorbereitet. Er existierte von da an parallel zu den Kachel- und Natursteinöfen, bis er ab ungefähr der Mitte des 19. Jahrhunderts im Zusammenhang mit der industriellen und seriellen Fertigung im Wohnungsbau eine Vorrangstellung übernahm. Die Feuerräume waren eher gross und ungegliedert. Viel Wärme entwich in den Schornstein. Zunehmende Holzknappheit führte im Verlaufe des 18. Jahrhunderts zur Entwicklung von Sparöfen. Der preussische König Friedrich II. soll einen Wettbewerb zur Entwicklung von Sparöfen durchgeführt haben. Christian L. Stieglitz schrieb 1797 in seiner «Enzyklo-

pädie der bürgerlichen Baukunst»:

«Allein man muss hierbey auch noch besonders darauf sehen, dass ein Ofen so eingerichtet und angelegt ist, dass er bey dem möglichst sparsamsten Holzaufwande gute Dienste thue und das Zimmer hinlänglich erwärme. Bey dem grossen und immer mehr zu befürchtenden Holzangel, worüber schon seit mehr als hundert Jahren geklagt wird, sollte ein Jeder es sich zur Pflicht machen, von seiner Seite, so viel als möglich, dazu beyzutragen, das Holz mit der grössten Sparsamkeit zu gebrauchen, und die Vorschläge anzunehmen, die in dieser Absicht wegen der Heizung der Zimmer gethan sind.»¹ Hierzulande war das Thema nicht minder aktuell. Erasmus Ritter verfasste 1768 eine Preisschrift zum selben Thema.



Stubenofen Sandstein, Bauernhaus in Le Mouret 1839 (Abb. 15)



Aus: Erasmus Ritter, Preisschrift über die 1768 von der ökonomischen Gesellschaft in Bern aufgegebenen Frage: Welches ist die beste Theorie der Küchenherde und Stubenöfen zur Ersparung des Holzes und anderer Feuerungsmittel? (Abb. 16)

Transportable Einzelöfen

Der Brennstoff Kohle brachte im Verlauf des 19. Jahrhunderts Neuerungen für den Feuerraum, der in zwei Kammern, Brennraum und Aschenfang, unterteilt wurde. Um 1880 tauchten zwei neue Ofentypen für Kohle als Brennstoff auf, der Durchbrandofen und der Unterbrandofen. Beim Durchbrandofen war der Füllschacht Teil des Feuerraums. Beim Unterbrandofen fand die Verbrennung in einem separaten Füllkorb statt. Die erste Gasheizung war 1799 von Philippe Lebon in Frankreich patentiert worden und war ein aus Lampe und Heizung bestehender Apparat. 1855 stellte Robert Wilhelm Bunsen eine Gasheizung her (Prinzip des noch heute verwendeten Bunsenbrenners).



Ofen aus Gusseisen um 1880 (Abb. 17)

Im Zusammenhang mit der Einführung von Stadtgas gelangten nach 1860 erste Gasheizöfen auf den Markt. Aber Holz und Kohle blieben noch für mehr als ein halbes Jahrhundert die Hauptenergieträger für die Heizung. Transportable Gusseisenöfen mit und ohne Kacheln in allen möglichen Formen und Farben kennzeichnen das Angebot der Folgezeit. Sie prägten Stube und Zimmer, bis sie durch die Zentralheizung abgelöst wurden.

Zentralheizung

Die Zentralheizung, bei welcher die Wärme zentral in einem Kessel erzeugt und über ein Rohrsystem den Heizkörpern zugeführt wird, war gegen Ende des 19. Jahrhunderts technisch ausgereift. Sie vermochte sich in Europa vorerst nur in repräsentativen und öffentlichen Bauten wie Rat- und Schulhäusern durchzusetzen, da sie noch sehr teuer war. Als Wärmeträger wurden damals Luft, Dampf und auch bereits Wasser verwendet. In der Neuzeit (um 1700) entstanden von der antiken und mittelalterlichen Hypokaustenheizung abgeleitete Luftheizungen, sogenannte Calorifères; sie erlebten ihre Blütezeit aber erst ab 1850 bis 1870. Sie funktionierten mit Zirkulation oder mit Ventilation. Die Zirkulation führte die abgekühlte Luft wieder zurück in den Heizraum, mit dem Nachteil, dass sie mangels Lufterneuerung ungesund war. Die Ventilation benötigte dagegen viel mehr Brennstoff. Erstere wurde dort verwendet, wo Menschen sich nur kurze Zeit aufhielten, z.B. in Kirchen. Für normal beheizte Bauten wie Spitäler oder Schulen wurde das Ventilationssystem eingesetzt. Trockene Luft und kontinuierliche Geräusche waren ihre Nachteile. Auch Keimbildung in den Kanälen wurde bemängelt. Dampfheizungen wurden als Hoch- und als Niederdruckheizungen konzipiert. Mit dem Wasserdampf wurden die Räume direkt über weite Röhren, Rippenrohre und Öfen beheizt. Mit den Rippenrohren wurden erstmals bewusst Elemente einer Konvektionsheizung eingesetzt. Die Temperaturen lagen bei den ersten Hochdruckanlagen zwischen 100 und 150 °C. Die ersten Niederdruck-Dampfheizungen entstanden um 1870. Wasser setzte man ungefähr ab 1820 zuerst in England ein. Als Heizkörper dienten diesen ersten Anlagen Kelche und vasenförmige Behälter. Die Firma Sulzer installierte 1867 die erste Warmwasser-Zentralheizung in einem privaten Wohngebäude in Oberuzwil (SG). Glieder- und Plattenheizkörper wurden bereits um die Mitte des 19. Jahrhunderts erfunden.

Schwerkraftheizungen

Die Wasserzentralheizung funktionierte bis weit ins 20. Jahrhundert nach dem Schwerkraftprinzip. Erhitztes Wasser wird spezifisch leichter und versucht sich auszuweiten, dadurch steigt es ins Röhrensystem auf. Durch seine allmähliche Abkühlung wird es wieder schwerer und sucht den Weg nach unten. Dementsprechend wurde das

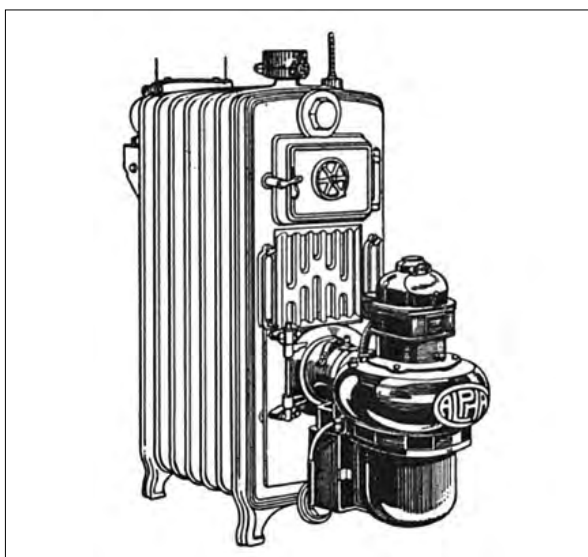
heisse Wasser vom im Keller befindlichen Kessel über ein Steigrohr zum höchsten Punkt der Anlage in ein Expansionsgefäß geführt, von dort wurde es über Verteilrohre zu senkrechten Zulaufrohren bis zu den Heizkörpern in den Räumen geleitet. Um möglichst wenig Reibungswiderstand zu erzeugen, wurden weite und dicke Rohre eingesetzt. Diese und die notwendigen hohen Temperaturen – das Schwerkraftprinzip funktioniert nur bei Temperaturen über 50 °C einwandfrei – waren die Hauptgründe für das spätere Verschwinden der Schwerkraftheizungen zugunsten von Heizanlagen mit elektrisch angetriebener Umwälzpumpe. Die Gebrüder Buderus brachten um 1920 die ersten Pumpenwarmwasserheizungen in Deutschland auf den Markt.

Erst in den 1920er- und 1930er-Jahren fand die Zentralheizung im Wohnungsbau eine breitere Anwendung. Die meisten funktionierten mit Kohle. Es gelangten aber auch die ersten Ölkessel und Gasthermen für private Haushalte auf den Markt.

Die erste Berliner Wohnanlage mit kompletter Warmwasserzentralheizung war die «Weisse Stadt» in Reinickendorf, erbaut durch die Architekten Bruno Ahrends, Wilhelm Büning und Otto Rudolf Salvisberg in den Jahren 1928 bis 1930. Aber noch nach dem Zweiten Weltkrieg war die Mehrheit der Schweizer Haushalte nur mit Einzelöfen ausgestattet. Erst seit den 1950er-Jahren setzte sich Öl als Brennstoff für Einzelöfen und Zentralheizungen durch.

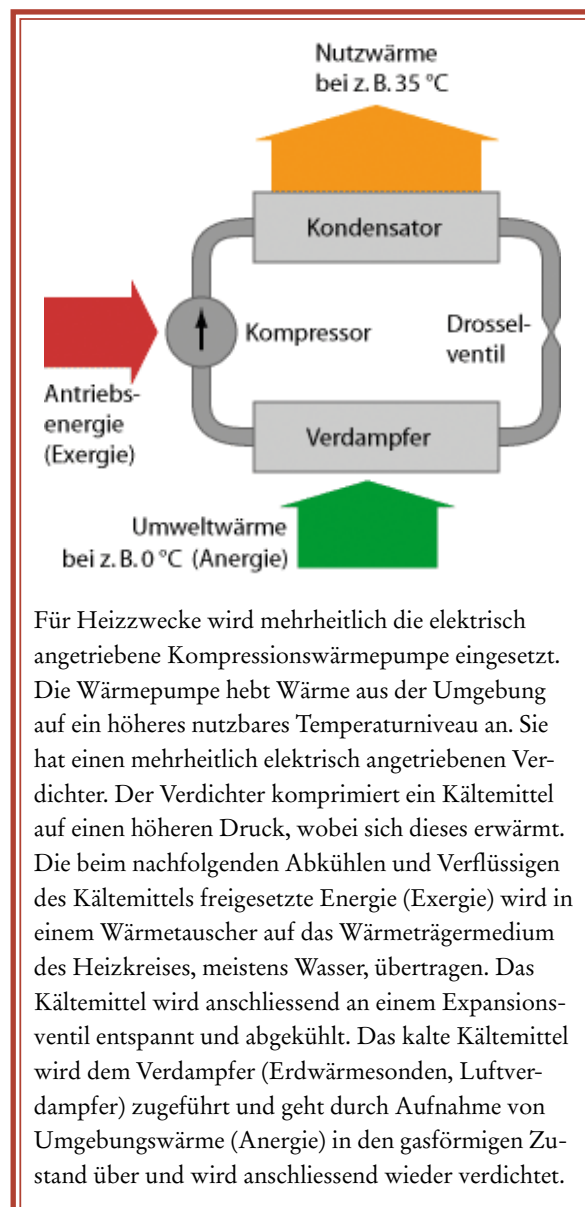
Vom Ofen zur Maschine

Der Schweizer Turbineningenieur Heinrich Zoelly hatte offenbar als erster die Vision einer elektrisch angetriebenen Wärmepumpe mit Erdwärme als Quelle und liess sie 1919 patentieren. Damals litt die Schweiz an grosser Brennstoffknappheit. Dieselbe Problematik stellte sich



Zentralheizungskessel mit Kleinbrenner Alpha der Marke Cuénod, 1939 (Abb. 18)

im Verlaufe des Zweiten Weltkriegs erneut, der Kohlenanschub aus dem Ausland war unterbrochen. 1938 bis 1945 wurden durch die Firmen Sulzer, Brown-Boveri und Escher-Wyss erste eigentliche Wärmepumpen gebaut und installiert. Sie nutzten See-, Grund- und Flusswasser. In Zürich entstanden erste Grossanlagen wie die Wärmepumpenheizung für das Rathaus 1938 oder diejenige für die Amtshäuser 1943. Der niedrige Erdölpreis bremste nach dem Kriegsende den Wärmepumpenbau erheblich; dieser bekam erst nach dem Erdölchock von 1973 erneut Auftrieb. Bis in die frühen 1980er-Jahre waren schon mehrere Tausend Anlagen in Betrieb. Seit den 1990er-Jahren erleben die Wärmepumpen einen wahren Boom und heute werden mehr Wärmepumpen als Ölheizungen installiert.



Für Heizzwecke wird mehrheitlich die elektrisch angetriebene Kompressionswärmepumpe eingesetzt. Die Wärmepumpe hebt Wärme aus der Umgebung auf ein höheres nutzbares Temperaturniveau an. Sie hat einen mehrheitlich elektrisch angetriebenen Verdichter. Der Verdichter komprimiert ein Kältemittel auf einen höheren Druck, wobei sich dieses erwärmt. Die beim nachfolgenden Abkühlen und Verflüssigen des Kältemittels freigesetzte Energie (Exergie) wird in einem Wärmetauscher auf das Wärmeträgermedium des Heizkreises, meistens Wasser, übertragen. Das Kältemittel wird anschliessend an einem Expansionsventil entspannt und abgekühlt. Das kalte Kältemittel wird dem Verdampfer (Erdwärmesonden, Luftverdampfer) zugeführt und geht durch Aufnahme von Umgebungswärme (Anergie) in den gasförmigen Zustand über und wird anschliessend wieder verdichtet.

Funktionsschema einer Kompressionswärmepumpe (Abb. 19)

5.3 Heizung und Raumklima

Das Raumklima

Das Raumklima wird durch Aussenklima, Gebäudeorientierung, Lage, Bauart des Gebäudes, Öffnungen, Nutzer und Heizung gebildet. Dabei sind die wichtigsten Grössen die Raumlufttemperatur, die relative Raumluftfeuchtigkeit und die Temperatur der Raumbooberflächen. Das Klima in einem Raum ist nicht einheitlich. Raumgrösse, Raumform, Raumhöhenunterschiede, Vor- und Rücksprünge, Lage und Grösse der Fenster, Orientierung und Möblierung können zu grossen Temperaturunterschieden führen. Besonnte Oberflächen können im Vergleich zu direkt benachbarten im Schatten liegenden Partien ohne weiteres eine um 20 °C höhere Oberflächentemperatur aufweisen. Bodennahe Wandoberflächen sind im Allgemeinen kälter.

Raumklima und Ausstattung

Zu trockene und zu feuchte Luft, häufige Temperatur- und damit Feuchtigkeitswechsel sowie zu hohe Luftwechsel bei tiefen Aussentemperaturen setzen Oberflächen und Ausstattung zu. Das Absinken der relativen Raumluftfeuchtigkeit kann sich fatal auf das Holz von Boiserien, wertvollem Mobiliar, Kirchenorgeln oder auf Holz als Bildträger auswirken. Die warme Luft trocknet das Holz aus, dieses schwindet, in der Malschicht entstehen Oberflächenspannungen, die Malschicht wird schollenförmig angehoben und sie löst sich stellenweise ganz vom Grund (Abb. 20).

Die eingangs erwähnten grossen lokalen Temperaturunterschiede der Oberflächen können trotz der abnehmenden relativen Raumluftfeuchtigkeit durch das Heizen lokal zu Aussenwandkondensaten führen. Hinzu kommt, vor allem beim instationären Heizen während

des Aufheizvorgangs –, dass die freien Wandflächen sich rascher aufwärmen als die Ecken (Wärmeübergangskoeffizient kleiner, Baumasse grösser). Wenn jetzt die freien Flächen bereits desorbieren, also Feuchtigkeit abgeben, kann diese Feuchte an den noch kühleren Ecken wiederum kondensieren. Nutzerfeuchte kann diesen Prozess unterstützen. Das Kondenswasser kann zudem in den Wänden enthaltene Salze lösen, welche sich konzentrieren und bei höherer Temperatur später unter der Oberfläche auskristallisieren und Malschichten abstossen. Ist das Klima zu feucht, können Farbschichten pudern (z.B. durch Auflösen des Bindemittels) oder Kondensate können Algen und Schimmelwachstum fördern und Holz oder Malereien zerstören. Daher kommt die häufig geäusserte Meinung, dass das beste Heizsystem für gewisse sensible Baudenkmäler keines sei. Feuchteschäden können allerdings auch an nicht beheizten Baudenkmälern entstehen. Unbeheizte Massivbauten haben etwa an den frühjährlich-sommerlichen Kondensaten zu leiden. Untersuchungen der berühmten romanischen Bilderdecke von St. Martin in Zillis haben beispielsweise ergeben, dass Sommerkondensate für die Pilzbildung und für den Abbau von Bindemitteln und das Pudern der Malschichten mindestens mitverantwortlich waren. Das zu lange Offenbleiben der Türen (Besucher) hat die Zufuhr von zu viel warmer feuchter Luft verursacht, welche an den kalten Innenwand- und Deckenoberflächen kondensierte.

Erschwerend ist die Tatsache, dass nicht für alle Materialien einer Raumausstattung dieselbe Feuchte ideal ist.

Metall	5–40% rel. Raumluftfeuchtigkeit (r. F.)
Papier	40–45% rel. Raumluftfeuchtigkeit (r. F.)
Holz	55–60% rel. Raumluftfeuchtigkeit (r. F.)
Leinwand	50–55% rel. Raumluftfeuchtigkeit (r. F.)

Geeignete relative Raumluftfeuchten für ausgewählte Materialien (Abb. 21)



Evangelische Kirche Bergün, schadhafte Partie der gotischen Decke. Der Bereich befindet sich direkt oberhalb der Fensterbankheizung (Abb. 20)

Raumklima ohne Heizung und ohne spezifische Wärmedämmung

Temperatur

Das Innenklima eines unbeheizten und nicht luftdichten historischen Gebäudes nähert sich im Sommer wie auch im Winter dem Aussenklima an. Die durchschnittlichen Innentemperaturen werden im Winter mehrheitlich leicht über und im Sommer leicht unterhalb der Aussentemperaturen liegen. Allerdings wird das Gebäude je nach Konstruktionsart die Änderungen verzögert und gedämpft mitmachen. Der Leichtbau, ein mittelländischer Holzständerbau aus dem 17. oder 18. Jahrhundert oder ein Holzhaus der frühen Moderne, reagieren sehr rasch auf die täglichen Temperaturschwankungen, sie können rasch aufgeheizt werden, kühlen in der Nacht aber stark aus. Ein Massivbau hingegen, mit viel Speichermasse, reagiert phasenverschoben und vermag Spitzen auszugleichen.

Oberflächentemperatur

Am Gebäude ohne spezifische Wärmedämmung variieren die inneren Oberflächentemperaturen stark. Die Orientierung (stark bestrahlt im S, nicht bestrahlt im N), unterschiedliche Bauteilmaterialien und lokale Gegebenheiten wie Verschattungen führen zu grossen Temperaturdifferenzen. Winterkondensate sind etwa an bodennahen Innenoberflächen von Nordfassaden festzustellen. Einschichtige Aussenhüllen können auch durch von aussen eindringende Feuchtigkeit betroffen sein. In unbeheizten oder nur sporadisch beheizten Räumen wie Kellerräumen, aber auch Kirchen (bei Massivbauten also), können vor allem im Frühjahr und Frühsommer Sommerkondensate entstehen, weil die Innenseiten der Mauern noch niedrige Oberflächentemperaturen haben und die warme, in den Raum eingelassene Aussenluft an ihnen kondensieren kann.

Monat	10/11	12/1	2/3	4/5	6/7	8/9
% r. F. Raum	64	63	57	56.8	62.8	66.1
% r. F. aussen	78	72	66	67	70	78

Alpiner Blockbau in Triesenberg (FL), relative Raumluftfeuchtigkeit in einem Südwestzimmer und relative Feuchtigkeit des Aussenklimas (Abb. 22)

Relative Raumluftfeuchtigkeit

Die relative Raumluftfeuchtigkeit wird im Winter infolge der tieferen Temperaturen der Aussenluft leicht absinken. Die Jahresschwankungen der relativen Raumluftfeuchtigkeit nicht beheizter Gebäude zeigen aber kleinere Amplituden als beheizte. In einem unbeheizten alpinen Blockbau in Triesenberg (FL) wurden während eines Jahres die relativen Feuchten sowohl eines Innenraums wie auch des Aussenklimas gemessen. Die zweimonatige mittlere relative Luftfeuchte pendelte zwischen 53 und 64 %, bietet also sowohl bezüglich der absoluten Werte wie auch der jahreszeitlichen Schwankungen gute Verhältnisse.

Raumklima von beheizten Räumen ohne spezifische Wärmedämmung: Beispiel Kirchen

Alle älteren Baudenkmäler wurden ursprünglich nicht oder intermittierend (nur tagsüber), dezentral und auf einem viel niedrigeren Temperaturniveau beheizt. Viele Baudenkmale, unter ihnen auch Kirchen und Schlösser, werden heute oft zentral und stationär (auf konstantem Temperaturniveau) oder instationär (Temperierung in der nutzungsfreien Zeit, Beheizung für und während der Nutzung) auf dem Niveau heutiger Komfortansprüche beheizt. Die raumklimatischen Veränderungen machen den Oberflächen zu schaffen. Prominentes Beispiel ist die Klosterkirche Münstair (GR), die anlässlich der Sanierungen von 1947 bis 1951 eine Warmwasserheizung mit Radiatoren erhielt, welche später durch eine Warmluftheizung ersetzt wurde und schliesslich wegen Schäden an den Malereien wieder entfernt werden musste. Sowohl aus denkmalpflegerischen wie auch aus Gründen des Klimaschutzes sollen Kirchen so wenig wie möglich beheizt werden.

Raumheizung und mit ihr in Zusammenhang stehende mögliche Schadensursachen:

1. Das Absinken der relativen Raumluftfeuchtigkeit in der Heizperiode führt zu Schwundvorgängen bei Holz, Malschichten, Orgel und Mobiliar.
2. Durch das Kristallisieren und Wachsen von in den Mauerwerken enthaltenen Salzen wird die sogenannte Salzsprengung verursacht. Dabei werden Farbsplitter, Sandkörner, Putzschichten usw. abgestossen.
3. Zu hohe Luftwechsel in der Heizperiode fördern die Austrocknung.
4. Die Verschmutzung der Oberflächen wird durch die Heizung teilweise mitverursacht.

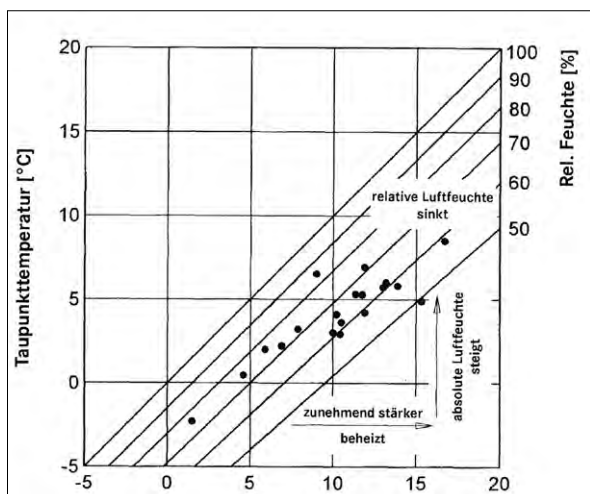
Raumheizung und relative Raumlufffeuchtigkeit

Wird ein ungedämmter Raum mit einer relativen Raumlufffeuchtigkeit von 55% und einer Raumlufftemperatur von 7–8 °C an einem Wintertag auf 16–18 °C aufgeheizt, so sinkt seine relative Luftfeuchtigkeit rechnerisch auf 25%–35%, also sehr stark, ab. In Wirklichkeit werden höhere relative Feuchten gemessen, weil die Poren der Oberflächenmaterialien Feuchtigkeit gespeichert (absorbiert) haben, die sie nun bei hoher Raumlufftemperatur desorbieren, also an die Luft abgeben. Es kommt zu einem gewissen Ausgleich. Hinzu kommt die durch Personen eingebrachte Feuchte.

Mit der Zeit wird sich aber die relative Raumlufffeuchtigkeit dem Rechenwert annähern, weil die in die Luft desorbierte Feuchte, durch den Abtransport von warmer Luft (Undichtigkeiten und Lüftung) abtransportiert wird und kalte Luft mit wenig Wasserdampfgehalt nachströmt.

Der Vergleich zwischen stationär und instationär beheizten Kirchen hat ergeben, dass stationär beheizte Kirchen zwar ausgeglichene Temperaturverhältnisse aufweisen, die relative Raumlufffeuchtigkeit im Verlauf des Winterhalbjahrs aber rascher und tiefer abfällt und somit das Raumklima viel trockener ist als bei instationärem Heizbetrieb.

Aus diesem und aus energetischen Gründen wird heute dem instationären Heizen den Vorzug gegeben. Um die Luftbewegungen möglichst gering zu halten, sind kleine Temperaturdifferenzen zwischen Grundtemperierung und Nutztemperatur anzustreben.



Zusammenhang zwischen Taupunkttemperatur und Raumlufftemperatur bei unterschiedlich (und nicht) beheizten Kirchen, Mittelwerte für Monat Januar (Abb. 23)

Salzspaltungen

Salze gelangen durch aufsteigende Feuchtigkeit in das Mauerwerk oder sie sind als Verunreinigungen bereits in diesem enthalten. Sie werden fast immer in Wasser gelöst transportiert. Wo das Wasser verdunstet, konzentrieren sich Lösungen, weil die Salzionen nicht mit dem Wasser verdunsten können. Wird die Lösung dann übersättigt, kristallisieren die Salze aus und sprengen Teile von Putzen, Farbschichten und Malereien ab. Das Absinken der relativen Raumlufffeuchtigkeit hat also auch indirekt eine negative Wirkung auf die Innenräume und Ausstattungen.

Einfluss des Luftwechsels¹

Vor allem bei tiefen Aussentemperaturen, also in der Zeitspanne von November bis ca. März, trägt ein hoher Luftwechsel zur Trocknung des Innenklimas bei, weil warme Luft mit hohem absolutem Feuchtegehalt durch kalte Luft mit wenig Feuchte ersetzt wird. Trotzdem gibt es kurze Zeitspannen, in denen gelüftet werden kann. Diese zu erkennen ist schwierig und wird heute am besten modernen automatischen Heizungsreglern überlassen.

Verschmutzung von Oberflächen und Ausstattung

Wie bereits erwähnt, ist intermittierendes Heizen aus bauphysikalischen und energetischen Gründen zweckmässig. Intermittierendes Heizen zieht aber in der Regel in der Aufheizphase grössere Luftbewegungen nach sich, wodurch sich rascher Verschmutzungen einstellen können als bei stationärer Heizung. Die starken Luftbewegungen verfrachten Staub und Kerzenruss. Sie sind jedoch nicht nur auf den Aufheizvorgang zurückzuführen. In Kirchenräumen ist infolge der grossen Raumhöhe (abhängig von der Dichtheit und Anordnung der Fenster und der äusseren Windverhältnisse) allein auf Grund der Staudruckdifferenzen mit grösseren Luftbewegungen zu rechnen als bei viel kleineren Wohnräumen. Auch die Sonneneinstrahlung durch Kirchenfenster und die dadurch bedingte partielle Erwärmung von Oberflächen führt zu Luftbewegungen (Thermik). Diese Luftbewegungen treten generell auch bei nicht beheizten Kirchen auf.

Der Einfluss des Heizsystems ist unbestritten. Heizungen mit hohem Strahlungsanteil eignen sich wegen des geringeren Luftwechsels an sich besser. Auch der Baustoff der Gebäudehülle hat einen Einfluss auf die Verschmutzung oder die Verschmutzungsneigung: Die Adhäsion von Schmutzpartikeln an feuchteren Oberflächen ist grösser als an trockenen. Hygroskopische Baustoffe sind daher anfälliger als nicht hygroskopische. Die durch ständig brennende Kerzen hervorgerufene Luftbewegung und die Russentstehung ist eine massgebende Ursache für Verschmutzungen. Kerzenruss

1) Aus: Ernst Baumann, Innenklima in Kirchen, Nike-Bulletin 5, 2007

ist leicht flüchtig, er wird durch Luftzirkulation weit verbreitet und er ist wegen seiner «fettigen» Eigenschaft nur mühsam zu entfernen.

Den Luftbewegungen der Heizung überlagern sich andere Luftbewegungen und weitere Einflüsse wie Fussbodenreinigung, Luftfilterung, Baustoffeigenschaften und der Abbrand von Kerzen. Daher müssen in jedem Einzelfall die Gegebenheiten analysiert und massgeschneiderte Lösungen zur Minderung der Probleme gesucht werden.

Regelung und Kontrolle der Raumheizung

Die gewünschten Raumtemperaturen sind abhängig von der Nutzung; sie liegen generell über den idealen Konservierungstemperaturen. Für stationär beheizte Baudenkmäler, z. B. mit Wohnnutzung, genügt in Wohnräumen eine Raumtemperatur von 18–20 °C, für Schlaf- und Erschliessungsräume 16–18 °C. Die Raumluftfeuchtigkeit sollte im Allgemeinen im Bereich von ca. 50–65% liegen. Die Hausautomation wird in Zukunft in vielen Haushalten Einzug halten. Sie wird aber nur dann Sinn machen, wenn sie auch wirklich Energie sparen hilft. In Bezug auf die Heizung bedeutet dies eine individuelle speicherbare Regulierung jedes Raums zu jeder Tageszeit. Die Nutzungstemperaturen werden nur während der Benutzung eines Raums erreicht. Erste Erfahrungen mit ungedämmten Baudenkmälern (Berlin) zeigen immerhin eine jährliche Verbrauchseinsparung von über 20%. Allerdings müssen hier häufige Schwankungen von Temperatur und relativer Raumluftfeuchtigkeit in Kauf genommen werden, die nicht überall tolerierbar sein werden. Für die instationär beheizten Kirchen wird eine möglichst abgesenkte Temperatur von 8–10 °C und eine Nutzttemperatur von 16–18 °C empfohlen¹. Bei instationär beheizten Baudenkmälern mit erhaltenen Interieurs und Ausstattungen ist ein langsames Aufheizen zur Schonung der Substanz wichtig und mit Restauratoren abzusprechen. Das Innenklima eines Baudenkmals wird durch viele variable Einflussgrössen mitbestimmt, es kann nur individuell und nur für eine kürzere Periode beurteilt werden. Bei der Planung der Raumheizung eines Baudenkmals mit wertvollen Interieurs und Ausstattungen empfiehlt es sich, nebst der Denkmalpflegefachstelle und den Heizungs- und Energiespezialisten auch einen Restaurator beizuziehen.

Die regelmässige Kontrolle, die Observierung des Bauzustands des Baudenkmals durch Spezialisten, ist unverzichtbar. Besonders wichtig sind Kontrollen in der Zeit nach dem erfolgten Eingriff. Nur so kann rechtzeitig reagiert werden, wenn sich eine getroffene Massnahme als falsch erweist. Auch eine Messung durch die Nutzer selbst mit Thermo- und Hygrometer ist sinnvoll.

1) Emil Ernst Giezendanner, Baumann Akustik und Bauphysik AG, in TEC 21, Nr. 51-52, 2009

5.4 Aktuelle Heizsysteme

Wärmeerzeugung

Der weitaus grösste Teil des Baubestands – einschliesslich der beheizten Baudenkmäler – wird bis heute mit Erdöl und Erdgas beheizt. Bei Baudenkmälern sind im letzten Viertel des 20. Jahrhunderts nicht selten auch elektrische Einzelöfen (Speicheröfen) eingebaut worden, um die Interieurs vor allzu vielen Installationen zu schützen. Unter dem Einfluss des Klimaschutzes findet hier aber ein Wandel zugunsten erneuerbarer Energien statt. In den letzten Jahren hat die Zahl der neu installierten Wärmepumpen die Zahl der neu installierten Heizölkessel überstiegen. Ältere Wärmeerzeuger können oft die Anforderungen der Luftreinhalte-Verordnung¹ nicht mehr einhalten und müssen saniert werden. Es sind Bestrebungen im Gang, Elektrowiderstandsheizungen gänzlich zu verbieten. Der Ersatz von Heizungen mit fossilen Brennstoffen durch Wärmeerzeugung mit erneuerbaren Energien ist unbestritten das anzustrebende Ziel, sowohl in Bezug auf den Klimaschutz als auch zur Verringerung der Abhängigkeit vom Ausland. Insbesondere bei nur partiell oder gar nicht dämmbaren Baudenkmälern ist der Einsatz von erneuerbaren Energien eine sinnvolle

Kompensation. Alternative Wärmeerzeuger wie Wärmepumpen oder der Anschluss an einen Wärmeverbund stehen im Vordergrund. Die Verbrennung von Holz ist zwar klimaneutral, hat jedoch erhöhte Emissionen von Feinstaub zur Folge. Die umweltfreundlichste Art der Wärmeerzeugung ist die Minimierung des Energiebedarfs. Die beste Massnahme ist die Reduktion des Wärmebedarfs, sei es durch bestmögliche Verbesserung der Dämmung der Gebäudehülle oder sei es durch gezieltes Nutzerverhalten und adäquate Nutzungsbedingungen. Der verbleibende Bedarf soll so klima- und umweltfreundlich wie am jeweiligen Standort möglich gedeckt werden.

Art der Wärmeerzeugung	Kosten	Umwelt	Platzbedarf	Eingriffe ins Baudenkmal
Heizöl- oder Gaskessel zentral	günstige Investition, Energiekosten Tendenz steigend	hohe CO ₂ -Emissionen, Verknappung erwartet	klein, in Zentrale	Kamin, Frischluftöffnung, Tank, Heizkörper und Leitungen
Heizöl- oder Gas-einzelöfen	mittlere Investition, Energiekosten Tendenz steigend	hohe CO ₂ -Emissionen, Verknappung erwartet	in Räumen gross	Platzbedarf Ofen und für Gas- oder Ölleitungen, Brandrisiko
Holzkessel zentral (Pellet, Stückgut Schnitzel)	hohe Investition	hohe Feinstaubemissionen	gross für Holzvorrat	Kamin, Frischluftöffnung, Lager, Heizkörper und Leitungen
Wärmepumpe (Luft)	mittlere Investition, hohe Stromkosten	problematisch	klein bis mittel	Luftkanäle resp. Aussengerät, Heizkörper und Leitungen
Wärmepumpe (Wasser)	mittlere Investition	problematisch	klein	Heizkörper und Leitungen, Fussbodenheizung
Elektroheizung zentral	sehr hohe Stromkosten	sehr problematisch	klein	Heizkörper und Leitungen, Fussbodenheizung
Elektroheizung «Einzelöfen»	sehr hohe Stromkosten	sehr problematisch	klein	«Öfen» in den Räumen
Fernwärme/ Wärmeverbund	mittlere Investition	sehr gut (je nach Energieträger)	klein	Heizkörper und Leitungen, Fussbodenheizung

Vor- und Nachteile von verschiedenen Wärmeerzeugungen (Abb. 24)

1) Luftreinhalte-Verordnung (LRV) vom 16. Dezember 1985 (Stand am 15. Juli 2010)

Wärmeverteilung

Die Wärmeverteilung dient der Verteilung der zentral produzierten Wärmeenergie an die Elemente der Wärmeabgabe. Als Verteilmedium wird Wasser verwendet, welches in gedämmten Rohren aus Stahl, Kupfer oder Kunststoff mit einer Umwälzpumpe zu den Wärmeabgabestellen befördert wird. Bei nachträglichem Einbau einer Wärmeverteilung sollen die Rohrleitungen substanzschonend «auf Putz» installiert werden. Eine neue Wärmeverteilung soll aus energetischer Sicht auf Niedertemperatur (Vorlauftemperatur $< 40\text{ °C}$) dimensioniert werden. Bei der Ermittlung der Vorlauftemperatur sind jedoch auch denkmalpflegerische und gestalterische Kriterien zu berücksichtigen.

Wärmeabgabe

Die Wärmeabgabe an die Umgebung erfolgt durch Konvektion (Luft als Wärmeträger) und durch Strahlung. Die Wärmeleitung, die dritte Art der Wärmeübertragung, ist bei Raumheizkörpern so gering, dass sie ausser bei Sitzöfen, wo die direkte Wärmeübertragung zwischen Ofen und menschlichem Körper eine wesentliche Rolle spielt, ausser Acht gelassen werden kann. Grundsätzlich ist die Verteilung von Konvektions- und Strahlungsanteil von der Oberflächentemperatur, der Oberflächenbeschaffenheit und der Bauform des Heizkörpers abhängig. Es gibt weder eine ausschliessliche Strahlungs- noch eine reine Konvektionsheizung. Heizkörper mit einem hohen Strahlungsanteil (= Radiatoren) heizen über den Strahlungsaustausch die Wandflächen stärker auf. Höhere Oberflächentemperaturen der Aussenwände und eine gleichmässige, geringe Wärmestrahlung über eine relativ grosse Fläche, wie beispielsweise bei der Fussbodenheizung, macht Strahlungsheizungen physiologisch angenehmer als Konvektionsheizungen. Konvektionsheizungen übertragen die Wärme an die vorbeistreichende Luft. Es kann bei grossen Temperaturdifferenzen zwischen dem Konvektor genannten Heizkörper und dem Raum zu relativ starken Luftbewegungen und damit auch zu Staubaufwirbelungen kommen. Konvektionsheizungen zeichnen sich durch geringe Anlagekosten und eine gute Anpassung an wechselnden Wärmebedarf (schnelles Aufheizen und rasches Ansprechen auf Regelvorgänge) aus. Nachträgliche Änderungen sind leicht vorzunehmen.

Wärmeabgabesysteme

Gliederheizkörper

Wir beschränken uns im Folgenden auf Heizkörper und Fussbodenheizung. Die ältesten Heizkörper sind Röhren- und Rippenröhren. Sie gelangten bei den frühen Dampf- und Wasserzentralheizungen zum Einsatz. Um die Mitte des 19. Jahrhunderts wurden in den USA



Gliederheizkörper um 1860 aus den USA, heute in der Sammlung Andera in Maastricht (Abb. 25)

die Gliederradiatoren entwickelt. Die je nach Wärmebedarf aus mehr oder weniger Gliedern zusammensetzbaren Heizkörper waren während fast 100 Jahren der meist eingebaute Heizkörpertyp und sind bis heute der Inbegriff des «Radiators». Der Gliederradiator gibt die Wärme je nach Temperatur ca. zu 30–40% als Strahlung und ca. 60–70% durch Konvektion ab.

Plattenheizkörper

Plattenradiatoren haben den grössten Strahlungsanteil unter den Heizkörpern. Der Strahlungsanteil ist aber auch hier abhängig von der Oberflächentemperatur des Heizkörpers. Dabei bedeuten hohe Oberflächentemperaturen einen höheren Strahlungsanteil. Allerdings nehmen durch die immer geringer werdenden Vorlauftemperaturen die Strahlungsanteile stetig ab.

Mit steigender Oberfläche nimmt der Strahlungsanteil wiederum zu, so dass bei einer Fläche von mehr als 10 Quadratmetern deshalb die Gleichheit von Konvektions- und Strahlungswärme schon bei etwa 45 bis 50 °C Oberflächentemperatur erreicht wird. Geeignete Materialien, grosse Oberflächen und hohe Temperaturen erreichen demnach einen hohen Strahlungsanteil.

Konvektoren

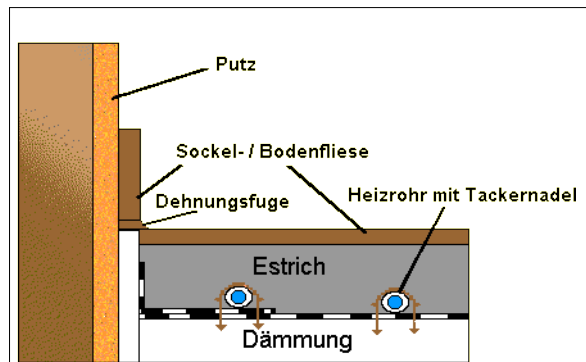
Konvektoren sind Heizkörper, die den Hauptanteil der Wärme in Form von Konvektion an die Luft abgeben. Die kalte Luft erwärmt sich an einem Lamellenraster und steigt auf. Die Konvektoren wurden noch vor dem Zweiten Weltkrieg in den USA entwickelt und auf den Markt gebracht. In Europa kamen die ersten Konvektoren in den frühen 50er-Jahren des 20. Jahrhunderts auf den Markt und sie kamen den Bedürfnissen der Architektur der Moderne entgegen. Die raumhohen Verglasungen liessen keine konventionellen Heizkörper mehr zu. Die Konvektoren sind flexibel im Boden, in der Decke oder hinter einer perforierten Verkleidung der Wand einbaubar. Ein gewichtiger Vorteil war das viel geringere Gewicht gegenüber den schweren Gussradiatoren. Als weiterer Vorteil gilt eine hohe Leistung und die Reaktions-schnelle der Konvektorenheizung.



Konvektoren (Abb. 26)

Fussbodenheizungen

Flächenheizungen (Decken-, Wand- und Fussbodenheizungen) fanden in den 80er-Jahren des letzten Jahrhunderts Verbreitung. In der Folge haben sich in der Schweiz die Fussbodenheizungen durchgesetzt. Fussbodenheizungen erwärmen den ganzen Bodenbereich und sind damit klassische Niedertemperatursysteme. Als Wärmeträger zirkuliert Wasser in PVC-Rohren, eingebettet in den Unterlagsboden.



Aufbauschema Fussbodenheizung (Abb. 27)

Fussbodenheizungen werden meist Strahlungsheizungen genannt, obwohl sie oft weniger als 50% der zugeführten Wärmeenergie in Form von Strahlung abgeben. Mit dieser Bezeichnung ist wohl eher gemeint, dass sie für eine hohe mittlere Strahlungstemperatur der Umgebungsf lächen sorgen, da die Raumboberflächen teils direkt (Fussboden) durch Strahlung und teils über einen Luftschleier aufgewärmt werden. Daher sind Fussbodenheizungen meist behaglich. Zudem sind sie unsichtbar. Das Rohrsystem im Unterlagsboden gibt die Wärme mittels Wärmeleitung an den Bodenbelag ab.

Aus denkmalpflegerischer Sicht sind Fussbodenheizungen nur möglich, wenn keine originalen oder erhaltenswerten Böden bestehen und ihr Einbau keine Veränderungen an anderen Bauteilen (Wände, Türen) nach sich zieht. Entsprechende Vorhaben sind rechtzeitig mit der Denkmalpflege- und allenfalls mit der Archäologie-Fachstelle abzusprechen.

Bei nicht oder nur partiell unterkellerten Objekten mit nicht mehr haltbaren Holzbodenkonstruktionen können Fussbodenheizungen für den Erdgeschoss-Boden allerdings eine gute Lösung darstellen und sie helfen mit, das Erscheinungsbild der Räume zu schonen. Aus technischer und ökonomischer Sicht sind Fussbodenheizungen geeignet. Aus wohngygienischen und gesundheitlichen Überlegungen werden Staubaufwirbelungen und die Gefahr von Thrombosenbildung als Negativpunkte ins Feld geführt. Staubaufwirbelungen können in bemalten Räumen auch aus konservatorischen Gründen problematisch sein. Weiterer Nachteil ist die schlechte Kontroll- und Pflegefähigkeit der Bodenheizung. Die aus denkmalpflegerischer Sicht oft unerwünschten Wand- und Deckenheizungen gelangen in der Schweiz weniger zur Anwendung.

Häufige Heizsysteme für Kirchen (Wärmeabgabe)

Wärmeluftheizungen

Wärmeluft wird über Luftschächte und Ausströmungsgitter im Fussboden in den Kirchenraum eingeblasen. Mit aufwändiger Regeltechnik wird sichergestellt, dass Temperaturunterschiede zwischen Bodenbereich und Decke nicht zu gross werden und die Temperaturen zur Schonung des Denkmals insgesamt nur sehr langsam verändert werden. Schalldämpfer mindern Strömungsgeräusche und Staubfilter die Staubaufwirbelung.

Bankheizung

Quarzstrahler, Dunkelstrahler und weitere spezielle Bankheizkörper sind unter den Kirchenbänken als Strahlungsheizungen montiert. Sie werden entweder elektrisch oder mit Heizungswasser betrieben.

Fussbodenheizung

Wasserführende Heizleitungen erwärmen die Bodenflächen. Aus denkmalpflegerischer und archäologischer Sicht sind die notwendigen Eingriffe oft nicht denkmalverträglich. Zudem erfordern sie meist höhere Standby-Temperaturen.

Kirchensitzheizung (Heizkissen)

Idee dieser Heizung ist es, nicht die Kirche, sondern ausschliesslich die Besucher aufzuwärmen. Die Wärme gelangt primär durch Wärmeleitung zum Nutzer.

Oft gelangen Kombinationen von 2 Heizsystemen zur Anwendung.

Strahlungs- oder Konvektionsheizung?

Die Sanierung der Wärmeabgabe bietet die Möglichkeit der Erfolgskontrolle und – falls nötig – zur Korrektur. Der neue Wärmeerzeuger (Niedrigtemperatur), ein unbefriedigendes Abgabesystem oder die Umstellung von Einzelöfen auf Zentralheizung können uns vor die Wahl eines neuen Abgabesystems stellen. Soll die Abgabe vermehrt durch Strahlung oder durch Konvektion erfolgen? Diese seit Langem geführte Diskussion ist aus der Sicht der Denkmalpflege wichtig.

Mehr Strahlungsanteile

Es gibt weder reine Strahlungs- noch reine Konvektionsheizungen. Heutzutage wird eine Heizung, die mehr als 50% Strahlungsanteile abgibt, als Strahlungsheizung bezeichnet. Der Übergang von der Strahlungsheizung zur Konvektionsheizung ist fliessend, da eine Strahlungsheizung über die warmen Bauteile auch die Luft erwärmt und eine Konvektionsheizung auch Wärmestrahlung an Bauteile abgibt. Die wärmende Wirkung von Strah-

lungsheizungen ist stark (in der vierten Potenz) von der absoluten Oberflächentemperatur [K] des Strahlers sowie von der Oberflächenbeschaffenheit und der Bauform abhängig. Ein strahlender Körper kann die Temperatur der Umgebungsflächen erhöhen: Eine höhere Oberflächentemperatur der Aussenwand erhöht die Empfindungstemperatur (arithmetisches Mittel aus Strahlungs- und Raumlufttemperatur) im Raum. Das heisst, dass bei effektiv niedrigerer Raumlufttemperatur dieselbe Wärme und Behaglichkeit empfunden werden kann. Eine höhere Oberflächentemperatur kann Kondensatproblemen vorbeugen. Auf der anderen Seite wird aber der Wärmeabfluss nach aussen (Transmission) ebenfalls erhöht. Die Strahlungsheizung heizt erst sekundär die Raumluft mit auf. Dies geschieht einerseits durch Konvektion und andererseits durch Absorption von Strahlungsanteilen durch die Luft. Die Lufttemperatur ist bei Konvektionsheizungen höher und damit kann mehr Wasser durch Lüften abtransportiert werden. Die Luft ist unerwünscht trockener. Durch Konvektion werden aber auch wesentlich grössere Verfrachtungen von Staub und Schmutz verursacht. Diese Tatsache ist bei Baudenkmalern mit wertvollen Interieurs (Malereien!) wichtig.

Bei ungünstigen Luftströmungsverhältnissen, z.B. bei Durchgängen und in hohen Räumen, ist die Strahlungsheizung allein aus anwendungstechnischen Gründen die erste Wahl. Weitere Vorteile entstehen durch die nach dem Einschalten fast unmittelbar zur Verfügung stehende Wärme. Heizstrahler werden aber auch dort eingesetzt, wo nur punktuell geheizt werden soll. Mit Strahlern kann beispielsweise eine Zone in einer grossen temperierten Halle behaglich gemacht werden oder auch der Sitzplatz eines Organisten in der Kirche.

Aus denkmalpflegerischer Sicht spricht also vieles für die Strahlungsheizung. Ob die Strahlungsheizung das Richtige ist, hängt im konkreten Einzelfall aber auch von der Raumnutzung ab.

Hohe Wärmeleistungen können mit grossen Flächen oder effizienter mit hohen Temperaturen erzeugt werden. Hohe Temperaturen bedingen jedoch hohe Vorlauftemperaturen des Wärmeverteilsystems, die aus energetischen Gründen nicht anzustreben sind. Energetisch gesehen ist es sinnvoll, die Wärmeerzeuger auf eine Vorlauftemperatur von unter 40 °C auszulegen. Erstens arbeiten die heute meist verwendeten Wärmepumpen effizienter mit niedrigen Temperaturen und zweitens fallen die Wärmeverluste am Erzeuger und an der Verteilung geringer aus. In den Kantonen Bern und Zürich sind für Neuanlagen maximale Vorlauftemperaturen von 50 °C, für Fussbodenheizungen gar 35 °C, erlaubt.

5.5 Sanierung der Heizungsanlage

Aus denkmalpflegerischer Sicht betrifft die Heizungsanierung das Baudenkmal in dreifacher Hinsicht:

- Die historischen Raumheizungen werden nicht mehr gebraucht; dadurch ist ihre Erhaltung (Öfen) infrage gestellt.
- Neue Wärmeverteilssysteme bedingen Eingriffe in die Substanz des Baudenkmals.
- Die Sanierung, insbesondere des Wärmeabgabesystems, kann das Raumklima verändern und Konsequenzen auf die Raumbooberflächen und die Ausstattung haben.

Am Anfang jeder Sanierung steht die Bestandsanalyse. Die Planung einer Heizungsanierung muss unbedingt Wärmezeugung, Wärmeverteilung und Wärmeabgabe umfassen.

Erhaltung historischer Raumheizungen

Historische Raumheizungen, insbesondere die fest eingebauten Kachel- und Natursteinöfen und Kamine, aber auch Radiatoren und in einigen Fällen Rohrleitungen, sind Bestandteil der Ausstattung und daher wie Täfer oder Türen als wichtige Bestandteile der Denkmalinterieurs zu behandeln.

Historische Stubenöfen entsprechen zwar oft nicht mehr den Komfortansprüchen, aber sie können als Ergänzung zur Zentralheizung auch heute noch wertvolle Dienste leisten. Sie erlauben in der Übergangszeit die Temperierung oder Heizung der Stube, ohne dass das Zentralheizungssystem bereits in Betrieb genommen werden muss. Oder aber sie werden als Ergänzung von Wärmepumpenheizungen für die Deckung von Bedarfsspitzen eingesetzt. Diese historischen Öfen werden mit der erneuerbaren Energie Holz beheizt, welches nur geringe Mengen CO₂ produziert. Für nicht mehr funktionsfähige Öfen, die nicht mehr mit vernünftigem Aufwand instand gestellt werden können oder die ein Brandrisiko darstellen, gibt es die Möglichkeit des Ausweichens auf einen anderen Energieträger. So kann der Ofen z. B. mit dem Warmwasserkreislauf des Zentralheizungssystems oder mit elektrischen Einsätzen erwärmt werden. In diesem Sinne wird seine ursprüngliche Funktion zwar reduziert, aber nicht gänzlich aufgegeben. Schliesslich sind die schweren Kachel- und Natursteinöfen oft auch willkommene Wärmespeichermassen, die Wärmespitzen im Raum auszugleichen vermögen.

Verbesserung der Feuerungsanlage

Die Energieverluste älterer Heizkessel (Zentralheizung) sind sehr hoch. Es ergeben sich Anlagewirkungsgrade von nur 45 bis 65%.

Die Sanierung einer Heizungsanlage umfasst:

- Die Erneuerung des Wärmeerzeugers
- Verbesserungen am Rohrleitungssystem und an den Pumpen
- Verbesserung der Regelung und deren Elementen
- Verbesserungen an den Elementen der Wärmeabgabe

In den letzten 20 Jahren hat die Heiztechnik eine rasante Entwicklung erfahren. Der Wärmeverlust alter Standardherzeuger – ob Holz, Gas oder Öl – kann pro Tag bis zu 2.5 und mehr Litern Erdöl entsprechen. Ältere Heizkessel verlieren über ihre Oberfläche und über die Abgase viel Energie.

Die Energieausnutzung des Heizkessels wird mit dem Nutzungsgrad erfasst, der alle Verluste über ein Jahr berücksichtigt; er kann bei älteren Heizkesseln unter 70% liegen.

Der Einbau eines Niedertemperatur- oder gar eines Niedertemperatur-Brennwertkessels führt zur wesentlichen Steigerung des Nutzungsgrads bis zu 95%. Niedertemperatur-Kessel besitzen Wassertemperaturen, die in Abhängigkeit von der Aussentemperatur gesteuert und auf niedrige Temperaturen gesenkt werden können. Sie sind zudem besser wärmedämmend. Brennwertkessel haben alle Vorteile der Niedertemperaturkessel, nutzen aber zusätzlich die Kondensationswärme, die beim Kondensieren des Wasserdampfs durch Abkühlen der Abgase entsteht. Der Brennwertkessel hat deutlich geringere Schadstoffemissionen.

Moderne Öl- und Gasbrennwertkessel können bis zu 40% des jährlichen Energieverbrauchs einsparen; sie sind für Neuinstallationen bereits Vorschrift. Auch im Wärmepumpensektor gehen die Entwicklungen rasant voran. Aus denkmalpflegerischer Sicht interessant sind insbesondere Neuentwicklungen von Wärmepumpen, die mit gutem Wirkungsgrad die Temperatur auf ein höheres Niveau zu heben vermögen, sodass bestehende Wärmeabgabesysteme weiterverwendet werden können. Wärmepumpen sind neben Holz- und Pelletheizungen oft die einzige Möglichkeit der Kompensation mit erneuerbaren Energien für nicht oder nur wenig dämmbare Baudenkmalier. Der Anschluss an einen Wärmeverbund ist stets auch zu prüfen.

Bei grossen Bauten wie Kirchen oder Gemeindegäulen liegt ein grosses Sparpotenzial in der Regelungstechnik. Der alte Handbetrieb, der vielerorts noch Verwendung findet, ist kaum kontrollierbar. Heute bieten automatische speicherprogrammierbare Steuerungen die Möglichkeit, auch die Raumluftfeuchtigkeit zu überwachen und bei Bedarf automatisch zu beeinflussen.

Sanierung der Wärmeverteilung

Rohrleitungen und Armaturen müssen sorgfältig und nach den geltenden Vorschriften gedämmt werden. Die unregulierten Umwälzpumpen verbrauchen viel Strom, eine elektronisch geregelte Pumpe lässt sich in 6–8 Jahren amortisieren. Aus denkmalpflegerischer Sicht sollen neue Heizleitungen substanzschonend auf Putz geführt werden. Stemmen, Schlitzen und Bohren an historischer Substanz müssen die Ausnahme bleiben. Auch die Gefahren für die Substanz im Falle von Leitungsleckagen sind in die Überlegungen mit einzubeziehen. Das Leitungsführungskonzept ist mit der Denkmalpflegefachstelle abzusprechen. Ob und wie die gedämmten Leitungen verkleidet werden, ist eine formale Frage; der Eingriff soll möglichst wenig störend in Erscheinung treten.

6. Sanitäre Installationen

Zentrale energierelevante Installationen sind die Warmwasseraufbereitungsanlage und die Komfortlüftung.

Brauchwassererwärmung

Viele unserer Baudenkmäler wurden zu einer Zeit erstellt, als die Haushalte ihren Bedarf an Warmwasser noch durch Erhitzen am Holzherd oder im Wasserschiff, also mit erneuerbarer Energie, deckten. Erste zentrale Warmwasserversorgungen wurden im späten 19. Jahrhundert mit Holz- und Kohleheizkesseln mit Beistellreservoir für öffentliche Bauten wie Schulen und Spitäler erbaut. In den privaten Haushalten setzte sich die Warmwasserversorgung durch elektrische Boiler oder durch mit Stadtgas betriebene Durchlauferhitzer erst in der Zeit zwischen den beiden Weltkriegen durch. Heute gehört eine komfortable, automationsgestützte Warmwasseraufbereitung zum Standard. Dadurch hat allerdings der Energieverbrauch insgesamt und der Verbrauch an nicht erneuerbarer Energie für die Warmwasseraufbereitung stark zugenommen.



Durchlauferhitzer der Schweizer Firma Merker, um 1930 (Abb. 28)

Energie zur Brauchwassererwärmung

In einem Wohngebäude wird ca. ein Drittel des Brauchwassers als Warmwasser verbraucht. Die Erwärmung des Wassers erfolgt im Gebäude in einem Durchlauferhitzer oder einem Warmwasserspeicher (Boiler). Als Energiequelle dient die Heizungsanlage, eine Solaranlage oder elektrischer Strom. Die Erwärmung kann zentral in einem grossen Speicher oder dezentral bei den Verbrauchern (z. B. in den einzelnen Wohnungen) erfolgen. Die Erwärmung des Brauchwarmwassers benötigt einen beachtlichen Teil des Gesamtwärmebedarfs. Ein Liter Warmwasser (Energiequelle Heizöl oder Strom) belastet die Umwelt gleich viel wie 30 bis 150 Liter Kaltwasser (abhängig vom Ökobilanz-Bewertungssystem). Wasser ist ein knappes Gut. Aus ökologischer und energetischer Sicht ist die Minimierung des (Warm-)Wasserverbrauchs entscheidend.

Warmwassererwärmungsanlagen werden heute vermehrt mit erneuerbaren Energien betrieben, mit Solarkollektoren, Wärmepumpenboilern und Holzheizsystemen. Diese Erwärmungsvarianten benötigen im Normalfall einen zentralen Warmwasserspeicher. Für elektrisch betriebene Brauchwassererwärmer sind die gesetzlichen Vorgaben einzuhalten.

Durchlauferhitzer oder Warmwasserspeicher

Gebäude mit regelmässigem und hohem Warmwasserverbrauch werden fast ausschliesslich mit Warmwasserspeichern ausgestattet. Speicher können durch den Wasservorrat den Spitzenbedarf an Brauchwasser mit einer bedeutend tieferen Erzeugerleistung decken. Dies kann sich auf die Grösse der Energieinfrastruktur positiv auswirken (kleinere Anlage). Beim Strom kann die Spitzenleistung reduziert werden, was sich finanziell lohnt, da die Elektrizitätsanbieter einen Teil der Kosten pro Kilowatt Leistungsbedarf verrechnen. Im Weiteren kann mit einem Warmwasserspeicher ein Grossteil der notwendigen Energie mit dem günstigeren Nachtstrom gedeckt werden.

Durchlauferhitzer erwärmen das Wasser dann, wenn es gebraucht wird. Dadurch werden Speicherwärme- und Verteilverluste (Zirkulation, Begleitheizung) vermieden. Der Energiebedarf ist kleiner. Der Einsatz ist aus einer Gesamtbetrachtung der Wirtschaftlichkeit (Energieverbrauch, Energiekosten) dort zu empfehlen, wo unregelmässig Wasser in kleineren Mengen verbraucht wird. Eine Dusche in einem Bürogebäude oder ein selten benutztes Ferienhaus sind sinnvolle Anwendungsbeispiele für Durchlauferhitzer.

Dezentraler oder zentraler Warmwasserspeicher

Dezentrale Warmwasserspeicher benötigen mehr Raum, sie reduzieren aber das Leitungsnetz und damit auch die Verteilverluste (Zirkulation, Begleitheizung) und sie bedingen meist Strom als Energieträger. Zentrale Speicher sind grösser und weisen aus Gründen der Geometrie geringere Speicherwärmeverluste auf. Die Nachteile ergeben sich aus den Vorteilen der dezentralen Lösungen (längere Leitungen, grössere Speicherverluste). Der zentrale Speicher eignet sich zum Einsatz von erneuerbaren Energien. Für Anlagen, bei denen Sonnenenergie genutzt werden soll, drängt sich ein zentraler Speicher (aus Kostengründen) auf.

Brauchwasserverteilung

Die Brauchwasserverteilung im Gebäude erfolgt mit Metall-, Stahl- und/oder Kunststoffrohren. Warmwasserleitungen werden gegen Wärmeverlust, Kaltwasserleitungen gegen Kondensatbildung gedämmt. Damit an den einzelnen Zapfstellen nicht zu lange auf warmes Wasser gewartet werden muss (Ausstosszeiten), werden bei grösseren Gebäuden Begleitheizungen oder eine Zirkulationsleitung installiert. Begleitheizungen sind elektrische Heizbänder, welche auf das Warmwasserrohr unter der Isolation aufgebracht werden und dadurch das Wasser im Rohr dauernd warmhalten. Mit Zirkulationsleitungen wird das Warmwasser von den entfernten Zapfstellen wieder zum Warmwasserspeicher zurückgepumpt. Dadurch fliesst immer warmes Wasser durch die Warmwasserleitungen, unabhängig davon ob gerade Wasser verbraucht wird oder nicht. Beide Massnahmen bewirken zusätzliche Energieverluste. Um die Verluste zu minimieren, müssen die Leitungsrohre gut gedämmt werden. Heizband und Zirkulationspumpe sollen durch eine Zeitschaltuhr in der Nacht ausgeschaltet werden. Warmwasser soll nur da zur Verfügung stehen, wo es auch zwingend ist, nämlich in der Küche (Spüle) und im Badezimmer (Badewanne und Dusche). Im Separat-WC ist heute Warmwasser zwar üblich, aber nicht zwingend. Da die Bedürfnisse und damit auch der Verbrauch von Warmwasser sehr unterschiedlich sind, soll in Objekten mit mehreren Nutzungseinheiten Warm- und Kaltwasser mit Durchflussmessern gezählt und abgerechnet werden. Die Abwärme des verbrauchten Wassers kann zurückgewonnen werden.

7. Lüftungsanlagen

Lüftungsanlagen haben die Hauptaufgabe, verbrauchte Luft abzuführen. Eine Lüftung kann natürlich (Öffnungen im Raum), frei (ohne Fremdenergie, wie z.B. Fensterlüftung) oder mechanisch mittels Ventilatoren funktionieren.

Mechanische Zu- und Abluftanlagen bedingen eine intensive Luftkanalinstallation, die häufig nicht denkmalverträglich ist. Der Bedarf ist kritisch zu hinterfragen. Einfache Abluftanlagen haben die Hauptaufgabe, die verbrauchte Raumluft abzuführen. Zu- und Abluftanlagen übernehmen zusätzlich die Aufgabe, kontrolliert Ersatzluft wieder ins Gebäude einzubringen. Die für Minergie erforderliche Komfortlüftung ist eine Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung, die besonders komfortabel und energiesparend ausgelegt ist.

Zu- und Abluftanlagen (Komfortlüftung)

Aus energetischen Gründen wird die Wärme in der Abluft mit einem Wärmetauscher auf die Zuluft übertragen. Bei älteren bestehenden Anlagen ist möglicherweise noch keine Wärmerückgewinnung eingebaut. Vielfach funktionieren ältere Anlagen mit Umluftbetrieb (Abluft wird wieder als Zuluft verwendet) und sie haben nur Heiz- oder Kühlfunktion. Heute werden die Luftvolumenströme auf ein hygienisches Minimum verringert, was den Energiebedarf entsprechend reduziert. Der Zuluftteil der Anlage ist mit einem Lufterhitzer ausgestattet, welcher die Luft nach der Wärmerückgewinnung auf das behagliche Temperaturniveau erwärmt. Eine Zu- und Abluftanlage kann auch weitere Elemente zur Luftkühlung, Luftbefeuchtung oder Luftentfeuchtung enthalten. Bei Gebäuden mit hoher Luftdichtigkeit ersetzt die Lüftungsanlage den «natürlichen» Luftaustausch, welcher sonst mit der Fensterlüftung erreicht wird. Durch die WRG kann dabei der Energieverbrauch reduziert und mit einem Enthalpietauscher (Feuchterückgewinnung) eine Austrocknung der Raumluft verhindert werden. Eine genügende Dichtigkeit der Räume ist Voraussetzung für das effiziente Funktionieren einer Zu- und Abluftanlage.

Kontrollierte Gebäudelüftung am Baudenkmal

Lüftungsanlagen sind installationsintensiv. Sie verlangen ein Luftverteilsystem, dessen Rohre (mit beachtlichem Querschnitt) sämtliche bewohnten und beheizten Räume einzeln erreichen müssen.

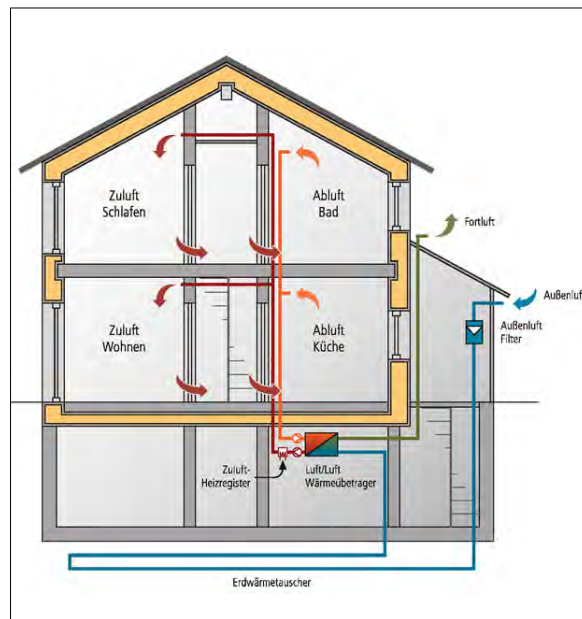
Die Anordnung des Rohrsystems bedingt im Normalfall zu grosse Eingriffe in die Substanz (Durchbrüche) und verändert die Erscheinung der Räume stark.

Die Raumluftfeuchtigkeit wird durch eine Lüftungsanlage im Winter tendenziell gesenkt, im Sommer tendenziell eher erhöht. Die durch die Heizung hervorgerufene Trockenheit im Winter wird durch die Lüftungsanlage verstärkt. Hier könnten der Einbau einer Be- und Entfeuchtungsanlage oder Einschaltverkürzungen Abhilfe schaffen.

Weiter funktioniert eine Komfortlüftung nur optimal, wenn die Gebäudehülle sehr dicht ist. Diese Anforderung ist am Baudenkmal nicht oder nur teilweise umsetzbar, ohne dass Originalsubstanz geopfert wird (Fenster- und Aussentürersatz, Hüllämmung).

Die Ausstattung von Baudenkmalern mit einer kontrollierten Gebäudelüftung ist also aus denkmalpflegerischer Sicht nicht richtig und nur in Einzelfällen sinnvoll.

Wenn es darum geht, wertvolle Interieurs zu schützen, wie beispielsweise im musealen Bereich, kann es durchaus angebracht sein, mit Hilfe von speziellen Raumkonditionierungsanlagen das Raumklima zu stabilisieren und zu überwachen. Solche Anlagen sind so zu konzipieren, dass die bauliche Eindringtiefe klein und denkmalverträglich ist.



Funktionsschema kontrollierte Gebäudelüftung (Abb. 29)

8. Beleuchtung

Ca. 15% des Strombedarfs wird in der Schweiz für die Beleuchtung eingesetzt. Die privaten Haushalte verwenden lediglich 2.5% der Energie für Beleuchtungen. Historische Bauten mit eher kleinem Fensteranteil und daher eingeschränkter Tageslichtnutzung benötigen oft auch während des Tages eine unterstützende Beleuchtung. Die Installation von effizienten Leuchten und durchdachten Steuerungen zur Senkung des Energiebedarfs ist hier besonders wichtig. Dass gerade bei der Beleuchtung die Verantwortung des Nutzers entscheidend für den Stromverbrauch ist, liegt auf der Hand.

8.1 Leuchte und Lampe

Beleuchtungskörper können wichtige Elemente der Ausstattung darstellen, sie sind daher als Teil derselben zu beurteilen und allenfalls zu erhalten. Selbst alte Leitungen auf Putz sowie alte Schalter können Teil des Denkmalwerts eines Gebäudes sein. Die Bedeutung ist im Einzelfall durch die Denkmalpflege zu ermitteln.



Fabrikleuchte der Firma Belmag aus Zürich, aus den 20er-Jahren des 20. Jahrhunderts (Abb. 30)

Begriffe

Lichtstrom

Die gesamte von einer Lichtquelle in den Raum abgegebene Strahlungsleistung, gemessen mit der spektralen Augenempfindlichkeit (in Lumen)

Beleuchtungsstärke

Verhältnis zwischen dem Lichtstrom und der beleuchteten Fläche; Mass für die empfundene Helligkeit (in Lux pro Quadratmeter)

Leistungsaufnahme

Elektrische Leistungsaufnahme (in Watt)

Lichtausbeute

Beschreibt die Effizienz, mit welcher die aufgenommene elektrische Leistung in Licht umgesetzt wird (in Lumen pro Watt)

Leuchtmittel – Lampe

Bereits zu Beginn des 19. Jahrhunderts existierten Prototypen von Glühbirnen. Die Produktionsreife erreichte die Glühlampe aber erst gegen 1880. Der britische Physiker und Chemiker Joseph Wilson Swan¹ entwickelte 1860 eine Glühlampe, bei der er als Glühfaden verkohltes Papier in einem luftleeren Glaskolben benutzte. 1878 gelang ihm die Herstellung einer brauchbaren elektrischen Glühlampe. Er erwarb sein Patent in England 1878. 1880 erhielt Erfinder Thomas Alva Edison in Amerika das Patent für die von ihm entwickelte Glühlampe. Nach anfänglichen Patentrechtsstreitigkeiten einigten sich Edison und Swan und gründeten 1883 in London eine gemeinsame Firma. In der Glühlampe wird ein elektrischer Leiter durch elektrischen Strom aufgeheizt und dadurch zum Leuchten angeregt. Die liebevoll umgangssprachlich als «Glühbirne» benannte Lampe beleuchtete während 130 Jahren Haushalte, Fabriken, Plätze und Strassen. In Kürze wird sie wegen zu hohen Stromverbrauchs ausgedient haben.



Glühfadenlampe (Abb. 31)

Die Bestimmungen der Schweiz folgen hier denjenigen der Europäischen Union: Im Herbst 2012 wurden die letzten Glühfadenlampen verboten.

Ab 01.09.10	Alle klaren Lampen mit mehr als 75 W müssen Klasse C, B oder A sein. Alle mattierten Lampen müssen Klasse A aufweisen; damit verschwanden mattierte Glühlampen.
Ab 01.09.11	Alle klaren Lampen > 60 W: mind. Klasse C
Ab 01.09.12	Alle klaren Lampen mind. Klasse C; damit wurden Glühlampen verboten.

Energieeffizienzklasse:

Die Einteilung der Leuchtmittel erfolgt in die Energieeffizienzklassen A (sehr effizient) bis G (ineffizient).

Als Ersatz stehen zur Hauptsache Niederdruck-Gasentladungslampen (Energiesparlampen, Leuchtstoffröhren), Halogenlampen und LED-Lampen (Licht emittierende Diode) zur Verfügung.

Das aus energetischer Sicht sinnvolle Glühlampenverbot stellt uns vor Probleme. Die Leuchtmittel für historische Beleuchtungskörper müssen teilweise erst noch erfunden werden. Im Moment sind glühbirnenförmige Halogenlampen der valabelste Ersatz. Leider erreichen die Alternativen aber gerade in Bezug auf eine natürliche Farbwiedergabe noch nicht die Lichtqualität der Glühlampen.

Schonendes LED für Denkmaloberflächen

LED-Lampen haben neben geringem Energiebedarf den Vorteil, dass kein Ultraviolettanteil im Strahlungsspektrum ihres Lichts enthalten ist. Da die ultraviolette Strahlung die Alterung von vielen Materialien, beispielsweise auch von Malschichten, beschleunigt, ist die LED-Beleuchtung auch für erhaltenswerte Räume mit wertvollen Oberflächen oder für Museen eine prüfungswerte Lösung. LED-Leuchten sind nicht Wärmestrahler, sie weisen keine gerichteten Infrarotstrahlen auf. Das LED-Licht scheint – soweit heute beurteilbar – eine grosse Chance gerade für den Einsatz in Museen und Räumlichkeiten mit wertvollen Oberflächen. Die Exponate können mit möglichst wenig UV-Strahlung und ohne gerichtete Infrarotstrahlung allgemein besser geschont werden, ohne dass Lichtverluste für die Benutzer/Besucher hingenommen werden müssen. Als erstes Museum in der Schweiz wurde 2008 die archäologische Sammlung der Universität Zürich an der Rämistrasse mit LED ausgestattet.

Öffentliche Aussenbeleuchtungen

Aussenbeleuchtungen sind Beleuchtungen von Verkehrsflächen und Objekten wie Baudenkmäler (Fassade, Kirchturm etc.). Ihr Energieverbrauch soll mittels Zeitschaltuhren und Dämmerungssensoren minimiert werden. Je näher die Leuchte am Objekt installiert wird, umso geringer ist der Energiebedarf. Deren Regelung soll vor allem die Laufzeit der Leuchten minimieren. Verkehrszonen (Fusswege, Eingangsbereiche etc.) können mit Präsenzmeldern und Dämmerungssensoren ausgerüstet werden.



Aus konservatorischen, energetischen und ökonomischen Gründen werden Museen vermehrt mit LED beleuchtet. Beispiel: Ausstellungssaal der National Gallery London (Abb. 32)

8.2 Lichtsteuerungen

Leuchten lassen sich manuell ein- und ausschalten. Dadurch wird das Einschalten bewusst wahrgenommen. Wo nicht klar ist, wer für das Ein- und Ausschalten verantwortlich ist (Treppenhaus, Korridor, Gruppenbüro, WC etc.), kann durch eine Automatisierung der Schaltvorgänge die Betriebszeit der Beleuchtung reduziert werden. Die bezüglich Energieverbrauch beste Lösung ist, wenn nur der Ausschaltbefehl automatisch erfolgt, die Einschaltung jedoch von Hand gemacht werden muss. Das Schalten von Leuchten kann durch Präsenzmelder, Dämmerungssensoren, Zeitschaltuhren oder Kombinationen davon gesteuert werden. Bei der Auswahl der Steuergeräte sollen auch die Standby-Verluste beurteilt werden.

- Präsenz- oder Bewegungsmelder: Licht brennt nur, wenn sich jemand im Raum bewegt.
- Dämmerungs- oder Helligkeitsmelder: Licht brennt nur, wenn das Tageslicht zu gering ist.
- Zeitschaltuhr: Licht brennt nur während den auf der Uhr eingestellten Zeiten.

Gemäss der Norm SIA 380/4 lassen sich die Betriebszeiten von Beleuchtungen durch Präsenzmelder wie folgt reduzieren:

Raumnutzung	Auto-matisches Ausschalten	Auto-matisches Aus- und Einschalten
Parkhaus	50%	40%
Verkehrsflächen (Treppenhaus, Flur)	50%	40%
WC, Bad, Dusche	50%	40%
Büro und Sitzungszimmer	30%	20%
Schulzimmer	30%	20%

8.3 Elektroleitungen

Der Leitungsführung ist aus denkmalpflegerischer Sicht grosse Beachtung zu schenken. Das heute sowohl im Alt- wie auch im Neubau gewohnte Einschlitzen oder Einfräsen von Leitungen ist bei Baudenkmalern meist nicht möglich, weil sie zu grosse Substanzverluste bedeuten. Gemäss den denkmalpflegerischen Grundsätzen sind Leitungen als Additive zu verstehen und zu behandeln, die zu einem späteren Zeitpunkt wieder demontiert werden können, ohne Schäden zu hinterlassen. Die Leitungen müssen auf Putz oder in Hohlräumen geführt werden. Deckenquerungen sollen wenn möglich in bestehenden Durchbrüchen, ansonsten mit möglichst feinen Bohrungen vorgenommen werden. Das Installationskonzept muss zum Ziel haben, möglichst wenig Leitungen zu verlegen. Bemerkung zur Ökologie: Die Kabel sind fast ausschliesslich mit PVC ummantelt. Bei der Produktion müssen dem PVC eine stattliche Anzahl nicht unbedenklicher Additive zugemischt werden. Bei der Entsorgung in der Verbrennungsanlage oder im Brandfall entstehen gesundheitsgefährdende chlorhaltige Gase (Dioxine). Der Mehrpreis für Alternativen kann heute noch 50% betragen, was jedoch auf die Installationen nur geringe Zusatzkosten verursacht.

Bildnachweise

- 1 Diagramm Bundesamt für Energie, Ittigen
- 2 Tabelle bauforumstahl, Düsseldorf
- 3 Diagramm aus Hirsch Harry und Lohr Alex, Energiegerechtes Bauen und Modernisieren; Grundlagen und Beispiele für Architekten, Bauherren und Bewohner, 1996, S. 42
- 4 Abbildung aus der Webseite www.fill-it.de
- 5 Quelle «Massiv Mein Haus e.V.», Friedberg
- 6 Quelle SIA 381/101 und SIA 279
- 7 Abbildung aus Studie Berechnung des Bauschadensfreiheitspotentials von Wärmedämmkonstruktionen in Holzbau- und Stahlbauweise, Moll GmbH, Schwetzingen
- 8 Angaben Eigentümerin Altenbergstrasse 120, Bern
- 9 Schema BetonMarketing Deutschland GmbH, Erkrath
- 10 Diagramm Webseite www.bau-sv.de, Henry Pfeifer und Lutz Elmar Vogel, Leipzig
- 11 Bild aus Helmut Künzel, Bauphysik, Geschichte und Geschichten, Stuttgart 2002, S. 37
- 12 Bild Archiv Denkmalpflege des Kantons Bern, Bern
- 13 Bild Archiv Denkmalpflege des Kantons Bern, Bern
- 14 Bild Archiv Denkmalpflege des Kantons Bern, Bern
- 15 Bild Service des biens culturels SBC, Fribourg
- 16 Abhandlungen und Beobachtungen durch die oekonomische Gesellschaft zu Bern gesammelt (1762–1773), 11. Jahrgang 1770, 2. Band, Tafel 1
- 17 Bild Antik Ofen Galerie, Markus Stritzinger, Burrweiler
- 18 Bild aus Werk, Bd. 26, 1939, S. XXXVI
- 19 www.energie-lexikon.info: Das RP-Energie-Lexikon, Dr. Rüdiger Paschotta
- 20 Bild aus tec 21, Nr. 51–52, 2009
- 21 Angaben aus Kilian, R., Sedlbauer, M., Krus, M., Klimaanforderungen für Kunstwerke und Ausstattung historischer Gebäude; IBP Mitteilung 462, 2005
- 22 Aus E. Baumann, Denkmalpflege und Energiesparen, Ideallösung oder Konfliktsituation. Triesen, 2006
- 23 Aus Helmut Künzel, Bauphysik und Denkmalpflege, S. 81
- 24 Quelle Schletti Bruno, CSD Ingenieure Bern
- 25 Bild Sammlung Andera, Maastricht
- 26 Bild aus Meinertz Produktedokumentation, Skanderborg
- 27 Schema aus InstallationsProfi GmbH, Oberneukirchen
- 28 Bild: <http://de.academic.ru/pictures/dewiki/77>
- 29 Schema www.engels-immobilien.de
- 30 Bild von der Webseite www.anibis.ch
- 31 Bild von der Webseite «1-universe.com»
- 32 Bild Firma Erco GmbH, Lüdenscheid

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 Haustechnik

- Arendt, Claus Die sinnvolle Beheizung von Baudenkmälern. In: Schriftenreihe des deutschen Nationalkomitees für Denkmalschutz, Band 67. Bonn 2002
- Baumann, Ernst Der Gratweg zwischen Denkmalpflege und Energiesparen für Altbauten und Kirchen. ISG Tagungsband 5. Graz 2011
- Brunner, Conrad U.; Humm, Othmar (Hg.) Led, Schriftenreihe Faktor, Heft 34. Zürich 2012
- Brunner, Conrad U.; Humm, Othmar (Hg.) Led, Schriftenreihe Faktor, Heft 27. Zürich 2010
- Brunner, Conrad U.; Humm, Othmar (Hg.) Wärme und Kraft, Schriftenreihe Faktor, Heft 1. Zürich 2003
- Brunner, Conrad U.; Humm, Othmar (Hg.) Licht, Schriftenreihe Faktor, Heft 1. Zürich 2006
- Brunner, Conrad U.; Humm, Othmar; Max Kugler (Hg.) Geräte, Schriftenreihe Faktor, Heft 2. Zürich 2005
- Giezendanner, Emil Ernst Heizschäden in Kirchen. In: TEC 21, Nr. 51–52, 2009
- Graupner, Klaus Wärme ist nicht alles. Heizung und Lüftung historischer Gebäude I + II. In: Bausubstanz 11-12/1999 S. 26–28, 1/2000 (Heft fehlt)
- Institut Wohnen und Umwelt (Hg.) Einsparungen beim Heizwärmebedarf – ein Schlüssel zum Klimaproblem. Darmstadt 1995
- Leibundgut, Manfred Zero Emission LowEx, Institut für Technologie in der Architektur, ETH Zürich. Zürich 2010
- Oeku Kirche und Umwelt (Hg.) Energie Sparen und Klima schützen, Ein Leitfaden für Kirchgemeinden und Pfarreien. 1. Auflage. Bern 2009
- Zogg, Martin Geschichte der Wärmepumpe, Schweizer Beiträge und internationale Meilensteine. Herausgegeben vom BFE. Bern 2008