

ENERGIE UND BAUDENKMAL

Gebäudehülle



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	18
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 Massivbauten	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
Raumluftfeuchtigkeit	30
Klimaeinflüsse	31
Aussenklima	31
Innenklima	31
Pilze	32
3.5 Bauklimatisches Verhalten historischer Bautypen	33
Massivbauten	33
Skelettbauten	34
Mischbauweisen	35
Blockbauten und Ständerbauten mit Kantholzfüllungen	35

4. Nichtbauliche Massnahmen zur Senkung des Energieverbrauchs	36
4.1 Einführung	37
Energiemessung	37
Energiebuchhaltung	37
4.2 Nutzer und Nutzung	38
Bedürfnisse der Nutzer	38
Behaglichkeit und Komfort	38
Einsparungen durch geeignetes Nutzverhalten	39
4.3 Gebäudebewirtschaftung	39
Technische Betriebsoptimierungen	39
Optimierungen im Bereich Wärmeerzeugung	39
Optimierungen im Bereich Raumheizung	40
Optimierungen im Bereich Brauchwasser	40
Optimierungen im Bereich Beleuchtung	40
Optimierung von Geräten	40
Wartung, Unterhalt und Ersatz von Anlageteilen	40
5. Dämmung der Gebäudehülle	41
5.1 Zielsetzungen, Strategien, Planungsmethodik	42
Unterschiedliche Ziele	42
Zielkonflikte	43
Strategien	43
Interdisziplinäre Zusammenarbeit ab Planungsbeginn	43
Methodik der Planung	43
5.2 Dämmung der Gebäudehülle – Möglichkeiten und Grenzen beim Baudenkmal	44
Wann und wo kann Wärmedämmung angebracht werden?	44
Verzicht auf Wärmedämmung	44
5.3 Wärmedämmkonzepte für opake Bauteile	45
Dämmumfang und Dämmebene	45
Inhalt und Umfang eines Wärmedämmkonzepts	45
Innenwärmedämmung	46
Hohlraumdämmung	47
Aussenwärmedämmung	47
Autonome gedämmte Hüllen	47
5.3.1 Massnahmen zur Regelung des Dampfdurchgangs	48
5.3.2 Wärmedämmstoffe	50
Ausgewählte bauphysikalische Eigenschaften	51
Ausblick	52
Reduzierte mögliche Dämmstärken	52
Wirksamkeit von Dämmstoffstärken bei Innendämmungen	52
6. Sanierungsmassnahmen Boden	53
6.1 Sanierungsmassnahmen an der Kellerdecke	54
Kellerfeuchte und Kellerklima	55
Feuchtequellen und Feuchttransporte	55
Sanierungsmassnahmen	56
Historische Deckenkonstruktionen	58
Decken mit stabförmigem Tragwerk	59
6.2 Dämmung von nicht unterkellerten Böden	61
Dämmung von Böden im Erdreich	61
Dämmung von Böden über Kriechräumen	61

7. Sanierungsmassnahmen Wände	62
7.1 Massive Aussenwände	63
7.1.1 Baustoffe für Massivbauten	64
7.1.2 Innendämmung	64
Innendämmsysteme für Mauerwerke	67
Putztragende Dämmplatten	68
Oberflächengestaltung auf mineralischen Innendämmungen	68
Innendämmung mit Hilfskonstruktion	69
Schwachpunkt Fensterleibung	70
7.1.3 Wärmedämmputze für Innen- und Aussendämmungen	71
7.1.4 Aussenwärmendämmung	72
7.1.5 Kerndämmung von zweischaligen Mauerwerken	73
7.1.6 Kombinierte Dämmkonzepte mit reduzierten Dämmungen	73
7.2 Aussenwände in Holz- und Mischbauweise (Fachwerke)	74
Holzbauten	74
Blockbauten und Flecklingsständerbauten	75
Fachwerkbauten	75
Gestalt von Fachwerkbauten	76
Dämmung von Fachwerken und Holzbauten	77
Innendämmung von Fachwerkbauten	77
Dämmungen mit kapillaraktiven Dämmmaterialien	78
Diffusionsoffene Dämmstoffe und Dampfbremsen mit variablem Diffusionswiderstand	78
Innendämmung von Holzbauten	79
Aussendämmung von verschindelten Holz- und Fachwerkhäusern	80
Hohlraumdämmung	80
7.3 Sanierungsmassnahmen Innenbauteile	81
Treppenhäuser	82
Dämmen gegen feuchte Kalträume	82
Dämmkonzepte	82
8. Sanierungsmassnahmen Steildach	83
Dachlandschaften	84
Elemente des Daches	84
8.1 Dachbodendämmung	85
8.1.1 Massnahmen Dachbodendämmung	86
8.1.2 Aufdeckendämmung	87
Aufbau Aufdeckendämmung: Balkenlagen	87
Aufbau Dachbodendämmung: massive Decken	87
Hohlraumdämmung	87
Dachbodenbelag	87
8.1.3 Unterdeckendämmung	88
Hybride Konzepte	88
8.2 Steildächer, energetische Dachsanierungen	88
Autonome gedämmte Hülle	88
8.2.1 Dämmung der Dachebene – Zwischen-, Unter- und Aufsparrendämmung	90
Unterdach (erste Belüftungsebene)	90
Diffusionsoffene Dämmungen und feuchteadaptive Dampfbremsen	90
Zwischensparrendämmung	91
Untersparrendämmung	91
Aufsparrendämmung	92

9. Sanierungsmassnahmen Flachdach	93
9.1 Historisches	94
9.2 Dachrand	94
9.3 Dach – ein hoch beanspruchter Bauteil	95
9.4 Unbelüftetes Dach (Warmdach)	95
Gründächer	96
Umkehrdach	96
9.5 Belüftetes Dach (Kaltdach)	96
Aussendämmung (Aufdachdämmung)	97
Innendämmung (Unterdachdämmung)	97
Hohlraumdämmung	97
Terrassen über bewohnten Räumen	98
Wahl des Dämmmaterials	98
Bildnachweise	100
Literaturauswahl	102

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 unverseht 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 verträgt, müssen die Akteure den Bestand mitsamt seinen Stärken und Schwächen gut kennen. Man sollte sich deshalb nicht vorzeitig auf Art und Umfang einer Massnahme oder auf bestimmte Produkte festlegen, ebenso wenig wie auf konkrete Werte (U-Werte) und Gewinnerwartungen. Wichtigste Voraussetzung für das Gelingen einer energetischen Optimierung ist, dass die Massnahmen und ihre Ausführung genau auf das jeweilige Gebäude abgestimmt werden – das ist Massarbeit. Leider eignen sich die für den Neubau entwickelten 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 Energiressourcen 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 Detailierung und Fertigung von Türen und Fenstern eines Hauses. Sie sind viel mehr als nur Öffnung, sie existieren in unzähligen Varianten und sind für die Wirkung nach Innen genauso wichtig wie für die Aussenwirkung. Auch die Anordnung der Räume im Grundriss richtete sich, wo dies möglich war, nach klimatischen Gegebenheiten und Heizquellen. Optimalen Schutz bot (und bietet noch immer) die kompakte Bauweise eines Mehrzweckhauses, wo alles unter einem Dach Platz fand. Im Bauernhaus kam man mit nur einer Feuerstelle, dem Herd, aus. Oft speiste er auch den Stubenofen und wärmte noch die Kammer im Obergeschoss. Der Herd war zum Kochen, Backen, Wärmen, Heizen, Warmwasser bereiten, Trocknen und Räuchern da: Er war multifunktional. Heute existiert für jede dieser Funktionen ein eigenes Gerät, das Energie benötigt. Heizmöglichkeiten, seien es offene Kamine (Cheminées) oder Öfen, waren auch in nicht landwirtschaftlichen Gebäuden sparsam verteilt und wurden nur bei Bedarf gebraucht.

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

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

Erfindungsreichtum und Baukultur

Die jahrhundertealte Baukultur in unserem Land zeugt von der praktischen Intelligenz und vom handwerklichen Können, die äusseren Bedingungen einer Region mit den jeweiligen Nutzungsanforderungen sowie mit den herrschenden ästhetischen Vorstellungen in immer neuen Varianten zu verbinden. Als Vorbild in baulicher und betrieblicher Hinsicht können heute besonders die Bauten aus der Zeit vor dem Erdölboom dienen, die für den haushälterischen und klimaschonenden Umgang mit knappen Ressourcen stehen. Denn ihre Leistung liegt nicht allein in der «Bewirtschaftung eines Mangels». Sie besteht vielmehr darin, dass sie trotz schwieriger Bedingungen Baukultur hervorgebracht haben, die nicht leichtfertig aufs Spiel gesetzt werden darf. Dass eine «Rückbesinnung auf althergebrachte Bauweisen» neben der Entwicklung neuer Technologien am Platz sei, meinen auch baugeschichtlich informierte Bauökologen, ohne damit ein generelles Zurück-zu-alten-Zeiten zu propagieren.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 Baudenkmälern 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)

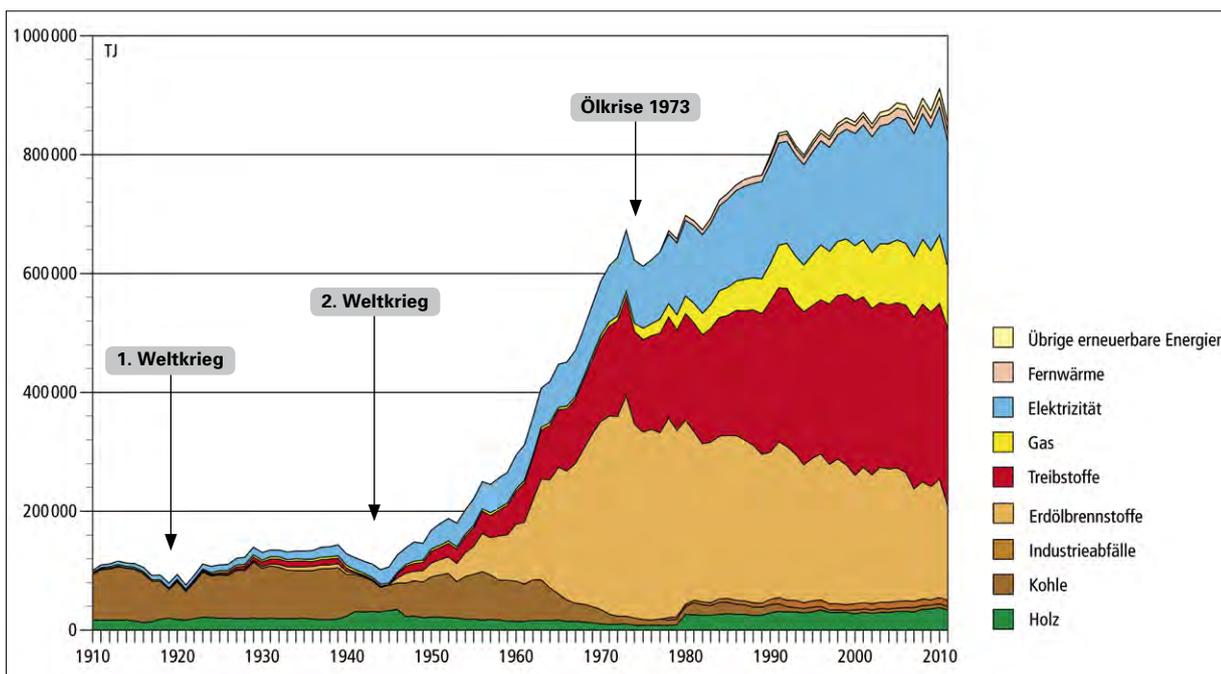


Diagramm Energieverbrauch der Schweiz seit 1910, Gesamtenergiestatistik Schweiz 2008 (Abb. 1)

**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)

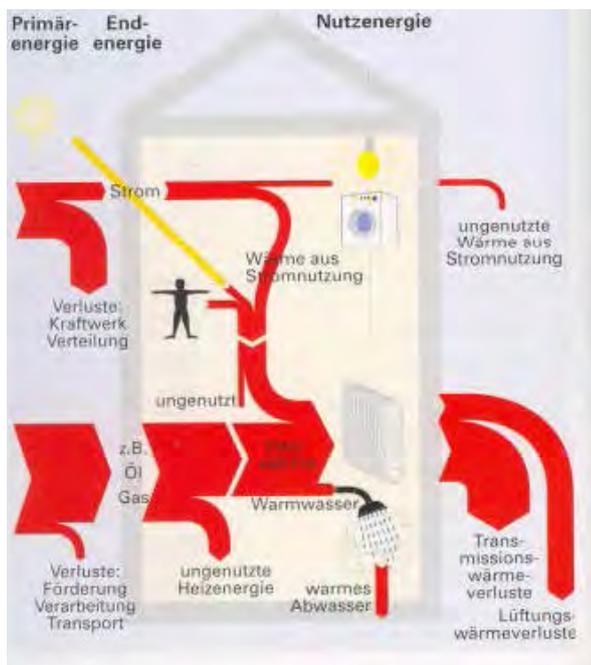
Bezüglich des Aufwands an grauer Energie stehen Baudenkmäler gut da. Erstens wurden sie fast ausschliesslich mit erneuerbarer Energie hergestellt, zweitens haben sie eine sehr hohe Lebensdauer. Das vierhundertjährige städtische Bürgerhaus wie das dreihundertjährige Bauernhaus übertreffen die Lebenserwartung eines heutigen Gebäudes um ein Mehrfaches und sparen 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 Baudenkmalers oder eines für das Stadtbild bedeutenden Altbaus verbessern wollen. Im neuen Fördersegment sollen sowohl die Transmissionswärmeverluste als auch die Luftdichtheit der Gebäudehülle zugunsten der erhaltenswerten Gebäudesubstanz als Förderkriterien in den Hintergrund treten. Zukünftig wird es bei diesen Baudenkmalern hauptsächlich darauf ankommen, dass durch die Sanierung der jährliche Primärenergiebedarf sinkt, ohne am Gebäude eine komplette Fassadendämmung durchführen zu 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).

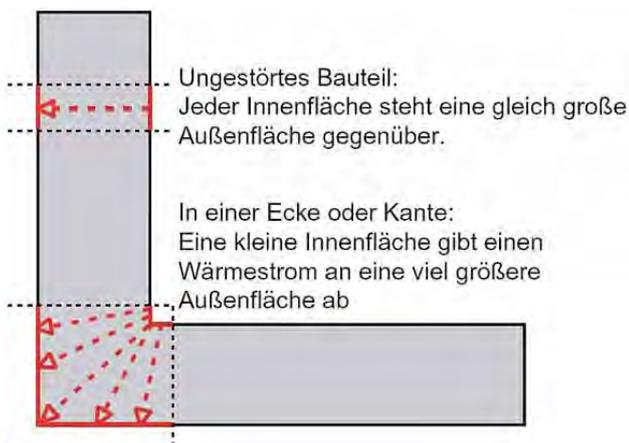
Inhomogene Bauteile

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

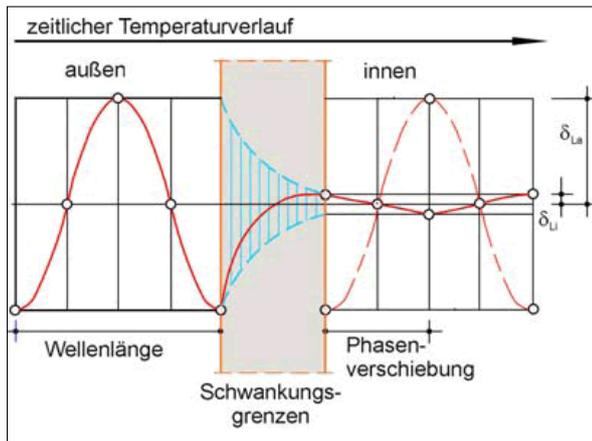
Vermindert ein Wärmestrom das Temperaturgefälle an einer Stelle nach und nach oder wird durch äussere Einflüsse eine Änderung des Temperaturgefälles erzwungen, so ist die Wärmeleitung instationär, der Wärmestrom ist nicht mehr konstant.

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 MJ/m ² a
Verbrauch nach SIA 380/1 gerechnet:	450 MJ/m ² a
Simulation mit IDA-ICE ⁴ :	330 MJ/m ² 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.

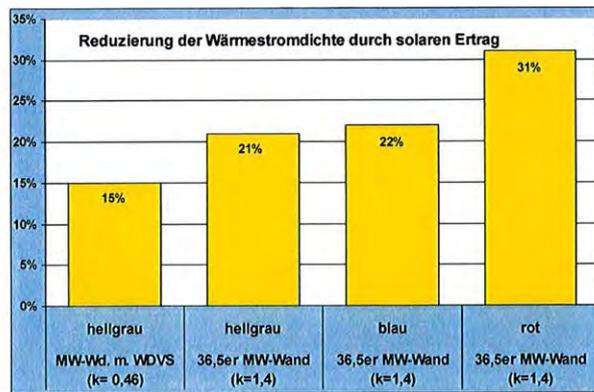
3. Reduktion der Transmissionsverluste

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

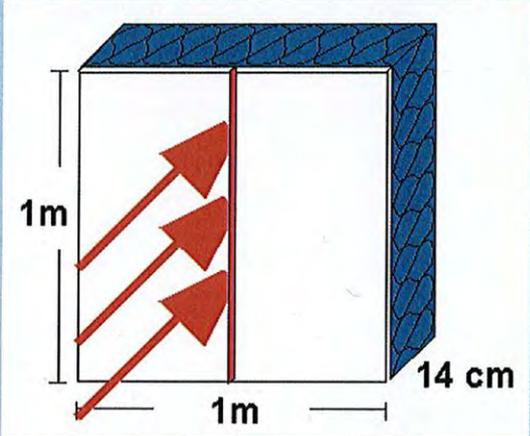
Sind die im Winter angefallenen Kondensatmengen infolge Dampfdiffusion grösser als die sommerlichen Austrocknungsmengen, nimmt die Feuchtigkeit in der Konstruktion im Laufe der Jahre zu und kann zu Schäden führen.

Konvektive Kondensate

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

Feuchteintrag 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 Feuchteintrag 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 hauptsächlichen 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.

Pilze

Biogene Schäden an Gebäuden werden durch Pilze und Insekten verursacht. Im Keller muss im Zusammenhang mit Feuchte vor allem den Pilzen Aufmerksamkeit geschenkt werden. Die in der Umwelt enthaltenen Pilzsporen finden in feuchtem Klima und vorhandenem organischem Material, vor allem Holz, einen idealen Nährboden. Wir unterscheiden folgende in unserem Zusammenhang relevante Pilzgruppen:

- Schimmelpilze
- Bläuepilze
- Hausfäulepilze: **Moderfäulepilze**
Braunfäulepilze (Haus- und Kellerschwamm)
Weissfäulepilze (weisser Porenschwamm)

Pilze können nicht nur Bausubstanz zerstören, sondern auch Gesundheit und Wohlbefinden von Menschen gefährden. Schimmelpilze beeinträchtigen die menschliche Gesundheit, indem sie Erkrankungen der Atemwege, Rheuma, Gicht und Allergien hervorrufen.

Schimmelpilze sind sehr kleine Pilze, die uns von vergrauten Wänden und verdorbenen Lebensmitteln bekannt sind. Sie sind keine Holzzerstörer, weil sie an der Oberfläche des Holzes bleiben. Aber Schimmelpilze sind gute Indikatoren für nasses und feuchtes Holz, auf das weit gefährlichere Pilze gelangen können. Bläuepilze sind kaum gefährlicher, weil sie aber in das Holz eindringen, können sie Anstriche oder Malereien ablösen. Moderfäulepilze brauchen extrem hohe Feuchtigkeit, sie können Holz zerstören. Die wichtigste Gruppe im Zusammenhang mit der Kellerdecke sind die Braunfäulepilze, unter ihnen speziell der Haus- und der Kellerschwamm. Beide verfärben sich aufgrund des Verlustes von Cellulose braun. Charakteristisch ist der würfelförmige Bruch der Holzoberfläche (Abb. 14).

Der Hausschwamm hat die gefährliche Eigenschaft, dass er in seinen langen Mycelsträngen Wasser transportiert, er kann so das nicht feuchte Holz benetzen, um es als Nahrung aufzubereiten. Mycelstränge können durch feine Risse hindurchwachsen, mit der Folge, dass sich der Hausschwamm im ganzen Haus ausbreitet. Oft wird er spät bemerkt, nämlich erst, wenn er seine Fruchtkörper (orange, braun, weiss) ausbildet. Der Kellerschwamm hat zwar nicht dieselbe Wassertransportfähigkeit, er ist aber nicht minder gefährlich, weil er eher selten Fruchtkörper ausbildet. Man erkennt ihn am fächerförmigen Mycelium und an den aderförmigen Pilzfäden (Abb. 13). Sein Vorkommen weist immer auf hohe Feuchtigkeit hin. Besteht der Verdacht auf holzerstörende Pilze, sind rasche Probenahme und Laboranalyse empfohlen.

Da Verschleppungsgefahr besteht, sind Schuhe mit einer Kochsalzlösung oder einem Desinfektionsmittel zu reinigen. Eine rasche Sanierung ist einzuleiten.



Schimmel (Abb. 9)



Bläufäule (Abb. 10)



Weissfäule (Abb. 11)



Hausschwamm, Mycel und Fruchtkörper (Abb. 12)



Kellerschwamm, fächerförmiges Mycel (Abb. 13);
 Balkenoberfläche: braunfaules Würfelbruchbild (Abb. 14)

3.5 Bauklimatisches Verhalten historischer Bautypen

Massivbauten sind Mauerwerksbauten aus Naturstein (z.B. Feldstein, Bruchstein oder Haustein) oder aus künstlich hergestellten Steinen wie Backstein oder Beton. Die Wände der Massivbauten übernehmen gleichzeitig Trag- und Hüllfunktion. Skelettbauten, z.B. Holzständerbauten oder Stahlskelette und Fachwerke, trennen das tragende Gerüst aus Stützen und Trägern oder Platten von den hüllenden Wandflächen. Blockbauten sind gemäss obiger Definition Massivbauten, aus bauphysikalischer und energetischer Sicht haben sie wegen ihrer Materialisierung eher die Eigenschaften von Skelettbauten. Die Gebäudehülle bildet als Grenzschicht zwischen innen und aussen, als Systemgrenze zwischen Aussen- und Innenklima, zusammen mit dem Öffnungsanteil der Aussenhülle die entscheidende Grösse für das Raumklima eines Gebäudes. Die im Kapitel 3.3 diskutierte Wärmespeicherung spielt dabei eine zentrale Rolle.



Bern, Haus Münsterergasse 30, Strassenfront, spätgotischer Massivbau von 1569–70 (Abb. 15)

Massivbauten

Natursteinmauerwerke besitzen eine relativ hohe Wärmeleitfähigkeit. Die häufig grosse Konstruktionsstärke wirkt hier kompensierend. Die vergleichsweise schlanker dimensionierten Beton- und Stahlbetonwände mit ähnlicher Wärmeleitfähigkeit schneiden daher schlechter ab. Massivbauten besitzen eine gute Wärmespeicherfähigkeit. Im Winter bedeutet dies, dass schwere Bauten zwar eine längere Aufheizzeit benötigen als Leichtbauten, da nebst der Raumluft auch die eigene Masse erwärmt werden muss. Sie vermögen aber solare Wärme von innen und aussen zu speichern und, wie im letzten Kapitel gezeigt wurde, auch die Transmission durch Aussenbauteile positiv zu beeinflussen. Gut speicherfähige Aussenwände besitzen ein Temperaturamplitudenverhältnis von 0.1. Das heisst, dass nur 10% oder weniger der Temperaturschwankungen der Aussenoberfläche eines Bauteils auf die Innenoberfläche übertragen wird. Die Phasenverschiebung beträgt bei guten Wärmespeichern ca. 8 bis 12 Stunden, so dass die am Mittag gewonnene Wärme erst am Abend und in der Nacht in den Raum gelangt. Im Sommer dringt die Wärme reduziert erst in der Nacht in die Räume ein, welche jetzt auch gelüftet werden können. Beim Aufbringen einer Innendämmung wird diese Wechselwirkung mit den massiven Aussenbauteilen stark reduziert. Die thermisch aktive Speichermasse dieser Bauteile für die Speicherung der inneren Gewinne (Solargewinne durch die Fenster) geht verloren.



Bern, Haus Gerechtigkeitsgasse 33, innen vertäferter Massivbau (Abb. 16)

Massive Aussenwände von bewohnten Räumen wurden auf der Innenseite oft mit Holz oder Textilien verkleidet. Ein Wandtäfer aus Fichte vermochte die innere Oberflächentemperatur um 2–3 °C zu erhöhen. Damit konnten die Behaglichkeit (empfundene Raumtemperatur) gesteigert und – je nach Wandstärke – auch Oberflächenkondensate vermieden werden.

Skelettbauten

Klassische Leichtbauten sind Holzständerkonstruktionen mit Brett- und Bohlenfüllungen oder Holzrahmenbauten, wie die als Systembauten errichteten Holzbaracken der Schweizer Armee. Diese prägten den Begriff «Barackenklima». Leichtbauten sind aber auch Stahlskelette, wie die bedeutende Fabrikanlage der Firma USM in Münsingen. Leichtbauten haben eine geringe Wärmespeicherfähigkeit.

Das heisst, dass die Wärmezufuhr von aussen nur mit kleiner Amplitudendämpfung und kleiner Phasenverschiebung ins Innere durchschlägt. Historische Bauten kompensieren diesen Mangel im Sommer durch grosse Vordächer, welche die Aussenwände und Fensterflächen beschatten, und durch offene Dachräume, die als Klimapuffer dienen. Auch Lauben können eine Pufferwirkung ausüben.

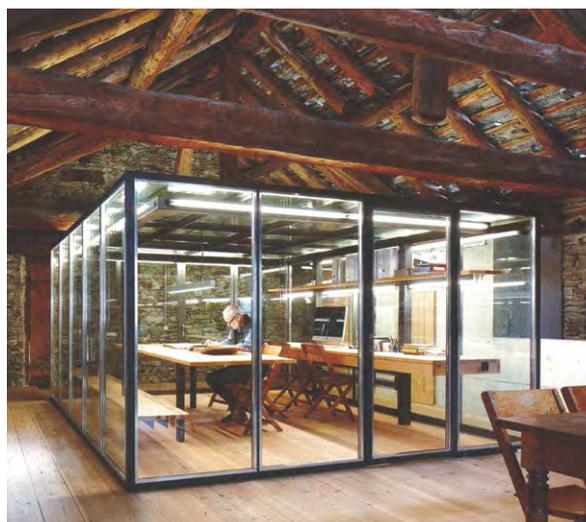


Uninorm-Baracke der Schweizer Armee in Alpnach (Abb. 17)

Dachtragwerke sind charakteristische Leichtbauteile. Ausgebaute Dachgeschosse können auch bei guter Dämmung im Sommer stark überhitzen: Die Amplitudendämpfung ist klein und die Phasenverschiebung beträgt nur ca. 2 bis 4 Stunden. Der TAV beträgt nur ca. 0.6–0.7, das heisst, dass die sommerliche Mittagshitze den Innenraum bereits aufheizt, bevor die Aussenluft sich abkühlt, die Fenster können noch nicht geöffnet werden. Die Wahl schwerer Dämmmaterialien wie Holzfasерplatten drängt sich auf. Ist der Dachraum genügend gross, bietet sich mit dem Einbau einer Box in den offenen Dachraum

eine elegante Alternative. Die bewohnte Box kommt nicht in direkte Berührung mit der heissen Dachkonstruktion, der Dachraum bleibt als Grossraum durchlüftet. Im Winter kann zwar eine Südfassade aus Holz grosse Wärmeeinträge bringen, das Gebäude wird jedoch sehr rasch wieder auskühlen. Die Amplitudendämpfung ist gering, sodass sich die hohen und tiefen Temperaturspitzen auch rasch im Innern einstellen. Leichtbauten waren die ersten Bauten, welche vermutlich seit der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts mit speziellen Dämm- und Speicherschichten ausgestattet wurden.

Hans Christian Nussbaum schrieb in seiner Schrift «Die Hygiene des Wohnungswesens» bereits 1907¹: «Als Grundsatz für eine solche leichte Bauart der Wohnhäuser muss gelten, die der Abkühlung und Erhitzung ausgesetzten Flächen aussen mit einem besonders schlechten Wärmeleiter zu versehen, innen aber aus tunlichst schweren Baustoffen in einer Stärke herzustellen, welche als Wärmespeicher ausreicht. Dann erfolgt die Ableitung



Autonome Box im Dachraum, Architekt Johannes Florin, Maienfeld (Abb. 18)



Wahlern, Bauernhof Aeckenmatt, 1746, grosse Dachvorsprünge und Lauben als Sonnen- und Wetterschutz eines Skelettbaus aus Holz (Abb. 19)

1) Hans Christian Nussbaum, Die Hygiene des Wohnungswesens, Leipzig, 1907

und Zuführung von Wärme langsam und in geringer Weise, während der Wärmespeicher Sorge trägt, dass der Wärmegrad des Raumes ein gleichmässiger bleibt, vor rascher Erniedrigung und Erhöhung geschützt wird. Nach den von mir mit dieser Bauart gesammelten Erfahrungen, reicht als Wärmespeicher eine Stärke der Wände und Decken von 15 cm noch eben aus, während Stärken von 20 bis 25 cm bereits günstige Verhältnisse bieten. Als Wärmeschutz hat sich die Bekleidung der Aussenflächen mit Korkplatten, Holzdielen und Schindeln bewährt. Ihre Stärke sollte jedoch keinesfalls unter 3 cm betragen, wird besser 4 bis 5 cm gewählt, wenn die Kosten dies irgend zulassen.»

Mischbauweisen

Fachwerke sind Skelettbauten. Werden sie mit massivem Mauerwerk ausgefacht, erhalten sie Eigenschaften von Massivbauten mit hoher Wärmespeicherfähigkeit. Beliebteste Ausfachungsmaterialien waren zunächst Lehm, Kalktuff, Natursteine und später Backstein. Die Industrialisierung der Backsteinherstellung führte zur Verdrängung von Tuff zugunsten des schweren Backsteins. Die besten Wärmespeichereigenschaften besitzt das Gefach mit Natursteinfüllungen, das schwerste Material also. Verblüffende Werte zeigt der für Fachwerk beliebte Kalktuff. Bei guten Dämmeigenschaften, also niedriger Wärmeleitfähigkeit, hat er trotzdem relativ gute Wärmespeicherfähigkeiten, vergleichbar etwa mit denjenigen eines Backsteingefachs. Fachwerkfassaden besitzen eine inhomogene Aussenoberfläche, die Holzteile bewegen sich infolge der wechselnden Feuchtigkeit. Sie sind sowohl in Bezug auf Luftbewegungen wie auch in Bezug auf Aussenfeuchtigkeit weniger dicht als Konstruktionen mit homogenen Oberflächen. Fachwerkbauten sind daher in besonderem Masse auf guten konstruktiven Wetterschutz (Vordächer) angewiesen.



Rifferswil, Fachwerkhaus mit Klebdächern als Wetterschutz, 1728 (Abb. 20)

Fachwerk- gefache aus:	λ	ρ	C	$c \cdot \rho$
	W/mK	kg/m ³	KJ/KgK	W/m ² K
Lehm innenverputzt	0.151	300	1.68	2.3
Feldstein	2–3	2400	0.92	17.9
Backstein	0.8	1800	0.88	9.7
Tuffstein	0.7–0.8	1400	0.92	7.9

Blockbauten und Ständerbauten mit Kantholzfüllungen

Im Unterschied zu den leichten Holzständerbauten haben Ständerbauten mit Kantholzfüllungen nahezu homogene Querschnitte und entsprechen bauphysikalisch den verbreiteten Kantholzblockbauten. Die Wärmespeicherfähigkeit liegt mit 3.7 W/m²K für Fichten-, Kiefer- und Tannenholz und 5.8 W/m²K für Eichenholz wesentlich unter derjenigen sämtlicher Steinmaterialien. Umgekehrt ist dafür die Wärmeleitfähigkeit bei diesen Hölzern wesentlich geringer: Der Lambdawert beträgt 0.12 bis 0.25 W/mK für die genannten Nadelhölzer und ungefähr 0.2 W/mK für Eiche. Bei Wandstärken von 14 bis 16 cm weisen Fichtenwände einen U-Wert von 0.7 bis 0.8 W/m²K, die schwerere Eiche von 0.95 bis 1.05 auf. Eine zusätzliche Innenverkleidung reduziert den U-Wert nochmals um 0.1 bis 0.2 W/m² K.



Blockbau, Agensteinhaus, 1766, Erlenbach i. S. (Abb. 21)

Vergleich einer Sandsteinaussenwand (60 cm) mit einem Ständerbau mit Brettfüllungen (4 cm) und Fachwerkbau mit Kalksteinfüllungen (17cm):

Material	U-Wert W/m ² K	Rohdichte kg/m ³	Amplituden- dämpfung Grad	Phasenver- schiebung (h)
Sandstein 60 cm	2.34	2600	12.9	12.3
Holzwand 4 cm	2.1	500	1	1.3
Fachwerkwand	ca. 2.5	ca.1500	2.75	6

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.

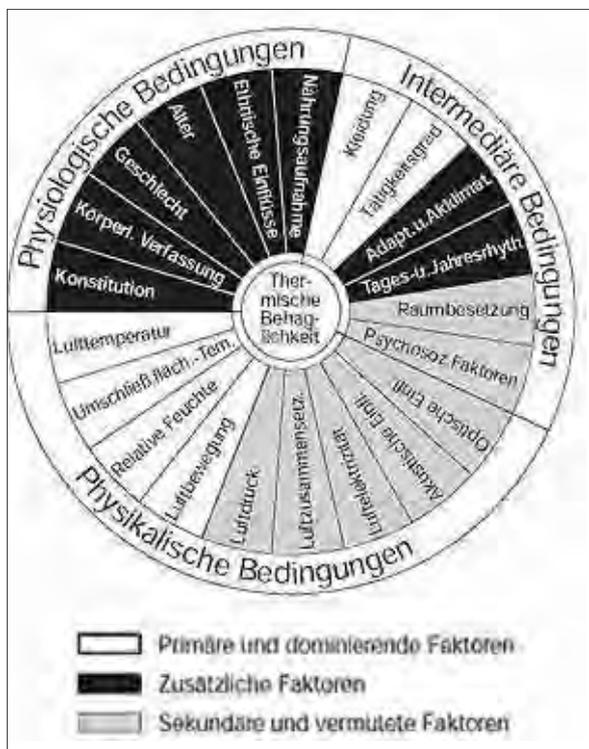
Datum	Ölzähler	Gas	Wasserzähler	Stromzähler
	l	kWh	m ³	kWh
6.03–5.04		103 948	465	4324
6.04–5.05		102 020	371	3737
6.05–5.06		89 994	336	4016
6.06–5.07		71 002	352	4547
6.07–5.08		82 905	306	4031
6.08–5.09		81 965	296	4029
6.09–5.10		88 208	316	3785

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

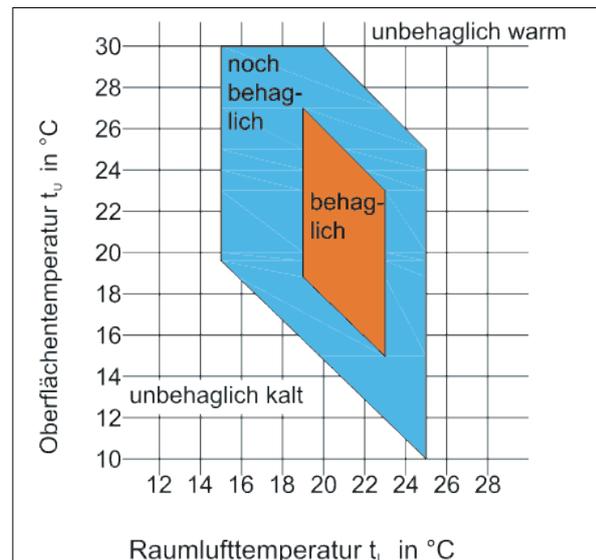
Die Haustechnik und der damit verbundene Energieverbrauch dient der Befriedigung von Bedürfnissen. Im Vordergrund stehen die Behaglichkeits- und die Komfortansprüche der Menschen an ihre Wohn- und Arbeitsräume. Unterschiedliche Bedingungen beeinflussen die individuell empfundene Behaglichkeit: Es sind 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 Effizienzverluste erhalten bleibt. Elemente mit beweglichen Teilen sind besonders wartungsintensiv. Damit Wartungsvorgänge nicht vergessen gehen, sollte ein Wartungsplan erstellt werden. Der Ersatz defekter und alter Anlageteile bietet eine Chance zur Verbesserung der Energieeffizienz. Die Auswechslung eines Heizkessels, einer alten Umwälzpumpe oder der Heizungsregelung helfen Energie sparen. Im Bereich der Brauchwassererwärmung sollen elektrische Boiler durch alternative Lösungen ersetzt werden. Bei Wasch-, Kühl- und Haushaltgeräten ist der besten Energieklasse, bei elektronischen Geräten den Modellen mit Energy-Star-Label der Vorzug zu geben.

5. Dämmung der Gebäudehülle

5.1 Zielsetzungen, Strategien, Planungsmethodik

Die Ziele der an energetischen Nachbesserungen und Sanierungen der Hüllen von Baudenkmalern beteiligten Disziplinen (Bauphysik, Energie, Denkmalpflege, Architektur, Handwerk) sind vielfältig und nicht immer kongruent. Ein Grundverständnis aller Beteiligten für die Disziplinen der Gesprächspartner und deren Ziele ist daher eine wichtige Voraussetzung für eine konstruktive Zusammenarbeit.

Unterschiedliche Ziele

Die ungeschmälerte, langfristige Erhaltung des Baudenkmal ist das Hauptziel der Denkmalpflege. Substanzerhaltung und die Wahrung der Wirkung ist die Maxime, denn es geht darum, das Baudenkmal der Nachwelt möglichst integral zu tradieren. Die Gebäudehülle ist daher für die Denkmalpflege ein wesentliches Element.

Aus energetischer Sicht übergeordnetes Ziel, das sollte nicht vergessen gehen, ist die Reduktion des Treibhausgas-Ausstosses, insbesondere des CO₂. Das kann durch die Reduktion des Heizenergieverbrauchs und durch den Ersatz von fossilen Brennstoffen durch erneuerbare Energien erreicht werden. Erstere bewirkt man durch die Wahl effizienter Systeme, durch die Lenkung der Verbraucher oder durch die Dämmung der Gebäudehüllen. Bund und Kantone setzen auf einen Lösungscocktail aus allen Massnahmen, welcher jedoch die Hüllndämmung stark gewichtet. Weitgehende Dämmung wird in Gesetzen und Verordnungen verlangt und durch Förderbeiträge unterstützt. Die heute eingesetzten, grossen Dämmstärken sind durch energetische Zielsetzungen bestimmt, deren Dringlichkeit nicht bestritten wird.

Gebäudeeigentümer und Gebäudenutzer sind bezüglich ihrer Bedürfnisse eine heterogene Gruppe. Professionelle Anleger beabsichtigen eine Marktwertsteigerung ihrer Liegenschaften mittels energetischer Sanierungen, die öffentliche Hand rüstet ihre Liegenschaften bis zum Minergiestandard nach. Private kombinieren anstehende Renovationen mit einer energetischen Sanierung; sei es aus Überzeugung, um für die Verbesserung des Klimas einen Beitrag zu leisten, oder zur Einsparung von Heizenergie und der damit verbundenen Kosten. Staatliche Förderbeiträge motivieren zusätzlich. Manche Eigentümer gehen mit grosser Verantwortung an die Aufgabe heran, ihr Baudenkmal zu schonen und trotzdem energetisch zu verbessern. Interessanterweise stehen ökonomische Gesamtüberlegungen mit Amortisationsrechnungen kaum je im Vordergrund. Aus ökonomischer Sicht sollte die Amortisationsfrist immerhin noch in einem sinnvollen Verhältnis zur erwarteten Gesamtlebensdauer eines Bauteils stehen.

Die als Hochstudhäuser konstruierten Vielzweckbauten des Mittellands waren oft als leichte Holzständerbauten mit Brettfüllungen konstruiert. Diese rasch auskühlenden, mit der Zeit undichten Bauten mit Barackenklima wurden in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts als Wohnhäuser oft gerade aus Komfortgründen aufgegeben. Stallungen und Lagerräume wurden weitergenutzt, bis sie als solche auch nicht mehr genügten. Einzelne dieser bezeichnenderweise «Althuus» genannten Bauten wurden zu Museen, andere konnten längerfristig nur überleben, wenn sie wieder einer intensiveren Nutzung zugeführt wurden. Einige wurden sowohl hinsichtlich des Barackenklimas wie auch der Dichtigkeit stark verbessert und wieder zu Wohnhäusern hergerichtet. Die Aussenhülle blieb erhalten, das Dach erhielt eine neue Eindeckung aus Faserzementschiefer.



Althuus, Buch, Gemeinde Mühleberg (BE), innengedämmt, 1982/83 (Abb. 25)

Aus architektonischer, ökonomischer und denkmalpflegerischer Sicht sind nachträgliche Hüllndämmungen nicht unproblematisch. Die Suche nach alternativen Lösungen hat eingesetzt.

Eine neue Perspektive eröffnet das LowEx-Konzept des Instituts für Technologie der ETHZ¹. Sie gehen von der Tatsache aus, dass die unbegrenzt zur Verfügung stehenden, erneuerbaren Solar- und Windenergien mithilfe von Erdspeichern saisonal gesammelt und damit ganzjährig eingesetzt werden können. Der neue Ansatz für sogenannte «LowEx-Gebäude» besteht darin, die Kapazität so zu bewirtschaften, dass das System Gebäude über die Speicher bei tiefst möglichen Investitions- und Unterhaltskosten CO₂-frei betrieben werden kann.

Das Konzept stellt aus ökonomischen und architektonischen Überlegungen eine weitgehende Hüllndämmung infrage. Gemäss den Studien von Leibundgut sind ab $R = 1.5\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ ($U = 0.65\text{ W}/\text{m}^2\text{K}$) alle Bedingungen be-

¹) Institut für Technologie, Prof. Hansjürg Leibundgut

züglich Komfort und Bauphysik erfüllt. Es treten keine Pilzbildung und keine Bauschäden auf. Ab $R = 3\text{m}^2\text{K}/\text{W}$, also $U = 0.33\text{ W}/\text{m}^2\text{K}$, wird der Grenznutzen der zusätzlichen Dämmung rasch sehr klein.

Zielkonflikte

Wo unterschiedliche Ziele verfolgt werden, können Zielkonflikte entstehen, so zwischen den energetischen Zielen und denjenigen der Denkmalpflege. Diese Zielkonflikte sind in teilweise widersprüchlichen Gesetzen und Reglementierungen auf Bundes- und Kantonebene abgebildet.

Energie und Denkmalpflege sind heute beide gesetzlich verankerte nationale Interessen. Bei der Interessenabwägung im Konfliktfall muss indes folgender fundamentale Unterschied im Wesen beider Anliegen berücksichtigt werden:

Energie ist erneuerbar oder durch erneuerbare Energie substituierbar. Das Denkmal ist in jedem Fall ein Unikat und nicht ersetzbar.

Baudenkmäler und Energie sind beide wertvolle Ressourcen, aber sie sind unterschiedlicher Natur: Jedes Baudenkmal ist ein Unikat, jeder noch so kleine Verlust ist definitiv. Energie ist erneuerbar und sie ist flexibler als Baudenkmäler. Nicht erneuerbare Energien sind ersetzbar durch erneuerbare, diese stossen (fast) keine Treibhausgase aus und erfüllen damit das ursprünglich angestrebte energetische Ziel, auch ohne Zerstörung des Baudenkmals.

Strategien

Die Aufgaben im Zusammenhang mit energetischen Sanierungen von Gebäudehüllen sind vielfältig und die getroffenen Lösungen nicht weniger. Die Palette reicht vom privaten Hausbesitzer, der in eigener Regie ein Zimmer dämmt oder beim benachbarten Schreiner neue Fenster für die Wetterseite bestellt, bis zu energetischen Gesamtanierungen von komplexen Grossanlagen wie Siedlungen, Schul- und Kasernenbauten. Zwar sind die Anzahl der am Planungsprozess Beteiligten, die Planungsaufgaben selbst und auch die Planungskosten sehr unterschiedlich, die Strategie des Vorgehens und die Methodik der Planung bleiben aber in den Grundsätzen gleich.

Interdisziplinäre Zusammenarbeit ab Planungsbeginn

Um zu vermeiden, dass Projektängel erst im Rahmen des Baubewilligungsverfahrens aufgedeckt werden, müssen alle in die Planung massgeblich Involvierten den Planungsprozess, wenn auch unterschiedlich intensiv, von Anfang an begleiten. Diese auf den ersten Blick aufwendige Strategie verlangt eine rege interdisziplinäre Kommunikation. Das Know-how und die möglichen Schranken der beteiligten Disziplinen fliessen früh ein und sind dadurch dem verantwortlichen Planer rechtzeitig bekannt. Der Planungsprozess selbst wird planbar und auf die konkrete Aufgabe abstimmbare. Fehlplanungen (Fehlinvestitionen) können vermieden werden, wenn die richtigen Schritte in der richtigen Reihenfolge rechtzeitig befolgt werden. Die gemeinsame Diskussion schafft Verständnis für die anderen involvierten Disziplinen und mehr gegenseitige Akzeptanz. Dadurch werden die Beteiligten zu grösserem Input für die Lösungsfindung motiviert. Wenn alle am Lösungsprozess massgeblich Beteiligten von Anbeginn einbezogen sind, ist der Aufwand zur Konsensfindung am geringsten.

Methodik der Planung

Die erste Phase der Planung dient der baugeschichtlichen, bautechnischen und energetischen Grobanalyse. Dazu gehört in der Regel eine Objektbegehung mit den für den Aufgabenkreis massgeblich beteiligten Partnern (Bauherrschaft, Planer, Denkmalpflege, Fachleute Energie und Bauphysik). Die Gebäudeunterlagen wie Energieverbrauchszahlen, Planmaterial, vorhandene Berichte und Expertisen sind für diesen Anlass sehr dienlich. Die Begehung dient auch der Organisation des Planungsprozesses sowie dem gegenseitigen Kennenlernen der am Planungsprozess Beteiligten. Die Machbarkeit von Konzeptansätzen wird interdisziplinär diskutiert. Erst jetzt kann der Planer zusammen mit den Spezialisten seine Arbeit angehen (Vorprojekt, Qualitätsverfahren). Liegt das Vorprojekt (eventuell in Varianten) vor und sind die Baukosten geschätzt, sollen Verhältnismässigkeit und Nachhaltigkeit der energetischen Massnahmen geprüft werden. (z.B. Amortisationsrechnungen), ein Prozessschritt, der oft vergessen wird. Es folgt die Phase der finanziellen und baurechtlichen Vorabklärungen (z.B. Bauvoranfrage, Beiträge Denkmalpflege, Förderbeiträge Energie). Die weiteren Schritte unterscheiden sich kaum noch von gewöhnlichen Bauvorhaben.

5.2 Dämmung der Gebäudehülle – Möglichkeiten und Grenzen beim Baudenkmal

Dämmen der Gebäudehülle gehört heute zu den häufigsten Massnahmen zur Einsparung von Heizenergie. In der Regel bedeutet das: Verschalen der Aussenmauern, Dämmung des Daches und energetische Aufrüstung der Fenster – meistens Ersatz aller bestehenden Fenster durch neue Isolierglasfenster.

Für durchschnittliche Altbauten kann diese Standardlösung geeignet sein, sofern die Energiebilanz stimmt. Für Baudenkmäler ist sie es nicht. Warum? Eine neu aufgebrachte Schicht, egal aus welchem Material und in welcher Stärke, heisst, die historische Oberfläche zum Verschwinden zu bringen: Putze, Steine, Fugenbilder oder Baugliederungen wie Gesimse, Lisenen, Pilaster, Tür- und Fenstergewände werden überdeckt. Geschichtszeugen sollen jedoch «im ganzen Reichtum ihrer Authentizität» überliefert werden¹ und nicht etwa nur ihre Kubatur oder ihr «Bild». Wert und Bedeutung liegen in ihrer geschichtlich bedingten Vielfalt, in konstruktiven, materiellen oder gestalterischen Eigenschaften sowie in ihren Alters- und Nutzungsspuren als Belegen ihrer Geschichte. Sodann verändert eine neue Schicht auch die Proportionen (z.B. Leibungstiefe) und nivelliert zwangsläufig das Erscheinungsbild einer differenzierten Baulandschaft. Davon ist auch die Architektur der Moderne seit dem Neuen Bauen betroffen, die ihre Gestaltungsmittel «minimalistisch» auf Proportionen und Flächen reduziert. Jede Veränderung der Massverhältnisse mindert die Entwurfsqualitäten und führt schnell zur Verunstaltung. Schliesslich fehlen auch noch Erfahrungen und verlässliche Ergebnisse über die Langzeitwirkung von Volldämmungen auf die Bausub-

Dennoch: Baudenkmäler lassen sich energetisch optimieren. Zwar können die Normen und Werte für Energieeffizienz nicht immer erreicht werden. Doch lassen sich durch sinnvolle Kombination von betrieblichen und baulichen Massnahmen sowie durch Kompensation in den meisten Fällen signifikante Verbesserungen erreichen. Am Baudenkmal nicht erreichte CO₂-Einsparungen lassen sich durch Einschränkungen in anderen Bereichen kompensieren. Für jedes Baudenkmal muss ein individuelles Energiekonzept entwickelt werden, das auf den historischen Bestand abgestimmt ist und angemessen reagiert. Um die Zukunftsfähigkeit so lange wie möglich zu sichern, ist jede Baumassnahme genau auf ihr Schadenspotenzial zu prüfen, wobei der Zeithorizont bei Baudenkmälern über die handelsübliche Garantie- und Abschreibungsfrist weit hinausgeht.

stanz während der Nutzungsphase und danach, wenn sie entfernt und ersetzt werden müssen.

Wann und wo kann Wärmedämmung angebracht werden?

Um unnötige Kosten (und damit Energie) zu sparen, sollten Baumassnahmen zur Energieeinsparung dann vorgenommen werden, wenn sie für eine weitere Nutzung unerlässlich sind und wenn sie an die üblichen Erneuerungszyklen der jeweiligen Bauteile gekoppelt werden können.

Die Überprüfung der Anlagentechnik, insbesondere der Heizung, steht beim Baudenkmal stets vor der Hüll-dämmmassnahme. Der Einsatz einer (fast) CO₂-freien Heizanlage entlastet das Denkmal, weil es primär um die Reduktion des CO₂-Ausstosses und nicht um die Dämmung geht. Dämmmassnahmen sind aber auch beim Baudenkmal durchaus prüfenswert. Aussen kann nur in bestimmten Fällen gedämmt werden, so etwa hinter Wetterfassaden, auf ungestalteten Hoffassaden oder Brandmauern. Ist jedoch die historische Verkleidung konstitutiver Teil des Denkmals und wird sie durch die Abnahme gefährdet, dann müssen andere Lösungen gefunden werden. Nur selten wird das die Innendämmung sein. Die bauphysikalisch heikle Innendämmung verbietet sich, wenn innere Raumdisposition und feste Raumausstattung erhaltungswürdig sind. Dies nicht nur, weil vorhandene historische Oberflächen wie Täfer, Tapeten, Wandbe- spannung oder Putze gefährdet sind, sondern weil die Anschlüsse an Erker, Fenster- und Türrahmungen oder an gekahlte und stukkerte Decken zum Problem werden. Bei kleinen Räumen verursacht eine dicke Isolations- schicht zusätzlich Platzprobleme.

Dagegen stellt sich die Isolation der Kellerdecke von unten gegen das beheizte Erdgeschoss (Ausnahme: Gewölbekeller) und des Estrichbodens gegen den unbeheizten Dachraum in der Regel als unproblematisch und effizient dar. Wird im Dachgeschoss gewohnt, so ist die Lösung der eingestellten «Wohnbox», die ihrerseits gegen den Rest des kalten Dachraumes isoliert wird, dem voll ausgebauten Dachraum vorzuziehen. Wichtig ist, dass im Dachraum das ursprüngliche Klima unverändert bleibt und dass Dachwerk und Dachhaut zugänglich und pflegefähig bleiben (siehe Kap. 8. Sanierungsmassnahmen Steildach).

Verzicht auf Wärmedämmung

Ein völliger Verzicht auf Wärmedämmmassnahmen ist dann angezeigt, wenn die Denkmalsubstanz durch diese Massnahmen eine unmittelbare oder längerfristig abzusehende Zerstörung (z.B. Feuchteschäden) oder aber gravierende optische Veränderungen zur Folge hätten. Auf Wärmedämmung muss verzichtet werden, wenn ein

¹) Charta von Venedig: www.bak.admin.ch/bak/themen/kulturpflege/00513/00524

bauphysikalisches Risiko für das Baudenkmal besteht. Ist Wärmedämmung einmal aus Erhaltungsgründen angezeigt, so beschränkt man sich auch hier auf den kleinstmöglichen Eingriff und auf möglichst reversible Massnahmen.

5.3 Wärmedämmkonzepte für opake Bauteile

Nachträgliche Hülldämmungen verändern Temperaturverlauf und Dampfdiffusion durch die Gebäudehülle. Je nach Lage, Stärke und Materialisierung der Dämmschicht wird die winterliche Kondensatmenge erhöht und daher oft eine zusätzliche dampfbremsende Schicht eingebaut. Mit ihr wird jedoch das Austrocknungsverhalten verändert. Auch in ungedämmten, historischen Konstruktionen, wie raumseitig vertäfelten Aussenmauern, fallen bei entsprechenden klimatischen Bedingungen Kondensate an. Erstens sind dies im Normalfall aber kleine Mengen, zweitens sind die Konstruktionen diffusionsoffen, das heisst, je nach Dampfdruckgefälle können die Kondensate nach innen oder nach aussen diffundieren. Dämmkonzepte umfassen die Wahl der zu dämmenden Bauteile, der Dämmebene (bezüglich der Konstruktion) und die Bestimmung der Dämmmaterialien bezüglich ihrer Dampfdiffusionseigenschaften und ihrer Schichtstärke. Der Übersichtlichkeit halber werden Dämmumfang, Dämmebene und die Dämmmaterialisierung getrennt besprochen.

Dämmebenen Neubau/Altbau

Dämmumfang: gesamte Hülle

- Boden
- Wände
- Dachboden, Dach

Dämmebene:

- Die Aussenwärmedämmung
- Die Kern- und Hohlraumdämmung
- (Die Innenwärmedämmung)

Dämmebenen Baudenkmal

Dämmumfang: häufig partiell (einzelne Bauteile)

- Boden
- (Wände)
- Dachboden, (Dach)

Dämmebene:

- Innenwärmedämmung
- Kern- und Hohlraumdämmung partiell
- (Aussenwärmedämmung)
- Kombinierte Dämmungen (Hybride)
- Autonome gedämmte Hüllen innerhalb der Gebäudehülle («Haus im Haus»)

Dämmumfang und Dämmebene

Die konsequente Umsetzung eines Dämmkonzeptes ist bei bestehenden Bauten, die nachträglich gedämmt werden, nicht einfach. Bei Baudenkmalen wird die Aufgabe noch komplexer, weil häufig nur partiell gedämmt werden kann und oft auch zwei oder mehr Konzepte kombiniert werden müssen. Wir sprechen in diesen Fällen von hybriden Konzepten.

Das bauphysikalisch naheliegende Konzept, die Aussendämmung, gelangt bei Baudenkmalen nur selten zur Anwendung, weil dadurch die Aussengestalt des Denkmals stark geschmälert und seine Aussenoberflächen beschädigt würden. Daher sind viele der Baudenkmalen, die überhaupt dämmbar sind, eher innen dämmbar. Die Innendämmung jedoch ist aus bauphysikalischer Sicht nicht unproblematisch, und sie kann aus denkmalpflegerischer Sicht nur da zur Anwendung gelangen, wo keine wertvollen inneren Oberflächen vorhanden sind. Werden die bekannten, bauphysikalisch bedingten Einschränkungen berücksichtigt, so sind reduzierte Innendämmungen durchaus machbare Lösungen, welche die energetischen und denkmalpflegerischen Bedürfnisse berücksichtigen.

Hohlraumdämmungen sind inhomogene Dämmungen in der Konstruktionsebene. Die Zwischensparrendämmungen des Dachs und Fassadendämmungen von Skelettbauten – z.B. Holzständerbauten – sind klassische Hohlraumdämmungen.

Inhalt und Umfang eines Wärmedämmkonzeptes

Das Wärmedämmkonzept für ein Baudenkmal muss in interdisziplinärer Zusammenarbeit zwischen Planerinnen, Bauphysiker und Denkmalpfleger ausgearbeitet werden. Im Kapitel 5.1 Zielsetzungen, Strategien, Planungsmethodik wird eine bewährte Vorgehensweise dargelegt.

Wichtig ist eine gesamtheitliche Betrachtungsweise. Das Gebäude ist als ein Gesamtsystem zu begreifen und zu behandeln. Hülldämmung und Anlagentechnik gehören ebenso wie Konstruktion, Nutzung und Form zu einer gesamtheitlichen Betrachtung. Ein Wärmedämmkonzept umfasst einerseits die Bestimmung der zu sanierenden Bauteile (Boden, Wände, Fenster und/oder Dach). Es bestimmt andererseits die Lage der Wärmedämmung am Bauteil und legt damit den Dämmperimeter nach denkmalpflegerischen und bauphysikalischen Kriterien fest. Kurzfristig geplante Einzelmassnahmen gefährden die Substanz und verteuern oder verunmöglichen auf längere Sicht sogar Nachfolgearbeiten an anderen Bauteilen. Substanz- und Gestalterhaltung sowie Reversibilität der Massnahmen sind auch bei Dämmmassnahmen die Maximen.

Innenwärmedämmung

Denkmalpflegerische Aspekte

Hauptvorteil einer Innendämmung ist der Erhalt der äusseren Gestalt. Dafür werden die Innenoberflächen tangiert. Kann eine Dämmung angebracht werden, so sind die für die Dämmschicht notwendigen Hilfskonstruktionen so mit der Denkmalsubstanz zu verbinden, dass sie möglichst geringe Beschädigungen verursachen. Dämmmaterialien sollen reversibel mit der Aussenwandoberfläche verbunden werden. Bei mehrschichtigen Konstruktionen (Verkleidung, Täfer) wird die Verkleidung demontiert und nach dem Dämmen wieder montiert. Bei einschichtigen Konstruktionen (z.B. Holzständerwand mit Brett- oder Flecklingsfüllungen) und verputzten Wänden von Massivbauten wird das Original durch die Dämmung verdeckt. Hier muss eine neue Schutz- und Deckschicht raumseitig angebracht werden.

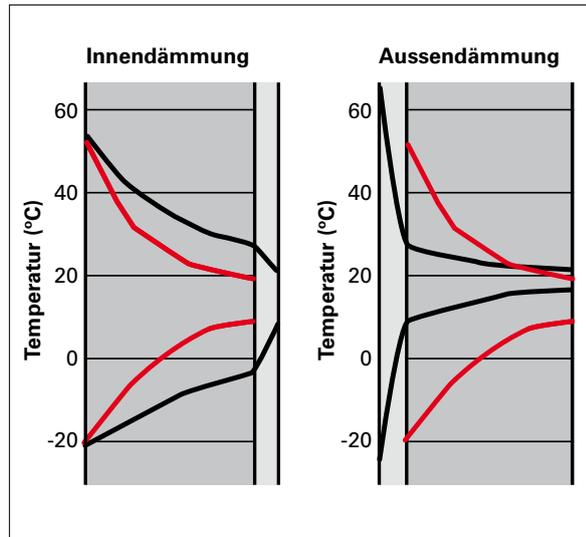
Neue Verkleidungen raumseitig der Dämmung

Für die neue Deckschicht raumseitig der Dämmung existieren mehrere Konzepte, die im konkreten Fall mit der Denkmalpflege zu diskutieren sind. Es sind etwa folgende Ansätze denkbar:

- a) Für mehrschichtige Konstruktionen wird die zur Dämmung demontierte Verkleidung meist wieder montiert. Die erhöhte Wandstärke bedingt Einkürzungen in den Raumecken.
- b) Für eine ursprünglich einschichtige Konstruktion kann die neue raumseitige Deckschicht als originalgetreue Kopie der jetzt verdeckten Originaloberfläche angelegt werden.
- c) Die neue Deckschicht wird bewusst vom Vorbild und von den übrigen Wänden abgesetzt, um den Eingriff zu deklarieren.
- d) Die neue Deckschicht ist vom verdeckten Vorbild abgeleitet und hat zum Ziel, die Einheitlichkeit des Raums und der Raumwirkung zu wahren, ohne das Original zu kopieren.

Bauphysikalische Aspekte

Die Innenwärmedämmung verändert das thermische Verhalten der Gesamtkonstruktion, und die Innendämmung ist nicht wärmebrückenfrei. Der starke Temperaturabfall innerhalb der Dämmung führt zu grösseren Temperaturschwankungen in der Konstruktion. Das Mauerwerk kühlt sich in der kalten Jahreszeit stärker ab als vor der Dämmung. Wie nebenstehend abgebildetes Diagramm zeigt, kann die Temperatur der inneren Konstruktionsoberfläche in den Bereich des Gefrierpunkts absinken. Eine direkte zusätzliche Frostgefährdung wird jedoch bei gebrauchstauglichem Wetterschutz der Oberfläche als gering beurteilt. Hingegen ist das schlechtere Austrocknen der kälter gewordenen Aussenwände zu berücksichtigen.



Temperaturverhältnisse in der Konstruktion: ungedämmt (rot), mit Innen- und mit Aussendämmung (Abb. 26)

Kondensate im Konstruktionsinnern

Entsprechend zur Temperatur verschiebt sich der Taupunkt ins Konstruktionsinnere, in den Grenzbereich zur Dämmung. Das Risiko von grösseren Flächenkondensaten, die im Sommer nicht mehr auszutrocknen vermögen, besteht. Damit nicht zusätzlich konvektive Einträge anfallen, sind bei der Montage von Innendämmungen An- und Abschlüsse und Durchdringungen sorgfältig luftdicht abzuschliessen. Allerdings sind dichte Anschlüsse bei Altbauten meist nur schwer realisierbar und kaum kontrollierbar. Daher wird die Gefahr von konvektiven Feuchteinträgen als die grössere beurteilt, weil nicht flächig verteilte (wie bei den Diffusionsprozessen), sondern sehr lokale und intensive Kondensate ausgeschieden werden.

In den letzten Jahren haben Bauphysiker die Risiken von Innendämmungen bezüglich Flächenkondensaten etwas relativiert und die ihnen zugrunde liegenden Berechnungsmethoden (z.B. Glaserverfahren) infrage gestellt. Diese Haltung wird durch die jahrzehntelangen Erfahrungen mit der Innendämmung bestärkt. Die schlechtere Austrocknung infolge tieferer Temperatur ist eine Tatsache. Wenn lokal Kondensate, Regenfeuchte oder andere Mauerfeuchten kumuliert werden, kann die Konstruktion nicht mehr austrocknen, und es werden sich Feuchteschäden einstellen. Die ganzheitliche Betrachtung des zu dämmenden Bauteils und dessen mögliche Feuchtequellen ist wichtig.

Nebst den Kondensaten in der Konstruktion sind bei Innendämmungen Oberflächenkondensate, bedingt durch Wärmebrücken, zu beachten. Die klassischen Wärmebrücken bei Innendämmungen sind Geschossdecken-

Wandanschlüsse und die Trennwandanschlüsse an Fassaden. Aus energetischer Sicht kann die Nichtaufheizung der Baumasse als Vorteil gewertet werden. Vor allem für temporär genutzte Gebäude kann die rasche Aufheizbarkeit eines Raums ein gewichtiges Kriterium darstellen. Die Innendämmung bedeutet allerdings auch eine Reduktion der energetischen Nutzbarkeit der Wärmespeicherfähigkeit der Aussenwände.

Die Reduktion der Nutzfläche fällt normalerweise weniger ins Gewicht, weil mit reduzierten Dämmstärken, in der Regel zwischen 4 und 8 cm, gearbeitet wird.

Hohlraumdämmung

Hohlraumdämmungen sind zunächst in der Konstruktionsebene von stabförmigen Tragwerken liegende Dämmebenen. Aussenwände von Holzständerbauten, Zwischensparrendämmungen von Steildächern und die Ausdämmung von Schiebböden sind die klassischen Hohlraumdämmungen.

In einigen Fällen können auch zweischalige Mauerwerke mit Zwischenräumen ausgedämmt werden (Kerndämmungen). Aus bauphysikalischer Sicht ist das Verfüllen eines geschlossenen Luftzwischenraums ab 2 cm bereits sinnvoll (U-Wert 2 cm Luft = 1.0) bautechnisch jedoch nicht immer machbar. Schliesslich können Hohlräume zwischen Konstruktion und Innenverkleidungen ausgedämmt werden (z.B. Cellulose). Steht genügend Zwischenraum zur Verfügung, so ist diese Lösung aus denkmalpflegerischer Sicht zu bevorzugen, weil sie keine Substanz zerstört. Vielfach sind die Hohlräume zu knapp, so dass die Innenverkleidung ausgebaut werden muss. In diesen Fällen wird oft zusätzlich zur Hohlraum- eine reduzierte Innendämmung angebracht. Für Dämmungen ohne Demontage der einen Begrenzungsschicht bedingt die Ausführung hohe Präzision und geeignete Kontrollen der Massnahmen. Das gilt insbesondere für die Kerndämmungen von Zweischalenmauerwerken. Hier werden Feingranulate aus recyceltem Glasschaum und aus Quarzsand, aber auch aus Aerogel (Lambdawert von 0.018 W/mK) eingesetzt.

Aussenwärmedämmung

Das aus bauphysikalischen, technischen und ökonomischen Überlegungen favorisierte System der Aussenwärmedämmung gelangt an Denkmälern für Kellerdecken (Hourdisdecken, Balkenlagen, Betondecken) oder auch für erdberührende Böden kellerloser Gebäude zur Anwendung. Als Dachbodendämmung von Gebäuden mit Steildächern ist sie aus denkmalpflegerischer und bauphysikalischer Sicht meist die geeignete Lösung. Wird das Steildach selbst gedämmt, so führt die Aufsparrendämmung zu unliebsamen Erhöhungen von Ort- und Traufabschlüssen. Die Aussenwand ist meist die wich-

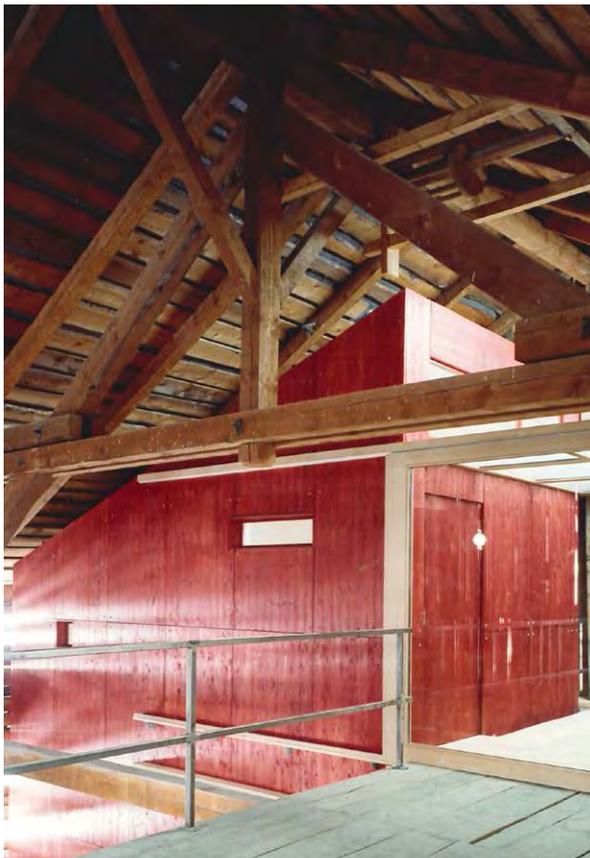
tigste Fläche des Baudenkmals sowohl in Bezug auf die Substanz als auch auf seine Gestalt. Die Aussenwärmedämmung ist daher sowohl für das Einzeldenkmal wie auch für das dieses umgebende erhaltenswerte Ortsbild sehr problematisch. Einfache Fachwerk-, Mauer- und Holzbauten, die selbst keine Baudenkmäler, hingegen Teile von bedeutenden Ortsbildern sind, werden durch Aussenwärmedämmungen stark verändert. Ganze Strassenzüge werden dadurch vereinheitlicht, die Fassaden simplifiziert, nicht selten banalisiert.

In Einzelfällen sind reduzierte Aussenwärmedämmungen aber durchaus möglich und sinnvoll. So bietet sich etwa bei hinterlüfteten Konstruktionen mit spezifischen Witterschutzschichten, wie einfachen Schindel- oder Brettfassaden, die erneuerungsbedürftig sind, eine reduzierte Aussenwärmedämmung zwischen Fassade und Schindelmantel an. An Gebäuderückseiten und Hofansichten – insbesondere wenn ein jüngerer Zementputz entfernt werden muss, weil er zu dicht ist – bietet sich eine Aussenwärmedämmung mit Dämmputzen an.

Die bauphysikalisch geeignete Aussenwärmedämmung (keine Wärmebrücken) schützt die Aussenwände vor grossen Temperaturschwankungen; sie selbst muss aber vor der Witterung geschützt werden, sei es über eine vorgehängte Fassade oder über einen geeigneten wasserabweisenden Putz. Hohe thermische Schwankungen erzeugen hohe Materialspannungen. Nebst thermischen Spannungsrisen (z.B. Plattenstösse) können mechanische Beschädigungen zum Eindringen von Feuchte in und hinter die Dämmung führen. Die Folge können Kondensate an der Konstruktionsaussenoberfläche sein. In klaren Nächten wird die Taupunkttemperatur an der Fassadenoberfläche unterschritten. Diese zusätzliche Feuchtezufuhr erhöht massgeblich das Risiko einer mikrobiologischen Besiedelung durch Algen, Moose und Pilze (Blau-, Grün- und andere Algen, Flechten, Moose, Schlauchpilze, Jochpilze und imperfekte Pilze). Aussenwärmedämmsysteme sind in der Regel nicht luftdicht, die Luftdichtigkeit muss von innen gewährleistet werden.

Autonome gedämmte Hüllen

Energetisch und architektonisch-räumlich interessante sowie denkmalverträgliche Lösungen können autonome gedämmte Körper innerhalb der nicht gedämmten Gebäudehülle darstellen. In grossen Dachräumen oder in umgenutzten alten Hallenbauten kann durch das «Haus im Haus»-Konzept die wertvolle Gebäudehülle unverändert erhalten bleiben (siehe Kap. 3.5).



Wohnbox in Stallscheune integriert, Ardez,
Architektin Mengia Mathys (Abb. 27)



Von-Roll-Areal Bern, Weichenbauhalle (1914),
Umnutzung mit «Haus im Haus»-Konzept (Abb. 28)

5.3.2 Massnahmen zur Regelung des Dampfdurchgangs

Dampfbremsen schützen wärmedämmte Bauteile vor in die Konstruktion diffundierender Raumlufffeuchte, und sie dienen gleichzeitig als Luftdichtheitsschicht. Statische Berechnungen und Modelle des Dampfdurchgangs (Glaserverfahren) konzentrierten sich auf das Flächenkondensat: Je dichter die Dampfbremse, desto weniger Feuchte kann in die Konstruktion gelangen. Seit der Mitte der achtziger Jahre wurden Innendämmungen systematisch untersucht¹. Es wurden seither wertvolle Erfahrungen in der Baupraxis gesammelt und schliesslich sind Rechenprogramme² entwickelt worden, die die komplexen und dynamischen Feuchtetransporte quantitativ erfassen können. Sie berücksichtigen die Feuchtespeicherung und den flüssigen Wassertransport durch Kapillar- und Sorptionsleitung mit. Klassische Dampfsperren und -bremsen vermindern (verhindern) Flächenkondensate in der Konstruktion, sie behindern aber das Austrocknen ins Rauminnere. Durch Leckagen bedingte konvektive Kondensate und Feuchtigkeit von aussen, z.B. Schlagregenfeuchte oder aufsteigende Feuchtigkeit, können wegen der Dampfbremsen kaum mehr nach innen austrocknen. Es kann unter Umständen sogar eine Umkehrdiffusion eintreten: Wasserdampf kann sich an der Aussenseite der Dampfbremse ansammeln. Gerade bei Altbauten und Baudenkmälern kommt den konvektiv bedingten Kondensaten eine grosse Bedeutung zu, weil Luftdichtheit auch bei seriöser Ausführung kaum lückenlos erreichbar ist.

«Tauwasserbildung durch Luftströmungen zwischen warmer und kalter Seite der Dämmung gilt für den Bauphysiker heute als ein wichtigeres Problem als die Diffusion. Hinterströmungen können in der Konstruktion ein Verschimmelungsrisiko erzeugen und – was entscheidend ist – mit der Rückströmung die Raumluff mit giftigen Sporen und Stoffwechselprodukten der Mikroorganismen (MVOC) belasten. (...) Die aktuelle Bauforschung legt besonderen Wert darauf, für Fälle mit den Risiken Schlagregen und Dampfkongvektion die Austrocknungspotenziale nach innen zu erhöhen, vor allem durch den Einsatz feuchtevariabler Dampfbremsen und kapillaraktiver Dämmstoffe.»³

Es wird daher nicht mehr versucht, Feuchtigkeit in der Konstruktion durch Dampfsperren oder weitgehende Dampfbremsen zu vermeiden, sondern sie zu lenken und zu beeinflussen, so dass sie auch nach innen austrocknen kann (Feuchtigkeitsmanagement). Zwei unterschiedliche Wege werden hier beschrritten. Entweder wird eine kapillaraktive Dämmung ohne explizite raumseitige Dampfbremse, allenfalls in Kombination mit einer raumseitigen Deckschicht, welche eine gewisse dampfbremsende Wirkung hat, eingesetzt, oder es wird eine Dampfbremse eingebaut, welche einen variablen Diffusionswiderstand

1) Versuche des Forschungsinstituts für Wärmeschutz in München (FIW) in Klimakammern

2) WUFI (IBP, Holzkirchen), Delfin 4, Cond 2002, beide TU Dresden et al.

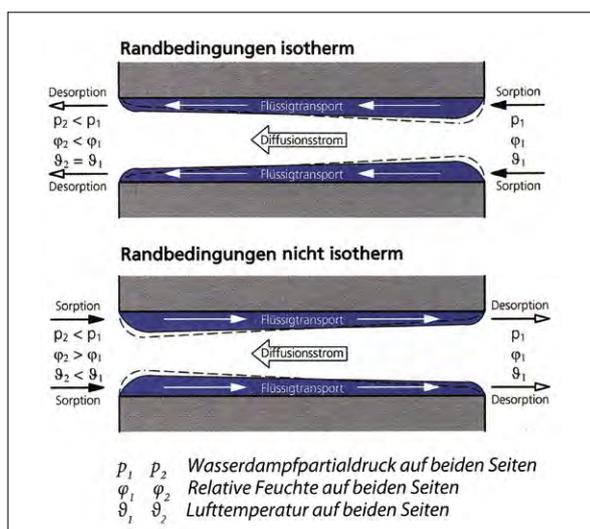
3) Robert Borsch-Laaks, Innendämmung – Risikokonstruktion oder Stand der Technik, Leipziger Bauschadens-tagung, 2005

besitzt. In beiden Fällen muss aber die Luftdichtheit gewährleistet sein. Die SIA-Norm 180.3 behandelt im Kapitel 6.3 die Begrenzung der Feuchte in der Konstruktion. Sie verweist auf die Mängel des Glaserverfahrens, verwendet aber der Einfachheit halber dieses zum Nachweis der zulässigen Feuchtigkeit. Der Nachweis ist erbracht, wenn es am Ende des Sommers kein Kondensationswasser in der Konstruktion gibt und die in der Kondensationsperiode aufsummierte Kondensationsmenge in der angrenzenden Schicht folgende Werte nicht überschreitet: Holz- und Holzwerkstoffe 3% der Schichtmasse; Wärmedämmstoffe 1% des Schichtvolumens und für kapillaraktive Baustoffe 800 g/m². Für kritische Fälle soll nicht das Glaserverfahren, sondern die dynamische Berechnung angewendet werden.

Kapillaraktive Dämmstoffe

Der Transport von flüssigem Wasser in hygroskopischen Baustoffen erfolgt durch kapillares Saugen in gefüllten Poren und durch Wasserleitung im Feuchtfilm an den Porenoberflächen (Sorption, vergleiche Kap. 3.4). Der Feuchtetransport durch Kapillar- und Sorptionsleitung liegt in derselben Größenordnung wie die Diffusion. Das heisst, dass kapillaraktive Stoffe grundsätzlich in der Lage sind, ähnliche Mengen Kondensate wieder an die Bauteiloberflächen zurückzubringen wie durch Dampfdiffusion eingebracht wurde. Die Wahl des Dämmmaterials ist also für die Innendämmung von zentraler Bedeutung.

Werden diffusionsoffene, aber nicht kapillaraktive Stoffe eingesetzt, soll eine Dampfbremse mit variablem Diffusionswiderstand eingesetzt werden.



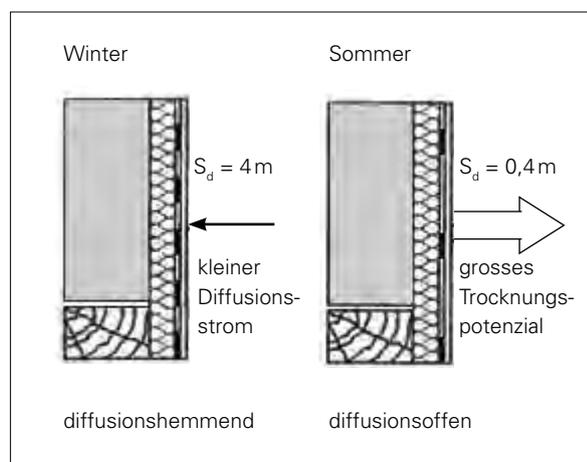
Feuchtetransportmechanismen in hygroskopischen (kapillaraktiven) Baustoffen (Abb. 29)

Dampfbremsen mit variablem Diffusionswiderstand

Diese in Bahnen verlegten Dampfbremsen können aufgrund ihrer Funktionsweise in feuchteadaptive und kapillaraktive Systeme eingeteilt werden. Erstere passen ihren Sd-Wert der Umgebungsfeuchte an. Die kapillaraktive Dampfbremse hingegen besteht aus einem stark wassersaugenden Vlies, welches bei Bedarf die anfallende Feuchtigkeit aufnehmen und kapillar raumwärts weiterleiten kann.

Feuchteadaptive Dampfbremsen

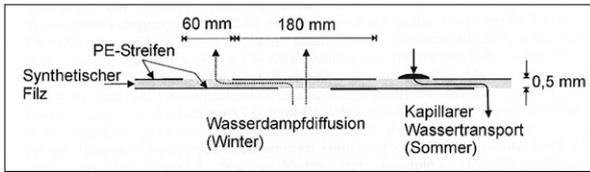
Die feuchteadaptive Dampfbremse wurde am Fraunhofer Institut für Bauphysik in Holzkirchen entwickelt und 1997 auf den Markt gebracht. Sie findet seither eine breite Anwendung. Die feuchteadaptiven Dampfbremsen, spezielle Papiere oder Kunststoffgewebe (Polyamid), besitzen die Eigenschaft, dass sich ihr Wasserdampfdiffusionswiderstand feuchteabhängig verändern kann: bei winterlicher trockener Luft hemmt sie den Dampfeintritt, im feuchteren Sommerklima bei 60–65 % Luftfeuchtigkeit oder auch in anderen Jahreszeiten bei witterungsbedingter Umkehrdiffusion baut sie ihren Widerstand ab, sodass die Austrocknung der Konstruktion, beispielsweise nach einem Regen, erfolgen kann.



Funktionsweise der feuchteadaptiven Dampfbremse (Abb. 30)

Kapillaraktive Dampfbremsen

Kapillaraktive Dampfbremsen bestehen aus einem Filz, der mit wechselseitig überlappenden Polyethylenstreifen versehen ist. Die Polyethylenstreifen sorgen für einen ausreichenden Dampfdiffusionswiderstand im Winter. Wenn die Dampfbremse aber nass wird, saugt der Filz die Feuchte auf und verteilt sie mittels Kapillarleitung auf die andere Seite der Dampfbremse, von wo sie in den Raum verdunsten kann. Voraussetzung für diesen kapillaren Transport ist eine relative Feuchte gegen 80%.



Aufbau der kapillaraktiven Dampfbremse (Hygrodiode) (Abb. 31)

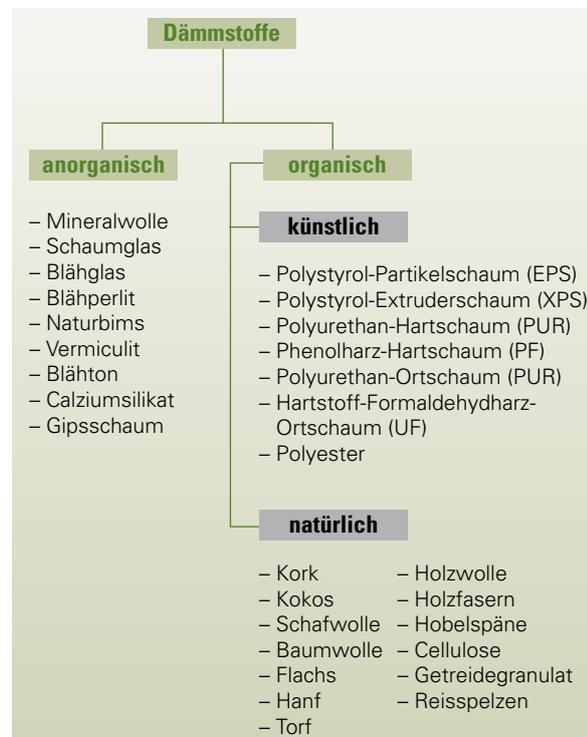
Für Dächer werden heute häufig kapillaraktive (aus Polyethylen) mit einem Sd-Wert von 0.3–13.5 m und feuchteadaptive Dampfbremsen mit einem Sd-Wert von 0.15–3.8 m eingesetzt, für Aussenwände feuchteadaptive Dampfbremsen mit einem sd-Wert von 0.15–3.8 m. Die konkrete Konstruktion muss in jedem Fall einzeln durch die Fachleute eruiert werden.

5.3.3 Wärmedämmstoffe

Die Dämmstoffe wurden für die Industrie erfunden. Seit dem Einsatz der Dampfmaschine im Produktionsprozess wurden sowohl hitze- als auch feuchtigkeitsunempfindliche «Isolationsmaterialien» systematisch entwickelt, um die hohen Wärmeverluste an Kesselanlagen und Rohrleitungen und die damit verbundenen Betriebskosten zu reduzieren. Die Bedeutung des baulichen Wärmeschutzes rückte über den Umweg der Gesundheits- und Hygienediskussion zu Beginn des 20. Jahrhunderts zunehmend in den Fokus von Baufachleuten. Aus der Erkenntnis, dass wärmedichtere Bauten gesünder und ökonomischer sind, resultierte zunächst die Forderung nach einem adäquaten Tauwasserschutz und genügend dicken Gebäudemauern. Die angebotenen Dämmstoffe für das Bauwesen (beispielsweise Kork-, Torf- und Holzwolleleichtbauplatten oder auf Bitumenpapier gesteppte Glaswolle) verzeichneten Ende der 1930er-Jahre nur einen geringen Absatz. Anwendung fanden sie vorzugsweise im Decken- und Dachbereich. Für Aussenwände wurden beidseitig verputzte Mauerwerke mit genügender Stärke bis in die Zeit des Wiederaufbaus nach 1945 als Massstab für eine ausreichende Wärmedämmung und -speicherung propagiert. Die Dämmstoffindustrie wurde bis Anfang der 1960er-Jahre nur am Rande wahrgenommen, energetische Standards für Aussenwände blieben bis zur Ölkrise 1973 auf dem Niveau des späten 19. Jahrhunderts, und Dach- und Deckendämmungen mit Dämmstärken zwischen 6–8 cm blieben Schwerpunkt der Dämmstoffanwendungen. Wanddämmungen kamen allenfalls als Innendämmung für betonierte Wände in Frage; Aussendämmsysteme fanden wegen hoher Herstellungskosten nur selten Anwendung. Die in den 1960er-Jahren stetig wachsende Produktion von Fertighäusern schuf ein neues Feld für Dämmstoffanwendungen, besonders von Glas- und Steinwolle. Ergänzt wurden die Dämmstoffe durch Hartschäume wie Polyurethan, Polystyrol und Schaumglas, auch aufgrund ihrer feuchtetechnischen Vorteile.

Erst als Folge der Ölkrise von 1973 wurde die Hüll- dämmung zum Thema und erst seit den 1980er-Jahren verlangen die kantonalen Energiegesetze und die entsprechenden Verordnungen die Dämmung der Gebäudehülle. Dämmstoffe sind Baustoffe, die aufgrund vieler Hohlräume ein grosses Volumen bei geringem Gewicht haben. Die ruhende, zum Teil eingeschlossene Luft, die im Vergleich zu Festkörpern ein schlechter Wärmeleiter ist, bewirkt die wärmedämmende Eigenschaft dieser Materialien. Der Markt bietet heute eine Vielzahl unterschiedlichster Dämmstoffe an. Wir unterscheiden mineralische, synthetisch-mineralische, synthetische, pflanzliche und tierische Dämmstoffe.

Dämmstoffauswahl



(Abb. 32)

Bei der Materialwahl gelangen sehr unterschiedliche Kriterien zur Anwendung. Nebst technischen und bauphysikalischen Kriterien (Wärmeleitfähigkeit, Speichervermögen, Kapillar- und Sorptionsverhalten, Schallschutzeignung, ...) spielen die Resistenz gegen biogene Schädlinge und das Gefährdungspotenzial für die menschliche Gesundheit eine Rolle. Synthetische Mineraldämmstoffe und synthetische Stoffe sind vergleichsweise preisgünstig bei ausgezeichneten Dämmeigenschaften. Daher machen sie den Löwenanteil des Dämmstoffmarkts aus. Ihre Herstellung verbraucht aber vergleichsweise mehr Energie als die Herstellung von pflanzlichen und tierischen Dämmstoffen (graue Energie, Rezyklierbarkeit). Die Systeme werden auch kombiniert: Beispielsweise ist eine Dämmplatte aus Polyurethan-

Hartschaum erhältlich, die mit einem hoch kapillaraktiven mineralischen Material gefüllt ist und somit die guten Dämmeigenschaften eines synthetischen Materials mit den Kapillareigenschaften eines mineralischen Dämmstoffs verbindet.

Anteil an grauer Energie

	kg/m ³	MJ/kg	MJ/m ³
Perlite, Schüttung	100	9.3	930
Perlite, Platten	100	17.1	2565
Schaumglas	100–165	59	6195–9735
Steinwolle	30–110	15.7	492–3280
Glaswolle	12–80	41	471–1727
Polystyrol XPS	20–60	109	2180–6540
Polystyrol EPS	15–40	105	1575–4200
Polyurethan-Hartschaum	30	102	3060
Cellulose	33–80	3.2	106–256
Kork	90–120	12.7	1524
Holzfaser	90–120	20	1800–2400
Baumwolle	20–60	17.6	352–1056
Schafwolle	25–65	16.4	410–1066

Herstellungenergie ausgewählter Dämmstoffe (Abb. 33)

Ausgewählte bauphysikalische Eigenschaften

Feuchteverhalten

Die in einem Dämmmaterial enthaltene Feuchtigkeit beeinflusst die Wärmeleitfähigkeit materialabhängig unterschiedlich. Mit zunehmender Feuchte können sich die Wärmedämmeigenschaften verschlechtern. Pflanzliche Dämmstoffe sind hier den synthetischen Varianten in der Regel überlegen.

Wärmespeichervermögen

Das Wärmespeichervermögen von Dämmstoffen spielt bei leichten Bauten, Holzbauten und Holzbauteilen (Dach) eine grosse Rolle. Dämmmaterialien sind naturgemäss leicht. Vergleichsweise schwere Dämmmaterialien wie Cellulose vermögen bei Leichtbauten das Wärmespeichervermögen (sommerlicher Wärmeschutz) wesentlich zu verbessern. Cellulose kann tagsüber bei grosser Sonneneinwirkung viel Wärme speichern, um sie dann nachts, wenn es kühler geworden ist, wieder nach innen und aussen abzugeben.

Diffusionsoffene Dämmstoffe

Um den Begriff der Diffusionsoffenheit herrscht in der Praxis einige Verwirrung. Diffusionsoffenheit hat weder

mit der Luftdichtigkeit eines Gebäudes noch mit der «Atmung» eines Gebäudes zu tun. Ein Gebäude, das energetisch effizient sein soll, muss heute luftdicht sein, um konvektive Verluste zu vermeiden. Diffusionsoffen hingegen heisst wasserdampfdurchlässig. Baustoffe sind unterschiedlich wasserdampfdurchlässig, viele davon sind diffusionsoffen, auch vermeintlich nicht offene Dämmmaterialien wie Mineralwolle oder expandiertes Polystyrol. Diffusionsdicht, also wasserdampfundurchlässig, sind nur wenige Materialien wie etwa Schaumglas oder XPS (extrudiertes Polystyrol). Hingegen bestehen Unterschiede bezüglich ihrer Fähigkeit, Feuchtigkeit zu speichern ohne dabei an Wärmedämmwert einzubüssen oder gar Schaden zu nehmen.

Kapillaraktive Dämmstoffe

Unter den diffusionsoffenen Dämmmaterialien gibt es vergleichsweise wenige, die nicht nur diffusionsoffen, sondern auch kapillaraktiv sind. Diese Materialien besitzen die Eigenschaft, durch Kapillarleitung Tauwasser im Dämmstoff zu verteilen und auch wieder (entgegen der Diffusionsrichtung) an die Innenraumbooberfläche zu transportieren, sodass die Feuchtigkeit auch im Winter wieder an den trockenen Inneraum abgegeben werden kann.

Kapillaraktive Dämmstoffe sind etwa: Mineralschaumplatten, Kalziumsilikatplatten, Leichtlehm, Holzwol-leichtbauplatten, Holzweichfaserplatten und Cellulose. Kapillaraktive Putze und Mörtel sind: Leicht- und Wärmedämmlehm, kapillaraktive Kalkputze, Perlitputze und Cellulose-Wärmedämmputze.

Die Wärmeleitfähigkeit kapillaraktiver Dämmstoffe ist zwar vergleichsweise höher, oder anders ausgedrückt, ihr Dämmwert ist geringer als die Werte der besten Dämmstoffe, aber gerade aus denkmalpflegerischer Sicht ist die Dämmung mit weniger Risiken verbunden. Verdeckte Kondensate sind nicht zu erwarten. Voraussetzung dafür ist allerdings, dass die Dämmung vollflächig mit der Innenoberfläche der alten Aussenwand in Kontakt steht. Bei unregelmässigen Oberflächen muss daher vor dem Anbringen der Dämmung eine Koppelungsschicht, in der Regel ein kapillaraktiver Ausgleichsputz, angebracht werden.

Für Mauerwerksdämmungen eignen sich kapillaraktive Mineralschaum- und Kalziumsilikatplatten. Diese Platten sind in der Lage, stehendes Tauwasser (an der Innenoberfläche der Mauer) aufzunehmen und in den Dämmstoff hinein zu transportieren; das Wasser wird so verteilt an die Innenoberfläche gebracht, wo es nach innen austrocknen kann.

Aber die Materialfeuchte beeinflusst auch die Wärmeleitfähigkeit und durch Latentwärmeeffekte (bei Kondensation von Feuchte wird Wärme frei, zur Verdunstung braucht es Wärme) auch die Dämmwirkung. Die wesentliche Anforderung des Dämmstoffs ist, die Feuchtigkeit

auf einem unkritischen Niveau zu halten. Die zwischen Dämmung und kalter Maueroberfläche gebildeten Kondensate müssen kapillar wieder an die Raumoberfläche zurückbefördert werden können.

Ist der Baustoff ausreichend kapillaraktiv, stellt sich ein Gleichgewichtszustand ein, in welchem die über Dampfdiffusion austretende Feuchtigkeit kapillar wieder an die Raumoberfläche zurückgeleitet wird. Die Wasserdampfsorptionsfähigkeit führt weiter dazu, dass die Feuchte teilweise im Dämmstoff gespeichert und als Erstes im Sommer abgegeben wird und so die Austrocknungsmöglichkeiten im Sommerhalbjahr funktionieren.

Ausblick

Neuentwicklungen von Dämmmaterialien basieren auf jungen Technologien, bei denen noch nicht alle bauphysikalischen und bau- und berechnungstechnischen Details geklärt sind. Baudenkmäler sind Unikate und daher keine geeigneten Versuchsobjekte. Aber gerade für sie könnten diese Stoffe interessant werden, weil sie als Hochleistungsdämmungen mit geringen Materialstärken auskommen.

Aerogele, Vakuumdämmungen und mehrschichtige Wärmedämmfolien sind auf dem Markt, andere Ansätze wie die Latentwärmespeicherung in Entwicklung.

Silica Aerogele

Silica Aerogele sind hochporöse Festkörper, welche zu weit über 90 % des Volumens aus Poren bestehen. Es gibt verschiedene Arten von Aerogelen, wobei solche auf Silikatbasis verbreitet sind. Die Aerogele sind als Granulate oder als Matten auf dem Markt erhältlich. Sie besitzen eine Wärmeleitfähigkeit von nur 0.018 W/mK. Der Dämmstoff ist auch als Kombination von Aerogel und Mineralwolle erhältlich, und der Lambdawert beträgt 0.019 W/mK.

Vakuumdämmung

Vakuumisolierpaneele bestehen aus druckstabilem Kernmaterial, das mit einer Barrierefolie gasdicht verpackt und vakuiert ist. Die Lambdawerte werden in der Regel mit 0.007–0.008 W/mK angegeben.

Die herstellungsbedingt teuren Platten sind auf der Baustelle nicht zuschneid- und einpassbar und sie können daher für Denkmäler sehr selten eingesetzt werden. Zudem besteht eine erhöhte Gefahr der Dämmstoffverletzung auf der Baustelle. Leckagen bedeuten Vakuumverluste und damit rapide Abnahme der Dämmwirkung.

Mehrschichtige Wärmedämmfolien

Wärmedämmfolien sind mehrschichtige Folien mit Stärken von 1–4 cm, welche die Reflexion der Wärmestrahlung ins Rauminnere nutzen. Es soll auf dem Markt bereits eine Folie geben, die mit nur vier Zentimetern

Stärke einer den gesetzlichen Anforderungen entsprechenden Mineralwolldämmung entspricht.

Reduzierte mögliche Dämmstärken

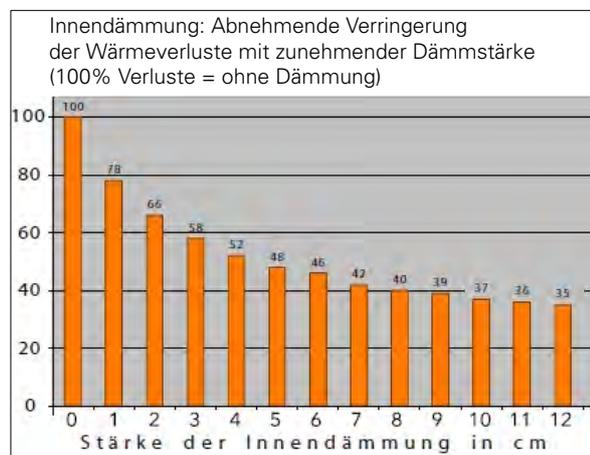
Die Dimensionierung einer Innendämmung ist von vielen Faktoren abhängig, und sie ist im Falle eines Baudenkmals stets durch einen Expertenkreis (Bauphysiker, Denkmalpfleger, Architekt) vorzunehmen. Bauphysikalisch wird die alte Innenoberfläche mit zunehmender Dämmstärke kälter, die Kondensatmengen (ohne Dampfbremse) und die Risiken für die Aussenwand somit grösser. Aus denkmalpflegerischer Sicht wird die ursprüngliche Gestalt mit zunehmender Stärke weitgehend verändert und die Anschlüsse der Aussenwandverkleidung an benachbarte Wände, Decke und Boden schwieriger. Aus ökonomischer Sicht wird der Nutzen mit zunehmender Dämmstärke rasch viel kleiner.

Das LowEX-Konzept der ETH Zürich¹ stellt aus ökonomischen und architektonischen Überlegungen die weitgehende Hüllendämmung in Frage. Gemäss dieser Studie sind ab $R = 1.5 \text{ m}^2\text{K/W}$ ($U = 0.65 \text{ W/m}^2\text{K}$) alle Bedingungen bezüglich Komfort und Bauphysik erfüllt. Es treten keine Pilzbildung und keine Bauschäden auf.

Ab $R = 3 \text{ m}^2\text{K/W}$, also $U = 0.33 \text{ W/m}^2\text{K}$, wird der Grenznutzen der zusätzlichen Dämmung rasch sehr klein.

Wirksamkeit von Dämmstoffstärken bei Innendämmungen

Gemäss untenstehendem Diagramm kann mit einem Zentimeter Innendämmung (Wärmebrücken) der Wärmeverlust um mehr als 20 % gesenkt werden. Mit 5 cm Dämmstärke wird die Halbierung des Verlusts erreicht. Bei noch grösseren Dämmstärken können die Verluste pro Zentimeter zusätzlicher Dämmung nur noch geringfügig gesenkt werden, die bauphysikalischen Risiken hingegen steigen an.



Reduktion der Wärmeverluste in Abhängigkeit von der Dämmstärke. Beispiel Einfamilienhaus Baujahr 1953, Aussenwandfläche 120 m², Wohnfläche 100 m² (Abb. 34)

¹) ZeroEmission-LowEx-Gebäude, Prof. Dr. Hansjürg Leibundgut, ETH Zürich, Professor für Gebäudetechnik, vgl. Kap. 5.1

6. Sanierungsmaßnahmen Boden

6.1 Sanierungsmassnahmen an der Kellerdecke

Bauwerke berühren zwangsläufig das Erdreich. Zur Entkoppelung der Wohnräume von der Erdfeuchte werden Gebäude (partiell) unterkellert. Die witterungsgeschützten, ausgeglichen kühlen Kellerräume dienen bis heute als vorzügliche Aufbewahrungsorte für Nahrungsmittel (Kühlschrank) und anderes Lagergut. Sie wurden aber auch landwirtschaftlich (Weinkeller mit Trotte, Stallungen) oder gewerblich (Webkeller, Schenke) genutzt. Die systematische Unterkellerung von Wohnbauten wurde erst im Verlauf der jüngsten Geschichte Standard. Kellerlose oder partiell unterkellerte Bauten wurden durch ca. 0.4 bis 0.8 m hohe Kriechräume unterlüftet und vom Erdreich getrennt oder ihre Böden lagen direkt im Erdreich. Viele unserer Altstadt Häuser waren ursprünglich nicht oder nur teilweise unterkellert. Von diesen kellerlosen, ebenerdigen Stadthäusern sind nur noch einzelne erhalten. Auf dem Land wurden Wohnhäuser vielfach bis weit ins 19. Jahrhundert nur teilweise (Stube) unterkellert. Viele von ihnen sind bis heute erhalten.

Der Keller als wichtiges Teildenkmal

Bedingt durch seine geschützte Lage, seine extensive Nutzung und seine wiederum lagebedingte schiere Unveränderbarkeit (Statik), ist der Keller oft der einzige integral erhaltene Bauteil eines Baudenkmals. Keller gehören nicht zwingend zum aufgehenden Bauwerk. Sie können wie erwähnt jünger sein, aber sie können auch älter sein und einem Vorgängerbau angehören. In solchen Fällen kann der Keller unter Umständen der bauhistorisch wertvollste Teil eines Gebäudes sein. Keller können zudem wichtige wirtschaftsgeschichtliche Zeugnisse sein, so beispielsweise Webkeller, Weinkeller, Trotte oder Käsekeller. Für einzelne Keller sind auch Weinausschankrechte verbrieft. Ausserdem können vor allem grössere Gewölbekeller, aber auch mehrschiffige Keller mit Balkendecken, baukünstlerisch wertvoll sein.

Beheizen von historischen Kellern

Alte Keller werden immer häufiger als ausbaufähige Raumreserve betrachtet. Der Ausbau von bislang kalten Kellerräumen mit klimatischer Pufferfunktion für beheizte Nutzungen ist grundsätzlich schwierig und, je nachdem wie tief der Keller ins Erdreich geht, auch mit grösseren Feuchtigkeitsproblemen verbunden. Kellerräume können im Normalfall nicht gedämmt werden. Zur Feuchteentlastung der Mauern muss der freie Austritt der Feuchtigkeit in den Raum unbedingt gewährleistet bleiben. Nutzungen, die keine Dauerbeheizung bedingen, sind durchaus denkbar. Die alten, unregelmässig verputzten oder steinsichtigen Oberflächen machen den Reiz

dieser Räume aus. Als Kulturlokale umgenutzte Gewölbekeller in historischen Bauten zeigen dies.



Keller «Zunftthaus zum Distelzwang», Bern (Abb. 35)



Keller in Küsnacht, Wangensbach (Abb. 36)

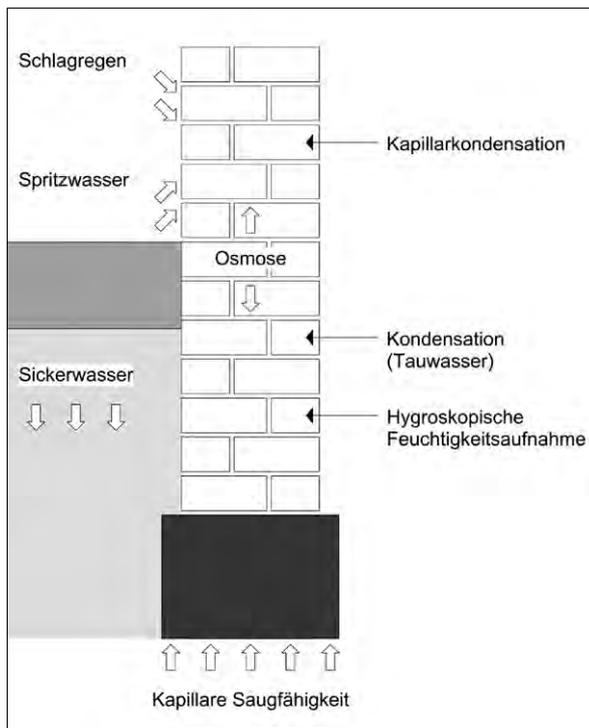


Im Weinkeller, Johann Michael Neder 1866, Wien, niederösterreichisches Landesmuseum (Abb. 37)

Kellerfeuchte und Kellerklima

Kellerfeuchte

Der direkt an das Erdreich grenzende und tiefstgelegene Bauteil des Gebäudes kennt zahlreiche mögliche Feuchtequellen, die von aussen, unten und innen in die Aussenwände eindringen.



Mögliche Feuchtequellen im Kellerbereich (Abb. 38)

Die Feuchteinflüsse auf die Gebäudestruktur sind komplexe, instationäre Prozesse. Natursteinmauerwerke sind nicht wasserdicht und Kellerböden noch weniger. In diesem Sinne hat das Kellergeschoss des traditionellen Hauses, ähnlich dem Dachgeschoss, eine mikroklimatische Pufferfunktion und eignet sich nur bedingt zur Dämmung. Erst als vibrierter Stahlbeton für Wände, Boden und Decken zur Anwendung gelangte, wurden wasserdichte Hüllen im Erdreich machbar. In vielen Fällen kann eindringendes Wasser nicht verhindert werden. Es geht viel mehr darum, möglichst viel Wasser und Feuchtigkeit vom Gebäude fernzuhalten, eingedrungenes Wasser zu sammeln und rasch wieder aus dem Gebäude abzuleiten.

Feuchtequellen und Feuchtetransporte

Schlagregen und Spritzwasser Empfindliche Holz- und Fachwerkfassaden wurden durch Schindel- und später durch Faserzementschiefermäntel vor Schlagregen geschützt. Grosse Vordächer schützten vor allem die oberen Fassadenpartien. Die ohnehin strapazierten Sockelzonen bleiben dem Regen ausgesetzt.

Bodenfeuchte Sickerwasser Stauwasser Druckwasser Durch sickerfähigen Grund (nicht bindiges Material) in die Konstruktion gelangtes Wasser. Staut es an der Aussenwand, spricht man von Stauwasser. Steigt infolge Regen der Grundwasserspiegel über die Kellersohle an, entsteht Druckwasser auf Boden und Sockel des Gebäudes.

Osmotische Feuchtetransporte Historische Mauerwerke sind häufig stark von Salzen durchsetzt. Salz- und Wassermoleküle haben das Bestreben, sich gleichmässig im Baustoff zu verteilen. Im belasteten Baustoff reihen sich salzhaltige Lösungen in Verdunstungszonen. Weniger konzentrierte Lösungen streben nach den konzentrierten, auch entgegen der Schwerkraft.

Kapillar aufsteigende Feuchte Werden für Substrukturen kapillarleitende Baustoffe verwendet, steigt Feuchtigkeit aus dem Boden die Kellerwand empor. Wichtig ist, dass die Ablüftmöglichkeit weder nach innen noch nach aussen eingeschränkt wird.

Hygroskopische Feuchte Sorption (siehe Kap. 3.4)

Innere Feuchtequellen Im Gebäudeinnern anfallende Feuchtigkeiten:
 – Kondensate
 – Hygroskopische Feuchte
 – Kapillarkondensate
 – Nutzerfeuchte

Oftmals ist nicht eine Einzelursache, sondern die Kumulation mehrerer Feuchtequellen für eine überhöhte Kellerfeuchte verantwortlich.

Eine professionelle Analyse von feuchten Kellern steht am Anfang der Sanierung. Wärmedämm-massnahmen können nur an trockenen Bauteilen vorgenommen werden.

Sanierungsmassnahmen

Drainage

Die Aussenfeuchte muss möglichst vom Gebäude ferngehalten werden, weil eine saubere Abdichtung von historischen Kellermauerwerken gegen eindringende Feuchtigkeit meist sehr aufwendig und manchmal auch gar nicht realisierbar ist. Eine äussere Drainage wird zwar oft gemieden, weil sie kostenintensiv ist, aber sie ist die einzige, längerfristig wirksame Methode zur Abführung von äusseren Wasserquellen.

Niederschlags- und Hangwasser als äussere Hauptquellen sind vom Sockelbereich fernzuhalten. Die Anlage eines ringförmig um das Gebäude gelegten Schotterkoffers (Sickergraben), der durch eine Sickerleitung entwässert wird, ist dafür eine geeignete Massnahme. Der Graben wird – wenn möglich – direkt entlang dem Gebäude geführt. Zur gleichzeitigen wärmetechnischen Verbesserung der Aussenwände im Erdreich kann als Sickermaterial Schaumglasschotter eingesetzt werden. Die Koffersohle mit Sickerleitung wird ca. 0.5 bis 1m unter der Kellersohle und (je nach Bodenverhältnissen und Beschaffenheit der Umgebung) um diese herum angelegt. Abgrabungsarbeiten im Bereich der Gebäudefundamente erfordern stets ein etappenweises Vorgehen und die Aufsicht des Bauingenieurs. Es werden auch sogenannte Sulsergräben angelegt. Diese schachtartigen Gräben mit betonierter, unterhalb der Gebäudefundamente angelegter Sohle und äusserer Schachtwand, umgreifen das Gebäude. Eine Abdeckung mit Platten vermindert die Verschmutzung des Grabens und ermöglicht leichten Zugang für Inspektionen und Reinigungen.

Mauerwerksabdichtung

Die Aussenabdichtung von historischen Kellermauern gestaltet sich schwierig, ist aufwendig und leider eher selten erfolgreich. Aussenseitige Bitumendickbeschichtungen eignen sich nur bei Aussenwänden mit grossen Flächen und geringem Fugenanteil. Bituminöse Bahnen sind grundsätzlich eher geeignet, allerdings nur, wenn sich kein Wasser staut. Die Boden- und Wandübergänge können

für stauendes Wasser nicht abgedichtet werden. Innenabdichtungen sind Symptombekämpfungen und können für Baudenkmäler nicht empfohlen werden.

Horizontalabdichtungen gegen aufsteigende Feuchtigkeit werden mittels mechanischer Sperren, mit elektrophysikalischen Verfahren und mit Injektionsverfahren durchgeführt. Mechanische Sperren beschädigen die Substanz und verändern die Statik des Gebäudes bezüglich Horizontalkräften wie Erdbeben. Sie sind ausserdem bei heterogenen und starken Mauern wie Bruchsteinmauern nicht anwendbar.

Elektrophysikalische Verfahren (passive und aktive Elektroosmose) werden im Zusammenhang mit Baudenkmälern heute verbreitet angewendet. Sie beruhen auf der Umkehr der Potenzialverhältnisse in der Wand. Die Erfolge sind leider mässig bis zweifelhaft. Es bilden sich Salzkonzentrationen an den Elektroden, die wiederum zu hygroskopischer Feuchteaufnahme führen.

Mit Injektionen werden Sperrschichten aufgebaut. Die Wirkstoffe verdichten das Kapillarsystem, im Extremfall werden die Kapillaren mit Wirkstoff aufgefüllt.

Andere Wirkstoffe hydrophobieren die Kapillarwanderungen. Was einfach klingt, ist in Wirklichkeit sehr schwierig umzusetzen, und gerade bei inhomogenen Mauerwerken zeigt sich oft kein Erfolg.

Kellerklima

Abgesehen von den möglichen Feuchteinträgen durch Baugrund, Witterung und interne Feuchtelasten (Waschküchen) sind Keller im Winter eher kühl und trocken und im Sommer eher feucht (Sommerkondensate). Wird im Frühjahr oder Sommer mit warmer feuchter Aussenluft gelüftet, strömt diese entlang der kalten Kelleroberflächen und kondensiert. Bei sehr trockener Witterung kann das Lüften allerdings Raum- und Oberflächentemperatur des Kellers erhöhen, was einer Entfeuchtungsmassnahme gleichkommt.

Deckendämmung reduziert die Wärmeverluste des beheizten Gebäudeteils, sie bewirkt gerade dadurch die Absenkung der Kellerraumlufftemperatur im Winter (der Keller wird nicht mehr mitbeheizt) wie auch im Sommer. Im Winter werden die Temperaturen bis um 5 K abgesenkt, im Sommer um ca. 1 K.¹ Dadurch sinkt die mittlere Kellertemperatur. Das bedeutet bei konstanter absoluter Raumlufffeuchte einen Anstieg der relativen Luftfeuchtigkeit von 10–15%.

1) Wolfgang Feist, Einfluss von Kellerdeckendämmung auf die Feuchtebelastung von Kellerräumen, Darmstadt, 2009

Durch die Dämmung der Kellerdecke steigt also das Risiko von Schimmelbildungen bei den ohnehin feuchtegeplagten Kellern. Steht eine Dämmmassnahme im Zusammenhang mit der Sanierung der Haustechnik an, ist zu berücksichtigen, dass der Ersatz der alten Heizung und die Leitungsdämmung die Abwärme der Haustechnik reduziert und damit die Kellertemperatur zusätzlich absenkt. Das Abdichten oder das Auswechseln von Kellertüren und Fenstern reduziert schliesslich die Luftwechsel und führt so zu höheren Feuchtebelastungen.

Untersuchungen haben gezeigt, dass gezieltes Lüften und die Erhöhung der Oberflächentemperatur hier zum Ziel führen können. Bei historischen Bauten mit undichten feuchten Aussenwänden kann dies jedoch nicht durch das Anbringen einer Innendämmung erreicht werden. Also bleibt die gezielte Lüftung. Ein bewährtes und zugleich sehr einfaches Kellerlüftungssystem basiert auf dem Prinzip des Thermosyphons.

Die Naturzuglüftung

An herrschaftlichen historischen Wohnbauten wurden etwa Naturzuglüftungen eingesetzt. Die in die Kellermauern integrierten Kanäle beruhen auf dem Prinzip des Thermosyphons. Dieses kann auch heute wertvolle Dienste für die Entfeuchtung von Kellern liefern. Kalte Luft ist schwerer (grössere Dichte) als warme. Wird ein Rohr von aussen (z.B vom Kellerfenster) bis auf Bodennähe des Kellers geführt, dringt kühle, weniger feuchte Luft über das Rohr ein und verdrängt die wärmere, feuchte Raumluft. Umgekehrt, wenn die Aussenluft wärmer und feuchter ist, findet keine Lüftung statt. Im Sommer werden die Naturzüge immer offen gehalten, im Winter, wenn es draussen sehr kalt und ohnehin sehr trocken ist, können die Zuluftströme durch Klappen reduziert werden.

Eine gezielte Lüftung wird heute teilweise mit automatischen Öffnungssystemen erreicht, welche sich öffnen, wenn die absolute Feuchte draussen niedriger als drinnen ist. Solche Systeme brauchen aber Strom.

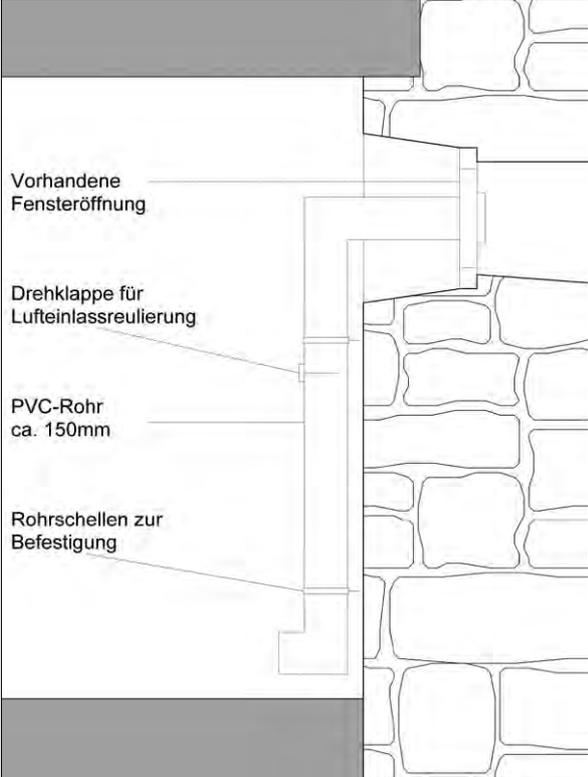
Technischer Zustand der Kellerdecke

Bevor eine wärmetechnische Sanierung im Bereich der Kellerdecken angegangen wird, ist der technische Zustand der bestehenden Tragstruktur (morsche Balkenköpfe, rostige Träger) zu prüfen. Die Decke ist nach einer Unterdeckendämmung nicht mehr optisch kontrollierbar und ihr Eigengewicht wird durch die Dämmung erhöht.

Die Gründe für bereits vorhandene (hohe) Feuchtigkeit müssen bekannt sein, und es muss untersucht werden, ob der Keller ein Anwachsen der relativen Feuchte durch die Anbringung einer Deckendämmung auch wirklich schadenfrei ertragen kann.

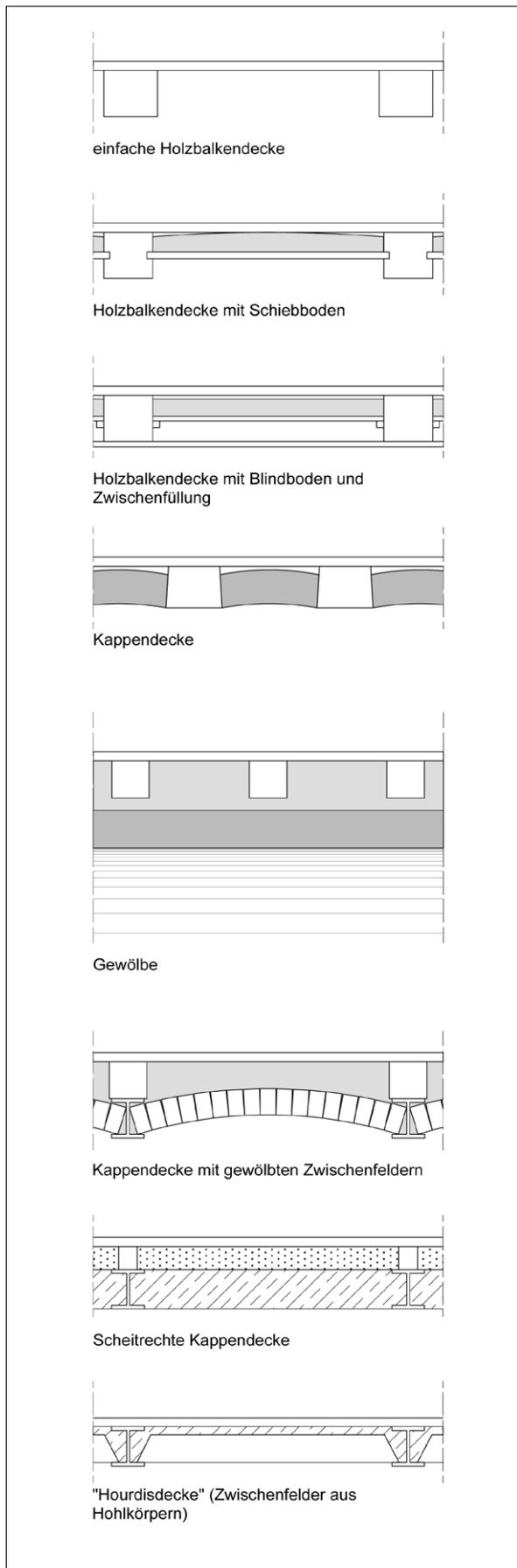
Der Keller – auch nach der Sanierung eine klimatische Pufferzone

Keller von historischen Gebäuden sind keine dichten Gefässe. Abdichtungen, Absperrungen und Injektionen bringen hier meist nicht den gewünschten Erfolg, weil der Keller aussenseitig nicht durchgängig abdichtbar ist (Boden, Boden-Wand-Anschlüsse). Die Kelleraussenflächen bilden auch nach einer Abdichtung eine inhomogene Hülle. Es macht Sinn, den Keller als Pufferraum funktionieren zu lassen. Die Innenoberflächen dürfen auf keinen Fall versiegelt werden. In den Aussenwänden enthaltene Feuchte muss nach innen abtrocknen oder gar abfliessen können. Ablättern von Farboberflächen und Schimmelbildungen sind das weitaus häufigste Schadensbild von zu hoher Kellerfeuchte. Die Kombination von hoher Feuchte mit organischem Material kann das Wachstum von Pilzen fördern.



Funktionsschema Naturzuglüftung (Abb. 39)

Historische Deckenkonstruktionen



(Abb. 40)



Altdorf, Eidgenössisches Getreidemagazin, Sacklager, Robert Maillart, 1912 (Abb. 41)

Balkenlagen, Kappendecken mit Holzträgern und Natursteingewölbe waren bis nach 1850 die meist verwendeten Kellerdecken. Das nach 1830 im Eisenbahnbau eingesetzte Walzeisen wurde zunächst im Brückenbau für Zug- und Biegeelemente eingesetzt. Hierzulande stand das für Biegeträger geeignete Material für Kappen- und Hourdisdecken ab dem dritten Viertel des 19. Jahrhunderts zur Verfügung. Beton wurde zuerst für Füllelemente von Hourdisdecken eingesetzt (nach 1880). Der Eisenbetonbau und insbesondere die Eisenbetondecken wurden in den 80er- und 90er-Jahren des 19. Jahrhunderts vor allem durch den französischen Ingenieur François Hennebique entwickelt; Hennebique vereinigte im Verlaufe der 1890er-Jahre den Unterzug mit der Deckenplatte zum Plattenbalken und diesen schliesslich mit der Betonstütze (vorher Gusseisen) zum eigentlichen Betonskelett. Unterzuglose Flachdecken aus Stahlbeton im modernen Sinne (kreuzweise armiert) erbaute Robert Maillart erstmals 1910 in Zürich (Gebäude der Firma Belmag) und 1912 in Altdorf (Sackmagazin für die Armee), beide mit Pilzstützen. Im Wohnungsbau kam der Stahlbeton aber erst seit den 1930er-Jahren verbreitet zur Anwendung. Mit der Einführung des Stahlbetonbaus für Wohnbauten wurden auch explizite Dämmschichten, wie sie seit dem späten 19. Jahrhundert eingesetzt wurden, nötig. Typische, in der frühen Moderne angewendete Materialien waren pflanzliche Dämmstoffe wie Kork und Sisalplatten.

Deckendämmungen

Keller sind nicht zwingend gleich alt wie das darauf aufruhende Gebäude. Häufig sind Keller älter, und oft sind sie die am besten erhaltenen Bauteile eines Baudenkmals. Häuser wurden aber auch nachträglich unterkellert oder Balkenlagen durch Gewölbe ersetzt. Stets sind sie ein wichtiger Bestandteil des Denkmals.



Schloss Trachselwald, Palaskeller, Hofseite (Abb. 42)

Wenn Kellerdecken jedoch untergeordneter Bestandteil in Bezug auf Substanz und Erscheinung des Denkmals sind, können sie gedämmt werden. Die Machbarkeit aus denkmalpflegerischer Sicht ist fallweise durch die Fachleute zu beurteilen.

Feuchte Kellerbauteile müssen zuerst feuchtesaniert werden, bevor sie gedämmt werden. Dämmungen von Kellerdecken stellen in Bezug auf Flächenkondensate kaum Probleme, weil Temperatur- und Dampfdruckgefälle wesentlich geringer sind als bei den Aussenwänden. Die Temperaturdifferenz zwischen Keller und Erdgeschoss beträgt zwischen 10 und 15 °C.

Im Folgenden werden Decken mit stabförmigem Tragwerk und Gewölbe besprochen.



Gossau, Allenwinden, sorgfältig gedämmte Kellerdecke (Abb. 43)

Decken mit stabförmigem Tragwerk

Balkenlagen, Kappen- und Hourdisdecken

Die Dämmung der Kellerdecke erfolgt auf der Deckenunterseite (auch zwischen den Balken) als Aussendämmung, im Schiebboden als Hohlraumdämmung und auf der Decken-/Gewölbeoberseite als Innendämmung. Oft werden bei Sichtbalkenlagen Hohlraum- und Aussendämmung kombiniert.

Dämmung auf der Deckenunterseite

Sanierungsmassnahmen auf der Deckenunterseite entsprechen bauphysikalisch einer Aussendämmung, die Decke befindet sich also auf der Warmseite der Dämmung, so dass infolge Dampfdiffusion keine Kondensate an ihr entstehen. Bautechnisch können sie ohne Abbrüche und reversibel realisiert werden. Diffusionsoffene Konstruktionen mit kapillaraktiven, pflanzlichen Dämmmaterialien eignen sich bei diesen Decken am ehesten. Schüttungen, aufgesprühte oder eingeblasene Flocken oder weiche Matten erlauben fugenfreie Anschlüsse an die meist unregelmässigen Balkenlagen der Holzdecken. Bei Decken mit Stahlträgern, mineralischen Feldern und flacher Untersicht ist die Materialpalette breiter, und es können auch Platten mit höherer Festigkeit eingesetzt werden.

Nachteilig ist die Tatsache, dass die Luftdichtigkeit von unten, also auf der Aussenseite der Konstruktion, erreicht werden muss. Weiter besteht die Gefahr von Balkenkopfcondensaten (diese Thematik wird im Kap. 7 Sanierungsmassnahmen Wände behandelt) denn Balkenlage und Stahlträger sind nach der Sanierung nicht mehr sicht- und damit auch nicht mehr kontrollierbar. Eine sorgfältige Kontrolle und wenn nötig eine Instandsetzung der Balken- und Trägerköpfe ist zwingend. Sind Balkenköpfe bereits stark verfault, bietet sich im Keller die Möglichkeit, Streifbalken einzuführen, so dass die Decke substanzuell erhalten werden kann.

Dämmung auf der Kellerdecke

Die Konservierung historischer, noch funktionstüchtiger Bodenbeläge ist ein wichtiges denkmalpflegerisches Anliegen. Der Ausbau und Wiedereinbau derselben führt zu grossen Substanzverlusten und er ist mit hohen Kosten verbunden.

Balkendecken sollten aus bauphysikalischer und aus denkmalpflegerischer Sicht wenn immer möglich von unten gedämmt werden. Sind die historischen Böden nicht erhalten oder in schlechtem Zustand und müssen sie saniert oder gar ausgewechselt werden, kann eine Zwischen- und Aufdeckendämmung – eine Innendämmung

also – in Erwägung gezogen werden. Alte Balkenlagen mit Schiebböden bieten die Möglichkeit der Hohlraumdämmung. Die Füllungen, Schlacken, Sand oder anderes loses Material, können durch Dämmmaterial ersetzt werden. Werden alte Füllungen belassen, muss darauf geachtet werden, dass sie durch den Baustellenbetrieb nicht zuviel Feuchtigkeit aufnehmen können; sie enthalten oft viel organisches Material (Dreck, Abfälle), welches zusammen mit der Feuchte Pilzwachstum begünstigen kann. Bei Balken- und Plattendecken ohne Hohlräume, wie einfachen Brettdecken, Hourdisdecken oder Betonplatten, sind die Platzverhältnisse jedoch meist sehr begrenzt. Anschlüsse an Wände, Treppen, Schwellen und Türen definieren maximale Aufbauhöhen und damit minimale Dämmstärken. Seit wenigen Jahren stehen für solche Aufgaben Hochleistungswärmedämmungen (HLWD) zur Verfügung. Als Dämmmaterialien eignen sich Vakuumisoliertdämmplatten (VIP) und Aerogelmatten. Der Luftdichtigkeit der Konstruktion (mögliche konvektive Einträge) muss hier besondere Beachtung geschenkt werden.

Gewölbekeller

Kellergewölbe sind meist als Tonnengewölbe, seltener als Kreuzgrat- oder gar Kreuzrippengewölbe, ausgebildet und in Kalktuff, Sandstein und Backstein materialisiert. Gewölbe haben zunächst eine statische Funktion; als Kellergewölbe eingesetzt, sind sie feuchteresistent und schützen die Bewohner vor der Feuchte des Erdreichs. Gewölbe können zudem als Brandschutzmassnahme erstellt worden sein (Küche).



Gewölbekeller eines bernischen Landsitzes aus dem 17. Jahrhundert (Abb. 44)

Der Bodenaufbau über dem Gewölbe bestand idealerweise aus sauberem und trockenem Kiesmaterial, welches zur Lastverteilung und zur Gewölbeaustrocknung geeignet war. Nicht immer hielt man sich jedoch an die Regeln der Baukunst, so dass heute oft auch erdiges Ma-

Gewölbe gehören zu den anspruchvollsten Bauteilen des Gebäudes, sie sind meist architekturegeschichtlich und baukünstlerisch ein wichtiger Teil für die Bedeutung eines Denkmals. Aus diesem Grund sind sie auf der Sichtseite, der Unterseite also, grundsätzlich nicht dämmbar.

terial zum Vorschein kommt. Auf den Kies wurde eine Sandschicht aus gewaschenem und feuergetrocknetem Sand geschüttet. Die Lagerhölzer (Polsterhölzer, Rippenhölzer) für den Boden wurden anschliessend in den Sand verlegt, und die Köpfe wurden an den Wänden befestigt. Auf den Lagerhölzern wurde der Blindboden befestigt, der als Unterlage für das Parkett diente.



Tonnenüberwölbter Weinkeller Bocken, Horgen, erbaut 1681–1688 (Abb. 45)

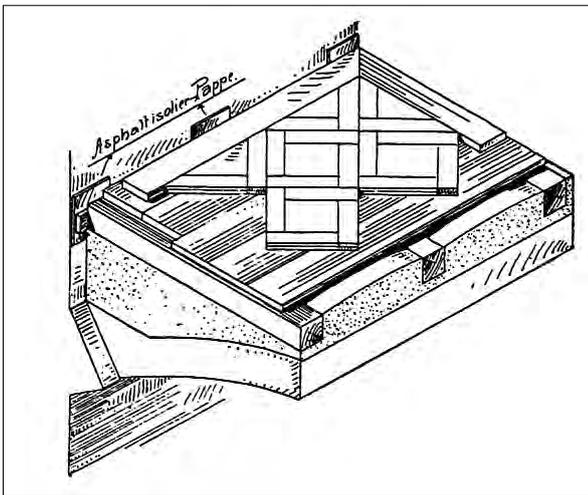
Dämmung auf der Gewölbeoberseite

Zur Gewölbedämmung müssen Materialien verwendet werden, die lastabtragend und wasserdurchlässig sind. In der Praxis gelangen heute oft Schaumglasschotter und Schaumglasgranulate zur Anwendung. Schaumglasschotter haben an den Rändern offene Poren, die Feuchte aufnehmen können, daher eignen sich Granulate mit geschlossenen Oberflächen besser. Ist das Füll- und Lastverteilmaterial sehr inhomogen oder mit organischem Material durchsetzt, muss es nach Angaben des Ingenieurs sorgfältig abgetragen werden (Lastsymmetrie). Je nach verfügbarem Platz wird das Gewölbe zunächst mit sauberem und trockenem Kies aufgeschüttet (Belüftung der Gewölbeoberseite) und anschliessend die Schaumglasschicht eingebracht. Eine Trennlage, beispielsweise ein Geotextil, bildet schliesslich den oberen Abschluss und die Auflage für einen Gussboden oder für die Lagerbalken eines Blindbodens, der das Parkett aufnehmen kann.

6.2 Dämmung von nicht unterkellerten Böden

Nicht unterkellerte Baudenkmäler ruhen auf Streifenfundamenten, Kleinbauten (Speicher) auch etwa auf Einzel-fundamenten. Erst nach dem Zweiten Weltkrieg setzten sich Plattenfundationen aus Stahlbeton durch.

Als Feuchtigkeitstrennschichten wurden – wenn nötig – für die Wände eine oder mehrere Lagen aus harten und nicht saugfähigen Steinen (Flusssteine, Granit, Backstein) eingefügt. Die Böden nicht unterkellerten Gebäude sind entweder vom Boden abgehoben als Balkenlagen konstruiert (Kriechraum), oder aber eine Balkenlage (Lagerbalken) ist direkt auf den dazu vorbereiteten Boden aufgelegt. Im Verlaufe des 19. Jahrhunderts wandte man sich von diesen Konstruktionen mit hohem Feuchterisiko ab. «Holzfussboden auf die blosse Erde zu legen ist verwerflich, da Fäulnis und Schwamm denselben in kurzer Zeit zerstören. Dagegen lässt sich nichts einwenden, wenn ein ca. 8 bis 10 cm dicker Zementboden beschafft und der Holzboden auf diesen in Asphalt gelegt und ausserdem Vorkehrung getroffen wird, dass keine Feuchtigkeit an ihn gelangen kann. Wo es sich aber irgendwie machen lässt, sollte man (...) unter dem Gebälk wenigstens einen zu lüftenden Hohlraum von 50 bis 80 cm vorsehen, um das Holzwerk vor Zerstörung zu schützen und die schädlichen Bodendünste fern zu halten.»¹



Bodenaufbau Parkett auf Gewölbe (Abb. 46)

Dämmung von Böden im Erdreich

Bodenkonstruktionen von nicht unterkellerten und nicht unterlüfteten Konstruktionen sind entweder auf Mörtel-, Kies-, Lehm- und Steinunterlagen verlegte Holzunterkonstruktionen für Holzböden, oder es sind in Mörtel oder sandhaltiges Material verlegte Naturstein- und Tonplattenböden.

Bodenkonstruktionen mit hölzernem Unterbau sind naturgemäss meist in schlechtem Zustand; hier müssen wertvolle Böden sorgfältig ausgebaut und die Unterkonstruktion neu erstellt werden. Intakte Steinböden hingegen, wie grossformatige Sandsteinplattenböden, sollen in situ erhalten bleiben.

Werden Böden ausgebaut, ermöglicht ein leichtes Absenken des Bodenniveaus das Einbringen einer Bodendämmung ohne Raumhöheverluste und ohne Veränderung der Raumproportionen. Durch ein Vlies vom Erdreich getrennt, wird eine Drainageschicht eingebaut, beispielsweise ein Stein- oder Kiesbett oder gleich wärmedämmendes Schaumglasschotter. Nach dem Einbringen einer Betonbodenplatte folgt eine Feuchtesperrschicht, meist in Form von seitlich hochgezogenen (bituminösen) Bahnen. Je nachdem, ob die Bodenplatte als Speichermasse genutzt werden kann oder nicht aufgeheizt werden soll, folgt eine weitere Dämmschicht vor dem eigentlichen Bodenaufbau. Die Schwellen von Holzständer- und Fachwerkbauten ermöglichen ein relativ einfaches Abstützen der Zwischenwände. Bei diesen Bauwerken kann es sich unter Umständen lohnen, die Bodenplatte unter den Zwischenwänden durchgängig zu betonieren, damit das Bauwerk längerfristig trocken bleibt. Damit lassen sich auch die Wärmebrücken verringern.

Dämmung von Böden über Kriechräumen

Kriechräume sind Belüftungsräume (40 bis 80 cm Höhe) zum Schutz der Bodenkonstruktionen vor Erdfeuchte. Wegen der Streifenfundation sind sie bis auf kleine seitliche Lüftungsöffnungen geschlossen. Die Böden wurden gewöhnlich als Holzbalkenlagen, später auch als Hourdisdecken ausgebildet. Eine Unterdeckendämmung (Aussendämmung) ist normalerweise wegen der fehlenden Begehbarkeit des Kriechraums nicht möglich, und das Auffüllen desselben (Ausblasen) mit Dämmung ist bei hölzernen Konstruktionen nicht ratsam, weil so die Unterlüftung verloren geht. Damit bleibt die Möglichkeit der Innendämmung, die den Ausbau der Bodenbeläge bedingt. Die Kriechraumdecke entspricht bautechnisch einer Kellerdecke, die von oben gedämmt werden muss (siehe Kap. 6). Erhaltenswerte Beläge sollen wieder in situ eingebaut werden.

¹) Theodor Krauth und Franz Sales Meyer, Das Zimmermannsbuch, Reprint der Ausgabe von 1895

7. Sanierungsmaßnahmen

Wände

Tragfähigkeit, Winddichtigkeit, Wärmedämmung, Feuchtigkeitsregelung, Schalldämmung und Brandschutz sind funktionale Anforderungen an die Aussenwand, die Belichtung und Lüftung der dahinter angeordneten Räume ist Aufgabe ihrer Öffnungen. Aussenwände sind aber auch aus architektonisch-gestalterischer Sicht der anspruchvollste, weil der Öffentlichkeit zugewandte Bauteil. Fassaden sind zentraler Ort baukünstlerischer Gestaltung und gleichzeitig wichtige Träger historischer Informationen. Ihre Innenoberflächen sind wichtiger Teil jedes Hauptraums. Ein Denkmal sowohl in Bezug auf seine Substanz wie auch in Bezug auf seine Erscheinung intakt zu erhalten und gleichzeitig die Aussenwände thermisch zu verbessern, ist daher eine grosse Herausforderung und eine Aufgabe, die nicht immer gelöst werden kann.

7.1 Massive Aussenwände

Spätestens mit der mykenischen Kultur (1700–1100 v. Chr.) erlebte die europäische Steinbaukunst im 2. Jahrtausend v. Chr. einen ersten Höhepunkt. Diese frühen Mauerwerke waren meist mörtellos gemauerte Zweischalenmauerwerke aus Haustein mit Füllmaterialien wie Erde und Steinbrocken. Schon sie erfüllten hohe klimatische Funktionen. Sie dienten dem sommerlichen Wärmeschutz und konnten vor allem wegen ihrer hohen Speicherkapazität die Tagestemperaturspitzen im Innern der Gebäude dämpfen und ausgleichen.



Mörtellos aufgeschichtetes Hausteinmauerwerk, Mykene, ca. 1500 v. Chr. (Abb. 47)

Aus der griechischen und römischen Antike sind zahlreiche Steinbauten erhalten, die das hohe Niveau der Steinbautechnik belegen. Noch weiter zurück reichen die Anfänge des Lehmziegelbaus. Die Verwendung von gebranntem Ton für Bauwerke geht, soweit heute bekannt, in die Zeit um ca.

3000 v. Chr. zurück. Später wurde der Backsteinbau ein wichtiger Pfeiler der römischen Bautechnik.

Nach dem Untergang des weströmischen Reichs verdrängt, gelangte der Steinbau erst im Hochmittelalter für Verteidigungs- sowie herrschaftliche Wohn- und Sakralbauten wieder vermehrt zur Anwendung. Auch der Backsteinbau wurde seit dem 12. Jahrhundert wieder eingesetzt. Das erste grössere Bauwerk in Backstein des Kantons Bern bildet der zähringische Kernbau von Schloss Burgdorf, errichtet um 1200 durch Berchtold V. von Zähringen.



Schloss Burgdorf, Backsteinwände im Rittersaal (Abb. 48)

Klima, Ökonomie, Rohstoffe, Bautraditionen und kulturelle Faktoren haben zur Ausbildung der charakteristischen Hauslandschaften auf dem Gebiet der heutigen Schweiz beigetragen.

Der Steinbau setzte sich in den Städten recht früh durch, was wohl primär mit den schmerzhaften Erfahrungen zusammenhängt, die durch viele verheerende Stadtbrände gemacht wurden. Heute vermag uns nur noch das Städtchen Werdenberg einen Eindruck der einst von Holzhäusern geprägten Stadtbilder in der Schweiz zu vermitteln. Im ländlichen Gebiet war der Holzbau lange verbreitet, ganze Dörfer sind im Berner Oberland, in der Zentral- und Ostschweiz, in Graubünden, im Tessin und Wallis erhalten. Selbst in heute typischen Steinbaugebieten wie dem Jura oder der Westschweiz kannte man lange Zeit Holzständerbauten.

Ziele

Sollen die historischen Baulandschaften erhalten werden, dann muss es das gemeinsame Ziel von Eigentümern, Denkmalpflegern, Bauphysikern und Architekten sein, Lösungen zu finden, die aus energetischer Sicht eine echte Verbesserung darstellen, aus bauphysikalischer Sicht keine Schadensrisiken eingehen, aus denkmalpflegerischer Sicht Substanz und Erscheinung der

betroffenen Räume schonen und die aus ökonomischer Sicht in einem sinnvollen Aufwand-Ertrags-Verhältnis stehen. Nur die Zusammenarbeit kann zum Ziel führen. Baudenkmäler mit massiven Aussenwänden werden, falls eine Dämmung infrage kommt, meist reduziert innen gedämmt. Eine Innendämmung schont die äussere Erscheinung, bringt aber nebst den weiter vorne beschriebenen bauphysikalischen auch denkmalpflegerische Nachteile für die Gestalt des Gebäudeinneren. Aussendämmungen können in seltenen Fällen bei untergeordneten Aussenansichten eingesetzt werden. Hohlraumdämmungen sind nur bei Zweischalenmauerwerken aus der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts anwendbar.

7.1.1 Baustoffe für Massivbauten

Für unseren Denkmalbestand sind Natursteine, keramische und mineralisch gebundene Baustoffe von Bedeutung. Massive Mauerwerke sind entweder ein- oder zweischalige Konstruktionen. Historische Mauerwerke sind meist zweihäufig gemauerte, verputzte, verkleidete oder steinsichtige Feld-, Bruch- oder Hausteinauflagen. Die Wärmeleitfähigkeit von Natursteinmaterial ist ungefähr 20- bis 30-mal höher als diejenige von Fichtenholz. Eine eigentliche Ausnahme stellt der Tuffstein (Kalktuff) dar, der mit seinem hohen Porenanteil wesentlich bessere Werte erzielt. Die Wärmeleitfähigkeit von Stahlbeton ist mit derjenigen von Natursteinen vergleichbar. Die frühen Sichtbetonaussenwände der 1930er- und 40er-Jahre aber waren schlanker und wiesen dadurch niedrigere Oberflächentemperaturen auf. Um Kondensate zu vermeiden, wurden die Innenoberflächen mit geeigneten Materialien verkleidet.

(Siehe auch Tabelle Materialkennwerte Seite 28)



Küsnacht, Villa Rudolph, 1931, originale Vorsatzschale aus Gasbeton, als Dämmung und zur Anhebung der Oberflächentemperatur (Abb. 49)



Flugplatz Emmen, Flugzeughalle 1, 1938, bauzeitliche Vormauerung der Betonaussenwand mit Tonisolierplatten zur Vermeidung von Kondensaten (Abb. 50)

Den eher niedrigen Wärmedämmwerten des Steins steht seine hohe Wärmespeicherfähigkeit gegenüber. Steine sind gute Wärmeleiter, können jedoch zusätzlich solare Wärme speichern, um sie bei verändertem Temperaturgefälle wieder abzugeben (siehe Kap. 3.3). Die Wärmespeicherfähigkeit, die hohe Winddichte und das ausgezeichnete Verhalten im Brandfall sind die seit Jahrhunderten bekannten Vorzüge von Massivbauten.

7.1.2 Innenwärmedämmung

Wie im Kapitel 5.3 gezeigt wurde, führt eine innere Wärmedämmung meistens zu einer Kondensationsebene im Innern des Aussenbauteils, nämlich im Grenzbereich zwischen Dämmung und nun kälterer Aussenwand auf der ehemaligen Innenoberfläche. Die innere Oberfläche besteht nicht selten aus mehreren Putzschichten, und sie trägt oft eine Vielzahl von Anstrichen, die im Laufe der Zeit angebracht wurden.

Sie kann verdeckte Befundschichten wie farbige Fassungen, Begleitmalereien, figürliche und szenische Darstellungen oder auch Tapeten, Stoffe oder Stuckprofile enthalten. Aus diesem Grund ist die präzise Erfassung der Oberflächenschichten durch Fachleute wichtig. Im Falle eines positiven Befunds kann die betreffende Wand nicht gedämmt werden, weil die dämmbedingte tiefere Temperatur und höhere Feuchte oder die vermehrten Temperatur- und Feuchtwchsel die Befundschicht zerstören könnten.

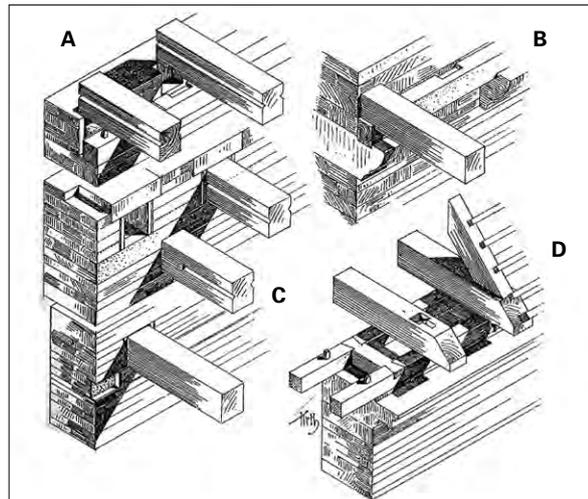
Aufmerksamkeit muss aber auch dem Bereich der konstruktiven Wärmebrücken, Innenwand- und Deckenanschlüssen geschenkt werden. Hier liegt der Taupunkt nach einer energetischen Sanierung weiter im Gebäudeinneren als vorher. Kondensate können die Folge sein, und Kulturschichten von Innenwänden und Decken können durch Feuchte geschädigt werden.



Aussenwand eines einfachen Bürgerhauses in Fribourg. Hinter Spanplattenverkleidung und einigen Anstrichen zum Vorschein gekommene Malereien mit biblischen Szenen, vermutlich aus dem 17. Jahrhundert (Abb. 51)

Kondensate an Balkenköpfen

Bei Holzbalkendecken von Massivbauten ist das Kondensatrisiko an den (sichtbaren) Balkenoberflächen eher gering, hier sind jedoch die im Mauerwerk aufliegenden feuchtesensiblen Balkenköpfe ein potenzielles Risiko. Mauerfeuchte war stets ein Feind des organischen Deckenmaterials Holz. Auf Steinkonsolen aufgelegte Streifbalken oder Mauerlatten, welche auf die Mauerücksprünge der sich geschossweise verjüngenden Mauerwerke gelegt wurden, minimierten den Kontakt der tragenden Balkenlagen mit den Aussenmauern und ermöglichten ein ständiges Austrocknen der Balkenköpfe. Direkt eingemauerte Balkenköpfe wurden vorzugsweise auf nicht poröse Steine aufgelegt und mit solchen oberseitig auch abgedeckt. Seitlich und hinten wurde auch etwa ein schmaler Luftraum belassen, oder dieser wurde mit gut gebranntem, nicht saugfähigem Ziegelmaterial ausgefüllt. Balkenköpfe wurden auch etwa angekohlt, um sie resistenter zu machen. Seit dem 19. Jahrhundert wurden Balkenenden ebenso mit Teerpappe oder Bleilappen eingefasst, oder sie wurden mit (gesundheitsschädigenden) Teerölen wie Karbolineum getränkt. Wird in einem Massivbau mit Holzbalkendecken eine Innendämmung angebracht, sinken die Temperatu-



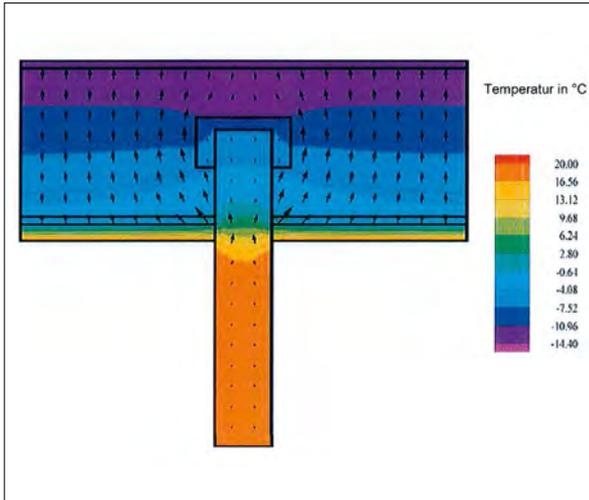
Balkenaufleger um 1900 (Abb. 52)

- A) Mauerlatte aus Eichenholz
- B) Streifbalken auf Steinkonsolen
- C) «Mauerlatte» aus Eisenprofilen
- D) Auflager mit doppelter Mauerlatte (Mauerbank)

ren der Mauerkonstruktion und des Balkenkopfs. Der Balkenkopf durchdringt die Dämmebene, und er reicht in den kälteren und feuchteren Bereich der Konstruktion. Der luftdichte Abschluss der Balkendurchdringung ist bei Balkenlagen kaum vollständig machbar, weil der Wasserdampf durch die längsgerissenen Balken (Spalten) mühelos an die Balkenenden gelangt. Die warme, feuchte Raumluft kondensiert direkt am Balkenkopf und am noch kälteren Mauerwerk, von welchem er kapillar zum Balkenkopf gelangen kann. Besteht ein abgeschlossener Luftraum zwischen Mauerwerk und Balkenkopf, bringt dies den Vorteil, dass zunächst Kondensate am kälteren Mauerwerk ausgefällt und schliesslich kapillar nicht weitertransportiert werden können. Sie werden nach aussen austrocknen können. Der in Wirklichkeit kaum dichte Luftraum kann die Konvektion jedoch begünstigen und somit die Kondensatmengen im Bereich des Balkenkopfs stark erhöhen. Die Gefahr von konvektiven Kondensaten und von Wasserdampf aus der Raumluft nimmt zu. Die Dämmung hüllt den Balkenkopf über eine noch grössere Tiefe ein, sodass mögliche Schäden noch später erkennbar werden.

Die bisherigen Untersuchungen und Erfahrungen haben gezeigt, dass Balkenkopfcondensate dann zum Problem werden können, wenn sie mit anderen Mauerfeuchten (aufsteigende Feuchte oder Schlagregenfeuchte) kumuliert werden und wenn die Dämmstärke und damit das Temperatur- und Dampfdruckgefälle zu hoch gewählt werden.

Wichtig ist die genaue Zustandsanalyse vor jeder Dämmung. Sind Balken bereits feucht, müssen die Ursachen beseitigt werden. Ist dies nicht vollumfänglich möglich, so ist auf eine Dämmung des betreffenden Bauteils zu verzichten.



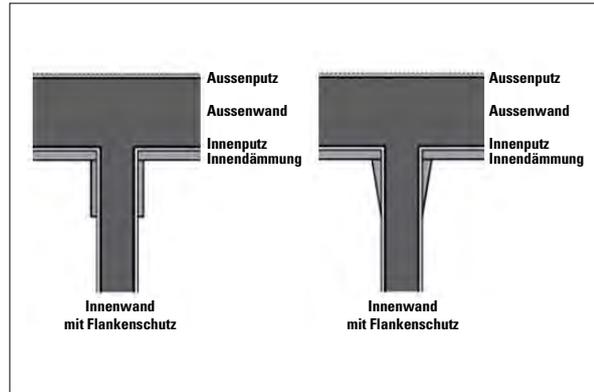
Horizontalschnitt durch Balkenaufleger. Balkenkopf von Luft umgeben, aber nicht belüftet. Im Bereich des Balkenkopfs ist die Temperatur des Mauerwerks tiefer als die des Holzes. Es bleibt trocken, sofern Kondensat nach aussen austrocknen kann. (Abb. 53)

Oberflächenkondensate und konvektive Kondensate im Bereich von Innenwand- und Deckenanschlüssen

In Abhängigkeit vom Aussenwandaufbau und der Dämmstärke werden Innenwandanschlüsse mit Flankendämmungen versehen, um die kritische Ecktemperatur zu erhöhen, wenn sie im Bereich der Taupunkttemperatur liegt. Die Dämmung wird im Anschlussbereich entlang von Massivdecken und Innenwänden ungefähr 40–50 cm in den Raum geführt, damit die Oberflächentemperatur der Innenwand über der Taupunkttemperatur liegt. Nebenstehendes Beispiel zeigt, dass der Dämmstreifen eine Erhöhung der Ecktemperatur von ca. 4 K bewirkt und damit Kondensate im Bereich der Innenwandanschlüsse vermieden werden können. Auf der Deckenoberseite ist ein luftdichter Anschluss zwischen Wand und Boden anzustreben, um zu verhindern, dass warme Luft an der kalten Deckenstirn kondensieren kann oder gar einen Weg nach draussen findet. Leider sind Schimmelbildungen hinter Fussleisten, Fussladen und Sockeltäfern lange Zeit nicht sichtbar; ihre Existenz wird oft erst durch einen unangenehmen Modergeruch angezeigt.

Gefährlicher wird es, wenn warme Raumluft sich im Deckenbereich einen Weg auf die Aussenseite der Dämmung bahnt und zwischen Dämmung und kalter Aussenwand kondensiert. Diese konvektiven Kondensate erzeugen ein Vielfaches an Wassermengen, als durch Flächendiffusion anfällt. Aus denkmalpflegerischer und architektonischer Sicht ist die Integration der Flankendämmung nicht einfach. Während sie an der Decke am ehesten noch durch ein raumbreites Vorhangbrett kaschiert werden kann, ist im Wandbereich die keilförmige

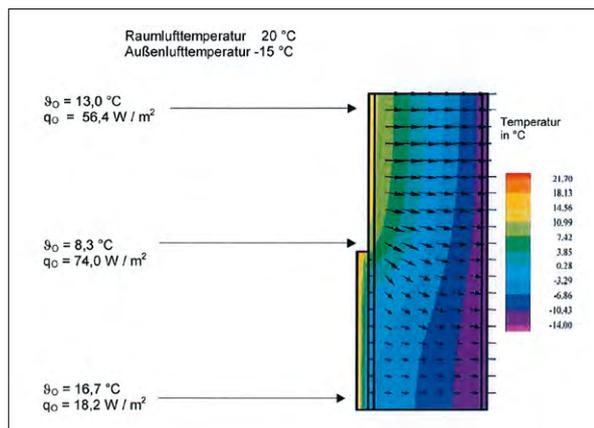
Ausbildung der Dämmung oft die einzige Möglichkeit zur Milderung des auffälligen Versatzes.



Flankendämmung im Anschlussbereich einer Innenwand an eine Aussenwand (Abb. 54)

Eine innere Wärmedämmung darf keine Lücken haben

Wird eine Wärmedämmschicht unterbrochen, z.B. um eine vermauerte Spolie zu zeigen, oder wenn kein Platz für diese da ist, z.B. im Bereich eines Streifbalkens, so nimmt die Oberfläche unmittelbar am Rand der unterbrochenen Dämmung einen Temperaturwert an, der noch unterhalb demjenigen der ungedämmten Wand ist. Dieser Randeffect lässt sich nicht verhindern, höchstens mildern durch sukzessive Verringerung der Dämmstärke.



Randeffect (Abb. 55)

Innendämmsysteme für Mauerwerke

Im Kapitel 5.3 wurde Grundsätzliches zur Innendämmung geschildert, anschliessend kapillaraktive Konstruktionen vorgestellt. Für Baudenkmäler eignen sich kapillaraktive Dämmmaterialien in der Regel besser, weil unter Berücksichtigung des gesamten Feuchtehaushalts von alten Mauerwerken (aufsteigende Feuchtigkeit, Schlagregen, usw.), der Austrocknungsmöglichkeit zum Innenraum hin eine wichtige Rolle zukommt. Zu dichte Dämmmaterialien und Dampfbremsen können die Austrocknung raumwärts stark einschränken. Für Konstruktionen, die Dampfbremsen bedingen, ist aus demselben Grund den feuchteadaptiven oder kapillaraktiven Ausführungen der Vorzug zu geben. Auch für inhomogene Konstruktionen wie gemischte Mauerwerks- und Stahlbetonskelettbauten der Nachkriegsmoderne eignen sich kapillaraktive Dämmstoffe vorzüglich.



Wohn- und Geschäftshaus in Kassel. Innen gedämmt mit 80 mm kapillaraktivem Dämmmaterial (Abb. 56)

Für homogene dichte Betonwände gelangen dampfdichte Innendämmungen mit Schaumglas- aber auch mit Alu kaschierte Polyurethan-Hartschaumplatten zur Anwendung.

Für die Innendämmung von Mauerwerken werden im Normalfall putztragende Dämmplatten oder mit Hilfskonstruktionen eingebrachte Dämmungen und Dämmputze eingesetzt.



Dufourkaserne Thun, Sichtbetonbau, innen gedämmt mit 80 mm Schaumglas und mit Kragen für Decken- und Trennwandanschlüsse (Abb. 57)

Putztragende Dämmungen	– Mineral(schaum)dämmplatten
	– Porenbetonplatte
	– Silikatplatten
Mit Hilfskonstruktionen angebrachte Dämmungen	– Perlite-Dämmplatten
	– Cellulose: Im Aufsprühverfahren, Putzsystem mit Glasgittergewebe und Kalkanstrich
	– Holzfaserplatten
	– Pflanzliche und tierische Dämmstoffe: Kork, Cellulose, Flachs, Schafwolle
Dämmputze	– künstliche mineralische Dämmstoffe (Stein- und Glaswolle)
	– Extrudiertes Polystyrol
	– Vakuumdämmung, Aerogele
	– Perlite, Kork
	– Expandiertes Polystyrol
	– Aerogele

(Abb. 58)

Putztragende Dämmplatten

Mineralische Dämmplatten

Mineralische Dämmplatten eignen sich gut für die Dämmung von Naturstein- und Backsteinmauerwerken, weil ihr Feuchteverhalten demjenigen der Mauerwerke ähnlich ist und dadurch der Gesamtquerschnitt sich nach der Dämmung vergleichsweise homogen verhält. Aus dem für Einsteinauerwerke bekannten Gasbeton wurden Dämmplatten mit sehr geringer Rohdichte mit einer Wärmeleitfähigkeit von ≈ 0.045 bis 0.04 W/mK (produktabhängig) entwickelt. Einzelne Produkte verwenden Zuschlagstoffe wie Lehmenteile. Mineraldämmplatten sind kapillaraktiv und sie zeigen ein gutes Sorptionsverhalten. Bei hoher Raumfeuchtigkeit nimmt das Material Wasser aus der Luft auf (Absorption), speichert dieses und gibt es bei veränderten Verhältnissen wieder gegen den Raum ab (Desorption). Kondensate auf der Aussenseite der Dämmung können kapillar verteilt und auch wieder raumwärts abgeleitet werden. Damit wird eine übermäßige Anreicherung von Feuchtigkeit im Konstruktionsinnern weitgehend verhindert. Der Einbau einer Dampfbremse erübrigt sich. Die Platten werden mit einem mineralischen Leichtmörtel auf die Aussenwand geklebt (trockener, tragfähiger Grund), Dämmmaterial und Mörtel haben ein ähnliches Diffusionsverhalten wie die Wand selbst.



Reduzierte Innendämmung mit mineralischen Dämmplatten (Abb. 59)

Kalziumsilikatplatten

Der überwiegend mineralische Baustoff, der aus Siliziumoxid, Calciumoxid, Wasserglas und Cellulose besteht und mithilfe von Wasserdampf, ähnlich wie Porenbeton, gehärtet wird, ist den Mineralplatten in Aufbau und Wirkungsweise sehr ähnlich. Er ist kapillaraktiver als diese, besitzt aber einen leicht höheren Lambdawert von 0.06 W/mK. Die Platte ist formstabil, druckfest, nicht brennbar, diffusionsoffen, alkalisch und damit schimmelhemmend und baubiologisch unbedenklich. Ihre Eigenschaft, Feuchtigkeit aufzunehmen, zu puffern und abzugeben und ihre wärmedämmende Wirkung sind für das Einsatzgebiet Denkmalpflege geeignet. Seine putztragenden Dämmplatten werden mit mineralischen Leichtmörteln vollflächig auf den Untergrund geklebt, um konvektive Kondensate nicht zu begünstigen. Daher sind vorgängig Denkmalverträglichkeit des Klebers mit dem Untergrund und umgekehrt die Eignung des Grunds für die Haftung des Klebers auf demselben abzuklären. Die bestehende Wandoberfläche muss kompakt sein und gewisse Oberflächenbedingungen (chemische Zusammensetzung von Putzen und Farboberflächen) erfüllen. Auch der neue raumseitige Putz und allfällige Anstriche müssen zwingend dieselben bauphysikalischen Eigenschaften haben wie der Leichtmörtel und die Dämmplatten.

Oberflächengestaltung auf mineralischen Innendämmungen

Mineraldämmplatten werden vor allem dann eingesetzt, wenn die raumseitigen Oberflächen wiederum mineralisch sein sollen.

Putze, Glätten, Schlemmen und Anstriche mit denselben bauphysikalischen Eigenschaften wie die sie tragenden Dämmplatten können angewendet werden.

Allerdings resultiert eine sehr ebene Oberfläche, die stark vom Original abweichen und dadurch die Einheit der Raumbooberflächen empfindlich stören kann. Soll wiederum eine leicht modulierte, nicht ganz ebene Fläche erreicht werden, müssen Dickschichtputze eingesetzt werden (Stärke > 1 cm). Hier sind jedoch der Tragfähigkeit der Dämmplatten Grenzen gesetzt. Sind Putzstärken von mehr als 1 cm vorgesehen, so muss eine Netzeinbettung und eine Sicherung derselben mit Dübeln vorgesehen werden.

Auch pflanzliche Dämmstoffe wie Holzfaserplatten und Cellulose lassen sich heute ohne Hilfskonstruktion einbauen.

Holzfaserplatten und Cellulose

Die Holzfaserplatte wird mit kapillaraktivem mineralischem Klebe- und Spachtelputz vollflächig mit der alten Wand verklebt, eine mechanische Befestigung ist nicht notwendig. Cellulose kann heute direkt auf die Wand aufgesprüht und mit einem ebenfalls kapillaraktiven Putz abgedeckt werden.

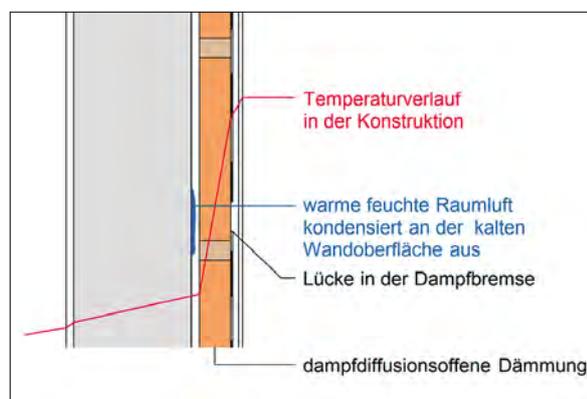
Ein Mineralputz (4 mm) oder Lehmputz (6 mm) wird zum Innenraum hin als Deckschicht verwendet. Der Einsatz diffusionoffener Farbanstriche ist sehr wichtig, damit allfällige Feuchte von der Aussenseite der Dämmung durch die Dämmung verteilt und kapillar raumwärts abgeleitet werden kann.

Innendämmung mit Hilfskonstruktion

Eine vor die Aussenwand gestellte Ständerkonstruktion dient als Trag- und Stützgerüst für die weichen Dämmmaterialien in Platten-, Matten- oder Flockenform, und sie dient zur Befestigung einer neuen raumseitigen Deckschicht. Weiche Dämmmaterialien auf mineralischer, pflanzlicher oder tierischer Basis, wie Mineralwolle, Cellulose, Kork oder Schafwolle, können sich gut an die Unebenheiten der alten Aussenwand anpassen, ohne diese zu beschädigen. Die Ständervorwand ist allerdings eine inhomogene Konstruktion mit gegenüber homogenen Dämmungen etwas ungünstigerem U-Wert und materialwechselbedingten Fugen, welche konvektive Einträge begünstigen können. Ein doppelter, kreuzweise verlegter Lattenrost verbessert die Situation teilweise. Ein raumseitiger, luftdichter Abschluss ist daher wichtig, um über die Fugen austretende warme Luft, die an der kalten Konstruktion kondensieren könnte, zu vermeiden. Je nach eingesetzten Materialien für Dämmung und Verkleidung genügt dazu die innere Verkleidung, oder es wird zusätzlich eine dampfbremsende Schicht (feuchteadaptive Dampfbremse) eingebaut. Aufgrund des grösseren Dampfdiffusionswiderstandes der gemauerten und zudem meist noch verputzten Wand erfolgt eine Austrocknung nach aussen nur in geringem Mass. Das träge Mauerwerk erwärmt sich bei höheren Aussentemperaturen langsam und der Trocknungsprozess setzt erst spät ein. Exposition und Verschattung der gedämmten Aussenwände spielen hier eine wichtige Rolle.

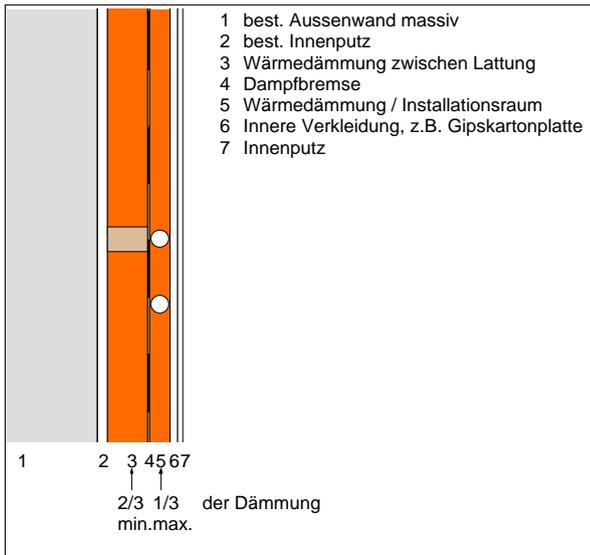
Dämmungen mit Hilfskonstruktionen sind gegenüber direkt verputzten Dämmungen mit grösseren Risiken behaftet, weil erstens in der Dämmebene viele Unterbrechungen (Wechsel Dämmung–Holz) als potenzielle Durchlässe für Konvektion vorhanden sind und zweitens zwischen Ständern und alter Mauer Hohlräume unvermeidlich sind, sich also Kondensate ansammeln können. Unkontrollierbare und nicht stetig belüftete Hohlräume innerhalb der Konstruktion müssen auf jeden Fall vermieden werden. Bei unebenen Untergründen ist das Aufbringen einer Ausgleichsschicht, etwa mit einem Dämmmörtel, vor dem Anbringen der Ständer zu empfehlen.

Ist die Dampfbremse an einer Stelle undicht oder nicht sauber an ein angrenzendes Bauteil angeschlossen, kann warme feuchte Luft konzentriert nach draussen strömen und an der kalten inneren Konstruktionsoberfläche kondensieren. Gerade bei Deckenanschlüssen mit Balkenlagen ist dies nur schwer vermeidbar. Die mitgeführte Feuchte akkumuliert an einer Stelle, durchfeuchtet die Dämmung und läuft gar der Wand entlang in den Bodenbereich ab. Da in der Praxis eine vollflächig dichte Ebene nur sehr schwer zu realisieren ist, müssen Lösungen mit variablem Diffusionswiderstand eingesetzt werden, damit allfällige Kondensate raumwärts austrocknen können. Auch nutzerseitige Beschädigungen sind nicht auszuschliessen.



Innendämmung, konvektiver Feuchteeintrag durch Leckage (Abb. 60)

Die Aufteilung in zwei Dämmebenen kann das Risiko von konvektiven Kondensaten vermindern. Der in der folgenden Darstellung gezeigte Konstruktionsaufbau zeigt raumseitig der Dampfbremse eine zweite, zusätzliche Dämmebene, welche die Dampfbremse vor mechanischer Beschädigung schützt. Die zweite Schicht bietet aber gleichzeitig eine willkommene zerstörungsfreie Installationsschicht im Sinne eines Additivums: Elektroleitungen können innerhalb der Dampfbremse geführt werden, sie müssen diese nicht durchstossen, und sie können so auch im Baudenkmal unsichtbar verlegt werden.



Innendämmung mit doppeltem Rost (Abb. 61)

Schwachpunkt Fensterleibung

Nach einer Innendämmung, insbesondere dann, wenn auch die Fenster saniert werden, sind Leibungen und Stürze raumseitig die kältesten Flächen der Aussenwand. Daher müssen Leibungen und Stürze wenn immer möglich mitgedämmt werden (mindestens 1–2 cm, nach Auskunft des Bauphysikers), damit die Oberflächentemperaturen auch auf diesen Flächen über der Taupunkttemperatur liegen. Sonst häufen sich Kondensate, und Schimmelbildung ist möglich. Die Wahl kapillaraktiver Materialien begünstigt die gute Verteilung und somit raschere raumseitige Austrocknung allfälliger Kondensate; geeignete Feuchteverteilung ermöglicht ein besseres Austrocknen und vermeidet Schimmelbildung.

Werden Dampfbremsen eingesetzt, so soll nicht mehr als ein Drittel des Dämmwiderstandes raumseitig der Dampfbremse liegen!



Gossau, Allenwinden, Innendämmung reduziert
 oben: nach Montage der Hilfskonstruktion
 unten: nach Remontage des Täfers (Abb. 62)

7.1.3 Wärmedämmputze für Innen- und Aussendämmungen

Wärmedämmputze werden in der Denkmalpflege auf der Innen- oder Aussenseite verputzter Aussenwände von Massiv- und Fachwerkbauten eingesetzt. Dort, wo kein erhaltenswerter Putz überliefert ist und wo ein Wärmedämmputz das Erscheinungsbild des Denkmals nicht beeinträchtigt, kann sein Einsatz geprüft werden. Wärmedämmputze werden seit mehr als dreissig Jahren für die Wärmedämmung von Aussenwänden sowohl als Innen- wie auch als Aussendämmungen eingesetzt. Seit jeher wurden Putze mit Zuschlagstoffen vergütet, sei es um Schwundrisse zu vermeiden oder um andere Eigenschaften des Putzes zu verbessern. Seit dem letzten Viertel des 20. Jahrhunderts werden den meist mineralischen Putzen auch explizite Dämmstoffpartikel beige-mischt. Als Zuschlagstoffe mit guten Dämmeigenschaften werden heute zur Hauptsache Polystyrol, Kork und Perlite (vulkanisches Glas) eingesetzt. Als Innen-dämmputze gelangen auch Lehmputze mit Schilfrohr und anderen organischen Zuschlagstoffen zur Anwendung. Die Vermengung der mineralischen Putze mit organischen Zuschlagstoffen im Falle von Polystyrol und Kork ist im Hinblick auf eine spätere Entsorgung aber nicht unproblematisch. Das organische Material kann nicht mehr vom mineralischen getrennt werden; die Dämmungen müssen in einer Reaktordeponie entsorgt werden.

Konventionelle Dämmputze haben eine Wärmeleitfähigkeit von 0.07–0.1 W/mK. Sie sind also gegenüber anderen Dämmsystemen bezüglich der Wärmeleitfähigkeit weniger günstig. Die EMPA entwickelte in den letzten Jahren in Zusammenarbeit mit mehreren Partnern aus der Baustoffindustrie einen Hochleistungsdämmputz mit Aerogel als Zuschlagstoff. Dieser besitzt eine Wärmeleitfähigkeit von nur noch 0.03 W/mK, ist also zwei bis dreimal effizienter als die konventionellen Dämmputze. Entsprechende Produkte sind in der Testphase, sie sollen 2013 auf dem Markt erhältlich sein.

Anwendung und Systemaufbau

Dämmputze werden im Normalfall in zwei Schichten aufgebracht. Der Unterputz ist der weichere, eigentliche Dämmputz mit einer variablen Schichtdicke von 2 bis 12 cm und mehr. Bei einer Innendämmung sollte eine Dämmstärke von ungefähr 10 cm nicht überschritten werden, um an der Schichtgrenze zum bestehenden Mauerwerk keine grösseren Feuchteansammlungen zu konditionieren. Wärmedämmputze haben den grossen Vorteil der lokal variablen Schichtstärke. Das heisst, dass unregelmässige Oberflächen durch geübte Fachleute nachgebildet werden können und dass unregelmässige Anschlüsse z.B. an steinsichtige Tür- und Fenstergewände besser gelöst werden können.



Hittnau (ZH) Pfarrhaus, Aufnahme vor 1942
Sanierung unter den kriegsbedingten Heimatstileinflüssen 1942
Energetische Sanierung mit Dämmputz 2011 (Abb. 63, 64, 65)

Der Oberputz ist eine härtere mineralische Putzschicht zum Schutz der Fassade und der Innenwand. Die Oberfläche des Oberputzes kann in Entsprechung zu normalem mineralischem Putz frei gestaltet werden. Die massive Wand bleibt als Mauer bauphysikalisch homogen. Die Wärmespeicherfähigkeit wird durch den Dämmputz wenig verringert.

7.1.4 Aussenwärmedämmung

Nachträgliche Aussendämmungen bedeuten den Verlust der Erscheinung und teilweise auch der Substanz des Baudenkmals. Aussenwände verlieren ihre Öffnungsrahmen, Gliederungen und das Dekor, die als wichtige Gestaltelemente des Denkmals sichtbar erhalten bleiben müssen. Die Kontaktnahme mit der Denkmalpflegefachstelle vor Planungsbeginn ist im Falle einer Aussendämmung besonders wichtig.

Der aussenseitige Schichtauftrag verdeckt die Denkmaloberflächen, und er verändert die Tiefe zwischen Fassaden- und Fensteroberfläche. Die vergrösserte Tiefe der Aussenelemente verfälscht die Erscheinung. Würden aber im Sinne einer Korrektur die Fensterebenen nach aussen verschoben, so würden entweder die Öffnungen um Rahmenbreite kleiner oder sie müssten nachgeschnitten werden, eine weder mit der Substanz noch mit der Gestalt des Denkmals verträgliche Massnahme. Die aus bauphysikalischer Sicht geeignetste Lösung ist also an Baudenkmalen nur selten anwendbar. Gedämmt werden können nur subsidiäre Ansichten mit wenigen oder ohne Öffnungen, wie beispielsweise Brandmauern oder schlichte Innenhofansichten, wie sie sich häufig in städtischen Gebieten mit geschlossener Bauweise hofseitig präsentieren. Die optischen Veränderungen müssen in diesen Fällen durch reduzierte Dämmstärken in vertretbarem Rahmen gehalten werden. Die Lösung muss für jedes Baudenkmal individuell gefunden werden.

Aussendämmsysteme

In Bezug auf die Gestaltung und die Materialisierung der Dämmung werden drei Systeme unterschieden:

- Wärmedämmputze
- hinterlüftete Fassade
- verputzte Kompaktfassade
(WDVS = Wärmedämmverbundsystem)

Massive Baudenkmalen werden etwa mit Dämmputzen gedämmt, seltener mit Kompaktfassaden versehen; hinterlüftete Fassaden kommen im Holz- und Fachwerkbau oder im Stahlbau zum Einsatz. Das Dämmen mit Dämmputzen wurde bereits behandelt, wir beschränken uns also im Folgenden auf einige Hinweise zu den Kompaktfassaden.

Kompaktfassade

Kompaktfassaden spielen im Zusammenhang mit der Sanierung von Baudenkmalen eine untergeordnete Rolle; sie können bei historischen Mauerwerken mit unregelmässigen Oberflächen nicht eingesetzt werden. An jüngeren Baudenkmalen, vor allem an Nachkriegsbauten mit maschinenverputzten Aussenmauern, können sie für Aussendämmungen von untergeordneten Ansichten durchaus infrage kommen.

1949 entwickelte der tschechoslowakische Chemiker Fritz Stastny bei der badischen Anilin und Sodafabrik (BASF) das Styropor, das acht Jahre später, 1957, für eine erste Aussendämmung an einem Berliner Haus zum Einsatz gelangte. Mit Styropor gedämmte Kompaktfassaden fanden aber erst nach der Erdölkrise von 1973 Verbreitung. Heute steht für die Aussendämmung eine breite Palette von Dämmmaterialien zur Verfügung.

Materialien für kompakte Aussendämmung

synthetische Dämmungen	
mineralische	Mineralwolle
	Mineralschaum
organische	Polystyrol-Hartschaum
	Polyurethan-Hartschaum
natürliche Dämmungen	
organische	Holzfasern
	Kork
	Hanf
	Schilfrohr
	Gras
mineralische Dämmungen	Perlite

Beispiele synthetischer und natürlicher Dämmmaterialien (Abb. 66)

Dämmplatten werden direkt auf den Untergrund geklebt oder auf dem bestehenden Verputz mit Dübeln mechanisch befestigt. Beide Befestigungsarten gelangen auch kombiniert zur Anwendung. Die Hauptschwierigkeit stellt das unterschiedliche Dehnverhalten des Dämmmaterials und des Putzes bei den grossen Temperaturschwankungen dar. Daher wird zwischen Dämmung und Fassadenputz eine Gewebearmierung angebracht. Aussendämmungen werden heute als aufeinander abgestimmtes Gesamtsystem aus Dämmung, Armierung, Putz und Anstrich angeboten. Als Dämmsysteme für Baudenkmalen eignen sich jene, deren Befestigungen Mauerwerk und Oberflächen minimal beeinträchtigen. Bei der Systemwahl muss aber ebenso darauf geachtet werden, dass das System sich bezüglich der Ausbildung der Oberflächen eignet. Der Putz soll grundsätzlich gemäss der Struktur und Textur des Originals aufgebaut

werden können, damit das Erscheinungsbild möglichst wenig verändert wird. Dies ist mit den verbreiteten Dünnschichtsystemen oft nicht möglich. Bei Dünnschichtsystemen wird die Dämmschicht mit einem nur 2 bis 5 mm dicken Verputz mit vollflächiger Gewebeeinlage beschichtet. Dickschichtsysteme mit Stärken von mehr als 1 cm sind in den letzten Jahren zugunsten von vergüteten Dünnschichtsystemen zurückgedrängt worden. Gut funktionierende Dickschichtsysteme mit mineralischen harten Dämmungen wie Mineralschaumplatten oder Perliten sind aber wieder erhältlich. Sie bewähren sich in Bezug auf mechanische Beschädigungen, und sie sind vorteilhaft bezüglich der Wärmespeicherfähigkeit. Wenn auch der direkte Wärmegewinn bei solchen Systemen gering ist, so beeinflusst die Wärmespeicherfähigkeit des Putzes doch die Wärmetransmission positiv, indem die Oberflächentemperatur der Fassade im Tagesverlauf länger erhöht bleibt.

7.1.5 Kerndämmung von zweischaligen Mauerwerken

Zweischalenmauerwerke aus Back-, Kalksand- und anderen Formsteinen finden sich bei Baudenkmalern der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts. Die Aussenschale diente zunächst als Wetterhaut und Gestaltungselement, die innere stellt das Tragwerk dar. Der belüftete Zwischenraum von 2 bis 5 cm diente dem Austrocknen der Aussenschale. Seit den 1970er-Jahren und bis heute werden verputzte Zweischalenmauerwerke mit zwischenliegender Wärmedämmung ausgeführt. Die nachträgliche Hohlraumdämmung für noch nicht gedämmte Mauerwerke ist nur möglich, wenn die Aussenschale wasserdicht ist, oftmals ist aber diese Dichtigkeit nur gewährleistet, wenn die Sichtsteinfassade nachträglich verputzt wird. Hinzu kommt, dass die Aussenschale mit einer Hohlraumdämmung kälter wird und grösseren Temperaturschwankungen ausgesetzt ist, allerdings geringfügiger als bei Innendämmungen. Die Dämmung muss durch unzählige Bohrlöcher eingeblasen werden. Daher kommen nur Dämmmaterialien in Flocken- und Granulatform in Frage, so etwa Cellulose, Steinwollflocken, Perlite und Polystyrolgranulate.

7.1.6 Kombinierte Dämmkonzepte mit reduzierten Dämmungen

Aussenwandkonzepte können Aussendämmung, Innendämmung und nicht gedämmte Partien auch kombinieren. Kombinierte Konzepte erlauben grundsätzlich eine feinfühligere, einzelbauteilbezogene Reaktion. Mögliche Konflikte solcher Lösungen bilden aber aus bauphysikalischer Sicht die Systemgrenzen, die linearen Übergänge also, von einem Dämmsystem in das andere oder von einem gedämmten zu einem nicht dämmbaren Bauteil. Aus denkmalpflegerischer Sicht ist in jedem Fall zu prüfen, ob durch eine solche Lösung das Erscheinungsbild auch wirklich genügend gewahrt bleibt. Kombinierte Konzepte können nur durch die interdisziplinäre Zusammenarbeit der Fachleute aller am Projekt beteiligten Disziplinen gelingen.

Das Beispiel des Schulhauses Kreuzfeld in Langenthal, erbaut 1951 durch den Berner Architekten Walter Schwaar, kann ein solches Konzept illustrieren. Für die Dämmung des in Massivbauweise errichteten Klassentrakts wurden drei unterschiedliche Massnahmen gewählt. Die Längsfassaden wurden in Rücksichtnahme auf die Fassaden und den ausgezeichneten Innenausbau nicht gedämmt. Allerdings wurden die Fenster ausgewechselt. Die nordseitige Schmalseite wurde wegen des grossen zu erhaltenden Sgraffitos innen gedämmt, und die gegenüberliegende Schmalseite wurde aussen gedämmt.



Schulhaus Kreuzfeld, Langenthal, erbaut 1951 durch Walter Schwaar. Energetisch saniert nach reduziertem kombinierten Konzept (Abb. 67)

7.2 Aussenwände in Holz- und Mischbauweise (Fachwerke)

Auf dem Gebiet der heutigen Schweiz hat das Baumaterial Holz eine grosse Verbreitung gefunden. Nördlich der Alpen erstrecken sich zwei grosse historische Holzbau-landschaften von ganz unterschiedlichem Charakter. In zwei kulturgeografischen Räumen haben sich Haus und Hof bedingt durch Bodenbeschaffenheit und Klima in ganz eigenständiger Weise entwickelt: der alpine Blockbau und der mittelländische Ständer- und Fachwerkbau. Die Wohnhäuser des alpinen Blockbaus sind Kantholzblockbauten (Flecklinge), für Nebengebäude sind auch Bohlen und Hälblinge eingesetzt worden.

Holzständerbauten und (geschossweise abgebundene) Fachwerkbauten haben sich parallel entwickelt, beide lassen sich bis ins Mittelalter zurückverfolgen. Ständerbauten des Mittellandes zeigen Brettfüllungen von weniger als 4 cm Stärke, Ständerbauten des höheren Mittellands und des Voralpengebiets eher Bohlen und Flecklinge. Fachwerkbauten sind mit Lehm-Rutengeflechten, Steinfüllungen (Kalktuff, Bruchstein, Sandstein) und ab ca. 1880 hauptsächlich mit Backsteinen ausgefacht. Das ist auf die Industrialisierung der Backsteinherstellung und die damit verbundene Verbilligung dieses Baumaterials zurückzuführen.



Alpiner Blockbau, Agensteinhaus in Erlenbach i. S., erbaut 1766 (Abb. 68)



Staldenhof in Oberburg, hervorragender Ständerbau von 1772 (Abb. 69)

Holzbauten

Blockbauten funktionieren statisch ähnlich wie Massivbauten: Die Wände tragen als Scheiben die Lasten ab. Holzständerbauten und Fachwerke hingegen sind Skelette, hier leiten Stützen und Schwellen die Lasten auf die Fundamente.

Beiden Konstruktionsarten ist ein hoher Fugenanteil mit konstruktionsstiefen Fugen gemeinsam, sie sind daher weniger dicht als Massivbauten. Die Quell- und Schwundeneigenschaften des Baustoffs Holz verschärfen das Problem. Vor allem auf der Sogseite des Gebäudes wird die Luftdichtungsschicht stark beansprucht, und es können im Winter konvektive Feuchteinträge durch warme Luft erfolgen.

Die Luftdichtigkeit wurde mit den Holzverbindungen (Nut und Kamm) und mit speziellen Dichtungsmitteln wie Moosen und Lehm erreicht. Holzbauten haben einen wesentlich besseren Wärmedämmwiderstand als Massivbauten (siehe nachfolgende Tabelle). Aus diesem Grund sind die inneren Oberflächentemperaturen von Holzkonstruktionen höher und damit das Raumklima angenehmer als bei raumseitig nicht verkleideten Massivbauten.

Den Block- und Ständerbauten mit nahezu konstruktionsstiefen Flecklingsfüllungen sind bezüglich der eingesetzten Baumaterialien homogene Wandquerschnitte mit ähnlichen Wärmedurchgangswiderständen für Trag- und Füllwerk gemeinsam. Daher sprechen wir bei diesen Konstruktionen auch von Holzmassivbauten. Hingegen verhalten sich die meist gegenüber den Flecklingsständerbauten älteren Brett- und Bohlenständerbauten des 16. bis 18. Jahrhunderts klar als Leichtbauten, die ein sogenanntes Barackenklima aufweisen.

Aussenwandfüllungen	U-Wert in W/m ² K
Brettfüllung 4 cm	ca. 2.1
Bohlenfüllung 8 cm	ca. 1.27
Flecklingsfüllung 10 cm	ca. 1.06
Flecklingsfüllung 15 cm	ca. 0.75

Blockbauten und Flecklingsständerbauten

Beide Konstruktionen weisen eine einzige Schicht auf, welche zugleich tragende, dämmende und raumabschliessende Funktionen übernimmt und die innere und äussere Ansicht der Wand darstellt. Traditionelle Blockbaukonstruktionen mit horizontal aufeinandergelegten Hölzern zeugen von einem hohen handwerklichen Können und setzen ein Verständnis für die Wahl der eingesetzten Hölzer sowie deren Verhalten (Setzmass, Schwundrisse, Fugen) voraus. Rundhölzer wurden in der Schweiz meist für untergeordnete Konstruktionen wie Stallbauten und Speicher verwendet. Für Wohnbauten gelangten fast ausnahmslos Kanthölzer (Flecklinge) mit Nut- und Kammverbindungen zur Anwendung. Ihr Vorteil sind die überall gleiche Schichtstärke und Fugen von maximaler Tiefe. Die sorgfältig gehobelte Innenoberfläche konnte direkt als Träger von Malereien dienen.



Haus in Nesslau (SG), bemalte Blockinnenwand (Abb. 70)

Fachwerkbauten

Fachwerkbauten sind inhomogene Konstruktionen von geringer Stärke (15–20 cm) mit hölzernem Tragwerk und massiven Ausfachungen. Die Aussenwände des Fachwerks zeigen unterschiedliches wärme- und feuchte-technisches Verhalten der Holzkonstruktion und der mineralischen Ausfachungen. Die Wärmeleitfähigkeit der Ausfachungen ist in der Regel wesentlich höher als diejenige des Holzwerks und der Diffusionswiderstand geringer. Gefache aus Naturstein (Kalkstein, Gneis) und



Wila, Gebäude Nr. 471; Fachwerkbau mit hohem Fugenanteil (Abb. 71)

kleinem Fugenanteil können aber sehr dicht sein. Für historische Fachwerkwände werden U-Werte zwischen 1.65 W/m²K für Stroh-Lehmausfachungen und 2.96 W/m²K für Backsteingefache ermittelt. Die zahlreichen Linien des Materialwechsels, die Fugen also, und das Schwinden und Quellen des Holzes sind dafür verantwortlich, dass die Fachwerke weniger dicht sind als Massivbauten.



Aussenwand von 1690, Ansicht der raumseitig verputzten Gefache nach der Demontage der Täfer (Abb. 72)

Zur Erhöhung der Dichtigkeit wurden die den Gefachen zugewandten Ständerseiten ausgekehlt (konkave Kontaktfläche), oder es wurden Nuten ausgebildet, um den Verbund des Mauermörtels mit dem Holzwerk zu erhöhen. Die Aussenwände wurden raumseitig durchgehend oder gefachweise verputzt. Damit konnte eine gewisse Winddichtigkeit erreicht werden. Beheizbare Räume wurden zusätzlich oft vertäfert; damit konnte eine höhere Oberflächentemperatur und somit eine höhere Behaglichkeit erreicht werden. Ein zweiter wichtiger Aspekt ist die Anfälligkeit der Konstruktion bezüglich Schlagregen. Konstruktive Massnahmen zur Reduktion des Schlagregenbefalls waren die Vordächer, Lauben und Klebdächer. Das Quellen und Schwinden des Holzes, welches an die starren Gefache anschliesst, führt zu offenen Fugen an der Fassadenoberfläche. Bis heute ist keine dauerhafte Lösung für die Schliessung der Fugen gefunden worden. Daher gehören ständige Kontrollen und regelmässiger Unterhalt zu den effizientesten Erhaltungsmassnahmen. Ständig feuchte Hölzer (>20%) favorisieren den Pilzbefall und damit im schlimmsten Fall den Holzabbau. Auch tierische Schädlinge favorisieren feuchtes Holz (>10%).



Gasthof zum roten Öpfel, Hefenhofen (TG), 1811 (Abb. 73)

Die Aussenoberflächen der Hölzer waren unbehandelt, geölt oder mit pigmentierter Ölfarbe gestrichen. Nebst Leinölen wurden Nuss- und Standöle eingesetzt. Die Öle bilden einen sehr guten Schutz gegen eindringende Feuchte, sie haben jedoch auch eine dampfbremsende Wirkung (Sd-Wert von 1–2.6 m), die je nach verwendetem Ausfachungsmaterial und dem Verhältnis von Konstruktion und Gefachflächen ins Gewicht fallen kann. Die durch Fugen eingedrungene Feuchte muss also auch nach innen oder über die Gefache austrocknen können. Es ist daher erstens wichtig, dass die Gefache mit diffusionsoffenen Putzen und mineralischen Farben (Sd-Wert 0.03–0.04) versehen sind. Die genaue Kenntnis der bereits vorhandenen Farbschichten von Gefachen und Holzteilen ist für die Sanierung wichtig. Zweitens

muss die ins Holz eingedrungene Feuchte auch nach innen austrocknen können. Diesem Aspekt kommt im Zusammenhang mit einer Innendämmung von Fachwerken eine hohe Bedeutung zu.

Gestalt von Fachwerkbauten

Keine andere historische Konstruktionsweise bestimmt die Gebäudegestalt so weitgehend wie das Fachwerk. Die Konstruktionselemente Ständer, Pfetten, Riegel und Streben gliedern und gestalten die charakteristischen Ansichten mit dunkel gestrichenen oder naturbelassenen Hölzern und hellen Flächen der mineralisch verputzten Gefache.

Aber längst nicht alle Fachwerke sind Sichtfachwerke. Von Anbeginn verputzte Fachwerke finden sich immer wieder, so etwa an herrschaftlichen Wohnbauten, die den Ausdruck des Mauerbaus suchten. Oft sind Gebäude auch anlässlich einer Erweiterung im Sinne einer Vereinheitlichung verputzt worden. Aber auch von Anbeginn verrandete oder verschalte Fachwerke kommen vor. Die originalen Verkleidungen wurden nicht selten auch nur auf der Wetterseite montiert. Andere Fachwerkbauten wurden erst nachträglich verputzt und verschalt, nicht selten im Sinne einer Mängelbehebung, sei es um schadhaft gewordene Hölzer besser zu schützen oder um die Luftdichtigkeit zu erhöhen.



Vielzweckhaus in Horben, Gemeinde Illnau-Effretikon, Partiiel verschalte Wetterseite (Abb. 74)

Dämmung von Fachwerken und Holzbauten

Am Anfang der Planung einer Dämmung steht die Analyse. War der Bau von Anfang an Sichtkonstruktion, und wenn er es heute nicht mehr ist, warum? Das Freilegen eines bereits stark geschwächten Fachwerks kann für seine langfristige Erhaltung der falsche Entscheid sein. Die interdisziplinäre Diskussion des Analysebefunds und des Sanierungskonzepts ist daher bei Fachwerkbauten besonders wichtig.

Bei der Mehrzahl der Fachwerk-, Holzständer- und Blockbauten definiert aber die sichtbare Konstruktion die Fassaden. Daher wird eine Aussendämmung von solchen Bauten nur in Ausnahmefällen möglich sein.

Baudenkmäler mit Holzfassaden und Sichtfachwerke können aussen nicht gedämmt werden. Dämmbare Baudenkmäler werden daher auf der Innenseite reduziert gedämmt.

Durch die Innendämmung wird das Gebäude im Winter feuchter, weil mehr Flächenkondensate anfallen und weil die Austrocknungsmöglichkeiten eingeschränkt werden. Die Einschränkung hängt mit der kälter gewordenen Konstruktion und der verminderten Austrocknung nach innen wegen der Dampfbremse zusammen. Es ist bei diesen Bauten besonders wichtig, dass im Vorfeld einer Innendämmung auch die Aussenoberflächen und ihr Zustand in die Betrachtung mit einbezogen werden. Die häufig getrennt erfolgende Innen- und Aussensanierung von Gebäuden ist bei Fachwerk- und Holzbauten nicht sinnvoll.

Entsprechend den heutigen gesetzlichen Anforderungen, müssen Denkmäler gemäss Angaben der Bauphysiker innen reduziert gedämmt werden. Aus bauphysikalischen Gründen (Kondensatmengen) liegen die Dämmstärken in Abhängigkeit vom Dämmmaterial in der Regel im Bereich von etwa 4–8 cm.

Für eine Innendämmung muss der sorgfältige Ausbau und Wiedereinbau von Täfern in Kauf genommen werden. Die Reduktion der Verkleidungen durch die Dämmung muss im Täfer an einer sinnvollen und unauffälligen Stelle aufgefangen werden. Die an sich unveränderte Regenbelastung kann vorwiegend nur noch nach aussen austrocknen. Die Konstruktion bleibt im Jahresverlauf länger feucht. Holzzerstörende Pilze können auftreten, ohne dass dies von innen oder aussen ersichtlich ist. Um einerseits die Flächenkondensate niedrig zu halten und andererseits den Wärmetransport an die Konstruktionsinnenoberfläche wegen der Trocknung von Aussenfeuchte nicht zu sehr zu reduzieren, ist die Stärke der Wärmedämmung raumseitig beschränkt.

Balkenkopfkondensate

Das Problem der Balkenkopfkondensate erreicht bei Holz- und Fachwerkbauten nicht ganz dieselbe Brisanz wie bei den Massivbauten, weil die die Dämmung durchdringenden Balken normalerweise aussen frei sind und damit besser austrocknen können (Deckenbalkenköpfe von Fachwerken, Lauben tragende auskragende Deckenbalken). Bei exponierten Fassaden kann aber wiederum Feuchteakumulation auftreten. Die kondensatbelasteten Balken können mit grossen Mengen von Schlagregen zusätzlich belastet werden (freie Stirnhölzer der Fachwerke).

Werden nicht kapillaraktive Dämmstoffe eingesetzt und wird eine Dampfbremse eingebaut, so muss jeder die Folie durchdringende Balken allseitig mit dieser verklebt werden. Allerdings lassen sich die Anschlüsse vierseitig, also auch vom oberen Boden, in der Praxis kaum leckfrei abdichten. Zudem sind die Holzbalken infolge verschiedener Raumfeuchtigkeiten über das Jahr dem Schwinden und Quellen unterworfen. Die Dauerhaftigkeit eines geklebten Anschlusses an eine solche Konstruktion ist eher ungewiss. Hohlräume im Bereich der freigelegten Balkenaufleger sollen soweit wie möglich mit Seidenzopf oder weicher Dämmung ausgestopft werden, um die Luftkonvektion zwischen den Deckenhohlräumen und den Auflagern zu minimieren.

Innendämmung von Fachwerkbauten

Luftdichtigkeit ist gerade bei den inhomogenen und von Fugen durchsetzten Fachwerkbauten kaum realisierbar, und es muss mit punktuellen konvektiven Feuchteinträgen gerechnet werden. Gleichzeitig müssen aber auch äussere Feuchteinträge nach innen austrocknen können. Deshalb werden Fachwerke mit diffusionsoffenen und kapillaraktiven Dämmmaterialien ohne spezielle Dampfbremse oder mit diffusionsoffenen Dämmungen und mit Dampfbremsen mit variablem Diffusionswiderstand gedämmt. Eine Schwierigkeit bei der zweiten Sanierungslösung stellen die Anschlüsse an die die Dämmung durchdringenden Balken dar. Kann die Dampfbremse im Bereich von Wand- und Deckenanschlüssen, wie beispielsweise im Falle einer Balkenlage, nicht dampfdicht angeschlossen werden, konzentriert sich der Feuchteintritt in die Konstruktion punktuell. Bei solchen durch die Konvektion zusätzlich verstärkten Feuchteansammlungen können sich sehr grosse Wassermengen in der Konstruktion sammeln. Sichtbare Wasserlachen deuten fast immer auf konvektive Feuchteschäden hin, wenn auch der Fundort des Wassers nicht zwingend der Eintrittsort sein muss.

Während Systeme mit feuchteadaptiver Dampfbremse im Jahresmittel leicht niedrigere Holzfeuchten messen, hat das System mit kapillaraktiven Dämmungen den Vorteil, dass sich punktuelle Feuchteansammlungen jederzeit verteilen und das Wasser kapillar an die Wandinnenoberfläche zurücktransportiert wird.

Dämmungen mit kapillaraktiven Dämmmaterialien

Die Wahl des geeigneten Dämmmaterials hängt von der Beschaffenheit der Innenoberfläche und der Materialität der Aussenwand, aber auch von der zur Verfügung stehenden Bauzeit (Austrocknung) und der beabsichtigten Deckschicht ab.

Platten aus Porenbeton oder Kalziumsilikat

Die Verwendung von kapillaraktiven Stoffen wie Porenbeton oder Kalziumsilikatdämmungen, bei welchen die Feuchtigkeit verteilt und kapillar an die Innenoberflächen zurückgeleitet wird, bedingt einen vollflächigen Kontakt der Dämmung mit der Konstruktion (unkontrollierte Hohlräume vermeiden wegen Luftumverteilungen und Folgekondensaten). Unebene Innenoberflächen müssen mit kapillaraktivem Material, z.B. Dämmputz, geglättet werden, bevor die Platten mit kapillaraktivem Leichtkleber befestigt werden können. Daher eignen sich solche Platten eher für ebene Innenoberflächen mit verputzten Gefachen.

Lehm

Für stark unebene Oberflächen, wie gegenüber dem Holzwerk einspringende Gefache, beispielsweise aus Lehm-Rutengeflechten, eignet sich besonders Wärmedämmlehm. Auf der vorgesehenen Innenfläche der Dämmung wird eine verlorene Schalung aus Holz angebracht und anschliessend – durch ein Vlies zur Vermeidung von Rissbildungen von der Konstruktion getrennt – der Dämmlehm Schicht für Schicht feucht in den Hohlraum eingebracht und leicht gestampft. Hauptnachteil dieser Dämmung ist die lange Austrocknungszeit des Dämmmaterials von 4–12 Wochen. Die verlorene Schalung dient als Befestigungsgrund für die raumseitige Deckschicht.

Cellulose

Soll eine Putzschicht den Raumabschluss bilden, so können kapillaraktive Celluloseflocken unter Zugabe von mineralischem Bindemittel und Wasser an die Wand gespritzt und anschliessend verputzt werden. Sollen aber Täfer oder Platten montiert werden, können konventionelle Vorsatzschalen mit Ständern und mit Cellulose gefüllten Feldern gewählt werden. Hohlräume zwischen Ständern und Aussenwand müssen vermieden werden.

Diffusionsoffene Dämmstoffe und Dampfbremsen mit variablem Diffusionswiderstand

Ständervorwände können auch andere diffusionsoffene weiche Materialien wie Stein- oder Glaswolleplatten aufnehmen. Für die kapillar passiven Materialien muss aber eine feuchteadaptive Dampfbremse eingesetzt werden. Bei starker Regenbeanspruchung einer Aussenwand ist als Begleitmassnahme einer Innendämmung auch eine Verbesserung des Regenschutzes zu prüfen. Ist der Verputz zu wasserabweisend, läuft das Regenwasser direkt in die Schwachstelle zwischen dem Holz und dem Gefach. Nicht gestrichenes Holzwerk kann zwar sehr gut nach aussen austrocknen, wird es beregnet, nimmt es jedoch viel Wasser auf. Historische gestrichene Fachwerke waren mit Kalk-Kasein- und mit Ölfarben gestrichen. Die mit Kalkmörtel verputzten und auf dem noch feuchten Putz gekalkten Gefache sind sehr diffusionsoffen und können auch seitlich austretende Holzfeuchte nach aussen abgeben. Die Frage der Oberfläche kann aber nicht generell beantwortet werden, sie muss auf das konkrete Objekt, die Materialien der Gefache und des Tragwerks abgestimmt werden.

Die Dämmstärke ist nicht nur von den bauphysikalischen Gegebenheiten abhängig. Auch wertvolle Böden, Decken, Wandtäfer und Einbaubuffets können die Dämmstärke begrenzen.

Anpassung von Täfern und anderen raumseitigen Verkleidungen

Aussenwände von Wohn- und Schlafräumen von Fachwerkbauten sind meist mit wandhohen Täfern verkleidet. Sind diese von historischer Bedeutung, müssen vor der Sanierung Massaufnahmen erfolgen, die Täfer anschliessend sorgfältig demontiert, nummeriert und anschliessend an einem sicheren Ort gelagert werden. Die notwendigen Einkürzungen sind anschliessend nach der Maxime des minimalen Substanzverlusts sorgfältig zu planen. Erschliessungs- und Nebenräume sind oft auch verputzt. Gerade bei älteren Bauten lohnt sich die genaue Untersuchung der Putz- und Farbschichten sowohl aus bauhistorischer wie auch aus bauphysikalischer Sicht. Sind die Boiserien nicht oder nur teilweise erhalten, muss in jedem Fall individuell mit der Denkmalpflege eine Lösung gefunden werden.

Werden bisher nicht bewohnte Räume umgenutzt, wie beispielsweise alte Gewerbebauten, und werden deren Aussenwände gedämmt, so werden die Oberflächen gezwungenermassen neu gestaltet. Aus denkmalpflegerischer Sicht ist dabei der Erhaltung der Raumwirkung und der Raumstimmung besondere Beachtung zu schenken.

Innendämmung von Holzbauten

Holzbauten sind «bewegte» Konstruktionen, welche in Abhängigkeit von den Jahreszeiten und der Luftfeuchtigkeit schwinden und quellen. Aber sie sind materiell im Gegensatz zu den Fachwerken homogener aus einem Material – wenn auch mit unterschiedlichen Schichtstärken – gefügt. Das Fugenproblem konzentriert sich hier auf den Schutz vor Aussenfeuchte, insbesondere von stehendem Wasser, welches besonders horizontale Hölzer wie Fensterbänke, Schwellen und deren horizontale Flächen gefährdet.



Holzständerbau, innen gedämmt, Buch, Gemeinde Mühleberg (Abb. 75)

Dämmmassnahmen müssen der variablen Ausdehnung des Holzes Rechnung tragen; daher werden für Holzbauten ausschliesslich weiche und dauerelastische Dämmmaterialien eingesetzt. Auch werden Dämmverfahren bevorzugt, die als Trockenbauverfahren eingesetzt werden können und allzu grosse Baufeuchte vermeiden helfen. Als Hilfskonstruktionen dienen entweder Vorsatzschalen mit freistehenden Ständern oder solche mit direkter Wandbefestigung. Hier muss von Fall zu Fall entschieden werden, wo am einfachsten mit möglichst wenig Befestigungspunkten möglichst keine Substanz gestört werden muss. Die Hilfskonstruktion dient zugleich als Träger für die raumseitige Deckschicht. Die Vorsatzschalen werden mit weichen und somit anpassungsfähigen Dämmmaterialien entweder in Platten-, Matten- und Rollenform oder als Einblas-, Sprüh- oder Schüttdämmung eingebracht.

Wie bei Fachwerken werden auch hier Konstruktionen mit kapillaraktiven Isolationen und solche mit diffusionsoffenen Dämmungen und einer feuchteadaptiven Dampfbremse eingesetzt. Unter den kapillaraktiven Materialien stehen Cellulose und Weichfaserplatten aus Holz oder auch Kork aus denkmalpflegerischer Sicht im Vordergrund, weil sie dem verwendeten Material Holz

entsprechen und die Aussenhülle mit ihren bauphysikalischen Eigenschaften so vergleichsweise homogen bleibt. Von den diffusionsoffenen, aber nicht kapillaraktiven Dämmmaterialien, welche in Begleitung einer feuchteadaptiven Dampfbremse eingesetzt werden, stehen synthetische mineralische Dämmungen, also Stein- und Glaswolle, im Vordergrund.

Bei Holzbauten muss auch der Schutz der Dämmung vor Kleinnagern wie Mardern und Mäusen gewährleistet sein. Andernfalls können Dämmungen durchdrungen werden. Durchdrungene Dämmungen bedeuten nicht nur energetische Verschlechterungen, sondern auch die Gefahr von nach aussen strömender warmer Luft und damit von konvektiven Kondensaten.



Bauernstube nach Innendämmung. feinfühlig differenzierte neue Deckschicht im Gurtendörfli, Gemeinde Köniz. Der Raum behält seine stoffliche und räumliche Einheitlichkeit. Urech Architekten AG, Köniz. (Abb. 76)

Aussendämmung von verschindelten Holz- und Fachwerkhäusern

Es existieren viele, oft jüngere verschindelte Fachwerke aus dem 19. Jahrhundert, welche nie sichtbar waren, und es existieren Fachwerke, die aus unterschiedlichen Gründen nachträglich verkleidet wurden.

Verschindelte Fachwerke zeigen raumseitig meist Täfer für Stuben und vollflächig verputzte Oberflächen für die Küchen und Nebenräume.

Sind die Schindelschirme, die als Wetterhaut eingesetzt sind, stark abgewittert und sanierungsbedürftig, so muss aus denkmalpflegerischer Sicht geprüft werden, ob bezüglich Substanzerhalt und bezüglich Erscheinungsbild eine reduzierte Innen- oder eine Aussendämmung sinnvoll ist. Eine reduzierte Aussendämmung kann substanzschonender sein. Die Innentäfer können in situ erhalten werden, die Öffnungsrahmen müssen aber angepasst werden. Durch die Aussendämmung kommt die Konstruktion auf die warme Seite, erhält keine Feuchtigkeit zuzufuhr von aussen mehr, Innenfeuchte kann gegen innen austrocknen. Die Aussendämmung ist in solchen Fällen für das Bauwerk die sicherere Konstruktion. Historische Schindelfassaden bestehen meist aus einer auf der Konstruktion befestigten Brettunterlage, an welche die Schindeln angeschlagen sind. Zwischen Brettlage und Konstruktion wird nun die Dämmebene (Rost, Dämmung) eingeschoben. Wiederum eine Brettlage dient als Trägerin des neuen Schindelschirms. Bei der Aussendämmung von Baudenkmalern gibt nicht die Bauphysik, sondern die innenräumliche (Tageslichtanteil), gestalterische und denkmalpflegerische Verträglichkeit der tieferen Leibungen und der veränderten Randanschlüsse die Dämmstoffstärke vor. Gerade bei grossen Giebfassaden mit vielen Fensteröffnungen stösst man bald an Grenzen. Im Rahmen einer umfassenden Beurteilung muss hier die geeignete Dämmstärke gefunden oder allenfalls auf die Dämmung einer der Fassaden verzichtet werden.

Hohlraumdämmung

Ständerbauten

Bei älteren einschichtigen Holzständerbauten kommt die Dämmung der Differenzschicht zwischen der stärkeren Konstruktion und der schlankeren Füllung (Wandfelder) faktisch einer normalen Innendämmung gleich. Hingegen zeigen jüngere Baudenkmalere zweischalige Aufbauten mit zwischenliegender Konstruktion und innerer und äusserer Schalung. Dazu gehören beispielsweise viele Chaletbauten (auch solche, die formal als Blockbauten gestaltet sind) der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts. Falls die Hohlräume frei oder teilweise mit altem Zeitungsmaterial ausgestopft sind, kann das Einblasen von Celluloseflocken eine sehr denkmal- und kostengerechte Art der Hüllendämmung sein.



Stöckli aus dem Jahr 1800, Eggerdingen (Gemeinde Affoltern i.E.); die beiden fensterlosen verschindelten Traufseiten sind über die Flucht der Hauptfront hinaus verlängert. Sie bieten optimalen Wetterschutz. Die Erneuerung der Schindelflächen bietet die Gelegenheit für eine reduzierte partielle Aussendämmung. (Abb. 77)

Aussenschalung und innere Täfer können erhalten bleiben. Auf welcher Seite die Bohrlöcher angebracht und nach dem Dämmen wieder verschlossen werden müssen, ist in jedem Einzelfall zu entscheiden.

Fachwerk

Das hölzerne Tragwerk und die mineralischen Ausfachungen sind gleichwertige Bestandteile des Baudenkmals. Ausfachungen dienen als Raumhüllteile und als gebäudeaussteifende Elemente. Ihre gemeinhin grosse Masse dient der Wärmespeicherung und vor allem dem Schallschutz (Luftschall). Daher können bei energetischen Sanierungen Ausfachungen nicht durch Dämmungen ersetzt werden.

In begründeten Einzelfällen, beispielsweise wenn die Ausfachungen technisch in einem sehr schlechten Zustand oder für das Tragwerk ungeeignet sind, muss mit der Denkmalpflegefachstelle ein Ersatz diskutiert werden. Die Ausfachungen können in solchen Ausnahmefällen neu mit dämmenden Leichtsteinen wie beispielsweise Mineraldämmplatten (Porenbeton) oder Silikatdämmplatten ausgefüllt werden. Eine Alternative ist das Einbringen eines Leichtmörtels (Vorsicht: hohe Einbaufeuchte). Bei der Wiederauffüllung von alten Ausfachungen gilt es zu beachten, dass der U-Wert des neu eingebrachten Materials nicht zu tief liegt, damit die Differenz bezüglich Dämmeigenschaften zwischen der Holzkonstruktion und der Ausfachung nicht zu gross wird. Damit werden Risse vermieden.



Treppenhaus Wohn- und Geschäftshaus, Fribourg (Abb. 78)

7.3 Sanierungsmassnahmen Innenbauteile

Energetisch relevante Innenbauteile sind Kellerdecke, Estrichboden und Trennwände gegen Kalträume. Sanierungsmassnahmen von Kellerdecken sind im Kapitel 6.1, jene der Estrichböden im Kapitel 8.1 beschrieben. An dieser Stelle soll kurz auf die Trennwände gegen Kalträume eingegangen werden.

Typische Trennwände gegen Kalträume sind Treppenhauswände von Mehrfamilien- oder gemischten Wohn- und Geschäftshäusern, Scheidwände zwischen Wohn- und Ökonomieteil eines Vielzweckhauses (Bauernhaus), teilweise ausgebaute Dachgeschosse z.B. von herrschaftlichen Wohnbauten oder Wände zu überdachten, aber nicht beheizten Innenhöfen. An Kalträume grenzende Innenwände unterscheiden sich von Aussenwänden dadurch, dass sie nicht der Witterung ausgesetzt sind und durch eine geringere Temperaturdifferenz zwischen Warm- und Kaltraum.

Aus denkmalpflegerischer Sicht sind Trennwände gegen Kalträume oft Teil der Primärstruktur (Treppenhäuser, Scheidwände bei Vielzweckbauten) und sie sind ebenso Bestandteil des Denkmals.

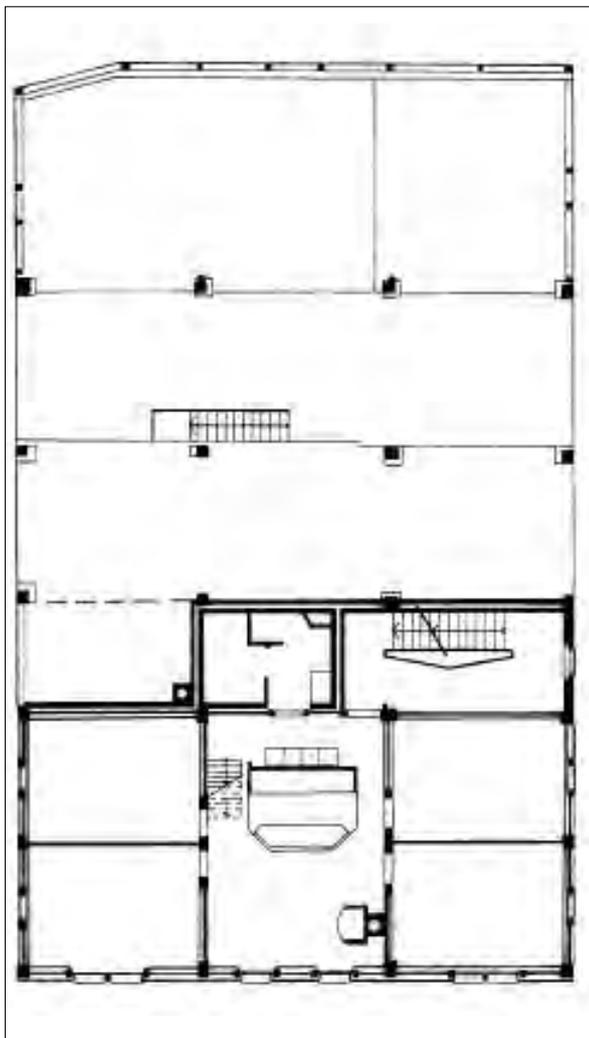


Eingangsfront zu einer Wohnung / Treppenauge (Abb. 79)

Daher sind auch bei diesem Bauteil als erstes die Dämmbarkeit und die Verhältnismässigkeit einer Dämmmassnahme zusammen mit der Denkmalpflege und Fachleuten der Bauphysik und Energie zu diskutieren.

Treppenhäuser

Treppenhäuser sind oft dreiseitig von Warmräumen umgeben. Daher macht es aus bauphysikalischer Sicht Sinn, anstelle der Innenwände des Treppenhauses dessen Fassade zu dämmen. Das Treppenhaus kommt damit innerhalb des Dämmperimeters zu liegen, es wird aber nicht aktiv beheizt. Aus denkmalpflegerischen Überlegungen ist dies aber nicht immer möglich; bei Mehrfamilienhäusern oder Hotels des Historismus und des Jugendstils (spätes 19. und frühes 20. Jahrhundert) beispielsweise gehören Eingangshalle und Treppenhaus zu den wichtigsten, nicht selten reich dekorierten und bemalten Bauteilen. Hier kann oft nicht gedämmt werden. Aus energetischer Sicht sind im Bereich des Treppenhauses oft nicht die Transmissions-, sondern vielmehr



Vielzweckhaus im Kanton Zürich mit Scheidwand zwischen Wohn- und Ökonomieteil (Grundriss 1. OG) (Abb. 80)

die Lüftungsverluste (häufiges Öffnen der undichten Eingangstüre) relevant. Die regelmässige Wartung und Kontrolle der Dichtigkeit der Eingangstüre bringt erstaunliche Einsparungen. Bei nicht dämmbaren Treppenhäusern kann der Einbau eines gläsernen Windfangs nach denkmalpflegerischen Grundsätzen der Addition und der Reversibilität eine gute Lösung sein.

Wird ein Geschoss nur teilweise beheizt oder grenzt ein bewohntes Gebäude an einen unbewohnten Nebenbau, müssen die Wände gegen diese kälteren Nebenzone bei einer energetischen Sanierung berücksichtigt werden. Da jedoch die Temperatur in den Nebenzone weniger stark schwankt als das Aussenklima und in aller Regel auch nicht unter den Gefrierpunkt fällt, sind Massnahmen an diesen Trennbauteilen bauphysikalisch weniger kritisch, und die Dämmstärken können geringer ausfallen.

Dämmen gegen feuchte Kalträume

Ist in an Warmräume grenzenden Kalträumen die relative Luftfeuchtigkeit sehr hoch, so muss dem Feuchteschutz besondere Beachtung geschenkt werden. Eine wärmegeämmte Wand wird die Raumtemperatur im angrenzenden Kaltraum, insbesondere die Oberflächentemperatur der Wand auf der unbeheizten Seite, absenken. Oberflächenkondensate und Schimmelpilze können die Folge sein. Es muss gleichzeitig mit der Dämmung also ein Lüftungskonzept für den Kaltraum erstellt werden. Klassische Situationen stellen die Scheidwand zwischen Stall und Wohnteil des Vielzweckbaus oder die an Wohnhäuser angebauten Remisen und Garagen dar.

Dämmkonzepte

Aus bauphysikalischer Sicht ist es sinnvoll, für Innenwände die Dämmung auf der Kaltseite der Konstruktion anzubringen. Da die Kalträume häufig als Nebenräume funktionieren und meist auch schlicht und schmucklos sind, ist diese Wahl sehr oft kongruent mit den denkmalpflegerischen Zielen. Die Dämmkonstruktionen für Innenwände unterscheiden sich höchstens in der Dämmstärke von denjenigen für Aussenwände. Wir verweisen daher auf das Kapitel 6.

8. Sanierungsmaßnahmen Steildach

Dachlandschaften

Dächer prägen nicht nur das einzelne Gebäude entscheidend, sie verleihen auch der Landschaft, in der sie stehen, unverkennbare Eigenheiten. Unsere gebaute Umgebung wird ganz wesentlich von der Dachlandschaft mitbestimmt. Alte Bauernhäuser scheinen fast ausschliesslich aus einem riesigen Dach zu bestehen, das für Mensch und Tier als Schutz vor Schnee und Regen, aber auch als Bergeraum diente. Daher ist das Dach in den nördlichen, vom Satteldach geprägten Regionen der Inbegriff der Geborgenheit. Etwas «unter Dach und Fach» bringen, bedeutet noch heute, etwas ins Trockene und in Sicherheit zu bringen. Die Symbolik des Daches, insbesondere des Steildachs, als schützender Hut ist stark und auf jeder Kinderzeichnung deutlich zu erkennen.



Bauernhaus von 1803, Gärbihof, Dürrenroth (Abb. 81)

Aufgrund des Klimas, der zur Verfügung stehenden Baumaterialien und der vorherrschenden Gebäude-nutzungen hatte jede Landschaft unterschiedliche Häuser mit Dächern unterschiedlicher Formen, Konstruktionsweisen, Höhen und Dachdeckungen. Bevor weite Materialtransporte mit der Eisenbahn möglich waren, gab es typische Bau- und Dachlandschaften von grosser Einheitlichkeit. Dasselbe gilt für Siedlungen und Städte. Egal, ob man das Dach wie bei freistehenden Häusern von allen Seiten sieht oder ob man in einer Siedlung von einem erhöhten Standpunkt auf geschlossene Dachflächen blickt – Abweichungen und Veränderungen werden wahrgenommen. Daher haben Dacheinschnitte, liegende Dachfenster, Materialwechsel, wie der vom Tonziegel zum Solarkollektorglas, oder die Erhöhung des Dachrandes infolge einer Aufsparrendämmung einen grossen Einfluss auf das Erscheinungsbild.



Wertvoller Dachraum des Schloss Murten mit zweifach liegendem Sparrendachstuhl und Dachboden mit Tonplatten belegt (Abb. 82)

Elemente des Daches

Das traditionelle Steildach besteht aus dem die Dachform mitbestimmenden Tragwerk und der schützenden Dachhaut. Dachtragwerke, im wesentlichen Pfettendächer, Sparren- und Kehlbalkendächer, Mansarddächer, Hängewerke, Sprengwerke und Hängesprengwerke für grössere Spannweiten, gehören zu den bautechnisch anspruchsvollsten Leistungen am historischen Bauwerk. Sie sind ohne Zweifel wichtiger Bestandteil des Baudenkmals. Die der Witterung schutzlos ausgesetzte Dachhaut ist ihrer Aufgabe gemäss eine Verschleiss-schicht. Strohdach, Schilf- und Schindeldächer überlebten jeweils nur wenige Jahrzehnte, Ziegel- und Schieferdächer sind robuster. Alte Dacheindeckungen mit handgestrichenen Ziegeln (zuweilen mit Datierung und Signatur) sind daher auch substanziell und nicht nur aufgrund des Erscheinungsbildes zu schonen. Sie sind mit ihren variierenden Materialeigenschaften und ihrer Ausführung Zeugen einer jahrhundertalten Handwerkskultur. Dachform, Dachfläche und Dachhaut sind wichtige Elemente des Denkmals. Dachöffnungen wie Gauben, Lukarnen oder Flächenfenster formen das Dach und damit das Erscheinungsbild mit.



Handgestrichener Biberschwanzziegel mit Rillen, die das Wasser vom Rand abweisen (Abb. 83)

8.1 Dachbodendämmung

Dachräume waren zunächst Lagerräume und sie funktionierten als klimatische Pufferzonen. Existierte kein Unterdach, so hatten sie die durch die Dachhaut eingedrungene Feuchtigkeit (Wasser und Flugschnee) aufzufangen. Die offene Dachuntersicht ermöglichte eine ständige Kontrolle der Dachhaut von der Unterseite. In Dachräumen von Bauernhäusern lagerten Garben, Stroh und Heu, in den Dachräumen von Bürgerhäusern wohl meist das Brennholz. Dienten Dachräume der Lagerung edlerer Güter, die vor Feuchte und Ungeziefer geschützt werden mussten (Speicher, Vorratskammer, Bedientetenkammer), wurden Unterdächer aus Brettern oder Schindeln eingesetzt oder die Dachräume wurden raumseitig mit Brettern verkleidet. Bei Speichern ersetzten Bohlschalungen gar die Sparren. Das Unterdach fand erst Verbreitung, als die Dachräume zu Wohnräumen ausgebaut wurden. Der Einbau von einzelnen Dachräumen in der Form von schlichten, teilweise beheizbaren Kammern erfolgte der einfachen Belichtung wegen meist giebelseitig. Der Zugang erfolgte wenn nötig durch den kalten Estrich. Der Mansarddachstuhl bot seit dem späten 17. Jahrhundert – seiner Form wegen – die Möglichkeit, den unteren Teil des Dachraums als Wohngeschoss auszubauen und mit normalen Fenstern zu belichten. Die Zimmer unter dem Dach wurden im Sommer sehr warm und im Winter bitterkalt. In herrschaftlichen Wohnbauten wurden daher die Dachräume stets durch Bedienstete bewohnt. Die Decken über dem obersten Wohngeschoss sind sehr oft als Holzkonstruktionen ausgeführt. So funktionieren ihre Balkenlagen gleichzeitig als Zug-elemente für die Sparrendachstühle. Schlichte Wohnbauten zeigen über der Balkenlage einen einfachen Brettrienboden mit Nut- und Kammverbindung. Als Brand- und Feuchteschutzmassnahme wurden die Riemenböden oftmals mit in Mörtel verlegten Tonplatten abgedeckt. Um Wärmeverluste gegen den kalten Dachstock zu reduzieren und um Schimmelbildung zu vermeiden, wurden die Hohlräume des Schiebbodens zwischen der Balkenlage mit Schlacke, Sand und mit Stroh-Lehm-Wickeln gefüllt. Der ungefähr auf halber Balkenhöhe eingesetzte, meist eingnutete Schiebboden war im darunterliegenden Geschoss als Holzdecke sichtbar, oder er wurde durch raumseitige Holz- oder Gipsdecken verdeckt (Blindboden).



Berner Wohnstock, brettverschalter Dachraum mit Kornkästen (Abb. 84)



Tonplatten, Dachboden eines herrschaftlichen Wohnhauses, um 1690 (Abb. 85)

Die Dämmung des Dachbodens ist aus energetischer und bauphysikalischer Sicht sinnvoll und aus denkmalpflegerischer Sicht oft möglich. Die Dachbodendämmung minimiert das zu beheizende Volumen und reduziert die Gebäudehüllfläche, sie ist energetisch effizienter als Dachdämmungen. Aus bauphysikalischer Sicht sind Dachbodendämmungen bis auf die Aussenränder wärmebrückenlos realisierbar, während bei Dachdämmungen häufig viele Durchstosspunkte (Wärmebrücken) und damit potenzielle Risikostellen entstehen. Mit der Dachbodendämmung können wichtige Massnahmen ohne tiefgreifende Veränderung der Bausubstanz und der Erscheinungsform sowie bauphysikalisch mit geringem Schadensrisiko und vertretbarem Aufwand effizient realisiert werden.

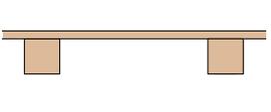
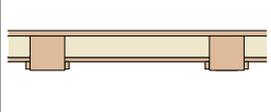
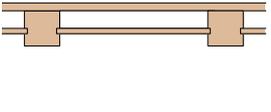
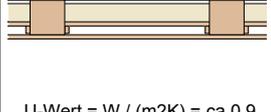
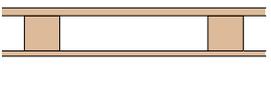
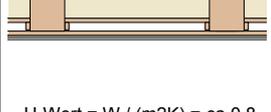
Gemäss den denkmalpflegerischen Grundsätzen der Addition und der Reversibilität stören Dachbodendämmungen weder Substanz noch Erscheinung des Dachraums wesentlich. Ausnahmen können etwa bestehende historische Teilausbauten oder aussergewöhnliche Dachbodenbeläge darstellen. Dazu gehören die als Brandschutzmassnahme und wohl auch als thermische Ausgleichsschicht verlegten Tonplatten- und Ziegelböden, aber auch Riemenböden mit heute nicht mehr erreichbaren Massen (Breite und Länge). In solchen Fällen muss – in Absprache mit der Denkmalpflege – entweder auf die Dämmung verzichtet werden oder es ist ein Konzept zu wählen, welches die aussergewöhnlichen Oberflächen nicht verletzt. In solchen Fällen wird auf den bestehenden Boden etwa eine Ausgleichsschüttung aufgebracht und darauf mit einem schwimmenden System Dämmung und Gehbelag verlegt. Die Massnahmen an der obersten Geschossdecke sind im Normalfall kostengünstig, und der bauliche Aufwand hält sich in Grenzen.

8.1.1 Massnahmen Dachbodendämmung

Aus ökonomischer, denkmalpflegerischer und bauphysikalischer Sicht wird die Dämmung am besten auf den bestehenden Dachboden aufgebaut. Es entstehen keine Kosten für Abbrüche und Ausräumarbeiten, die historische Decke bleibt intakt erhalten und durch die Aufdachbodendämmung wird die gesamte Deckenkonstruktion auf die Warmseite verschoben. Die Aufdachbodendämmung entspricht, zusammen mit dem Dach, dem bauphysikalisch ausgezeichneten System der hinterlüfteten Aussendämmung.

Die Schiebbodendämmung entspricht dem System der Hohlraum- oder Kerndämmung. Die Unterdeckendämmung schliesslich, welche raumseitig der obersten Geschossdecke angebracht wird, entspricht einer Innendämmung mit all den weiter vorne diskutierten Vor- und Nachteilen.

Dachbodenkonstruktionen mit Riemenbelägen

 <p>U-Wert = $W / (m^2K) = ca. 1,9$</p> <table border="1"> <tr><td>Deckenaufbau</td><td>cm</td></tr> <tr><td>Bretterboden</td><td>3,6</td></tr> <tr><td>Holzbalken</td><td>16,0</td></tr> </table>	Deckenaufbau	cm	Bretterboden	3,6	Holzbalken	16,0	 <p>U-Wert = $W / (m^2K) = ca. 1,3$</p> <table border="1"> <tr><td>Deckenaufbau</td><td>cm</td></tr> <tr><td>Bretterboden</td><td>2,5</td></tr> <tr><td>Sandschüttung</td><td>10,0</td></tr> <tr><td>Holzbalken</td><td>16,0</td></tr> <tr><td>Unechter Schiebboden</td><td>2,0</td></tr> </table>	Deckenaufbau	cm	Bretterboden	2,5	Sandschüttung	10,0	Holzbalken	16,0	Unechter Schiebboden	2,0												
Deckenaufbau	cm																												
Bretterboden	3,6																												
Holzbalken	16,0																												
Deckenaufbau	cm																												
Bretterboden	2,5																												
Sandschüttung	10,0																												
Holzbalken	16,0																												
Unechter Schiebboden	2,0																												
 <p>U-Wert = $W / (m^2K) = ca. 1,1$</p> <table border="1"> <tr><td>Deckenaufbau</td><td>cm</td></tr> <tr><td>Bretterboden</td><td>3,6</td></tr> <tr><td>Luftschicht, ruhend</td><td>8,0</td></tr> <tr><td>Holzbalken</td><td>16,0</td></tr> <tr><td>Schiebboden</td><td>2,0</td></tr> </table>	Deckenaufbau	cm	Bretterboden	3,6	Luftschicht, ruhend	8,0	Holzbalken	16,0	Schiebboden	2,0	 <p>U-Wert = $W / (m^2K) = ca. 0,9$</p> <table border="1"> <tr><td>Deckenaufbau</td><td>cm</td></tr> <tr><td>Bretterboden</td><td>2,5</td></tr> <tr><td>Schlackefüllung</td><td>10,0</td></tr> <tr><td>Bretter</td><td>2,0</td></tr> <tr><td>Luftschicht, ruhend</td><td>4,0</td></tr> <tr><td>Holzbalken</td><td>16,0</td></tr> <tr><td>Unechter Schiebboden</td><td>2,0</td></tr> <tr><td>Verkleidung</td><td>2,0</td></tr> </table>	Deckenaufbau	cm	Bretterboden	2,5	Schlackefüllung	10,0	Bretter	2,0	Luftschicht, ruhend	4,0	Holzbalken	16,0	Unechter Schiebboden	2,0	Verkleidung	2,0		
Deckenaufbau	cm																												
Bretterboden	3,6																												
Luftschicht, ruhend	8,0																												
Holzbalken	16,0																												
Schiebboden	2,0																												
Deckenaufbau	cm																												
Bretterboden	2,5																												
Schlackefüllung	10,0																												
Bretter	2,0																												
Luftschicht, ruhend	4,0																												
Holzbalken	16,0																												
Unechter Schiebboden	2,0																												
Verkleidung	2,0																												
 <p>U-Wert = $W / (m^2K) = ca. 1,0$</p> <table border="1"> <tr><td>Deckenaufbau</td><td>cm</td></tr> <tr><td>Bretterboden</td><td>3,6</td></tr> <tr><td>Luftschicht, ruhend</td><td>16,0</td></tr> <tr><td>Holzbalken</td><td>16,0</td></tr> <tr><td>Verkleidung</td><td>2,0</td></tr> </table>	Deckenaufbau	cm	Bretterboden	3,6	Luftschicht, ruhend	16,0	Holzbalken	16,0	Verkleidung	2,0	 <p>U-Wert = $W / (m^2K) = ca. 0,8$</p> <table border="1"> <tr><td>Deckenaufbau</td><td>cm</td></tr> <tr><td>Bretterboden</td><td>2,5</td></tr> <tr><td>Sandschüttung</td><td>10,0</td></tr> <tr><td>Bretter</td><td>2,0</td></tr> <tr><td>Luftschicht, ruhend</td><td>4,0</td></tr> <tr><td>Holzbalken</td><td>16,0</td></tr> <tr><td>Unechter Schiebboden</td><td>2,0</td></tr> <tr><td>Schilfrohrmatte</td><td>1,0</td></tr> <tr><td>Kalkgipsputz</td><td>1,0</td></tr> </table>	Deckenaufbau	cm	Bretterboden	2,5	Sandschüttung	10,0	Bretter	2,0	Luftschicht, ruhend	4,0	Holzbalken	16,0	Unechter Schiebboden	2,0	Schilfrohrmatte	1,0	Kalkgipsputz	1,0
Deckenaufbau	cm																												
Bretterboden	3,6																												
Luftschicht, ruhend	16,0																												
Holzbalken	16,0																												
Verkleidung	2,0																												
Deckenaufbau	cm																												
Bretterboden	2,5																												
Sandschüttung	10,0																												
Bretter	2,0																												
Luftschicht, ruhend	4,0																												
Holzbalken	16,0																												
Unechter Schiebboden	2,0																												
Schilfrohrmatte	1,0																												
Kalkgipsputz	1,0																												

Klauss, Swen/Kirchhof, Wiebke: Altbaukonstruktionen – Materialien und U- Werte im Gebäudebestand, Stuttgart 2010; für ruhende Luftschichten ist ein Wärmedurchlasswiderstand von 0.16 (W/m²K) berücksichtigt (Abb. 86)

8.1.2 Aufdeckendämmung

Die aus denkmalpflegerischer wie auch aus bauphysikalischer Sicht einfachste und geeignetste Dämmung unter den Dachbodendämmungen ist die Aufdeckendämmung. Die Dämmung wird auf der Kaltseite der Konstruktion angebracht, diese befindet sich neu im Warmbereich. Im gut durchlüfteten Estrichraum besteht aufgrund der veränderten Klimasituation nach einer Sanierung nicht die Gefahr von Feuchteschäden.

Aufbau Aufdeckendämmung: Balkenlagen

Auf den bestehenden Holzriemenboden wird eine Luftdichtigkeitsschicht angebracht. Als Wärmedämmung empfiehlt sich ein dampfdiffusionsoffenes Material wie beispielsweise Mineralwolle, Cellulose oder Holzfaserdämmung. Die Dämmung kann je nach Druckfestigkeit direkt verlegt oder zwischen einer Lattung aufgefüllt werden.

Wird nicht kapillaraktives Dämmmaterial, wie z.B. Mineralwolle und/oder anstelle des Riemenbodens ein dichter Belag eingebaut, kann eine feuchteadaptive Dampfbremse nötig werden. Die Regel, dass sich nicht mehr als ein Drittel der Wärmedämmung respektive der Dämmwirkung der Gesamtkonstruktion warmseitig der Dampfbremse befinden darf, ist auch hier zu beachten (Füllung, Schiebboden). Wichtig ist der dichte Anschluss der Luftdichtung/Dampfbremse an Kniewände, Mauerkrone oder an die Fusspfette mittels Anpressleiste und Kompriband. Damit wird Tauwasserbildung infolge konvektiver Feuchtigkeit verhindert.

Aufbau Dachbodendämmung: massive Decken

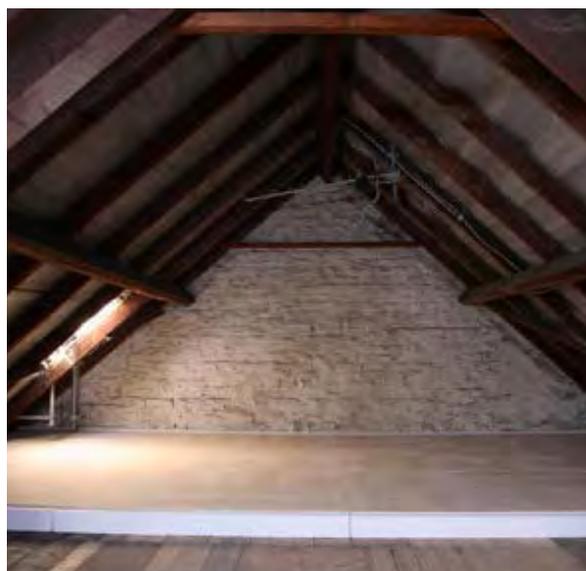
Im Unterschied zu Holzbalkendecken kann bei massiven Decken, wie beispielsweise Stahlbetondecken, auf die Luftdichtigkeitsschicht verzichtet werden. Da hier die Tragkonstruktion einen schlechteren Dämmwert aufweist, muss die Dämmstärke erhöht werden. Bei grossen Dämmstärken empfiehlt es sich, diese zweilagig auszuführen, um die Wärmebrücken sowie die Konvektion im Fugenbereich zu unterbinden.

Hohlraumdämmung

Genügen der alte Schiebboden (Rieselproblem, Schädlinge) oder der Riemenboden (Festigkeit) nicht mehr, muss dieser entfernt werden. So bietet sich die Möglichkeit, die bestehenden Gefachfüllungen abzusaugen und nach dem Einbringen eines Rieselschutzes – der gleichzeitig als Luftdichtung dienen kann – die Hohlräume beispielsweise mit Cellulose auszublasen oder mit einer Schüttung aufzufüllen. Um die gewünschte Dämmstärke zu erreichen und die verfügbare Einbauhöhe von 6–8 cm auszunutzen, werden die Balken oft aufgedoppelt.

Dachbodenbelag

Je nach Anspruch an die Bodenoberfläche kann die Abdeckung mit Holzriemen, Holzwerkstoffplatten oder Verlegeplatten realisiert werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass Steildächer ohne Unterdach nicht dicht sind. Flugschnee, Regen (hoher Winddruck oder defekte Ziegel) können auf den Estrichboden gelangen. Der Einbau eines Riemenbodens eignet sich hier sowohl aus technischer, funktionaler und denkmalpflegerischer Sicht bestens.



Harte Dämmung als Verlegeelement (Abb. 87)



Weiche Dämmung, zwischen Lattung aufgefüllt (Abb. 88)

8.1.3 Unterdeckendämmung

Die Dämmung der Deckenunterseite entspricht einer Innendämmung. Innendämmungen von obersten Geschossdecken gelangen beispielsweise dann zur Anwendung, wenn nicht der ganze Dachboden gedämmt werden soll und kann und wenn dabei Niveauunterschiede im Dachboden vermieden werden sollen. Sie sind bauphysikalisch anspruchsvoller (siehe Dämmkonzepte: Innendämmungen) und aus denkmalpflegerischer Sicht nur möglich, wenn keine Interieurs geschmälert werden.

Hybride Konzepte

Auch im Dachbereich gelangen hybride Konzepte zur Anwendung. Unterschiedliche Nutzungsanforderungen oder unterschiedliche Deckenkonstruktionen führen nicht selten zu bezüglich Materialwahl, Stärke und Dämmebene inhomogenen Dämmungen.



Spezialkonzept mit harter und weicher Dämmung: Willemer Schule Frankfurt von 1908, nicht begehrbar gedämmt, mit begehrbaren, hartgedämmten Wegen (Abb. 89)

8.2 Steildächer, energetische Dachsanierungen

Dachdämmungen stehen im Zusammenhang mit der Sanierung eines bestehenden Dachausbaus oder mit einem neuen Dachausbau. Damit beschränkt sich das Problem aus der Sicht der Denkmalpflege nicht auf die Wärmedämmung. Der Dachausbau hat für das Gebäude oft schwerwiegende Konsequenzen: Nebst statischen und konstruktiven Eingriffen entsteht das Bedürfnis nach Lichtquellen, Dachöffnungen also, welche die Erscheinung des Baudenkmals verändern.

Dachausbauten sind oft nicht realisierbar

Dachausbauten von Baudenkmalern sind insbesondere dann nicht möglich, wenn der Dachraum mehrheitlich über das Dach belichtet werden müsste. Dachausbauten sind aber auch dann nicht möglich, wenn die Gestalt des Gebäudes wesentlich durch das Dach geprägt wird, und ein Dachausbau ist schliesslich dann nicht denkbar, wenn das Baudenkmal einen wertvollen Dachstuhl besitzt.

Dachwohnungen sind oft nur umständlich und aufwendig erschliessbar und ihnen fehlt ein Aussenraum. Die frühzeitige Kontaktaufnahme mit der Denkmalpflegefachstelle ist daher bei beabsichtigten Dachausbauten besonders wichtig.

Bei Dachdämmungen werden vier Dämmsysteme unterschieden:

Systematik der Dachdämmebenen beim Baudenkmal

- autonome gedämmte Hüllen
- Untersparrendämmung
- Zwischensparrendämmung
- (partielle) Aufsparrendämmung

Autonome gedämmte Hülle

Ein für Dachausbauten immer wieder angewandtes, eigentlich sehr altes Konzept bildet das «Haus im Haus». Eine Kammer wird als hölzerner Kubus, als Kiste mit flacher Decke, frei in den Dachraum eingeschoben. Die historischen Beispiele finden sich an Häusern mit Sattel- oder Teilwalmdächern, die Holzkisten konnten so an eine Fassade geschoben und direkt belichtet werden.



Dachbodendämmung



Dachausbau mit autonomer gedämmter Hülle



Unter- und Zwischensparrendämmung



Partielle Aufsparrendämmung



Partielle Zwischensparrendämmung (Abb. 90)

Das häufig in grossen Dachräumen umgenutzter Vielweckbauten (oder in grossen Industriehallen) angewandte Konzept des partiellen Ausbaus mit einer vom Dach unabhängigen Hülle ist sowohl aus denkmalpflegerischer wie auch aus bauphysikalischer Sicht eine meist konfliktfreie Lösung.

Aus denkmalpflegerischer Sicht bleibt die Dachhülle von grösseren Eingriffen verschont, und aus bauphysikalischer Sicht kann der neue Bauteil aussen- oder hohlraumgedämmt werden.

Eine besondere Herausforderung bei solchen Konzepten – im Zusammenhang mit Baudenkmalern – bilden Belichtung und Belüftung des neuen Bauteils, ein Thema, das hier nicht behandelt werden kann.



Bauernhaus in Bern. Dachausbau nach dem Konzept «Haus im Haus» (Abb. 91)

8.2.1 Dämmung der Dachebene – Zwischen-, Unter- und Aufsparrendämmung

Unterdach (erste Belüftungsebene)

Bewohnte und beheizte Dachräume wurden stets durch eine zusätzliche Haut – meist Bretttäfer – vor Feuchte und Kälte geschützt. Heute sind beide Funktionen auf zwei unterschiedlichen Schichten übertragen; gegen Feuchte schützt das Unterdach, gegen winterliche Kälte und sommerliche Wärme die Dämmung.



Unterdachschalung, ausgebauter Dachstock Münsterstrasse Bern (Abb. 92)

Kaltdach (zweite Belüftungsebene)
 Eine zweite Belüftungsebene kann zwischen der Unterseite des Unterdaches und der Oberseite der Dämmschicht eingebaut werden. Wird eine solche Belüftungsebene eingebaut, spricht man von einem Kaltdach. Die Belüftungsebene kann ein Spalt oder der Dachraum sein!

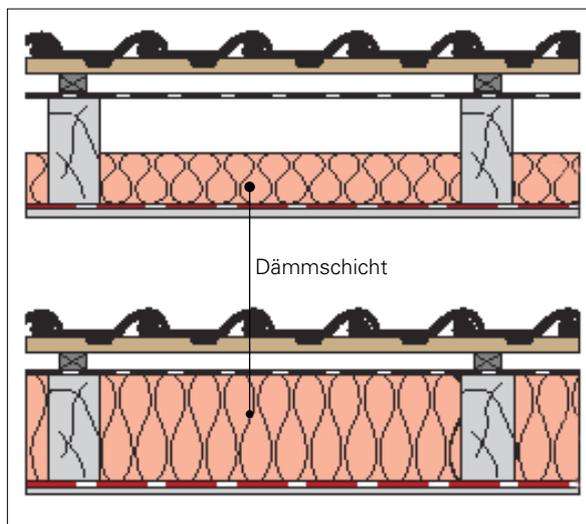
Wenn die Belüftungsschicht fehlt, sprechen wir von einem Warmdach. Die Belüftungsebene hat die Aufgabe, eine Durchfeuchtung des Wärmedämmstoffes zu verhindern, indem eingedrungener Wasserdampf durch die Luftbewegung abgeführt wird. Voraussetzung für die zuverlässige Funktion sind ausreichend bemessene Lufteintritts- und Austrittsöffnungen. Diese zweite Belüftungsebene ist zwingend, wenn ein bestehendes Unterdach zu dampfdicht ist. Um den heutigen Anforderungen genügende Dämmstärken zwischen den Sparren anordnen zu können, und auch aus ökonomischen Gründen, wird heute vielfach auf die zweite Belüftungsebene verzichtet, also ein Warmdach angebracht. Diese Wahl ist für Ziegel- und Schieferdächer mit genügender Neigung auch verantwortbar.

Diffusionsoffene Dämmungen und feuchteadaptive Dampfbremsen

Die am Dach explizit vorhandene Wetterhaut, die durch einfache oder doppelte Belüftungen von der Dämmschicht getrennt ist, entschärft die Problematik der Feuchteakkumulation, wie sie für die Aussenwand festgestellt wurde.

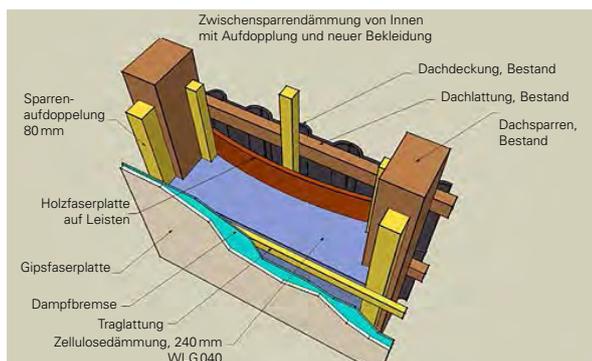
Die Flächenkondensate können durch feuchteadaptive Dampfbremsen reguliert werden. Das lückenlose, dichte Anschliessen der Dampfbremsen an die alten, oft verdrehten und spaltigen Balken ist jedoch schlicht unmöglich. Wahrscheinlich gibt es hier und dort mit der Zeit Stellen, an welchen Konvektion entsteht und damit konvektive Kondensate wie auch feuchte Balken auftreten. Aus diesem Grund muss im Dachbereich das Austrocknen von Kondensaten nach innen und nach aussen unbedingt ermöglicht werden.

Auch im Steildachbereich eignen sich entweder diffusionsoffene Dämmstoffe, wie z.B. Mineralwolle in Kombination mit feuchteadaptiven Dampfbremsen oder aber diffusionsoffene und kapillaraktive Dämmmaterialien wie Cellulose, welche die anfallende Feuchtigkeit rasch zu verteilen und kapillar an die Innenoberfläche zurückzuleiten vermögen. Experten müssen fallweise prüfen, ob in solchen Fällen ganz auf eine Dampfbremse verzichtet werden kann.



Kaltdach (oben), die zweite Belüftungsschicht verläuft direkt oberhalb der Dämmung, sie kann wenige Zentimeter stark sein oder aber sie kann den ganzen Dachraum ausmachen.

Warmdach (unten)
 (Abb. 93)



Zwischensparrendämmung ohne Dacherneuerung (Abb. 94)

Zwischensparrendämmung

Die Zwischensparrendämmung wird meist mit einer Sanierung der Dachhaut gekoppelt, um den Einbau eines intakten Unterdaches zu ermöglichen.

Ist bereits ein Unterdach vorhanden, so ist die Verlegeart und Qualität des Unterdaches sowie der Wasserdampfdiffusionswiderstand des auf der Sparrenlage verlegten Unterdaches massgebend für die Wahl der geeigneten Sanierungsmassnahmen. Ist das bestehende Unterdach dampfdiffusionsoffen, wie etwa mit einer geschuppten Holzfaserplatte oder einem Schindelschirm, kann der Hohlraum zwischen den Sparren direkt bis an das Unterdach ausgedämmt werden. Warmraumseitig genügt eine Dampfbremse als Luftdichtigkeitsschicht.

Ist ein sehr dampfdichtes Unterdach in Form einer Folie oder Dachpappe vorhanden, das teilweise auf einer Holzschalung verlegt oder mit Bitumen verklebt ist, besteht das Problem, dass von der Warmseite eingedrungene Feuchtigkeit kaum mehr nach aussen entweicht. Es kann zur Durchfeuchtung der Dämmung (Kondensat) kommen. In diesem Fall muss eine zweite Hinterlüftungsebene unterhalb des bestehenden Unterdaches eingeplant (Kaltdach) oder raumseitig eine feuchteadaptive Dampfbremse lückenlos und sauber verlegt werden. Die Wahl der Dampfbremse erfolgt durch den Bauphysiker, der den notwendigen Sd-Wert der Folie bestimmt.

Zwischensparrendämmungen ohne Unterdach sind dann zu wählen, wenn das unterdachlose Dach von innen gedämmt werden muss, ohne dass die Dachhaut erneuert werden soll. Diese Konstruktion ist mit Risiken verbunden, sie sollte nur bei steilen Dächern zur Anwendung gelangen. Da kein funktionstüchtiges Unterdach vorhanden ist, kann die Dämmung durch rückstauendes Regenwasser feucht werden. Es muss von unten zwischen die Sparren jeweils eine wasserabweisende Schicht eingebaut werden. Gängige Lösungen sind Holzfaserplatten, die seitlich gegen die Sparren mit einem Kompriband «abgedichtet» werden, oder Unterdachfolien, welche mittels seitlich an die Sparren geschraubter Lattungen zwischen die Sparren gespannt werden. Das Anbringen

einer wasserführenden Schicht auf der Sparrenunterseite ist nicht zu empfehlen, da die Gefahr besteht, dass die Sparrenlage mit liegendem Wasser in Berührung kommt und so Schaden nehmen kann.

Die Wahl einer feuchteadaptiven Dampfbremse oder von diffusionsoffenem und kapillaraktivem Dämmmaterial wie Cellulose ist hier wichtig. Lösungsvorschläge von Dämmstoffherstellern, Cellulosedämmungen ohne Unterdachebene direkt bis unter die Ziegel zu blasen, können nicht empfohlen werden.

Eine konstruktiv zufriedenstellende, langfristige und für das Denkmal risikofreie Lösung wird durch Entfernen der Dacheindeckung und den Einbau eines durchgehenden Unterdachs auf der Sparrenoberseite erreicht. Es ist empfehlenswert, die Dämmung eines unterdachlosen Steildachs wenn möglich im Zusammenhang mit einer notwendigen Erneuerung der Dachhaut vorzusehen. Die intakten, sorgfältig zwischengelagerten Ziegel sollen wieder verwendet werden.

Einfache Dachstühle, wie etwa stuhllose Pfettendächer oder einfache Sparrendächer, sind zwischen den Sparren grundsätzlich dämmbar. Sobald das Tragwerk unterhalb der Sparrenebene jedoch komplexer wird, wie beispielsweise bei liegenden Dachstühlen mit Sprengwerken und Windverbänden, so ist eine präzise und saubere Führung der Dämmebene schwieriger und nicht ohne Wärmebrücken möglich. Konvektionsbedingte Kondensate und Holzbeschädigungen können die Folge sein. Grundsätzlich empfiehlt es sich, bei einem noch ungedämmten Dach zunächst die komplette Sparrenhöhe zur Dämmung auszunutzen. Eine zusätzliche Untersparrendämmung von wenigen Zentimetern erreicht einen homogeneren Dachquerschnitt und reduziert Wärmebrücken, aber auch das Risiko von Luftleckagen (Kondensate).

Untersparrendämmung

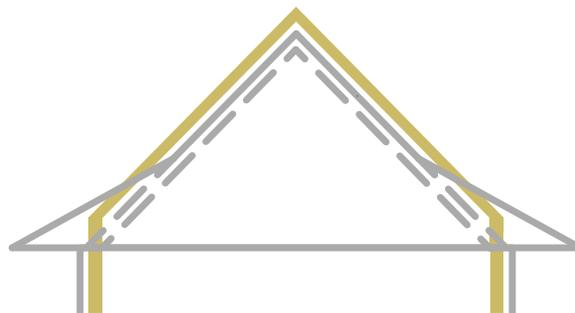
Die eigentliche Dachinnendämmung, die reine Untersparrendämmung, wird sowohl aus funktionalen Gründen (Platzbedarf, Raumhöhenverluste) als auch wegen der entstehenden, unkontrollierbaren Zwischenräume (zwischen den Sparren) sowie der entstehenden Konflikte mit Streben und Sprengwerken der Dachstühle eher selten angewandt. Aus bauphysikalischer Sicht kann sich Kondensat an der Unterseite der Sparren bilden, welches jedoch, weil der Sparren dreiseitig frei liegt, im Allgemeinen gut austrocknen kann.

Die Untersparrendämmung wird also meist als ergänzende Dämmung zur Zwischensparrendämmung gesetzt. Die Zusatzdämmung auf der Unterseite der Sparren trägt als durchgehende Schicht zur Luftdichtigkeit des Dachs bei. Negativ zu beurteilen ist das dreiseitige Einschliessen der Sparren, Nebeneinflüsse in diese Zwischenräume und die fehlende Kontroll- und Reparaturmöglichkeit.

Aufsparrendämmung

Die Aufsparrendämmung (entspricht der Aussenisolation) ist bei Baudenkmälern sehr oft nicht möglich, weil durch sie die Dachhaut angehoben werden muss. Trauf- und Ortgangbretter müssen neu und viel höher ausgebildet werden. Der derart gestaltete Dachrand stört das äussere Erscheinungsbild des Baudenkmals oft sehr. Immerhin wahrt dieses Konzept die Dachkonstruktion und aus bauphysikalischer Sicht ist sie geeignet.

In einigen Fällen ist dieses Dämmkonzept daher auch bei Baudenkmälern anwendbar, so beispielsweise bei zusammengebauten, traufständigen Altstadthäusern, wenn Sparrendächer in der Sparrenebene (bis zum Dachfuss) gedämmt werden und der Bereich des Aufschieblings und damit des Vordachs und der Dachuntersicht unverändert bleibt. Bei freistehenden Teilwalmdächern wachsen die giebelseitigen Dachschilde an; traufseitig rutscht der Dachknick nach unten. Hier muss fallweise entschieden werden, ob eine Aufdachdämmung infrage kommt.



Aufdachdämmung Altstadthaus (Abb. 95)

Weiter können wertvolle Innenverkleidungen oder herausragende Konstruktionen der Grund für eine Aussen-dämmung sein: eine grosse Industriehalle mit Sichtfachwerkrägern und zentralem Oblichtband kann räumlich nur mit einer Dachaussendämmung erhalten werden. Bei grossen Hallenbauten fällt der nach der Dämmung höhere Dachrand bei geeigneter Ausbildung auch weniger ins Gewicht.

Wertvolle Dachstühle werden entweder nicht gedämmt, oder sie müssen ebenfalls von aussen gedämmt werden.



Wingreis (Gemeinde Twann) ehemaliges Thormanngut, um 1580/1624. Wertvoller Dachstuhl mit Brettunterdach (Abb. 96)

9. Sanierungsmaßnahmen Flachdach



Haus Preiswerk, Gorisen, Gemeinde Reigoldswil (Abb. 97)

9.1 Historisches

Flachdächer waren in anderen Kulturkreisen mit geeigneteren Klimabedingungen seit dem Altertum üblich. Im mitteleuropäischen Raum setzten sie sich erst im 20. Jahrhundert durch. Die Protagonisten der Moderne wie Le Corbusier beschäftigten sich ausführlich mit dem Thema und stellten dabei vor allem die funktionalen und sozialen Aspekte des Dachgartens in den Vordergrund¹. Seit der Mitte der 1920er-Jahre wurde das Flachdach zum Stilelement und zum Sinnbild für die Architektur der frühen Moderne schlechthin. Die Kriegsjahre und die damit verbundene Rückbesinnung auf die traditionelle, autochthone Architektur bedeuteten einen Rückschlag für das Flachdach. Erst der wirtschaftliche Aufschwung der Nachkriegszeit und der Bauboom der 1960er-Jahre verhalfen ihm endgültig zum Durchbruch. Die Flachdächer der frühen Moderne zeigen eine reiche Palette an Konstruktionen. Während sich Hans Schmidt und Paul Artaria dem Stahlskelettbau² und damit den Stahlträgerdecken verschrieben, bauten Albert Zeyer und andere Architekten Betonflachdächer, Hans Fischli und Rudolf Gaberel Holzdächer, und Ernst Bechstein und andere vertrauten auf die bereits im Geschossdeckenbau gut erprobten Hourdisdecken.

Von Anbeginn begleitete das Thema der Hüllendämmung die Konstruktionen der frühen Moderne, weil schlankere Konstruktionen und gut wärmeleitende Baustoffe wie Stahl und Stahlbeton eingesetzt wurden. Als Dämmmaterialien gelangten Bimsbetonplatten, Kork, Sisal oder bitumisierte Faserplatten zur Anwendung. Die Dämmstärken betragen zunächst nur wenige Zentimeter, und meist wurde eine Perimeterdämmung gewählt, die nur besonders kritische Bauteile berücksichtigte.

Die 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts wurde durch Holzzementdächer dominiert. Das seit 1840 verbaute Dach bestand aus Öl- und Packpapier, das mit Pech oder Teer an Ort und Stelle mit einer Holzschalung verklebt

und zum Schutz der Dachhaut und aus Brandschutzgründen mit Sand und Kies bedeckt wurde.

Die Dachhaut der frühen Moderne wurde mit bituminösen Bahnen, Gussasphalt oder Blechen materialisiert. Anfang der 1960er-Jahre wurden zunächst PVC-Bahnen vollflächig verklebt. Als dabei Schäden auftraten, ging man dazu über, die Bahnen lose auf Trennlagen zu verlegen. Ende der 1960er-Jahre kamen schliesslich synthetische Kautschuke (Elastomerbahnen) auf den Markt. Heute werden nach wie vor bituminöse Bahnen, mehrheitlich jedoch Folien aus PVC verwendet. Kautschuke werden als fertige Dächer am Bau über die gedämmte oberste Decke gestülpt.

9.2 Dachrand

Das Dach ist auch bei Flachdachbauten wichtiger Bestandteil der Fassaden und daher aus architektonischer und denkmalpflegerischer Sicht für das Baudenkmal relevant. Es ist aber nicht wie bei Steildächern die Dachfläche, sondern der Dachrand, der die Fassaden optisch beschliesst und darüber hinaus den Gesamtkörper wesentlich mitformt. So hat der Dachrand die Bauten der 50er-Jahre des letzten Jahrhunderts massgebend geprägt. Die schwebend leichten Vordächer sind stilistische Hauptmerkmale jener Bauepoche. Daher gilt das Augenmerk aus der Sicht der Denkmalpflege vor allem dem Dachrand; er ist möglichst im Originalzustand zu erhalten. Die Dachfläche wird meist erst aus der Weitsicht zum Thema und lässt so gesehen optisch eine Dämmung häufig zu.



Eidg. Zollverwaltung, Monbijoustrasse 40, Bern (Abb. 98)

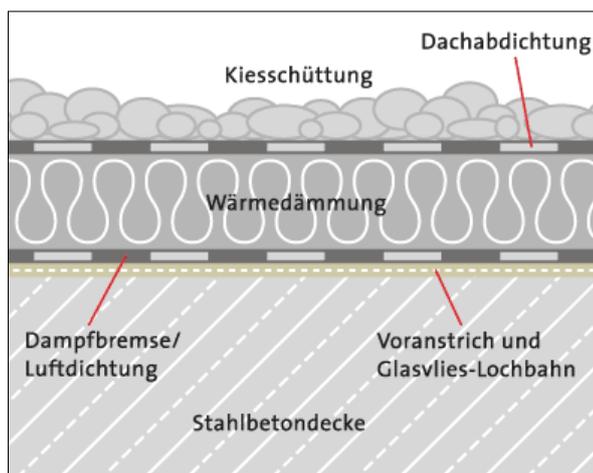
1) Le Corbusier, Vers une architecture, 1921
2) Haus Colnaghi, Haus Schaeffer, Haus Huber, alle in Riehen

9.3 Dach – ein hoch beanspruchter Bauteil

Das Flachdach ist ein hoch beanspruchter Bauteil mit Feuchtebelastung von innen (Dampfdiffusion) und von aussen (Witterung). Die Dachhaut, egal ob frei bewittert, bekiest oder begrünt, unterliegt ständig wechselnden mechanischen, thermischen, chemischen und biologischen Beanspruchungen sowohl der Dachoberfläche als auch der gesamten Konstruktion. Die normalerweise auf der Kaltseite der Dämmung liegende Dachhaut ist naturgemäss relativ dicht und sie besitzt die Eigenschaft einer Dampfbremse (Bituminöse Bahnen, PVC-Dächer). Die Dachhaut behindert die Dampfdiffusion auf der falschen Seite der Dämmung; sie ist bezüglich Aussen- und Innenklima die kritische und massgebende Schicht des Flachdachaufbaus.

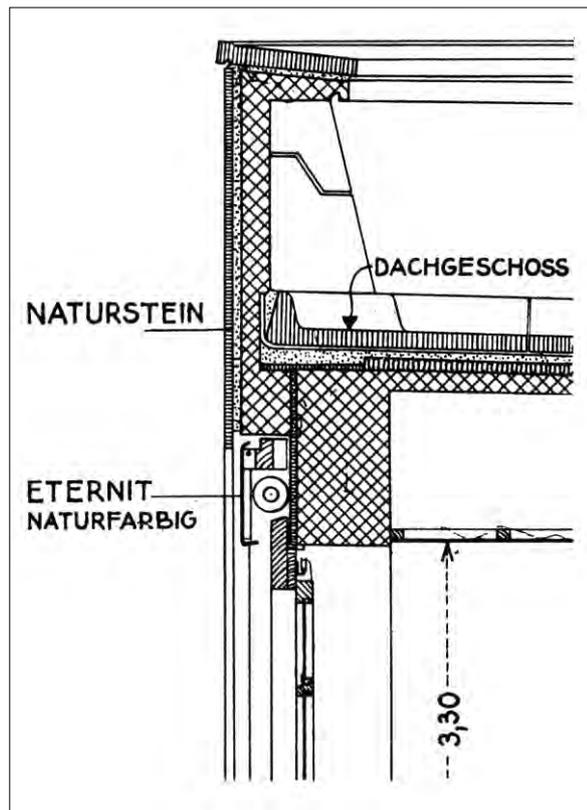
9.4 Unbelüftetes Dach (Warmdach)

Aussen gedämmte Flachdächer werden – wie auch die Steildächer – in Warmdächer und in Kaltdächer beziehungsweise in nicht belüftete und in belüftete Dächer eingeteilt. Die mit Flachdecken oder Betondecken konstruierten Dächer werden meist als Warmdächer ausgebildet.



Aufbau des Warmdachs (Abb. 99)

Entsprechend der dichten Dachhaut muss auch warmseitig der Dämmung eine dichte Schicht folgen, um die Kondensatmengen, die in der Dämmung anfallen, in Grenzen zu halten. Die Anwendung einer feuchteadaptiven Dampfbremse im Zusammenspiel mit diffusionsoffenem kapillaraktivem Dämmmaterial ist hier die risikoärmste Konstruktion. Auf diese Weise kann die Kondensatfeuchte wieder an den Innenraum abgegeben werden.



Kunstgewerbeschule Bern, 1935-39, Hans Brechbühler, Querschnitt Dachterrasse, Detail (Warmdach) (Abb. 100)

Der Bauphysik-Merksatz «innen dichter als aussen» muss für flache Konstruktionen umformuliert werden: «Wenn aussen dampfdicht, dann innen so dampfdicht wie nötig (zur Begrenzung des Tauwassers auf ein zulässiges Mass) und so diffusionsoffen wie möglich (zur Schaffung einer möglichst grossen Verdunstungsreserve für ausserplanmässige Befeuchtungen aus Konvektion).» Als risikoloseste Konstruktion gilt heute die Ausführung als Warmdach mit diffusionsoffener und kapillaraktiver Dämmung und einer feuchteadaptiven Dampfbremse auf der Warmseite der Dämmung.

Gründächer

Gründächer sind mit Erdreich bedeckte und bepflanzte Warmdächer. Der Bau von bepflanzten Flachdächern erfuhr in Europa und Amerika in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts zum ersten Mal in der Geschichte eine weite Verbreitung, vor allem dank der Entwicklung des Holzzementdachs. So besass Berlin um 1900 mehr als 2000 begrünte Flachdächer. Einen neuen Impuls erhielt dieser Dachtyp mit der Verbreitung des Eisenbetons. Le Corbusier schrieb dazu 1921: «Dieses [Flachdach] muss einerseits wohnbar gemacht werden, andererseits bedarf das Dach eines Schutzes. Dies wird erreicht durch Anlegen eines Gartens, welcher einen Ausgleich gegen die Aussentemperatur schafft. Auf die Dachisolation kommt eine regenfeuchte Sandschicht, die mit Betonplatten abgedeckt wird; die Fugen können mit Rasen bewachsen sein. Die Erde in den betonierten Blumenbeeten verlangt eine direkte Verbindung mit der Sandschicht. Die Wasserabläufe sind im Innern des Gebäudes. Auf diese Weise erstellte Terrassen lassen das Regenwasser äusserst langsam abfliessen und erreichen eine andauernde Feuchtigkeit auf dem Dache.»¹

Umkehrdach

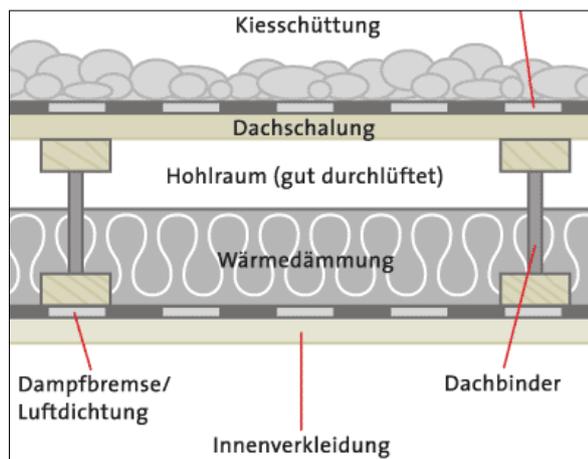
Das Umkehrdach ist ein einschaliges, nicht belüftetes Flachdach oder auch ein schwach geneigtes Dach. Im Unterschied zum konventionellen Warmdach liegt die Wärmedämmung auf der Aussenseite der Dachabdichtung. Das Umkehrdach ist eine typische Sanierungsvariante. Die Wärmedämmung erhält eine doppelte Funktion: Sie dient der Wärmedämmung, und sie schützt die Dachhaut vor grossen Temperaturschwankungen, vor UV-Strahlung und vor mechanischen Beanspruchungen während der Bau- und Nutzungsphase. Häufiger Dachaufbau (von unten nach oben): Betondecke, Dachhaut, Dämmung, Vlies und Kiesschüttung. Da das Dämmmaterial der Feuchtigkeit (Regen, Schnee) ausgesetzt ist, muss es geschlossenporig und dicht sein. Extrudiertes Polystyrol (XPS) und Schaumglas gehören zu den geschlossenporigen Dämmmaterialien.

9.5 Belüftetes Dach (Kaltdach)

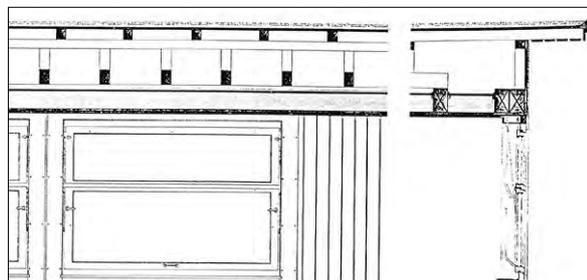
Mit stabförmigen Tragelementen konstruierte Dächer hingegen wurden oft als Kaltdächer ausgebildet. Das Kaltdach unterscheidet sich vom Warmdach durch eine Belüftungsschicht zwischen der Wärmedämmung und der Abdichtung, sodass beispielsweise Kondensate auf der Kaltseite der Dämmung austrocknen können. Besonders die feuchtempfindlichen Holzdächer konnten, wurden sie als Kaltdächer ausgebildet, besser gewartet werden. Nicht selten wurde diese Unterlüftung zu einem eigentlichen Kriechraum geformt, damit das Dach zu

Kontrollzwecken zugänglich war. Für gedämmte Dächer ändert sich die Situation.

Grundsätzlich gehört aber die Erhaltung eines technischen/konstruktiven Systems und seiner Funktionsweise (z.B. Kaltdach) ebenso zu den denkmalpflegerischen Zielen wie die Erhaltung von Substanz und Erscheinung.



Aufbau des Kaltdachs (Abb. 101)

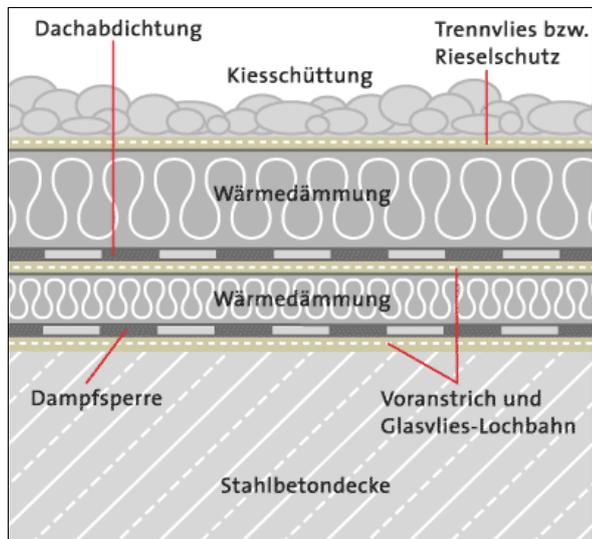


Rudolf Gabarel, Kleinkinderschule Davos, 1933, unterlüftetes Dach (Abb. 102)

Nicht alle belüfteten Dächer funktionieren, vor allem wenn durch die Dämmung die Belüftungsquerschnitte verkleinert werden. Das entscheidende Manko der Flachdachbelüftung ist das Fehlen des Höhenunterschieds für einen guten thermischen Auftrieb. Es wurde festgestellt, dass die Belüftung Kondensate infolge Dampfkonvektion durch Leckagen und undichte Anschlüsse verstärkt. Wie schon für andere Bauteile festgestellt wurde, ist es auch hier so, dass das Verdunstungspotenzial raumwärts ausgeschöpft werden muss. Obschon aus denkmalpflegerischer Sicht die Erhaltung des ursprünglichen Kaltdachsystems angestrebt wird, gibt es Fälle, in denen es zugunsten der Sicherheit aufgegeben werden muss (Entscheidung durch Fachleute am konkreten Objekt).

1) Le Corbusier, Vers une architecture, 1921

Der Ersatz der Dachhaut ist der geeignete Zeitpunkt zur Einbringung einer Dämmung.



Aufbau eines Umkehrdachs (Abb. 103)

Aussendämmung (Aufdachdämmung)

In vielen Fällen kann die Aussendämmung auch aus denkmalpflegerischer Sicht realisiert werden. Hauptschwierigkeit bildet der Übergang von der Aussenwand zum Dach. Werden die Fassaden innen gedämmt, so ergibt sich am Übergang eine Wärmebrücke, die bei der Planung der Sanierung berücksichtigt werden muss. Aus Sicht der Denkmalpflege hängt die Möglichkeit zur Anordnung einer Aussendämmung von der Ausgestaltung des Dachrands ab. Muss der von aussen (unten) sichtbare Dachrand nicht verändert werden und wird die Denkmalsubstanz nicht geschmälert, sind Dachaussendämmungen oft möglich.

Auf Brüstungshöhe der Dachterrasse hochgezogene Fassaden erlauben das Anbringen einer Aussendämmung, ohne Veränderung der Gestalt des Baudenkmals (vgl. Abb. 104, A). Durch das Anheben des Terrassenbodens entsteht jedoch das Problem der Absturzsicherung. Die aus heutiger Sicht meist ohnehin zu niedrigen Brüstungen müssen mit einem stabförmigen Element zusätzlich gesichert werden.

Alternativen bieten heute Hochleistungswärmedämmungen wie Vakuumdämmungen (VIP) oder Aerogelmatten. Mit einer Vakuumisolierplatte braucht es eine Stärke von knapp 3 cm, um den nach MuKE geforderten U-Wert von $0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ zu erreichen.

Nicht begehbare Dächer mit seitlichen Aufbordungen (vgl. Abb. 104, B) können bei genügender Höhe der Aufbordungen konventionell aussen gedämmt werden. Bei knappen Höhenverhältnissen können auch hier Hochleistungsdämmungen zur Lösung beitragen. Oft müssen auch Anpassungen an der Dachentwässerung

vorgenommen werden, weil die gemäss SIA vorgeschriebene Überlaufhöhe von 15 cm nicht erreicht wird. Eine häufige Lösung funktioniert mit Dachwasserrinnen, welche entlang der Aufbordung geführt werden.

Für Dächer mit grösseren Dachvorsprüngen (vgl. Abb. 104, C) bieten sich Lösungen an, welche die Dämmung nicht bis zum Dachrand führen, sondern z.B. ca. 50 cm ausserhalb der Fassadenflucht ihren Abschluss finden. Dächer ohne Vorsprung und ohne Aufbordungen können im Normalfall nicht aussen gedämmt werden.

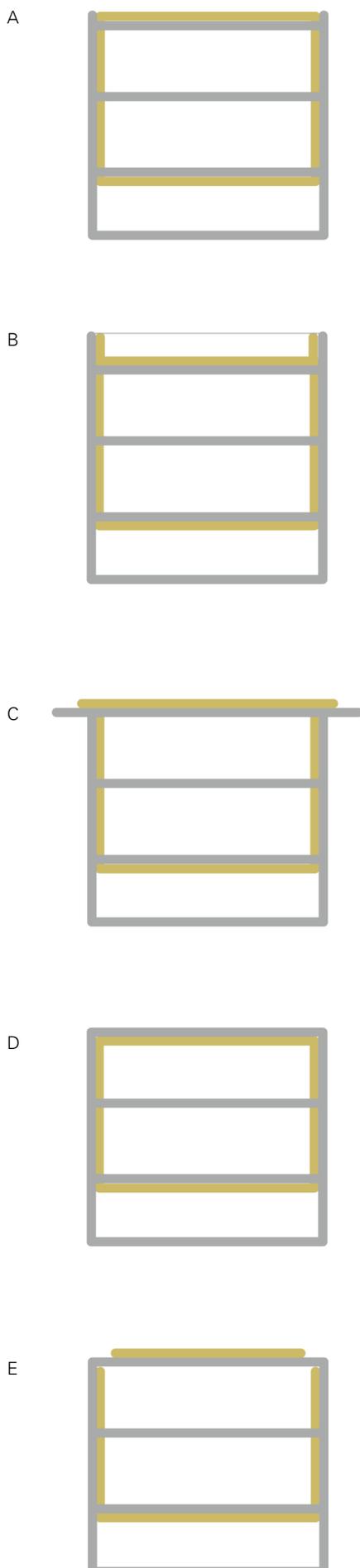
Innendämmung (Unterdachdämmung)

Gerade bei Baudenkmalern, deren Fassaden innen gedämmt werden und deren Dachaussendämmung mit Konflikten verbunden ist – wie beim vordachlosen Dach ohne Aufbordung (vgl. Abb. 104, D) – bietet sich die Möglichkeit der Dachinnendämmung an. Sie bringt immerhin den Vorteil eines wärmebrückenfreien Übergangs von den Aussenwänden zum Dach. Auch ökonomische Überlegungen können zu Innendämmungen führen. Ist die Dachhaut in gutem Zustand und ist aus Kostengründen ein Umkehrdach nicht machbar, so kann auf eine reduzierte Innendämmung ausgewichen werden.

Alle Dachrandanschlüsse können unverändert belassen werden und auch allfällige Aufbauten werden nicht tangiert. Aus ökonomischer Sicht ist diese Massnahme jedoch nur sinnvoll, wenn die Dachhaut noch intakt ist. Energetische Sanierungen erfolgen im Bereich des Flachdaches häufig aufgrund von zwingenden Unterhaltsarbeiten oder Schadensanierungen.

Hohlraumdämmung

Bei Holzbalkenlagen sind reine Hohlraumdämmungen möglich. Hölzerne Dächer wurden in den meisten Fällen als Kaltdächer konstruiert, sind also belüftete Dächer. Im Holzelementbau werden heute Hohlraumdämmungen bei Warm- und bei Kaltdächern angewandt. Insbesondere im Bereich der Anschlüsse bei aufgehenden Bauteilen sind die Abdichtungen grossen Temperaturdifferenzen ausgesetzt, welche zu Materialermüdungserscheinungen führen können. Ist die Abdichtung voll funktionstüchtig und allenfalls erst kürzlich erneuert worden, besteht auch die Möglichkeit einer Innendämmung (siehe unten).



(Abb. 104)

Aus bautechnischen Gründen sollte darauf geachtet werden, dass sich die Dämmung gut an die vorhandene Holzkonstruktion anpassen kann und keine offenen Fugen entstehen, wenn das Holz quillt und schwindet. Bei einer Zwischensparrendämmung bedingt dies eine weiche Platte, die Bewegungen im Holz kompensieren und im Idealfall ohne zusätzliche Befestigung zwischen die Sparren geklemmt werden kann. Eine andere Möglichkeit ist das Ausblasen mit Cellulosedämmung oder das Einbringen einer Schüttung.

Terrassen über bewohnten Räumen

Die Auflösung des Baukörpers in mehrere Teilvolumina seit der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts schuf die Möglichkeit von Terrassen über bewohnten Räumen. Darf die Erscheinung des Aussenbaus nicht verändert werden, ist auf eine Innendämmung auszuweichen. Diese erzeugt jedoch unter Umständen Deckenabsätze, die sowohl aus denkmalpflegerischer wie auch aus architektonischer Sicht nicht zu überzeugen vermögen. Eine echte Alternative bilden heute Vakuumdämmplatten, welche die energetischen Anforderungen mit Dämmstärken von weniger als 3 cm erfüllen.

Wahl des Dämmmaterials

Nebst U-Wert, Eigenschaften bezüglich Dampfdiffusion und Kapillarleitung sowie ökologischen Kriterien, muss bei der Wahl von Dämmmaterial für Flachdächer (vor allem Warmdächer) auf eine gute Wärmespeicherfähigkeit – auf eine hohe Dichte und hohe spezifische Wärmekapazität also – geachtet werden. Diese dient nicht nur dem sommerlichen Wärmeschutz, sondern wird im Winter die Transmissionsbilanz durch das Dach positiv beeinflussen (siehe Kap. 3.3).

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 Diagramm aus «Studie über den Einfluss der solaren Erträge über die Außenwände auf den Energiehaushalt eines Wohngebäudes», Dipl.-Ing. Matthias G. Bumann, Ingenieurbüro DIMaGB, Berlin 16.7.2009, S. 21
- 7 Quelle SIA 381/101 Baustoffdatenbank, SIA 279
- 8 Abbildung aus Studie Berechnung des Bauschadensfreiheitspotentials von Wärmedämmkonstruktionen in Holzbau- und Stahlbauweise, Moll GmbH, Schwetzingen
- 9 Bild pcb-sanierung.ch
- 10 Bild Bau-im-Netz.de
- 11 Bild de.wikipedia.org
- 12 Bild aus Webseite www.bauherrenhilfe.org, Leichter Wassereintritt und Hausschwamm, Günther Nussbaum-Sekora, 24.2.2010
- 13 Bild von der Webseite www.hausinfo.ch
- 14 Bild von der Webseite www.hausinfo.ch
- 15 Bild Büro ADB, Burgdorf
- 16 Bild Archiv Denkmalpflege des Kantons Bern, Bern
- 17 Bild Büro ADB, Burgdorf
- 18 Bild Archiv Kantonale Denkmalpflege Graubünden, Chur
- 19 Bild Archiv Denkmalpflege des Kantons Bern, Bern
- 20 Bild Archiv Kantonale Denkmalpflege des Kantons Zürich, Dübendorf
- 21 Bild Archiv Denkmalpflege des Kantons Bern, Bern
- 22 Angaben Eigentümerin, Altenbergstrasse 120, Bern
- 23 Schema BetonMarketing Deutschland GmbH, Erkrath
- 24 Diagramm Webseite www.bau-sv.de, Henry Pfeifer und Lutz Elmar Vogel, Leipzig
- 25 Bild Büro ADB, Burgdorf
- 26 Nach Gert Geburtig, Innendämmung im Bestand, Stuttgart 2010, Abb. 2, S. 11, Umzeichnung ADB
- 27 Bild Mengia Mathys, S-chanf
- 28 Bild aus dem Blogarchiv von Hochparterre, 11.8.2010
- 29 Bild aus Gerd Geburtig, Innendämmung im Bestand, Stuttgart 2010, S. 30
- 30 Schema aus Webseite www.fachwerk.de
- 31 Aus Hartwig M. Künzel, richtiger Einsatz von Dampfbremsen bei der Altbausanierung, WTA Journal 1/2003, S. 11
- 32 Dämmstoffe im Hochbau, Herausgeber Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg, Bearbeitung Dr.-Ing. Heiko Lünser, Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg
- 33 Quelle Ecobis 2000 – Ökologisches Baustoffinformationszentrum des Bundesministeriums für Verkehr Bau- und Wohnungswesen und der Bayerischen Architektenkammer
- 34 Quelle Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
- 35 Bild aus Webseite der Zunft zum Distelzwang, www.distelzwang.ch
- 36 Bild Denkmalpflege des Kantons Zürich, Dübendorf
- 37 Bildkopie Webseite www.kunstkopie.de
- 38 Zeichnung Büro ADB, Burgdorf
- 39 Nachzeichnung Büro ADB, Burgdorf
- 40 Zeichnung Büro ADB, Burgdorf
- 41 Zeichnung Büro ADB, Burgdorf
- 42 Bild Denkmalpflege des Kantons Bern, Bern
- 43 Bild Archiv Denkmalpflege des Kantons Zürich, Dübendorf
- 44 Bild Büro ADB, Burgdorf
- 45 Bild Archiv Denkmalpflege des Kantons Zürich, Dübendorf
- 46 Aus dem Lehrbuch «Die Bau- und Kunstzimmerei, mit besonderer Berücksichtigung der äusseren Form», Theodor Krauth und Franz Sales Meyer. Karlsruhe 1895, S. 256
- 47 Bild aus Webseite www.burgenseite.com/MWK/other/mykene_mwk_1.jpg, Ausschnitt
- 48 Bild Archiv Denkmalpflege des Kantons Bern, Bern
- 49 Bild Archiv Denkmalpflege des Kantons Zürich, Dübendorf
- 50 Bild Büro ADB, Burgdorf
- 51 Bild Büro ADB, Burgdorf
- 52 Aus dem Lehrbuch «Die Bau- und Kunstzimmerei, mit besonderer Berücksichtigung der äusseren Form», Theodor Krauth und Franz Sales Meyer. Karlsruhe 1895, S. 125
- 53 Abbildung aus Dr. Ing. Eberhard Renner «schlecht wärmegeklämmt ist auch nicht gut», Referat Leipziger Altbautagung 2008
- 54 Bild von der Webseite www.baunetzwissen.de
- 55 Abbildung aus Dr. Ing. Eberhard Renner «schlecht wärmegeklämmt ist auch nicht gut», Referat Leipziger Altbautagung 2008
- 56 Bild aus Webseite www.energieportal.info/management/denkmalchutz/denkmalchutz/article
- 57 Bild Büro ADB, Burgdorf
- 58 Tabelle Büro ADB, Auswahl
- 59 Zeichnung Büro ADB, Burgdorf
- 60 Zeichnung Büro ADB, Burgdorf
- 61 Zeichnung Büro ADB, Burgdorf
- 62 Bild Archiv Denkmalpflege des Kantons Zürich, Dübendorf
- 63 Bild Archiv Denkmalpflege des Kantons Zürich, Dübendorf
- 64 Bild Archiv Denkmalpflege des Kantons Zürich, Dübendorf
- 65 Bild Archiv Denkmalpflege des Kantons Zürich, Dübendorf
- 66 Zusammenstellung Tabelle Büro ADB, (unvollständig)
- 67 Bild aus TEC 21, Nr. 45, 3.11.2008, S. 40
- 68 Bild Archiv Denkmalpflege des Kantons Bern, Bern

- 69 Bild Archiv Denkmalpflege des Kantons Bern, Bern
- 70 Bild Denkmalpflege Kanton St. Gallen, St. Gallen,
Moritz Flury-Rova
- 71 Bild Denkmalpflege des Kantons Zürich,
Dübendorf
- 72 Bild Büro ADB, Burgdorf
- 73 Bild Kanton Thurgau, Amt für Denkmalpflege, Frauenfeld
- 74 Bild Denkmalpflege des Kantons Zürich, Dübendorf
- 75 Bild Büro ADB, Burgdorf
- 76 Bild Urech Architekten AG, www.urech-architekten.ch
- 77 Bilder Dominique Plüss, Burgdorf
- 78 Bild Service des biens culturels SBC, Fribourg
- 79 Bild Service des biens culturels SBC, Fribourg
- 80 Bild Archiv Denkmalpflege des Kantons Zürich,
Dübendorf
- 81 Bild Archiv Denkmalpflege des Kantons Bern, Bern
- 82 Bild Service des biens culturels SBC, Fribourg
- 83 Bild aus der Webseite www.historischesheideseheim.de
- 84 Bild Büro ADB, Burgdorf
- 85 Bild Büro ADB, Burgdorf
- 86 Zeichnung Büro ADB, Burgdorf
- 87 Bild aus der Webseite www.dachbeschichtung-schäfer.de
- 88 Bild aus der Webseite www.waermedaemmung-osterkamp.de
- 89 Bild aus Webseite www.rockwool.de
- 90 Zeichnung Büro ADB, Burgdorf
- 91 Bild Archiv Althaus Architekten AG, Bern
- 92 Bild Archiv Denkmalpflege des Kantons Bern, Bern
- 93 Zeichnung Paola Moriggia, Grafik & Webdesign,
Bern
- 94 Bild aus der Webseite www.gesund-wohnen.de
- 95 Zeichnung Büro ADB, Burgdorf
- 96 Bild Archiv Denkmalpflege des Kantons Bern, Bern
- 97 Bild Denkmalpflege des Kantons Baselland, Liestal
- 98 Bild Archiv Denkmalpflege des Kantons Bern, Bern
- 99 Bild aus Infothek SWB, www.swb-gruppe.de
- 100 Aus Hans Brechbühler: 1907–1989 [Eidgenössische
Technische Hochschule, Institut für Geschichte und
Theorie der Architektur]. Zsgest. von Ueli Zbinden.
Mit Beitr. von Werner Oechslin, Niklaus Kohler und
Kurt Aellen. Zürich 1991
- 101 Bild aus Infothek SWB, www.swb-gruppe.de
- 102 Bild aus Baukonstruktion der Moderne aus heutiger
Sicht, Band 3, S. 307 (Hg. ETHZ). Basel 1990
- 103 Bild aus Infothek SWB, www.swb-gruppe.de
- 104 Zeichnung Büro ADB, Burgdorf

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 Johannesburg (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 Gebäudehülle

- Anlauff, Eva Innendämmung bei städtischen Gebäuden in Nürnberg. Dokumentation des Referats in Zürich vom November 2010
- Ansorge, Dieter u. Geburtig, Gerd (Hrsg.) Historische Holzbauwerke und Fachwerk, Instandsetzen – Erhalten. Stuttgart 2008
- Borsch-Laaks, Robert Innendämmung – Risikokonstruktion oder Stand der Technik. In: Dokumentation Leipziger Bauschadenstag, 2005
- Borsch-Laaks, Robert Innendämmung mit oder ohne Dampfbremse. In: Holzbau, Heft 4, 2008
- Borsch-Laaks, Robert Belüftet oder lieber doch nicht? Tauwasserschutz bei flach geneigten Dächern in Holzbauweise. In: Quadriga, Heft 5, 2006
- Brunner Conrad U. u.a. Wärmeschutz für Altbauten. Neuere Erkenntnisse zur Verbesserung. In: SIA 43/1992, S. 803–809
- Bumann, Matthias G. Studie über den Einfluss der solaren Erträge über die Aussenwände auf den Energiehaushalt eines Wohngebäudes. Berlin 2009
- Döring, Walter Am 8. Landesdenkmaltag Baden-Württemberg 1999. In: Denkmalpflege in Baden-Württemberg. Nachrichtenblatt des Landesdenkmalamtes 4/1999, S. 191–196
- Gabriel, Ingo u. Ladener, Heinz(Hg.), Vom Altbau zum Niedrigenergiehaus. Energietechnische Gebäudesanierung in der Praxis. Staufen bei Freiburg 1997 (1. Aufl.), 2006 (5. Aufl.)
- Geburtig, Gerd Innendämmung im Bestand. Stuttgart 2010
- Geburtig, Gerd Wärme- und feuchtetechnische Anforderungen an Fachwerkhäuser im Bestand. Weimar 1/2004, S.15–28
- Klauss, Swen u. Kirchhof, Wiebke Altbaukonstruktionen – Materialien und U-Werte im Gebäudebestand. Stuttgart 2010
- Künzel, Hartwig M. Richtiger Einsatz von Dampfbremsen bei der Altbausanierung. WTA-Journal 1, 2003, S. 6–25
- Landesamt für Denkmalpflege Hessen Bauberater: Dach und Dachlandschaften in Hessen. Schloss Biebrich (Wiesbaden), 2006
- Nöske, Florian Demonstrative Steildachsanieung. Saarbrücken 2008
- Peter Häupl, Heiko Fechner u. a. Energetische Verbesserung der Bausubstanz mittels kapillaraktiver Innendämmung. In: Bauphysik, Heft 4, 1999
- Renner, Eberhard Schlecht wärmegeämmt ist auch nicht gut (Referat). Leipziger Altbautagung 2008
- Ruisinger, Ulrich Risikofaktor Balkenkopf? Holzbalkendecken und die Innendämmung. Holzbau Heft 17 2011, S.18ff
- Schulze, Jörg Das Dilemma: Nachträglicher Heizungseinbau und Wärmedämmung in Baudenkmalern. In: Bausubstanz, Heft 3 und 4, 1995, S. 48–50 und 48–51