

IV

ENERGIE UND BAUDENKMAL

Solarenergie



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	6
Erhalten und sparen	7
Gemeinsamkeiten und Konflikte	7
Kompensation für nicht zu erreichende Energiewerte	9
Lösungsfindung – ein interdisziplinärer Prozess	9
2. Baudenkmal und Energie – Grundlagen	10
2.1 Historische Bauten und Energie	11
Bauen mit dem Klima und den vorhandenen Ressourcen	11
Erfindungsreichtum und Baukultur	12
Baudenkmal und energetische Verbesserung	13
2.2 Auftrag und Grundsätze der Denkmalpflege	14
Denkmäler sind Zeugen und widerspiegeln die Vielfalt der Geschichte	14
Schutz und Prävention	14
Denkmalpflegerische Grundsätze	14
2.3 Grundlagen Energie	16
Energie	16
Energiebilanz am Gebäude	17
3. Baudenkmäler und Solarenergie	19
3.1 Die Bedeutung des Dachs für das Baudenkmal	20
Steildächer	20
Flachdächer	21
3.2 Die Bedeutung des Daches für das Ortsbild	21
3.3 Gewinnung von Solarenergie	22
Gewinnung von Solarenergie auf Dächern	22
Alternativen zur Solaranlage auf dem eigenen Dach	23
3.4 Solarenergie am Gebäude	24
Standort(un)gebundene Energiegewinnung	24
Solarwärme	24
Fotovoltaik	25
Arten von Solarzellen	26
Solarmodule	28
Solarelemente und graue Energie	28
Energetische Amortisationszeit von Solarelementen	28
3.5 Systeme zur Gewinnung von Solarenergie	29
Flachkollektoren	29
Vakuümrohrenkollektoren	30
Thermische Solarziegel und Unterdachkollektoren	31
Schlüsse	31
Voltaische Solardachziegel und -schiefer	32
System für Flachziegel	32
Laminate	33

4. Planung von Solaranlagen an Baudenkmalern	34
4.1 Aufstellungsorte von Solarelementen	35
Dächer und Fassaden von Nebengebäuden	35
Elemente der Umgebungsgestaltung	35
Aufstellung im freien Gelände	35
Solarschuppen	35
Am Baudenkmal, an untergeordnetem Bauteil	35
4.2 Aufstellungshinweise für Solarelemente aus technischer und energetischer Sicht	36
Solarkollektoren	36
Voltaikmodule	36
4.3 Solaranlagen auf Steildächern	37
Montage auf dem Hauptdach	37
Thermiefelder	37
Voltaikfelder	37
Lage von Kollektorenfeldern	38
Formen von Kollektorenfeldern	39
Grosse Voltaikflächen und Thermiefelder	40
Detailgestaltung	41
4.4 Solaranlagen auf Flachdächern	42
Bildnachweise	43
Literaturauswahl	44

1. Einführung

Erhalten und sparen

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

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

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

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

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

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

Gemeinsamkeiten und Konflikte

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

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

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

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

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

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

Wohl gibt es aber eine Reihe von Massnahmen, die in den meisten Fällen durchgeführt werden können und die eine spürbare Verbesserung der Energiebilanz bewirken, ohne dem Schutzobjekt zu schaden. Im Vordergrund stehen hier die nicht oder nur wenig invasiven, also betrieblichen und organisatorischen Massnahmen. Sie bilden einen Schwerpunkt der vorliegenden Publikation. Eine der wichtigsten Entscheidungen betrifft die Wahl eines effizienten Heizsystems, weil ein Grossteil der CO₂-Emissionen durch veraltete Heizungen verursacht wird. Es werden sodann verschiedene Massnahmen und Techniken erläutert, die mit einem Baudenkmal in der

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

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

Kompensation für nicht zu erreichende Energiewerte

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

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

Lösungsfindung – ein interdisziplinärer Prozess

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

Konventionen

Definitionen

Exkurse

Akzente

2. Baudenkmal und Energie – Grundlagen

2.1 Historische Bauten und Energie

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

Trotz der Eigenarten, durch die sich Bauten voneinander unterscheiden und die bei jeder Sanierung gesondert zu berücksichtigen sind, gibt es auch viele Gemeinsamkeiten. Sie zu kennen erleichtert nicht nur jede Sanierungsplanung. Kenntnisse der Grundlagen der historischen Baupraxis sowie der allgemeinen Grundsätze der Denkmalpflege, die für alle Baumassnahmen am Baudenkmal gelten und für eine energetische Optimierung nicht ausser Kraft gesetzt werden, helfen mit, unangenehme und kostspielige Fehler zu vermeiden. Das Ziel, Kohlendioxid (CO₂) zu reduzieren, lässt sich nicht nur auf die heute geförderte, sondern auf vielfältige Art und Weise erreichen. Die Förderung von Massnahmen zum Energiesparen sollte sich daher nach der tatsächlich erreichten Reduktion der verbrauchten Energiemenge richten und nicht nach der Umsetzung von Massnahmen, deren effektive Wirkung oft gar nicht messbar ist oder ungeprüft bleibt. Anders gesagt: Energetische Optimierung soll in erster Linie das Normenziel der Reduktion erfüllen, nicht abstrakte Normwerte.

«In Zeiten, als es so etwas wie Technische Gebäudeausrüstung noch nicht gab, waren die Baumeister darauf angewiesen, alle möglichen Überlegungen anzustellen, alle möglichen natürlichen Energiequellen auszubeuten, um Gebäude im Innern nutzbar zu machen», schreibt der Architekt und Bauklimatiker Jürgen Roloff¹. Immerhin führten diese Überlegungen zur Entwicklung vielfältiger, langlebiger und anpassungsfähiger Bautypen und Bauten – zu unserer Bautradition. Baustoffe, in der Regel natürliche wie Holz, Stein, Ziegel usw., und Bauweise sind aufeinander abgestimmt. Die Bauten folgen einer konstruktiven Logik². Deren gründliche wissenschaftliche Erforschung steckt zwar noch in den Anfängen. Es liegen jedoch genügend Einzeluntersuchungen und Erfahrungswerte vor, die belegen, dass die Veränderung

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

Bauen mit dem Klima und den vorhandenen Ressourcen

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

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

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

2) Déclaration d'ICOMOS France, 2008

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

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

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

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

Erfindungsreichtum und Baukultur

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

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

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

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

Baudenkmal und energetische Verbesserung

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

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

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

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

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

1) Jörg Schulze, Bausubstanz, S. 49

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

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

2.2 Auftrag und Grundsätze der Denkmalpflege

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

Baudenkmäler sind Geschichtszeugen¹. In ihnen sind Informationen aus dem Leben vergangener Gesellschaften in besonderer Dichte und Vielfalt gespeichert, deshalb werden sie auch als Ressourcen bezeichnet. Anders als im Geschichtsbuch ist Geschichte im Baudenkmal materiell gegenwärtig und sinnlich erfahrbar. Baudenkmäler sind Zeugen ihrer Entstehungszeit und der seitdem durchlaufenen Geschichte, die sich in Altersspuren und Veränderungen niedergeschlagen hat. Sie sind Bindeglieder zwischen Vergangenheit und Gegenwart. Wesentlichen Anteil an der Bedeutung hat auch der Standort, für den sie geplant und gebaut wurden, also ihre Ortsgebundenheit. Sowohl die landschaftliche als auch die bebaute Umgebung bilden den räumlichen, funktionalen und sozialen Zusammenhang sowie den Massstab, ohne den viel von ihrer Aussagekraft verloren geht.

Denkmäler sind Zeugen und widerspiegeln die Vielfalt der Geschichte

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

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

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

Schutz und Prävention

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

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

Denkmalpflegerische Grundsätze

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

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

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

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

1. Substanzerhaltung

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

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

2. Alter und Andersartigkeit als Merkmale

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

3. Reparatur- und Pflegefähigkeit

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

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

4. Reversibilität

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

5. Angemessenheit und der kleinstmögliche Eingriff

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

6. Addition statt Ersatz

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

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

2) Charta von Venedig, Artikel 9

2.3 Grundlagen Energie

Energie

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

Energieträger wie Sonnen- und Windenergie, Geothermie oder Biomasse wurde vermehrte Aufmerksamkeit geschenkt. Seit der Gesamtenergiekonzeption von 1978 erarbeitet das Bundesamt für Energie (BFE) gemeinsam mit externen Experten periodisch Energieperspektiven, mit dem Ziel, Energie zu sparen und fossile Energieträger durch erneuerbare einheimische, zu substituieren. Als eine der ersten energiepolitischen Massnahmen in der Schweiz wurde in den 1970er-Jahren die verbrauchsabhängige Heiz- und Warmwasserkostenabrechnung (VHKA) eingeführt. Die Annahme des Energieartikels in der Bundesverfassung 1990 ebnete den Weg für das erste Aktionsprogramm «Energie 2000», welches 2001 durch das Programm «EnergieSchweiz» abgelöst wurde, das bis 2020 in Aktion bleiben soll. Im Januar 2010 starteten Kantone und Bund zudem das nationale «Gebäudeprogramm». Es ist auf 10 Jahre befristet und legt das Schwergewicht auf die energetische Sanierung von Gebäuden. Dazu werden aus der Teilzweckbindung der CO₂-Abgabe sowie anderen kantonalen Förderprogrammen jährlich rund 300 Millionen Franken Fördermittel bereitgestellt.

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

Endenergieverbrauch der Schweiz seit 1910 in TJ (Terajoule)

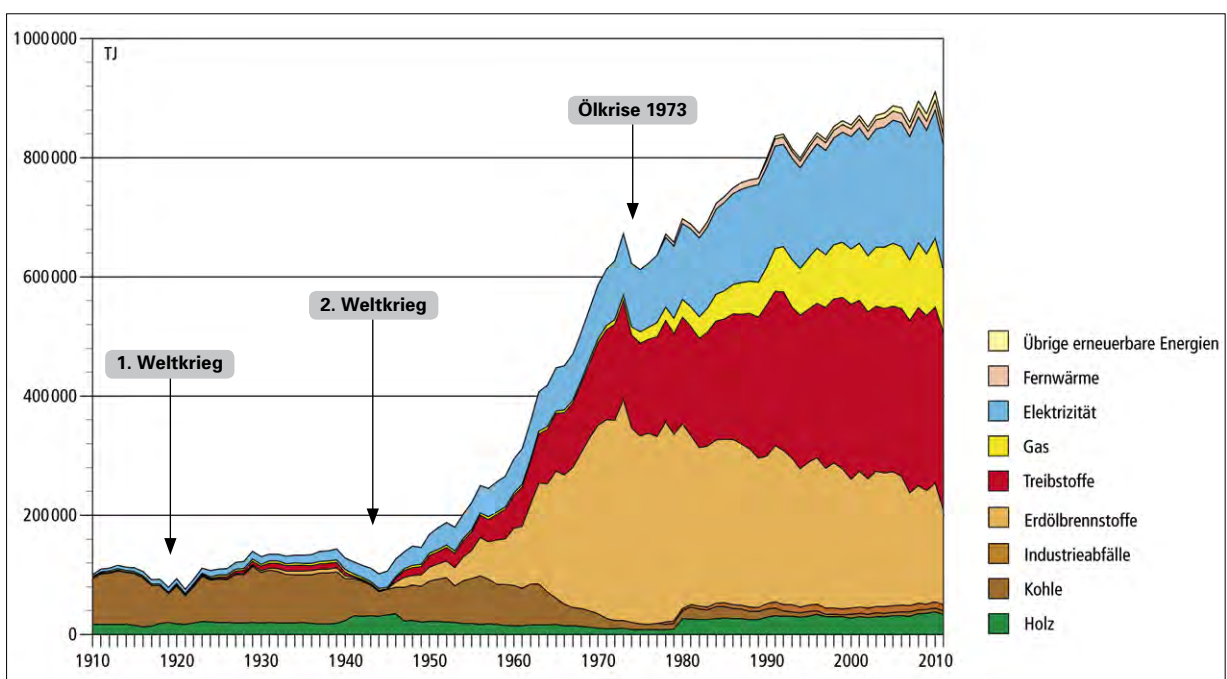


Diagramm Energieverbrauch der Schweiz seit 1910, Gesamtenergiestatistik Schweiz 2008 (Abb. 1)

Baudenkmäler der Schweiz verbrauchen ca. 1% der Endenergie

Rund 45% des Endenergieeinsatzes werden in der Schweiz für das Heizen und Kühlen sowie für die Erstellung von Gebäuden und die Warmwasseraufbereitung aufgewendet¹. Etwa 2% des Gebäudebestands sind Denkmäler, einige von ihnen, wie Brücken, Speicher, Scheunen oder Wehranlagen, sind unbeheizt. Das heisst, dass der Energieeinsatz für den Denkmalbestand in einer Grössenordnung von 1% oder weniger liegt.

Energiebilanz am Gebäude

Energiebilanz der Nutzungsphase

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

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

Lebenszyklus und graue Energie

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

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

Die graue Energie wird heute bei der energetischen Beurteilung eines Gebäudes noch nicht systematisch berücksichtigt. Weder die baurechtlich relevanten Berechnungen nach SIA 380 noch der Energieausweis der Kantone berücksichtigen die graue Energie. Mit dem Merkblatt 2032 des SIA steht seit 2010 in der Schweiz erstmals ein einheitliches Instrument zur Erfassung der grauen Energie zur Verfügung. Diese beträgt bei neuen Wohnbauten ca. 3000–4000 MJ (Megajoule) pro m² Geschossfläche oder bei einer 60-jährigen Amortisationsdauer gemäss SIA ca. 80 bis 100 MJ/m² und Jahr.

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

Lebenszyklus Gebäude (Abb. 2)

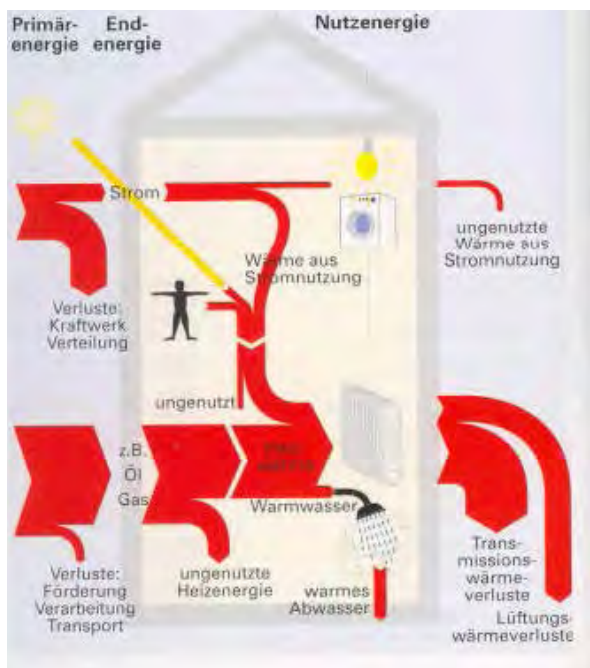
Bezüglich des Aufwands an grauer Energie stehen Baudenkmäler gut da. Erstens wurden sie fast ausschliesslich mit erneuerbarer Energie hergestellt, zweitens haben sie eine sehr hohe Lebensdauer. Das vierhundertjährige städtische Bürgerhaus wie das dreihundertjährige Bauernhaus übertreffen die Lebenserwartung 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. Baudenkmäler und Solarenergie

Wie in der Einführung erläutert, liegt der Prozentsatz der Baudenkmäler der Schweiz im Bereich von ca. 2% des Baubestands. Etwa doppelt so viele (ca. 4%) Gebäude des schweizerischen Gebäudeparks sind bis heute mit einer Solaranlage (Thermie und/oder Voltaik) ausgerüstet. Noch weit über 90% der Gebäude stehen demnach grundsätzlich zur Ausrüstung mit Solaranlagen zur Verfügung (für den Fall, dass auf Denkmälern keine Anlagen erstellt würden). Allein diese Zahlen machen deutlich, dass aus Baudenkmälern vergleichsweise geringe Mengen erneuerbarer Solarenergie gewonnen werden können, umgekehrt aber grosse nicht erneuerbare kulturelle Ressourcen für eher kleine Gewinne geopfert werden müssten. Im Folgenden sollen denkmalpflegerische und energetische Aspekte zum Thema Baudenkmäler und Solarenergie beleuchtet werden.

3.1 Die Bedeutung des Dachs für das Baudenkmal

Steildächer

Die Bauten unseres Landes wurden bis weit ins 20. Jahrhundert mehrheitlich als Steildachhäuser errichtet. Das Steildach tritt als Körper in Erscheinung und ist damit wesentlicher Bestandteil des Gesamtkörpers und der einzelnen Ansichten eines Gebäudes. Zugleich ist es wichtiger bekrönender Abschluss: Die gängigen Metaphern vom Dach als Hut und vom Dach als Krone des Gebäudes unterstreichen dessen Wichtigkeit. Steildächer werden zunächst durch ihre Form und ihre Umrisse, aber auch durch die Konstruktion, die Beschaffenheit der Oberflächen (feinteilige Textur der Ziegel oder des Schiefers und matte mehrfarbige Oberflächen in natürlichen Rot- und Brauntönen) definiert. Bereits kleine Eingriffe am exponierten Bauteil Dach können die Wirkung eines Denkmals empfindlich stören.

Dachform und Dachneigung

Einfache Pult-, Sattel- und Teilwalmdächer werden eher als Flächen, als schiefe, den Gebäudekörper schützende Ebenen wahrgenommen. Mehrteilige Dächer, Turmdächer, Mansarddächer und Vollwalmdächer wirken plastisch und daher eher als Teil des Gesamtkörpers. Sie erlangen je nach Dachform bisweilen auch stark figuralem Charakter (Abbildung 5). Dächer können gar das Hauptelement der Gebäudegestalt sein. Die Mehrheit der Dächer sind (geknickte) Sattel- und Teilwalmdächer, deren Dachflächen durch Traufe, First und Ort orthogonal definiert sind.

Die giebelseitigen Dachschilder sind als symmetrische, gleichschenklige Dreiecke stark wirkende Figuren und zudem meist wesentlich kleinflächiger als die Traufseiten. Je stärker eine Dachfläche oder ein Dach insgesamt figu-



Aussenansicht Pfarrhaus Münsingen (Abb. 5)

ralen Charakter hat, umso stärker prägt sie das Erscheinungsbild des Denkmals.

Die Dachneigung beeinflusst die Wirkung des Dachs: Je steiler ein Dach ist, desto stärker wird es wahrgenommen. Schwach geneigte Dächer sind daher im Allgemeinen weniger exponiert. Die Dachflächen sind teilweise belegt mit Lukarnen, Quergiebeln, Gauben und Kaminen. Sie prägen den Charakter des Baudenkmals wesentlich mit.

Dach(ober)fläche

Verschiedene Materialien, Formate, Oberflächen und Farben gestalten die eigentliche Fläche des Dachs. Ziegel-, Natursteinschiefer-, Holzschindel- und Strohdächer prägten einst unsere Hauslandschaften. Heute überwiegen Ziegeldächer und solche aus Faserzementschiefer als Nachfolger der Schiefer- und Schindeldächer. Obwohl alle Dachmaterialien dieselbe charakteristische überlappende Reihung zeigen, weisen sie teilweise sehr unterschiedliche Texturen auf. Die Ziegeltypen zeichnen verschiedenartige Dachflächen. Flachziegel betonen vor allem die Horizontale der Ziegelreihen, Mulden-, Doppelmulden- und Pfannenziegel erzeugen eher einen feinmaschigen orthogonalen Raster, die Mönche der Klosterziegel ziehen eine dichte Folge von parallelen Vertikalen, und bei Biberschwanzdächern (vor allem bei der Doppeldeckung) tritt eine kleinteilige Schuppenwirkung an die Stelle von optisch wahrnehmbaren Linien.



Ausschnitt Ökonomieteil der Wespimühle, Winterthur (Abb. 6)



Ausschnitt Biberschwanzziegeldach Doppeldeckung (Abb. 7)



Dachausschnitt mit Klosterziegeln (Abb. 8)

Dächer sind im Grundsatz genauso schützenswerte Denkmalteile oder gar Teildenkmalteile wie die Fassaden: Sie sind daher gleich zu schonen, sorgfältig und rücksichtsvoll zu pflegen wie die Fassaden. Jede Solaranlage bedeutet einen intensiven Eingriff in das Erscheinungsbild des Baudenkmals. Für viele Denkmäler sind die Eingriffe nicht verträglich, sodass nach einem Alternativstandort oder nach einer anderen Lösung gesucht werden muss.

Flachdächer

Erst mit der frühen Moderne in der Zwischenkriegszeit wurden in unserer Gegend auch vermehrt Flachdächer gebaut. Das Flachdach unterscheidet sich für unsere Betrachtungen grundlegend vom Steildach. Es tritt von aussen nicht als Körper in Erscheinung. Die Dachfläche ist meist nicht oder nur aus der Fernsicht einsehbar. Das Dach wird nur durch seinen Rand als Bordüre oder als Vordach wahrgenommen. Aus diesem Grund ist aus der Sicht der Architektur und der Denkmalpflege die Anbringung von Solarelementen auf Flachdächern im Allgemeinen eher möglich und hat – werden gewisse Grundregeln befolgt – wenig Einfluss auf das Erscheinungsbild eines Gebäudes.

3.2 Die Bedeutung des Daches für das Ortsbild

Dächer prägen nicht nur die Gebäude, sie verleihen als Dachlandschaft bis heute unseren historischen Städten und Dörfern ihr unverkennbares Gepräge. Klima, zur Verfügung stehende Baumaterialien, regionale Bau-traditionen und -vorschriften sowie wenige einheitliche Gebäudetypen formten im Laufe der Zeit städtische und ländliche Siedlungen von grosser Einheitlichkeit.

Erhaltens- und schützenswerte Ortsbilder sind charakteristische Baugruppen, Weiler, Dörfer oder Städte, die in ihrer Gesamtgestalt eine hohe Qualität und Einheitlichkeit erhalten haben. Nicht alle ihre Gebäude sind Denkmäler; trotzdem sind sie wichtige Bausteine der Ortsbilder. Ihre Fassaden und Dächer gestalten die Ortsansichten mit. Der Wert der Ortsbilder kann in gestalterischen, geschichtlichen, handwerklichen, gesellschaftlichen oder anderen Eigenschaften begründet sein. Zum Ortsbild gehören aber auch die Strassen- und Platzräume (inneres Ortsbild) sowie die Umgebung und die Dachlandschaft (äusseres Ortsbild). Die Dachlandschaft prägt das äussere Ortsbild stark. Damit kann unsere Betrachtung nicht ausschliesslich auf die Einzeldenkmäler fokussieren, sondern sie betrifft grundsätzlich alle Gebäude (also auch die nicht eingestuften Objekte) eines schützenswerten Ortsbilds. Solaranlagen in wertvollen Ortsbildern und in Ortskernen müssen also nicht primär auf den Bau, der sie trägt, Rücksicht nehmen, sondern auf die gesamte Dachlandschaft, welche sie mitgestalten. Das an seinem unteren Rand meist weit über den Baukörper auskragende und nach oben hin sich verjüngende historische Steildach ist zudem ein wichtiges Bindeglied zwischen Architektur und Landschaft; es trägt wesentlich zur Einbindung der Gebäude in die Landschaft bei.



Dachlandschaft in der Altstadt von Bern (Abb. 9)

3.3 Gewinnung von Solarenergie

Solarenergie gilt heute als die nachhaltigste unter den erneuerbaren Energien (Holz, Wasser, Erdwärme, Sonne, Luft und Wind). Im Unterschied zu allen anderen Formen erneuerbarer Energien sind die technischen und auch die nachhaltig nutzbaren Potenziale der Sonnenenergie vor dem Hintergrund aller Zukunftsprojektionen menschlichen Energieeinsatzes praktisch unbegrenzt. Heute werden ca. 5% der Energie aus Sonnenstrahlung gewonnen.

Gewinnung von Solarenergie auf Dächern

Solaranlagen werden vorzugsweise auf Dächern montiert, weil dadurch Bodenfläche gespart wird, die Dächer als Unterkonstruktion für die Kollektoren und Module dienen und weil Dächer manchmal die einzige verschattungsfreie Fläche der Gebäude und Grundstücke sind. Für Solarelemente stellen sich im Zusammenhang mit ihrer Anbringung an Baudenkmäler und in Ortsbildern zwei zentrale Fragen:

1. Wird durch die Solaranlage Bausubstanz geopfert, oder wird die dauerhafte Substanzerhaltung gefährdet?
2. Welche Auswirkungen hat die Anlage auf das Erscheinungsbild des Baudenkmals und/oder auf das Ortsbild?

Die nach rein technischen Kriterien entwickelten Solarelemente treten auch als technische Instrumente in Erscheinung. Sie vertragen sich nur bedingt mit den alten Dachflächen aus vorindustrieller Zeit. Die stark auffallenden, grossflächigen technischen Elemente aus Glas und Metall kontrastieren mit den feinteiligen, erdfarbenen Dachoberflächen erheblich. Solarkollektoren und Solarmodule heben sich von den traditionellen Ziegelflächen sowohl in Bezug auf Dimension, Oberflächenstruktur, Farbe als auch Spiegelung stark von der Dachfläche ab. Sie sind dadurch wesentlich auffälliger als die Dachmaterialien und stören damit die Wirkung, das Erscheinungsbild des Baudenkmals oder des Ortsbilds. Bei einer Aufdachmontage bezieht sich die Störung primär auf das Erscheinungsbild. Bei Indachmontagen muss auch die Substanz angetastet werden, dafür wird das Erscheinungsbild weniger strapaziert. Der von Tag zu Tag steigende Druck zur Reduktion des CO₂-Ausstosses und die damit verbundene finanzielle Unterstützung von Solaranlagen durch die öffentliche Hand beschleunigen den Einsatz der Solarenergie auch auf den Dächern von Baudenkmälern. Forschung und Markt wenden sich nur in Einzelfällen der Thematik Solarenergie und Baudenkmal zu, weil der Denkmalbestand nur einen geringen Teil der Bausubstanz ausmacht. Die Problematik beschränkt sich keineswegs nur auf Baudenkmäler und wertvolle Ortsbilder: Der Grossteil sämtlicher bestehenden Dächer und Dachlandschaften ist bis heute mit Ziegeln und kleinformatigen Faserzementschiefern gedeckt, in welche sich nicht ohne weiteres marktübliche Solaranlagen integrieren lassen. Die wenigen bisher auf dem Markt erhältlichen Solarprodukte, welche die Integration von Solaranlagen auf bestehenden Ziegeldächern erleichtern würden, sind noch kaum erprobt. Die Problematik beschränkt sich also keineswegs auf die Baudenkmäler, sie bezieht sich auf die meisten bestehenden Bauten. Ausgenommen sind Neubauten. Hier können der neuen Funktion der Aussenhülle gerecht werdende Dach- und Fassadenkonzepte von Anfang an umgesetzt werden. Die gebäudeintegrierte Solartechnik bietet insbesondere auf dem Gebiet der Fotovoltaik ein grosses Potenzial für den Hüllbau der Zukunft.

Die Nutzung von Dachflächen zur Produktion von Solarenergie ist dann sinnvoll, wenn sie die kostbare Ressource Boden schonen hilft, ohne dabei andere begrenzte Ressourcen wie Baudenkmäler oder Ortsbilder zu schmälern.

Koordination und Planung im Solarbereich

Während Bauen, Nutzung und Verkehr durch die öffentliche Hand klar geregelt sind, herrscht aktuell im Solarbereich so etwas wie ein Notrecht, welches nicht zuletzt durch den Artikel 18c des Raumplanungsgesetzes entstanden ist.

Private werden durch Bewilligungsbefreiung und finanzielle Anreize ermutigt, ihren Beitrag zur Gewinnung von Solarenergie zu leisten. Das macht für Solarthermie gewiss Sinn, weil der Einzelne so seinen Warmwasserbedarf mit effizienter, erneuerbarer Energie abdecken kann. Für die Solarstromgewinnung ist dies jedoch fraglich: Aktuell (Juli 2012) sind beim Bundesamt für Energie 19 300 KEV-unterstützte Ökostromprojekte angemeldet. Mehr als 16 000 von ihnen sind Gesuche für voltaische Solaranlagen. Das heisst, es entstehen mehr als 16 000 kleine und Kleinstkraftwerke, die alle ihren Strom an das öffentliche Netz abgeben möchten. «Die Erstellung eines grossen Solarkraftwerks kommt billiger als die Montage vieler kleiner Voltaikanlagen. Auch der Anschluss eines grossen Werks ans nationale Stromnetz ist wesentlich einfacher als die Einbindung vieler Kleinanlagen».¹ Die Kleinanlagen sind nicht nur teurer, sondern beeinträchtigen auch Bauten, Ortsbilder, Dörfer und Städte.

Heute entstehen Anlagen dort, wo ein Hausbesitzer einen Beitrag zur Reduktion des CO₂ leisten will und nicht dort, wo eine Solaranlage auch effizient errichtet und betrieben werden könnte. Hier müssen Koordinatoren wie beispielsweise Contractor oder die öffentliche Hand auf den Plan treten.

Inkongruenz zwischen Baureglementierung und Solarbewilligungspraxis

Eine Folgeerscheinung der rasanten Entwicklung der Solarenergie ist eine gewisse Inkongruenz von Baureglementierung und Solarpraxis. Während Dachöffnungen und Dachaufbauten vergleichsweise streng reglementiert und in ihren Dimensionen limitiert sind, existieren für Solaranlagen viel weniger Einschränkungen oder sie sind gar bewilligungsfrei. Für die Erhaltung des Erscheinungsbilds eines Baudenkmals ist es aber unerheblich, ob eine Beeinträchtigung von einem Dachaufbau oder von einer Solaranlage herrührt. Eine Harmonisierung der Baureglementierung, insbesondere der Artikel zur Dachgestaltung, welche die Solarelemente stärker mit einbezieht, ist erforderlich.

Alternativen zur Solaranlage auf dem eigenen Dach

Ist auf dem Dach des Baudenkmals keine Solaranlage realisierbar, können für standortgebundene thermische Kollektoren zur Warmwasseraufbereitung und Heizungsunterstützung alternative Standorte in unmittelbarer Umgebung geprüft werden. Entsprechende Vorschläge werden im Kapitel 4 «Planung von Solaranlagen an Baudenkmalen» unterbreitet. Lassen sich keine geeigneten Standorte finden, kann die Erzeugung von Wärme für Brauchwasser und Heizung mittels anderer erneuerbarer Energieträger (Holzschnitzel, Pellet) geprüft oder aber anstelle einer eigenen Wärmeversorgungsanlage direkt die aus alternativen Energien gewonnene Wärme eingekauft werden (Energiecontracting).

Energiecontracting

Planung, Finanzierung, Installation und Betrieb von Energieversorgungs-Anlagen werden von einem Contractor, oftmals die öffentlichen Energiversorger, übernommen.

Das Energiecontracting hat einige Vorteile. Der Bau grösserer Anlagen auf der Basis von alternativen Energieträgern ermöglicht die Verbesserung der Wirtschaftlichkeit ökologischer Projekte. Für den Hausbesitzer entfallen zudem die finanziellen und technischen Risiken, die für die Erstellung einer Solaranlage anfallen.

Alternativen zur voltaischen Solaranlage auf dem eigenen Dach sind der Kauf von Solarstrom, die Beteiligung an grösseren Solarprojekten und die Errichtung von Anlagen auf gemieteten Dächern.

Eigentümer von Baudenkmalen, auf deren Dächern keine Fotovoltaikanlage machbar ist, aber auch Eigentümer von Bauten, deren Dachflächen ungeeignete Orientierungen oder Verschattungen aufweisen, können je nach Versorgungssituation aus alternativen Energien gewonnenen Strom kaufen, sich direkt an einer grösseren Solaranlage beteiligen oder an anderer Stelle selbst eine Anlage bauen. Die Beteiligung an einem grösseren Solarprojekt erfolgt mittels Zeichnung von Darlehen oder durch den Kauf von Aktien.

Zum Bau einer eigenen Anlage kann eine geeignete grössere Dachfläche an einem passenden Standort gemietet werden. In der Schweiz sind Dachmieten bisher noch nicht sehr verbreitet und eher für grössere Dachflächen sinnvoll. Mietpreise werden je nach Bedarf sehr unterschiedlich eruiert, häufig auf der Basis der installierten Leistung oder in Prozenten des Ertrags.

1) Konstantinos Boulouchos, Professor für Energietechnik, ETH Zürich

3.4 Solarenergie am Gebäude

In der Schweiz liegt die durchschnittliche Sonneneinstrahlung bei rund 1 100 kWh pro m². Die höher gelegenen Gebiete erreichen Werte bis über 1 400 kWh. Unter diesen Bedingungen können geeignete Solaranlagen effizient betrieben werden. In den sonnenreichen Ländern im Süden Europas ist die Sonneneinstrahlung wesentlich höher (Spanien ca. 2 000 kWh), und im nahen Osten und Nordafrika steigt diese bis über 2 500 kWh/m² an (Sahara ca. 2 500 kWh/m²). In Mittel- und Nordeuropa sind daher Bestrebungen im Gang, die Produktion zusätzlicher Solarenergie in Südeuropa und in Nordafrika aufzunehmen. Das aktuell grösste Solarprojekt «Desertec» verfolgt das ambitionöse Ziel, bis 2050 grosse Teile Nordafrikas zu versorgen und bis zu 15% des europäischen Strombedarfs in Nordafrika zu produzieren. Erste thermische und voltaische Solarkraftwerke in Marokko sollen als Pionieranlagen (insgesamt 500 MW) ihren Betrieb um 2020 aufnehmen. Die technische Machbarkeit ist belegt. Es werden aber ökonomische, politische (entwicklungspolitische) und strategische Faktoren über den Erfolg dieses und ähnlicher Projekte entscheiden.

Standort(un)gebundene Energiegewinnung

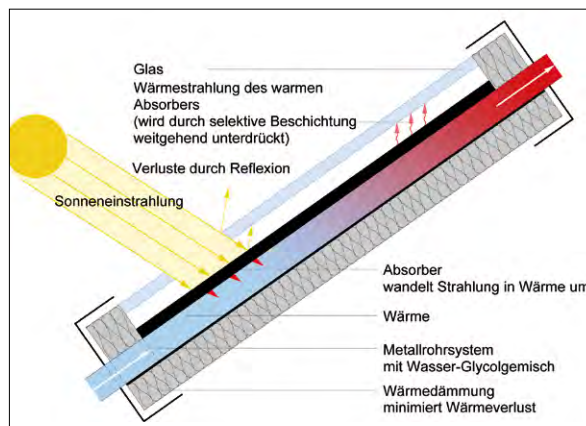
Die Sonnenenergie wird am Gebäude zur Versorgung der Gebäudetechnik eingesetzt. Solarkollektoren erzeugen Wärme für die Brauchwasseraufbereitung und Heizungsunterstützung. In einigen Fällen wird die Solarwärme auch als Hauptenergieträger für spezielle Wärmepumpenheizungen eingesetzt. Die Wärme wird also am selben Ort erzeugt, wo sie konsumiert wird. Je kürzer der Weg vom Erzeuger zum Verbraucher, desto effizienter sind diese Systeme, und sie sind daher standortgebunden. Solarstromanlagen (Fotovoltaikanlagen) erzeugen Strom, der grösstenteils in das öffentliche Stromnetz eingespeist wird; sie sind daher nicht standortgebunden. Ausnahmen bilden Objekte, die nicht in der Nähe des öffentlichen Leitungsnetzes liegen, wie Alphütten und ähnliches. Hier werden sogenannte Inselanlagen errichtet und der Strom direkt vor Ort gespeichert und verbraucht.

Solarwärme

Die Sonnenstrahlung wird mittels Kollektoren gesammelt und in Wärme umgewandelt. Solarkollektoren sind die aussen sichtbaren Teile der Solaranlage. Ihr Aussehen, ihre Form und Grösse werden bestimmt durch technische und funktionale Gegebenheiten. Solarkollektoren machen sich zwei Naturgesetze zu eigen:

1. Schwarze Flächen absorbieren Sonnenlicht (elektromagnetische Strahlung), sie wandeln also Lichtstrahlen (UV, sichtbares Licht) in Wärme um und sie nehmen direkt Wärmestrahlung (Infrarotbereich) auf. Als Lichtabsorption wird eine physikalische Wechselwirkung bezeichnet, bei der Licht (Photonen) seine Energie – hier in Form von Wärme – an Materie abgibt.
2. Warmes Wasser steigt. Die dunklen Absorberflächen übertragen die Wärme direkt auf ein Rohrsystem, welches einen flüssigen Wärmeträger führt. Die erwärmte Flüssigkeit steigt und kühlere fließt nach. Es entsteht eine Zirkulation.

Die thermische Energie muss folglich möglichst dort eingesetzt werden, wo sie anfällt. Der Absorber soll direkte und diffuse Sonnenstrahlung gut auffangen und in Wärme umwandeln. Zugleich soll er wenn möglich wenig Wärme wieder in Form von Strahlung nach aussen abgeben (Emission). Technisch ausgedrückt: Er soll sich gegenüber den jeweiligen charakteristischen Wellenlängen selektiv verhalten. Um dieses Verhalten zu erreichen, werden die Absorptionsflächen heute mit speziellen Beschichtungen versehen.

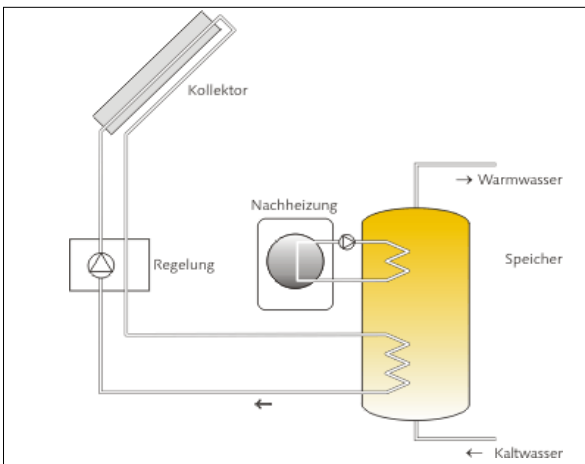


Funktionsschema Flachkollektor (Abb. 10)

Andere Formen solarer Wärmegewinnung sind die transparente Wärmedämmung oder Luftkollektoren. Transparent gedämmte Aussenwandkonstruktionen weisen positive Energiebilanzen auf. Luftkollektoren werden an Fassaden eingesetzt: Vor die eigentliche Fassade wird eine Glashaut vorgebaut und im Zwischenraum wird kontrolliert Luft geführt, welche sich erwärmt und die Wärme an einen Speicher abgibt.

Solarthermie für Brauchwasser

Je nachdem, ob eine hohe solare Deckungsrate oder Wirtschaftlichkeit im Vordergrund stehen, werden unterschiedliche Dimensionierungen vorgenommen. Im Sommer ist meist keine zusätzliche Einrichtung notwendig, im Winter hingegen wird eine zusätzliche Wärmequelle benötigt, die entweder im Solarsystem (im Speicher) integriert ist oder aber durch eine Verbindung mit diesem hergestellt ist. Eine vierköpfige Familie benötigt für die Warmwasseraufbereitung 4–6 m² Kollektorenfläche. Ist auch eine Unterstützung der Heizung geplant, sollte man maximal 4 m² pro Person vorsehen. Als Faustregel für die Dimensionierung des Warmwasserspeichers gelten 80 Liter pro Person für Warmwasseraufbereitung und 60 Liter für die Heizungsunterstützung. Für Wohnungen und Duschräume sind es 35 Liter Wasserbedarf pro Tag und für Büros 5 Liter Wasser pro Person und Tag.



Funktionsschema solarthermische Anlage (Abb. 11)

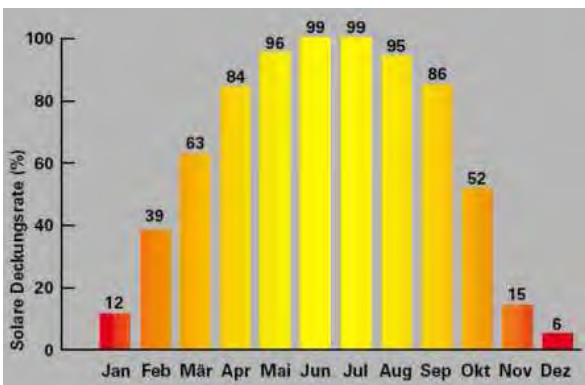


Diagramm Solare Deckungsrate für Brauchwasseraufbereitung (Abb. 12)

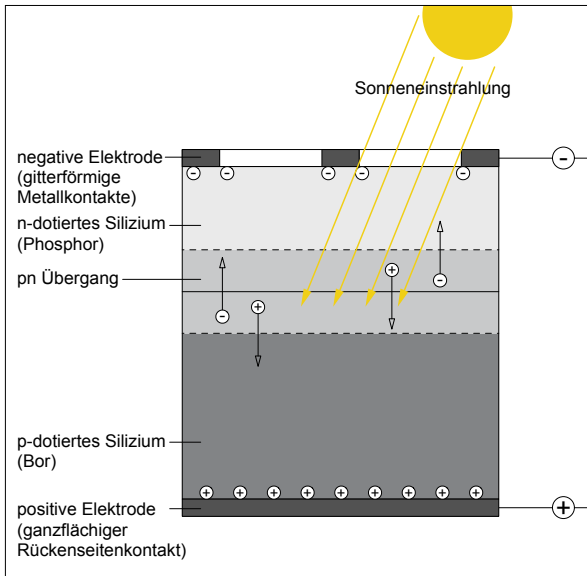
Mit einer richtig dimensionierten Anlage lassen sich 50 bis 70% der Heizkosten für Warmwasser pro Jahr einsparen. Von April bis September beträgt der solare Deckungsanteil über 75%, für die restliche Zeit des Jahres ist er wesentlich geringer.

Solarthermie für die Heizungsunterstützung

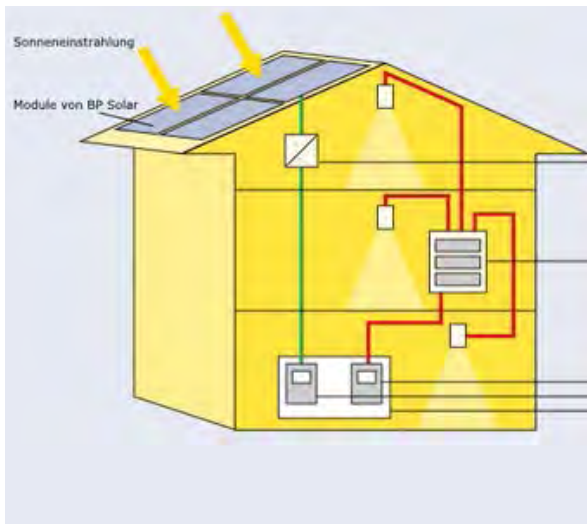
Die Nutzung von Solarenergie zur Heizungsunterstützung macht vor allem bei gut gedämmten Gebäuden Sinn. Für wenig gedämmte und wenig dämmbare Bauten sind Energiesparmassnahmen in der Regel die kostengünstigere Variante. Auch zur Unterstützung der Heizung werden die Sonnenkollektoren eingesetzt. Dazu sind leistungsfähige Speicher notwendig. Je nach Dämmstandard des Gebäudes dürften zwischen 10 bis 30% der Heizenergie solar abgedeckt werden können. Bei Niedrigenergiehäusern kann sich der Wert bis auf 50% erhöhen.

Fotovoltaik

Das Sonnenlicht in Form von kurzwelliger Strahlung wird auf den Fotovoltaikzellen direkt in Strom umgewandelt. Physikalische Grundlage ist der photovoltaische Effekt, dass Halbleitermaterialien das Sonnenlicht (die kurzwellige elektromagnetische Strahlung der Sonne) in elektrischen Strom umwandeln können. Der als Gleichstrom fließende Strom wird anschliessend von einem Wechselrichter in Wechselstrom umgewandelt und im Normalfall an das Netz abgegeben. Die lokale Speicherung des produzierten Stroms ist nur bedingt möglich, weshalb die meisten privaten Betreiber Strom ins öffentliche Netz einspeisen und selbst wieder Strom aus dem Netz beziehen.



Schematischer Querschnitt einer Solarzelle (Abb. 13)



Schema einer Fotovoltaikanlage (Abb. 14)

Mehrheitlich wird bis heute als Halbleitermaterial Silizium eingesetzt. Ausgangselemente und Rohmaterial zur Herstellung der Solarzellen sind kristalline Siliziumblöcke. Die Form der Blöcke beeinflusst die Form und das Erscheinungsbild der Silizium-Wafer (Rohzellen) und damit der Solarpaneele. Es werden einerseits quaderförmige Blöcke hergestellt, die für die polykristallinen Paneele verantwortlich sind, und es werden säulenförmige Rohlinge hergestellt, aus denen monokristalline Zellen geschnitten werden.

Arten von Solarzellen

Den Pluspol bildet eine vollflächige Metallplatte, die gleichzeitig als Boden des Moduls dient. Es folgen die beiden Siliziumschichten und schliesslich oben der Minuspol, der als Metallgitter angelegt ist, damit das Sonnenlicht eindringen kann. Einerseits lassen sich die Sammelschienen und andererseits die feinen, meist rechtwinklig dazu angeordneten Kontaktfinger der Minuspole erkennen. Mehrere identische Solarzellen werden zu Solarmodulen zusammengefasst. Ein zellenseitig strukturiertes Glas fängt reflektierendes Licht ein. Immer noch werden mehr als drei Viertel der Solarzellen aus kristallinem Silizium, dem nach Sauerstoff auf der Erde zweithäufigsten Element, hergestellt. In energieintensiven Prozessen muss das Material gereinigt werden, bevor es als Rohstoff für die Herstellung der Solarzellen zur Verfügung steht.

Polykristalline Zellen

Die polykristallinen Zellen (Abb. 15) werden aus blockförmigen Rohlingen gewonnen. Diese Blöcke schneidet man zunächst zu dünnen Scheiben und bringt sie in einem nächsten Schritt auf eine Metallplatte auf. Ihr Erscheinungsbild ist geprägt durch die lebhaft strukturierte der unterschiedlichen Kristalle in unterschiedlichen Tönungen.

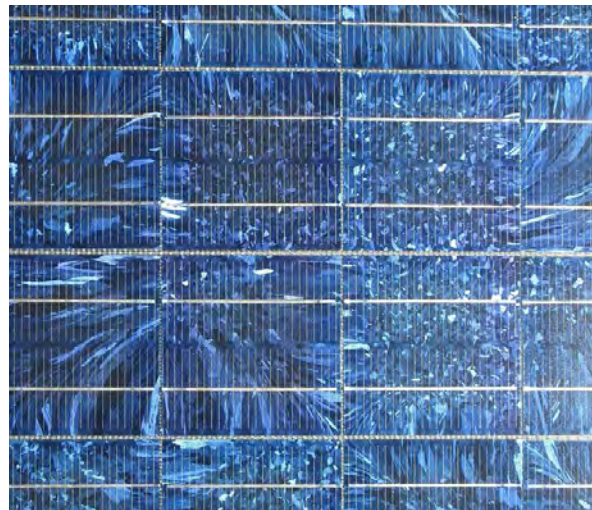
Monokristalline Zellen

Die Oberflächen monokristalliner Zellen (Abb. 16) sind wesentlich ruhiger. Weil die Zellen aus säulenförmigen Rohlingen gewonnen werden, sind sie zunächst rund; sie werden dann aus ökonomischen Gründen zu Rechtecken mit beschnittenen Ecken weiterverarbeitet. Die Addition solcher oktogonaler Zellen zu meist zweireihigen Modulen ergibt das stark zeichnende charakteristische Bild mit Rautenformen zwischen den Zellen. Monokristalline Zellen sind leistungsfähiger als polykristalline Zellen, sie benötigen dadurch weniger Fläche, was den leicht höheren Preis in etwa ausgleicht. Gemeinsam ist den beiden Halbleiterzellenarten auf Siliziumbasis die blaue, auf Ziegeldächern auffällige Farbe, die durch eine Antireflexschicht häufig aus Siliziumnitrid bedingt ist.

Dünnschichtzellen

Bei der Herstellung des jüngsten der drei Zellentypen, den Dünnschichtzellen (Abb. 17), werden photoaktive Halbleiter als dünne Schichten auf ein Trägermaterial aufgebracht. Die Schichtdicken betragen nur etwa 0.001 mm gegenüber 0.2 mm der Dickschichtzellen. Der geringe Material- und Energieverbrauch sowie der mögliche hohe Automatisierungsgrad bei der Herstellung bieten beträchtliche Einsparpotenziale gegenüber der kristallinen Siliziumtechnologie. Das Trägermaterial für Dünnschichtzellen kann theoretisch beliebig zugeschnitten werden. So können Massanfertigungen bezüglich der Form künftig bezahlbar werden. In der Art der Verschaltung der Zellen unterscheiden sich Dünnschichtzellen ebenfalls von den kristallinen Zellen. Während bei diesen Zelle für Zelle miteinander verlötet wird, sind Dünnschichtzellen intern verbunden. Dies geschieht durch spezielle Strukturierungsschritte zwischen den einzelnen Herstellungsschritten. Mit bloßem Auge sind die Verbindungen kaum zu erkennen, sodass die Module sehr homogen aussehen. Ruhige Oberflächen in rötlich braunen, schwarzen bis hin zu dunkelgrünen Tönen prägen die Oberflächen von Dünnschichtzellen. Die bis anhin gegenüber kristallinen Zellen geringeren Wirkungsgrade (die Zellen beanspruchen deshalb größere Flächen) wurden stark verbessert, sie liegen heute bereits wesentlich über 10%. Sowohl bezüglich der verwendeten Halbleitermaterialien als auch der Funktionsweise sind verschiedene neue Zellen in Entwicklung.

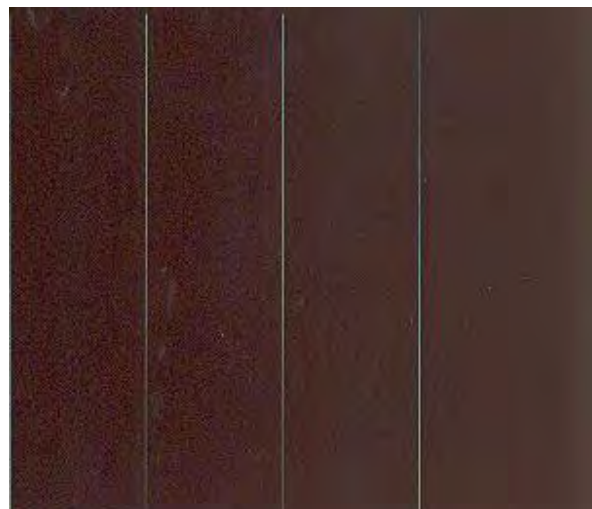
	Komplettes Modul Wirkungsgrad	Schichtdicke Wafer
Monokristallines Silizium	13–17%	0.15–0.3 mm
Polykristallines Silizium	12–15%	0.15–0.3 mm
Amorphes Silizium (Dünnschicht)	5–8%	0.0005–0.002 mm
Kupfer-Indium-Diselenid (Dünnschicht)	10–12%	0.008–0.015 mm



Polykristalline Zelle: Charakteristisches lebhaftes Bild mit unterschiedlichen Kristallen (Abb. 15)



Monokristalline Zelle mit typischen beschneiten Ecken (Abb. 16)



Dünnschichtzelle aus amorphem Silizium (Abb. 17)

	Hersteller A		Hersteller B	
Farbe	Wirkungsgrad	Verluste [%]	Wirkungsgrad	Verluste [%]
Schwarz	15.4	0	–	–
Blau	14.8	–4	14.5	0
Violett	14.2	–8	13.2	–9
Türkis	12.8	–17	–	–
Braun	–	–	12.5	–14
Dunkelgrau	12.5	–19	–	–
Gold	–	–	12	–17
Gelb	12.2	–21	–	–
Grün	–	–	11.8	–19
Hellgrau	11.8	–23	–	–
Silber	–	–	10.1	–30

Angaben zweier Zellenhersteller in «Photovoltaik, Gebäude liefern Strom, Ralf Haselhuhn, Bine Informationsdienst, Auflage 2005

Aus Sicht der Denkmalpflege ist dem monokristallinen schwarzen Modul der Vorzug zu geben, weil sich schwarze Module im Allgemeinen viel besser in die naturfarbenen Dachflächen integrieren lassen. Der höhere Preis für monokristalline Module (höherer Wirkungsgrad) kann durch kleinere Flächen partiell kompensiert werden.

Farben von Dünnschichtzellen

Dünnschichtmodule	Farbe	Wirkungsgrad
CIS-Module	schwarzgrau	8–10%
CD-Te-Module	schwarzgrün	6–8%
a-Si Module	schwarzbraun	4–7%

Solarmodule

Meist werden 36, 48 oder 72 Solarzellen zu Modulen verbunden, die zu einem bis vier Zellsträngen hintereinander geschaltet sind (Reihenschaltung). Glas oder eine transparente Folie schützen die Oberseite, und ebenso können Folie oder Glas als Unterlage eingesetzt werden. Entsprechend gibt es Doppelglas-, Glas-Folien- und Folienmodule. Die Preisentwicklung wird die Verbreitung der Solartechnik vorantreiben.

Solarelemente und graue Energie

Studien belegen, dass die zur Produktion von Solarmodulen respektive einer ganzen Anlage eingesetzte graue Energie in unseren Breiten nach ca. zwei bis fünf Jahren, je nach Modultyp, zurückgewonnen ist. Bei einer Lebensdauer von mindestens 30 Jahren produziert eine Fotovoltaikanlage in unseren Breiten das Vielfache an erneuerbarer Energie, wie zu ihrer Herstellung benötigt

wurde. Dieser Faktor, auch Erntefaktor genannt, hängt von verschiedenen Randbedingungen ab: von der eingesetzten Zellen-Technologie, vom Rahmenmaterial, von Ausrichtung und Standort der Anlage oder von der Dimensionierung. Mit der fortschreitenden Weiterentwicklung der Solartechnologie steigt auch der Erntefaktor weiter an. Schon heute ist die Ökobilanz von Solarstrom je nach Berechnungsmethode vier- bis achtmal besser als beim europäischen Strommix. Des Weiteren enthalten Siliziumzellen keine Giftstoffe. Recycling-Konzepte für Materialien der Solarmodule, wie Glas, Metalle oder die Siliziumzellen, sind entwickelt und erprobt.

Energetische Amortisationszeit von Solarelementen

Voltaik

Je höher der Wirkungsgrad einer Zelle, desto grösser ist auch der Graue Energieaufwand für ihre Herstellung. Für Zellen aus monokristallinem Silizium beträgt der Wirkungsgrad ca. 14.5–15.5% und die energetische Amortisationszeit beträgt vier bis sechs Jahre. Für Zellen aus polykristallinem Silizium mit einem Wirkungsgrad von 12–14% beträgt die energetische Amortisationszeit zwei bis fünf Jahre. Für Dünnschichtzellen aus amorphem Silizium mit einem Wirkungsgrad von weniger als 10% beträgt die Amortisationszeit 1.5 bis 3.5 Jahre.

Thermie

Thermische Kollektoren sind durchschnittlich nach weniger als einem halben Jahr energetisch amortisiert. Die Entwicklung der Solartechnik schreitet rasch voran, mit ihr steigt die Effizienz der Solarelemente, und es sinkt der Anteil an grauer Energie.

3.5 Systeme zur Gewinnung von Solarenergie

Flachkollektoren

Flachkollektoren bestehen im Wesentlichen aus einer auf die Sonne gerichteten Absorptionsfläche, einem Kupfer-, Stahl- oder Aluminiumblech, dem Absorber. Um eine möglichst hohe Absorption der Sonnenenergie zu erreichen, ist die der Sonne zugewandte Oberfläche des Absorbers mit einer speziellen Beschichtung, heute sehr oft auf Titanbasis (charakteristische blaue Färbung), versehen. Diese wirkt selektiv, damit sie die von aussen kommende kürzerwellige Sonnenenergie möglichst gut aufnimmt (Absorption) und die längerwellige Wärmeenergie des Absorbers nur schlecht abgibt (Emission). Der Absorber ist mit gut leitenden Metallrohren (z. B. Kupferrohren) verbunden. In ihnen zirkuliert ein Medium, meist ein Wasser-Glycolgemisch, welches die Wärme aufnimmt und über einen Wärmetauscher an einen Speicher abgibt. Die Absorberfläche ist mit einem Glas abgedeckt, welches dafür sorgt, dass möglichst wenig reflektierte Strahlen wieder emittieren. Auf der Rückseite ist der Absorber wärmegeämmt. Die gesamte Bauhöhe des durch einen Rahmen (Gehäuse) zusammengehaltenen Kollektors beträgt zwischen 10 und 15 cm.

Kollektorgrössen und Formate

Die auf dem Markt erhältlichen Kollektoren variieren von minimal ca. 1.5 bis maximal ca. 8 m². Die meisten Kollektoren weisen eine Grösse von zwischen 2 und 3 m² auf. Diese grossen Formate sind kostenbedingt, und sie dienen der Reduktion der Randverluste. Grundsätzlich sind auch in der Schweiz Kollektoren nach Mass erhältlich.

Kollektorfarbe und Glasoberfläche

Der Anstrich, heute meist eine Beschichtung, bestimmt zusammen mit dem Rohrsystem, dem Glas und dem Rahmen das Aussehen der Kollektoroberfläche. Moderne Beschichtungen haben meist eine bläulich schimmernde Farbe, die durch das Metall Titan geprägt ist (TiNoX, Titanitridoxid). Sie erreichen mit 91–96% Absorption ähnlich hohe Werte wie die ältere (schwarz schimmernde) Schwarzchrom-Beschichtung, jedoch zugleich deutlich niedrigere Emissionswerte, verlieren also weniger Wärme durch Abstrahlung.

Absorberbeschichtungen

Oberfläche	Absorptionsfaktor	Emissionsfaktor	Farbe
Automattlack	0.95	0.88	
Solarlack	0.95	0.88	
Galvanisierung			
Nickel-Schwarz	0.9–0.95	0.07–0.1	Schwarz
Chromschwarz	0.9–0.95	0.07–0.1	Schwarz
Ni-pigmentiertes Al ₂ O ₃	0.9–0.92	0.1–0.18	Schwarz
PVD Physical vapour deposition			
TiNox	0.95	ca. 0.05	Blau
Sputter Kathodenzerstäubungsanlagen			
Cermets	0.95	0.05	Schwarzbläulich
Ni-NiO	0.96		

Selektive Absorberbeschichtungen besitzen grosse Absorptionskoeffizienten im Bereich der vergleichsweise kurzwelligen Solarstrahlung (sichtbares Licht und nahe, kurzwellige Infrarote) und kleine Emissionskoeffizienten im Bereich der fernen, längerwelligen Infrarote. Hingegen sind die Unterschiede zwischen Produkten mit galvanischen Beschichtungen auf der Basis von Schwarzchrom und den verbreiteten nach dem PVD-Verfahren beschichteten Titanverbindungen wieder kleiner geworden.

Das Glas hat insbesondere durch den Spiegelungsgrad einen hohen Einfluss auf die Wirkung der Kollektoren. Solarglas ist ein spezielles Glas für die Verwendung in thermischen Solarkollektoren. Es soll möglichst viel energiereiche Strahlung in den Kollektor einfallen lassen und die vom Absorber emittierte oder reflektierte Wärmestrahlung wieder zurück ins Kollektorinnere reflektieren. Zur Erhöhung des Transmissionsgrads des einfallenden Sonnenlichts wird eisenarmes Glas eingesetzt. Zur Reduktion der Reflexion von Strahlen nach aussen wird die innere Oberfläche strukturiert. Zur Verringerung der aussenseitigen Reflexion wird das Glas mit Antireflexbeschichtungen versehen.

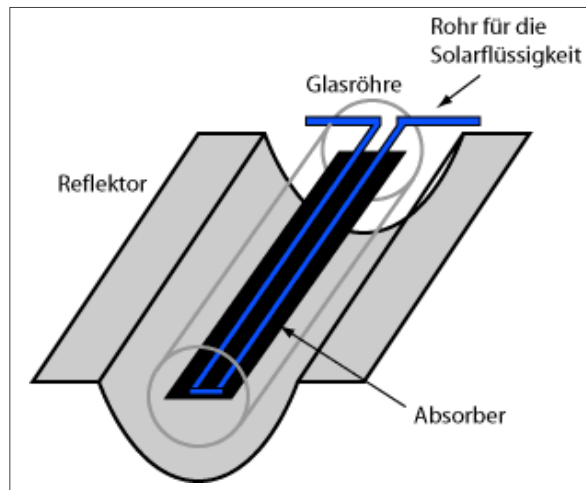
Das Problem der spiegelnden Kollektoren hat sich in letzter Zeit aus diesen Gründen wesentlich entschärft.

Mit anderen Dachelementen kombinierbare Flachkollektoren

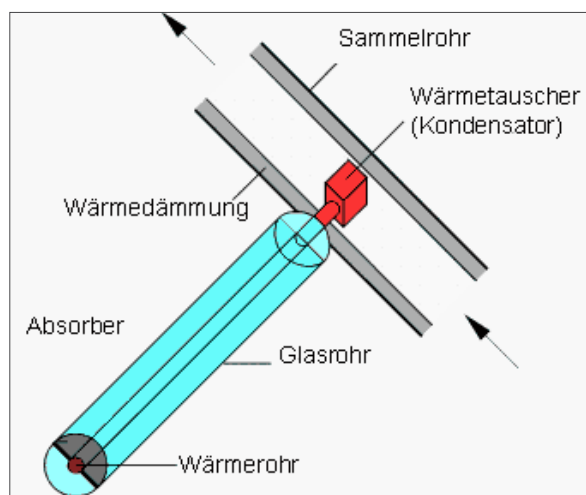
Die Gestaltung von Solarelementen auf Steildächern wird besonders schwierig, wenn andere Elemente wie Dachflächenfenster, Voltaikmodule oder Kamine auf derselben Dachfläche bestehen oder angeordnet werden müssen. Aus diesem Grund haben mehrere Hersteller von Dachflächenfenstern ihre Systeme um Solarkollektoren und Voltaikmodule erweitert, sodass die Gruppierung von Dachflächenfenstern und Kollektoren oder Voltaikmodulen zu einfachen Rechteckfeldern möglich geworden sind. Das Einbinden von Dachflächenfenstern in ein Solarfeld bringt in jedem Fall eine Beruhigung der Dachfläche. In den letzten Jahren sind auch solare Hybride auf den Markt gekommen, Elemente, welche sowohl Wärme wie auch Strom erzeugen können. Einzelne Anbieter haben auch Systeme geschaffen, welche die Gruppierung von Voltaikmodulen mit thermischen Kollektoren ermöglichen. So gibt es Thermokollektoren, die sich in Voltaiklaminaten integrieren lassen.

Vakuurröhrenkollektoren

Vakuurröhrenkollektoren sind röhrenförmige Sonnenkollektoren, in denen ein Vakuum gegen Wärmeverluste nach aussen schützt. Wir unterscheiden direkt durchströmte Kollektoren, bei denen das Wärmeträgermedium durch die Röhre fließt, von Kollektoren, die nach dem sogenannten Heatpipe-Prinzip funktionieren. Ein Trägermedium (Methanol) verdampft unter dem Absorber und gibt die Wärme über einen Wärmetauscher an das Solarmedium ab. Die einfache und ältere Form des direkt durchströmten Kollektors besitzt einen beschichteten Kupferblechstreifen als Absorber, der mit dem Trägermedium (entweder U-Rohr oder Rohr-in-Rohr) verbunden ist; zwischen Absorber und Glasrohr herrscht ein Vakuum. Bei neueren Bauformen, wie dem Vakuurröhrenkollektor CPC (Compound Parabolic Concentrator), hingegen ist der Absorber als Beschichtung auf der Oberfläche der inneren von zwei Glasröhren, zwischen denen – wie bei einer Thermosflasche – ein Vakuum herrscht, aufgetragen (Sydneykollektor). Vor allem im Winter bringen Vakuummollektoren CPC aufgrund ihrer sehr guten Dämmung wesentlich höhere Erträge als Flachkollektoren. Allerdings wird die Schadensanfälligkeit von Vakuurröhren immer wieder beklagt.



Vakuurröhrenkollektor direkt durchströmt (Abb. 18)



Vakuurröhrenkollektor Prinzip «Heatpipe» (Abb. 19)

Eignung am Baudenkmal

Röhrenkollektoren zeigen eine sehr markante, plastisch betonte Oberfläche, welche sich diametral von der Flächigkeit der Dachoberflächen unterscheidet. Sie fallen daher stärker auf als Flachkollektoren. Sie eignen sich nicht für den Einsatz an Steildächern von Baudenkmalern oder an Dächern in schützenswerten Ortsbildern. Geht es hingegen um Alternativstandorte in der Nahumgebung, können die Röhrenkollektoren durchaus eine Möglichkeit sein, weil sie effizienter sind als Flachkollektoren und daher für dieselbe Leistung eine kleinere Fläche benötigen. Zudem sind sie flexibler bezüglich des Aufstellungswinkels und können unter Umständen auch flach gelegt werden (gilt nicht für Röhren mit Heatpipe-Prinzip).

Thermische Solarziegel und Unterdachkollektoren

Architektonische und ortsbildschützende Argumente motivieren zum Bau von thermischen Solarziegeln und Unterdachkollektoren, die sich besser in die Dachflächen integrieren lassen. Aus technischer Sicht sind sie einfache Absorber, also ohne Glasabdeckung und Dämmung, und daher weniger leistungsfähig. Die gewonnene Wärme erreicht die für die Brauchwassererwärmung notwendige Temperatur im Jahresverlauf viel seltener als Flach- und Röhrenkollektoren. Daher werden solche Systeme v. a. auch für die Heizungsunterstützung eingesetzt. Aus denkmalpflegerischer Sicht macht es jedoch wenig Sinn, bei Baudenkmalern Heizungsenergie auf dem Dach zu gewinnen, da es meist Alternativen dafür gibt (Erdsonden, Luft-Wasser-Wärmepumpen usw.). Auf dem Markt sind nur wenige Solarziegel aus den Materialien Ton, Blech, Beton und Glas, und ein einziges uns bekanntes Produkt funktioniert als Unterdachkollektor.

Unterdachkollektoren

In der Schweiz existiert ein einziges System, welches als Hybridsystem mit Voltaikerelementen auslegbar ist. Hier wird die konventionelle Ziegellattung ersetzt durch Metallquerschnitte (gesteckte Aluminiumprofile), in welchen die Flüssigkeit zirkuliert, die die Wärme in einen Speicher transportiert. Absorber ist der schwarze Ziegel selbst. Das System ist (Angabe des Herstellers) nur wirtschaftlich, wenn es mit einer Wärmepumpe betrieben wird, wenn es also auch zur Heizungsunterstützung genutzt wird. Weil diese Unterdachkollektoren unter Dach montiert werden und die Wirkung der Bauten nicht beeinträchtigen, wären sie für den Einsatz im Bereich der Ortsbilder sehr dienlich.

Thermische Solardachziegel

Thermische Solardachziegel bestehen entweder aus auf die Ziegel aufgelegten Metallauflagen, oder sie sind direkt aus Metall gefertigt und ersetzen die Ziegel. Während dem Systeme, die Ziegel ersetzen, grundsätzlich in allen Ziegelformen hergestellt werden könnten, sind die Metallauflagen eher für grossformatige Ziegel geeignet. Die in den Ziegeln oder in ziegelartigen speziellen Absorbern (z. B. Ziegel aus Baubronze) erzeugte Wärme wird durch Wärmeleitung an ein Rohrsystem mit geeignetem Medium abgegeben. Zudem wird die warme Luft genutzt, die sich zwischen Ziegeln und Unterdach staut.

Der grossflächige Ersatz von Ziegeln durch Imitate ist aber aus denkmalpflegerischer und aus gestalterischer Sicht eher problematisch. In einigen Fällen werden Blechziegel einfach in der Ziegelfarbe gestrichen, in anderen Fällen werden sie gar mit einer Patina künstlich gealtert (Abb. 20). Hier muss die Frage nach der architektonischen Redlichkeit gestellt werden.

In der Schweiz wurden bisher nur einzelne Anlagen gebaut, mehrere Systeme sind soeben erst auf den Markt gekommen oder gar erst angekündigt. Als Beispiel zeigen wir untenstehend einen Dachziegel aus Baubronze. Sollen Solarelemente als Ziegel getarnt werden, oder sollten sie doch nicht eher als gut gestaltete Solarelemente erkennbar bleiben?



Metallische Solardachziegel (Abb. 20)

Schlüsse

Für die Warmwassererzeugung existieren aktuell keine wirklichen Alternativen zu Flach- und Röhrenkollektoren. Unterdachkollektoren und Solardachziegel erreichen in unseren Breitengraden nicht die notwendigen Temperaturen, um Warmwasser für den Haushalt zu erzeugen. Werden diese Systeme jedoch gleichzeitig zur Heizungsunterstützung und zur Unterstützung der Warmwassererwärmung eingesetzt, so können sie wirtschaftlich sein. Sie eignen sich also eher zur Unterstützung oder gar zum monovalenten Betrieb von Wärmepumpenheizungen. Wärmepumpenheizungen sind jedoch nicht auf Dachflächen angewiesen; an Denkmälern sind wohl Sole-Wasser- oder Luft-Wasser-Wärmepumpen eher die adäquate Wärmezeugung, welche sowohl Substanz wie auch die Erscheinung weitgehend schonen.

Voltaische Solardachziegel und -schiefer

Solardachziegel könnten für historische Ziegeldächer und Dachlandschaften echte Alternativen zu den konventionellen Voltaikmodulen darstellen, sofern die Dächer nicht selbst von historischer Bedeutung sind. Der wohl grösste und bedeutendste Vorteil von Solardachziegeln gegenüber konventionellen Panels liegt in der gestalterischen Möglichkeit der optischen Integration in die ziegelgedeckte Dachfläche. Ziegelförmige Solarelemente beeinflussen das Erscheinungsbild des Hauses und damit auch das Ortsbild wesentlich weniger einschneidend als konventionelle Anlagen. Als weiterer Vorteil wird etwa die gegenüber konventionellen Panels erhöhte Windbeständigkeit genannt. Der grosse Nachteil hingegen ist die bis heute deutlich geringere Leistung bei hohem Preis, für welchen nicht zuletzt die aufwendige und damit störungsanfällige Verkabelung verantwortlich ist. Ein weiterer Nachteil ist die Tatsache, dass die Systeme an gewisse Ziegeltypen gebunden sind, was ihre Einsatzmöglichkeiten stark reduziert.

System für Flachziegel

Kombinierte Systeme für Flachziegel produzieren gleichzeitig warmes Wasser und elektrische Energie (vgl. Unterdachkollektoren). In eine Ziegelvertiefung ist ein Solarmodul eingelassen. Die Module sind im Gegensatz zu den meisten Solarpaneelen parallel geschaltet (der Strom addiert sich bei gleichbleibender Spannung). Das Einbetten des Moduls in den heiss werdenden Ziegel wird als problematisch beurteilt, weil die Stromproduktion mit steigender Modultemperatur abnimmt. Die Nennleistung beträgt 6 Wp/Modul oder 12 Wp/m². Die Ziegel werden in den üblichen Ziegelfarben erhältlich sein, später sollen auch die Module in mehreren Farben zur Verfügung stehen. Das Modul ist an einen modernen Flachziegel als Träger gebunden, eine Tatsache, welche die Anwendbarkeit von Beginn an stark einschränkt.

Weitere Systeme, die im benachbarten Ausland hergestellt werden, zeigen zwar teilweise höhere Flexibilität, doch sind auch diese an gewisse Produkte, Formate und Formen gebunden. Für die bei historischen Bauten Berns und Zürichs verbreiteten Biberschwanzziegeldächer konnte nur in Ungarn ein Produkt ausfindig gemacht werden. Interessant ist immerhin die Idee, den Ziegel mit einer Folie zu überziehen, ihm damit die neue Funktion aufzutragen und ihn trotzdem sichtbar zu belassen. Interessant tönt auch die Ankündigung, dass sämtliche Ziegel künftig mit Solarfolien bestückt werden können und damit gar die Folienfarbe variiert werden kann. Ein weiterer voltaischer Biberschwanzziegel ist in Deutschland in Entwicklung.



Solardachziegelsystem mit ziegelgrossen Voltaikerelementen (Abb. 21)

Integration, Imitation und Tarnung

Das Ziel von Solardachziegeln ist eine Integration der Solarelemente in die Dachhaut. Die Elemente sollen so eingesetzt werden, dass sie das Erscheinungsbild des Dachs, des Gebäudes oder der Dachlandschaft möglichst wenig stören.

Integration meint aber nicht Imitation und Tarnung. Wie schon für thermische Solardachziegel festgestellt wurde, sind zu wörtliche Imitationen, zu direkte formale und farbliche Angleichung der Solarelemente auf die Tonziegel nicht fruchtbar. Aus denkmalpflegerischer wie aus gestalterischer Sicht sollten neue technische Funktionen klar zu unterscheiden sein von der historischen baulichen Substanz.

Lamine

Lamine sind für gewisse Dachtypen von Interesse, weil sie sich besser als gerahmte Module in die Dachfläche integrieren lassen. Folgende Verlege- und Montagekonzepte gelangen für Lamine zur Anwendung.

Konzept der funktional getrennten Schichten

Das Konzept der Auflage eines kleinformatigen Panels, welches die Textur und Struktur der bestehenden Dachflächen respektiert, ist von einer gewissen Selbstverständlichkeit. Für die zusätzliche Nutzung wird eine zusätzliche Schicht aufgelegt. Dabei wird keine Substanz zerstört und die Wirkung des Baudenkmals verhältnismässig wenig beeinträchtigt, weil die Dachfläche sichtbar bleibt und keine auffällige Grossform als Fremddorm auf der Dachfläche entsteht. Abb. 22 zeigt eine Ausführung, welche einen speziellen Auflagerziegel einsetzt. Wichtig ist, dass die Module genügend hinterlüftet werden, weil mit ansteigender Temperatur die Modulleistung abnimmt.

Örtlich neue Nutz- und Schutzschicht

Es existieren Produkte, deren Abmessungen das Vielfache von Ziegelsprung und Ziegelbreite darstellen (Abb. 23). Hier wird das Panel (ca. 180 cm x 30 cm) jedoch anstelle der Ziegel eingesetzt. Dieses Konzept beruht auf der lokalen Auswechslung des Materials. Schonungsvoll werden einzelne Ziegel als Teil der Gebäudehülle durch die multifunktionalen Solarpaneele ersetzt, die zugleich Dachziegel und Solarpaneele sind. Ziegel und Module müssen hier kompatibel sein, eine Anforderung, die bis heute auf dem Solarmarkt noch nicht erfüllt werden kann.

Grossflächige neue Nutz- und Schutzschicht

Einzelne Systeme fassen die neue Funktion der Dachhaut als Nutz- und Schutzschicht in einer Schicht zusammen (Abb. 24). Die rahmenlosen Lamine sind Wetter- und Wasserhaut und zugleich solare Nutzschicht. Sie werden wie herkömmliche Ziegel oder Schiefer überlappend verlegt. Obwohl ihre Formate wesentlich grösser sind als diejenigen eines Ziegels oder eines Schiefers, erzeugen diese Panele eine Dachfläche, deren Textur sich an diejenige alter Dächer anlehnt. Solche Systeme eignen sich zur Umsetzung von Materialersatzkonzepten. Ein Dachschild oder ein geometrisch klar abtrennbarer Teilschild wird damit eingedeckt. Probleme können sich an den Stirnseiten ergeben. Die Ort details der beiden Dachstirne müssen identisch bleiben.



Lamine aus aufgelegten Dünnschichtmodulen (Abb. 22)



Dachintegriertes Voltaiksystem in Kombination mit Faserzementschiefern (Abb. 23)



Solarschindeldach (Abb. 24)

4. Planung von Solaranlagen an Baudenkmalern

4.1 Aufstellungsorte von Solarelementen

Wie weiter vorne dargelegt, sind Steildächer Bestandteil des Denkmals, seiner Substanz ebenso wie seiner Gestalt. So können Solarelemente nicht ohne Weiteres auf ein Hauptdach gesetzt werden. Im Rahmen der Anlageplanung sollen grundsätzlich folgende alternative Aufstellungsorte in die Betrachtung mit einbezogen werden:

Dächer und Fassaden von Nebengebäuden

An Scheunen, Garagen, Gartenhäusern und Velourterständen finden sich oft gut geeignete unauffällige Aufstellungsorte für Solarelemente.

Elemente der Umgebungsgestaltung

Elemente der Umgebung, wie Stützmauern und Zäune, können unter Umständen als Kollektorenträger infrage kommen. Am ehesten eignen sich diese Elemente zur Aufnahme thermischer Kollektoren für die Heizungsunterstützung.

Aufstellung im freien Gelände

Bodenkollektoren sind grundsätzlich unerwünscht, da sie innerhalb der Bauzonen das Bauland ineffizient nutzen, und ausserhalb der Bauzonen bedecken sie in vielerlei Hinsicht wertvolle Bodenfläche. In Einzelfällen, zur Entlastung von Baudenkmalern, können aber aufgeständerte Kollektoren, die kaum Vegetation verdecken, eine praktikable Lösung darstellen (Thema Energiebaum). Für eine solche Montage sprechen die gute Zugänglichkeit für die Wartung und die Reinigung der Panele sowie für die saisonale Korrektur ihrer Ausrichtung. Gegen die bodennahe Montage sprechen Sicherheitsüberlegungen (Vandalismus, Diebstahl, Verletzungsgefahr), und die Verschattungsfreiheit ist Bedingung.

Solarschuppen

Unter Umständen ist auch der Neubau eines kleinen (evtl. bewilligungsfreien Geräteschuppens) denkbar, der mit Flach- oder gar Hochleistungs-Vakuumröhrenkollektoren ausgestattet wird. Diese Kollektoren, die kaum in Steildächer integrierbar sind, benötigen für einen Vierpersonenhaushalt ca. 3–4 m² Kollektorenfläche für die Warmwasserversorgung und gut doppelt soviel für eine sinnvolle Heizungsunterstützung. Einige von ihnen sind von 0–90° aufstellbar, so dass unter Umständen die ganze Dachfläche und eine Fassade als Kollektorenfläche dienen können.

Am Baudenkmal, an untergeordnetem Bauteil

Untergeordnete Bauteile wie Anbauten, die Hocheinfahrt eines Bauernhauses oder das Dach einer Schleppgarbe eignen sich – bei richtiger Orientierung – im allgemeinen besser als die Hauptdachflächen. In einigen Kantonen ergeben sich steuerliche Konflikte, weil Steuererleichterungen nur gewährt werden, wenn die Solaranlagen am Hauptgebäude montiert werden.



Solarschuppen in Einholz, Landkreis Ebersberg Deutschland (Abb. 26)



Geständerte Kollektoren (Abb. 27)



Kollektorenfeld für Warmwasseraufbereitung am untergeordneten Bauteil Hocheinfahrt, Bauerhaus in Hub, Gemeinde Krauchthal (Abb. 28)

4.2 Aufstellungshinweise für Solarelemente aus technischer und energetischer Sicht

Solkollektoren

Kollektoren
 Optimaler Neigungswinkel des Kollektorfelds:
 Für die Warmwassererzeugung: 30–45°
 Für Warmwasser und Raumheizung: 45–53°

Für Brauchwasser, welches von Frühjahr bis Herbst effizient erwärmt werden kann, genügt eine Neigung von 30–45°. Für Kollektoren zur Heizungsunterstützung, die also vor allem in der Übergangszeit und im Winter Wärmeenergie liefern sollen, sind steilere Aufstellungswinkel sinnvoll.

Die Abweichung von der Südorientierung (Azimutwinkel) sollte im Bereich von +/- 45° liegen, die Kollektoren sollten also Südost- bis Südwestorientierung aufweisen. Nach Westen oder nach Osten orientierte Kollektoren sind unter Umständen noch möglich.

Wichtig ist, dass die Kollektorfläche nicht durch Kamine, Bäume und Nachbargebäude beschattet wird. Einbusen durch ungünstige Aufstellung lassen sich durch eine grössere Kollektorfläche zwar kompensieren – allerdings verschlechtert sich dadurch die Wirtschaftlichkeit. Die Distanz vom Kollektor zum Verbraucher und vor allem das Verhältnis zwischen Kollektorfläche und Distanz spielen ebenfalls eine gewisse Rolle: Je kleiner die Kollektorenfläche, desto geringer sollte die Distanz zum Verbraucher sein. Bei 30–40 m² Kollektorenfläche darf die Entfernung nicht grösser als etwa 20 m sein. Eine firstnahe Platzierung der Kollektoren wird zur Vermeidung einer Verschattung und einer Schneebedeckung angestrebt. Im häufig steileren Firstbereich wird der Schnee zuerst abrutschen. Bei geknickten Dachflächen sind die Abrutschmöglichkeiten im steileren Bereich besser. Werden Kollektoren im Traufbereich montiert, muss auf die Schneebabrutschmöglichkeit geachtet werden. Existieren keine Hindernisse und ist die Neigung auf der ganzen Dachfläche dieselbe, spielt die Lage der Kollektoren allerdings kaum eine Rolle. Grosse, zusammenhängende Kollektorenflächen sind besser als kleinere, weil die Ränder jeweils gekühlt werden: je weniger Randanteil, desto effizienter ist die Kollektorenfläche. Formate, Anordnung und Aufreihung der Panele aus technischer Sicht:

Solkollektoren weisen heute meist Dimensionen in der Grössenordnung von ca. 2–3 m² auf. Viele Produkte sind als Quer- und als Hochformate lieferbar, beide lassen sich sowohl in der Horizontalen wie auch in der Vertikalen addieren.

Voltaikmodule

Für Fotovoltaikanlagen ist die Distanz der Elemente vom Erzeuger zum Nutzer weniger von Bedeutung. Der erzeugte Strom wird im Normalfall ins öffentliche Netz eingespeist. Allerdings gibt es auch auf dem öffentlichen Netz Leitungsverluste.

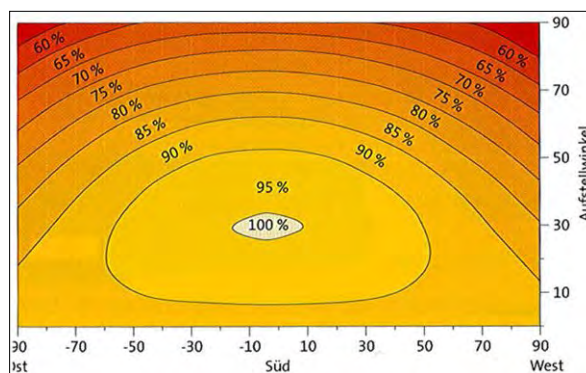
Verschattung

Selbst kleinste Schatten oder Verschmutzungen wirken sich negativ auf die Leistung der Module aus. Aber nicht nur die eigentliche Verschattung, sondern die «Helligkeit» spielt eine Rolle: Da bei uns ein grosser Teil der Globalstrahlung aus diffuser Strahlung besteht, erhält die Solaranlage umso mehr Licht, je höher der Solargenerator (Summe der Module) über dem Boden installiert wird.

Ausrichtung zur Sonne

Voltaikanlagen sollten nach Südosten bis Süd-Südwesten ausgerichtet sein. Bei im Freien aufgestellten Anlagen sind Unfallgefahren und Vandalenakte zu berücksichtigen.

Für Fotovoltaikmodule soll der Anstellwinkel nicht zu steil, nicht zu gross sein: Unverschattete, horizontal montierte Panele liefern noch 90% des Optimums. Allerdings stellt sich bei flacher Aufstellung das Problem der Verschmutzung, die Module sollten mindestens eine Neigung von 10° aufweisen, damit sie durch den Regen genügend gereinigt werden können.



Sonneneinstrahlung in Abhängigkeit von Ausrichtung und Neigung (Abb. 25)

In der Praxis zeichnet sich immer deutlicher ab, dass Solarelemente periodisch gereinigt werden müssen. Die auf dem Markt angebotenen Reinigungsprodukte sind nicht alle schadstofffrei und sie tragen zur Gewässerverschmutzung bei.

4.3 Solaranlagen auf Steildächern

Montage auf dem Hauptdach

Soweit sinnvoll und notwendig, wird im Folgenden zwischen Lösungen für Thermiekollektoren und Lösungen für Fotovoltaikmodule differenziert. Dachgrösse, Dachform, Dachhaut und nicht zuletzt auf dem Dach platzierte Bauteile wie Kamine, Flächenfenster, Lukarnen oder Quergiebel beeinflussen die zu wählende Lösung ebenso wie die Beschaffenheit der Solarelemente selbst.

Indachmontage/Aufdachmontage

Im Grundsatz existieren zwei Konzepte zur Übertragung der neuen Funktion der Energiegewinnung auf das Dach.

1. Die Dachhaut, bisher Schutzhülle, wird teilweise ersetzt durch ein neues bifunktionales Element, welches sowohl Schutzhülle als auch Energiegewinnungsfläche ist.
2. Der Schutzhülle, dem bestehenden Dach also, wird stellenweise eine zweite Schicht aufgelegt, welche die Funktion der Energiegewinnung ausübt.

Diese beiden Konzepte entsprechen der Indach- und der Aufdachmontage von Solarelementen.

Für die Substanzerhaltung ist letzteres Konzept zweifellos vorteilhafter. Gemäss den denkmalpflegerischen Grundsätzen der Addition und der Reversibilität bleibt die Schutzhülle bis auf einige Fixationsstellen und Rohrdurchführungen unberührt, und das neue Element kann jederzeit wieder entfernt werden. Die Erscheinungsform, die Gestalt des Denkmals wird in der Regel allerdings wesentlich stärker beeinträchtigt als bei der Indachmontage.



Indachmontage, Band mit Kollektoren und Dachflächenfestern, Gebäude an der Mühlestrasse in Münsingen (Abb. 29)

Thermiefelder

Thermiekollektoren profitieren davon, direkt auf das Dach gelegt oder gar in dieses eingebaut zu werden, weil die Wärmeverluste so verringert werden können. Die grosse Bauhöhe der Kollektoren kann durch den Einbau optisch verringert werden.

Thermiekollektoren sind daher in der Regel Indach zu montieren. Normalerweise wird dabei der Kollektor auf die Ziegellattung oder direkt auf dem Sparren befestigt. Ist ein Unterdach vorhanden, wird er oft auf die Konterlatte gesetzt, so dass seine fertige Höhe nochmals reduziert werden kann. Indachmontagen sind bei Dächern ab 25–30° möglich, bei schwächeren Neigungen können die Randanschlüsse undicht werden.

In Einzelfällen können Kollektoren geringer Bauhöhe auch direkt auf die Dachoberfläche montiert werden, wenn der Dachbelag dies erlaubt und wenn die Kollektorrahmen entsprechend gut gestaltet und satt an die Dachoberfläche angeschlossen werden können. Die Bauhöhe soll im Bereich von maximal ca. 10–15 cm liegen, und die Aussenseiten der Kollektoren müssen ein einheitliches ruhiges Bild erzeugen. Sämtliche Verbindungsleitungen und Anschlüsse sind nicht sichtbar zu führen.



Thermische Kollektoren, Aufdachmontage, Gebäude an der Wangentalstrasse in Niederwangen (Abb. 30)

Voltaikfelder

Voltaikmodule müssen belüftet sein, weil sie bei Erwärmung an Leistung verlieren. Bei Indachmontage muss also eine funktionierende Hinterlüftung vorhanden sein, und bei Aufdachmontage müssen die Voltaikmodule aufgeständert werden, weil sie sich sonst zu stark erwärmen. Eine Aufständigung, eine Montage in gewissem Abstand zur Dachoberfläche, ist aber aus gestalterischen und denkmalpflegerischen Gründen an Baudenkmalern selten (z. B. Industriebauten) und in schützenswerten Ortsbildern nicht möglich. Daher ist für Voltaikanlagen in der Regel die Indachmontage mit Unterlüftung zu wählen.

Lage von Kollektorenfeldern

Die Lage der Kollektorenfelder ist im Sinne des Ortsbildes entscheidend. Es geht darum, den unauffälligsten Ort für die Kollektoren zu wählen und gleichzeitig das Kollektorenfeld möglichst unauffällig und zurückhaltend in die Dachfläche zu integrieren.

Regeln zur Lage von kleineren Solarfeldern in der Dachfläche

- Montage im Traufbereich
- Abstand zu den Dachrändern einhalten
- Meiden der Mitte
- Gestalterische Zusammenhänge zur Fassade beachten

Montage im Traufbereich

Der obere Dachrandbereich ist im Allgemeinen von weither einsehbar und aus diesem Grund wenn möglich zu meiden. Die Kollektoren sollten, wenn immer möglich (Verschattung), im Traufbereich angeordnet werden. Aus solartechnischer Sicht wird der obere Dachbereich gesucht, weil hier der Schnee am ehesten wegschmilzt oder abrutscht. Ansonsten ist die Ausbeute im Firstbereich dieselbe wie an der Traufe, falls beide Bereiche verschattungsfrei sind.

Dachaufbauten wie Zwerchgiebel, Lukarnen und Schleppgauben können die Montage im Traufbereich verhindern. In solchen Fällen kann – je nach Exponiertheit und Bedeutung des Objekts – die Firstlage gewählt werden.

Dachkonturen, Abstand zu den Dachrändern

Solaranlagen müssen innerhalb der Dachbegrenzungslinien liegen, und sie sollen stets die vorhandene Dachneigung übernehmen. Die Dachfläche als Gesamtform und die Dachbegrenzungslinien (Horizontlinien) müssen durchgängig lesbar bleiben, und letztere dürfen auch optisch nicht berührt werden. Der Abstand zum Dachrand sollte unten zwei bis vier Ziegelreihen betragen, und seitlich sollten die Kollektoren nicht in den Vordachbereich vordringen (Satteldach, Teilwalmdach) beziehungsweise mindestens drei bis fünf Ziegelbreiten vom Grat wegbleiben (Walmdach).

Im Firstbereich kann der Kollektor direkt an die Firstlösung anschliessen (Firstziegel, Firstblech).

Das Meiden der Mitte

Die unauffällige Platzierung der Fläche innerhalb des ausgewählten Dachschilts ist eine Gestaltungsfrage. Aus gestalterischer Sicht entspricht die Problematik derjenigen von Figur und Grund: Wie ordne ich die Figur (Kollektoren) auf dem Grund (Dachfläche) an, damit sie möglichst unauffällig ist? Die Figur muss sowohl in der Vertikalen wie auch in der Horizontalen die Mitte meiden.

Im Normalfall – wird nicht der Grossteil der Dachlänge für die Kollektoren benötigt – soll die Mitte gemieden werden. Das Kollektorfeld soll in diejenige Richtung verschoben werden, die entweder weniger gut einsehbar ist (Bauten an der Strasse) oder die benachbarte wertvolle Teile des Gebäudes weniger beeinträchtigt. Der Warmwasserversorgung dienende Kollektoren sollten vor allem vom Mai bis September optimale Leistungen erbringen, sie sind also nicht zu steil anzuordnen. Bei mehrteiligen Dachflächen eignen sich demnach die schwächer geeigneten unteren Flächen (Aufschieblinge). Der Dachknick eignet sich als obere Begrenzung. Wenn möglich, sollte aber die Oberkante des Felds leicht unterhalb des Knicks verlaufen, damit dieser als solcher lesbar bleibt.

Gestalterische Bezüge zur Fassade

Gerade bei grösseren Wohnanlagen können auch grössere Kollektorenfelder nötig werden. Das Dach erfährt in Abb. 31 eine Rhythmisierung, die sich auf den Rhythmus der Gartenfront bezieht.



Indach-Kollektoren für Warmwasseraufbereitung der MFH Wohnbaugenossenschaft Bavariabach, St. Gallen (Abb. 31)

Formen von Kollektorenfeldern

Die Formen der Kollektoren sollen folgenden Grundsätzen folgen:

- Zusammenfassen der Kollektoren in einem rechteckförmigen Feld
- Liegende Rechteckfelder
- Lineare Akzentuierung der Rechteckfelder
- Liegende Kollektorenformate

Rechteckförmige Kollektorenfelder

Die Berücksichtigung der Geometrie der Dachbegrenzungen (Trauf- und Ortlinie) und derjenigen der Oberflächentextur verstärken die integrative Wirkung. Die beiden Parallelen Traufe und First sind in der Regel die «starken» ordnungsgebenden Linien. Traufe und Ort projizieren den orthogonalen Raster des Gebäudes auf die Dachfläche. Die Gestaltung der Felder als einfache Rechtecke drängt sich daher auf, da sich schlichte Rechteckformen am Besten in den Raster und damit in die Dachfläche integrieren.

Zusammenfassen in einem Feld

Die Solarelemente sollten in einem Feld zusammengefasst werden. Dies trägt zur Beruhigung der Dachfläche bei und verringert die Randverluste.

Lineare Akzentuierung der Rechteckfelder

Mit wenigen Ausnahmen (Klosterziegel) betonen unsere Ziegel- und Schieferdächer – infolge des Verlegeprinzips der Überlappung – die Horizontale (eine Parallelschar). Daher integrieren sich liegende rechteckförmige Kollektorenfelder besser in die Dachflächen. Liegende rechteckförmige Bänder, zusammengesetzt aus einer Reihe von identischen, wiederum liegenden rechteckförmigen Kollektoren, wirken linear, das Flächenhafte wird bei gleicher effektiver Fläche zurückgenommen. Aus energetischer Sicht bedeutet dies zwar gewisse Verluste. Die Anlage benötigt grössere Leitungslängen, und der Anteil an freien Rändern steigt. Die Randverluste steigen, weil sich die Kollektoren nur schmalseitig berühren und weil der Aussenrand (Umriss) gegenüber einem quadratischen Feld grösser ist. Unter Umständen muss die Energiefläche um einen Kollektor erweitert werden. Aber nicht nur die effektive Fläche, sondern vor allem die Form der Energiefläche bestimmt die Wirkung der Anlage optisch.



Bauernhaus (Vielzweckbau): Kollektoren im Bereich des Ökonomieteils und in Traufnähe (Abb. 32)



Chalet Villa Bernau, Wabern: traufnahe Montage (Abb. 33)



Wohnhaus in Münsingen: Montage am First (Abb. 34)



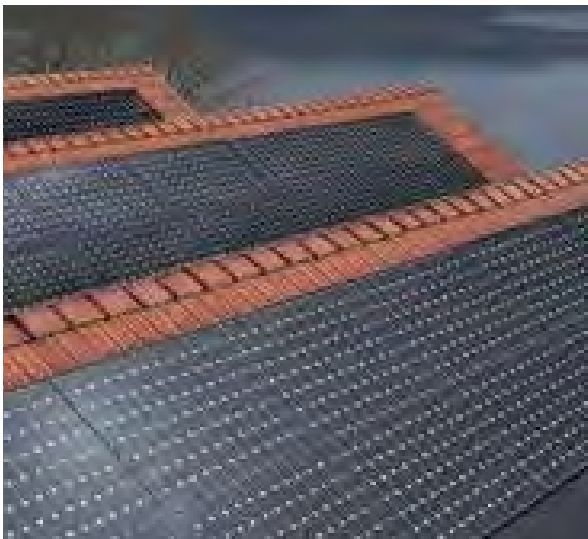
Zweifamilienhaus in Chur: Montage unterhalb des Firsts (Abb. 35)

Grosse Voltaikflächen und Thermiefelder

Grosse Solarflächen sind in geschützten Ortsbildern nur dann sinnvoll und denkbar, wenn sie zu einer Konzentration des Eingriffs führen und eine Vielzahl von unterschiedlichen Kleinanlagen vermeiden helfen. Grosse Solarflächen, welche einen Dachschild mehrheitlich bedecken, dienen meist der Stromproduktion. Für grössere Wohnbauten werden auch grössere Thermiefelder installiert. Für grosse Solarflächen gelangen grundsätzlich wiederum dieselben beiden Konzepte zur Anwendung, die Addition einer zusätzlichen Nutzschrift und unter bestimmten Bedingungen (z.B. bei Dacherneuerung) das Materialersatzkonzept.

Konzept Addition einer Nutzschrift

Zur Umsetzung des additiven Konzepts eignen sich konventionelle gerahmte Module, die zu einem rechteckförmigen Feld addiert werden. Allseitig wird ein Rahmen der originalen Dachhaut sichtbar belassen, sodass der zwar grossenteils überdeckte Ziegeldachschild gut lesbar bleibt und die Solarfläche als zusätzliche zweite Nutzschrift gelesen werden kann. Je ähnlicher die Geometrie des Solarfeldes derjenigen des darunterliegenden Dachschilds entspricht, desto ruhiger wirkt die Solaranlage. Grössere Thermiefelder, beispielsweise für die Brauchwassererwärmung von Mehrfamilienhäusern, entsprechen diesem Konzept.



Photovoltaikanlage, Aufdachmontage auf Sheddach (Abb. 36)

Materialersatzkonzept

Das zweite Konzept, welches für unterschiedliche Dachformen denkbar ist, ist das Materialersatzkonzept, welches Solarmodule anstelle der Ziegel setzt. Die gesamte Dachfläche wird mit Solarelementen ausgelegt, die nun Wetterschutz und Energiehülle in einem sind.

Beim Materialersatzkonzept sollen möglichst ganze Dachschilder ersetzt werden. Für dieses Konzept eignen sich rahmenlose Lamine, weil ihr Aussehen und ihre Verlegeart der traditionellen Dachoberfläche ähnlicher ist als gerahmte Module. Am ähnlichsten sind diese Lamine den Faserzementschieferdächern, hier lassen sie sich am einfachsten integrieren.

Sondermasse sind erhältlich und für Restflächen, die nicht voltaisch nutzbar sind, können Blindstücke eingesetzt werden.

Die Voltaikfläche ist in diesem Konzept durch die Dachfläche bestimmt. In einzelnen Fällen, bei grossen Dächern, ist es auch denkbar, nur Teilflächen von traufseitigen Dachschildern zu belegen. In solchen Fällen ist aber darauf zu achten, dass die Dächer optisch nicht zerschnitten werden. Bei Einzel-Baudenkmalern sind beide Konzepte in aller Regel auszuschliessen.



Materialersatzkonzept mit Voltaiklaminaten, ehem. Bauernhaus in Schüpfenried, Uetligen, Solarpreis 2009 (Abb. 37)



Grosse Scheune in einem bernischen Weiler. Lamine ersetzen die Ziegel der unteren Dachschildehälfte. Dieser Dachteil wirkt ruhig und einheitlich wie ein Dachbelag. Allerdings bildet sich ein grosser Farbkontrast, der obere und untere Dachhälfte optisch in zwei Teile trennt. Hofen, Photovoltaikanlage auf Scheunendach (Abb. 38)

Detailgestaltung

Kollektoren

Vakuümrohrenkollektoren wirken auf den traditionellen Steildächern als Fremdkörper, es ist daher Flachkollektoren und Vakuumflachkollektoren der Vorzug zu geben.

Die Farbe der Absorberflächen

Diese sind aus den weiter vorne beschriebenen Gründen häufig bläulich. Graue und schwarze Kollektoren integrieren sich aber deutlich besser in Ziegel- und Faserzementschieferdächer als blaue. Auf dem Markt existieren heute hocheffiziente graue und schwarze Kollektoren (Schwarzchrom auf Cu- und Ni- Basis). Bei Objekten, auf welche besondere Rücksicht zu nehmen ist, können Kollektorfarben auch mit Herstellern optimiert werden. Allerdings ist in solchen Fällen mit Leistungsminderungen zu rechnen.

Solarmodule (Voltaikflächen)

Polykristalline Flächen wirken unruhiger als die Oberflächen von monokristallinen Siliziummodulen und Dünnschichtzellen. Monokristalline Zellen haben zudem eine grössere Leistung als polykristalline Zellen und benötigen daher eine kleinere Fläche, welche den höheren Gestehungspreis mehr oder weniger wettmacht (vgl. S. 28).

Die Dünnschichtzellentechnik macht rasante Fortschritte. Das Angebot ist kaum überschaubar. Auch bezüglich der Leistung verbessert sie sich, und insbesondere bewirken neue Verfahren die Senkung der Preise.

Für Anlagen, welche gemäss dem Materialersatzkonzept ganze Dachflächen mit Modulen belegen, eignen sich Lamine, rahmenlose Elemente, die inklusive Dose nur noch ca. 30 mm und ohne weniger als 10 mm stark sind und die sich wie Ziegel oder Schiefer überlappend anordnen lassen.

Das Glas (Solarglas)

Die Glasabdeckung sowohl der Voltaikmodule wie auch der Kollektoren, beide werden heute Solarglas genannt, hat einen grossen Einfluss auf deren Leistungsfähigkeit. Mit speziell reinen, vor allem eisenarmen, Gläsern kann eine grössere Transmission durch das Glas, also eine grössere Strahlungsausbeute, erreicht werden. Hochtransparentes Solarglas sichert hohe Stromerträge. Solargläser besitzen zudem Antireflexbeschichtungen, die Reflexionsverluste der einfallenden Strahlung verhindern, um damit den Wirkungsgrad zu erhöhen.

Diese Entwicklung hin zu matteren Oberflächen verläuft im Sinne der Denkmalpflege, die matte Gläser fordert, um die auffälligen und störenden Spiegelungen auf den Dächern von Baudenkmalern und Ortsbildern zu vermeiden.

Kollektor- und Modulrahmen

Die mehrheitlich aus Aluminium hergestellten, thermisch isolierten Kollektor- und Modulrahmen umfassen jeden Kollektor und jedes Modul einzeln. Die auf dem Dach addierten Solarelemente erzeugen damit ein charakteristisches, stark zeichnendes Rasterbild, welches bei sichtbaren Aluminiumrahmen die dunklen Absorberflächen stark kontrastiert und daher auffällt. Es existieren heute aber auch Solarsysteme, deren Rahmen durch matte, dunkle Neoprenprofile abgedeckt sind. Es existieren aber auch dunkel gehaltene Metallrahmen, welche sich den Solarflächen stark angleichen und das Rastergitter so optisch abschwächen. Bei der Wahl von Solarkollektoren auf Baudenkmalern und im Bereich von schützenswerten Ortsbildern ist der Rahmenfrage erhöhte Beachtung zu schenken.

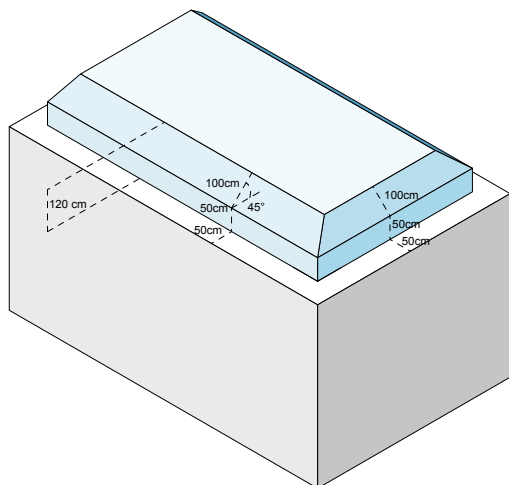
Anschlussbleche

Die dichten Verbindungen zwischen Dachhaut und Kollektorenrändern werden mittels Anschlussblechen erreicht. Indachsysteme besitzen heute entweder seitlich oder oben und unten die Leitungsstützen, so dass entweder mit den Seitenblechen oder mit dem First- und dem Traufblech die Leitungsanschlüsse abgedeckt werden. Je nach Kollektortyp werden also diese Seitenbleche oder die oberen und unteren Anschlüsse breiter ausfallen. Die Firstbleche müssen zudem so ausgebildet sein, dass der Schnee möglichst widerstandsfrei abrutschen kann. Dunkle und matte Bleche und Rahmen sind zurückhaltender. Die Randbleche sollten wenn immer möglich farblich dem Dachbelag angepasst werden, weil sie so als Teil des Daches in Erscheinung treten und die Solaranlage nicht noch grösser erscheinen lassen, als sie ist. Die farbliche Anpassung der Bleche und eventuell auch des Rahmens haben zum Ziel, die vorhandene Material- und Farbenvielfalt zu reduzieren, um den solaren Bauteil in seiner Wirkung «zurückzunehmen». Werden die Bleche der Dachfläche angepasst, bewirken sie zudem eine optische Verkleinerung der Kollektoren.

4.4 Solaranlagen auf Flachdächern

Wegen der geringen Einsehbarkeit und damit kaum vorhandenen Störung des Erscheinungsbildes können Solarelemente im Allgemeinen gut auf Flachdächern angebracht werden. Allerdings gelten auch hier Einschränkungen. Bei Wohnhäusern der frühen Moderne etwa kann das Dach das zeittypische Element des Dachgartens aufnehmen.

Gleich wie bei den Steildächern sollen die aufgeständerten Solarfelder in der Regel die Orthogonalität des Daches übernehmen und parallel zu einer Dachkante montiert werden. Die gängige Regel, die Solarelemente innerhalb der untenstehend abgebildeten Niveaulinien zu platzieren, ist durchaus sinnvoll.



Thermische Kollektoren

Grundsätzlich können auf Flachdächern sowohl Flach- wie auch Röhrenkollektoren eingesetzt werden. Röhrenkollektoren bringen den Vorteil geringerer Bauhöhe: Je nach Konstruktionstyp können sie sogar flachgelegt werden, sie sind somit auch bei niedrigen Häusern und bei einsehbaren Flachdächern zurückhaltender einsetzbar als aufgeständerte Flachkollektoren.

Anordnung von Kollektoren und Modulen

Die – im Normalfall orthogonale – Grundfläche des Daches oder des Dachabschnitts bildet das Grundraster für die Gestaltung der Kollektorenfelder. Zur Vermeidung von Verschattung muss zwischen den Reihen ein genügend grosser Abstand gewahrt werden. Dieser Abstand ist abhängig vom Neigungswinkel der Solarelemente und vom Einfallswinkel des Sonnenlichts. Als Faustregel gilt: Der freie Zwischenraum beträgt mindestens das Vier- bis Sechsfache der Höhe der aufgeständerten Solarelemente. Sind keine geschlossenen Brüstungen vorhanden, sollen die Kollektoren gegenüber dem Dachrand um einen

Meter zurückversetzt werden und generell eine Höhe von 120 cm nicht überschreiten (davon ausgenommen sind sehr hohe Bauten). Der Ausgestaltung der Ständer ist Beachtung zu schenken.



Voltaikolektoren auf Wohnhaus in Reihen (Abb. 39)

Voltaische Solaranlagen

Für konventionelle Solarmodule aus Glas gelten dieselben Anordnungsgrundsätze wie für die thermischen Flachkollektoren. Bis heute sind vermutlich über 95 % konventionelle, aus Glas gefertigte Module.

Solarpaneele aus Kunststofffolie

Dünnschichtlaminare können heute bereits mit einer Membran eingekapselt werden, die direkt als Dachhaut dienen kann. Die wasserdichte Bedachungsmembran und das Energie produzierende Laminat verschmelzen dadurch zu einem einzigen integrierbaren Element. Diese hochinteressante Dünnschichtlaminieretechnik ist energetisch weniger effizient (unter 10 %). Weil Laminare aber preisgünstig herstellbar geworden sind und einfach vollflächig verlegt werden können, wird dieser Nachteil wohl wettgemacht. Die Anwendungen befinden sich in der Erprobungsphase, und sie werden in Europa erst von wenigen Herstellern gefertigt.



Dünnschichtlaminat als Voltaikolektoren und Dachhaut zugleich (Abb. 40)

Bildnachweise

- 1 Bild Archiv Denkmalpflege des Kantons Zürich, Dübendorf
- 2 Diagramm Bundesamt für Energie, Ittigen
- 3 Tabelle bauforumstahl, Düsseldorf
- 4 Diagramm aus Hirsch Harry und Lohr Alex, Energiegerechtes Bauen und Modernisieren; Grundlagen und Beispiele für Architekten, Bauherren und Bewohner, 1996, S. 42
- 5 Bild Archiv Denkmalpflege des Kantons Bern, Bern
- 6 Bild Büro ADB, Burgdorf
- 7 Bild Bauteilnetz Schweiz, Bern (Ausschnitt)
- 8 Bild László Szalai, Wikimedia, 2007, Ausschnitt
- 9 Bild Büro ADB, Burgdorf
- 10 Zeichnung Büro ADB, Burgdorf
- 11 Bild www.ecobine.de, Informationsnetz im ökologischen Bauen
- 12 Bild Webseite der Firma Eck Haustechnik Solar, Iserlohn-Hennen
- 13 Zeichnung Büro ADB, Burgdorf
- 14 Bild ConSolaris Energietechnik GmbH, Edertal-Gifflitz
- 15 Bild ertex solartechnik GmbH, Amstetten
- 16 Bild ertex solartechnik GmbH, Amstetten
- 17 Bild Westermann & Wörner GmbH, Gernsbach
- 18 Bild aus RP-Energie-Lexikon, Dr. Rüdiger Paschotta; www.energie-lexikon.info
- 19 Schema www.solarserver.de; Heindl Server GmbH, Reutlingen
- 20 Bild Atmova AG, Zug
- 21 Bild Büro ADB, Burgdorf
- 22 Bild Metrotile SA, Frankreich
- 23 Bild djd/ eternit ag
- 24 Bild aus «Solarpreis 2008», Solaragentur Schweiz SAS, S. 37
- 25 Bild aus Seltmann Thomas, Photovoltaik, Strom ohne Ende, S. 61. Berlin 2007
- 26 Bild merkur-online.de
- 27 Bild www.Gasheizung-Dortmund.de
- 28 Bild Büro ADB, Burgdorf
- 29 Bild Archiv der Denkmalpflege des Kantons Bern, Bern
- 30 Bild Büro ADB, Burgdorf
- 31 Bild Ernst Schweizer AG, Metallbau, Hedingen
- 32 Bild Archiv Denkmalpflege des Kantons Bern, Bern
- 33 Bild Büro ADB, Burgdorf
- 34 Bild Archiv der Denkmalpflege des Kantons Bern, Bern
- 35 Bild «ars solaris hächler», Dipl. Ing. (ETH) Raimund Hächler, Chur
- 36 Bild SolarCenter Ingolstadt, Bauer Energietechnik, Ingolstadt
- 37 Bild Archiv Denkmalpflege des Kantons Bern, Bern
- 38 Bild Baur & Partner Bedachungen, Säriswil
- 39 19. Schweizer Solarpreis, 2009 Solaragentur, S. 26f.
- 40 Von der Webseite: www.solara.de

Literaturauswahl

Allgemeine Literatur, Grundlagen

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

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

Literatur zum Thema Solarenergie

Amt für Umwelt u. Denkmalpflege des Kantons St. Gallen (Hg.)	Solaranlagen vom Guten zum Besten. Am richtigen Ort richtig installiert – Empfehlungen zur Errichtung von Solaranlagen. St. Gallen 2012
Baudepartement des Kantons Basel-Stadt	Richtlinien für Sonnenkollektoren im Kanton Basel-Stadt. Basel 2006
Bayerisches Amt für Denkmalpflege	Sonnenkollektoren auf Baudenkmalern und Ensembles. Merkblatt München 2004
Brösike, Wolfgang	Sonnenenergie. Berlin 2000
Denkmalpflege des Kantons Thurgau (Hg.)	Solaranlagen richtig gut. 1. Auflage Juli 2009
Departement Bau, Verkehr und Umwelt Kanton Aargau	Merkblatt Solaranlagen im Baugebiet. Aarau 2009
Departement Bau, Verkehr und Umwelt Kanton Aargau	Richtlinien für die Bewilligung von Solar-Anlagen ausserhalb der Bauzone. Aarau 2008
Falk, Antony; Dürschner, Christian; Remmers, Karl-Hein	Photovoltaik für Profis. Berlin 2005
Hadamowsky, Hans-Friedrich; Jonas, Dieter	Solarstrom, Solarthermie. Würzburg 2007
Hanus, Bo; Stempel, Ulrich E.	Solarenergie im Haus. Das grosse Praxiswerkbuch. Poing 2007
Karnau, Olivier	«Solaranlagen in historischen Stadt- und Ortskernen». In: Denkmalpflege in Westfalen-Lippe, 2/2009
Keller, Regula M.	Denkmalpflegerischer Umgang mit energetischen Massnahmen und Solaranlagen. In: 150. Neujahrsblatt, herausgegeben vom Historischen Verein des Kantons St. Gallen, 2010
Lüling, Claudia (Hg.)	Energizing Architecture, Design and Photovoltaics. Berlin 2009
Pfleghard, Andreas	Denkmalpflege und Solaranlagen (Vortrag, gehalten an der Heureka). Zürich 1991 (Manuskript)
Regierungspräsidium Stuttgart u. Landesamt für Denkmalpflege	Photovoltaik und Denkmalpflege. Stuttgart 2009
Roberts, Simon; Guariento, Nicolò	Gebäudeintegrierte Photovoltaik, Ein Handbuch. Basel, Boston, Berlin 2009
Schweizer Heimatschutz	Solaranlagen, Baudenkmal und Orstbilschutz, Positionspapier Schweizer Heimatschutz. Zürich 2008
Seltmann, Thomas	Photovoltaik: Strom ohne Ende. Berlin 2007
SIA Basel (Hg.)	Bewilligungspraxis von Solaranlagen im Kanton Basel-Landschaft. Stellungnahme des SIA zu «Solaranlagen im Ortskern» im Rahmen der Vernehmlassung im Juni 2009
Solar Agentur Schweiz (Hg.)	Integration Solaranlagen. Ein Leitfaden für angewandte Lösungen. Zürich 2005
Stadt Zürich Hochbaudepartement (HBD) u. Amt für Städtebau (AfS)	Leitfaden Dachlandschaften, Projektierungshilfe für Bauten im Dachbereich. Zürich 2009