

Berner Fachhochschule Architektur Holz und Bau

Solaranlagen auf Inventar- und Denkmalschutzobjekten – eine ästhetische Betrachtung

MAS Denkmalpflege und Umnutzung, Masterarbeit

Verfasser: Stephan Eitner, Dipl. Ing.

Betreuer: Michael Locher, Dipl. Arch. ETH / Dr. Dieter Schnell



Abgabedatum: 19. Februar 2021

„[Architektur ist] Harmonie und Einklang aller Teile, die so erreicht wird, dass nichts weggenommen, zugefügt oder verändert werden könnte, ohne das Ganze zu zerstören.“

Leon Battista Alberti, italienischer Humanist, Schriftsteller, Mathematiker, Kunst- und Architekturtheoretiker sowie Architekt der Frührenaissance

Inhaltsverzeichnis:

1. Einleitung	4
1.1 Themenwahl	4
1.2 Forschungsgegenstand	4
1.3 Gliederung der Arbeit	5
1.4 Herleitung	5
1.5 Abgrenzung	8
1.6 Dank	8
2. Energiestrategie des Bundes	9
2.1 Förderung der Erneuerbaren Energien durch Bund, Kantone und Gemeinden	9
2.2 Raumplanungsgesetz und Raumplanungsverordnung	9
2.3 Richtpläne und Planungshilfen	10
2.4 Fördermittel	12
3. Solarthermie- und Photovoltaikanlagen	13
3.1 Solarthermie	13
3.1.1 Flachkollektor	16
3.1.2 Röhrenkollektor	16
3.1.3 Hybridkollektor	17
3.2 Photovoltaik	18
3.2.1 Kristalline Module	19
3.2.2 Dünnschichtmodule	21
3.3 Photovoltaik oder Solarthermie	23
3.4 Optimaler Ertrag und Montage	24
3.5 Solaranlagen für jede Dachform	25
3.6 Spezifikationen und Einschränkungen auf Steildächern	27
3.7 Aufdachanlagen oder dachintegrierte Lösungen auf Schutzobjekten	30
3.8 Vor- und Nachteile von Indach- und Aufdachanlagen	31
3.9 Sonderformate und Speziallösungen	32
3.9.1 Dachintegrierte Sonderlösungen	33
3.10 Ausschluss von Solaranlagen	40
4. Entscheidungs- oder Empfehlungsmatrix für Fachplaner und Sachkundige	41
4.1 Übersicht von Solarindachanlagen in Sonderformaten	42
4.2 Zusammenfassung	43
5. Denkmalpflegerische Aspekte mit Beispielen	44
5.1 Leitfaden des Heimatschutzes Zürich (ZHV)	44
5.2 Beispiel 1, Photovoltaikanlage in Rüti ZH	45
5.3 Beispiel 2, Photovoltaikanlage in Illnau-Effretikon ZH	48
6. Schlussbetrachtungen	51

7. Literaturliste	53
7.1 Bücher / Hefte	53
7.2 PowerPoint-Präsentationen	54
7.3 Weblinks	54
7.4 Gesetze	54
7.5 Gerichtsurteile	54
7.6 Interviews	54
8. Fotos / Abbildungen	55
9. Selbständigkeitserklärung	57

1. Einleitung

1.1 Themenwahl

Mit dem Protokoll von Kyoto 1997 fassten die führenden Industrienationen der Welt den Beschluss, den künftigen Energiehunger zu vermindern. Zur Umsetzung wurden auf nationaler Ebene Gesetze verfasst, die zum Ziel hatten, den Ausbau der Erneuerbaren Energien zu fördern. Die Reaktorkatastrophe von Fukushima 2011 löste eine weitere Diskussion aus, wie in Zukunft umweltfreundlicher Energie produziert werden kann. In der Folge beschlossen 2015 die westlichen Industrienationen wie auch die Schweiz das Übereinkommen von Paris mit dem Ziel, die menschengemachte Erderwärmung auf unter zwei Grad Celsius zu begrenzen. Gesetzlich verankert wurde das Ziel in der Energiestrategie 2050 des Bundes, der neben dem Ausstieg aus der Kernenergie, auch die Steigerung der Energieeffizienz und den Ausbau der Erneuerbaren Energien anstrebt.

Innerhalb des gleichen Zeitraums wurde in der Teilrevision des Raumplanungsgesetzes (RPG) von 2014 u.a. eine Vereinheitlichung und Vereinfachung der Bewilligungspraxis von Solaranlagen beschlossen. Namentlich genannt ist der Art. 18a Abs. 4, welcher in besonderem Masse die Kultur- und Naturdenkmäler betrifft. Der überarbeitete Artikel stellte in einer Art Güterabwägung die ästhetischen Anliegen gegenüber der Nutzung der Solarenergie zurück und führte zu einer Kollision der Interessen zwischen Denkmal- und Umweltschutz. Gleichzeitig betont der Art. 18a Abs. 3, dass die Schutzobjekte nicht wesentlich beeinträchtigt werden sollen und verunklärt damit die Bedeutung des Erscheinungsbildes. Aufgrund der gesetzlichen Unschärfe zwischen diesen beiden Artikeln wird der Ästhetik wenig Spielraum eingeräumt, was mehr Fragen als Antworten aufwirft.

Diese Arbeit hat zum Ziel, ästhetische Lösungen aufzuzeigen, die einen Vermittlungsversuch zwischen Bauherren und Denkmalschutzbehörden darstellen soll, damit das Erscheinungsbild des Schutz- bzw. Denkmalobjektes für alle Beteiligten zufriedenstellend ist.

Mit Hilfe einer Entscheidungsmatrix sollen Empfehlungen für die Wahl des Produktes abgeleitet werden können, die mit dem Erscheinungsbild des Denkmals eine hohe Übereinstimmung erzielt.

1.2 Forschungsgegenstand

Das Thema Ästhetik von Solaranlagen ist in der Literatur weitgehend unbearbeitet. Die meisten Artikel sind in Fachzeitschriften und eher im Kontext mit Neubauten zu finden. In Bezug zu Denkmalschutzobjekten oder Kulturgütern geben neben dem Bund auch einzelne Kantone wie Thurgau, St. Gallen und Zürich Gestaltungsempfehlungen. Auch der Zürcher Heimatschutz hat dazu einen Leitfaden entwickelt, der Anmerkungen zur ästhetischen Einbindung der Solaranlagen bereithält. Im deutschsprachigen Ausland lassen sich zu dieser Thematik auch einige Veröffentlichungen finden. Stellvertretend möchte ich hier die Publikationen des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege¹ und UrbanSolPlus² nennen, welche die Integration der

¹ Solarthermie und Denkmalpflege, Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, November 2012

² UrbanSolPlus, Solarthermie im Denkmalschutz, Februar 2014

Solaranlagen ausführlich beschreiben. Rechtsdogmatische Fragen zum Konfliktpotential zwischen Energiewende sowie Natur- und Heimatschutz werden in der zweiten Schrift des Energierechtes³ umfassend untersucht.

1.3 Gliederung der Arbeit

Im Vorfeld der Masterarbeit (Kapitel 1) gebe ich einen kurzen Einblick zum Thema Ästhetik, da diese für die anschliessende gesetzliche (Kapitel 2) wie auch bautechnische Betrachtung (Kapitel 3) eine wesentliche Grundlage bildet. Denn daraus lässt sich das Spannungsverhältnis zwischen Schutzobjekten und energiepolitischen Zielen besser einordnen. Vorrangig steht das Erscheinungsbild des Schutz- bzw. Inventarobjektes im Mittelpunkt und die Verträglichkeit des Eingriffs. Nachfolgend beschreibe ich im nächsten Teil der Arbeit die spezifischen Merkmale von Solaranlagen (Kapitel 3). Unter diesem Begriff versteht die Fachwelt Anlagen zur Strom- und Wärmeproduktion. Nicht immer sind die Grenzen zwischen beiden Technologien sofort mit dem Auge erkennbar. Manchmal verschmelzen beide zu einem Produkt. Welche Produkte ästhetisch für das Gesamterscheinungsbild des Denkmalobjektes vertretbar sind, wird im Anschluss in einer Entscheidungsmatrix (Kapitel 4) näher herausgearbeitet. Ziel soll es sein, mit einfachen Schritten beurteilen zu können, für welche Dacheindeckung welche Solarerzeugnisse in Betracht kommen. Damit diese Matrix nicht nur eine statische Zusammenstellung ist, habe ich im nachfolgenden Teil (Kapitel 5) zwei Beispiele aufgeführt und diese auf Basis der Entscheidungsmatrix untersucht. Zum Schluss (Kapitel 6) werde ich die wichtigsten Erkenntnisse aus der Arbeit zusammenfassen und Empfehlungen darüber ableiten wie künftig die Integration von Solaranlagen gelingen kann.

1.4 Herleitung

Der Bau von Solaranlagen als solches verändert nachhaltig das Erscheinungsbild des Schutzobjektes. Wobei nicht nur das Objekt allein, sondern auch die Umgebung wie ein Ensemble, das Ortsbild oder die Landschaft als Schutzgegenstand betroffen sein können. Die Ausweitung auf ein grösseres Umfeld macht die Untersuchung komplexer, weil die schimmernde Oberfläche der Solaranlage neben der Wirkung aus der Nähe auch eine Fernwirkung ausübt. Damit wird nicht nur dem Erscheinungsbild des Gebäudes, sondern die Dachlandschaft einer Siedlung, eines Quartiers oder eines Landschaftsbildes ein höherer Stellenwert beigemessen. Zugrunde liegt dieser Schutzzumfang in den Verfassungszielen der Bundesverfassung (BV) im Art. 78 Abs. 1 und 2 BV, in welcher sich Bund und Kantone der Erhaltung bedeutender Baudenkmäler und Ortsbilder verpflichten. Genauer genommen ist die Rede im Gesetzesblatt, dass diese „ungeschmälert“⁴ zu erhalten sind. Dadurch konkurrieren zwei Bundesvorgaben, welche eine unkomplizierte Umsetzung von Solaranlagen fordert (Art. 18a Abs. 1 bis 4 RPG). Durch zwei unterschiedliche Vorgaben stellt sich die Frage, welcher Art. höher gewichtet werden soll. In den letztgenannten Artikeln des RPG ist häufig der Begriff „ästhetisch“ zu finden, ohne näher erläutert zu werden. Recherchiert man in den einschlägigen Nachschlagewerken, wird das Wort ästhetisch „heute meist als Synonym für *schön*,

³ Energiewende im Konflikt mit Natur- und Heimatschutz, 2016

⁴ BV, Art. 78, Abs. 2

geschmackvoll oder *ansprechend* verwendet.”⁵ Die Wissenschaft versteht unter diesem „Begriff die gesamte Palette von Eigenschaften, die darüber entscheiden, wie Menschen wahrgenommene Gegenstände bewerten.”⁶ Da das Wort Ästhetik dem Zeitgeist unterworfen ist, wird ständig um diesen Begriff gesellschaftlich debattiert. Die umschriebenen Dinge unterliegen damit einer gewissen Gültigkeit, die scheinbar nach einem unbestimmten Zeitraum neu bewertet wird. In diesem Zusammenhang spielen z.B. Kultur, Tradition und technische Innovationen eine wichtige Rolle. Denn jene üben einen grossen Einfluss auf die Wahrnehmung von Ästhetik aus. Der Denkmalpfleger Reto Bieli hat sich der vorgenannten Thematik intensiv gewidmet und die

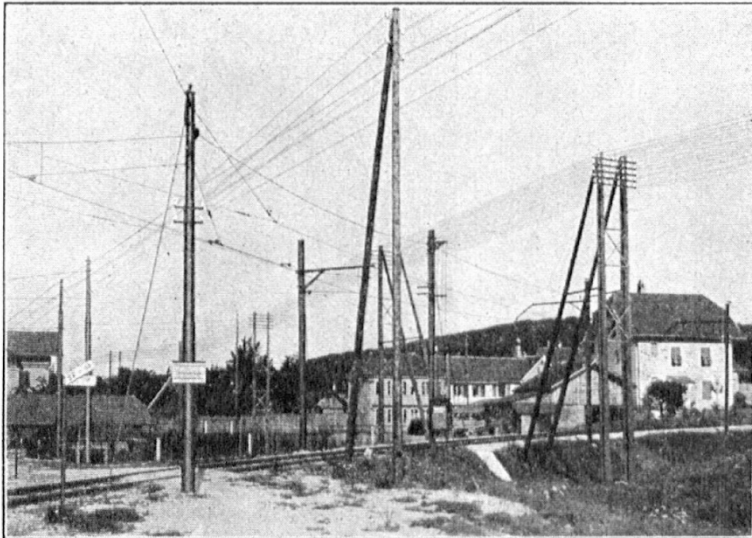


Abb. 1 Stangengewirr von elektrischen Leitungen um 1914

wechselseitigen Einflüsse näher untersucht. Dabei bemerkte er, dass neue Techniken anfänglich mit grossen Vorbehalten wahrgenommen werden und nachdem diese gesellschaftlich akzeptiert waren, keine nennenswerte Rolle in der ästhetischen Beurteilung spielen. Als Beispiel zitierte er das Aufkommen der elektrischen Überlandleitungen mit vielfältigen Ausführungen der Tragmasten. Der Heimatschutz urteilte damals äusserst negativ und befand, dass das „unerträgliche(s) Stangengewirr“⁷ die Landschaft verunstalte. Durch die damals intensive Auseinandersetzung zum Erscheinungsbild der Leitungsmasten wurde eine Vereinheitlichung der Konstruktion von elektrischen Leitungen angestrebt. Aus dem gesellschaftlichen Konsens heraus wurden die Produkte zu einer Standardisierung geführt. Meistens folgte nach dem Bau der Erstanlagen einige Jahre später die Ausarbeitung von diversen Richtlinien, die später teilweise Eingang in Gesetzen oder Normen fanden. Zur Veranschaulichung nennt Bieli weitere Beispiele wie Fernsehantennen, TV-Parabolspiegel, Mobilfunkantennen, Windkraftträder und Solaranlagen, die mit ihrem Aufkommen kontroverse Diskussionen auslösten. So lassen sich bei vielen technischen Innovationen eine Art Muster im Prozess der gesellschaftlichen Akzeptanz erkennen. Am Anfang stehen die Erstanlagen mit noch technischen Schwierigkeiten und ästhetischen Defiziten. Mit der Entwicklung vom Breiten- zum Massenprodukt wird eine technische wie auch ästhetische Reife erzielt, welche bei der Bevölkerung immer stärker an Zustimmung gewinnt. Parallel wird dieser Prozess durch verstärkte

⁵ <https://de.wikipedia.org/wiki/%C3%84sthetik>

⁶ <https://de.wikipedia.org/wiki/%C3%84sthetik>

⁷ Heimatschutz, Schweizer Vereinigung für Heimatschutz, Heft 1, 1919, Elektrische Leitungen, S. 7

politische Diskussionen und gesetzlichen Regelungsbedarf begleitet. Dieser gesamte Entwicklungsverlauf endet durch das Ablösen einer neuen Technik.⁸ Als Beispiel möchte ich das



Abb. 2, Fernseh- und Radioantennen



Abb. 3, Parabolantennen an der Fassade



Abb. 4,
Richtfunkantenne

aktuelle Verschwinden der Telefonkabinen nennen, die durch die Mobiltelefone überflüssig geworden sind. Aktuell kann bei den Solaranlagen von einem hohen Entwicklungsstand ausgegangen werden, weil durch die Produktvielfalt die individuellen Bedürfnisse weitgehend abdeckt werden. Dieser Vorgang ist besonders gut bei einer komplexen Dachgeometrie zu beobachten, wenn Solaranlagen auf die besonderen Dacheigenheiten angepasst werden können, um ein einheitliches Bild zu erzeugen. Hinsichtlich der ästhetischen Anforderungen ein möglichst unverändertes Erscheinungsbild des Denkmals zu erhalten, haben die Solaranlagen einen schweren Stand. Allein die glatte bis leicht reflektierende Oberfläche und das Grossformat der Solarmodule erscheinen wie ein Fremdkörper und sind daher aus Sicht der Denkmalpfleger mit dem Schutzobjekt unvereinbar. Häufig wird unter anderem auch argumentiert, dass der geringe Denkmalbestand von ca. 5% des Gesamtgebäudebestandes klein sei⁹ und daher für die Umsetzung der Energiestrategie unbedeutend. Vielmehr fordern die Gegner, dass der Fokus mehr auf Suffizienz,¹⁰ auf besser geeigneteren Standorten¹¹ wie auch auf Dächern von nicht geschützten Nebengebäuden zu richten ist.¹² Diese Sichtweise wird jedoch nicht einhellig von den Denkmalpflegern geteilt. Der Denkmalpfleger Reto Bieli sieht, im Hinblick der Kurzlebigkeit von technischen Innovationen, dem vermehrten Einsatz von Solaranlagen eher gelassen entgegen, weil diese, gemessen am Alter des Schutzobjektes, nur eine kurzfristige Episode darstellen. Damit hätte diese Sichtweise Potential, die eher ablehnende Haltung der Denkmalpflegebehörden aufzuweichen. Anstatt den Bau von Solaranlagen zu bekämpfen, könnte eine begrenzte und mit den Behörden abgestimmte Produktauswahl auf den

⁸ Wie gelingt die Energiewende aus Sicht der Denkmalpflege? Reto Bieli, 2017

⁹ Energie und Baudenkmal, Grundsatzdokument vom 22. Juni 2018, EKD, S. 3

¹⁰ Suffizienz = verlangt im Kontext eine Veränderung des Konsum- und Nutzungsverhaltens, Energie und Baudenkmal, Grundsatzdokument vom 22. Juni 2018, EKD, S. 3

¹¹ Gut geeignete Standorte können Dächer von Industrie- und Gewerbebezonen, Dachflächen in der allgemeinen Bauzone wie auch Dächer von Neubauten sein – Quelle: Positionspapier; Solaranlagen: Die gebaute Umwelt mit Sorgfalt gestalten, 21. November 2015, Titel: Argumente, Abs. 5

¹² Zum Spannungsfeld von Photovoltaik und Denkmalpflege, Kunst + Architektur in der Schweiz, Bd. 65, Heft1, 2014, S. 42

Dächern montiert werden. Als Entscheidungsgrundlage könnte eine Produktübersicht dienen, die aufzeigt, für welche Dachform oder Eindeckung welches Material zum Einsatz kommen kann. Ein solches Instrument würde einerseits die Bedürfnisse nach Erreichung der Klimaziele erfüllen und andererseits den Status des Schutzobjektes nicht wesentlich schmälern und diese sogar materiell aufwerten.

1.5 *Abgrenzung*

Aufgrund der eher dünnen Quellenauswahl zu dieser Thematik können nur die Dokumente ausgewertet werden, welche sich explizit mit dem Spannungsfeld zwischen Solaranlagen und Denkmalpflege auseinandersetzen. Dabei werden die Quellen berücksichtigt, welche sich mit der Verträglichkeit von Solaranlagen auf Schutzobjekten, Ensemble und Ortsbilder beziehen. Auf rechtliche Aspekte wird nur soweit eingegangen wie für die Bearbeitung des Themas notwendig erscheinen. Die vielfältigen gesetzlichen Handhabungen einzelner Kantone zum Umgang von Solaranlagen werden in dieser Arbeit nicht berücksichtigt. Der Fokus richtet sich vielmehr auf die technische und ästhetische Umsetzbarkeit von Solaranlagen wie diese mit dem Schutzobjekt vereinbar wären. Daraus ergeben sich Formulierungen zu Qualitätsmerkmalen und -anforderungen wie diese einen gelungenen Kontext mit dem Schutzobjekt bilden können. In der Folgeuntersuchung wird jedoch der bestehende Schutzgegenstand und die Überlegungen wie diese zur Unterschutzstellung geführt haben nicht weiter diskutiert. Sie werden als gegeben betrachtet. Die untersuchten Beispiele stammen teilweise aus Rekursen des Heimatschutzes Zürich und sollen das Resultat des ausgearbeiteten Kompromisses zur Materialwahl der Solaranlagen näher herausstellen. Es soll nicht eine kritische Würdigung über diese Entscheidungen erfolgen, sondern wie die Materialwahl sich letztendlich in das Schutzobjekt integriert.

1.6 *Dank*

Die Arbeit wurde dank der freundlichen Unterstützung folgender Personen möglich:

- Barbara Truog (†), Präsidentin des Stadtzürcher Heimatschutzes, überliess mir umfangreiches Material zum Thema Photovoltaik, Solarthermieanlagen und Publikationen des Zürcher Heimatschutzes
- Retro Bieli, Denkmalpfleger Basel-Stadt, erläuterte mir in einem Gespräch die Zusammenhänge von Ästhetik und technischen Innovationen und wie diese das Landschaftsbild verändert haben. Als Grundlage für die Diskussion bildete die Präsentation „Wie gelingt die Energiewende aus Sicht der Denkmalpflege?“
- Fabian Krämer, Geschäftsführer der Firma Senero AG in Winterthur, stand mir für Fragen aus dem Alltagsgeschäft einer Solarfirma hilfreich zur Seite
- Heinrich Gantenbein, Besitzer der Photovoltaikanlage in Rüti, ermöglichte mir ein umfangreiches Bild von der Indachanlage auf dem Nebengebäude seiner Liegenschaft zu machen
- Nicole Schönbächler, Besitzerin der Photovoltaikanlage in Illnau-Effretikon, stellte mir umfangreiches Bildmaterial und Unterlagen zum Bau der Gasser-Solarziegelanlage zur Verfügung

2. Energiestrategie des Bundes, Kantone und Gemeinden

2.1 Förderung der Erneuerbaren Energien durch Bund, Kantone und Gemeinden

Der Bund hat sich zu einer nachhaltigen Energie- und Klimapolitik verpflichtet. Mit der Energiestrategie 2050 hat dieser ein umfangreiches Massnahmenpaket geschnürt, welches u.a. zum Ziel hat, den Energie- und Stromverbrauch im Gebäudebereich durch Regulierungen deutlich zu senken. In mehreren Etappen soll die Energieversorgung der Schweiz neu organisiert werden, indem die fossilen Energieträger und Kernkraftwerke durch erneuerbare Energien schrittweise ersetzt werden. Ebenso soll mit Sanierungsmassnahmen am Baubestand der Gesamtenergieverbrauch wie auch der CO₂-Ausstoss reduziert werden. Damit werden die Gebäudeeigentümer in die Pflicht genommen, geeignete Massnahmen zur Verbesserung der Gebäudehülle und Haustechnik zu treffen.

2.2 Raumplanungsgesetz und Raumplanungsverordnung

Eine der vielen erneuerbaren Energieträger sind u.a. die Solaranlagen. Mit der Teilrevision von Art. 18a des RPG (01. Mai 2014) wurde die Bewilligungspraxis von Solaranlagen vereinfacht. Gemäss Wortlaut können „genügend angepasste Solaranlagen“¹³ in Bau- und Landwirtschaftszonen bewilligungsfrei errichtet werden, wenn folgende Anforderungen nach Art. 32a, Abs. 1, des RPV erfüllt sind:

- sie überragen die Dachfläche im rechten Winkel um max. 20cm
- sie ragen von vorne und oben gesehen seitlich nicht über die Dachfläche hinaus
- sie sind reflexionsarm ausgeführt
- sie bilden eine kompakte zusammenhängende Fläche

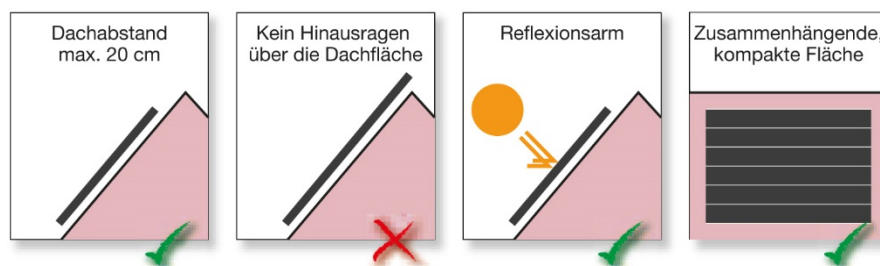


Abb. 5, Anordnungsmöglichkeiten

Solaranlagen, welche jedoch auf Natur- und Kulturdenkmälern von nationaler und kantonaler Bedeutung errichtet werden, sind hingegen bewilligungspflichtig, wenn diese nach Art. 32b, Abs. a bis f, des RPV, definiert werden können. Dazu zählen auch inventarisierte Objekte von regionaler, kantonaler und nationaler Bedeutung und auch schützenswerte Bauten und Anlagen im Sinne von

¹³ RPV, Art. 18a, Abs. 1

Art. 24d, Abs. 2, des RPG. Ebenfalls sieht der Art. 18a, Abs. 2b, in Schutzzonen die Bewilligungspflicht vor. Danach erhalten die Kantone die Kompetenz im Sinne einer Ausnahmeregelung von der Baubewilligungsfreiheit von Solaranlagen gemäss Abs. 1 abzuweichen. Die Schutzzonen können demnach überkommunale oder nationale Ortsbildinventare wie des ISOS oder überkommunale Denkmalschutzinventare enthalten. Auffallend ist, dass die Regelungen für Inventar- und Schutzobjekte von kommunaler Bedeutung nicht zu gelten scheinen, weil diese in den Art. 18a RPG und Art. 32a und b des RPV nicht erwähnt werden. Damit müssen diese lediglich die Voraussetzungen nach Art 32a, Abs. 1, des RPV erfüllen und sind somit bewilligungsfrei. Der Bund hat darüber hinaus die gestalterischen und ästhetischen Anforderungen zugunsten der Solaranlagen zurückgestellt. Unter dem Art. 18a, Abs. 4, des RPV gehen die materiellen Interessen der Nutzung der Solaranlage gegenüber den ästhetischen Anliegen grundsätzlich vor. Dieser Eingriff seitens des Bundes in das kantonale und kommunale Baurecht, gibt diesen kaum noch Möglichkeiten materielle Vorgaben aufzustellen. Beiden Artikeln (Art. 18a Abs. 1,2 und 3 RPG; Art. 32a und 32b RPV) ist gemein, dass sie direkt anwendbar sind und keiner weiteren kantonalen Regelung bedürfen. Doch konfliktfrei geht die Umsetzung der Solaranlagen auf Schutzobjekten nicht. Nach der Bundesverfassung (BV Art. 78, Abs. 1) sind die Kantone für den Natur- und Heimatschutz zuständig. Sie legen mit der Aufstellung von Inventaren und Schutzzonen fest, wo ein öffentliches Interesse an Denkmälern und Ortsbildern gegenüber den Solaranlagen überwiegt. Die Praxis in der Rechtsprechung zeigt, dass Solaranlagen auf Inventarobjekten oder in Kern- bzw. Schutzzonen eine Ortsbild- und denkmalpflegerische Abklärung, ganz im Sinne des Art. 18a, Abs. 2 Bst. b, benötigen, damit die öffentlichen Interessen zwischen Energiewende und Denkmal-/Ortsbildschutz abgewogen werden können. Das Interesse am Bau einer Solaranlage ist nicht generell immer höher gewichtet als der ungeschmälerte Erhalt des Denkmals bzw. des Ortsbildes.¹⁴

2.3 *Richtpläne und Planungshilfen*

Die Kantone und die Gemeinden haben mit den Energierichtplänen ein Planungsinstrument geschaffen, das eine Auswahl an erneuerbaren Energiequellen bereithält. Dem privaten Grundeigentümer bietet sich somit die Möglichkeit für den Ersatz der Heizungstechnik den Einsatz erneuerbarer Energiequellen zu prüfen. Die Palette reicht so z.B. von Holzfeuerungsanlagen, Wärmepumpen, Fernwärmeanschlüssen sowie Solarthermie- oder Photovoltaikanlagen. Besonders das Kombinieren diverser Energieerzeuger soll den Mehrwert der Energieausbeute steigern, indem Heizsysteme miteinander gekoppelt werden. Die Empfehlungen reichen z.B. von Wärmepumpenanlagen, die mit thermischen Sonnenkollektoren oder Photovoltaikanlagen verbunden werden, um mit der zusätzlich gewonnenen Energie für das Heizsystem eine Kostenreduktion seitens der primären Energiequellen wie dem Strom erzielen zu können. Der Bund, genauer das Bundesamt für Kultur BAK, hat dazu im Jahr 2019 eine Studie veröffentlicht, welche die Solarenergie gekonnt mit der Baukultur verbinden will. Anhand von mehreren Beispielen wird hier den Gemeinden ein Methodenkonzept vorgestellt, „um das Solarpotential einer Gemeinde zu

¹⁴ Rechtsentscheide im Kanton Zürich zum Bau von Solaranlagen: Rüti ZH (VB.2017.00623) und (1C 313/2018); Mettmenstetten Dachlissen ZH (1C 444/2017); Teufen ZH (R4.2019.00099); Hausen am Albis ZH (R2.2018.00189); Kleinandelfingen ZH (R4.2019.00108); Will ZH (VB.2017.00623); Wädenswil ZH (R2.2017.00020); Adlikon ZH (R4.2017.00111)

erheben und die Prioritäten zur Nutzung dieses Potentials festzulegen.“¹⁵ Gezielt spricht die Studie den Bereich historischer Gebäude und Ortsbilder an, in welcher Solaranlagen schlecht integrierbar sind und ein höherer Widerstand bei den Menschen vermutet wird. Auch wenn der Denkmalbestand in der Schweiz von rund 5% des gesamten Baubestandes sehr klein erscheint, möchte das Dokument eine bessere Integration der Solaranlagen in die Dachlandschaften und Ortsbilder bewirken. Dabei verkennt sie, dass „anders als bei Neubauten (...) (die) Eingriffe bei Schutzobjekten auf den Bestand



Abb. 6, Ertragspotential der Solaranlagen

zugeschnitten und den vorliegenden Gegebenheiten angepasst werden“¹⁶ müssen. Gleichsam hält die Studie auch fest, dass nur dort gefördert werden soll, wo der Standort die geeigneten Flächen bereithält. Dieses Arbeitspapier soll vor allem den Gemeinden die Möglichkeit bieten, die geschützten Ortsbilder „in die kommunale Energiestrategie und in die Planungsmittel einer Gemeinde oder einzelner Quartiere“¹⁷ zu integrieren. Einige grosse Gemeinden wie Zürich, Bern, Basel und Winterthur haben dazu bereits ein eigenes Solarkataster erstellt. Bei kleineren Gemeinden sind die Angaben beim kantonalen Geoinformatikdienst oder im Solarkataster des Bundes



Abb. 7, Solarkataster der Stadt Winterthur

hinterlegt. Die Angaben zu den Dachflächen sind grob nach dem solaren Nutzungspotential kategorisiert, wobei die Ausrichtung nach Süden den idealen Standort einer Solaranlage anzeigt. Mit der Abweichung aus der Südausrichtung wird das solare Potential schrittweise abgestuft bis zur völligen Nichteignung. In einzelnen Gemeinden wie z.B. Winterthur ist der Detaillierungsgrad der

¹⁵ Solarkultur, Solarkultur gekonnt mit Baukultur verbinden, Bundesamt für Kultur, Sektion Heimatschutz und Denkmalpflege, Bern 2019, S. 19

¹⁶ Energie und Baudenkmal, Grundsatzdokument vom 22. Juni 2018, Eidgenössische Kommission für Denkmalpflege EKD, Bern 2018, S. 2

¹⁷ ebd. S. 18

geeigneten Dachflächen sehr hoch, indem sämtliche Dachaufbauten in die Auswertung mit einbezogen werden. Allen ist jedoch gemeinsam, dass zu den Schutzobjekten keine weiterführenden Angaben oder Einschränkungen für die solare Nutzung gemacht werden. Im Grundsatzdokument des EKD „Energie und Baudenkmal“ verweisen die Autoren auf das Beratungsangebot der kantonalen und kommunalen Fachstellen für Energie und Denkmalpflege, wenn Energieerzeugungsanlagen am Gebäude realisiert werden sollen. Gestützt auf die Regelungen im RPG, Art. 18a und RPV, Art. 32a und Art. 32b haben einzelne Kantone Leitsätze oder Richtlinien im Umgang mit Solaranlagen aufgestellt, die die gesetzlichen Anforderungen genauer umschreiben oder konkretisieren. So präzisiert z.B. der Kanton Thurgau den Art. 32a, Abs.1b, mit der Beschreibung, dass Solaranlagen „nur innerhalb der Dachbegrenzungslinien (First, Walm, Traufe, seitliche Dachränder) angeordnet werden, damit diese ablesbar bleiben.“¹⁸ Zudem sollen Aussparungen (Kamine, Dachfenster oder Entlüfter) in der Dachfläche mit Blindmodulen oder -kollektoren an die aufgehenden Bauteile montiert werden, damit „die homogene Erscheinung der Dachfläche möglichst wenig beeinträchtigt wird, (...) (indem) die ausgesparten Dachbereiche dunkel gefärbt oder mit dunklen Materialien belegt werden.“¹⁹ Etwas restriktiver beschränkt der Kanton St. Gallen nach Art. 32a, Abs. 1a, den Übertagungsabstand zur Dachfläche auf „maximal zehn Zentimeter“²⁰ anstelle der 20cm. Zur Platzierung von kleineren Solaranlagen macht der Kanton Zürich den Vorschlag, diese „im unteren Drittel der Dachfläche“²¹ zu platzieren, damit der Gesamteindruck bestehen bleibt. Alternativ zur Montage in die denkmalgeschützte Bausubstanz empfehlen die Kantone mehrheitlich auf «Nebengebäude», «untergeordnete Gebäudedächer» oder «Anbauten» auszuweichen, um den Denkmalwert weniger zu schmälern.

2.4 Fördermittel

Zum Gelingen der Energiewende fördert der Bund den Bau von Solaranlagen. Dafür wurde ab Januar 2009 für die stromproduzierenden Anlagen (Windkraftanlagen, Biomasse, Geothermie, Photovoltaik und Kleinwasserkraftanlagen) die KEV (Kostendeckende Einspeisevergütung) als Förderinstrument geschaffen, um die Betreiber der Anlagen mit einem garantierten Stromtarif für den ins öffentliche Netz abgegebenen Strom zu entschädigen. Nach der Revision des Energiegesetzes zum 01.01.2018 wurde die KEV durch die EIV (Einmalvergütung) abgelöst. Die Änderung beinhaltet den Wechsel von einer langfristigen Vergütungsdauer zur einmaligen Zuzahlung von 30% der Investitionskosten, welche sich am Wert einer Referenzanlage orientiert.²² Jedoch vergüten weiterhin regionale und kantonale Netzbetreiber den eingespeisten Strom zwischen 5 und 23 Rp/kWh.²³ Einzelne Kantone

¹⁸ Solaranlagen richtig gut, Richtlinien zur Anwendung von Art. 18a des Bundesgesetzes über die Raumplanung, Kanton Thurgau, August 2015, S. 10

¹⁹ ebd. S. 13

²⁰ Solaranlagen vom Guten zum Besten, Am richtigen Ort richtig installiert- Empfehlungen zur Errichtung von Solaranlagen, Kanton St. Gallen, S. 12

²¹ Solaranlagen, Leitfaden 09 2016, Kanton Zürich, September 2016, S. 9

²² Die Vergütungssätze werden jährlich angepasst und orientieren sich an der Montageart und Leistungsklasse. [https://de.wikipedia.org/wiki/Kostendeckende_Einspeiseverg%C3%Bctung_\(Schweiz\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Kostendeckende_Einspeiseverg%C3%Bctung_(Schweiz))

²³ Vergütung durch Elektrizitätswerke (Stand Februar 2019); <https://www.energieheld.ch/solaranlagen/photovoltaik/foerderung>

fördern zusätzlich die Installation von Batteriespeichern.²⁴ Die Solarthermieanlagen werden mehrheitlich von den Kantonen gefördert.²⁵ Dabei muss die Solarthermieanlage ein Mindestleistung, z.B. 2 kW thermische Leistung, besitzen. Jede weitere Erhöhung der Leistung wird mit einem festen Betrag, z.B. 500 CHF pro thermische Leistung, zusätzlich unterstützt. Solaranlagen auf Denkmalschutzobjekten oder geschützten Ortsbildern werden nicht gesondert vergütet. Die Denkmalpflege wird sogar solchen Bauvorhaben die Mitfinanzierung verweigern, weil diese keine werterhaltenden Massnahmen darstellen, sondern eher der Wertsteigerung dienen.

3. Solarthermie- und Photovoltaikanlagen

Unter dem Begriff Solaranlagen werden zwei Systeme unterschieden, welche mit Hilfe der Sonne umweltfreundlich thermische und elektrische Energie erzeugen.

3.1 Solarthermie

Die Solarthermieanlagen sind ausschliesslich standortgebunden. Bei der thermischen Solaranlage wird die Sonnenenergie im Absorber oder Solarkollektor in Wärme umgewandelt und auf ein zirkulierendes Wasser-Glykolgemisch übertragen. Das erwärmte Wassergemisch wird durch Rohrleitungen vom Kollektor über einen Wärmetauscher in den Speicher im Gebäude geführt. Weit verbreitet ist der Einsatz zur Erzeugung von Warmwasser, welches im Haushalt zum täglichen Bedarf zur Verfügung stehen soll. Grössere Kollektorflächen können auch für die Erzeugung oder Unterstützung von Heizungswasser dienen. So gibt es grossflächige Anlagen, die ohne fossile Energieträger mittels eines übergrossen Saisonwärmespeichers, die Wärmeenergie für ganze Liegenschaften, Quartiere oder Wärmeverbände bereitstellen. In sehr sonnenreichen Regionen Südeuropas werden Sonnenkraftwerke betrieben, die über konzentrierende Kollektoren Temperaturen bis 400°C erreichen, um mit Wasserdampf Generatoren zur Stromproduktion anzutreiben.

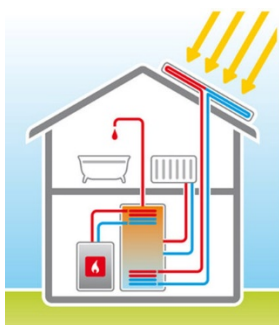


Abb. 8, Schema Solarthermie; Abb. 9, Solarthermie auf Wohnhaus



Abb. 10, Solarthermiekraftwerk

²⁴ Förderung von Photovoltaikanlagen im Kanton Thurgau (Stand März 2020: 1'500 CHF bis max. 2'500 CHF), Kanton Appenzell Ausserrhoden (Stand März 2020: 1'000 CHF bis max. 25'000 CHF oder Kanton Schaffhausen (Stand März 2020: 1'500 CHF bis max. 10'000 CHF)

²⁵ Förderung von Solarthermieanlagen im Kanton Graubünden (Stand März 2020: 2'000 bis max. 50'000 CHF), Kanton Schaffhausen und Thurgau (Stand März 2020: 1'500 CHF, 600 CHF/pro kW_{th}) oder St. Gallen (Stand März 2020: 1'500 CHF, 500 CHF/pro kW_{th})

Der Solarthermieanlagen werden überwiegend im Ein- und Mehrfamilienhausbereich zur Unterstützung der Warmwassererzeugung eingesetzt. Den kleineren Anteil bilden Anlagen zur

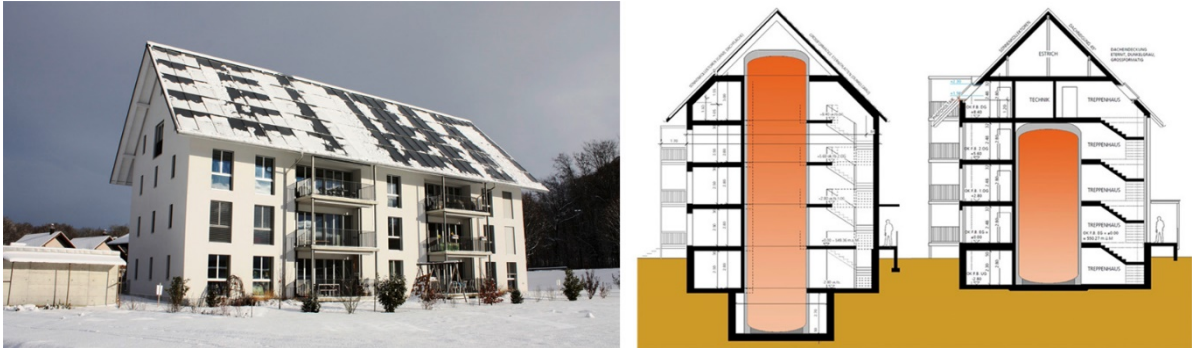


Abb. 11, Saisonspeicher im Mehrfamilienhaus, Fa. Jenni Energietechnik

Heizungsunterstützung oder für den Hochtemperaturbereich. Die ungleichmässige Verteilung des Einsatzgebietes ist eng mit der Verfügbarkeit der solaren Einstrahlung verbunden. Während der langen warmen Sonnentage ist der Bedarf an Warmwasser sehr hoch, während die Heizung meist aus ist. In den Übergangsjahreszeiten oder im Winter reicht die Energie der Sonne nicht aus, um den Heizbetrieb nennenswert zu unterstützen. Es gibt jedoch einige wenige Beispiele für grosse Saisonspeicher, die die Wärme aus den sonnenreichen Monaten auch für den Winter bereitstellen können. Am effizientesten arbeiten die Kollektoranlagen, wenn diese unterstützend in ein bestehendes Heizsystem wie eine Gas- oder Wärmepumpenheizung eingebunden werden. Dazu bedarf es eines zusätzlichen Speichers. Die Solarthermiekollektoren geben nach Erreichen einer festgelegten Temperatur die Wärme in den Speicher ab, indem dieser von unten nach oben geladen wird. Sobald die Höchsttemperatur erreicht wird, schaltet die Steuerung die Wärmezufuhr vom Kollektor ab. Die Temperaturen während des Stillstands können im Solarkollektor sehr hoch werden und einen Überdruck produzieren, weil das Wasser-Glykolgemisch in einen gasförmigen Zustand übergeht. Ventile am Kollektor verhindern, dass Bauteile nicht zu Schaden kommen. Für die Wärmeproduktion benötigt es direkte Sonneneinstrahlung, damit der Absorber die Wärme an das zirkulierende Wasser abgeben kann.

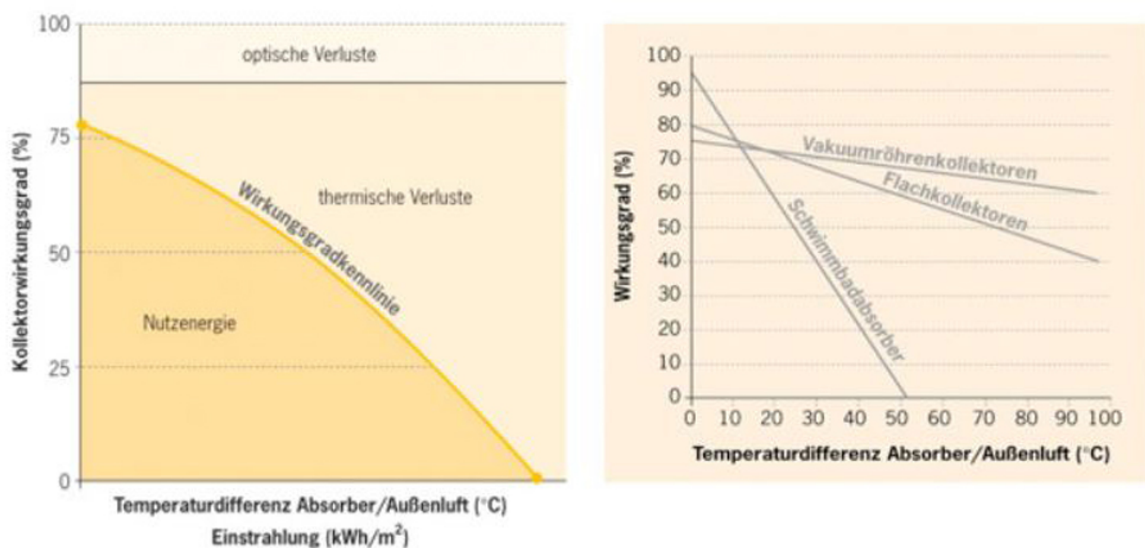


Abb. 12, Wirkungsgrad bei Solarthermiekollektoren bei unterschiedlichen Temperaturbedingungen

Die Effizienz einer solarthermischen Anlage lässt sich aus dem Wirkungsgrad des Kollektors ableiten und gibt an, wie hoch der prozentuale Anteil auftreffender Sonnenenergie in Wärme umzuwandeln ist. Der Wert spiegelt die vielfältigen variablen Umweltbedingungen wider, die in Form von optischen und thermischen Verlusten auf die Oberfläche einwirken. Optische Verluste entstehen durch Reflexion und Absorption der Sonnenstrahlung an der Glasoberfläche oder Reflexion am Absorber und angrenzender Bauteile. Thermische Verluste entstehen, wenn z.B. die Umgebungstemperatur höher ist als die des Kollektors oder Wärmebrücken zur Umgebung entstehen. Die nachfolgende Abbildung (Abb.12) verdeutlicht den Zusammenhang des Wirkungsgrades bei Veränderung von unterschiedlichen Bedingungen.

Der thermische Wirkungsgrad von Solarkollektoren liegt zwischen 60 und 90%²⁶ und reduziert sich nochmals um weitere 20 bis 50% auf ca. 40% durch systembedingte Verluste wie Einstrahlung, Warmwasserzirkulation, Speicherbewirtschaftung oder Stillstandszeiten des Kollektors.

Die Grösse eines Solarthermiekollektors variiert je nach Hersteller. Entscheidend ist die Grundfläche des Absorbers, welche im Schnitt zwischen 2.1 und 2.6 m² beträgt.²⁷ Diese entspricht dem Warmwasserbedarf von 1 bis 2 Personen (Richtwert beim Flachkollektor 1.5 m², beim Röhrenkollektor 1.0 m²)²⁸ im Haushalt. Zur Heizungsunterstützung wird jeweils mit 1.0 m² Flachkollektor bzw. mit 0.5 m² Röhrenkollektor pro 10.0 m² Wohnfläche gerechnet.²⁹ Dazu ein einfaches Berechnungsbeispiel:

Ausgangslage:

- Geographischer Standort der Anlage: Winterthur, Kanton Zürich, 439 m ü. M.
- 2 Solarthermiekollektoren der Firma Weishaupt, WTS-F1 K1/K2 (L x B: 2.092 x 1.234 m = 2.58 m²), Wirkungsgrad 80.2%
- 1'000 kWh/(m²a) Globalstrahlung pro m² und Jahr
- Jährlicher Warmwasserbedarf pro Person bei mittlerem Verbrauch, ca. 550 kWh/a

Berechnung:

$$1'000 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a}) * 80.2\% = \text{ca. } 800 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$$

Dieser Wert wird unter Realbedingungen jedoch nicht erreicht. Abzüglich der Verluste wie Einstrahlung, Zirkulation, Speicher, Stillstandszeiten und Wärmeverluste liegt der Systemnutzungsgrad bei ca. 40% von der Globalstrahlung.

$$1'000 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a}) * 40\% = 400 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$$

$$2 * 2.59 \text{ m}^2 * 400 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a}) = 2'072 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$$

²⁶ s. Absatz zu Prinzip des thermischen Sonnenkollektors, <https://de.wikipedia.org/wiki/Sonnenkollektor>; Wärme oder Strom, Solarenergie nutzen! Aber wie genau? TEC21 11-12/2019, S. 29

²⁷ Der Wert basiert aus dem Vergleich der Grundfläche von Kollektoren, die zum Zeitpunkt (Mai 2020) auf dem internationalen Markt erhältlich sind. Folgende Solarthermiekollektoren wurden für die Untersuchung herangezogen:

für Flachkollektoren: 2.52 m², AS-FK 2.5 AS Solar; 2.59 m², ASK Alpha InnoTec GmbH; 2.55 m², Logasol SKT 1.0 Buderus; 2.53 m², Calorio 25H Consolar Solare Energiesysteme GmbH; für Röhrenkollektoren: 2.37 m², AS-VRK21 AS Solar; 2.36 m², Solvistuma 2321 Solvis GmbH & Co.KG; 2.33 m², Vitosol 200-TSP2A 1.51m² Vissmann Werke GmbH & Co.KG

²⁸ vgl. Auslegung Kollektorfläche, <http://heizkostenrechner.eu/solaranlage-fuer-warmwasser.html>

²⁹ vgl. Abschnitt Aufbau einer Solaranlage zur Warmwassererzeugung, <https://www.solaranlagen-portal.com/solar/solaranlage/aufbau>

$$2'072 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a}) \div 550 \text{ kWh/a} = 3.77 \approx 4 \text{ Personen}$$

Die zwei Kollektoren erzeugen den jährlichen Warmwasserbedarf zu 80% für einen vierköpfigen Haushalt.

Solkollektoren werden nicht nur zur Wärmeproduktion eingesetzt, sondern auch zur Regeneration von Erdsonden, indem die Verluste aus dem Erdspeicher durch den Eintrag solarer Energie kompensiert werden können.

Im Allgemeinen lassen sich folgende Kollektortypen im Wesentlichen unterscheiden:

- 3.1.1 Flachkollektor:

Der Flachkollektor besteht aus einem flachen Kollektorgehäuse, dem Absorber, einer Glasabdeckung und einer Wärmedämmung. Im Inneren befindet sich ein beschichtetes Absorberblech aus Aluminium oder Kupfer, welches die Einstrahlungsenergie in Wärme umwandelt. Die Rückseite wie auch die Seitenflächen sind mit einer Wärmedämmung ausgekleidet, damit die Wärmeverluste möglichst geringgehalten werden.

Für die Warmwasserbereitung benötigt es 1.5 m² pro Person, zur Heizungsunterstützung 1.0 m² pro 10.0 m² Wohnfläche. Die Farbe des Absorbers ist dunkelblau bis fast schwarz. Dieser Bautyp eignet sich für die Aufstellung auf Flachdächern, den Einbau in Steildächer oder für eine dachparallele Montage. Eher selten ist der Einsatz an Fassaden oder auf Freiflächengestellen.



Abb. 13, Aufdachkollektor



Abb. 14, Indachkollektor



Abb. 15, Röhrenkollektor

- 3.1.2 Röhrenkollektor:

Die Röhrenkollektor setzt sich aus einer Vielzahl von einzelnen Glasvakuumröhren zusammen, in denen sich die Absorberflächen in den Röhren befinden. An den Enden werden diese dann über ein Sammelrohr am Rahmen miteinander verbunden. Im Gegensatz zum Flachkollektor fallen die Wärmeverluste durch das Vakuum erheblich geringer aus. Dadurch eignet sich der Vakuumröhrenkollektor für die Montage an kleineren Flächen. Ein weiteres Merkmal dieses Kollektortyps ist die effiziente Betriebsweise auch bei höheren Betriebstemperaturen. So eignet sich dieser besonders zur Heizungsunterstützung oder auch zur Erzeugung von Prozesswärme für die Industrie.

Für die Warmwasserbereitung benötigt es 1.0 m² pro Person, zur Heizungsunterstützung 0.5 m² pro 10.0 m² Wohnfläche. Die Farbe des Absorbers ist meistens dunkelblau.

Die Röhrenkollektoren sind für die Montage auf Flach- und Steildächern wie auch für die Fassade geeignet.



Abb. 16, Fassadenbefestigung

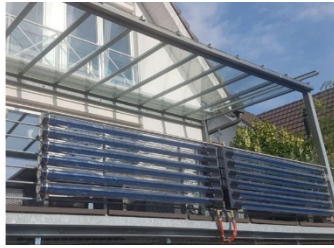


Abb. 17, Balkonbefestigung



Abb. 18, Aufdachbefestigung

- 3.1.3 Hybridkollektor:

Der Hybridkollektor vereint die Funktionen von Photovoltaik und Solarthermie und firmiert unter der Bezeichnung PVT (PhotoVoltaisch-Thermischer Kollektor). Dabei werden gleichzeitig Strom und Wärme produziert. In der Bauweise ähneln diese dem Flachkollektor. Der wesentliche Unterschied ist, dass sich unterhalb der Glasabdeckung auf einer weiteren Glasträgerplatte die Photovoltaikzellen befinden. Die meisten auf dem Markt erhältlichen Produkte besitzen einen flüssigen Wärmeträger. Nur ein kleiner Teil nutzt die Luft zur Wärmeübertragung.

Die Farbe des Absorbers ist meistens dunkelblau.

Das Einsatzgebiet der Hybridkollektoren erstreckt sich wie bei den Flachkollektoren auf Flach- und Steildächer sowie Fassaden.



Abb. 19, PVT-Modul als Aufdachanlage



Abb. 20, PVT aufgeständert



Abb. 21, PVT in Fassade

Weitere Kollektortypen sollen hier noch zur Vervollständigung genannt werden, kommen jedoch in unseren Breitengraden kaum vor oder spielen aufgrund des geringen Einsatzgebietes eher eine untergeordnete Rolle. Dies wären z.B. Thermosiphonkollektoren und Schwimmbadsolarabsorber.



Abb. 22, Thermosiphon freistehend



Abb. 23, Schwimmbadsolarabsorber

Das Herzstück der Photovoltaikanlage sind die handflächengrossen Halbleiter aus Silizium, sogenannte Solarzellen, die die Sonnenstrahlung in Gleichstrom umwandeln. Je mehr Solarzellen in einem Modul verbunden sind, desto grösser ist die Leistung. Sobald die Module miteinander verdrahtet werden, steigt die Leistung jeweils um das hinzugefügte Modul. Die Anzahl der



Abb. 25, Polykristalline Module



Abb. 26, Monokristalline Module



Abb. 27, Dünnschichtmodule

Solarmodule in einem solchen String ist jedoch begrenzt, weil diese wiederum mit der Maximalleistung des Wechselrichters korrespondieren muss. Häufig können auch mehrere parallele Strings mit einer kleineren Anzahl von Modulen montiert werden, wenn jene sich innerhalb des Leistungsspektrums des Wechselrichters bewegen. Einige Modelle besitzen zudem auch mehrere Tracker, die es ermöglichen, Module auf unterschiedlichen Dachneigungen oder -ausrichtungen auf einem Gerät elektrisch zu verschalten. Mit dem Wechselrichter wird der erzeugte Gleichstrom in netztauglichen Wechselstrom umgewandelt. Bei Inselanlagen oder Anlagen mit gekoppeltem Batteriespeicher wird der Strom hauptsächlich für den Eigenverbrauch verwendet. Dabei übernimmt der Wechselrichter auch die Funktion des Batterieladegerätes, in dem er den Strom im Gleichstromkreis in die Batterie weiterleitet und bei Bedarf oder Anforderung der netzgebundenen Verbrauchsgeräte in Wechselstrom umwandelt. Mit der angeschlossenen Batterie soll die Sonneneinstrahlung gebündelt für den späteren Verbrauch wie z.B. in den Abendstunden vorgehalten werden.

Am meisten verbreitet sind poly- und monokristalline Module sowie Dünnschichtmodule. Wobei die zwei ersten Typen hauptsächlich im Gebäudebereich wie Dach und Fassade im Einsatz sind sowie auf grossen Freiflächenanlagen montiert werden. Dünnschichtmodule kommen vermehrt bei Spezialanwendungen zur Anwendung. Kristalline Module haben gegenüber Dünnschichtmodulen eine doppelt so hohe Leistung. So lassen sich auf kleineren Dachflächen mit kristallinen Modulen eine viel höhere Energieausbeute erzielen, wenn auf der begrenzten Ressource des Daches leistungsstärkere Module montiert werden. Es gibt aber noch weitere Unterschiede zwischen den Modultypen, welche näher erläutert werden sollen:

- 3.2.1 Kristalline Module

Unter dem Begriff «kristalline Module» sind mono- und polykristallinen Module zu verstehen. Beide unterscheiden sich in Leistung, Farbe und Struktur. Gemeinsam sind ihnen die Bauweise. Auf einer Glas- oder Kunststoffplatte befinden sich gleichmässig angeordnet die Solarzellen (zwischen ca. 60 und 104 Stück), die mit silberfarbenen Lötbandchen elektrisch miteinander verbunden sind, mit einer gehärteten Glasplatte abgedeckt und mit einem stabilen Rahmen aus Aluminium eingefasst sind. Auf der Rückseite des Moduls befindet sich die Anschlussdose mit zwei Verbindungskabeln.

Der wesentliche Unterschied zwischen den beiden kristallinen Modulen lässt sich bereits aus der Bezeichnung ableiten, wie diese hergestellt werden. Mono- oder Einkristalle entstehen durch langsames Ziehen aus der flüssigen Siliziummasse. Die polykristallinen Kristalle werden durch das gleichmässige Abkühlen des Siliziums im Tiegel hervorgerufen, indem die Einkristalle solange wachsen können bis diese aneinanderstossen. Nach der Endverarbeitung ist dies besonders an der blauen Farbe und der glitzernden Oberflächenstruktur der Solarzellen abzulesen. Die monokristalline Solarzelle ist hingegen gleichmässig schwarz bis dunkelblau. Die kristalline Struktur der Solarzellen hat einen grossen Einfluss auf dessen Wirkungsgrad, welcher bei monokristallinen Solarzellen ca. 25% und bei polykristallinen Zellen ca. 18% aufweist.³⁰ In der Fläche sind die Leistungsunterschiede besser vergleichbar.³¹

- Polykristalline Module haben eine durchschnittliche Leistung von ca. 170 bis 178 W/m²
- Monokristalline Module besitzen hingegen eine durchschnittliche Leistung von ca. 193 bis 226 W/m²³²

Die Abweichung der Leistung zwischen den beiden Modultypen beträgt somit ca. 14 bis 27%. In der Praxis werden die Unterschiede noch deutlicher, wenn weitere Faktoren auf die Leistung der Module Einfluss nehmen wie z.B. die erhöhte Sonneneinstrahlung im Sommer, das diffuse Licht bei Bewölkung, die Farbe der Module, die technische Abstimmung der Komponenten, die Oberflächentemperaturen der Module, die geographische Lage der Module, die Verschattung der Module, der Anstellwinkel in Richtung Sonne sowie die Abweichung des Montageortes aus der Südausrichtung (Azimut). Je nach Art und Verarbeitung der Photovoltaikmodule kann der Ertrag im Tages- oder Jahresverlauf erheblich schwanken. Entscheidend für die Berechnung der Energieausbeute ist der Anteil der Volllaststunden. Diese variieren je nach Jahreszeit und Verschattungsgrad zwischen 0.5 und 7 Stunden.³³ Ein Standardmodul von 300 W Leistung würde danach zwischen 150 oder 210 Wh im Tagesverlauf Strom produzieren. Für die Schweiz gilt als Durchschnittswert 1000 Wh pro Jahr für jedes Watt Nennleistung (Wp).

Dazu ein einfaches Berechnungsbeispiel:

Ausgangslage:

- Geographischer Standort der Anlage: Winterthur, Kanton Zürich, 439 m ü. M.
- 10 Photovoltaikmodule der Firma SunPower Maxeon 3, 400 W (L x B: 1.690 x 1.046 m = 1.77 m²)

³⁰ vgl. <https://de.wikipedia.org/wiki/Solarzelle>

³¹ Angaben der Hersteller basieren auf Laboruntersuchungen mit einer Lichteinstrahlung von 1000 W/m², 25 °C Zelltemperatur und 90° Einstrahlungswinkel und einem Lichtspektrum von AM 1,5

³² Der Wert basiert aus dem Vergleich der Leistung von Photovoltaikmodulen, die zum Zeitpunkt (Mai 2020) auf dem internationalen Markt erhältlich sind. Folgende Module wurden für die Untersuchung herangezogen: für polykristalline Module: Hanwha Q-Cells G4.1 285 W, Yingli Solar YL 345P-35b 345 W, victron energy SP043302400 330 W; für monokristalline Module: SunPower Maxeon 3 400 W, LG Solar NeON 2 Cello LG335N1C-A5 335 W, Jinko Solar JKM360M-66HB 360W

³³ vgl. <https://de.wikipedia.org/wiki/Solarmodul>

- 1'000 Wh pro Jahr Nennleistung (Wp)

Berechnung:

10 Module à 400 W = 4'000 W * 1'000 Wh/a = 4'000'000 Wh/a = 4'000 kWh/a

10 SunPower-Module produzieren 4'000 kWh Strom pro Jahr. Dieser Wert entspricht dem Stromverbrauch eines 4-Personen Haushalts.

10 Module à 1.77 m² = 17.70 m²

10 SunPower-Module entsprechen einer Grundfläche von rund 18 m² Dachfläche, inkl. seitlichen Befestigungsmitteln.

400 W ÷ 1.77 m² = 226 W/m²

Ein SunPower-Modul hat eine Leistung von 226 W pro Quadratmeter.

1000 W ÷ 226 W/m² = 4.4 m²

Ein Kilowatt Leistung entspricht einer Grundfläche von 4.4 m².

- 3.2.2 Dünnschichtmodule

Dünnschichtmodule bestehen meistens aus zwei rahmenlosen Glasträgerplatten, bei der auf einer Glasinnenfläche das Halbleitermaterial (ca. 80 bis 150 Dünnschicht-Solarzellen) aufgedampft oder gesprüht wird sowie einer Anschlussdose mit Verbindungskabeln auf der Rückseite. Das Halbleitermaterial setzt sich hauptsächlich aus amorphem, nichtkristallinem Silizium zusammen. Aber auch andere Halbleitermaterialien wie Cadmium-Tellurid (CdTe) oder Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid (CIGS) kommen zum Einsatz. Aufgrund der vereinfachten Produktionsweise sind die Dünnschichtmodule dünner, leichter und kostengünstiger als die kristallinen Standardmodule. Ein weiterer Vorteil des amorphen Siliziums ist das hohe Absorptionsvermögen von elektromagnetischen Wellen, sodass schon bei geringer und diffuser Sonneneinstrahlung ein guter Wirkungsgrad erreicht wird. Auch bei höheren Temperaturen weisen diese Module einen geringeren Leistungsabfall auf. Jedoch ist der Wirkungsgrad gegenüber den kristallinen Modulen mit vergleichsweise 10 bis 15% sehr niedrig. Das Farbspektrum reicht von rotbraun über blau-violett bis schwarz.

Bei allen Photovoltaikmodulen ist über einen langen Betriebszeitraum die Abnahme oder Degradation des Wirkungsgrades zu beobachten. Darunter „wird die alterungsbedingte Änderung der Parameter von Halbleiterbauteilen verstanden – in diesem Fall der Rückgang des Wirkungsgrades von Solarzellen im Laufe ihres Lebens.“³⁴ Einerseits bezieht sich die Degradation auf die Verschmutzung der Materialoberfläche. Andererseits sinkt der Wirkungsgrad im Zeitraum von 25 Jahren durch rekombinationsaktive Defekte des Siliziums, welche durch die Sonneneinstrahlung verursacht werden. Die Reduktion des Wirkungsgrades verläuft bei kristallinen und Dünnschichtmodulen etwas anders. Bei kristallinen Modulen ist der Leistungsverlust innerhalb von 25 Jahren fast graduell und liegt zwischen 10 und 20%. Dünnschichtmodule haben hingegen am Anfang eine höhere Degradation, welche aber in den Leistungsangaben des Datenblatts bereits

³⁴ vgl. siehe Absatz Degradation, <https://de.wikipedia.org/wiki/Solarmodul#Degradation>

einkalkuliert sind und ebenfalls nach 25 Jahren eine Reduktion des Wirkungsgrades von 20% aufzeigen.

Aufgrund der unterschiedlichen geografischen Standorte von Photovoltaikanlagen ergeben sich für die Installation auch abweichende Anforderungen. Folgende Standorte sind für den Einsatz der Module geeignet:

- Kristalline Module: Flachland, Berge (erhöhte Anforderungen an Gestell- und Befestigungsmittel sowie Schnee- und Windlasten, maximale Belastbarkeit des Glases und Verformbarkeit des Alurahmens bei starker Eisbildung beachten)
- Dünnschichtmodule: Flachland

In den letzten Jahren ist in der Fachpresse der direkte Einsatz des Photovoltaikstroms zur Warmwassererwärmung sehr kontrovers diskutiert worden. Das Bundesamt für Energie (BFE) rät von dieser Lösung ab. Die Heizbranche sieht jedoch in der Anwendung eines solarstrombetriebenen Heizstabes zur Unterstützung des Warmwasserspeichers einen besseren Nutzen als mit dem Solarstrom eine Wärmepumpe anzutreiben. Als Grund gaben die Hersteller der Wärmepumpen u.a. die kürzere Lebensdauer der Verdichter an, die bei schwankender Stromproduktion der Photovoltaikanlage ein unkontrolliertes Ein- und Ausschalten der Verdichter zur Folge haben, anstelle diese über längere Zeit stabil laufen zu lassen. An sich ist die Nutzung des Solarstroms zur Wassererwärmung nach heutigen Klimaschutzzielen nicht sinnvoll.³⁵ Denn zur Erhitzung der gleichen Menge Wassers benötigt es zehnmal mehr Strom als Gas.³⁶ Jedoch gibt es auch technische Argumente, die den Einsatz des Photovoltaikstroms zur Wassererwärmung attraktiv machen. Anstelle der Wasserleitungen und Pumpen wird nur ein Stromkabel benötigt. Dadurch kann der Strom direkt und ohne grosse Verluste zum Beladen des Speichers verwendet werden.

³⁵ vgl. Solarstrom: Manchmal ist der Elektroeinsatz die bessere Lösung als die Wärmepumpe, S 22f, Umwelttechnik Schweiz, Ausgabe 10-11/19

³⁶ $1 \text{ kWh}_{\text{el}} \text{ Strom} = 1 \text{ kWh}_{\text{th}}$, $0.1 \text{ kWh Gas} = 1 \text{ kWh}_{\text{th}}$

3.3 Photovoltaik oder Solarthermie

Die Entwicklung auf dem Solarmarkt scheint aktuell in Richtung Photovoltaik zu zeigen. Dafür könnte es viele Gründe geben. Einerseits sind die Preise für Photovoltaikanlagen in den letzten Jahren massiv gefallen.³⁷ So kostet eine Standard-Solarstromanlage für ein Einfamilienhaus nur noch ein Viertel des Preises wie vor 10 Jahren.³⁸ Andererseits fördert der Bund grosszügig den Bau der Photovoltaikanlagen mit bis zu 30% der Installationskosten und regt die Besitzer dazu an, den Strom selber zu verbrauchen. Eines dieser Instrumente ist die ZEV (Zusammenschluss zum Eigenverbrauch) von 2018, bei der z.B. mehrere aneinandergrenzende Grundstücke oder Mehrfamilienhäuser sich zur einer Eigenverbrauchsgemeinschaft zusammenschliessen und gegenüber dem Energieversorger (EVU) als ein Kunde auftreten. Der erzeugte Solarstrom wird allen Eigentümern zum Eigenverbrauch zur Verfügung gestellt. Dadurch lassen sich die eigenen Stromkosten deutlich senken. Ein weiteres Argument für den starken Solarstromzubau ist der Umstand, dass schon auf kleineren Dachflächen

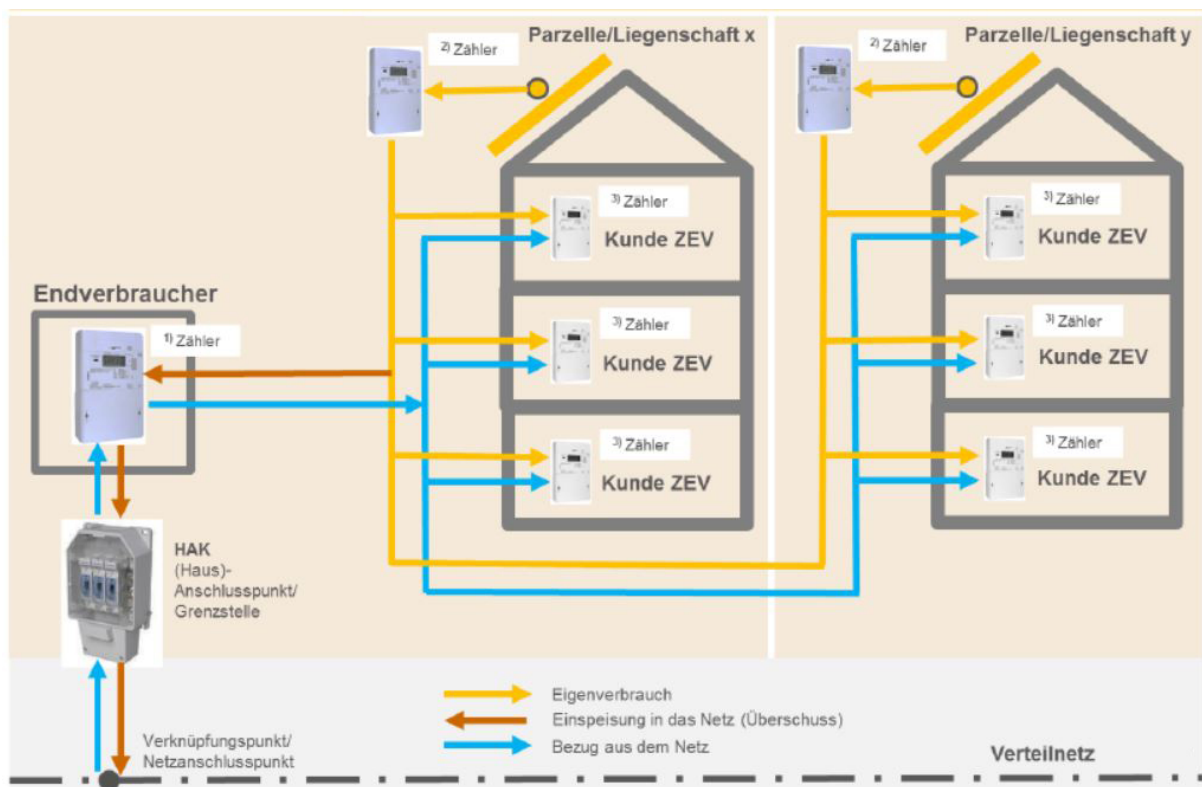


Abb. 28, Prinzipschema einer Eigenverbrauchsanlage (ZEV), 1) EVU-Zähler, 2 bis 3) Privatzähler

der Anteil des eigenen Strombedarfs gedeckt werden kann und überschüssige Energie ins öffentliche Netz abgegeben werden. Hingegen ist die Solarthermie trotz des besseren Anlagenwirkungsgrades weniger attraktiv. Denn die Energie steht ausschliesslich für den lokalen Bedarf zur Verfügung. Sobald der Warmwasserspeicher durchgeladen ist, wird die Energiezufuhr vom Kollektor unterbrochen. Selbst geringe Einstrahlungen werden nicht vollständig ausgeschöpft, weil die Speichertemperatur höher liegt. Abhilfe könnten grosse Langzeit- oder Saisonspeicher schaffen, die die Sonnenenergie auch für den Zeitraum der Heizperiode bereitstellen. Doch ist die Installation

³⁷ 1 kWp einer Photovoltaikanlage kostete 2009 ca. 10'000 CHF, 2020 ca. 2'500 CHF

³⁸ Interview mit der Fa. Senero, Herrn Fabian Krämer, 20.05.2020

grösserer Wärmespeicher gegenüber dem Betrieb mit Photovoltaikstrom angetriebenen Wärmepumpenanlagen ohne Speicher nicht lohnenswert.³⁹

3.4 Optimaler Ertrag und Montage

Die energetische Ausbeute einer Solaranlage hängt entscheidend von der Topographie, der Ausrichtung, der Neigung sowie des Verschattungsgrades der Dachfläche ab. Aufgrund der grossen Breitengradabweichung der Schweiz zum Äquator wird der ideale Einstrahlungswinkel der Sonne (Winkel von 90° auf geneigte Fläche) bei einer Dachneigung von etwa 30° in südlicher Richtung erreicht. Mit dieser Ausrichtung sind die höchsten Energieerträge ($\approx 1'000 \text{ kWh}/(\text{kW}_{(p)})$) in einem Jahr auf dem Dach zu erzielen. Doch die wenigstens Häuser haben eine ideale Ausrichtung zur Sonne. Sobald das Dach aus der Südachse abweicht, verringert sich der Wert. So liegt die Ertragseinbusse bei einem Dach mit 30° Dachneigung in südwestlicher oder südöstlicher Ausrichtung bei nur 5%. Selbst Dächer die ausschliesslich nach Westen oder Osten ausgerichtet sind, haben einen Minderertrag von etwa 25%. Deutliche Abweichungen sind bei Fassaden (-50%, bei Ost- oder Westdächern) und Dächern in Nordrichtung (-40%, bei Dachneigung 30°) zu erwarten. Um die

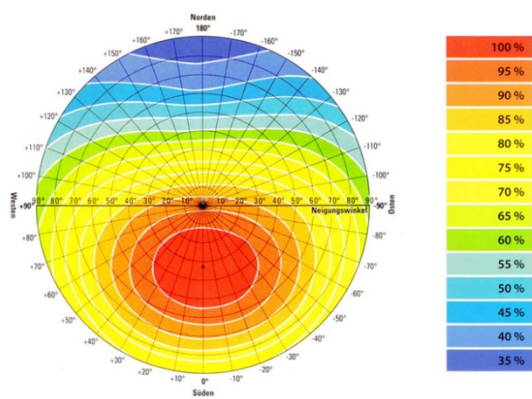


Abb. 29, Solarertrag nach Ausrichtung und Dachneigung

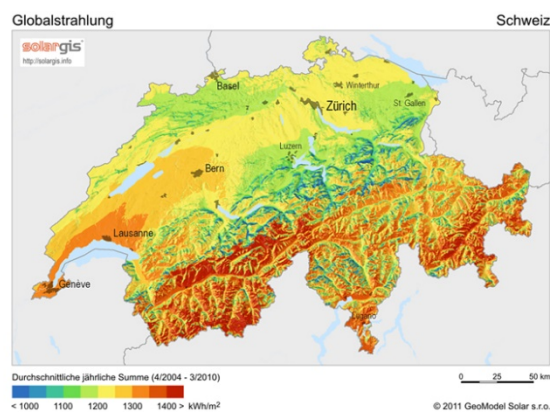


Abb. 30, Globalstrahlung

Ertragseinbusse zu kompensieren, könnte die Anlage je nach Platzangebot wieder vergrößert werden. Bei Flachdächern besteht die Möglichkeit den optimalen Einstrahlungswinkel durch eine vorkonfektionierte Unterkonstruktion genau einzustellen. Ein weiteres Kriterium für einen optimalen Ertrag ist die Analyse des Standortes nach möglichen Verschattungen. Dabei sind regelmässige Schattenwürfe durch Objekte auf der Dachfläche oder in der Umgebung ausfindig zu machen. Ein Schornstein kann über den jährlichen Sonnenverlauf einen erheblichen Teil der Dachfläche verschatten. Mit Hilfe einer Simulationssoftware⁴⁰ kann die Einbusse prozentual ermittelt werden. Je genauer die Störobjekte in ihrer Dimension bekannt sind, desto besser kann die Solaranlage platziert werden, um die Ertragsverluste zu minimieren. Bei Photovoltaikanlagen sind bereits Leistungsoptimierer im Einsatz, die die Leistung jedes einzelnen Moduls überwachen können und bei Störungen den optimalen Betriebspunkt selber berechnen.

³⁹ vgl. Wärme oder Strom, Solarenergie nutzen! Aber wie genau? TEC21 11-12/2019, S. 30

⁴⁰ Simulationssoftware zur Berechnung des jährlichen Sonnenertrages berücksichtigen auch den Schattenwurf von Störobjekten. Die Software kann bei Wechselrichter- und Modulherstellern sowie speziellen Softwarefirmen bezogen werden.

Durch die sinkende Vergütung, des ins öffentliche Netz eingespeisten Stroms, werden die Photovoltaikanlagen zunehmend nicht mehr nach dem optimalen Einstellungswinkel zur Sonne konzipiert, sondern vermehrt nach Osten und Westen ausgerichtet, damit die Sonnenstromproduktion während des gesamten Sonnenverlaufs erfolgen kann. Mit dieser Änderung können die Anlagen mit einem kleineren Einstellungswinkel und mit mehr Modulen geplant werden. Die grössere Anzahl der Module gleicht die Ertragsverluste wieder aus. Der Eigentümer der Photovoltaikanlage kann dadurch den Sonnenstrom länger selbst verbrauchen ohne Strom aus dem Netz zu beziehen.

3.5 Solaranlagen für jede Dachform

Der Einsatzbreite von Photovoltaikanlagen sind kaum Grenzen gesetzt. Gerade auf grossflächigen Dächern von Industrie- und Gewerbebauten lassen sich die grossformatigen Standardmodule optimal und zusammenhängend platzieren. Wenn die Geometrie des Daches es zulässt, werden die Photovoltaikanlagen auch gestalterisch eingesetzt. Dadurch gewinnen die Dächer an Kontur und räumlicher Tiefe, wenn Teilflächen damit hervorgehoben werden.

Auf historischen Gebäuden, bei denen die Fassade sich höher erstreckt als der Dachverlauf, sind die Dächer dahinter häufig flach ausgebildet. Die Attika verdeckt den Blick auf das dahinterliegende Dach. Diese Situation wirkt sich sehr günstig für den flächigen Einsatz von grossformatigen Modulen aus, weil die Solaranlage vom öffentlichen Strassenraum kaum einsehbar ist und daher kaum in Erscheinung tritt. Ähnliche Situationen bieten die oberen Dachflächen von Mansarddächern an, wenn diese sehr flach ausgebildet sind.

Nachfolgend ist eine Auswahl von Beispielbilder aufgeführt, die die Einsatzbreite der Solaranlagen verdeutlichen sollen, ohne die ästhetischen Anforderungen oder Kriterien näher zu beurteilen.



Abb. 31 und 32, Sheddächer mit Photovoltaikanlagen auf Industrieanlagen



Abb. 33 und 34, Flachdachanlagen auf Gewerbebauten mit Gründächern



Abb. 35 und 36, Photovoltaikanlagen auf flach geneigten Dächern



Abb. 37 und 38, Photovoltaikanlagen auf Tonnendächern



Abb. 39 und 40, Carports in Pultdachform, links sogar mit semitransparenten Modulen



Abb. 41 und 42, Photovoltaikanlagen auf den flachen Dächern der Mansarddächer

3.6 Spezifikationen und Einschränkungen auf Steildächern

Bei der Montage von Solaranlagen bei Inventar- bzw. Denkmalschutzobjekten liegt der Fokus eher im Steildachbereich. Denn mehrheitlich sind die Dachstühle von Schutzobjekten bis zum ersten Viertel des 20. Jahrhunderts, abgesehen von regionalen Besonderheiten, als Steildächer ausgeführt



Abb. 43, Ganzdachanlage als Indachanlage ausgeführt

worden. Der Begriff Steildach ist etwas schwammig definiert, weil bereits Dachneigungen mit mehr als 7° als Steildächer gelten.⁴¹ Abweichend davon werden auch Dächer über 20° als Steildächer angesehen. Zwischen diesen Werten werden jene als flach geneigte Dächer bezeichnet.⁴² Der Installationsaufwand von Solaranlagen steigt mit sehr flachen Dächern, weil eine zusätzliche Unterkonstruktion auf das Dach montiert werden muss, um den optimalen Einstrahlungswinkel zur Sonne zu erhalten wie bereits im vorangegangenen Kapitel erläutert wurde. Diese Konstruktionen weichen durch einen höheren Anstellwinkel von der eher flachen Dachgeometrie ab. Im

⁴¹ Vgl. <https://wissenwiki.de/Steildach>

⁴² Vgl. Definition beim Ziegelhersteller Creaton (<https://www.creaton.ch/ihr-dach/neubau/warum-einsteildach>) oder im Glossar von Baunetzwissen (<https://www.baunetzwissen.de/glossar/d/dachneigung-48993>)

Steildachbereich sind diese jedoch dachparallel. Unterschieden wird lediglich die Montageart wie Indach- oder Aufdachanlage. Für die weitere Bearbeitung dieser Arbeit wird der prozentual kleinere Anteil der historischen Flachdächer gegenüber den häufiger auftretenden Steildächern nicht näher erläutert, weil er für die Beurteilung der ästhetischen Fragestellung und der geringen Einsehbarkeit auf die Dachflächen kaum eine Rolle spielt.

Hingegen ist die ästhetische Fragestellung bei Denkmalobjekten mit Steildächern weitaus komplexer, da mit der möglichen Platzierung der Solaranlage nicht nur die Wahrnehmung des Gesamterscheinungsbildes verändert wird, sondern mit dem Eingriff in die Bestandssubstanz auch weitere Sachfragen umfassender abgeklärt werden müssen.

Aufgrund des hohen Gebäudealters der Schutzobjekte sind die Dachstühle in ihrer Konstruktion nach Erfahrungswerten und handwerklicher Tradition errichtet worden. Normen und Berechnungstabellen zur genauen Bestimmung der einwirkenden Kräfte lagen den damaligen Handwerkern nicht vor. Daher ist bei einer Planung einer Solaranlage besonders viel Fachwissen und Sorgfalt im Umgang mit historischen Bauteilen notwendig. Ein besonderes Augenmerk ist auf die Tragfähigkeit und der Zustand des Dachstuhls, einzelner Balken und deren Lastabtragungsverhalten zu richten. Je nach Situation können die Hölzer durch Wurmfrass, Pilzbefall oder Feuchtigkeit bereits erheblich vorgeschädigt sein, sodass mit dem Bau der Solaranlage erhebliche flankierende Massnahmen notwendig sind. Hierfür sind vor der Ausführung Fachplaner, Gutachter oder spezialisierte Handwerksbetriebe hinzuzuziehen, um das Ausmass und die Eingriffstiefe in das historische Dachgebälk einschätzen zu können. Im Zweifelsfall ist vom Bau der Solaranlage abzuraten, wenn geschützte oder schützenswerte Bauteile erheblich in ihrer Materialität verändert werden und deren Funktionalität wie auch das Erscheinungsbild deutlich geschmälert werden. Die Flächen im historischen Dachbereich waren eher nicht für Wohnzwecke ausgebaut. Meistens wurden diese als Lager oder Abstellort benutzt. Deshalb ist es auch weniger verwunderlich, wenn anstelle eines wetterfesten Unterdachs die Rückseite der Dacheindeckung und die darunterliegende Lattung zu sehen sind. Sobald der Entschluss getroffen wird, eine Solaranlage auf oder in die Dachfläche zu integrieren, sollte Klarheit darüber herrschen wie das Unterdach ausgebildet werden soll. Denn die Montageart der Solaranlage hat eine grosse Auswirkung auf die Wahl des Materials für das Unterdach. So empfiehlt die suissetec im Merkblatt «Anschlüsse im Unterdach» für das Unterdach „eine Temperaturbeständigkeit von 80°C“⁴³ und eine ausreichende Konterlattenstärke von mind. 60mm zu wählen, damit die Luft ausreichend zirkulieren kann. Weil die Produktmasse der Module (bis ca. 40mm) und Kollektoren (bis ca. 150mm) deutlich in der Bauhöhe voneinander abweichen, ist die Höhe der Konterlattung entsprechend aufzudoppeln. Dieser Eingriff in die Dachkonstruktion erfordert viel Wissen um das Dachhandwerk. Sobald die Konterlattung um das Mass aufgedoppelt wird, verändert sich nachhaltig die Dachgeometrie. Die Dachseite mit der Solaranlage wird gegenüber der unverbauten Dachseite angehoben. Damit verschiebt sich die Position des Firstes und die Ansichten an den Ortgängen. Es bedarf viel handwerklichen Geschicks, den First geometrisch so zu montieren, dass einerseits die Hinterlüftung über die gesamte Dachfläche gewährleistet ist und andererseits die Dachgeometrie in seiner Gesamterscheinung

⁴³ Merkblatt «Anschlüsse im Unterdach», suissetec, September 2018, S. 10

gewahrt bleibt. Bei der Indachmontage muss die Dachlattung zur Befestigung der Module oder Solarkollektoren auf deren Baubreite angepasst werden. Dadurch kommt es oft zu einem abweichenden Rastermass des Lattungsabstandes von Solaranlage und angrenzender Ziegeleindeckung. Gerade im Randbereich des Solarfeldes können die Lattungen nebeneinander liegen, sodass die Ziegel nicht mehr richtig verlegt werden können und mit zusätzlichen Klammern oder Nägeln befestigt werden müssen.

Bei der dachparallelen Montage wird die Last der Module oder Kollektoren über Dachhaken auf die Dachsparren verteilt. Die Lastabtragung der gesamten Solaranlage erfolgt daher über wenige Verankerungspunkte. Je nachdem wie stark die Sparrenabstände voneinander abweichen, wird der Querschnitt der Unterkonstruktion anders dimensioniert. Weitere Aufschläge zur Konstruktion wie die Wind- und Schneelasten sind ebenfalls zu berücksichtigen. Für die Dachdurchdringungspunkte gibt es eine breite Auswahl von Formziegeln, welche auf die Farbe der Dacheindeckung abgestimmt sind. Ein besonderes Augenmerk sollte auf die Schneebarriere an der Dachtraufe gerichtet werden. Aufgrund der glatten Oberfläche der Solaranlagen steigt mit zunehmender Schneelast auf den Anlagen die Lawinengefahr. Die Schneefänger unterhalb der Solaranlage halten den Schnee zurück, damit das Schnee-Eisgemisch nicht zu Boden geht und Personen wie Gegenstände gefährdet. Auch sind die Module mit ausreichend grossem Abstand zum Schneefänger zu installieren. Denn oberhalb der Schneebarriere drückt der zurückgehaltene Schnee auf die Glasoberfläche. Gerade Nassschnee überschreitet schnell die zulässige Auflast von 245 kg/m^2 ⁴⁴ und könnte das Solarmodul zerstören.



Abb. 44, Indachanlage oberhalb der Traufe im Schleppe Dach



Abb. 45, Ganzdachanlage mit PV- und Solarmodulen



Abb. 46, Aufdachanlage mit Abstufungen in der Fläche



Abb. 47, Aufdachanlage oberhalb des Dachknicks

⁴⁴ 245 kg/m^2 entsprechen bei Nassschnee einer Höhe von ca. 60 cm;

3.7 Aufdachanlagen oder dachintegrierte Lösungen auf Schutzobjekten

Die klassische Dacheindeckung in der Schweiz ist die des keramischen Dachziegels. Diese Entwicklung hat sich im 19. Jahrhundert flächig durchgesetzt, abgesehen von kleinen regionalen Unterschieden wie z.B. die Steinplatten im alpinen Bereich. Kennzeichnend ist bei den keramischen Ziegeln die Bandbreite an unterschiedlichen Dachdeckungen, die sich über die Jahrhunderte herausgebildet haben und miteinander konkurrieren. Was allen jedoch gemeinsam ist, ist die überlappende Verlegetechnik, welche ein bewegendes und kleinteiliges Bild erzeugt. Hinzu wird die Optik auch durch die rötlich-braune Farbgebung massgeblich charakterisiert. Der Verband, welcher aus neben- oder übereinanderliegenden Ziegeln besteht, ist ebenfalls durch sein regelmässiges Fugenbild gekennzeichnet. Alles im allem ist das dominierende Bild eines historischen Daches durch die überlappende oder geschuppte Anordnung der Ziegel erkennbar.

Aufgrund des unterschiedlichen Aufbaus von Auf- und Indachanlagen wird ein unterschiedliches optisches Bild erschaffen. Aufdachanlagen sind in der Fläche eben, Indachanlagen sind wie das klassische Ziegeldach profiliert angeordnet. Je nach Grösse der einzelnen Module führt dies zu Spannungen mit der bestehenden Dacheindeckung und den angrenzenden Dachaufbauten. Augenfällig ist der Unterschied in der Grössendifferenz. Standardmodule von einer Grundfläche von ca. 1.8m² sind um ca. 1'500 Prozent grösser als ein durchschnittlicher Dachziegel. Wird nun eine Solaranlage auf das Dach montiert, verändert dies nachhaltig die Proportionen zu den bestehenden Bauteilen. Diese Abweichung erzeugt ein spannungsgeladenes Gesamtbild, was nicht aufgelöst werden kann und als eine Störung der Ästhetik wahrgenommen wird. Ähnliches gilt auch hinsichtlich der Materialität und Oberflächenstruktur bzw.-ausprägung, die im Konflikt mit der historischen Dacheindeckung stehen.

Gemäss den Leitsätzen der EKD ist das Erscheinungsbild eines Denkmals in seiner historischen Substanz ungeschmälert zu erhalten. Dabei ist in der Rangfolge der Erhalt der Originalsubstanz höher zu bewerten gegenüber „dem Maximieren einer ökonomisch oder ökologisch verstandenen Nachhaltigkeit.“⁴⁵ Weiter heisst es, dass die „Unversehrtheit der historischen Substanz (...) bei allen



Abb. 48, Indachanlage in Muri



Abb. 49, Aufdachanlage in Winterthur

Massnahmen Vorrang“⁴⁶ geniesst. Im Absatz «Zufügungen» (Punkt 5.2) muss das neu hinzugefügte

Thermische Sonnenkollektoren: Prüfung und Zertifizierung nach Europäischer Solar Keymark. Meistens bis 2.4 kN/m². PV-Module: Prüfung und Zertifizierung nach IEC 61215-2. In aller Regel geprüft bis 2.4 kN/m², bei schneereichen Gegenden auch 5.4 kN/m².

⁴⁵ Leitsätze zur Denkmalpflege in der Schweiz, EKD, Ausgabe 2007, S. 19

⁴⁶ ebd., S. 22

Bauteil „von hoher gestalterischer Qualität erkennbar sein“⁴⁷ und darf „die originalen Bestandteile weder in ihrer Substanz noch in ihrer Wirkung beeinträchtigen.“⁴⁸ In einigen Fachkreisen wird dieser Grundsatz dahingehend interpretiert, dass neben dem absoluten Verbot von Solaranlagen auf



Abb. 50, Indachanlage in Wohlen



Abb. 51, Indachanlage in Wohlen mit Blindmodulen

Schutzobjekten höchstens der Einsatz von Aufdachanlagen zumutbar wäre. Denn bei der Installation von Aufdachanlagen wäre gegenüber einer ästhetischen Beeinträchtigung das Maximum des Erhalts an originaler Bausubstanz gewahrt. Es müssten bei der Aufdachmontage nur einige Ziegel für die Anbringung der Dachhaken entfernt werden. Dennoch ginge durch die leicht schwebende Bauweise der Aufdachanlage eine grosse Eigenwirkung aus, welche die Gesamterscheinung des Denkmals schmälert. Gleiches gilt auch für Indachanlagen, wenn grosse Standardmodule verbaut werden. Die Eingriffstiefe einer Indachanlage hätte nicht nur den Verlust der historischen Dacheindeckung zur Folge, sondern würde auch materielle Veränderungen bis in die Tiefe der Sparrenkonstruktion bedeuten. Ein Lösungsweg aus dieser eher vertrackten Situation kann nur nach eingehender Beurteilung ein kleinteiliger Solarziegel sein, der die Anforderungen hinsichtlich «gestalterischer Qualität» und «Wahrung der Gesamtwirkung» erfüllt. Gegen den Verlust der historischen Dachziegel könnte der Bau der Solaranlage mit einer behördlichen Auflage verknüpft werden; z.B., dass diese eingelagert und bei Entfernung der Solaranlage wieder auf das Dach installiert werden müssen. Inwiefern diese Vorgehensweise sich in der Realität praktikabel erweisen wird, lässt sich aufgrund der wenigen Solaranlagen auf Schutzobjekten nicht einschätzen; ein Versuch wäre es wert.

3.8 Vor- und Nachteile von Indach- und Aufdachanlagen

Werden Indach- und Aufdachanlagen gegenübergestellt, so ergeben sich eine Vielzahl an Bedingungen, welche bei der Planung und Ausführung beachtet werden sollten. Diese lassen sich in Vor- oder Nachteile kategorisieren und gegeneinander abwägen. Solarthermieanlagen werden nicht untersucht, weil es in den Ausführungen keine nennenswerten Abweichungen von den Standardmassen gibt.

In der nachfolgenden Zusammenstellung sind die wichtigsten Punkte aufgeführt:

⁴⁷ ebd., S. 26

⁴⁸ ebd., S. 26

Indachanlagen:

Vorteile:

- + Harmonischeres Gesamterscheinungsbild durch Betonung der horizontalen und geschuppten Anordnung sowie durch die Kleinteiligkeit der farblich angepassten Module.
- + Herstellung nach individuellen Massen je nach Dachgeometrie
- + Herstellung von konfektionierten Blindmodulen innerhalb von verschatteten Bereichen oder bei Dachdurchdringungen
- + Standardprodukte in vielen verschiedenen Tonziegelformaten erhältlich
- + Breite Auswahl an farbigen Frontgläsern
- + Mattierte Oberflächenstruktur

Nachteile:

- Minimierung des Wirkungsgrades von ca. 20% bei farbigen Modulen
- Höhere Material- und Montagekosten
- Umfangreiche Unterdacharbeiten wie Ausgleichen der Unterkonstruktion bei verzogenem Gebälk, neue Lattung und Konterlattung. Erhöhte Anforderungen an die Temperaturbeständigkeit des Unterdachs oder an eine ausreichende Hinterlüftung der Module etc.
- Bei Ganzdachanlagen zusätzliche Spenglerarbeiten an Ortgang, First, Traufe und bei Dachdurchdringungen
- Historische Dacheindeckung geht eventuell verloren

Aufdachanlagen:

Vorteile:

- + Wenige Dachdurchdringungspunkte in der Dachfläche
- + Geringe Eingriffstiefe in die Dachkonstruktion wie Platzierung der Dachhaken
- + Geringe Material- und Montagekosten
- + Bestehende Dacheindeckung bleibt erhalten

Nachteile:

- Solaranlage tritt stark in den Vordergrund, schwebt fast optisch über dem Dach und wirkt störend auf den Gesamteindruck des Daches
- Module werden meist in grossen Standardformaten verbaut und bilden einen grossen Kontrast zur kleinteiligen Dacheindeckung
- Dachdurchdringungen erscheinen wie Fremdkörper, weil die Module nicht bündig anschliessen

3.9 Sonderformate und Speziallösungen

Der Markt für Sonder- oder Spezialanfertigungen im Solarbereich ist sehr klein und daher ein Nischenprodukt. Auch wenn unter Fachleuten die gängige Meinung vorherrscht, dass für die Energiewende „Solaranlagen auf Baudenkmalern (...) vergleichsweise unwirtschaftlich und ihre

Anzahl (...) vernachlässigbar klein“⁴⁹ ist, so hält der Markt auch Lösungen bereit, die ästhetisch die Gesamtwirkung des Denkmals weniger schmälern und durchaus eine mögliche Alternative dem Eigentümer anbieten können, damit dieser auch seinen Anteil zur Energiewende beitragen kann. Vielmehr sollte der Fokus mehr auf dem «wie» anstelle des «ob» liegen. Die im vorangegangenen Teil beschriebenen technischen Bedingungen haben nicht unterschieden zwischen Standard- oder Sonderformaten, sondern sollten Aufzeigen was zum aktuellen Zeitpunkt Stand der Technik ist. Die Nischenprodukte für Solaranlagen sind grösstenteils sehr interessant, mehrheitlich im Bereich der Dach- und Fassadenintegration und fast ausschliesslich bei Photovoltaikmodulen zu verorten. Sie bieten eine Vielzahl an Lösungen an, mit welchem ein Kompromiss für den ungeschmälerten Erhalt des Schutzobjektes erarbeitet werden kann.

Im nachfolgenden Teil sollen einige Produkte vorgestellt werden:

3.9.1 Dachintegrierte Sonderlösungen:

- Solarziegel in Kombination mit einem Tondachziegel (Produkt Panotron von Ziegelei Rapperswil Louis Gasser AG):
Die Solarziegel sind die kleinste Lösung in Form eines Photovoltaikmoduls. Dabei scheinen zwei Produkte wie der Tondachziegel und das Solarmodul symbiotisch zu verschmelzen. Auf der kleinen Oberfläche des Ziegels ist ein Modul aus schwarzen monokristallinen Zellen aufgesteckt und mit einer Klammer gesichert. Die Leistung ist mit ca. 84 W/m² gegenüber einem Standardmodul mit ca. 193 W/m² deutlich geringer. Die Differenz ist auf die Konstruktionsweise des Tonziegels zurückzuführen, bei der sich die Randbereiche gegenseitig überlappen und daher weniger Platz für das Photovoltaikmodul bieten. Optisch kontrastiert die schwarz-blaue, leicht glänzende Oberfläche mit der eher helleren und stumpfen Oberfläche des Ziegels. Aus der Ferne betrachtet, erzielt der Solarziegel die gleiche Wirkung eines kleinteiligen, geschuppten Ziegeldaches. Die im Produktdatenblatt beworbenen Vorteile wie die Nutzung des „passiven Kühleffekt(es) der Tonziegel“⁵⁰ dürfen bezweifelt werden. Denn besonders an heissen Tagen erwärmt sich gleichmässig der ganze



Abb. 52, Solarziegel Panotron



Abb. 53, eingedecktes Dach mit dem Solarziegel

⁴⁹ Akzent Baukultur: Energie, Unnötige Risiken der Energiewende für das Baukulturelle Erbe, Bern 2015, S. 12

⁵⁰ Ein Tondachziegel nutzt die Kraft der Sonne, Ausgabe 03/16, green building schweiz, Bern, S. 46

Solarziegel und kann die Wärme kaum aktiv weiterleiten. Zudem dürfte der Aufwand zur Verdrahtung der vielen Module sehr hoch sein.

- Solarziegel (Produkt Sunstyle von Sunstyle AG):
Der Sunstyle-Solarziegel eignet sich durch sein Komplettangebot besonders für eine Ganzdachmontage, bei dem auch speziell gefertigte Photovoltaikmodule im Dachrandbereich zum Einsatz kommen. Die Installation des quadratischen Solarmoduls orientiert sich an der Spitzwinkeleindeckung von traditionellen Schieferdächern. Dabei wird der monokristalline Solarziegel rautenförmig angeordnet. Nur ist das Modul mit den Abmassen von 87 x 87 cm nicht vergleichbar mit der kleinformatigen Schieferplatte. Die Verwendung wird daher eher bei grossflächigen und weniger verbauten Dachflächen von Interesse sein. Mit einer Leistung von 166 W/m² bewegt sich der Solarziegel im durchschnittlichen Bereich eines Photovoltaikmoduls. Angeboten wird das Produkt in drei Farbvarianten: in solarschwarz, schiefergrau und ziegelrot, wobei bei den beiden Letztgenannten die Leistung um ca. 20% geringer ausfällt aufgrund der eingefärbten Glasoberfläche.



Abb. 54, Indachanlage auf Ökonomiegebäude



Abb. 55, Wohnhausdach



Abb. 56, Montage des Solarziegels

- Solarmodul (FIT 45 von Ziegelei Rapperswil Louis Gasser AG)
Das monokristalline Photovoltaikmodul ist auf das Verlegemass des Flachschiebeziegels FS 03 (ZR) oder Muldeschiebeziegels MS 95 (ZR) von Gasser Ceramic abgestimmt und ist optimal in das Ziegeldach eingebettet. Mit 135 W/m² ist der Ertragswert etwas unterhalb des Durchschnitts von Standardanlagen und hebt sich optisch mit der schwarzen Materialfarbe vom restlichen Dach deutlich ab.



Abb. 57, Indachanlage, Module in Ziegelbreite



Abb. 58, Dachaufsicht der Indachanlage

- Solarmodul von Rathscheck Schiefer und Dach-Systeme - ZN der Wilh. Werhahn KG Neuss
Das rahmenlose monokristalline Solarmodul ist für die Deckbreite von 400 mm konzipiert und fügt sich nahtlos in das Rathscheck-Schiefer-System ein. Die Basis bilden Tragprofile, auf welchen die profilierten Verbinder für die Aufnahme der Module montiert werden. Die Leistung der Module mit 94 bis 115 W/m² sind unterdurchschnittlich.



Abb. 59, Indachmontage auf Schrägdach

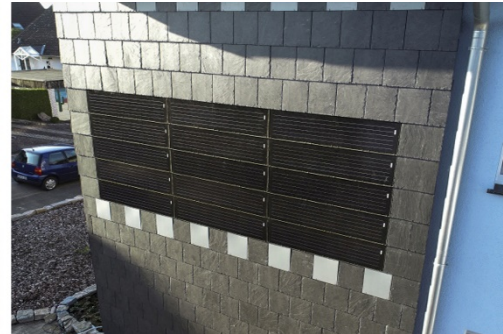


Abb. 60, Fassadenmontage

- Solarmodul von Rheinzink GmbH & Co. KG
Die für die Firma Rheinzink hergestellten Module, stammen von der Solarfirma Soluxtec und werden als dachintegrierte Lösung vertrieben. Die monokristallinen Module sind rahmenlos und werden mit Klemmen auf den Stehfalzen befestigt. Angeboten werden die Lösungen für die Scharbreiten von 530 und 430 mm. Mit einer Leistung von 149 bis 181 W/m² dürften die schwarzen Module etwas unterhalb bis innerhalb des durchschnittlichen Ertragswertes sein.



Abb. 61, Montage auf Stehfalzen



Abb. 62, Detail der Klemmhalterung

- Solarmodul von Dachziegelwerke Nelskamp GmbH
Die Firma Nelskamp führt ein breites Sortiment an Indachanlagen, die zudem auch innovativ anmuten. Alle Produkte sind mit eigens dafür produzierten Dachziegeln abgestimmt und haben zum Ziel, ein möglichst homogenes Erscheinungsbild zu erzeugen. Auffällig sind die verschiedenen technischen Lösungen, Montagevarianten und Designs, die teilweise das Produkt „unsichtbar“⁵¹ machen sollen. Mit zwei Indachlösungen für die Photovoltaik, eins für die Solarthermie und eins als Hybridmodul für beide Energieerzeugungsarten fällt Nelskamp unter den Herstellern auf. Das gerahmte Solarmodul G10 PV wird direkt auf der Lattung verschraubt. Hingegen wird das Modul MS 5 PV auf Trägerziegel montiert. Beide haben gemein, dass mit den „Wasserablaufkerben am unteren Rand der Module (...) die

⁵¹ <https://www.nelskamp.de/index.php/de/energiedaecher/unsichtbar-auf-dem-dach-solarpowerpack>

Dachziegelästhetik zusätzlich⁵² verstärkt werden soll. Mit 99 W/m^2 und 94 W/m^2 ist die Leistung unterhalb des Durchschnittswertes. In identischer Optik und Dimensionierung zum Modul MS 5 PV gibt es das Hybridmodul MS 5 2P für die gleichzeitige Erzeugung von warmem Wasser und Strom. Auf der Rückseite des Moduls ist zusätzlich ein Absorber für die Warmwassererzeugung angebracht, der die zusätzliche Oberflächenwärme zum Speicher abführt und somit den Wirkungsgrad der Stromproduktion verbessert. Die thermische Ausbeute wird mit 403 W/m^2 angegeben, was in etwa ein Viertel weniger der Leistung eines Standardkollektors entspricht. Der Solar-Dachpfannen-Kollektor als SolarPowerPack (SPP) bezeichnet, steht für den fast unsichtbaren Dachkollektor. Anstelle des Finkenberger Ziegels wird in derselben Ausbildung ein doppelwandiger Absorber aus Aluminium montiert. Die Pfannen sind über Steckverbindungen miteinander verbunden und bilden in der Gesamtheit den Kollektor. Das System wird zusammen mit einer dafür entwickelten Wärmepumpe vertrieben, wobei diese nicht zwangsläufig ein Bestandteil der Anlage sein muss. Mit einer Leistung von durchschnittlich 300 W/m^2 liegt es deutlich unterhalb des Durchschnittswertes. Das Produkt wird in den Farben Schwarz, Granit, Braun und Rot angeboten.



Abb. 63, ziegelintegrierte Variante MS 5 PV



Abb. 64, gebäudeintegrierte Variante Planum PV



Abb. 65, Solarthermieanlage SolarPowerPack



Abb. 66, Montage des Kollektors SolarPowerPack

⁵² Solarbroschüre Nelskamp, Stand: 11.04.2018, S. 3

- Solarmodul von Bramac Dach Systeme International GmbH
Das monokristalline und gerahmte Modul entspricht der Deckbreite des Dachsteins Bramac Tegalit und des Dachziegels Bramac Turmalin. Auffallend sind die Lüftungsschlitze am unteren Rand der Module, um die Hinterlüftung der Module zu verbessern. Die Montage erfolgt direkt auf der Dachlattung. Mit 67 W/m^2 ist die Leistung im untersten Drittel des Durchschnittswertes anzusiedeln.



Abb. 67, Indachanlage



Abb. 68, Indachanlage

- Solarziegel TCRDO 1000 von AutarQ GmbH
Die monokristalline Solarzelle von der Firma AutarQ ist direkt auf der Oberfläche des Ziegels Domino von der Fa. Creaton montiert und kann wie der Keramikziegel auf dem Dach konventionell verlegt werden. Die Leistung ist mit 91 W/m^2 sehr niedrig. Seit Oktober 2020 wird ergänzend zum Standardlieferprogramm auch eine rot eingefärbte Solarzelle auf dem roten Creatonziegel vertrieben.



Abb. 69, Indachanlage auf anthrazitfarbenen Ziegeln



Abb. 70, Indachanlage



Abb. 71, Indachanlage in rotes Ziegeldach



Abb. 72, Verlegeanordnung



Abb. 73, Indachanlage mit rot eingefärbten Modulen



Abb. 74, Detailansicht

- Solarmodul von Issol Suisse Ltd.

Das kristalline Modul ist auf der Glasinnenseite des Frontglases farbig bedruckt. Mit 120 W/m^2 weicht es deutlich vom Durchschnittswert vergleichbarer Solarmodule ab, was auf den Farbauftrag zurückzuführen ist. Die Oberfläche ist matt und stark strukturiert, um den Einfluss von Sonnen- und Wolkenreflexionen auf ein Minimum zu reduzieren. Gemäss den Angaben des Herstellers sind unterschiedliche Masse möglich. Zur Orientierung können folgende Masse angeboten werden: Rahmenmass (H x B: 500 oder 600 x 1630 mm) oder (H x B: 600 bis 800 x 1630 mm).

Die Photovoltaikmodule sind in verschiedenen RAL-Farbtönen wie 8004 und 8007 erhältlich.



Abb. 75, Indachanlage als Ganzdachanlage



Abb. 76, Detailausschnitt

- Solarmodul Match Tile und Slate, Solarziegel von Megasol Energie AG
Die Firma Megasol schickt gleich drei Produkte ins Rennen, welche sich an den kleinformatischen Dachziegeln orientieren. Die Solarmodule Match Tile und Slate unterscheiden sich in der rahmenlosen und eingerahmten Variante. Beide sind farbig bedruckt und orientieren sich an den klassischen Ziegel- und Schieferformaten. Die monokristallinen Glas-Glas-Module werden auf einer speziellen Hakenkonstruktion überlappend montiert und ersetzen im Mindestmass zwei Ziegel (Ziegelmass H x B: 380 x 446 mm bzw. 380 x 407 mm). Die durchschnittliche Leistung wird mit ca. 85 bis 185 W/m² bei eingefärbten Modulen und mit 195 W/m² bei schwarzen Modulen angegeben. Damit rangieren die Indachmodule im unteren und oberen Leistungsbereich von Standardmodulen. Das Farbspektrum ist recht breit und kann nach Kundenwunsch auch angepasst werden. Der Solarziegel wiederum wird wie ein herkömmlicher Ziegel aufs Dach montiert. Auch diesen gibt es in zwei Farbvarianten wie *Full black* und *Terracotta* und wird in den Abmassen von vier Ziegelformaten angeboten.



Abb. 77, Match – Indachsystem

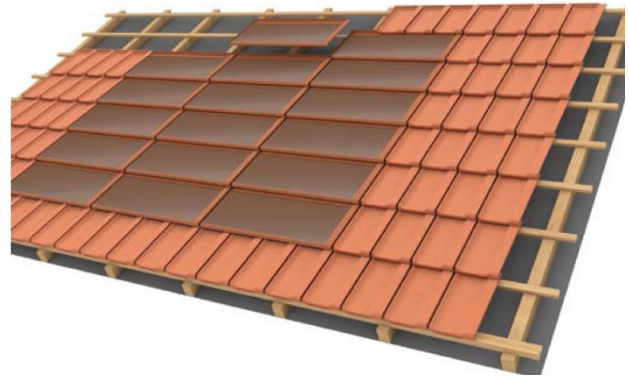


Abb. 78, Solarziegel

- Solarmodul Sunskin roof von Eternit (Schweiz) AG
Das monokristalline Glas-Glas-Modul ist rahmenlos und besteht aus drei Haltehaken pro Element sowie einem hochwertigen Fugenprofil. Die Montage erfolgt ebenfalls überlappend. Zu den Standardmassen wird auch ein etwas schmaleres Modell mit 757 mm Baubreite angeboten. Es ist erhältlich in der Farbe schwarz. Abweichende Modulmasse sind



Abb. 79, Anordnung für eine Indachanlage



Abb. 80, Beispiel für eine Ganzdachanlage

auf Anfrage möglich.

- Solarmodul SolteQ-xxx von SolteQ Solardach GmbH
Die in Flachziegel-, Biberschwanzziegel- und Schindelformat angebotenen Glasmodule sind besonders für den Einsatz von Ganzdachsanierung geeignet. Dabei werden die schwarzen monokristallinen Zellen auf der Rückseite mit dem Glas verklebt (Glas-Folien-Laminat). Der Solarziegel besticht durch das geringe Eigengewicht und der matten Oberflächenstruktur. Die rahmenlosen Solarziegel werden in klassischer Verlegetechnik auf das Dach montiert. Mit 98 W/m^2 bis 212 W/m^2 liegt die Leistung der Ziegel unterhalb bis oberhalb des Durchschnittswertes. Die Produktreihe wird in weiteren Farben wie z.B. Terracotta, Braun und Grau angeboten. Dazu besteht ein breites Sortiment an weiteren Zubehörteilen.



Abb. 81, Beispiel für rechteckige Solarschindeln



Abb. 82, Beispiel für quadratische Solarschindeln

3.10 Ausschluss von Solaranlagen

Im vorangegangenen Kapitel ist eine Vielzahl von Produkten aufgelistet worden, die zum Teil die Kriterien für eine gute ästhetische Integration von Solaranlagen auf Schutzobjekten erfüllen. Es gibt jedoch auch Situationen, bei denen der Bau der Solaranlagen nicht zur Diskussion stehen sollte, weil die Bewahrung des Gesamterscheinungsbildes ein höheres Gut darstellt als die Umsetzung der Energieziele des Bundes.

Nachfolgend werden einige Kriterien aufgelistet, die ungeeignet für den Einsatz von Solaranlagen sind und sich in zwei Kategorien einteilen lassen:

bautechnisch:

- Die Statik oder Konstruktion des Daches keine weiteren Eingriffe zulässt.
- Die Dichtigkeit der Dachhaut nicht gegeben ist.
- Wenn es eine zu grosse Verschattung auf die Dachfläche gibt.
- Die Solarprodukte keine Annäherung an die Kleinteiligkeit des klassischen Tonziegels aufweisen und/oder eine geschuppte Anordnung auf dem Dach nicht möglich ist. Und wenn die Bedingung nicht erfüllt werden, eine ruhige und geschlossene Dachfläche zu erzeugen.

kunsthistorisch/ denkmalpflegerisch:

- Wenn die Solarbauteile sich optisch, materiell und gestalterisch sich nicht in das Schutzobjekt oder Ortsbild eingliedern lassen und damit nachteilig auf die Gesamtwahrnehmung einwirken.
- Der Dachstuhl ein schützenswertes Bauteil ist und der Einbau der Solaranlage zu einer schweren Beeinträchtigung der Wahrnehmbarkeit des Bauteils führt.
- Ortsbilder von nationaler Bedeutung (ISOS) mit Erhaltungsziel A. Dort gilt, dass sämtliche Gebäude ungeschmälert zu erhalten sind.
- UNESCO-Welterbestätten wie die mittelalterliche Innenstadt von Bern.
- Historische Dachlandschaften, welche von Aussichtspunkten gut einsehbar sind.
- Kulturbauten, Plätze und Ensembles von nationaler Bedeutung.

4. Entscheidungs- oder Empfehlungsmatrix für Fachplaner und Sachkundige

Mit der Überlegung eine Übersicht oder eine Empfehlungsmatrix für ästhetische Lösungen zu erstellen, rückte der Blick von der schier breiten Masse an Standard-Solaranlagen auf deren Sonderlösungen. Denn der überwiegende Teil der bestehenden Solaranlagen hat wenig ästhetischen Bezug auf die Eigenheiten des Daches und dessen Gesamterscheinungsbild. Daher ist es wenig hilfreich Produkte aufzulisten, die für die wenigen Schutz- und Inventarobjekte keine zufriedenstellende Lösung anbieten. Die Suche nach den Auswahlkriterien gestaltete sich anfangs etwas schwierig, weil in der Vorstellung die Dachformen ein wichtiges Kriterium sein sollten. Doch eine Ableitung von der Dachform zu den Sonderlösungen ist fast unmöglich, weil es das entscheidende Bauteil die Dacheindeckung nicht berücksichtigt. Die Dacheindeckung in Gestalt, Materialität und Ausprägung gibt zwangsweise das Solarprodukt vor, welches sich am Besten in das Dach integrieren lässt. Besonders die Kleinteiligkeit und Anordnung der Dachziegel oder Schieferplatten gibt der Dachhaut das geschuppte bzw. profilierte Aussehen. Neben der Oberflächenstruktur ist auch die Materialität ein weiteres wesentliches Kriterium. Die eingedeckten Keramikziegel sind von der Oberfläche her glatt, doch meistens matt in der Aussenwahrnehmung. Ähnlich verhält es sich auch mit Schiefer- und Eternitplatten oder Blechfalzeindeckungen. Damit ergeben sich Bewertungsmöglichkeiten wie gut ein Solarprodukt sich einpasst und für das Objekt geeignet erscheint. In der Übersicht ist dies unter «Eignung auf Schutzobjekten» zu finden. Ein weiteres Kriterium ist der zu erwartende Energieertrag der Solaranlage, bezogen auf den Quadratmeter Dachfläche. Der Bauherr oder Eigentümer bezweckt mit der Solaranlage einen möglichst hohen Energieertrag zu erzielen, damit mindestens der Eigenbedarf an Energie abgedeckt werden kann. Standardanlagen vermögen mit kleinerer Fläche diese Leistung zu erbringen, stehen jedoch gestalterisch im Widerspruch mit der Gesamtwirkung des Objektes. Die Sonderlösungen sind hingegen im überwiegenden Teil eher nur halb so leistungsstark und benötigen daher die doppelte Fläche auf dem Dach. Neben der besseren Integrierbarkeit in die bestehende Dachfläche, können die Sonderlösungen nahtlos, ohne gestalterischen Bruch, mit den herkömmlichen Ziegeln oder Platten kombiniert werden. Die Angaben sind dazu unter «Bemerkungen» zu finden. Meistens sind die Sonderlösungen sehr auf die Produktlinie des Herstellers abgestimmt. Nur wenige Firmen haben in ihrem Sortiment eine variable Modulgrösse, die mit anderen Dacheindeckungsmaterialien in Abmessung und Farbe zusammenpassen.

4.1 Übersicht von Solarindachanlagen in Sonderformaten

Stand: Juni 2020

Material der Eindeckung		Eignung des Produktes für Indachanlagen	Dachneigung	Leistung Wp/m ²	Kosten	Eignung auf Schutzobjekten	Bemerkungen		
Ziegel	Biberschwanzziegel	SolteQ-Biber	10 bis 90°	102 bis 166 W/m ²	↗	++	Einsatz nur bei Ganzdacheindeckung		
	Glatt-/Flachziegel	SolteQ-Systemziegel	10 bis 90°	125 bis 205 W/m ²	↗	++	Geeignet zur Eindeckung für folgende Dachziegel: Braas-Tegalit, Braas-Turmalin, Marley-Modern-Tile, Creaton-Kapstadt, Wienerberger-Alegria 8-12, Wienerberger-Plano		
		Panotron Solarziegel PAN28	17 bis 60°	84 W/m ²	↗	++	Kompatibel mit Flachschiebeziegel Solar-F (ZR)		
		AutarQ-Dominoziegel	15 bis 60°	91 W/m ²	↗	++++	Kompatibel mit Flachziegel Creaton-Domino, rot eingefärbte Zelle auf verschiedenen roten Ziegeln montierbar		
		Megasol Solarziegel	3° bis k.A.	k.A.	↗	++++	Geeignet zur Eindeckung für folgende Dachziegel: Flachschiebeziegel FS 03, Muldeschiebeziegel MS 95, Creaton-Cantus Reformziegel, Creaton-Terra Optima Reformziegel		
Eternit	Rechteckplatten	SolteQ-Infinity	3 bis 90°	122 bis 155 W/m ²	↗	+++	Einsatz nur bei Ganzdacheindeckung		
		Sunskin-roof-Modul von Eternit	10 bis 60°	153 W/m ²	↗	++	Kompatibel mit Eternitplatten in der Breite von 757 mm		
Schiefer	Coquettesdeckung	SolteQ-Wave	3 bis 90°	112 bis 152 W/m ²	↗	+++			
	Spitzwinkeldeckung	SolteQ-Quad40	10 bis 90°	170 bis 212 W/m ²	↗	+++	in Kombination mit echtem Schiefer möglich		
	Bogenschnittdeckung	SolteQ-Solarschindel	3 bis 90°	98 bis 120 W/m ²	↗	+++	in Kombination mit echtem Schiefer möglich		
	Universaldeckung	SolteQ-Solarschindel	3 bis 90°	98 bis 120 W/m ²	↗	+++	in Kombination mit echtem Schiefer möglich		
Blech	Scharbreite 530 und 430 mm	Soluxtec für Rheinzink PV	bis 60°	149 bis 181 W/m ²	↗	++	in Kombination der Scharbreiten von Rheinzink möglich		
Sonderformen im kleineren Modulformat	Rechteckdeckung Schiefer	Rathscheck Solarmodul für Schieferdeckung	25 bis 90°	94 bis 115 W/m ²	↗	++	in Kombination mit echtem Schiefer von Rathscheck möglich		
	Glatt-/Flachziegel	Photovoltaikmodul Bramac Tegalit	35 bis 69°	67 W/m ²	↗	++	Kompatibel mit Dachstein Bramac-Tegalit		
		Photovoltaikmodul Bramac Turmalin	20 bis 69°	67 W/m ²	↗	++	Kompatibel mit Dachziegel Bramac-Turmalin		
		Photovoltaikmodul G10 PV Nibra G10	17 bis 70°	99 W/m ²	↗	++	Kompatibel mit Dachziegel Nelscamp-Nibra G10		
		Photovoltaikmodul MS 5 PV Nibra MS 5	30 bis 70°	94 W/m ²	↗	++	Kompatibel mit Dachziegel Nelscamp-Nibra MS 5		
		unspezifisch	Photovoltaikmodul Solar-Terra von Issol	k.A.	120 W/m ²	↗	++++	Kompatibel mit diversen Dachziegelformaten auf Anfrage, Standard in der Farbe RAL 8004 und 8007, auch in anderen Farben lieferbar	
			Photovoltaikmodul Match tile M18-4, M45-10 von Megasol	3° bis k.A.	85 bis 110 W/m ²	↗	++++	Kompatibel mit diversen Dachziegelformaten, Höhe 465 mm, Standardfarbe Terracotta, auch in anderen Farben lieferbar	
			Photovoltaikmodul Match tile M22-4, M55-10 von Megasol	3° bis k.A.	105 bis 134 W/m ²	↗	++++	Kompatibel mit diversen Dachziegel- oder Schieferformaten, Höhe 465 mm, Standardfarbe Full Black, auch in anderen Farben lieferbar	
			Photovoltaikmodul Match slate M22-4, M66-12, M110-20 von Megasol	3° bis k.A.	116 bis 139 W/m ²	↗	++++	Kompatibel mit diversen Dachziegel- oder Schieferformaten, Höhe 465 mm, Standardfarbe Full Black, auch in anderen Farben lieferbar	
			Photovoltaikmodul Match slate M20-4, M60-12, M100-20 von Megasol	3° bis k.A.	105 bis 127 W/m ²	↗	++++	Kompatibel mit diversen Dachziegel- oder Schieferformaten, Höhe 465 mm, Standardfarbe Totally Black, auch in anderen Farben lieferbar	
			Photovoltaikmodul Match slate M18-4, M54-4, M90-20 von Megasol	3° bis k.A.	95 bis 114 W/m ²	↗	++++	Kompatibel mit diversen Dachziegel- oder Schieferformaten, Höhe 465 mm, Standardfarbe Grey, auch in anderen Farben lieferbar	
			Photovoltaikmodul Panotron FIT 45 von Gasser	7 bis 40°	135 W/m ²	↗	++	Kompatibel mit Flachschiebeziegel FS 03 (ZR) oder Muldeschiebeziegel MS 95 (ZR) von Gasser Ceramic	
			Photovoltaikmodul Panotron FIT 52 von Gasser	7 bis 40°	153 W/m ²	↗	++	Kompatibel mit Flachschiebeziegel FS 03 (ZR) oder Muldeschiebeziegel MS 95 (ZR) von Gasser Ceramic	
		Sonderform Hybridmodul	Spitzwinkeldeckung	Sunstyle-Solarziegel von Sunstyle	3 bis 90°	166 W/m ²	↗	+++	Einsatz nur bei Ganzdacheindeckung
			Glatt-/Flachziegel	Hybridmodul Nibra MS 5	30 bis 70°	95 W/m ² _{el.} 202 W/m ² _{th.}	↗	++	Kompatibel mit Dachziegel Nelscamp-Nibra MS 5, geringe Aufbauhöhe von 25 mm!
Sonderform Solarthermie	Pfannenziegel	Solar-Dachpfannen-Kollektor Finkenberger Pfanne	25° bis k.A.	300 W/m ² _{th.}	↗	++++	Kompatibel mit Nelscamp-Finkenberger Pfanne		

4.2 Zusammenfassung

Die Übersicht zeigt deutlich, dass der freie Markt immer stärker auf die Bedürfnisse nach ästhetisch-anspruchsvolleren Solarlösungen reagiert und Produkte anbietet, die in Sachen Leistung und Qualität immer stärker an Bedeutung gewinnen werden. Besonders der Grossteil namhafter Ziegelhersteller hat sich der Photovoltaik stark angenommen und bietet mittlerweile eine breite Palette an Produkten an. Besonders prädestiniert erscheinen, wegen ihrer ebenen Fläche, Flachziegel oder flache Dachsteine für die Aufnahme von Photovoltaikzellen zu sein. Jeder Dachstein wird somit zu einem Minimodul und bildet in der Gesamtheit des Daches eine stattliche Photovoltaikanlage, welche den Bedarf eines Einfamilienhauses sehr gut abdecken kann. Ästhetisch hingegen sind trotz der Kleinteiligkeit der Solarziegel diese optisch noch nicht zufriedenstellend gelöst. Eine monokristalline schwarze Zelle auf einem roten Ziegel fällt sofort ins Auge und wird eher störend im Gesamtbild des Daches wahrgenommen. Dieser Umstand scheint den Herstellern bereits bekannt zu sein.⁵³ Jedoch sind farblich kongruente Solarziegel eher die Ausnahme. Die Gründe dafür sind nicht genau bekannt, könnten jedoch im Zusammenhang mit einer verminderten Leistung der Photovoltaikzellen liegen. Denn gegenüber schwarzen Zellen absorbieren rote Zellen nicht das gesamte Lichtspektrum, was die elektrische Leistung um ca. 20% reduziert. Einen anderen Weg haben die Modulhersteller eingeschlagen, indem sie die Länge der Module auf das Ziegelmass bzw. das Deckmass angepasst haben. Das Photovoltaikmodul wird dann wie ein herkömmlicher Ziegel auf das Dach in geschuppter Anordnung montiert. Optisch fällt diese Dacheindeckung durch die dunklen Photovoltaikzellen und der Baubreite der Module auf. Auch hier haben einige wenige Hersteller die Farbgebung angepasst und die Länge der Module auf eine gewisse Anzahl Ziegel reduziert. Damit ähnelt das Dach im Gesamtcharakter eher einem klassischen Eternitdach. Das liegende Format der Photovoltaikmodule hebt die Horizontalität des Daches zu stark hervor. Dazu fallen die Module aufgrund ihrer Glasabdeckung durch eine glatte, leicht spiegelnde Oberfläche auf. Die Lösung ist ein Strukturglas oder eine Entspiegelung der Oberfläche. Einige Modulhersteller bieten Module mit entspiegelten Frontglas, welches zudem auf der Rückseite farblich bedruckt ist, an. Im Gegensatz zu den kreativen Lösungen in der Photovoltaikbranche ist der Solarthermiemarkt kaum mit innovativen Lösungsansätzen präsent. In der Untersuchung hatte nur eine Firma mehrere Lösungen im Produktsortiment, die optisch wie auch ästhetisch ansprechend sind. Etwa die Idee eines Ziegelkollektors, der sich aus einer Vielzahl von wasserführenden Dachziegeln zusammensetzt und optisch kaum vom traditionellen Ziegel unterscheiden lässt. Die farblichen Nuancen gegenüber dem Tonziegel sind nur beim zweiten Blick erkennbar. Diese technische Raffinesse kommt ohne weitere aufwändige Konstruktionen aus. Denn über die wärmeleitende Oberfläche wird das durchströmende Wasser erhitzt und steigt durch natürliche Konvektion auf und wird anschliessend über Sammelleitungen zum Speicher im Haustechnikraum geführt. Der Grossteil der anderen Solarthermiehersteller hält weiterhin Standardlösungen parat, die grossformatig (> 2.5m²) und in dunkler Glasabdeckung ausgebildet sind. Auch hier dominieren leicht spiegelnde Oberflächen.

Die untersuchten Produkte sind gesamthaft noch nicht ganz zufriedenstellend für die Anforderungen des Denkmalschutzes bei Indachanlagen konzipiert. In der Photovoltaik haben die Ziegelhersteller gute Lösungen parat, welche hinsichtlich der Farbwahl und Oberflächenstruktur noch verbesserungswürdig

⁵³ Telefongespräch mit der Firma AutarQ vom 11. Juni 2020. Die Firma arbeitet verstärkt an der technischen Zulassung von roten Solarziegeln wie Flachziegel und Biberschwanz.

sind. Bei den Solarkollektorherstellern fehlen überwiegend innovative Lösungen, die eine bessere Integration in die Dachlandschaft ermöglichen.

Hieraus lassen sich folgende Empfehlungen gegenüber den Solarfirmen ableiten, die eine gute Integration in ein Schutz- oder Inventarobjekt darstellen:

- Kleinformatige Solarprodukte, in Anlehnung an die Grösse des Bauteils der Dacheindeckung
- Matte und strukturierte Oberfläche
- Solarprodukt und Eindeckung müssen farblich übereinstimmen
- Betonung der Horizontalen, im Sinne der traditionellen Dacheindeckung
- Homogene Übergänge von Solarprodukt zu bestehender Dacheindeckung

5. Denkmalpflegerische Aspekte mit Beispielen

Im nachfolgenden Abschnitt sollen drei Beispiele aufgezeigt werden, die nach langen Diskursen zwischen dem Heimatschutz Zürich (ZHV) und der Bauherrschaft oder der Gemeinden zu zufriedenstellenden Lösungen geführt haben. In den aufgeführten Fällen haben die Gemeinden eine Baufreigabe erteilt, die zwar konform zu der örtlichen Bau- und Zonenordnung (BZO) in Kernzonen und des Art. 18a Abs. 1 bis 4 RPG war, jedoch die Bestimmung nach Art. 18a Abs. 2 Bst. b nicht ausreichend prüften. Denn der Bund verpflichtet die Kantone zur Wahrung der öffentlichen Interessen bei bestehenden wertvollen Ensembles, Quartieren oder Siedlungen durch „klar umschriebene(n) Typen von Schutzzonen eine Baubewilligungspflicht vor(zu)sehen.“⁵⁴ Im Kanton Zürich bedarf es für die Bewilligung für „Sorgfältig in Dach- und Fassadenfläche integrierte Solaranlagen“⁵⁵ nach § 238 Abs. 4 PBG eine Interessenabwägung mit vollständiger Abklärung des Eigen- und Situationswertes, damit die Qualität des Schutzobjektes beurteilt werden kann. In der Praxis wird dieser Verpflichtung wenig Sorge getragen und führte seitens des ZHV häufig zu Rekursen der Bauentscheide.

Der ZHV hat aufgrund des steigenden Interesses an dieser Thematik einen Leitfaden entwickelt, der auf Grundlage diverser Rechtsfälle beruht und für die gutachterliche Beurteilung von Solaranlagen auf Schutzobjekten sowie von geschützten Ortsbildern zu Rate gezogen werden kann. Die Adressaten sind neben den Gutachtern, Architekten und Denkmalpflegebehörden auch die Gemeinden, welche für diese Thematik sensibilisiert werden sollen.

Die kleine Anzahl an gelungenen Beispielen spiegelt die Situation der kleinen Anzahl von gebauten Solaranlagen auf geschützten Objekten oder Siedlungen sehr deutlich wider.

5.1 Leitfaden des Heimatschutzes Zürich (ZHV)

Der Leitfaden ist einfach und klar strukturiert und inhaltlich auf die gutachterliche Beurteilung von Solaranlagen ausgerichtet. So soll die Fachperson die Sachverhalte mittels dieses Leitfadens ermitteln können und die Vereinbarkeit von Solaranlagen mit den Schutzziele des Objektes abwägen. Der Fokus richtet sich auf die Beurteilung des Eigenwertes des Daches, besonders dessen Materialisierung, dem Ziegel. Die Autorenschaft rückt die Frage des «Wie» in den Vordergrund. Denn mit dem Ersatz der

⁵⁴ <https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/19790171/index.html>, RPG Art. 18a, Abs. 2 Bst. b

⁵⁵ § 238 Abs. 4 PBG, Kanton Zürich

bestehenden Dacheindeckung durch Solarziegel oder -kollektoren wird das Erscheinungsbild nachhaltig verändert. Die Untersuchung wird auf den Ensemblewert, den Situationswert und die Bedeutung des Objektes im Ortsbild ausgeweitet. Im Anschluss wird auf die Platzierung der Solaranlagen eingegangen. Gemeint ist die Favorisierung des Standortes bzw. die Bevorzugung von „kollektiven Lösungen an weniger sensiblen Standorten“⁵⁶ wie auf unbedeutsamen Nebengebäuden auf denen Solaranlagen realisiert werden können. Im nächsten Abschnitt geht es um die Ausführung der Solaranlagen, deren Positionierung auf dem Dach, unter der Massgabe, dass der Eingriff „eine einheitliche Eindeckung sowohl bezüglich der Materialisierung wie auch der Farbe“⁵⁷ aufweist. Wobei die Gesamtwahrnehmung hinsichtlich einer einheitlichen Ästhetik nicht vernachlässigt werden darf. Produkte, die sich „an der herkömmlichen Textur der Dächer orientier(t)en“⁵⁸, sind zu bevorzugen. Der Abschnitt schliesst mit einer Zusammenstellung von Voraussetzungen, die sich für den Bau von Solaranlagen eignen. Nachfolgend werden diese hier vollumfänglich aufgelistet, weil diese eine Kernaussage zur Wahl des Standortes der Solaranlagen bilden:

- „Es handelt sich *nicht um ein hochkarätiges Schutzobjekt* oder ein *bedeutsames Ortsbild*.
- Es wird *keine wertvolle Substanz der historischen Dachkonstruktion zerstört*.
- Das Dach wird *vollflächig*, mit *kleineren* oder mit in Tonziegeln eingeschobenen, *wenig spiegelnden* Modulen und *schuppig* verlegt.
- Die *Farbe* der Module ist an die Dachlandschaft und die Umgebung *angepasst*.
- Die *Dachabschlüsse* sind *im Detail gezeichnet* und *befriedigend gelöst*.“⁵⁹

Der Leitfaden schliesst mit der Bemerkung, dass dem Bau von Solaranlagen auf Schutzobjekten zugestimmt werden kann, wenn durch ein Gutachten die denkmalpflegerischen Fragen abgeklärt worden sind und von einer gestalterisch versierten Fachperson begleitet wird.

5.2 Beispiel 1:

Photovoltaikanlage in Rüti ZH

Projekt, Technologie, Eingriffstiefe, Gestaltung oder Ästhetik, Verträglichkeit mit dem Schutzobjekt, Würdigung und/ oder Fazit

Die Bauherrschaft beabsichtigte in Rüti auf einem Nebengebäude, einer Scheune, eine Photovoltaikanlage zu installieren. In der Baueingabe wurde eine ganzflächige Aufdachanlage mit grossformatigen Modulen (BxH: 1053 x 1590mm) eingereicht. Die Module waren vollständig in schwarzer Farbe. Nach Prüfung der Unterlagen erfolgte die Ablehnung des Baugesuchs mit der Begründung, dass es wegen fehlender Vereinbarkeit mit den Zielen des Ortsbildschutzes die Bewilligung verweigere. Die Liegenschaft befindet sich im Perimeter des Bundesinventars schützenswerter Ortsbilder (ISOS) mit Erhaltungsziel A und im Perimeter des Inventars schutzwürdiger Ortsbilder mit überkommunaler Bedeutung. Der Bereich der Scheune ist prägender Teil des Ensembles. Daher wird der sorgfältigen Gestaltung des Objektes ein hoher Stellenwert beigemessen. Der Bauherr suchte daraufhin

⁵⁶ Solaranlagen auf Schutzobjekten und in geschützten Ortsbildern: Wie beurteilt man, ob sie denkmalverträglich sind? Leitlinien des Zürcher Heimatschutzes, ZVH Zürich, 27.05.2019, S. 5

⁵⁷ ebd. S. 5

⁵⁸ ebd. S. 5

⁵⁹ ebd. S. 6

die Meinung des Heimatschutzes mit welchen Modulen ein besseres Ergebnis zu erzielen sei. Der Vorschlag zielte auf eine ganzflächige Eindeckung mit farblich angepassten Solarziegeln. Zur Ausführung kamen schwarze Solarmodule „FIT 45“ der Firma Gasser in der Breite eines Pfannenziegels, jedoch in der Länge von vier Ziegeln. Die Abschlüsse zu den Rändern wurden mit einem Ziegelkranz ausgeführt. Der Heimatschutz zeigte sich mit der Lösung nicht zufrieden, weil durch die kleinteiligen Ziegel im Randbereich kein einheitliches Bild erzeugt wurde. Vielmehr hätten mit der Bemusterung der Anlage auch die Abschlussdetails näher geklärt werden sollen. Tatsächlich ist das Produktsortiment der Firma Gasser Keramik auf eine eingebettete Lösung der Solaranlage ausgerichtet. Die Abschlüsse bilden Standardziegel aus dem eigenen Produktspektrum. Für eine Ganzdachlösung hätte es eher Randabschlüsse mit schwarzen Blechen benötigt, die sicherlich ein örtlicher Spenglerbetrieb hätte ausführen können. So wirkt das Gesamtbild des Scheunendaches mit der Photovoltaikanlage etwas unbeholfen. Ebenfalls nachteilig wirkt sich, trotz der Ziegellänge, die glatte Fläche sowie das breite Format der Solarmodule aus. Die Dachfläche kann als unruhig wahrgenommen werden. Positiv ist hervorzuheben, dass die Module geschuppt verlegt worden sind und so dem Erscheinungsbild eines traditionellen Ziegeldaches am ehesten entspricht. Trotz der teilweise unbefriedigenden Detaillösungen kann das Resultat als akzeptables Beispiel für eine ästhetische Integration einer Photovoltaikanlage ins Ortsbild gesehen werden. Die gestörte Ästhetik im Gesamterscheinungsbild des Daches ist auch ein Beweis für die technischen Mängel seitens der Lieferanten oder Hersteller von Ganzdachlösungen.



Abb. 83, Ortsbildschutzbereich



Abb. 84, Lage des Daches

Wünschenswert wären auch hier technische Nachbesserungen in der Ausprägung der Solarziegel.

Wichtige Kennzahlen zum Projekt:

Baujahr:	Februar 2019
Fabrikat Module:	Gasser FIT 45, 6“ Zellen, schwarzer Aluminiumrahmen. 45 Wp
Leistung:	144 Module = 6.5 kWp
Fläche:	46 m ² Modulfläche bei 50 m ² Dachfläche
Ausrichtung:	S/O
Dachneigung:	zweifach geneigt, 50° und 45°

Beschreibung Eingriffstiefe: Indachanlage, komplette Sanierung des Unterdachs wie Verschalung mit Brettern, temperaturbeständige Folie bis 120°C, neue Dach- und Konterlattung



Abb. 85 Dach vor der Sanierung



Abb. 86, Dach mit PV-Indachanlage



Abb. 87, Fernwirkung der PV-Anlage



Abb. 88, Ansicht des Grundstückes von der Strasse aus gesehen

Weitere Bemerkungen: Verschattungen in unmittelbarer Umgebung; Osten: Fichten in ca. 15 m Entfernung, Schatten bis ca. 10 Uhr, Schatten vom Hauptgebäude S/O im Zeitraum vom November bis April

5.3 Beispiel 2

Photovoltaikanlage in Illnau-Effretikon ZH

Projekt, Technologie, Eingriffstiefe, Gestaltung oder Ästhetik, Verträglichkeit mit dem Schutzobjekt, Würdigung und/ oder Fazit

Auf dem Schutzobjekt, einem ehemaligen Mehrfamilien-Handwerker- und Bauernhaus, ergriff die Bauherrschaft die Gelegenheit mit der Sanierung des Daches die bestehende Solaranlage zu erneuern. Jedoch mit der Massgabe das Erscheinungsbild des im 18. Jahrhundert errichteten Riegelhauses nicht zu schmälern. Im ausgearbeiteten Erhaltungskonzept wurde der Erhalt der Gebäudecharakteristik wie „die Gliederung und Stellung der Gebäudeteile am Hang der bäuerlichen Nahumgebung und der Weiträumigkeit zum dahinterliegenden einst offenen Wiesenland“⁶⁰ hervorgehoben. Besonders die Ausprägung der unterschiedlichen Bau- und Funktionsteile sollten bewahrt werden. Mit der Vorbereitung der Sanierungsarbeiten entschloss sich die Bauherrschaft die Solarthermieanlage nicht mehr zu ersetzen. Stattdessen sollte das gesamte Dach mit einer Photovoltaikanlage bestückt werden. Das Resultat aus den Gesprächen mit der Gemeinde war die Wahl der Solarziegel von Gasser Keramik. Im System Panotron wurden monokristalline Solarzellen in den kleinformatigen Solarziegel F verbaut, welche wie herkömmliche Dachziegel verlegt werden können. Übergänge oder Anschlüsse erfolgten mit demselben Dachziegel, jedoch ohne die Solarzelle. Damit sollte ein einheitliches und homogenes Erscheinungsbild des Daches erzeugt werden. Bei dem vorliegenden Projekt wurde eine hinterlüftete Dachkonstruktion mit Unterdeckbahnen aus Holzfasernplatten gewählt. Dadurch musste das Dach um einige Zentimeter durch Aufdopplung der Sparren angehoben werden. Die Dachüberstände blieben mit den ortstypischen Untersichten auf Dachlattung und Ziegel erhalten. Dadurch ergab sich die Situation, dass die Kabelverbindungen zwischen den Solarziegeln sichtbar wurden. An den Ortsgängen wurden traditionell Zahnleisten montiert und zusätzlich mit Kupferblech verkleidet.

Die Photovoltaikanlage ist in der Fernwirkung kaum auszumachen. Es sei denn, der ungeschulte Betrachter kennt das Produkt und weiss, dass es sich um kleinteilige Solarmodule handelt. Jedoch irritiert bei genauer Betrachtung die leicht glänzende Oberfläche. Diese erinnert an glasierte Ziegel, die in der Schweiz eher untypisch sind. Die farbliche Anpassung durch die Wahl dunkelbrauner Dachziegel verringert zwar den Kontrast zwischen Solarzelle und Keramikziegel, kann diesen aber nicht vollständig kaschieren. Der Unterschied zwischen einer matten und glatten Oberfläche bleibt weiterhin sichtbar. Wünschenswert wäre auch hier eine Verbesserung der Produkte seitens der Hersteller, um z.B. die Reflexionen der glatten Oberfläche z.B. mit Strukturglas entgegenzuwirken. Dadurch könnte der Unterschied zwischen den Materialien noch deutlicher verringert werden.

⁶⁰ Erwägungen & Leitlinien als Basis für die Ausarbeitung eines Erhaltungskonzeptes und Renovationsprojektes, Dr. phil. Friederike Mehlau-Wiebking, S. 2



Abb. 89, Umgebung Schutzobjekt



Abb. 90, Lage des Daches

Wichtige Kennzahlen zum Projekt:

Baujahr:	2015
Fabrikat Module:	Gasser Solarziegel SM PV 2.0, 25 Wp
Leistung:	519 Module = 12.98 kWp
Fläche:	173 m ² Modulfläche
Ausrichtung:	S/W
Dachneigung:	zweifach geneigt, 34° und 40°
Beschreibung Eingriffstiefe:	Indachanlage, komplette Sanierung des Unterdachs wie Verschalung mit Holzfaserplatten, verklebte Stösse, Aufdopplung der Sparren, neue Dach- und Konterlattung



Abb. 91, Situation vor der Dachsanierung



Abb. 92, Dach mit Solarziegeln eingedeckt

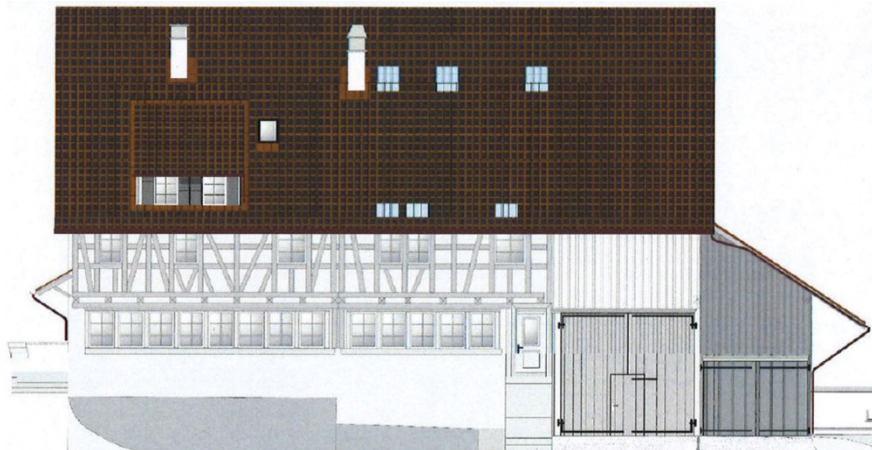


Abb. 93, Visualisierung der PV-Anlage



Abb.94, Unterdacharbeiten



Abb. 95, Untersicht Dachüberstände und Aufdopplung der Konterlattung



Abb. 96, Dachaufsicht PV-Anlage



Abb. 97, Dachübersicht PV-Anlage

Zur Photovoltaikanlage liegen die Stromproduktionszahlen der letzten 5 Jahre vor. Im Schnitt erzeugte die Anlage ca. 13'502 kWh pro Jahr, was in etwa der Nennleistung der Anlage entspricht. Damit erfüllt diese im Minimum die prognostizierten kWh, wenn für das Mittelland im Schnitt 1'000 kWh/a pro kWp angenommen werden. Bei 12.98 kWp sollten somit 12'980 kWh/a im Durchschnitt zu erwarten sein.

6. Schlussbetrachtungen

Die aus der vorliegenden Arbeit gewonnenen Erkenntnisse zeigen deutlich, dass der Markt eine kleine Palette ästhetisch zufriedenstellender Lösungen bereithält. Jedoch überzeugen diese noch nicht ganz in den optischen Anforderungen für eine gelungene Dachintegration. Für ein Schutzobjekt bedarf es noch weiterer Anstrengungen, damit die Produkte für die dachintegrierten Solarlösungen in Materialität und Optik mehr überzeugen können. Erst wenn diese sich optisch unwesentlich von der bestehenden Dacheindeckung unterscheiden lassen, dürften auch die Kritiker seitens der Planer, Denkmal- oder Heimatschützer überzeugt sein. Dennoch werden die gelungenen Solarlösungen für die Denkmäler oder geschützten Ortsbilder eher eine untergeordnete Rolle spielen, weil die Anlagenpreise für die Mehrheit der Hausbesitzer zu hoch sind und eher Liebhaber von Solaranlagen ansprechen. Ziel sollte es sein, ein Produkt zu kreieren, das auf die Besonderheiten des Objektes eingeht. Dabei dreht sich primär die Frage nach der Materialität der Module. Ein klassischer Dachziegel in der Schweiz ist gekennzeichnet durch seine matte und harmonische Optik. Er ist kleinformatig und in seiner Form unterschiedlich ausgeprägt. Gerade bei historischen Dächern spielt die Farbe noch eine wesentliche Komponente. Denn durch den schwankenden Brennvorgang hatten die Ziegel zueinander leichte farbliche Abweichungen. Einzelne Ziegel fielen durch dunklere Bereiche auf. Im Gesamterscheinungsbild des Daches gingen diese jedoch farblich unter. Obwohl das Dach harmonisch wirkt, ist es nicht farblich homogen. Die industriellen Solarlösungen sollten mehr auf diese optische Besonderheit eingehen. Solarziegel sollten eine grössere Bandbreite an farblichen Abstufungen aufweisen. Dazu muss die Oberfläche sich stärker an der des klassischen Tonziegels orientieren. Die Module sollten möglichst reflexionsfrei sein und weniger glatte Oberflächenstrukturen aufweisen. Diese vorgenannten Kriterien sind unumgänglich für eine gelungene Integration in das Erscheinungsbild eines geschützten Daches.

Die Diskussionen zu ästhetischen Lösungen von Solaranlagen waren von Beginn an sehr kontrovers und wenig konstruktiv. Wobei die Fronten sich gegen die Solaranlagen schnell herauskristallisierten. In diversen Gesprächen und E-Mailkorrespondenzen wurde die ablehnende Haltung seitens der Denkmalpflege mit dem Verweis begründet, dass der geringe prozentuale Bestand an Schutzobjekten oder geschützten Ortsbildern im Verhältnis zur Gesamtanzahl der Gebäude jede weitere Diskussion erübrigt. Das Argument, dass es keine ästhetisch gleichwertigen Lösungen zur historischen Ziegeleindeckung gibt, wird oft vorgebracht bzw. zitiert und zielt auf einen Verzicht von Solaranlagen ab. Der substanzielle Erhalt des bestehenden Ziegeldaches geht gegenüber anderen Anliegen vor. Die Vorschläge gingen sogar soweit, dass die Denkmalpflege dem Bau von Aufdachanlagen zustimmt, um die historische Eindeckung erhalten zu können. Dies konterkariert die Bemühungen eine ästhetisch zufriedenstellende Lösung für das Gesamterscheinungsbild des Schutzobjektes zu erzielen. Dabei könnten auch andere Wege beschritten werden, damit die Bestandseindeckung nicht unwiederbringlich verloren geht. Die Möglichkeit könnte darin bestehen, dass der Eigentümer die Dacheindeckung einlagert und für den späteren Wiedergebrauch vorhalten muss. Denn es könnte sein, dass die

Solaranlagen über einen gewissen Zeitraum wieder aus dem Ortsbild verschwinden werden, wenn andere Technologien zur Energieerzeugung vorteilhafter erscheinen.

Mit der Untersuchung der Solaranlagen auf deren Einsatzbreite hat sich klar gezeigt, dass für eine zufriedenstellende ästhetische Lösung gebäudeintegrierte Anlagen von Vorteil sind, besonders, wenn diese in der kleinformatischen Struktur der historischen Dacheindeckung ausgeführt sind. Doch die Eingriffstiefe in die Bausubstanz ist nicht unerheblich. Neben dem Verlust der bestehenden Dacheindeckung ist für den Einbau der Solaranlagen auch das Unterdach anzupassen. So sind häufig Sparrenaufbauten unumgänglich, um eine plane Unterlage für die Anlage zu schaffen. Weitere Anpassungen für die Hinterlüftung der Solarmodule haben Aufdopplungen der Lattung zur Folge, was zu einer Erhöhung der Dachkonstruktion führt. Dadurch ergeben sich weitere Abklärungen wie Dachrandabschlüsse an Ortsgang, Traufe und First.

Aus den vorangegangenen Kapiteln lassen sich Grundempfehlungen ableiten, die für die Planung einer Solaranlage auf einem Schutz- bzw. Inventarobjekt gemacht werden sollten:

1. Befindet sich das Objekt in einem geschützten Ortsbild (überkommunal oder national), ist es inventarisiert oder existiert ein Schutzvertrag bzw. Schutzverfügung mit der Eigentümerschaft? Die zuvor aufgeführten Kriterien schliessen häufig den Bau von Solaranlagen aus, wenn diese nicht gut integriert sind. Ausnahmen bilden eher nicht geschützte Nebengebäude oder abgewandte Dächer ausserhalb des Sichtbereichs vom Ortsbildschutzperimeter.
2. Bevor mit der Planung begonnen wird, sollte ein Fachgutachten beauftragt werden, um die Eingriffstiefe auf deren Verträglichkeit auf das geschützte bzw. schützenswerte Objekt oder Ortsbild zu untersuchen. Eine frühe Einbeziehung vom Denkmalschutz, kommunalen Behörden oder dem Heimatschutz wäre sinnvoll, damit das Bauvorhaben auf seine Realisierbarkeit besprochen werden kann.
3. Die Planung soll sicherstellen, dass mit der Integration der Solaranlage alle bautechnischen und gesetzlichen Anforderungen erfüllt werden. Hilfreich sind Bemusterungen und / oder Visualisierungen der Solaranlage, um die Aussenwirkung auf dem Gesamteindruck des Objektes bzw. Ortsbildes beurteilen zu können.

7. Literaturliste

7.1 Bücher / Hefte

- Solaranlagen richtig gut, Richtlinien zur Anwendung von Art. 18a des Bundesgesetzes über die Raumplanung, Ausgabe 2015
- Energetische Sanierung am Kulturobjekt (Kanton SG, AR, AI, TG und das FL), Ausgabe 2013
- Solaranlagen vom Guten zum Besten, Ausgabe Juli 2015
- Solaranlagen, Leitfaden 09 2016, Kanton Zürich, September 2016
- Akzent Baukultur: Energie, Hrsg. Berner Heimatschutz, Ausgabe 2015
- Solaranlagen: Die gebaute Umwelt mit Sorgfalt gestalten, Positionspapier, Schweizer Heimatschutz, Ausgabe 2015
- Baukultur und Energie, Gesamtbetrachtung, Edition Heimatschutz – Heft 1, Ausgabe November 2015
- Solarkultur, Solarkultur gekonnt mit Baukultur verbinden, Bundesamt für Kultur, Sektion Heimatschutz und Denkmalpflege, Bern 2019
- Baukultur und Energie, Wohnbauten energetisch aufwerten, Edition Heimatschutz – Heft 2, Ausgabe November 2015
- Energie und Baudenkmal, EKD, Ausgabe Juni 2018
- Leitsätze zur Denkmalpflege in der Schweiz, EKD, Ausgabe 2007
- Minergie – Objekte unter Denkmalschutz, Ausgabe Mai 2009
- Denkmalpflege und Energiesparen – Konfliktsituation oder Ideallösung?, Ernst Baumann, Fürstentum Liechtenstein, Ausgabe 2006
- Grundsätze für die Beurteilung von PV-Anlagen auf Schutzobjekten, Zürcher Heimatschutz, Ausgabe Februar 2019
- Solaranlagen auf Schutzobjekten und in geschützten Ortsbildern: Wie beurteilt man, ob sie denkmalverträglich sind? Leitlinien des Zürcher Heimatschutzes, ZVH Zürich, 27.05.2019
- Solarthermie und Denkmalpflege, Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, Ausgabe November 2012
- UrbanSolPlus, Solarthermie im Denkmalschutz, Ausgabe Februar 2014
- Heimatschutz, Schweizer Vereinigung für Heimatschutz, Heft 1, 1919
- Zum Spannungsfeld von Photovoltaik und Denkmalpflege, Kunst und Architektur in der Schweiz, Heft 1, Bd. 65, Ausgabe 2014
- Denkmal und Energie 2017, Bernhard Weller, Ausgabe November 2016
- Solaris #01, Heftreihe von Hochparterre für Solararchitektur, Januar 2018
- Faktor Architektur Technik Energie, Photovoltaik, Heft 43, Ausgabe Juli 2016
- Faktor Architektur Technik Energie, Eigenstrom, Heft 49, Ausgabe November 2018
- Solararchitektur, Häuser mit solarem Direktgewinn, Ausgabe Januar 2016
- Gebäude erneuern Energieverbrauch halbieren, Energie Schweiz, Bundesamt für Energie BFE, Ausgabe Januar 2015
- Koordinationspflichtige Bauvorhaben bei Schutzobjekten, Ausgabe 2017
- Energiewende im Konflikt mit Natur- und Heimatschutz, Ausgabe 2016
- Wärme oder Strom, Solarenergie nutzen! Aber wie genau? TEC21 11-12/2019
- Manchmal ist der Elektroeingriff die bessere Lösung als die Wärmepumpe, Umwelttechnik Schweiz, Ausgabe 10-11/19

- Merkblatt «Anschlüsse im Unterdach», suissetec, September 2018
- Ein Tondachziegel nutzt die Kraft der Sonne, Ausgabe 03/16, green building schweiz, Bern
- Solarbroschüre Nelskamp, Stand: 11.04.2018
- Erwägungen & Leitlinien als Basis für die Ausarbeitung eines Erhaltungskonzeptes und Renovationsprojektes, Dr. phil. Friederike Mehlaui-Wiebking

7.2 PowerPoint-Präsentationen

- Wie gelingt die Energiewende aus Sicht der Denkmalpflege? Reto Bieli, 2017

7.3 Weblinks

- <https://de.wikipedia.org/wiki/%C3%84sthetik>
- [https://de.wikipedia.org/wiki/Kostendeckende_Einspeiseverg%C3%BCtung_\(Schweiz\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Kostendeckende_Einspeiseverg%C3%BCtung_(Schweiz))
- <https://www.energieheld.ch/solaranlagen/photovoltaik/foerderung>
- <https://de.wikipedia.org/wiki/Sonnenkollektor>;
- <http://heizkostenrechner.eu/solaranlage-fuer-warmwasser.html>
- <https://www.solaranlagen-portal.com/solar/solaranlage/aufbau>
- <https://de.wikipedia.org/wiki/Solarzelle>
- <https://de.wikipedia.org/wiki/Solarmodul>
- <https://de.wikipedia.org/wiki/Solarmodul#Degradation>
- <https://www.nelskamp.de/index.php/de/energiedaecher/unsichtbar-auf-dem-dach-solarpowerpack>
- <https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/19790171/index.html>, RPG Art. 18a, Abs. 2 Bst. B
- <https://wissenwiki.de/Steildach>
- <https://www.creaton.ch/ihr-dach/neubau/warum-ein-steildach>
- <https://www.baunetzwissen.de/glossar/d/dachneigung-48993>

7.4 Gesetze

- Bundesverfassung - BV, Art. 78, Abs. 2
- Raumplanungsverordnung – RPV, Art. 32a und b
- Raumplanungsgesetz - RPG, Art. 18a, Abs. 1, 3 und 4
- Planungs- und Baugesetz des Kanton Zürich - PBG, § 238 Abs. 4 Kanton Zürich

7.5 Gerichtsurteile

- Rechtsentscheide im Kanton Zürich zum Bau von Solaranlagen: Rüti ZH (VB.2017.00623) und (1C 313/2018); Mettmenstetten Dachlissen ZH (1C 444/2017); Teufen ZH (R4.2019.00099); Hausen am Albis ZH (R2.2018.00189); Kleinandelfingen ZH (R4.2019.00108); Will ZH (VB.2017.00623); Wädenswil ZH (R2.2017.00020); Adlikon ZH (R4.2017.00111)

7.6 Interviews

- Interview mit der Fa. Senero, Herrn Fabian Krämer, am 20.05.2020. Thema des Gesprächs waren die Kosten der Photovoltaikanlagen nach Technologie, Montageart und Grösse
- Telefongespräch mit der Firma AutarQ vom 11. Juni 2020. Die Firma arbeitet verstärkt an der technischen Zulassung von roten Solarziegeln wie Flachziegel und Biberschwanz

- Interview mit Reto Bieli, am 29. April 2019, zum Thema Energiewende und Denkmalpflege

8. Fotos-/ Abbildungen

- Deckblatt, Stephan Eitner
- Abb. 1, Heimatschutz, Schweizer Vereinigung für Heimatschutz, Heft 1, 1919, Elektrische Leitungen, S. 7
- Abb. 2, Stephan Eitner
- Abb. 3, <https://www.heise.de/select/ct/2019/17/1565708947943297>
- Abb. 4, [https://de.wikipedia.org/wiki/Parabolantenne_\(TV\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Parabolantenne_(TV))
- Abb. 5, Leitfaden Solaranlagen, Zürich, 09-2016, S. 4
- Abb. 6, 20190605_BAK_01-Solarkultur_Solarenergie gekonnt mit Baukultur verbinden, S. 55
- Abb. 7, Solarkataster der Stadt Winterthur,
<http://stadtplan.winterthur.ch/?topic=Solarkataster>
- Abb. 8, <https://www.solaranlage-ratgeber.de/solarthermie/solarthermie-funktionen/warmwasser-und-heizungsunterstuetzung>
- Abb. 9, Stephan Eitner
- Abb. 10, <https://www.maschinenmarkt.vogel.de/dampfturbine-fuer-das-groesste-solarthermie-kraftwerk-der-welt-gal-399832/>
- Abb. 11, Jenni Energietechnik, HK-Gebaeudetechnik12.12(1)
- Abb. 12, Thermische Solaranlagen zur Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung, Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg, Stuttgart, 2008, S. 10
- Abb. 13, <https://energiesparen-im-haushalt.de>
- Abb. 14, <https://www.vaillant.at/privatanwender/produkte/aurotherm-vfk-9280.html>
- Abb. 15, <https://www.energie-lexikon.info/sonnenkollektor.html>
- Abb. 16, Stephan Eitner
- Abb. 17, <https://twitter.com/Solarhoch2/status/1313491390987370498/photo/1>
- Abb. 18, <https://www.gartentipps.com/vergleich/vakuumrohrenkollektor/>
- Abb. 19, https://www.pv-magazine.de/wp-content/uploads/sites/4/2018/05/Consolar_PVT-Hybridmodul_Solink_2018.jpg
- Abb. 20, https://www.natter-energie.at/media/filer_public_thumbnails/filer_public/d6/3e/d63e4c5e-31dc-47cd-b415-d7d3d90bbd40/img_1407.jpg__1140x820_q95_crop-True_subsampling-2_upscale-True.jpg
- Abb. 21, https://solaragentur.ch/sites/default/files/g-20-10-07_ermatingen.pdf, S. 79
- Abb. 22, https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/fd/Solar_heater_dsc00632.jpg
- Abb. 23, <https://www.energie-experten.org/heizung/solarthermie/solarkollektoren/Solarabsorber>
- Abb. 24, <https://solaranlagen-portal.com/solar/solaranlage/aufbau>
- Abb. 25, Stephan Eitner
- Abb. 26, <https://ansatec.ch/referenzanlagen.html#>
- Abb. 27, Firstsolar Datenblatt, PD-5-401-02 DE JUN 2010, S. 1
- Abb. 28, Merkblatt Informationen zum Eigenverbrauch, Repower, S. 3
- Abb. 29, http://otaenergy.com/photovoltaik/wp-content/uploads/2014/06/einstrahlungsscheibeso_gr.jpg

- Abb. 30, <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/64/SolarGIS-Solar-map-Switzerland-de.png>
- Abb. 31, Fabian Krämer
- Abb. 32, <https://maxsolar.de/erfolgreiche-montage-auf-sheddach-abgeschlossen>
- Abb. 33, https://www.tab.de/artikel/tab_PV-Anlagen_auf_Einkaufsmaerkten_2563962.html
- Abb. 34, https://www.tab.de/news/tab_Photovoltaik-Pilotanlage_fuer_ProMinent_3200688.html
- Abb. 35, <https://clevergie.ch/referenzen/>
- Abb. 36, https://www.tab.de/news/tab_Auszeichnung_fuer_eine_Photovoltaik-Grossdachanlage_3407294.html
- Abb. 37, <https://www.neue-energie-technik.net/photovoltaik-indach-system.html>
- Abb. 38, Fabian Krämer
- Abb. 39, Stephan Eitner
- Abb. 40, https://www.tab.de/artikel/tab_TSG_1899_Hoffenheim_setzt_auf_PV-Anlagen_2202762.html
- Abb. 41, BE Netz AG
- Abb. 42, Michael Locher
- Abb. 43, Stephan Eitner
- Abb. 44, <https://www.elektroschmidli.ch/referenzen/indachanlage-waldenburg-2011/>
- Abb. 45 bis 48, Stephan Eitner
- Abb. 49, Luis Angel Torres
- Abb. 50 und 51, Stephan Eitner
- Abb. 52 und 53, Produktdatenblatt Fa. Panotron AG, Gasser Ceramic, S. 1
- Abb. 54 bis 56, Produktbroschüre Fa. Sunstyle, S. 5
- Abb. 57, Spezialbroschüre Gasser Ceramic, S. 4
- Abb. 58, Broschüre Beispiel in Ependes, Gasser Ceramic, S. 3
- Abb. 59 und 60, <https://www.rathscheck.de/anwenden-und-verlegen/deckarten/rathscheck-schiefer-system/>
- Abb. 61, Broschüre Produktinformation, Rheinzink, S. 3
- Abb. 62, <https://worryng-dach-solar.de/leistungen/solarenergie>
- Abb. 63 und 64, Imagebroschüre Nelskamp, S. 13 und 6
- Abb. 65, <https://www.nelskamp.de/index.php/de/energiedaecher/unsichtbar-auf-dem-dach-solarpowerpack>
- Abb. 66, <https://www.baulinks.de/webplugin/2011/0224.php4>
- Abb. 67 und 68, <https://www.bmigroup.com/at/dach-tipps/photovoltaik>
- Abb. 69, <https://www.autarq.com/>
- Abb. 70, <https://spezida-gh.ch/solar/>
- Abb. 71, <https://www.autarqschweiz.ch/projekte/>
- Abb. 72, <https://www.autarq.com/installation/>
- Abb. 73 und 74, <https://spezida-gh.ch/solar/>
- Abb. 75 und 76, Schlussbericht vom 3. Oktober 2018, Farbige PV-Module für denkmalgeschützte Zonen und Gebäude, Das Pilotprojekt in Ecuwillens (FR), S. 1 und 26
- Abb. 77, <https://www.ekz.ch/blue/de/innovation/2020/Glasmodule.html>
- Abb. 78, <https://megasol.ch/solarziegel/>
- Abb. 79 und 80, Broschüre Photovoltaik Sunskin roof, S. 1 und S. 2

- Abb. 81, <https://www.sanierungspreis.de/projekte/solarstromerzeugende-dachschindel/>
- Abb. 82, <https://www.solteq.eu/>
- Abb. 83 und 84, <https://maps.zh.ch/>
- Abb. 85, Gantenbein
- Abb. 86 bis 88, Stephan Eitner
- Abb. 89 und 90, <https://maps.zh.ch/>
- Abb. 91, Nicole Schönbächler und André Bättig
- Abb. 92, Stephan Eitner
- Abb. 93 und 94, Nicole Schönbächler und André Bättig
- Abb. 95, Stephan Eitner
- Abb. 96 und 97, Nicole Schönbächler und André Bättig

9. Selbständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass die vorliegende Masterarbeit selbständig ohne unerlaubte Beihilfe verfasst worden ist und ich keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe und die Grundsätze der wissenschaftlichen Redlichkeit einhalte.

Datum: 19. Februar 2021

Unterschrift:

