

Photovoltaik: Dachmontage- systeme



Impulsprogramm PACER
Bundesamt für Konjunkturfragen

Trägerschaft:

SDV Schweizerischer Dachdeckermeister-
Verband

Patronat:

VSEI Verband Schweizerischer Elektro-
Installationsfirmen

SSIV Schweizerischer Spenglermeister-
und Installateur-Verband

SOFAS Sonnenenergie-Fachverband
Schweiz

Autoren:

J. Krause Newtec AG, Widnau
H. Kunz EKZ, Zürich
C. Meier Alpha Real AG, Zürich
W. Müller SDV/Gebr. Müller AG, Zug
H. Prinz Alpha Real AG, Zürich
M. Real Alpha Real AG, Zürich
U. Spuler Fadaplan AG, Winterthur
D. Sutter Glas Trösch Solar, Ursenbach
M. Wiest Schweizer Metallbau AG, Hedingen

Gestaltung:

APUI, Hochfeldstrasse 113, 3000 Bern 26

Konzept, Ausarbeitung und Redaktion:

H. Prinz, dipl. El.-Ing. ETH
Alpha Real AG, Zürich
Energy System und Engineering
Feldeggstrasse 89
8008 Zürich

**Projektbegleiter aus der
PACER-Programmleitung:**

J. Graf
EPFL-DA-ITB-LESO
1015 Lausanne

Copyright© Bundesamt für Konjunkturfragen
3003 Bern, August 1993.
Auszugsweiser Nachdruck mit Quellenangabe er-
laubt. Zu beziehen bei der Eidg. Drucksachen- und
Materialzentrale (Best.-Nr. 724.246 d)

Vorwort

Das Aktionsprogramm «Bau und Energie» ist auf sechs Jahre befristet (1990–1995) und setzt sich aus den drei Impulsprogrammen (IP) zusammen:

- IP BAU – Erhaltung und Erneuerung
- RAVEL– Rationelle Verwendung von Elektrizität
- PACER – Erneuerbare Energien

Mit den Impulsprogrammen, die in enger Kooperation von Wirtschaft, Schulen und Bund durchgeführt werden, soll der qualitative Wertschöpfungsprozess unterstützt werden. Dieser ist gekennzeichnet durch geringen Aufwand an nicht erneuerbaren Rohstoffen und Energie sowie abnehmende Umweltbelastung, dafür gesteigerten Einsatz von Fähigkeitskapital.

Im Zentrum der Aktivität von PACER steht die Förderung verstärkter Nutzung erneuerbarer Energien. Bis heute ist der Beitrag der erneuerbaren Energien mit Ausnahme der Wasserkraft trotz des beträchtlichen Potentials sehr gering geblieben. Das Programm PACER soll deshalb

- die Anwendungen mit dem besten Kosten-/Nutzenverhältnis fördern,
- den Ingenieuren, Architekten und Installateuren die nötigen Kenntnisse vermitteln,
- eine andere ökonomische Betrachtungsweise einführen, welche die externen Kosten (Umweltbelastung usw.) mit einbezieht sowie
- Behörden und Bauherren informieren und ausbilden.

Kurse, Veranstaltungen, Publikationen, Videos, etc.

Umgesetzt werden sollen die Ziele von PACER durch Aus- und Weiterbildung sowie Information. Die Wissensvermittlung ist auf die Verwendung in der täglichen Praxis ausgerichtet. Sie baut hauptsächlich auf Publikationen, Kursen und Veranstaltungen auf. Zielpublikum sind vor allem Ingenieure, Architekten, Installateure sowie Angehörige bestimmter spezialisierter Berufszweige aus dem Bereich der erneuerbaren Energien.

Die Verbreitung allgemeiner Information ist ebenfalls ein wichtiger Bestandteil des Programmes. Sie soll Anreize geben bei Bauherren, Architekten, Ingenieuren und Behördenmitgliedern.

InteressentInnen können sich über das breitgefächerte, zielgruppenorientierte Weiterbildungsangebot in der Zeitschrift IMPULS informieren. Sie erscheint zwei- bis dreimal jährlich und ist (im

Abonnement, auch in französisch und italienisch) beim Bundesamt für Konjunkturfragen 3003 Bern, gratis erhältlich. Jedem/r Kurs- oder VeranstaltungsteilnehmerIn wird jeweils eine Dokumentation abgegeben. Diese besteht zur Hauptsache aus der für den entsprechenden Anlass erarbeiteten Fachpublikation. Diese Publikationen können auch unabhängig von Kursbesuchen direkt bei der Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale (EDMZ), 3000 Bern, bezogen werden.

Zuständigkeiten

Um das ambitionierte Bildungsprogramm bewältigen zu können, wurde ein Organisations- und Bearbeitungskonzept gewählt, das neben der kompetenten Bearbeitung durch SpezialistInnen auch die Beachtung der Schnittstellen sowie die erforderliche Abstützung bei Verbänden und Schulen der beteiligten Branchen sicherstellt. Eine aus VertreterInnen der interessierten Verbände, Schulen und Organisationen bestehende Kommission legt die Inhalte des Programmes fest und stellt die Koordination mit den übrigen Aktivitäten zur Förderung der erneuerbaren Energien sicher. Branchenorganisationen übernehmen die Durchführung der Weiterbildungs- und Informationsangebote. Für deren Vorbereitung ist das Programmleitungsteam (Dr. Jean-Bernard Gay, Dr. Charles Filleux, Jean Graf, Dr. Arthur Wellinger, Irene Wuillemin, BfK) begleitet durch Eric Mosimann, BfK, verantwortlich. Die Sachbearbeitung wird im Rahmen von Arbeitsgruppen erbracht, die inhaltlich, zeitlich und kostenmässig definierte Einzelaufgaben zu lösen haben.

Dokumentation

Die vorliegende Publikation bildet zusammen mit Prospektmaterial die Dokumentation zum gleichnamigen Kurs. Sie gibt einen Überblick über heute in der Schweiz verwendete Dach-Montagearten von Photovoltaikanlagen. Weiter werden Grundlagen über Netzverbundanlagen und Solarzellen vermittelt. Berufsübergreifende Informationen über Standorteignung, Vorschriften, Bewilligungen und Planung sind soweit nötig ebenfalls enthalten. Das zur Publikation gehörende Buchzeichen mit Begriffserklärungen soll den Einstieg ins Gebiet der Photovoltaik erleichtern.

Der eintägige Kurs besteht zur Hälfte aus praktischen Arbeiten an Modelldächern, an welchen die unterschiedlichen Systeme aufgebaut werden.

Nach einer Vernehmlassung und dem Anwendungstest in einer Pilotveranstaltung ist die vorliegende Dokumentation sorgfältig überarbeitet worden. Dennoch hatten die Autoren freie Hand, unterschiedliche Ansichten über einzelne Fragen nach eigenem Ermessen zu beurteilen und zu berücksichtigen. Sie tragen denn auch die Verantwortung für die Texte. Unzulänglichkeiten, die sich bei den praktischen Anwendungen ergeben, können bei einer allfälligen Überarbeitung behoben

werden. Anregungen nehmen das Bundesamt für Konjunkturfragen oder der verantwortliche Redaktor/Kursleiter entgegen (vgl. S. 2).

Für die wertvolle Mitarbeit zum Gelingen der vorliegenden Publikation sei an dieser Stelle allen Beteiligten bestens gedankt.

August 1993

Dr. H. Kneubühler
Stv. Direktor des Bundesamtes für Konjunkturfragen

Inhaltsübersicht

Vorwort	3
Inhaltsverzeichnis	5
1 Einleitung	7
1.1 Möglichkeiten der Photovoltaik auf Dächern	8
1.2 Solarstrom: unermessliche Möglichkeiten	10
1.3 Besonderheiten von Photovoltaikanlagen	11
1.4 Potential in der Schweiz	11
1.5 Netzverbund- und Inselanlagen	12
1.6 Ästhetik von Photovoltaikanlagen	13
1.7 Energie 2000	14
1.8 Energienutzungsverordnung (ENV)	15
1.9 Subventionen	16
2 Netzverbundanlage	17
2.1 Übersicht Netzverbundanlage	18
2.2 Bezug und Abgabe – Zusammenspiel mit dem Netz	20
2.3 Rückspeisetarife	20
3 Solarzellenmodule	21
3.1 Modultypen	23
3.2 Aufbau von Solarmodulen	25
3.3 Funktionsweise von Solarzellen	27
3.4 Mechanische Eigenschaften von Modulen	27
3.5 Elektrische Eigenschaften von Modulen	29
3.6 Beispiel einer Anschlussbox mit Antiparalleldiode	30
3.7 Gefahren des Gleichstromes	31
4 Systemübersicht	33
4.1 Systeme im Steildach	34
4.2 Systeme in der Fassade	60
4.3 Systeme auf dem Flachdach	63
4.4 Montagesysteme für Warmwasserkollektor-Anlagen	69
5 Standorteignung	79
5.1 Globalstrahlung = direkte und diffuse Strahlung	80
5.2 Tägliche Variation der Solareinstrahlung	81
5.3 Jahreszeitliche Variation der Solareinstrahlung	82
5.4 Neigungswinkel der Solarmodule	84
5.5 Ausrichtung und Neigungswinkel	86
5.6 Beschattung von Solarzellenanlagen	88
5.7 Reihenabstand auf Flachdächern	89
5.8 Abschätzung der möglichen Anlagegrösse und der Kosten	90

6	Bewilligungen und Vorschriften	91
6.1	Baubewilligung	92
6.2	SUVA-Verordnung 1805	92
6.3	Anschlussgesuch	93
6.4	Erlangen einer Bewilligung für den Parallelbetrieb von Energie-Eigenerzeugungsanlagen (EEA)	93
6.5	Planvorlage	97
6.6	Einwirkungen auf Tragwerke SIA 160	97
<hr/>		
7	Zusammenarbeit mit Elektriker oder Planer	99
7.1	Solarzellenfeld: Serie- und Parallelschaltung von Modulen	100
7.2	Arbeitsvorbereitung	101
7.3	Blitzschutz und Potentialausgleich	102
7.4	Service und Unterhalt	105
7.5	Verantwortlichkeit und Garantie	105
<hr/>		
8	Anhang I: Beispiel Anschlussgesuch	107
	Anschlussgesuch	108
	Kurzbeschreibung einer 3 kW - Einheit	111
<hr/>		
9	Anhang II: Von der Dach- und Gebäudebesichtigung bis zur Produktwahl	113
<hr/>		
10	Anhang III: Energieertrag und Energiekosten	115
10.1	Flächenbedarf	115
10.2	Jährlicher Energieertrag	115
10.3	Kosten und Energiepreis	116
<hr/>		
11	Anhang IV: Bibliographie	117
11.1	Bücher	117
11.2	Zeitschriften	117
11.3	Adressen der Verbände	117
11.4	INFOENERGIE Beratungszentralen	118
11.5	Beratungszentralen	118
11.6	Kantonale Energiefachstellen	118
<hr/>		
12	Anhang V: Quellenverzeichnis	120
<hr/>		
	Publikationen und Videos des Impulsprogrammes PACER	121
<hr/>		

1 Einleitung

1.1	Möglichkeiten der Photovoltaik auf Dächern	8
1.2	Solarstrom: unermessliche Möglichkeiten	10
1.3	Besonderheiten von Photovoltaikanlagen	11
1.4	Potential in der Schweiz	11
1.5	Netzverbund- und Inselanlagen	12
1.5.1	Netzverbundanlagen	12
1.5.2	Inselanlagen	12
1.6	Ästhetik von Photovoltaikanlagen	13
1.7	Energie 2000	14
1.8	Energienutzungsverordnung (ENV)	15
1.9	Subventionen	16

1 Einleitung

Photovoltaik im Dachdeckergewerbe



Projektionsfolie 1

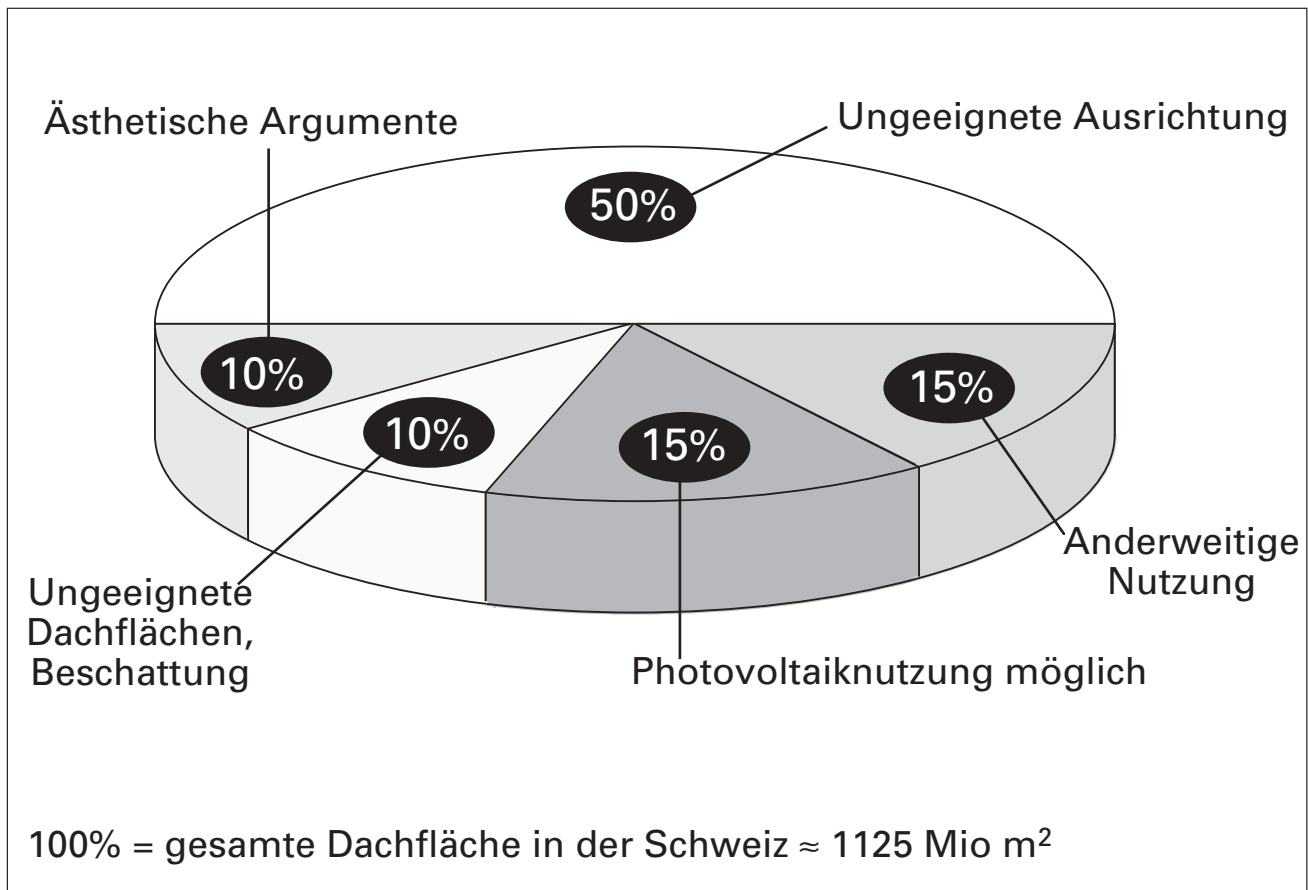
1.1 Möglichkeiten der Photovoltaik auf Dächern

Das Flächenpotential für den Einbau von Solarzellen in Dachflächen ist in der Schweiz gross. Bedenkt man, dass der Bestand von Gebäuden in der Schweiz die Zahl von 2.25 Mio. überschreitet, kann man die Möglichkeiten für Solardachflächen hochrechnen. Weiter ist zu berücksichtigen, dass jährlich neue Gebäude gebaut werden und Dachsanierungen oder Umdeckerarbeiten ausgeführt werden.

Wenn man von einer durchschnittlichen Dachgrösse von 500m² ausgeht, ergibt sich daraus ein Dachflächenpotential von 1125 Mio. m². Die Nutzung dieses Potentials durch Photovoltaik wird noch durch folgende Faktoren reduziert:

- Ungeeignete Dachausrichtung (-50%)
- Ästhetische Hindernisse (-10%)
- Ungeeignete Dachflächen, Beschattung (-10%)
- Anderweitige Nutzung (-15%)

Dachflächenpotential für Photovoltaik



Projektionsfolie 2

Es bleiben noch ca. 15% oder 170 Mio. m² des gesamten Flächenpotentials für die photovoltaische Nutzung verfügbar. Pro m² Dachfläche können jährlich ca. 100 kWh Elektrizität photovoltaisch produziert werden. Kummuliert ergäbe das ca. 17 TWh elektrische Energie pro Jahr. Das entspricht knapp 30% des heutigen Stromverbrauchs der Schweiz. Alle diese Angaben beziehen sich auf **Dachflächen**. Für die photovoltaische Nutzung eignen sich aber auch **Fassadenflächen**. Sie bilden ein beträchtliches zusätzliches Potential. Bei den Zahlen handelt es sich um grobe Schätzungen.

Wertschöpfung

Für Industrie und Gewerbe stellt sich natürlich auch die Frage der Wertschöpfung. Soll bis ins Jahr Zweitausend 0,3% der schweizerischen Stromproduktion mit Photovoltaik erfolgen und rechnet man mit Kosten von durchschnittlich sFr. 42 000.– für die Erstellung einer 3-kW-Anlage, so ergibt das Kapitalinvestitionen von rund 300 Millionen Franken jährlich. Die Zahl entspräche dem Bau von ca. 7000 3-kW-Anlagen pro Jahr.

In der Schweiz gibt es ca. 1500 Dachdecker-Betriebe und etwa 2500 Elektroinstallateur-Unternehmen. Wenn jeder Betrieb pro Jahr ein bis zwei 3-kW-Anlagen auf Dächer montieren würde, so entspräche dies ungefähr der oben erwähnten Wertschöpfung.

1.2 Solarstrom: unermessliche Möglichkeiten

Die direkte Umwandlung von Sonnenenergie in Elektrizität mit Solarzellen ist eine der aussichtsreichsten Optionen, langfristig von umweltbelastenden Energieträgern wegzukommen. Solarzellenanlagen sind einfach in der Montage, ohne bewegliche Teile, sofort funktionsfähig, praktisch wartungsfrei und damit von äusserst langer Lebensdauer.

Die Faszination der Photovoltaik liegt darin, dass mit dieser Technologie erstmals Strom im grossen Massstabe ohne rotierende Maschinen erzeugt werden kann. Damit unterscheidet sich die elektrische Energieerzeugung mit Solarzellen in ganz entscheidender Weise von den Energieerzeugungsanlagen herkömmlicher Kraftwerke, wo grosse rotierende Turbinen eingesetzt werden.

Ebenso neu in der Geschichte der Elektrizitätsgewinnung ist die Tatsache, dass die Stromgestehungskosten aus Solarzellenanlagen praktisch nicht von der Anlageleistung abhängen. Bei konventionellen Kraftwerken ergibt sich ein Zwang zu grossen Leistungen, weil damit die Wirtschaftlichkeit erheblich gesteigert werden kann. Die Modularität der Photovoltaik durchbricht mit ihrer neuen Technologie diese Gesetzmässigkeit.

Im Klartext heisst das, dass die Stromgestehungskosten einer Solarzellenanlage auf einem Hausdach mit 3-kW-Leistung nicht grösser sind als in einer Grossanlage von zum Beispiel 500-kW-Leistung. Aufgrund des heutigen Wissensstandes kann man im Gegenteil davon ausgehen, dass Solarzellenanlagen im Gebäudebereich günstigeren Strom erzeugen werden, als solche, welche mit grösseren Leistungen abseits bereits bestehender Infrastrukturen und elektrischer Anschlüsse realisiert werden.

Damit zeigt sich nun plötzlich eine faszinierende Möglichkeit, im Gebäudebereich auch mit Anlagen kleiner Leistung kostengünstigen Solarstrom zu produzieren. Kostengünstig bezieht sich dabei auf den obigen Vergleich zwischen Anlagen kleiner und grosser Leistung. Im Vergleich zu anderen Stromerzeugungsarten besteht allerdings noch ein grosser Unterschied.

Weil das Potential und die Möglichkeiten der Solarstromerzeugung in Solarzellenanlagen erkannt sind, wird die weitere Entwicklung und Förderung der Technik zum Teil von der öffentlichen Hand unterstützt. Wenn auch diese Unterstützung in keiner Weise vergleichbar ist mit der Unterstützung, welche die öffentliche Hand für andere Energietechnologien gewährt hat, hat sie doch dazu geführt, dass nun ausgereifte Standardsysteme entwickelt wurden. Die Entwicklungsarbeit, welche in den letzten Jahren von einigen Pionierfirmen auf diesem Gebiet geleistet wurde, hat dazu geführt, dass nun einfache einphasige Solarzellenanlagen bis zu einer Leistung von rund 3 kW durch das Installationsgewerbe ohne grosse Spezialkenntnisse ausgeführt werden können.

Damit sind direkt die Fachkräfte im Baubereich, insbesondere natürlich die Dachdecker angesprochen. Es ist das Ziel des vorliegenden Kurses, dieser neuen faszinierenden Tatsache Rechnung zu tragen und die Dachdecker soweit auszubilden, dass sie in der Lage sind, zusammen mit dem Elektroinstallateur, Spengler und Planer normgerecht und einwandfrei funktionsfähige Anlagen zu installieren, in Betrieb zu setzen und zu warten.

1.3 Besonderheiten von Photovoltaikanlagen

Solarzellen erzeugen Gleichstrom. Gleichstrom unterscheidet sich in einigen wesentlichen Punkten von Wechselstrom. Dazu gehören unter anderem die erhöhte Neigung

1. zur Bildung von Lichtbogen. Lichtbogen können besonders bei Ausschaltvorgängen und Wackelkontakten entstehen. Der Strom wird dabei durch die stark erhitzte Luft geleitet. Damit ist eine nicht zu unterschätzende Gefahr für Brandursachen gegeben.
2. zur Bildung von Korrosionsschäden, da durch Leckströme galvanische Elemente an Kontaktübergangsstellen aktiviert werden.
3. zu irreparablen Schäden bei Elektrounfällen. Gleichstromunfälle können neben Verbrennungen elektrolytische Zersetzungen am menschlichen Gewebe bewirken.

Im Gegensatz zum Wechselstromnetz des Elektrizitätswerkes generieren Solarzellen im Kurzschlussfall keine genügende Kurzschlussleistung, welche handelsübliche Sicherungselemente ansprechen lassen. Solarzellenanlagen brauchen andere, neue Schutzeinrichtungen. Solarzellenanlagen erzeugen Strom, wenn die Sonne scheint. Der Stromfluss in einem Solarzellenfeld lässt sich nicht ohne weiteres unterbrechen. Es gibt keinen «Hauptschalter» zur Sonne. Wenn diese scheint, ist das elektrische Potential vorhanden.

Deshalb kann davon ausgegangen werden, dass die Dachdecker, Spengler und Elektroinstallateure, welche sich mit dieser Technologie auseinandersetzen möchten, einen erhöhten Informationsbedarf haben. Hier Hemmschwellen gegenüber der unbekanntem Technik abzubauen, ist das Anliegen dieses Kurses. Die Kursunterlagen sind so aufgebaut, dass die ausführliche Darstellung zu jeder Projektionsfolie auch als Nachschlagewerk verwendet werden kann. Sie sollen als Stütze dafür dienen, dass möglichst keine Fehler bei der Installation von Anlagen entstehen, und dass damit die Solarzellentechnik den Ruf erhalten kann, eine einfache und problemlose Technik zu sein.

1.4 Potential in der Schweiz

Das Bundesamt für Energiewirtschaft hat zwei Studien veröffentlicht, welche zeigen, dass mit Solarzellenanlagen ein erheblicher Teil des Stromkonsums der Schweiz abgedeckt werden kann. Das grösste Potential liegt auf ungenützten Gebäudeflächen, auf Parkplätzen oder entlang von Eisenbahnen und Autobahnen brach. Mit zunehmendem Markt steigt das industrielle Volumen für die Herstellung der Solarzellen und Wechselrichter derart an, dass nochmals drastische Preisreduktionen zu erwarten sind. Allerdings kommen diese Entwicklungen nicht von alleine. Man muss sie machen. Es braucht Pioniere, welche die Technologie entwickeln und marktreif machen. Diese Phase ist schon beinahe abgeschlossen. Es braucht aber auch weitere Pioniere, die das Potential und die Möglichkeiten der Photovoltaik erkennen und bereit sind, mit dem Bau von Solarzellenanlagen den ersten Schritt zu tun. Wir können mit der Realisierung des Potentials nicht früh genug beginnen. Die Studienresultate zeigen, dass etwa dreissig bis vierzig Jahre benötigt werden, um die hunderttausende von kleineren und grösseren Solarzellenanlagen in der Schweiz zu realisieren, welche nötig sind, um zusammen 10% des schweizerischen Stromverbrauchs zu decken.

Netzverbund- und Inselanlagen



Projektionsfolie 3

1.5 Netzverbund- und Inselanlagen

1.5.1 Netzverbundanlagen

Netzverbundanlagen im Zusammenhang mit Photovoltaik werden Anlagen genannt, die ans öffentliche Stromnetz angeschlossen sind. Das Stromnetz wird dabei als Speicher benützt, d.h. zu viel produzierte Energie wird ins Netz eingespeist und später wieder vom Netz bezogen, wenn die Eigenproduktion der Anlage nicht ausreicht (sonnenloser Tag oder nachts).

Eine Photovoltaikanlage für den eigenen Haushalt zu haben (Projektionsfolie 3, links) und sie nicht zur Unabhängigkeit bei der Stromversorgung zu nutzen, sondern weiterhin auf den Netzanschluss des Elektrizitätswerkes angewiesen zu sein, erscheint vielen auf den ersten Blick hin befremdlich. Ohne



bei den heutigen Verbrauchern und Verbrauchsgewohnheiten wesentliche Einschränkungen machen zu müssen, wäre bei einem netzunabhängigen Betrieb entweder ein sehr grosser Speicher, der die Sommerenergie in den Winter hinüber rettet oder ein auf die Wintermonate ausgelegtes, sehr grosses Solarzellenfeld nötig. Beide Lösungen sind extrem teuer. Deshalb wird das Netz des Elektrizitätswerkes zur kostenmässig und energetisch günstigen Lösung für den Ausgleich zwischen erzeugter und verbrauchter Energie.

1.5.2 Inselanlagen

Unter einer Inselanlage versteht man eine unabhängige Stromerzeugungsanlage, die nicht mit dem öffentlichen Netz verbunden ist. In der Regel wird man Inselanlagen dort bauen, wo das öffentliche Netz nicht mehr hinreicht. Dies ist z.B. bei der

Versorgung von abgelegenen Wohn- und Ferienhäusern, Bergrestaurants, Ski- und Klubhütten, land- und alpwirtschaftlichen Objekten der Fall. Daneben werden heute eine Vielzahl von mess- und regeltechnischen Einrichtungen in den Bereichen Wasserwirtschaft, Flussbau, Schnee- und Lawinenforschung und Wetterbeobachtung mit Solarzellenanlagen versorgt. Ebenso arbeiten Telekommunikationseinrichtungen, fernsteuerbare Verkehrsschilder, Reklamebeleuchtungen, Pumpen und Regeleinrichtungen in solarthermischen Anlagen und Pumpen von Trinkwasser- und Bewässerungssystemen mit photovoltaischen Solarzellenanlagen. Projektionsfolie 3, rechts, zeigt eine SOS-Notfunkanlage, wie sie von der Schweizerischen Rettungsflugwacht benutzt wird. Neben diesen ortsfesten Anwendungen gibt es eine Reihe von mobilen Anwendungen in solargespeisten Uhren, Taschenrechnern, Solarradios, Solarlampen und Elektrozaungeräten.

1.6 Ästhetik von Photovoltaikanlagen

Ein Haus besteht aus sehr vielen Komponenten. An jedes einzelne Bauteil hat sich unser Auge gewöhnt. So verfügt zum Beispiel jedes Haus über eine Dachrinne und ein Regenwasserrohr. Dieses durchquert zum Teil die schönsten Fassaden. Niemand stört sich offenbar an diesem Rohr, das an sich ein Fremdkörper in der Fassade darstellt. Im Gegenteil: Die Baubewilligungsbehörde würde ein Bauwerk nicht abnehmen, wenn ein solches Regenwasserrohr am Hause fehlen würde.

Die Gewöhnung des Auges und die Erkenntnis der Nützlichkeit von Solarzellenanlagen wird auch hier helfen, die Akzeptanz für solche Systeme zu erhöhen. Es ist wahrscheinlich, dass es einmal zum Standard eines Hauses gehört, dass auf dem Süddach eine Solarzellenanlage ist. Bevor dieser Zustand der Gewöhnung und Akzeptanz einer Solarzellenanlage erreicht ist, werden wahrscheinlich noch viele Diskussionen im Rahmen von Baugesuchen mit den Baubewilligungsbehörden und den Gremien des Heimatschutzes notwendig sein. Solarzellenanlagen können nicht nur schön sein, sie sind auch umweltschonend. Die heutigen Auseinandersetzungen zwischen Heimatschutz gegen Solarzellen auf dem Dach und Umweltschutz für die Realisierung von umweltgerechten Energieerzeugungsanlagen dürften sich in Zukunft vermehrt zu Gunsten des Baus von Solarzellenanlagen verschieben.

1.7 Energie 2000

Die Volksabstimmung vom 23. September 1990 über den Energieartikel, die Moratoriums- und Ausstiegsinitiative brachte eine Änderung in der Energiepolitik in der von Volk und Ständen beschlossenen Richtung. Die bestehenden Kraftwerke werden weiter genutzt; aber in den nächsten Jahren werden keine Bewilligungen mehr für neue Kernkraftwerke erteilt. Bundesrat und Parlament fassen den Volksentscheid als Handlungsauftrag des Stimmbürgers vor allem zur rationellen Energieverwendung und zum Einsatz der erneuerbaren Energien auf. Entsprechend eindeutig und rasch haben sie denn auch gehandelt. Schon am Abstimmungsabend forderte der Vorsteher des Eidg. Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartements (EVED), Bundesrat Adolf Ogi, zum Energiefrieden und zum gemeinsamen Handeln auf. Der bisherige Grabenkrieg um die Kernenergie, welcher jahrelang jeden entscheidenden Fortschritt in unserer Energiepolitik blockierte, soll einer wirksamen Zusammenarbeit aller Beteiligten weichen. In zahlreichen Einzelgesprächen überzeugte der Vorsteher des EVED Vertreter von Parlament, Kantonen, Gemeinden, Wirtschaft, Privaten, Energieversorgungsunternehmen, Konsumenten- und Umweltorganisationen von der Notwendigkeit eines Aktionsprogramms «Energie 2000» im Sinne eines solchen Kurswechsels. Im Februar 1991 heisst der Bundesrat die Grundzüge des Aktionsprogrammes «Energie 2000» gut. Damit wurden politisch verpflichtende Ziele für den Energieverbrauch und den Beitrag der erneuerbaren Energien im Jahre 2000 festgelegt. Sie lauten wie folgt:

- Mindestens Stabilisierung des Gesamtverbrauches von fossilen Energien und der CO₂-Emissionen im Jahr 2000 auf dem Niveau von 1990 und anschliessende Reduktion.
- Zunehmende Dämpfung der Verbrauchszunahme von Elektrizität während der neunziger Jahre und Stabilisierung der Nachfrage ab 2000.
- Beiträge der erneuerbaren Energien im Jahre 2000:
 - 0.5% zur Stromerzeugung durch Photovoltaik, Wind und Biomasse
 - 3% des Verbrauchs fossiler Energien als Wärme durch Sonnenkollektoren, Biomasse, Geothermie und Umgebungswärme.
- Ausbau der Wasserkraft um 5%
- Ausbau der Leistung der bestehenden Kernkraftwerke um 10%

Unter der Annahme, dass durch photovoltaische Stromerzeugung 60% des Zielwertes, also 0.3% des Endverbrauchs an elektrischer Energie gedeckt werden soll, müssten pro Jahr ca. 140 GWh photovoltaisch produziert werden (Stand 1993). Der erzeugte Jahresenergieertrag pro installiertes Kilowatt (kW) Spitzenleistung beträgt im Durchschnitt ca. 900 kWh. Somit müsste bis ins Jahr 2000 Anlagen mit einer Gesamtleistung von ca. 150 MW installiert werden (Stand Ende 1992: ca. 3 MW). Geht man von gewichteten Durchschnittskosten von Fr. 14 000.– pro kW installierte Leistung aus, ergibt sich ein Investitionsbedarf von ca. 2 Milliarden Franken. Als realistische Zielvorgabe für das Jahr 2000 wird im Moment allgemein eine installierte Leistung von 50 MW angesehen. Dies entspräche ca. 0.1 % des Endverbrauchs an elektrischer Energie.

Ob die Zielvorgabe von Energie 2000 erreicht werden kann, wird stark von der Subventionierung und von der Entwicklung der Solarzellenpreise abhängen.

1.8 Energienutzungs- verordnung (ENV)

Das Parlament hat in der Dezembersession 1990 den Energienutzungsbeschluss (ENB) verabschiedet und damit einer Reihe von wichtigen Massnahmen zur Erreichung der Ziele des Aktionsprogrammes «Energie 2000» zugestimmt. Der ENB enthält unter anderem Vorschriften über die Anschlussbedingungen für dezentral erzeugte Energie, Förderung der erneuerbaren Energien und von Pilot- und Demonstrationsanlagen. Mittlerweile wurde der Beschluss vom Bundesrat abgesegnet und in der Energienutzungsverordnung definitiv formu-

liert. Der ENV ist seit 1. März 1992 in kraft. Die Hauptaussage für Photovoltaikanlagen lautet: «Werden die (sicherheitstechnischen) Voraussetzungen ... erfüllt, sind die Unternehmen der öffentlichen Energieversorgung verpflichtet, die Energieerzeugungsanlagen ... mit dem Netz so zu verbinden, dass die Einspeisung und der Bezug von Energie sichergestellt ist.» (ENV, Art.15). Die Elektrizitätswerke sind also verpflichtet, den Anschluss von Photovoltaik-Netzverbundanlagen zu bewilligen, falls sie die sicherheitstechnischen Bedingungen erfüllen. Momentaner Streitpunkt sind noch die Tarife für die zurückgespeiste Energie.

Kantonale Subventionen

	Steuererleichterungen bei Sanierungen (Anteil der abzugsberechtigten Kosten)		Subventionsmöglichkeiten für die Nutzung von erneuerbaren Energien
	Bauliche/haustechnische Massnahmen	Nutzung von erneuerbaren Energien	
ZH	50–100%	50%	nein
BE	16–100%	16–50%	ja (15%)
LU	max. 7% vom ST.wert	max. 7% vom ST.wert	nein
SZ	30–100%	30–60%	nein
UR	30–100%	30–50%	nein
OW	33%	33%	nein
NW	33%		nein
GL	100%	100%	nein
ZG	max. 33%	max. 33%	nein (Versuchsanlagen ja)
FR	50%	50%	nein (Holz ja)
SO	40–100%	40–50%	nein
BS	66–100%	66–100%	ja (40%)
BL	Pauschale oder eff. Kosten + 33% Aufwand		ja (Förderungsbeitrag, bis 50%)
SH	50%	50%	ja (20%)
AR	30–100%	50%	ja (...kann...)
AI	40%	40%	ja (...kann...)
SG	50% + Pauschale 2%	50% + Pauschale 2 %	nein
GR	50%	50%	nein (ja für Pilot- und Demoanlagen)
AG	25–100%	25–100%	nein (ja für Pilot- und Demoanlagen)
TG	50–100%	50%	nein (ja für Pilot- und Demoanlagen)
TI	100%	40%	nein (Holz ja, max. 40%)
VD	25–100%	60%	nein
VS	max. 50%	max. 50%	10–30% an öffentl. Körperschaften
NE	33%	33%	ja
GE	25–50%		ja
JU			

Stand 1992

Projektionsfolie 4

1.9 Subventionen

Die Investitionskosten für PV-Anlagen liegen heute im Durchschnitt um die Fr. 17 000.– pro kW für schlüsselfertig installierte Anlagen. Wegen diesen hohen Kosten ist eine Verbreitung dieser Technik stark von Subventionen abhängig. Im Kanton Basel-Land, dem Kanton mit der stärksten Subventionierung, ist denn auch die grösste Dichte an PV-Anlagen festzustellen.

Subventionen oder Förderungsbeiträge können auf Gemeinde-, Kantons- und Bundesebene gesprochen werden. Sowohl bei den Gemeinden als auch bei den Kantonen sind die Beiträge sehr unterschiedlich und zum Teil von Auflagen abhängig. Die Industriellen Betriebe Burgdorf vergüten beispielsweise für photovoltaisch erzeugten Strom ab 1991 während 8 Jahren Fr. 1.– pro kWh, oder die Gemeinde Wädenswil zahlt pro kW einen Beitrag von Fr. 1000.–.

Eine Zusammenstellung der kantonalen Subventionsbeiträge zeigt Projektionsfolie 4 (Stand Herbst 1992). Achtung: Gesuche müssen in der Regel vor der Realisierung eingereicht werden, Beiträge können nicht nachträglich geltend gemacht werden.

Auf Bundesebene hat das Eidgenössische Verkehr- und Energiewirtschaftsdepartement (EVED) am 17. September 1992 ein Startprogramm «Sonnenenergie» lanciert. Es fördert unter anderem PV-Anlagen mit einer elektrischen Leistung von 1 bis 20 kW, die in Schulgebäuden eingesetzt werden

mit Fr. 5000.– pro kW. Die vier Beratungsstellen INFOENERGIE halten Formulare bereit, die als Grundlage für die Erteilung von Förderbeiträgen dienen. Die Formulare sind aber bei der Energiefachstelle des Standortkantons einzureichen. Diese Stelle ist ebenfalls für die kantonalen Beiträge zuständig. Weiter fördert der Bund Pilot- und Demonstrationsanlagen. Anlagen, wie sie im Kurs gezeigt werden gelten in der Regel nicht mehr als Pilot- oder Demonstrationsanlage.

Das Bundesamt für Konjunkturfragen (BfK) fördert bis am 1. Dezember 1993 eingereichte Energie-Projekte mit einem Investitionsbonus von 20%. Zweck des Investitionsbonus ist u.a. die Förderung der Beschäftigung durch Realisierung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien. Es müssen u.a. folgende Bedingungen erfüllt sein:

- Der Anlagebesitzer gehört zum Kanton oder der Gemeinde oder ist Träger öffentlicher Aufgaben von kantonalen, regionaler oder kommunaler Bedeutung.
- Das Vorhaben darf nicht bereits budgetiert sein oder vorverlegt werden.
- Die Kosten des Vorhabens müssen Fr. 200 000.– übersteigen.
- Das Vorhaben muss bis Ende 1993 projektiert sein.

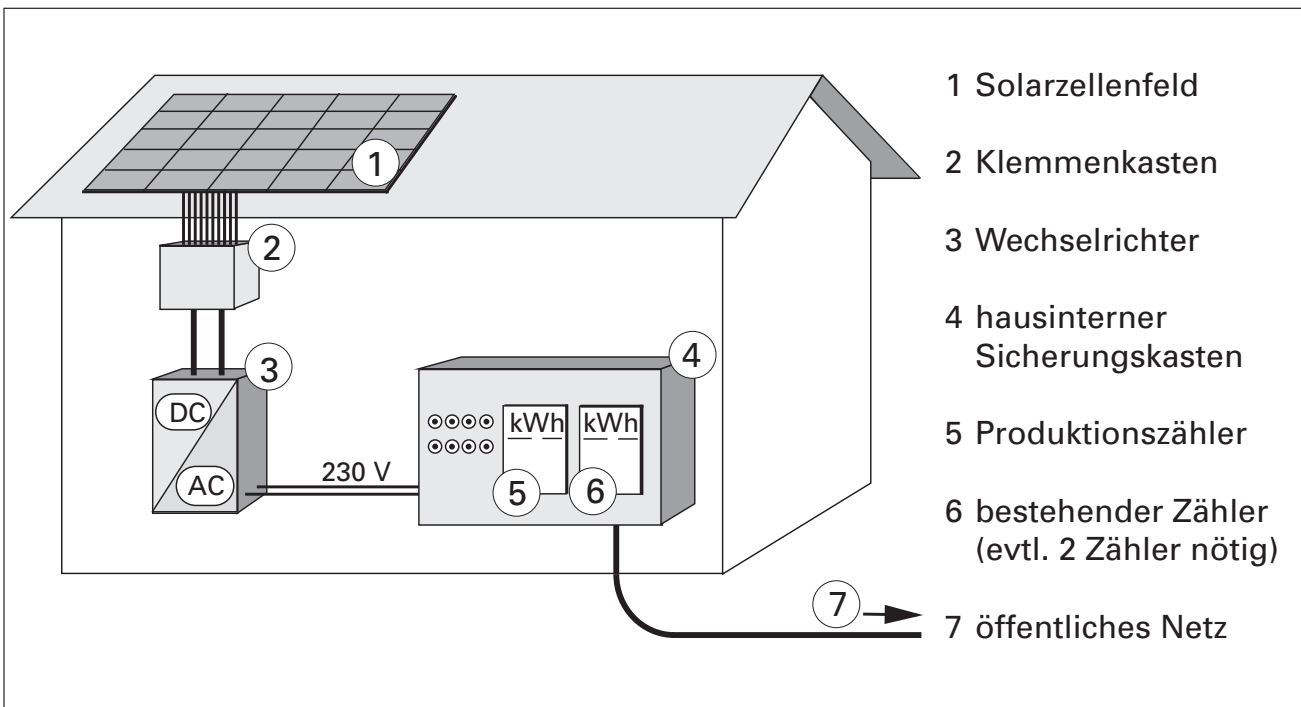
Nähere Auskünfte erteilt die Energiefachstelle des zuständigen Kantons.

2 Netzverbundanlage

2.1	Übersicht Netzverbundanlage	18
2.2	Bezug und Abgabe – Zusammenspiel mit dem Netz	20
2.3	Rückspeisetarife	20

2 Netzverbundanlage

Übersicht Netzverbundanlage



Projektionsfolie 5

2.1 Übersicht Netzverbundanlage

Eine Standard-Solarzellenanlage besteht im wesentlichen aus vier einfachen Subsystemen:

- a) dem Solarzellenfeld, welches auf ein Gebäude, Dach oder in die Fassade integriert werden muss,
- b) dem Klemmenkasten, in dem die Kabel des Solarzellenfeldes zusammengefasst werden,
- c) dem Wechselrichter, welcher den Gleichstrom in Wechselstrom umwandelt und
- d) dem hausinternen (bereits vorhandenen) Sicherungskasten, in den der Wechselstrom eingeleitet wird und wo auch der Sicherungsabgang für die Solarzellenanlage und ein Energiezähler eingebaut sind.

Es mag auf den ersten Blick unsinnig erscheinen, den Vorteil dezentraler Energiesysteme mit dem Nachteil zentraler Energieversorgungsnetze zu verknüpfen. Man könnte meinen, es wäre doch sinnvoller, netzunabhängige, dezentrale Energie-

systeme für die autarke Energieversorgung von Gebäuden anzustreben. Es gibt nun aber gute Gründe, warum der Netzverbund auch dezentraler kleinerer Anlagen überaus sinnvoll ist.

Die Sonnenenergie fällt zeitlich wegen der Tag-Nacht-Schwankungen und den saisonalen Unterschieden nicht mit gleichmässiger Verfügbarkeit an. Um diesen Nachteil bei ungefähr gleichbleibendem Verbrauch auszugleichen, wären grosse Speicher notwendig. Der Verbund mit dem elektrischen Netz erlaubt es aber gerade, ohne internen Speicher auszukommen und die «Speicherwirkung» des Netzes auszunützen.

Durch den Netzverbund werden Energiebeiträge, welche zum Beispiel nicht unmittelbar im eigenen Gebäude verbraucht werden, in das Netz eingespiessen und stehen dem Nachbarn zur weiteren Nutzung zur Verfügung. Dies ist zum Beispiel auch dann der Fall, wenn ein Solarstromerzeuger einige Wochen in die Ferien fährt und den erzeugten Strom gar nicht gebrauchen könnte.

Mit dem Netzverbund soll erreicht werden, dass langfristig das Netz von Produktionsanlagen mit umweltbelastenden Abfallstoffen entlastet wird. Bei jeder Kilowattstunde, welche durch eine Solaranlage eingespiessen wird, geht irgendwo ein Schieber in einem Wasserkraftwerk zurück, um das gespeicherte Wasser zu Zeiten höheren Bedarfs und niedrigerer Sonneneinstrahlung wieder zu nutzen. In einem grösseren Szenario, wo namhafte Energiebeiträge aus Solarstrom auch im Sommer eingespiessen werden, substituiert die Solarenergie direkt Strom, welcher in einem thermisch erzeugten Kraftwerk generiert wird. So wird jede Kilowattstunde, welche im Sommer eingespiessen wird, indirekt dafür sorgen, dass z.B. irgendwo ein Schieber in einem Kohlekraftwerk zurückgeht.

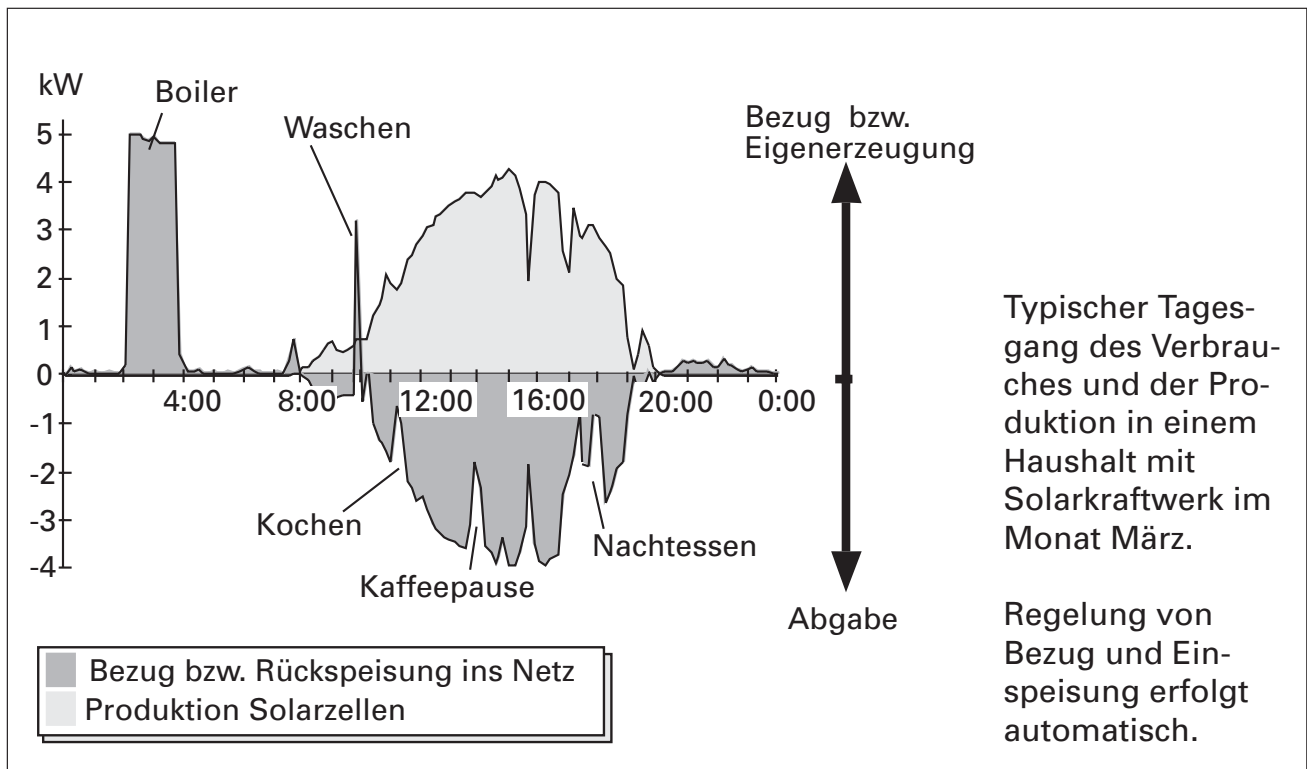
Berechnungen zeigen, dass auf diese Weise in der Schweiz rund 10% Solarstrom im Verbundnetz realisierbar sind. Das ist für die Schweiz alleine

noch nicht die Lösung des Energieproblem, aber ein bedeutender und absolut umweltverträglicher Beitrag für eine langfristige Energieversorgung.

Durch den Verbund mit dem Netz ergeben sich eine Reihe von zusätzlichen Komplikationen für die Solarzellenanlage. Die Erschwernisse ergeben sich daraus, dass die gegenseitige Beeinflussung «Netz und Solaranlage» durch die Auslegung minimal gehalten werden sollte. Diese Anforderung wird heute in modernen Wechselrichtern weitgehend erfüllt, wo eine Mikroprozessorsteuerung die Energieflüsse von der Solaranlage in das Netz regelt.

Neben den Einwirkungen, welche die Solaranlage auf das Netz haben kann, sind auch Rückwirkungen vom Netz auf die Solaranlage denkbar. Diese können für die Anlage schädigende Wirkung haben und es ist darauf zu achten, diese Einflüsse zu unterdrücken.

Bezug und Abgabe – Zusammenspiel mit dem Netz



Projektionsfolie 6

2.2 Bezug und Abgabe – Zusammenspiel mit dem Netz

Das Zusammenspiel zwischen der Solarzellenanlage, den Hausverbrauchern und dem Netz ist sehr einfach. Der Bezüger konsumiert vom Netz elektrische Energie, ohne dass er über das Vorhandensein einer solaren Netzeinspeisung etwas merkt. Ebenso wird erzeugte Solarenergie in das Netz eingespiessen, ohne dass es der Netzbetreiber oder der Konsument merkt.

In der Graphik ist ein Tagesgang über 24 Stunden dargestellt. Am Morgen wird in diesem Beispiel zwischen 2 und 4 Uhr der Warmwasserboiler des Einfamilienhauses mit Strom aufgeladen. Anschliessend sieht man, dass um rund 7.30 Uhr ein Energiebezug erfolgte, welcher wahrscheinlich zur Zubereitung des Frühstücks notwendig war. Um rund 8 Uhr erfolgt die erste Produktion der Solarzellenanlage. Der Energiebeitrag, welcher zwischen 8 und 9 Uhr erfolgt, wird ins Netz eingespiessen. Die Produktion steigt im Laufe des Tages kontinuierlich an, wobei die Rückspeisung um rund 10 Uhr unterbrochen wird, weil ein grösserer Energiebezug über eine kurze Zeit erfolgte. Man kann vermuten, dass dort zum Beispiel die Waschmaschine angeschaltet wurde. Die Produktion steigt an, wobei man zum Beispiel um 11.30 Uhr eine Einbusse in der Abgabeleistung ins Netz erkennen kann. Es ist möglich, dass dort zum Beispiel das Mittagessen zubereitet wurde. Man erkennt ferner, dass die Tagesspitze um etwa 14 Uhr für diese Anlage erfolgt. Das ergibt sich daher, dass die Anlage etwa 30° aus der Südachse nach Westen abgedreht ist.

Die Regelung über den Bezug und die Abgabe von solar erzeugtem Strom erfolgt vollständig automatisch. Die Steuerung im Wechselrichter sorgt dafür, dass die Normen über Oberspannungen, Frequenzeinhaltung und Rückspeiseunterbindung bei Stromausfall eingehalten werden.

Ob die oben geschilderten Verhältnisse über Abgabe und Bezug von Energie einzeln im Zähler ausgewiesen werden müssen oder ob nur ein Zähler verwendet wird, welcher vor- und rückwärts laufen kann, ist von Versorgungsgebiet zu Versorgungsgebiet verschieden. Voraussichtlich werden in den nächsten Jahren die Elektrizitätswerke zusätzlich einen Zähler einbauen, um auch die produzierten Energieerträge registrieren zu können.

2.3 Rückspeisetarife

Nicht am Erzeugungsstandort benötigte Energie fliesst automatisch ins öffentliche Stromnetz des lokalen Elektrizitätswerkes (EW) zurück. Das EW ist gemäss Energienutzungsverordnung (ENV, siehe 1.8) verpflichtet, den privat erzeugten Strom abzunehmen. Über die Höhe der Rücklieferungstarife herrscht jedoch immer noch Uneinigkeit. Vielerorts wird vom EW für den rückgespeisten Strom gleichviel bezahlt, wie für den bezogenen, d.h. zwischen 7 und 20 Rp.

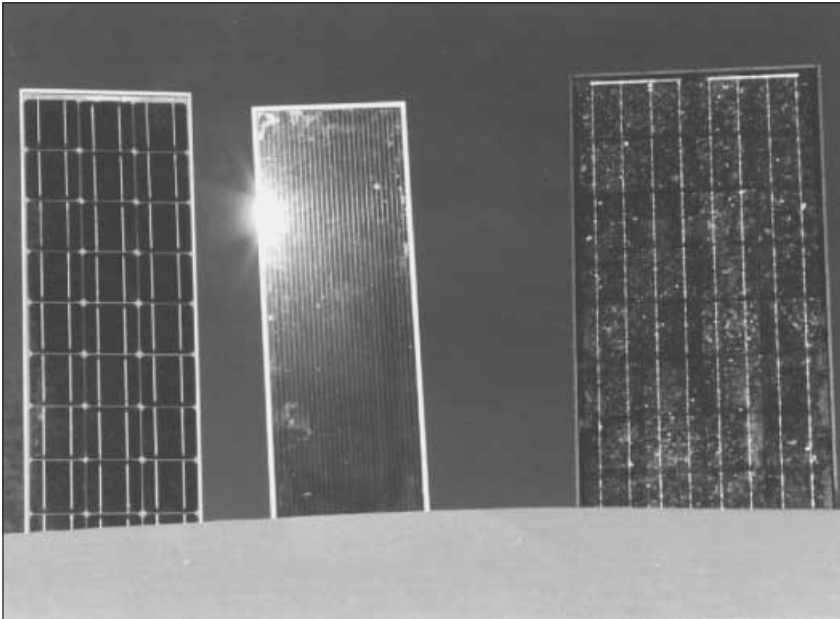
Berechnet man die Stromgestehungskosten von Photovoltaikanlagen, so liegen die kWh-Preise je nach Berechnungsart, Standort und Investitionskosten zwischen Fr. –.80 und Fr. 2.–. Das ist ein Mehrfaches der heutigen Strompreise. Nach gängigen wirtschaftlichen Kriterien ist eine PV-Anlage heute also nicht rentabel betreibbar. In Zukunft sind steigende Energiepreise und sinkende Anlagekosten wahrscheinlich, so dass die Hoffnung besteht, mittelfristig Solarstrom zu konkurrenzfähigen Preisen erzeugen zu können.

3 Solarzellenmodule

3.1	Modultypen	23
3.2	Aufbau von Solarmodulen	25
3.3	Funktionsweise von Solarzellen	27
3.4	Mechanische Eigenschaften von Modulen	27
3.5	Elektrische Eigenschaften von Modulen	29
3.6	Beispiel einer Anschlussbox mit Antiparalleldiode	30
3.7	Gefahren des Gleichstromes	31
3.7.1	Personenschutz	31
3.7.2	Brandrisiko	31
3.7.3	Elektrochemische Korrosion	31

3 Solarzellenmodule

Modultypen



Kernstück jeder Anlage ist das Solarzellenmodul.

Die Produkte unterscheiden sich in Wirkungsgrad, Grösse, Gewicht, Technologie und Preis.

Verschiedenartige Module, von links nach rechts:
Monokristallin, Amorph, Polykristallin

3.1 Modultypen

Solarzellenmodule werden auch Photovoltaikmodule genannt. Diese ermöglichen die direkte Umwandlung von eingestrahelter Sonnenenergie in elektrischen Strom. Dazu notwendig sind grossflächige Halbleiter mit ähnlicher Struktur, wie sie in jedem Transistor zu finden sind.

Zur Zeit werden für die Herstellung handelsüblicher Solarmodule hauptsächlich monokristalline, polykristalline oder amorphe Siliziumzellen verwendet. Diese verschiedenen Solarzellentypen unterscheiden sich zum Teil wesentlich in ihren elektrischen und mechanischen Eigenschaften. Die monokristallinen Zellen entstehen durch Trennschleifen aus einem Siliziumeinkristall, der unter gleichmässiger Rotation aus einer Siliziumschmelze gezogen worden ist. Polykristalline Zellen dagegen werden mit Trennschleifen aus gegossenen Siliziumblöcken erzeugt.

Amorphe Solarzellen werden durch Aufdampfen von verschiedenen Schichten auf eine Trägersubstanz hergestellt. Dadurch unterscheidet sich die Fertigungstechnik der amorphen Solarzellen ganz wesentlich von jener der kristallinen Solarzelle.

Die verschiedenen Solarzellen unterscheiden sich aber nicht nur durch die Art der Fabrikation und damit auch durch ihre elektrische Eigenschaften,

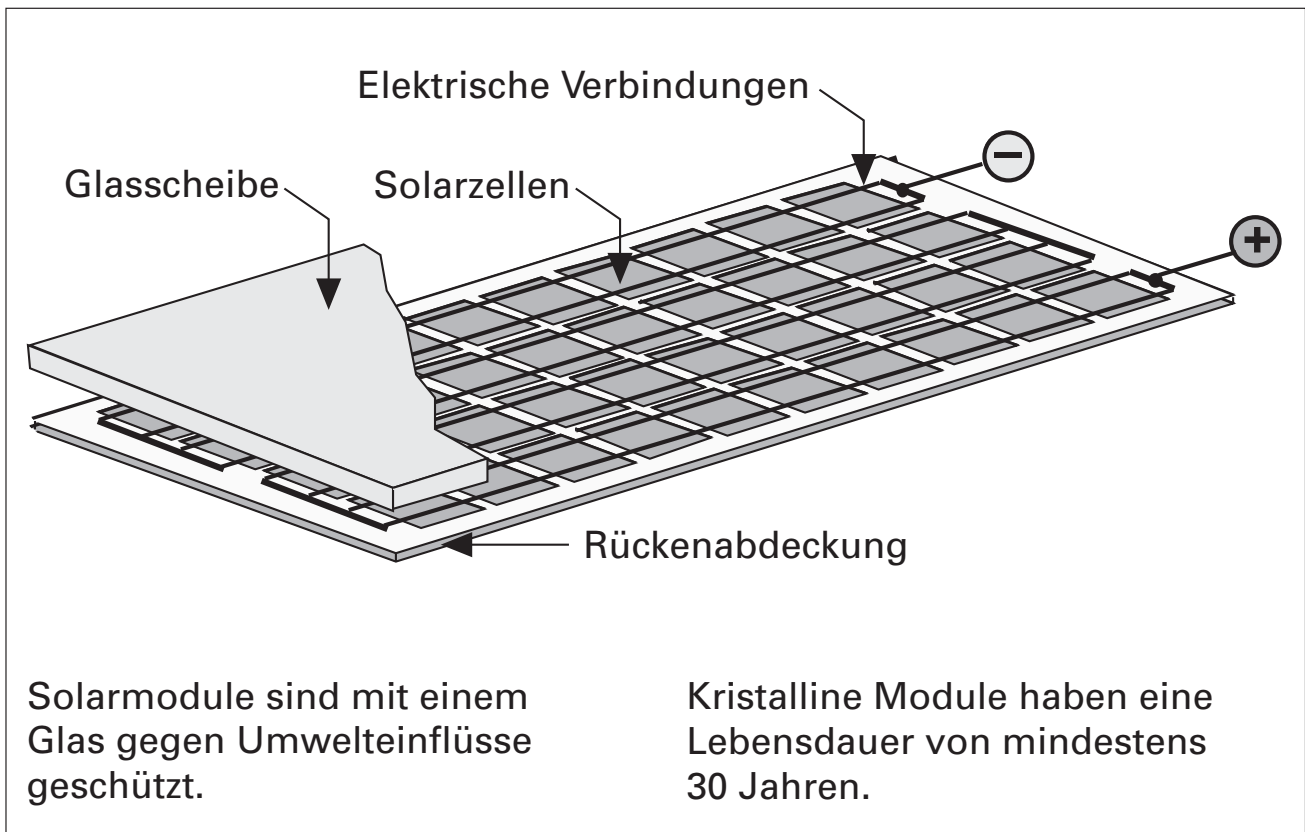
sondern auch durch ihr Aussehen. Wie der Name andeutet, bestehen die monokristallinen Solarzellen aus Scheibchen, welche aus einem einzigen Kristall herausgesägt wurden. Damit weisen diese Zellen ein einheitliches Farbbildmuster auf, welches nur durch die elektrischen Kontaktbahnen unterbrochen wird.

Bei der polykristallinen Solarzelle dagegen kann man die Vielzahl der Kristalle an ihren Korngrenzen erkennen. Es ergibt sich ein gemustertes Erscheinungsbild. Neben den vielen Kristallen sind Leiterbahnen ebenfalls ersichtlich.

Die amorphe Zelle dagegen besteht aus einem einheitlichen gleichgetönten Erscheinungsbild, welches einzig durch hauchdünne Bahnen unterbrochen wird. Je nach Fabrikationstechnik können die Farbtöne variiert werden.

Um die empfindlichen Schichten, welche das Sonnenlicht absorbieren und dieses in elektrischen Strom umwandeln, gegen Umwelteinflüsse zu schützen, werden diese hinter Glas versiegelt. Damit ist dann meist auch die Form und die Grösse des Solarmodules bestimmt. Bei den heute marktüblichen Solarmodulen wird das Modul in einem Alurahmen eingefasst. Es ist denkbar, dass für die Integration in Gebäude in näherer Zukunft Module ohne derartige Rahmen gebraucht werden könnten.

Aufbau von Solarmodulen



Projektionsfolie 8

3.2 Aufbau von Solarmodulen

Die eigentliche Solarzelle besteht aus einer hauchdünnen Schicht Silizium, in welcher die Umwandlung des Sonnenlichtes in elektrische Energie stattfindet. Diese empfindlichen kristallinen Schichten müssen gegen die Einwirkungen der Umwelt geschützt werden. Dies sind vor allem mechanische Belastungen und korrosive Wirkungen der Luft. Heutige kristalline Solarzellenmodule bestehen in der Regel aus mehreren Solarzellen, welche meist seriell verschaltet sind und rund 10 x 10 cm messen. Dieser Verbund von einzelnen Solarzellen muss nun so verpackt werden, dass er

- a) optimal gegen Umwelteinflüsse geschützt ist und
- b) das Sonnenlicht ungehindert durchgelassen wird, und so die Sonnenenergie möglichst effizient zur elektrischen Stromerzeugung genutzt werden kann.

Für Solarmodule, welche in ortsfesten Energieanlagen installiert werden, hat sich die Verwendung von Glas auf der Frontseite durchgesetzt. Damit wird erreicht, dass das Sonnenlicht mit nur wenigen Prozenten Verlust auf die Solarzelle auftrifft. Gleichzeitig wird ein langlebiger Schutz der Module erreicht.

Um auch die Rückseite der Zellen vor Feuchtigkeit und Umwelteinflüssen zu schützen, werden dort Kunststofffolien (in der Regel sind es Tedlarfolien) oder Glasabdeckungen verwendet. Um zwischen den drei Schichten – Frontglasabdeckung, Solarzellen und rückseitige Schutzschicht – einen stabilen und langlebigen Verbund herzustellen, wird in einem speziellen Verfahren ein robustes und langlebiges Laminat hergestellt. Als verbindende Kunststoffmasse wird vorzugsweise eine vernetzbare Äthylvinylchlorid (EVA)-Folie verwendet.

Verletzungen der Schutzschichten können nicht nur zu Funktionseinbußen, sondern auch zu drastischer Reduktion der Lebensdauer führen.

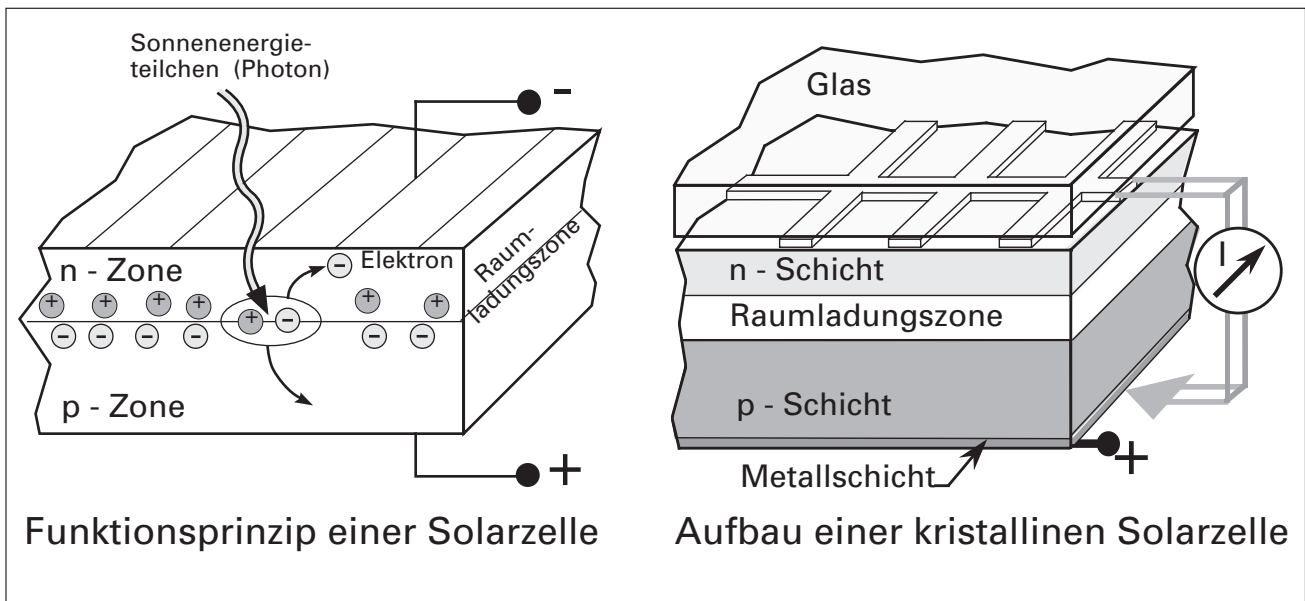
Die verschiedenen Schichten sind sandwichartig aufgebaut. Die Schichtfolge sieht von der Sonnenseite aus betrachtet, wie folgt aus: Glas als obere Abdeckungsschicht, eine EVA-Folie, die Solarzellen, ein Glasgewebe als Luftevakuierungsschicht, eine EVA-Folie und rückseitig entweder eine Tedlar-Kunststoffolie oder wiederum eine Glasschicht.

Der Verarbeitungsprozess läuft in der Regel so ab: In einem speziellen Laminiergerät wird vorgängig die Luft aus den einzelnen Schichten entfernt, um zu erreichen, dass möglichst wenig korrosive Einflüsse nach dem Laminierprozess noch in Kontakt mit den empfindlichen Solarzellen sind. Nach dem Evakuierungsprozess wird der Verbund auf rund 150° erwärmt und unter Druck werden nun die Rück- und die Frontseite leicht zusammengedrückt. Die dazwischenliegende Kunststoffolie ist unter der Wärmeeinwirkung praktisch flüssig geworden und füllt alle Poren und Hohlräume zwischen den Zellen und den Verbindungsleitern. Beim nachfolgenden Erstarren wird sie glasklar und damit durchsichtig für das Sonnenlicht.

Ein kritischer Punkt des Verfahrens ist die Herausführung der elektrischen Anschlüsse aus dem Modul. Der Modulhersteller entwickelt dazu spezielle Anslusstechiken, welche garantieren, dass entlang den Zuleitungen keine Feuchtigkeit und Luftmoleküle in den Verbund hineingelangen. Bei den Modulen mit Kunststoffabdeckungen wird diese Kunststoffolie auf der Rückseite meist durchbrochen, um die Leiterbahnen herauszuführen. Meist wird eine Anschlussbox an das Modul geklebt und die Plus- und Minusleitungen in der Anschlussbox angeschlossen. Eine nachträgliche Versiegelung der Anschlussgeräte mit einem speziellen Kunststoff verhindert weitgehend den Zutritt der korrosiven Stoffe aus der Luft zu den Zellen.

Bei Glas-Glas-Modulen werden die Anschlüsse meist am Modulrand herausgeführt. Diese elektrische Anschlussführung ist für das Modul selber sehr unkritisch, hat aber oft zum Nachteil, dass die Spannungsfestigkeit gegenüber einem Metallrahmen, welcher das Modul einfasst, zu einem kritischen Punkt wird.

Funktionsweise von Solarzellen



In Solarzellen wird die Solarstrahlung direkt in elektrischen Strom umgewandelt.

Es gibt kristalline und amorphe Solarzellen. Heutige Zellen bestehen aus Silizium.

Solarstrahlung besteht aus Lichtteilchen (Photonen).

Kristalline Solarzellen sind seit gut 30 Jahren im Einsatz. Amorphe Zellen sind neu und werden vor allem in Taschenrechnern und Uhren eingesetzt.

Projektionsfolie 9

3.3 Funktionsweise von Solarzellen

Es gibt heute verschiedene Techniken, welche es ermöglichen, die einfallenden Lichtteilchen in elektrische Energie umzuwandeln. Man kann sich vorstellen, dass die Sonnenenergie einem wahren Trommelfeuer von kleinen Lichtteilchen, den sogenannten Photonen, entspricht. Fällt ein Lichtteilchen in einer Solarzelle auf ein Atom und wird dort absorbiert, dann ist es aufgrund seiner abgegebenen Energie in der Lage, ein Elektron aus seiner ursprünglichen Bahn herauszuwerfen. Dieses Elektron ist nun frei. Durch die spezielle Anordnung der Solarzellen entsteht an der Grenzfläche der verschiedenen Schichten ein elektrisches Feld, welches dieses Elektron anzieht.

Bei einer Solarzelle mit p- und n-dotierter Siliziumschicht entsteht das innere elektrische Feld im angrenzenden Bereich beider Schichten durch deren unterschiedlichen Eigenschaften. Sie werden erzeugt durch Legierungen von hochreinem Silizium mit Fremdatomen in sehr geringer Konzentration. p-Dotierung bedeutet das Einfügen von Boratomen in den Siliziumatomverband, n-Dotierung das Einfügen von Phosphoratomen. An der Grenzschicht zwischen den beiden unterschiedlich dotierten Siliziumschichten bildet sich das oben erwähnte elektrische Feld aus. Fällt nun Licht auf diese Solarzelle, werden paarweise positive Ladungsträger (Löcher) und negative Ladungsträger (Elektronen) erzeugt. Gelingt es den Ladungsträgerpaaren, in den Bereich des elektrischen Feldes zu gelangen, ohne zu rekombinieren (das heisst sich zu vereinigen und sich damit gegenseitig zu neutralisieren), werden die Ladungsträgerpaare durch das elektrische Feld getrennt. Die Elektronen bewegen sich zur Frontseite der n-dotierten Schicht, werden über metallische Kontaktfinger gesammelt und fließen in den äusseren Gleichspannungsstromkreis weiter. Die Löcher bewegen sich zur p-dotierten Schicht und tragen so zu einem Strom bei, der über den vollflächigen, metallischen Rückkontakt in den Stromkreis zum Frontgitter fließt.

3.4 Mechanische Eigenschaften von Modulen

Die meisten heute im Handel erhältlichen Solarmodule haben ein Testverfahren von ESTI (European Solar Test Installation) durchlaufen und bestanden. Unter anderem werden folgende Tests durchgeführt:

Hageltest:

Es werden Hagelkörner (25 mm Durchmesser) mit ca. 80 km/h auf definierte Punkte des Moduls geschossen.

Mechanische Last:

Hier wird die Widerstandsfähigkeit gegen Schnee, Eis und Wind geprüft. Die Testbelastung entspricht einer Windgeschwindigkeit von 130 km/h.

Verdrehtest:

Dieser Test soll die Montage auf eine unebene Unterkonstruktion simulieren. Dabei sind drei Ecken in einer Ebene fixiert, die vierte wird aus der Ebene hinausgedrückt.

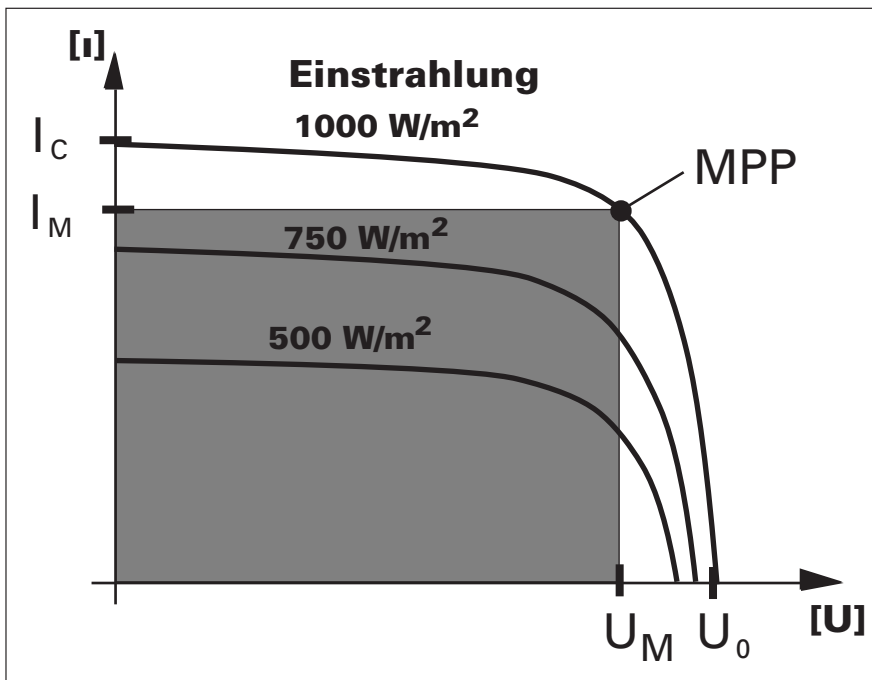
Weitere Tests

prüfen die Robustheit der Anschlüsse, die UV-Beständigkeit des Moduls, die Langzeit-Wasserdichtheit und anderes mehr.

Bei Modulen, welche einen der beiden ESTI-Tests 502 oder 503 bestanden haben, kann davon ausgegangen werden, dass die Solarzellen langzeitstabil eingebettet sind. Die Funktionstüchtigkeit des Solarmodules ist mindestens während ca. 30 Jahren gewährleistet, falls der Hersteller die Seriemodule in gleicher Qualität produziert.

Bei grösseren Bestellungen kann es sinnvoll sein, Module stichprobenweise beim Hersteller zu prüfen.

Elektrische Eigenschaften von Modulen



Nennleistung wird gemessen bei 1000 W/m^2 , AM 1.5 und $25 \text{ }^\circ\text{C}$ Zelltemperatur.

Die Stromstärke steigt linear mit der Gesamteinstrahlung.

Die Leerlaufspannung wird schon bei schwachem Tageslicht erreicht.

I_C : Kurzschlussstrom U_0 : Leerlaufspannung
 I_M : Arbeitspunktstrom U_M : Arbeitspunktsp.

MPP: Maximum Power Point (Punkt maximaler Leistung)

$$P_{\text{max.}} = U_M \cdot I_M$$

3.5 Elektrische Eigenschaften von Modulen

Charakteristische Grösse eines Solarmoduls ist der Wirkungsgrad. Er wird in Prozent angegeben und ist das Verhältnis von abgegriffener elektrischer Energie und eingestrahelter Sonnenenergie. Die Modulwirkungsgrade werden durch die Zellentechnologie bestimmt. Heutige Wirkungsgrade von käuflichen Modulen sind:

Amorphe Siliziummodule:	ca. 5%
Poly- oder multikristalline Module:	ca. 10%
Monokristalline Module:	ca. 12–15%

Je nach Modultyp werden also lediglich 5 bis 15% der Sonnenstrahlung in elektrische Energie umgewandelt, der grosse Rest in Wärme. Solarmodule können sich deshalb ohne weiteres bis über 60 °C erwärmen. Hohe Modultemperaturen bewirken jedoch eine Wirkungsgradreduktion. Idealerweise werden Solarmodule deshalb hinterlüftet. Hat ein Modul bei 25 °C einen Wirkungsgrad von 12%, so sinkt dieser bei 60 °C auf ca. 10% ab und steigt bei –15 °C auf ca. 14% an.

Heutige Standardmodule wurden für Inselanlagen massgeschneidert. Im Betrieb erzeugen sie zwischen den Anschlussklemmen eine Spannung von ca. 17 V. Diese Spannung ist geeignet, um 12-V-Batterien aufzuladen. Die Spannung an den Klemmen eines einzelnen Moduls ist deshalb für Personen ungefährlich.

Der photovoltaische Effekt erzeugt vorerst an den Plus- und Minusklemmen der Solarzellen eine Gleichspannung. Erst wenn eine äussere Last angeschlossen wird, fliesst ein Gleichstrom. Je nach Stärke der Einstrahlung, der Solarzellentemperatur und der Charakteristik der angeschlossenen Last wird sich eine Betriebsspannung und ein Betriebsstrom einstellen. Aus der Fülle der möglichen Betriebszustände, bei welchen die Solarzelle Energie liefert, gibt es gerade einen Strom-Spannungs-Zustand, bei welchem die Zelle ihre maximal mögliche Leistung abgibt. Es ist eine wichtige Aufgabe des Solaringenieurs, die Anlage so zu planen, dass die Solarzellen, bzw. die Module und

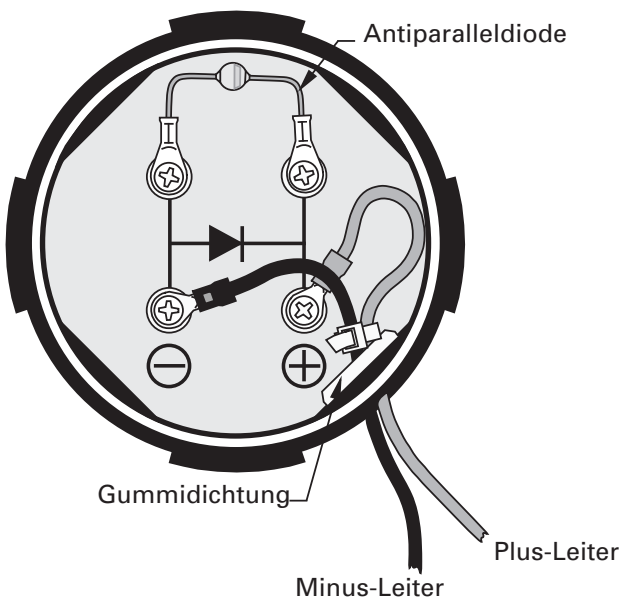
das gesamte Feld immer möglichst in diesem Arbeitspunkt maximaler Leistungsabgabe arbeiten.

Die heute auf dem Markt käuflichen Solarwechselrichter verfügen deshalb meist über einen eingebauten «Max-Power-Tracker». Dieser regelt den Stromfluss derart, dass das Produkt aus Solarzellenfeld, Spannung und Solarstrom immer ein Maximum beträgt.

Die elektrische Eigenschaft des Solargenerators wird in der Regel in einem Strom-Spannungskennlinienfeld dargestellt. Dabei wird auf der Horizontalachse die Spannung, auf der vertikalen Achse der Strom aus der Solarzelle aufgetragen. Es ergeben sich einige Besonderheiten:

- Fliesst kein Strom aus der Solarzelle, so ergibt sich auf der x-Achse die Leerlaufspannung U_0 der Solarzelle, welche in erster Linie von der Zellentemperatur und in zweiter Näherung von der augenblicklichen Einstrahlung abhängt.
- Werden die Anschlüsse einer Solarzelle bzw. eines Solarmoduls kurzgeschlossen, ergibt sich auf der vertikalen Achse der sogenannte Kurzschlussstrom I_c .
- Zwischen den Betriebszuständen «Leerlauf» und «Kurzschluss», ergeben sich eine Fülle von möglichen Lastzuständen, wobei sich Strom- und Spannungswerte entsprechend der Solarzellen-Kennlinie einstellen werden. Wird die Solarzelle gerade so belastet, dass sich die Spannung U_{max} und der Strom I_{max} einstellt, dann ist die abgegebene Leistung $P = U_{max} * I_{max}$ maximal.
- Sinkt die Einstrahlung, so verringert sich in erster Linie der verfügbare Solarzellenstrom. Der Zusammenhang zwischen Kurzschlussstrom und Einstrahlung ist praktisch linear.
- Sinkt die Solarzellentemperatur, dann steigt die Leerlaufspannung. Die Strom-Spannungs-Charakteristik verschiebt sich nach rechts und die verfügbare mögliche Leistung steigt. Anders ausgedrückt: bei Erwärmung sinkt die Leistung. Es ist deshalb wichtig, bei der Installation dafür zu sorgen, dass die Solarmodule optimal hinterlüftet werden.

Beispiel einer Anschlussbox mit Anti-Paralleldiode



Antiparalleldiode

Gummidichtung

Plus-Leiter

Minus-Leiter

Jedes Solarmodul hat eine Plus- und eine Minusklemme.

Zwischen den beiden Polen ist eine Diode in Gegenpolverschaltung notwendig.

Die Diode verhindert Beschädigung (Überhitzung) der Module bei Beschattung.

Anschlussboxen müssen vor Feuchtigkeit geschützt werden, um Korrosion zu vermeiden.

Projektionsfolie 11

3.6 Beispiel einer Anschlussbox mit Antiparalleldiode

Das Solarmodul verfügt über eine Plus- und eine Minus-Klemme, von welchen aus die Verdrahtung weiter geführt wird. Im Laufe der Entwicklung der Solarmodultechnik wurden eine Vielzahl von verschiedenen Anschlussboxen entwickelt. Bei den heute gebräuchlichen Boxen ist darauf zu achten,

- dass die Anschlüsse von unten in die Box hineingeführt werden können: so wird verhindert, dass Wasser den Kabeln entlang einlaufen kann,
- dass genügend Raum zum sauberen Anschließen der Kabel vorhanden ist,
- dass genügend Raum für eine Antiparalleldiode vorhanden ist,
- dass die Anschlussschrauben festsitzen und nicht leicht verdreht werden können, so dass die Solarzelle immer noch elektrisch einwandfrei mit der Anschlussklemme verbunden ist,
- und dass ein Deckel gegen unerlaubtes Berühren schützt. In der Regel sollte die Box so ausgeführt werden, dass der Deckel nur mit Hilfe eines Werkzeuges entfernt werden kann. Dies ist vor

allem dann wichtig, wenn höhere Betriebsspannungen eingesetzt werden.

Die zwischen dem Plus- und Minuspol liegende Diode wird in Antiparallelschaltung eingebaut. Dabei ist der Kathodenanschluss der Diode mit einem Markierring gekennzeichnet und wird mit dem Pluspol des Moduls verbunden. Der Anodenanschluss wird auf den Minuspol des Moduls geführt. Die Diode verhindert das Erwärmen bzw. Zerstören der Solarmodule bei teilweiser Beschattung.

Das Ansammeln von Wasser in den Anschlussboxen soll auf alle Fälle verhindert werden. Bei Wasserrückständen findet eine sehr schnelle Korrosion zwischen den stromführenden Teilen statt. Aber auch die Feuchtigkeit alleine kann schon Ursache von erheblichen Korrosionsschäden sein. Deshalb müssen die Anschlussboxen so gestaltet sein, dass möglichst keine Feuchtigkeit eindringen kann.

Die Antiparalleldioden sind immer einzusetzen. Bei manchen Modulen sind sie schon eingebaut, bei anderen werden sie lose mitgeliefert oder sind separat zu kaufen.

3.7 Gefahren des Gleichstromes

3.7.1 Personenschutz

Im 18. Jahrhundert wurden elektrische Entladungen bei Bernsteinen und anderen Elementen als Kuriosität an barocken Festen zur Belustigung vorgeführt. «Aus einem lebendigen Körper fahrende Funken machen einen Hauptteil der Belustigung der Herren- und Frauenzimmer aus». Diese elektrischen Entladungen sind trotz der stets hohen Spannungen von einigen 1000 V harmlos, weil die damit verbundenen Ströme sehr klein sind. Nimmt dagegen die Stromstärke zu, steigt das Gefährdungspotential für Personen. Die Wirkungen von Gleich- und Wechselstrom auf den menschlichen Körper sind verschieden. Wechselströme von mehr als 20 mA können zu Veränderungen im Herzrhythmus führen. Wird der Herzmuskel durch den Wechselstrom, der 100 Mal pro Sekunde die Polarität wechselt, zu einer so schnellen Folge von Kontraktionen angeregt, dass das sogenannte «Herzkammerflimmern» eintritt, setzt die Pumpenwirkung des Herzens aus. Wird der Stromfluss unterbrochen, hört das Herzkammerflimmern meist auf oder kann durch einen Sanitätseingriff mittels Massage wieder rückgängig gemacht werden. Gleichströme dagegen verursachen elektrochemische Vorgänge im Körper, vor allem im Nervensystem. Höhere Stromstärken führen ausserdem zu Verbrennungen.

Gemäss Normen des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins sind Berührungsspannungen bis 120 Volt Gleichspannung (DC) zulässig. Höhere Berührungsspannungen dürfen nicht länger als 5 Sekunden einwirken. Anlagen, die diese Anforderungen erfüllen gelten als Kleinspannungsanlagen. In der Regel ist dies bei Solaranlagen der Fall.

An den Anschlüssen eines Standard-Solarmoduls in der Grösse von 50 bis 60 Watt stehen Leerlaufspannungen von um die 20 Volt an. Einzelne Module stellen daher kein Gefahrenpotential dar. Die Serieverbindung der Module zu einem Strang geschieht in der Regel untern Tageslicht, welches zur Zeit der Dämmerung oder während eines bedeckten Himmels durchaus genügen kann, bei Solarzellenanlagen die volle Betriebsspannung zu erzeugen. Bei Strangverbindungen deren Leerlaufspannung über 120 Volt DC liegt – das ist ab ca. sieben in Serie geschalteter Standard-Module der Fall – sind besondere Vorsichtsmassnahmen zu ergreifen.

Es ist jedoch wichtig, sich nochmals in Erinnerung zu rufen, dass bei einem Fehler, wo alle beispielsweise 60 Module in Serie geschaltet werden, Spannungen von über 1000 V erzeugt werden können. Diese können lebensgefährlich sein.

3.7.2 Brandrisiko

Zwischen Leitern, welche unter Spannung stehen, herrscht ein elektrisches Feld. Diese Feldstärke nimmt mit steigender Spannung und mit abnehmender Distanz zwischen den Leitern zu. Wird die Distanz zwischen den Leitern sehr klein, wird die dazwischenliegende Luft durch das erhöhte Feld ionisiert. Bei Wechselstrom ändert sich das Feld hundertmal in der Sekunde und verschwindet beim Nulldurchgang. Bei Gleichstrom dagegen ist die ionisierende Wirkung ununterbrochen. Damit ist die Gefahr der Lichtbogenbildung bei Gleichstrom viel grösser.

Wegen der besonderen Charakteristik der Solarzellen (Stromquellen), ist es nicht möglich, diesen Lichtbogenstrom durch normale Sicherungen zu unterbinden.

Ein Lichtbogen erreicht Temperaturen von einigen 1000 °C. Die leitenden Metallteile beginnen zu schmelzen, die umliegende Isolation beginnt zu brennen, der Lichtbogen wandert der Isolation und den Leitern entlang. Bildet sich bei einer voll besonnten Solarzellenanlage erst einmal ein Lichtbogen, ist mit grosser Wahrscheinlichkeit mit Zerstörungen zu rechnen. Es kann nicht stark genug auf diese Gefährdung hingewiesen werden.

Lichtbogenegefahr besteht insbesondere bei Wackelkontakten, bei Fehlern in der Isolation, bei Schaltvorgängen, beim Entfernen von Sicherungen unter Last und bei Verdrahtung des Feldes im geschlossenen Stromkreis.

3.7.3 Elektrochemische Korrosion

An den Berührungsstellen zweier verschiedener Metalle kann sich bei Zutritt von Feuchtigkeit ein galvanisches Element bilden. Der dabei fliessende Strom verursacht eine sogenannte Berührungs- oder Kontaktkorrosion.

Korrosion ist eine von der Oberfläche ausgehende Zerstörung eines Metalls durch chemische Umwandlung. Für das Zustandekommen einer elektrochemischen Korrosion müssen mindestens drei Voraussetzungen gegeben sein:

- ein Lokalelement, welches durch zwei verschiedene Metalle gebildet wird,
- eine leitende Verbindung zwischen den beiden Metallen und
- ein Elektrolyt, der mit dem Metall unter Ionenbildung in chemische Reaktion treten kann. Dabei muss die gefährdete Kontaktstelle nicht in eine grössere Flüssigkeitsmenge eingetaucht sein. Es genügt bereits ein Feuchtigkeitsfilm, der in der normalen Atmosphäre zum Beispiel durch Kondensation entstehen kann.

Kommt neben der treibenden Kraft, welche normalerweise durch die Potentialdifferenz der beiden Metalle gegeben ist, noch eine äussere Gleichspannung dazu, kann die elektrochemische Reakti-

onsgeschwindigkeit um das Hundertfache gesteigert werden. Äussere Gleichspannungen können durch Fehlerströme (z.B. Erdschlüsse) von unsachgemäss installierten Solaranlagen her stammen.

Die Verhinderung der elektrochemischen Korrosion in Solaranlagen geschieht, indem die Kontaktstellen von verschiedenartigen Metallen vor Feuchtigkeit geschützt werden und indem bei nicht geerdeten Gleichstromanlagen die Erdschlussüberwachung, sofern vorhanden, regelmässig überprüft wird. Unter Umständen muss sogar eine Isolation zwischen Metallen hoher Spannungsdifferenz erwogen werden, wenn Bauteilpaarung und Umgebungsmedien keine andere Möglichkeit gestatten. In jedem Fall sollte der Problemkreis «Metallverbindungen – Korrosion – Blitzschutz» mit dem Spengler diskutiert werden.

4 Systemübersicht

4.1	Systeme im Steildach	34
4.1.1	System «Auf Dach»	38
4.1.2	System «Einbau»	46
4.1.3	System «Solardachziegel»	52
4.1.4	System «Trapezblechprofil»	57
4.1.5	Schiefer- und Schindelsysteme	59

4.2	Systeme in der Fassade	61
4.2.1	Solarfassaden mit massgefertigten Modulen	61
4.2.2	Solarfassaden mit Standardmodulen	63

4.3	Systeme auf dem Flachdach	63
4.3.1	Universelle Schwerlastverankerung	65
4.3.2	Optimierte Schwerlastverankerung	67

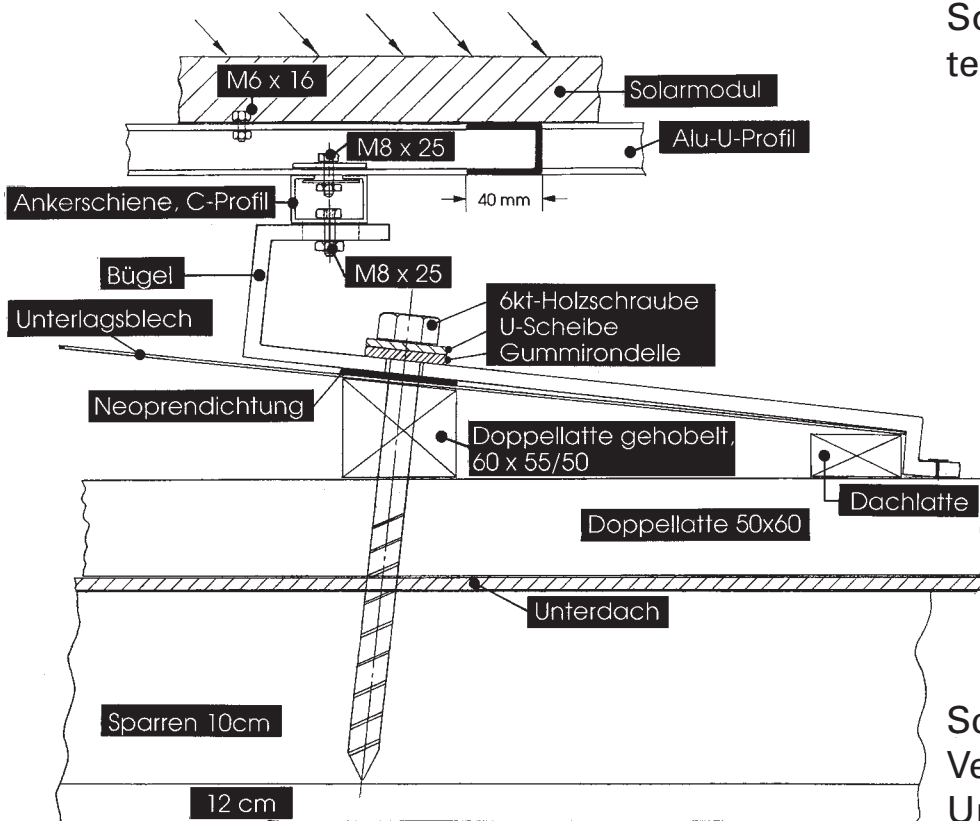
4.4	Montagesysteme für Warmwasserkollektoren	69
4.4.1	System «Einbau I»	73
4.4.2	System «Einbau II»	76
4.4.3	System «Aufbau» und «Flachdach/Gelände»	78

4.1 Systeme im Steildach

System «Auf Dach» (I)

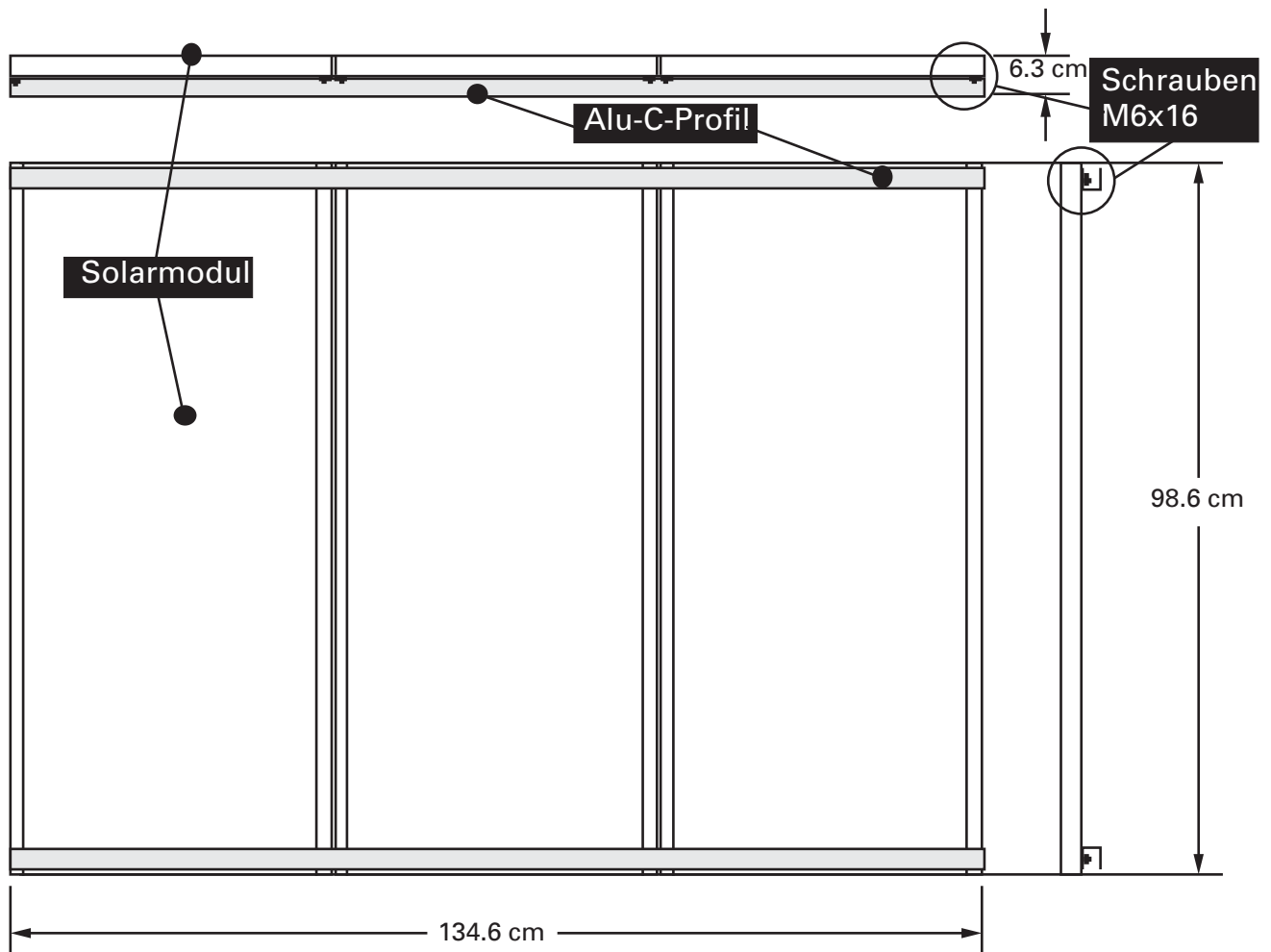


Eternitdach
Solarmodule
teilweise montiert



Schnitt:
Verankerung der
Unterkonstruktion

System «Auf Dach» (II)



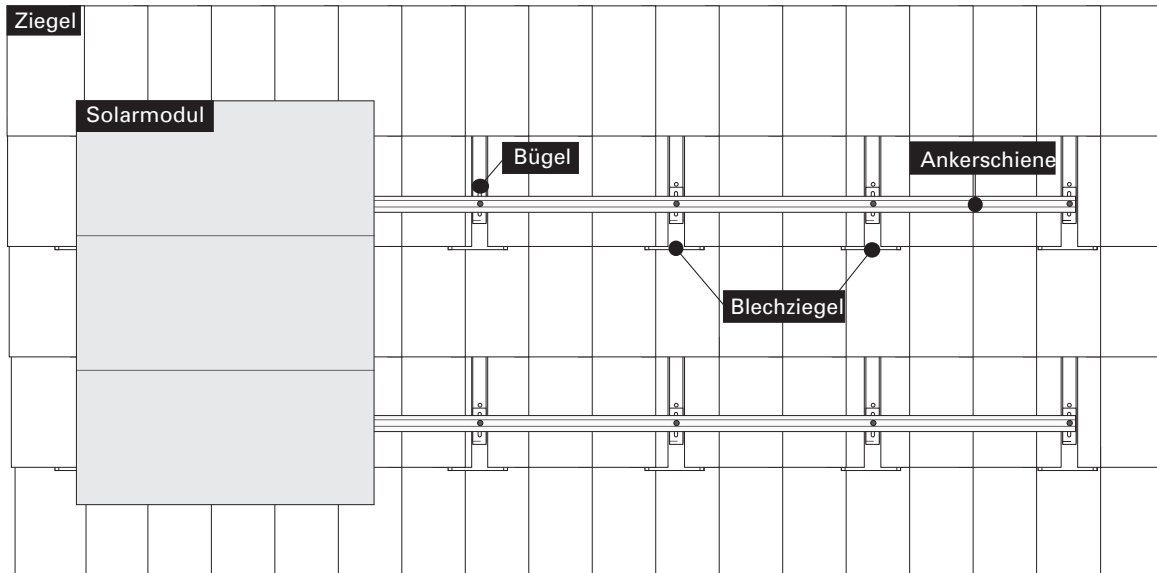
Montageeinheit: Drei Module auf Alu-C-Profilen

Kenndaten:

- Geeignet für Ziegel- und Eternitdächer
- Gute Hinterlüftung
- Modularer Aufbau
- Kosten:

Material UK	Fr.	3 300.–	pro 3 kW
Solarzellen	ca. Fr.	22 000.–	pro 3 kW
Montage auf Dach	Fr.	5 000.–	pro 3 kW

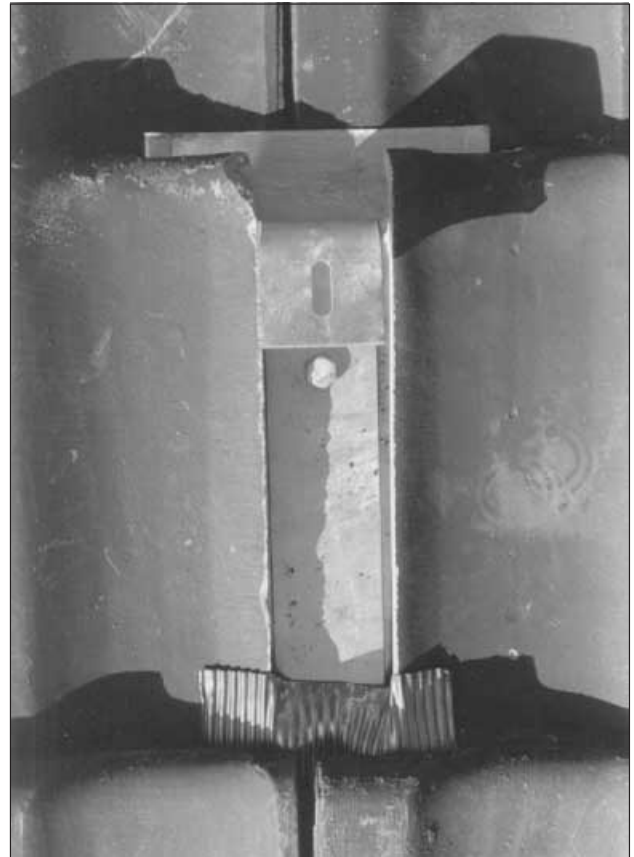
System «Auf Dach» (III)



Ansicht der Unterkonstruktion (Dachausschnitt)



Festschrauben des Montagebügels und Abtropfbleches



Fertig montierte Dachdurchführung

System «Auf Dach» (IV)



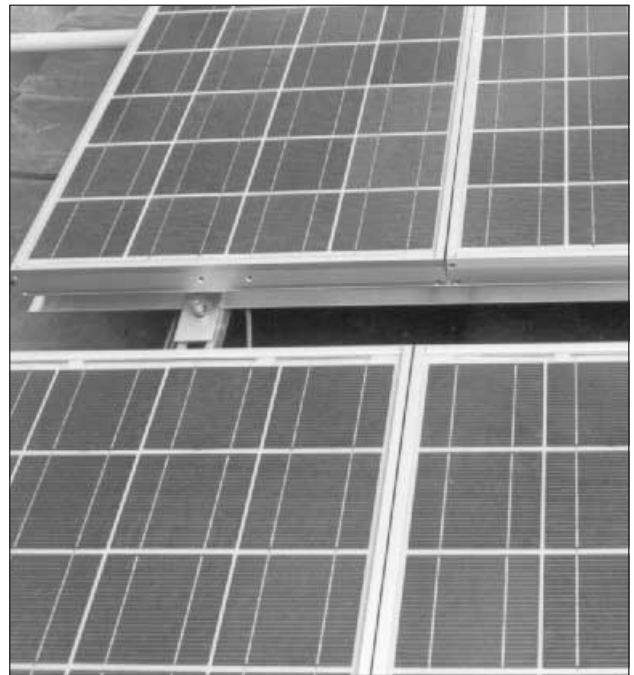
Bilden der ersten Dachdurchführungsreihe



Befestigung der Montage-Ankerschienen



Dacheinführung der Kabel des Solarzellenfeldes



Festklemmen der Modulpakete

4.1.1 System «Auf Dach»

Die Aufdachmontage von Photovoltaikanlagen eignet sich vor allem für den Einbau in bestehende Ziegel- und Eternitdächer. Durch die Montage des Solarzellenfeldes mit einer genügenden Dachüberhöhung ist eine gute Hinterlüftung gewährleistet. Der Wirkungsgrad der Solarzellen verringert sich nämlich mit höher werdender Zelltemperatur. Eine Hinterlüftung reduziert die Zelltemperatur und folglich auch die Verluste.

Dachmontage

Die Aufdachmontage des Solarzellenfeldes kann im wesentlichen in vier Schritten ausgeführt werden:

1. Vormontage der einzelnen Solarmodule.
2. Montage der Dachdurchführungen; Verschraubung erfolgt direkt in die Sparrenlage und Befestigung der Montageprofile.
3. Verdrahtung des Zellenfeldes bis zur Dacheinführung.
4. Befestigung der Modulpakete auf die Montageprofile.

Bei der Vormontage werden die Solarmodule gemäss den gewünschten Abmessungen des Zellenfeldes zu 3er, 4er oder 5er Paketen verschraubt und vorverdrahtet. Diese Arbeit kann vom Elektroinstallateur im voraus erledigt werden.

Die Montage der Dachdurchführungen erfolgt nun durch den Dachdecker. Hier wird im Bereich der Durchführungen die Dachhaut (Ziegel, Schiefer) entfernt, um das Unterlagsblech und die Halter direkt auf die Sparrenlage zu befestigen. Dies ist notwendig, um die nach SIA Norm 160 vorgeschriebenen Wind- und Schneelasten erfüllen zu können. Von der Verwendung von einfachen Blechziegeln, welche nicht direkt in die Sparrenlage fixiert werden, müssen wir daher aus obigen Gründen dringend abraten. Pro 3-kW-Feldleistung (26.5 m²) müssen rund 32 Dachdurchführungen montiert werden.

Diese Durchführungen stützen nun die speziellen Montageprofile, welche auf dem Dach an die örtlichen Verhältnisse angepasst werden müssen. Bevor nun die Pakete montiert werden, muss die Verdrahtung des Zellenfeldes vom Elektroinstalla-

teur bis zur Dacheinführung erstellt werden. Hier weisen sich die Montageprofile bereits als ideale Befestigungsgrundlage für die Leitungen aus. Der Abschluss stellt nun die Montage der Modulpakete dar. Diese werden mittels speziellen Klemmplatten auf die Montageprofile fixiert. Dabei arbeiten der Elektroinstallateur und der Dachdecker Hand in Hand, da jedes Paket vor der Fixation sauber mit den speziellen Solarleitern verbunden werden muss.

Montagevoraussetzungen

Um eine einwandfreie Montage des Solarzellenfeldes zu gewährleisten, müssen folgende Parameter erfüllt sein:

- Die Dachlattung muss sich in gutem Zustand befinden. Das heisst, es sollten in den nächsten 10 Jahren keine weitergehenden Sanierungen infolge verrottetem oder durch Ungeziefer geschädigtem Holz getätigt werden müssen.
- Die Dachhaut (Ziegel/Eternit) muss sich in einwandfreiem Zustand befinden. Dies ist nötig, um einerseits die Montage auf der Dachhaut überhaupt ausführen zu können und andererseits, weil die Zugänglichkeit unter den befestigten Solarzellen stark beeinträchtigt wird.
- Schneefänger: Bei steilen Dächern rutscht der Schnee auf der glatten Oberfläche der Solarmodule ab. Falls der Schnee nicht abrutschen darf, werden nach dem Solarzellenfeld Schneefänger montiert.
- Die Hinterlüftung des Zellenfeldes muss gewährleistet sein. Die Solarzellen werden durch die Durchführungen ca. 10 cm von der Dachhaut distanziert. Dies garantiert eine gute Hinterlüftung der Zellen bei warmen Temperaturen. Diese Hinterlüftung darf unten und oben am Zellenfeld auf keinen Fall durch störende Aufbauten behindert werden (breite Kamine, Dachflächenfenster, usw.)
- Die Distanz zwischen den Sparren sollte maximal 1.5 m betragen, um eine genügende Stabilität beizubehalten.

Kenndaten des Systems

Art der Unterkonstruktion

- Dachdurchführung bestehend aus: Montagebügel und Unterlagsblech, feuerverzinkt mit spezieller Schraubdichtung
- Montageprofil (C-Profil), feuerverzinkt
- Klemmplatten, feuerverzinkt
- Alu-Profil für Montage der Modulpakete
- Sämtliche Schrauben A₂ Inox

Befestigung der Solarmodulpakete

- Klemmvorrichtung mittels Platten, welche die Modulpakete auf der Montageschiene halten

Typ der Solarmodule

- Solarmodultyp: ca. 50 W, fabrikatungebunden, grundsätzlich eignen sich alle Module. Einzige Bedingung: Befestigungsbohrungen am Modulrahmen müssen vorhanden sein.
- Materialkosten pro m²: Fr. 124.- (nur Unterkonstruktion)
- Arbeitsaufwand pro m²:
Dachdecker: 50 Min.
Elektromonteur: 2 Std.

Planungsgrundlagen

- Im Grundriss mit den Solarmodulabmessungen (3er, 4er und 5er Paket) Solarzellenfeld aufteilen.
- Standort der Montage-Profile bestimmen. Jedes Paket muss auf 2 Profile zu liegen kommen.
- Anzahl Montagebügel pro Profil festlegen. Pro m² Solarzellenfeld ca. 1.2 Bügel oder max. Spannweite zwischen 2 Bügeln 1.5 m.

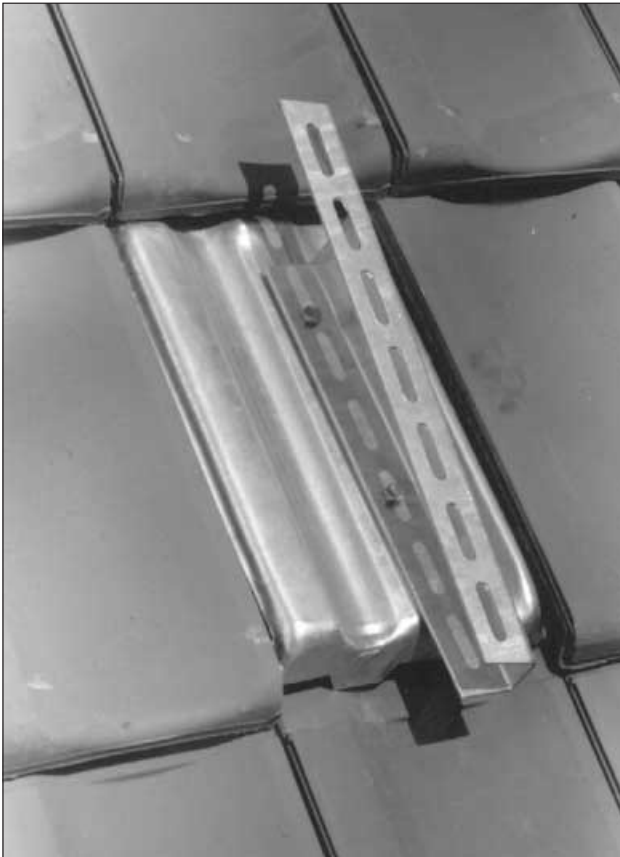
Montagevorgang

- Feld auf Dach ausmessen
- Lage der Montageprofile bestimmen
- Ziegel-/Eternitreihen entfernen
- Bei Ziegel: konische Doppellatte plazieren
- Unterlagsblech und Bügel plazieren
- Bei Ziegel: mit Doppellatte Distanz des Unterlagsbleches auf untere Ziegelreihe einstellen
- Vorbohren
- Mit Schlagschrauber direkt in Sparren festschrauben
- Ziegel-/Eternitreihe eindecken (schroten)
- Montageprofile bohren und auf Bügel befestigen
- Elektr. Verdrahtung des Solarzellenfeldes installieren
- Modulpakete anschliessen und aufklammern

Spezialmaterial

- Schlagschrauber für Befestigung der Montagebügel auf die Sparren
- Holzbohrer 8 x 200

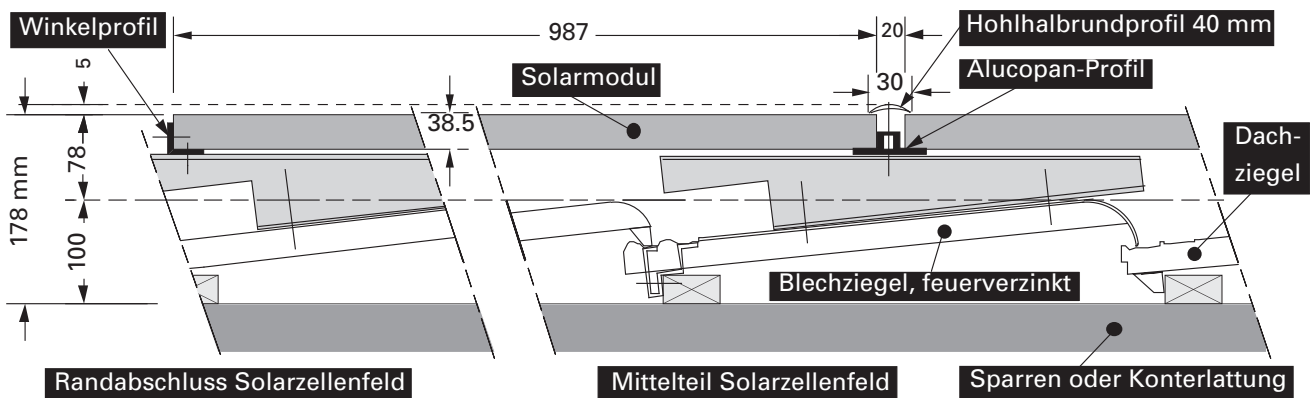
Systeme mit Spezialziegel



Metallziegel



Kunststoffziegel



Schnitt durch Unterkonstruktion mit Spezialziegeln

Systeme mit Spezialziegeln

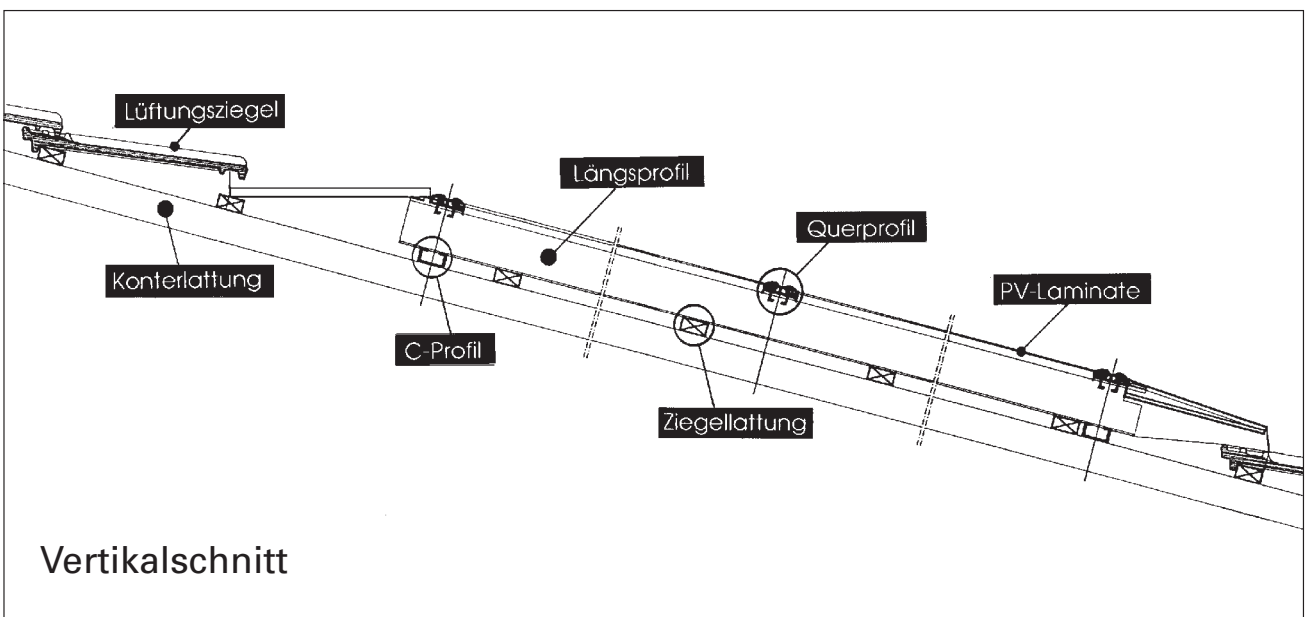
Verschiedene Hersteller bieten Spezialziegel für die Aufnahme von Solarzellenfelder an. Es sind die gängigsten Pfannenformen als Kunststoff- und Metall-Spezialziegel erhältlich. Integrierte Metallprofile oder Metallträger mit Langlochstanzungen nehmen die Metallstrukturen des Solarzellenfeldes auf.

Spezialziegel liegen wie normale Ziegel auf der bestehenden Dachlattung. Zum Teil werden sie an der Lattung angeschraubt, zum Teil sorgen Krallen für den sicheren Sitz. Um die auftretenden Windkräfte verteilen zu können ist es wichtig, eine genügend grosse Anzahl solcher Tragelemente vorzusehen. Es ist insbesondere darauf zu achten, dass die Unterkonstruktion als Gesamtes der SIA-Norm 160 bezüglich Windlast entspricht. Aus dieser kann die notwendige Anzahl Spezialziegel abgeleitet werden.

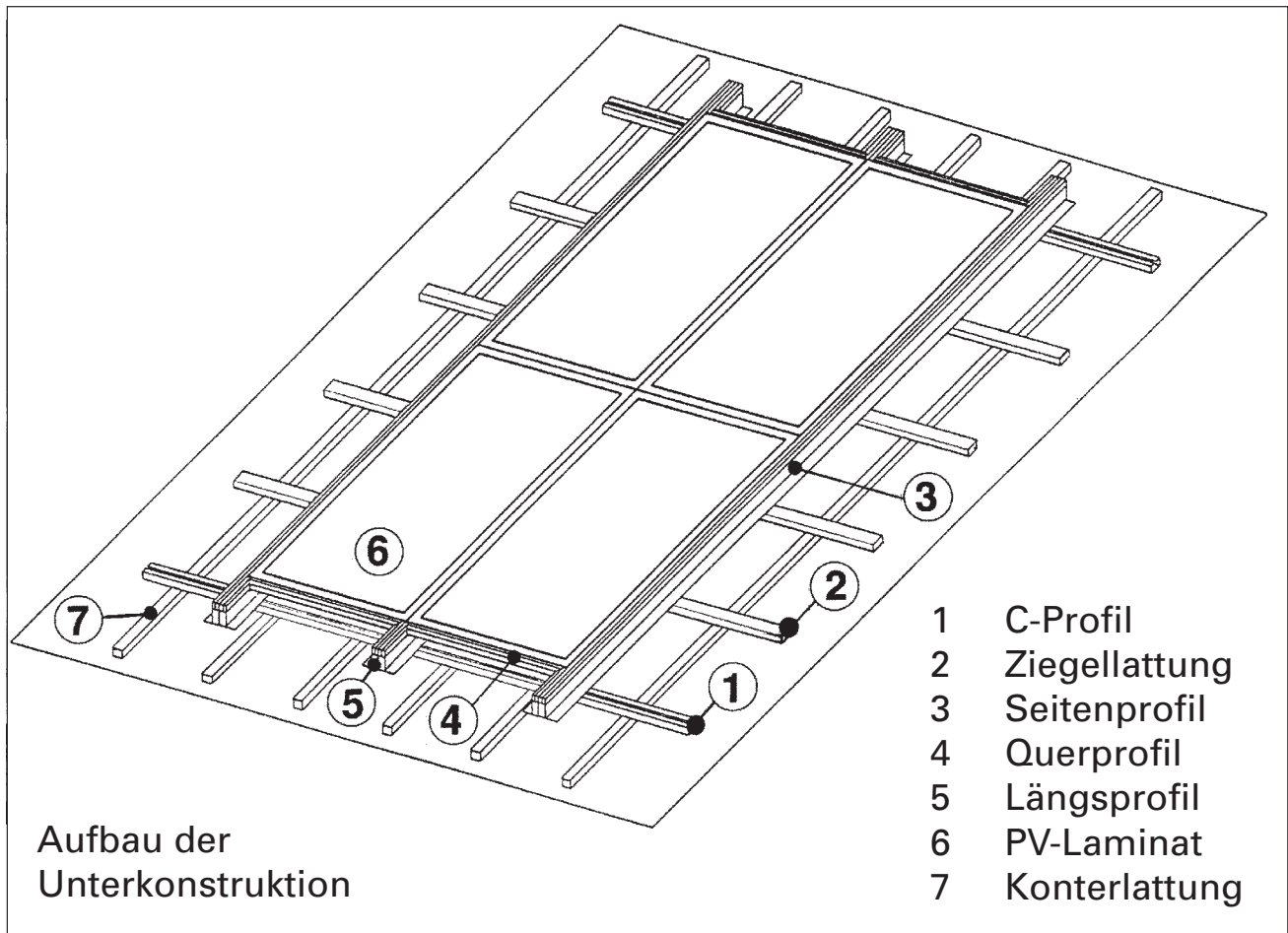
System «Einbau» (I)



Einbausystem für photovoltaische und thermische Nutzung



System «Einbau» (II)



Kenndaten:

- Pfosten-Riegel-System mit unsichtbaren Aluminiumprofilen
- Vollständig entwässert
- Ziegelanschlüsse aus Aluminiumblechen, einbrennlackiert
- Lamine in EPDM-Profilgummi eingebettet

Lamine:

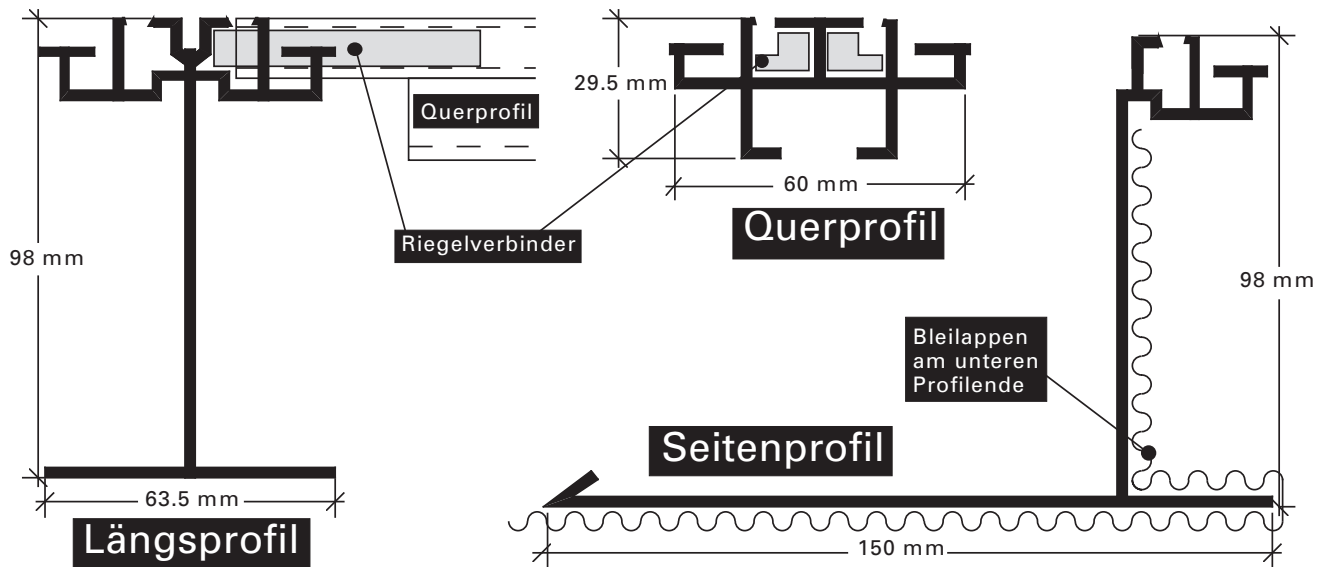
rahmenlos, bis 5 mm dick, Rand 15 mm

Kosten:

Verarbeitung
Montage auf Dach exkl. Solarzellen
Hinterlüftung

} abhängig
von der Laminatgrösse
ca. Fr. 300.-/m²

System «Einbau» (III)



Längs-, Quer- und Seitenprofile

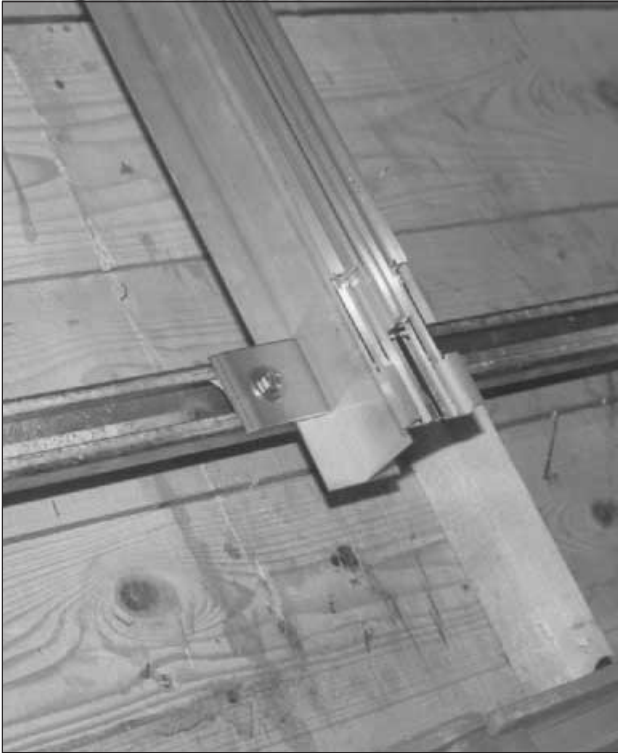


Unterer Feldabschluss

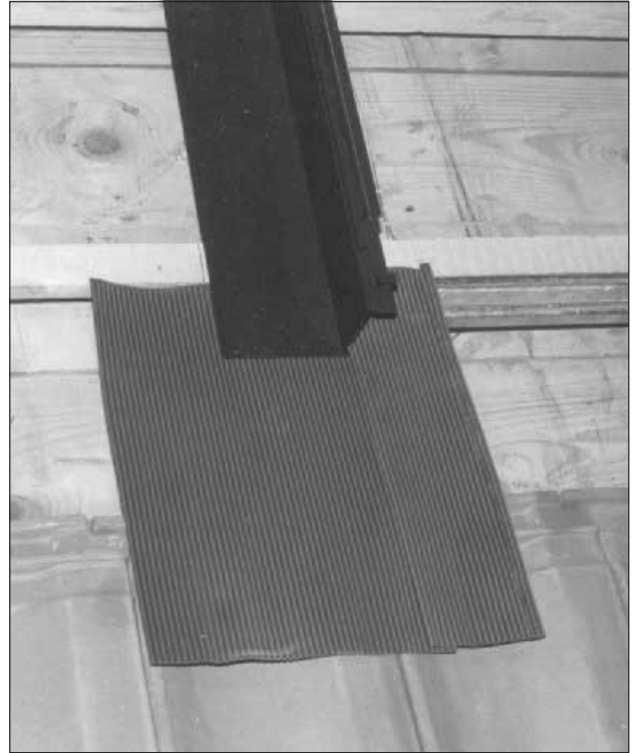


Oberer Feldabschluss

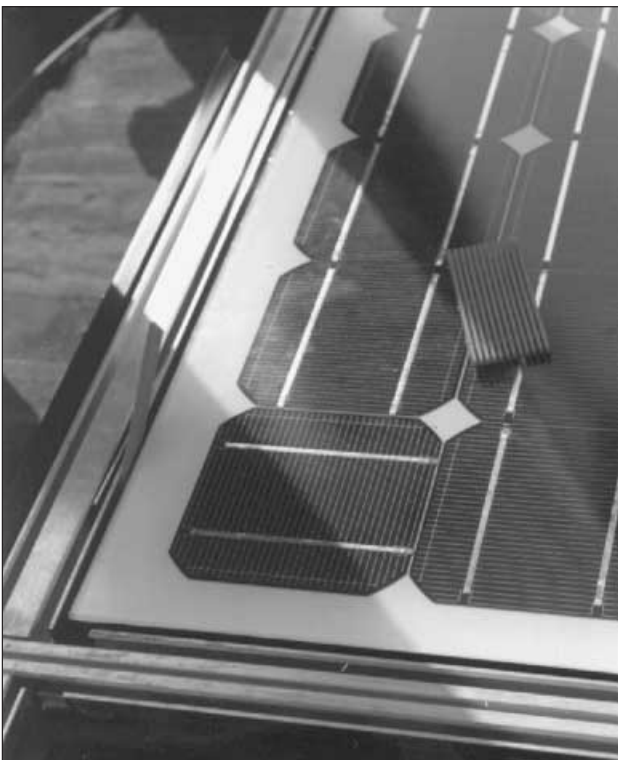
System «Einbau» (IV)



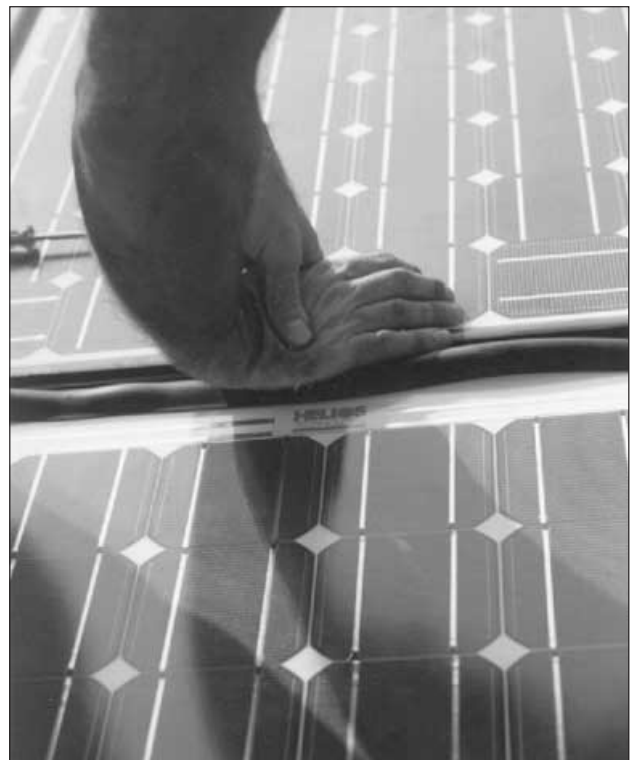
Befestigung der Längsschiene am C-Profil



Entwässerung des Seitenprofils über Bleilappen



Positionieren der Laminate



Eindrücken der Gummidichtung

4.1.2 System «Einbau»

Ausgangslage

Das gegen Süden gerichtete Schrägdach hat sich als Träger für Photovoltaikmodule etabliert. Häufig werden Standardmodule mit einer einfachen Metallkonstruktion auf die bestehende Dachhaut aufgebaut. Diese Lösung ist günstig. Bei bestehenden Gebäuden ist nur ein verhältnismässig kleiner Eingriff in das Dach nötig. Allerdings ist die Dachabdeckung im Bereich der PV-Module damit nicht mehr frei zugänglich; der Ersatz eines einzelnen Ziegels wird ein schwieriges Unterfangen. Auch werden die dadurch häufig ästhetisch unbefriedigenden Lösungen kritisiert. Dies kann u.U. zu einer Ablehnung eines Baugesuches für Photovoltaikanlagen führen, insbesondere, wenn es sich um ein Gebäude innerhalb der Kernzone handelt. Dagegen werden dachintegrierte Lösungen leichter akzeptiert. Die Idee der Dachintegration von PV-Modulen in die Dachhaut ist daher naheliegend.

Beschreibung

Das Einbausystem ist ursprünglich für thermische Flachkollektoren entwickelt worden. Das Bedürfnis fortschrittlicher Kunden, thermische und photovoltaische Sonnenenergienutzung auf dem Dach zu kombinieren, hat dann zu einer flexiblen Lösung für photovoltaische Systeme geführt:

Ein Pfosten-Riegel-Profilssystem aus Aluminium wird direkt auf die Ziegel- oder Konterlattung des Schrägdaches montiert. Die rahmenlosen PV-Lamine sind in einen Auflagegummi eingebettet und mit einem UV-beständigen Abdeckgummi wetter- und sturmsicher festgehalten. Dies führt zu einem optimalen Schutz der empfindlichen Randbereiche. Die speziell ausgebildeten Aluminiumprofile sorgen für eine sichere Entwässerung. Das Einbausystem bietet nun die Möglichkeit, rahmenlose PV-Module beliebiger Abmessungen praktisch bündig mit den traditionellen Dachhautmaterialien wie Ziegel, Schindeln, Welleternit etc. zu kombinieren. Die Farbe der sichtbaren Aluminiumteile kann jeglichen Bedürfnissen angepasst werden.

Die Verwendung beständiger Materialien garantiert eine hohe, wartungsfreie Lebensdauer. Durch die Wahl von ökologisch vertretbaren Werkstoffen wird nach Ablauf dieser Zeit eine unproblematische Entsorgung mittels Rezyklierung erreicht.

Anforderungen

Das Einbausystem ist bis zu einer PV-Laminatdicke von 5 mm geeignet. Die Solarzellen sollten einen minimalen Abstand von 15 mm vom Laminatrand aufweisen, um eine Teilbeschattung zu vermeiden. Mit zunehmender Grösse der Module verringert sich der Material- und Montageaufwand pro Rastereinheit. Eine Laminatgrösse von ca. 1 m² hat sich bewährt.

Bei der Integration muss auf eine ausreichende Hinterlüftung der PV-Module geachtet werden, damit sich die Solarzellen bei hohen Einstrahlungen nicht zu sehr erwärmen. Dies hätte eine Reduktion der Leistung von 5–7% in der warmen Jahreszeit zur Folge. Durch die Höhe der Einbauprofile sowie der Konterlattung entsteht eine ausreichende Hinterlüftung im Bereich der PV-Module. Durch eine entsprechende Dachkonstruktion im Traufbereich (Vordach) und durch Verwendung von Lüftungsziegeln wird die Zu- und Abführung der warmen Luft sichergestellt.

Technische Daten

Zeitlicher Aufwand:

- Die Montage von 20 bis 30 m² Einbausystem für photovoltaische Anwendungen kann in einem Tag durchgeführt werden.

Kosten:

- Der Mehrpreis für die ästhetisch ansprechende Integration beläuft sich bei einer standardisierten 3-kW-Anlage auf ca. 5–10% der Gesamtanlagenkosten.

Aufbau:

- Pfosten-Riegel-System mit unsichtbaren, feuchtigkeits- und temperaturbeständigen Aluminiumprofilen (Seiten- und Längsprofile = Pfosten; Querprofile = Riegel)
- vollständig entwässert
- Ziegelanschlüsse aus Aluminiumblechen, einbrennlackierbar in Wunschfarbe
- Laminat vollständig in EPDM-Profilgummi eingebettet
- Das Dach ist auf seiner gesamten Fläche begehbar
- Lamine hinterlüftet

Pfostenprofil:

- Höhe 98 mm, Breite 63.5 mm, 4 Entwässerungskanäle

Riegelprofil:

- Höhe 29.5 mm, Breite 63.5 mm, 4 Entwässerungskanäle

Rastermass:

- Beliebig, d.h. dem Laminattyp angepasst
- Rastermass = Laminatmass + 46 mm

Lamine (bauseits):

- Rahmenlos, Dicke (Rand) bis 5 mm, minimaler Abstand vom Laminatrand zum Rand der Sonnenzellen 15 mm
- Die Laminatlieferung sowie deren Montage erfolgt durch den PV-Systemlieferanten oder Installateur der PV-Anlage.

Montage

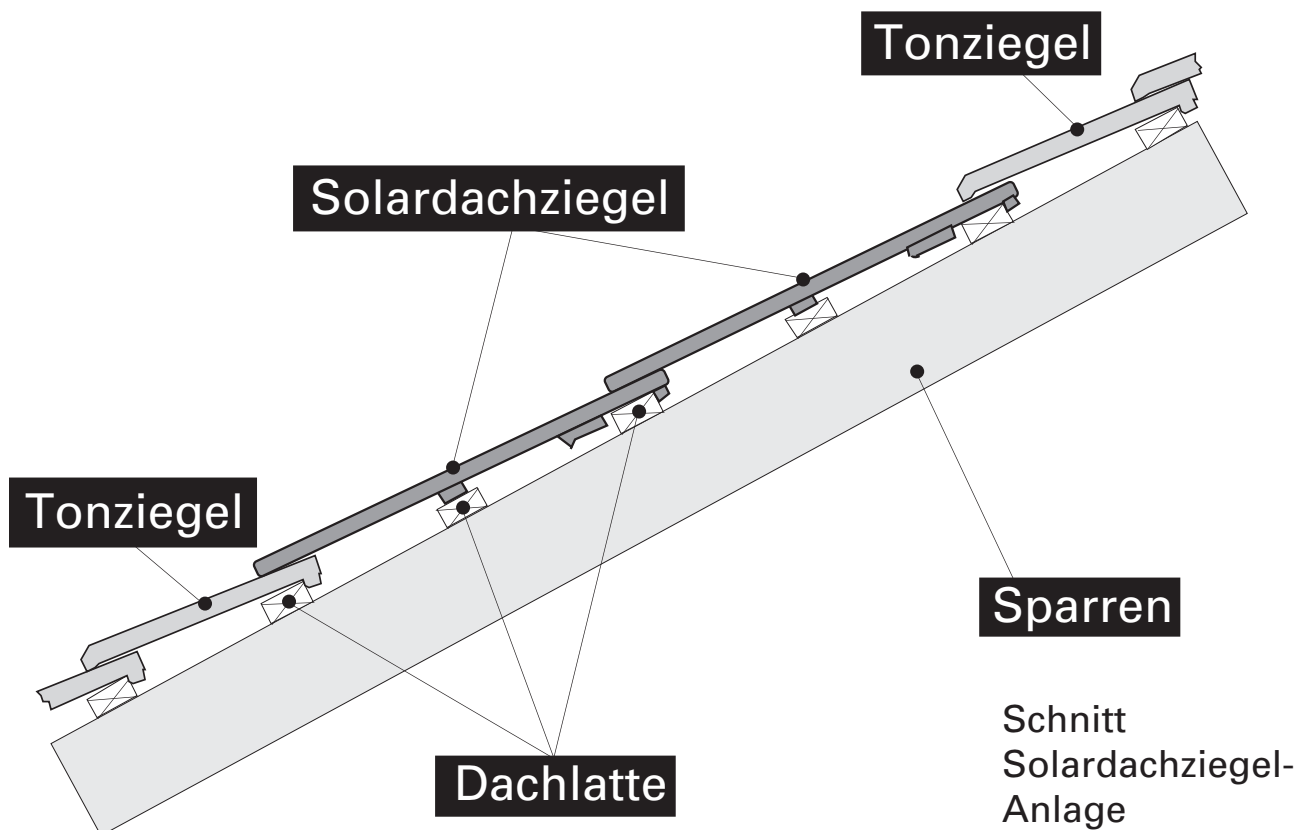
- Ziegellattung im Bereich des Kollektorfeldes normal ausführen, ohne Ziegel
- C-Profile horizontal in definiertem Abstand von unten her auf Konterlattung schrauben, schiften, unterstes C-Profil 276 mm (Mitte C-Profil – Oberkant Dachlatte)
- Seitenprofil (senkrecht) genau rechtwinklig zum C-Profil mit Klemmplatten befestigen, unten direkt verschrauben auf C-Profil (Schlitz im Seitenprofil); stirnseitige Ausfräsung im Profil unten

- Bleilappen an der untersten Ecke vormontieren
- Längsprofil (senkrecht) im Abstand des Rastermasses (äussere, obere Kante Seitenprofil – Mitte – Längsprofil) analog befestigen auf C-Profil
- Querprofile einlegen und mit Riegelverbinder fixieren: 4 Riegelverbinder in Querprofil einführen, Querprofil einsetzen, Riegelverbinder nach aussen schieben, mit Körner ganz aussen mechanisch verformen (abwärts), damit der Riegelverbinder nicht mehr zurück kann
- Glasauflagegummi für unterste Lamine auf Profilen montieren
- PV-Lamine in den untersten Rasterfeldern einlegen, verdrahten
- Abdeckgummirahmen für unterstes Rasterfeld montieren
- Fortsetzung analog Rasterfeld für Rasterfeld, von unten nach oben
- Kanalbleche einlegen (unten)
- Eckbleche unten seitlich am Seitenprofil befestigen
- Bleilappen richtig formen
- Untere Anschlussbleche einlegen und Abdeckgummi (Laufmeter) montieren
- Obere Anschlussbleche einlegen und mit Abdeckgummi (Laufmeter) montieren
- Eckbleche oben befestigen
- Stossabdeckungen aufsetzen und befestigen

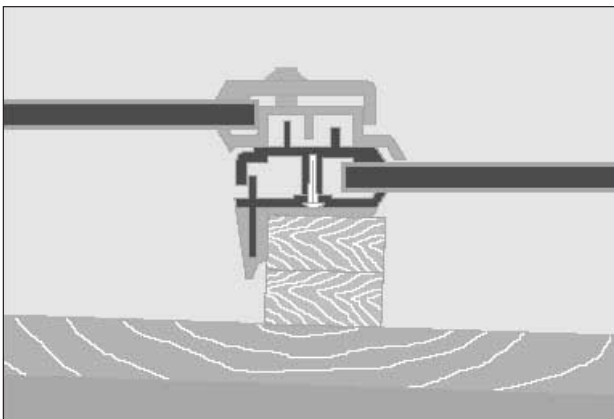
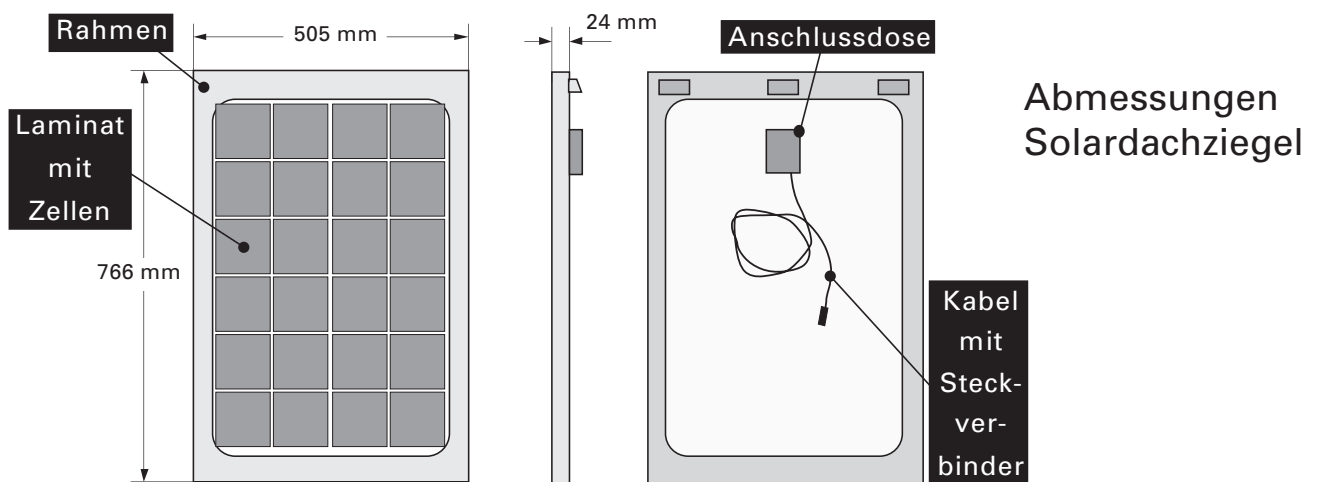
System «Solardachziegel» (I)



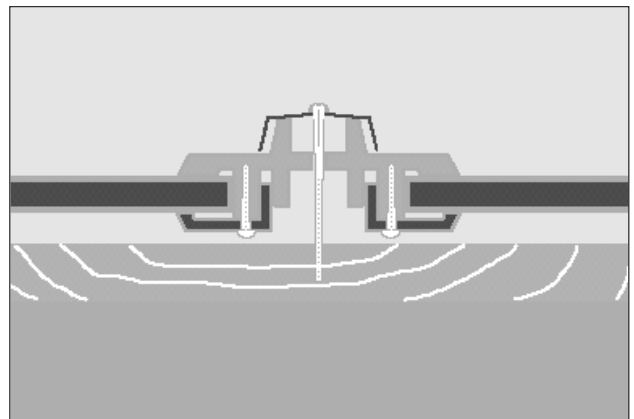
Übergang Solarzellenfeld–Ziegeldach



System «Solardachziegel» (II)



Vertikale Überlappung



Verschraubung auf Dachlatten

Kenndaten:

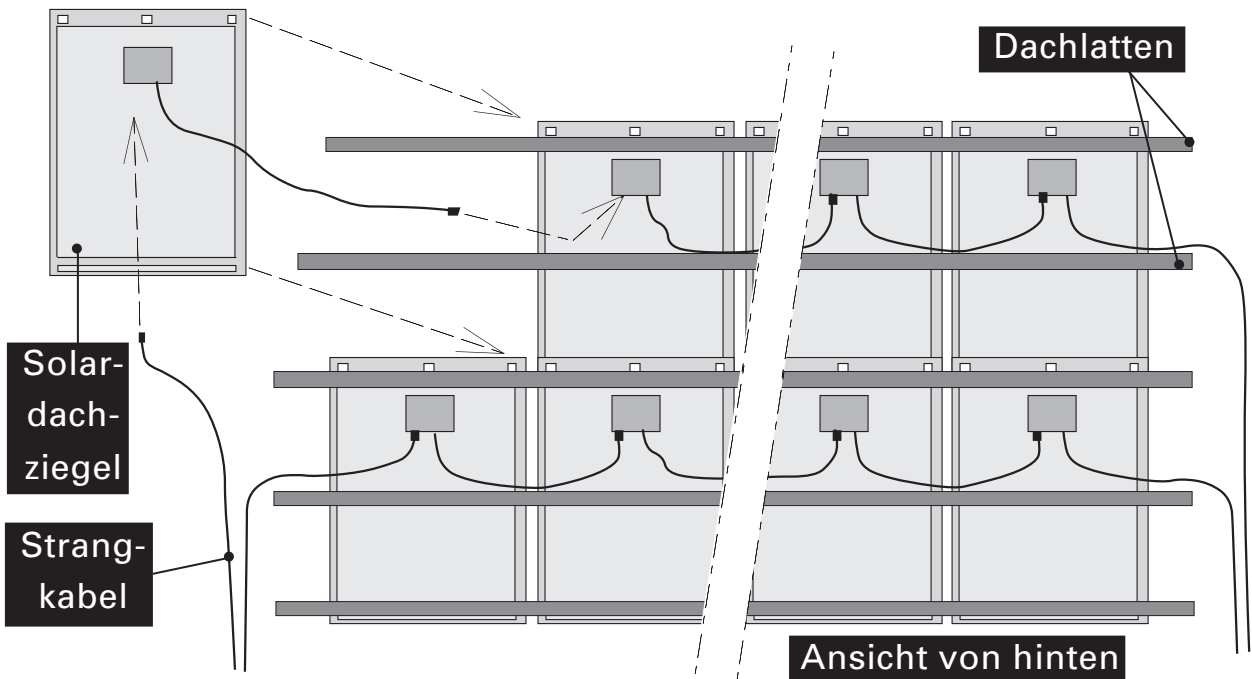
- Direkt auf die Lattung verlegbar
- Begehbar mit Dachleiter
- Verpolungssicheres elektrisches Stecksystem

Gewicht: 6 kg

Grösse: wie 4 Tonziegel

Kosten: Angaben beim Hersteller

System «Solardachziegel» (III)



Aufbau und Verkabelung Solarzellenfeld

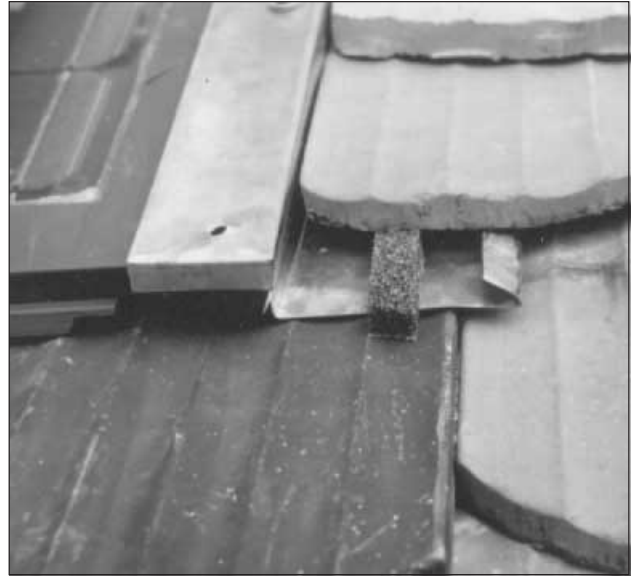


Dachdeckermaterial für eine 3-kW-Anlage

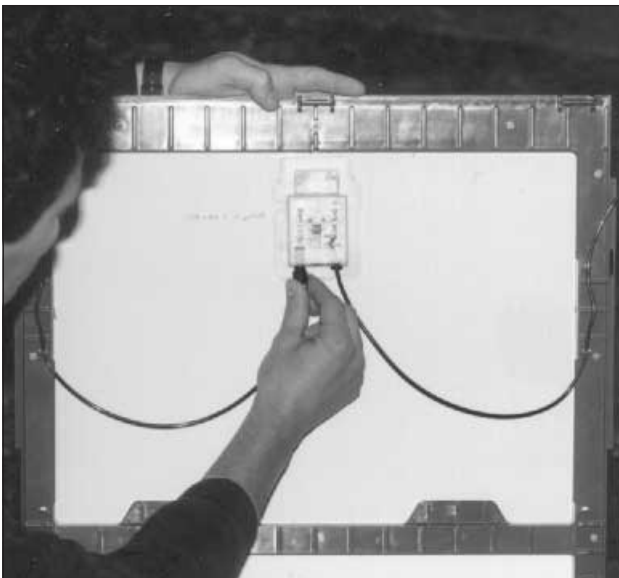
System «Solardachziegel» (IV)



Seitlicher Abschluss mit Kupferblechen



Seitlicher Abschluss unten, Ziegel verlegt



Elektrische Verbindung mit Steckern



Anschrauben der Alu-Deckprofile

4.1.3 System «Solardachziegel»

Beschreibung

Der heute in der Schweiz angebotene Solardachziegel enthält ein monokristallines Solarmodul mit ca. 36 W Spitzenleistung. Der Rahmen besteht aus einem Ober- und Unterteil aus UV-beständigem Acrylglas. Die vertikale Überlappung geschieht durch Kopfschlossausbildung am oberen und unteren Rahmenteil. Seitlich werden die Solardachziegel bündig aneinanderverlegt. Ein Alu-U-Profil wird über die beiden sich berührenden Ziegel gelegt. Damit wird die horizontal dichte Verlegung gewährleistet. Mittels diesem Profil werden die Solardachziegel auf die Lattung geschraubt. Weitere konstruktive Details am Rahmenoberteil lenken abfließendes Regenwasser gezielt über die Glasfläche, um so die selbstreinigende Wirkung zu verstärken. Am Rahmenunterteil sind im Kunststoff Kabelzugentlastungen eingebaut, die eine saubere Verdrahtung ermöglichen. Der elektrische Anschluss geschieht über eine speziell konstruierte Anschlussdose mit eingebauter Buchse und einem Kabelstück mit Steckverbindung. Die Serieschaltung ist dadurch verpolungssicher. Der Übergang von den Solardachziegeln zum bestehenden Dach wird mit Blechanschlussteilen ausgeführt, wie er auf ähnliche Art bei Dachfenstern vorgenommen wird.

Planung

Durch die Modularität des Solardachziegels können ganz verschiedene Feldabmessungen auf einem Ziegeldach realisiert werden. Je nach Wechselrichter muss eine unterschiedliche Anzahl von Solardachziegeln elektrisch in Serie geschaltet werden. Bei einer Wechselrichter-Eingangsspannung von ca. 100 V sind dies entweder 8 oder 9 Stück. Lässt es die Dachfläche zu, vereinfacht sich die Verkabelung wesentlich, wenn diese 8 bis 9 Solarziegel in einer vertikalen oder horizontalen Linie angeordnet werden.

Vor Ort müssen die Möglichkeiten auf dem Dach überprüft werden. Die Anordnung des Solarzellenfeldes wird skizziert und die Masse eingetragen.

Bei den Planungsvorbereitungen ist mit dem Elektriker abzusprechen, wie er die Kabelführung der Strangkabel plant. Es ist aus Sicherheitsgründen nötig, die Plus- und Minusleitungen der Strangkabel in getrennten Kabelkanälen oder Verlegeroh-

ren zu führen. Es wird eine Materialliste zusammengestellt.

Vorbereitung

Bei bestehenden Bauten werden die vorhandenen Ziegel entfernt und die Dachlattung aufgedoppelt, so dass ein genauer Dachlattenabstand von 35.3 cm auf ± 1.0 mm vorliegt.

Es ist sinnvoll, entweder links- oder rechtsbündig mit einer bestehenden Ziegelreihe zu beginnen und die Dachlatte mit Abmessungen von 2 x 5 cm anzuschlagen.

Bei der untersten Lattung ist eine grössere Auflattung notwendig. Ebenso ist am oberen Abschluss ein Traufbrett oder ein Keil einzubauen. Es ist zudem darauf zu achten, dass die Lattungen mit Schrauben und nicht mit Stiften oder Nägeln befestigt werden, damit die Windlasten auf das Unterdach übertragen werden.

Vom Elektriker werden die Kabelkanäle oder Kabelrohre auf dem Dach verlegt und die Strangkabel eingezogen. Es ist darauf zu achten, dass Plus- und Minus-Strangkabel in je getrennten Kabelrohren verlegt werden.

Montage

Es wird von unten nach oben in vertikaler Flucht gearbeitet. Je nach Ausgangslage der Planung beginnt man mit dem Verlegen in der linken oder rechten unteren Ecke. Die Solardachziegel werden über die Kabel und Steckkontakte miteinander verbunden.

Der Elektriker verbindet die Anfangs- und Endmodule eines Stranges mit den Strangkabeln und führt diese durch die Kabelrohre weiter zum Klemmenkasten.

Es ist darauf zu achten, dass die Kabel nicht zwischen Solardachziegel und Lattung eingeklemmt werden, sondern in den vorgesehenen Zugentlastungen geführt werden.

Der Stecker des letzten Solardachziegels eines Stranges wird überflüssig, da das Kabel bis zum Klemmenkasten geführt werden muss. Der Stecker wird abgetrennt und das restliche Kabel des Solardachziegels mit dem vom Klemmenkasten kommenden Strangkabel verbunden. Das Strang-

kabel mit der anderen Polarität muss vom Klemmenkasten in die Buchse des ersten Solardachziegels des Stranges gesteckt werden. Als Stecker kann das weggeschnittene Exemplar des letzten Solardachziegels verwendet werden.

Nachdem die zweite vertikale Reihe von Solardachziegeln verlegt ist, werden die Alu-Deckprofile auf die Solarmodule aufgebracht. Die gesamte vertikale Reihe muss zuerst fertig verlegt werden, bevor die Bleche festgeschraubt werden. So ist das Spiel unter den einzelnen Solardachziegeln gleich-

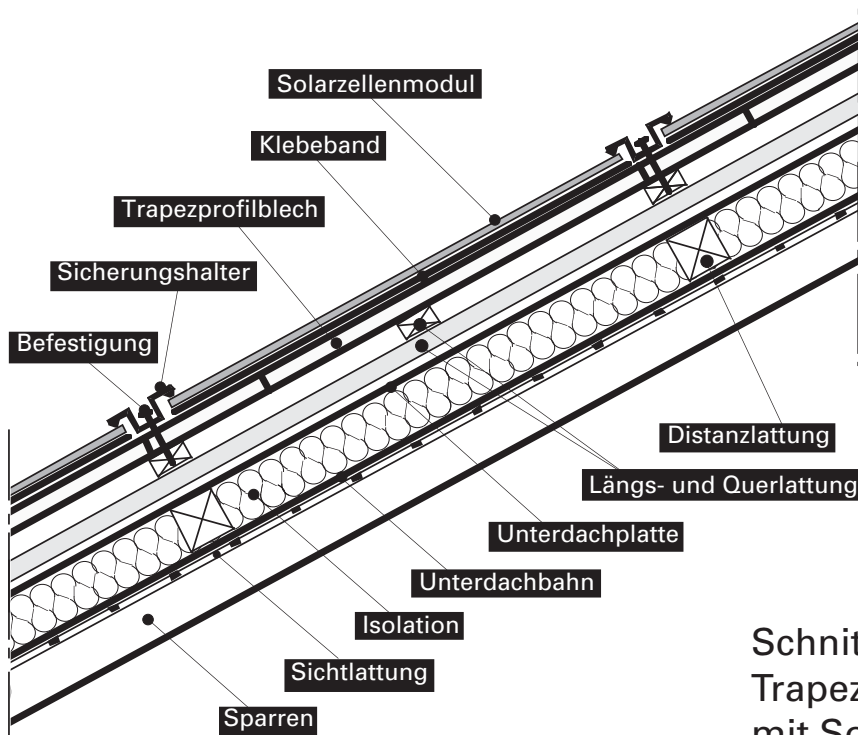
mässig verteilt, und die Ziegel liegen ohne mechanische Verspannungen auf dem Dach auf. Nun können die Bleche satt mit Gefühl festgeschraubt werden.

Nachdem das gesamte Solarzellenfeld verlegt wurde, und die Verdrahtung erfolgt ist, müssen die seitlichen vorgefertigten Profilbleche zwischen dem Solarzellenfeld und dem Ziegeldach angebracht werden. Zum Schluss wird die restliche Dachfläche mit Ziegeln eingedeckt.

System «Trapezblechprofil» (I)

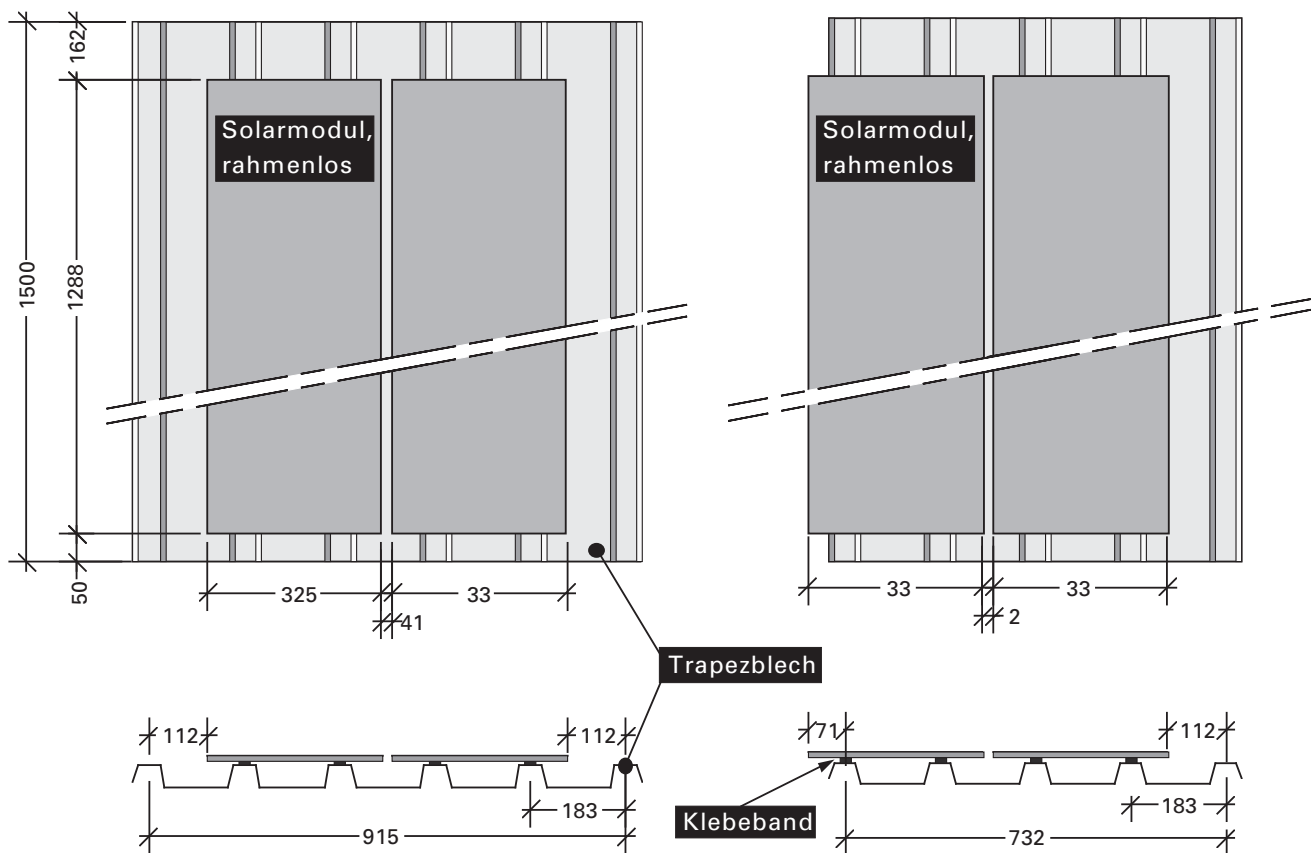


2,8-kW-Anlage in Zürich-Affoltern



Schnitt
Trapezprofilblech-Dach
mit Solaranlage

System «Trapezblechprofil» (II)



Werkstattseitig geklebte Montageeinheiten

Kenndaten:

- Trapezblechprofile, z.B. Montana SP40
- Solarmodule: Laminate, z.B. Siemens M55L
- Klebmaterial: Acrylic Foam, 3M
- Kosten:

Blech	20 Fr./m ²	zugeschnitten
Verarbeitung	150 Fr./m ²	inkl. Hilfsmaterial
Montage auf Dach	200 Fr./m ²	
Solarzellen	ca. 900 Fr./m ²	

System «Trapezblechprofil» (III)



Wekstattseitig geklebte Module



Verlegen der Einheiten auf dem Dach



Verdrahtung vor der Verschraubung auf dem Dach



Verschraubung der Sicherheitshalter

4.1.4 System «Trapezblechprofil»

Trapezblechprofile eignen sich gut für die Aufnahme von Solarmodulen, sind günstig und in den verschiedensten Ausführungen und Farben erhältlich. Die möglichen Anwendungen liegen nicht nur im Dachbereich. Es ist auch denkbar Fassaden, Lärmschutzwände oder Verkleidungen und Brüstungen damit zu verkleiden. Die Trapezblechprofile sind nicht nur Unterkonstruktion des Solarzellenfeldes, sondern auch Dachhaut. So ist eine einfache und kostengünstige Integration ins Gebäude möglich.

Die Klebetechnik ist mittlerweile so weit ausgereift, dass langzeitstabile Verbindungen im Bauwesen als unproblematisch erachtet werden, sofern die Klebeverbindung unter kontrollierten Bedingungen werkstattseitig erfolgt. Rahmenlose Solarmodule, sog. Lamine, werden mit doppelseitigem Klebeband auf die Trapezblechprofile geklebt. In der Blech- und Modulwahl ist man prinzipiell frei. Einschränkender Faktor sind lediglich die Modulabmessungen. So darf die Höhe der rückseitigen Anschlussdose die Profiltiefe nicht überschreiten. Um ein gutes optisches Erscheinungsbild des Daches zu erreichen, ist darauf zu achten, dass vor allem die seitlichen Abstände zwischen den Modulen möglichst klein gehalten werden. Die Module können hoch oder quer montiert werden. Bei der Verdrahtung ist jedoch darauf zu achten, dass die Kabel nicht von oben in die Anschlussdose geführt werden, da sonst die Gefahr eindringenden Wassers besteht.

Das Auswechseln eines Modules ist mit einem dünnen, eventuell geheizten, Stahldraht leicht möglich. Dabei wird unter Zug einfach die Klebeschicht durchtrennt. Prominentestes Beispiel einer PV-Anlage in Klebetechnik ist die zur Zeit grösste schweizerische Anlage «Mont Soleil» im Berner Jura. Sie hat eine Spitzenleistung von 500 kW.

Montage

Werkstattseitig:

- Reinigen der Klebeflächen
- Aufbringen des Klebebandes auf zugeschnittene Trapezblechprofile
- Abziehen der Schutzfolie
- Aufbringen und andrücken des vorverdrahteten Solarmodules

Auf dem Dach:

- Verlegen des Daches/Solarzellenfeldes Bahn um Bahn, von unten nach oben.
- Verlegung eines Elementes
- Verschraubung mit der Dachhaut
- Verdrahtung der Solarmodule
- Isolierung des Kabelstosses
- Aufbringen und Verschrauben einer Blechhalterung zwischen den Modulen (Mechanische Sicherung; Verhindern des Eindringens von Blättern, Vögeln etc.; besserer Schneeabrutsch)

Schiefer- und Schindelsysteme



Montage des schieferartigen Solarzellenfeldes



13-kW-Photovoltaik-Dach der Alphütte Alp Findels

4.1.5 Schiefer- und Schindelsysteme

Wie der Solardachziegel haben auch schindel- und schieferartiger Aufbau von Solarzellenfelder das Ziel, Photovoltaik in die Dachhaut zu integrieren. Die doppelte Funktion des Feldes, nämlich «Eindeckung des Daches» und «Elektrizitätsproduktion» sollen langfristig dazu beitragen, die Kosten zu senken. PV-Generatoren wären dann normale Dacheindeckungselemente.

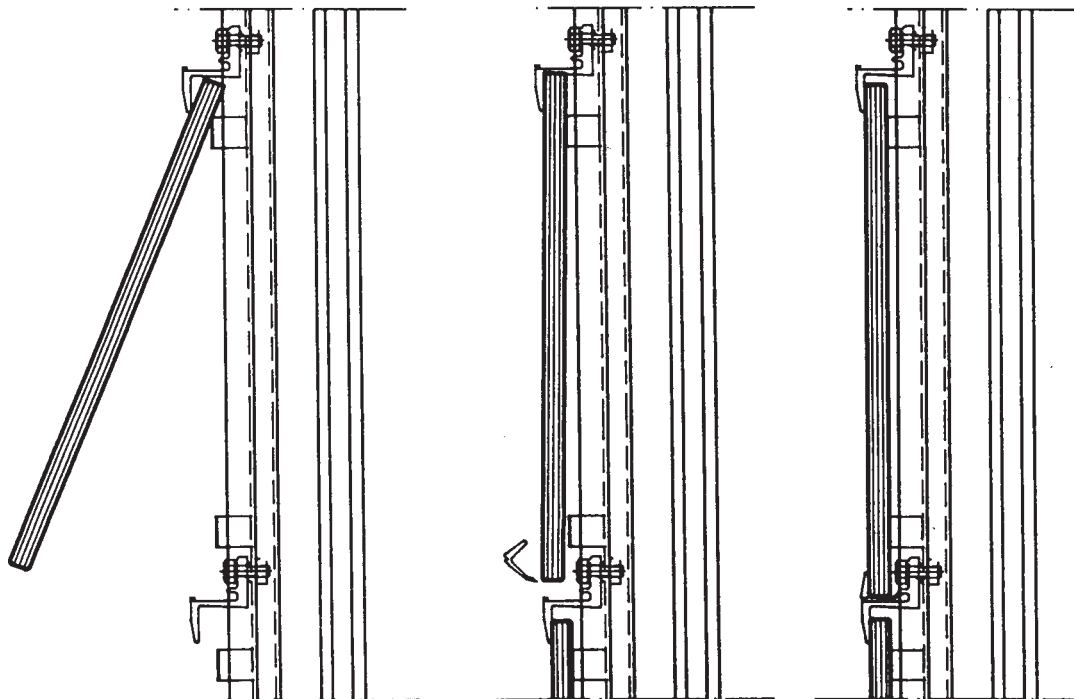
Erste Anlagen wurden schon realisiert. Bekanntestes und grösstes Beispiel ist die Alphütte Alp Findels. Dort wurden 120 m² massgeschneiderter PV-Module schieferartig eingebaut. Damit wird eine Spitzenleistung von 13 kW erzielt. Die angewendete Verlegeart benötigt keine plastischen (und somit alternden) Dichtungsstoffe. Während bei der realisierten schieferartigen Verlegeart noch Fugen entstehen, die entwässert werden müssen, bestehen Ansätze, Verlegearten mit speziell geformten Solarmodulen zu finden, welche ohne Fugen auskommen.

4.2 Systeme in der Fassade

Solarfassaden mit massgefertigten Modulen



Industriebau mit 8,4-kW-PV-Fassadenanlage



Normale «AluHit»-Unterkonstruktion für die Solarmodule

Projektionsfolie 29

4.2.1 Solarfassaden mit massgefertigten Modulen

Neuerdings bieten in- und ausländische Firmen massgefertigte Solarmodule an. Sie werden konsequenterweise ohne Rahmen angeboten. Es können grundsätzlich zwei Typen unterschieden werden, nämlich «Glas-Glas-» und «Glas-Tedlar-Module». Die Bezeichnungen beziehen sich auf die Werkstoffe der Front- und Rückseite. Glas-Tedlar-Module besitzen demnach eine Tedlar-(Kunststoff) Rückenabdeckung.

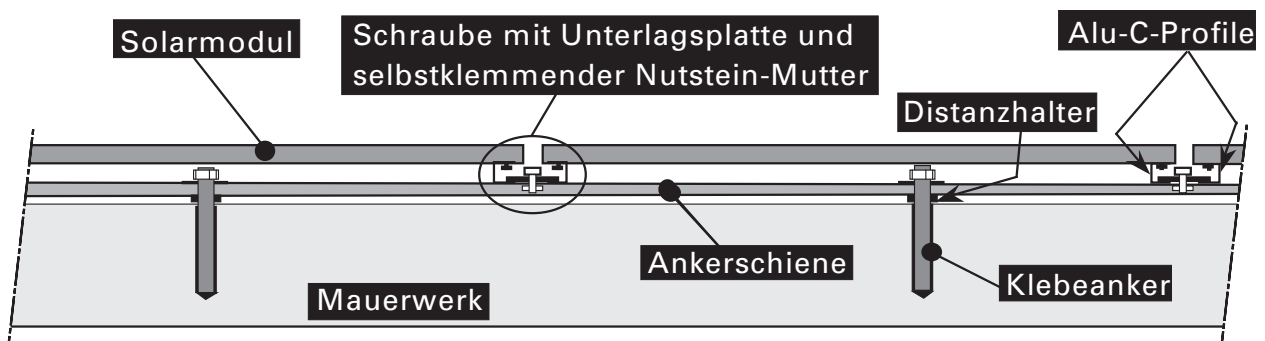
Durch die Möglichkeit, die Solarmodule in beliebigen Grössen und Verschaltungen herzustellen, ergeben sich fast unbegrenzte Möglichkeiten, konventionelle Fassadenelemente durch Solarmodule zu ersetzen. Sie übernehmen den Witterungsschutz und produzieren gleichzeitig Strom. Grosser Nachteil der massgefertigten Module ist ihr Preis: Pro Watt Spitzenleistung sind sie bis zu doppelt so teuer wie Standardmodule (bis zu Fr. 16.–/W gegenüber ca. Fr. 8.–/W). Bei Bauten mit repräsentativen Fassaden liegen die Kosten jedoch schon heute in derselben Grössenordnung.

An einem Industriebau in Arisdorf wurde für die Fassadenanlage eine übliche «Aluhit»-Unterkonstruktion verwendet. Anstelle der herkömmlichen Brüstungselemente wurden Solarmodule eingesetzt. Die vorgehängten Module sind kalt hinterlüftet. Auf demselben Gebäude ist eine 53-kW-PV-Shedanlage realisiert, in welcher erstmals die anfallende Wärme in grösserem Massstab für die Beheizung des Fabrikgebäudes benützt wird. Die Kühlung der Zellen mit Aussenluft kann bei guten Einstrahlungsverhältnissen eine thermische Nutzleistung von über 100 kW erreichen. Eine solche Doppelnutzung ist vor allem bei Gebäuden, wo Niedertemperaturwärme ($T < 50\text{ °C}$) genutzt werden kann sinnvoll. Im diesem Beispiel ist die PV-Anlage nur ein Teil des Gesamtkonzeptes für eine fast energieautarke Fabrik.

Solarfassaden mit Standardmodulen



3-kW-Anlage mit Standardmodulen. Befestigung durch Ankerschienen und Alu-C-Profile



Horizontalschnitt der Fassadenbefestigung

4.2.2 Solarfassaden mit Standardmodulen

Wo keine speziellen Anforderungen an Grösse und Form der Module gestellt werden, ist es möglich, Standardmodule einzusetzen. Grosser Vorteil: Die in grossen Mengen hergestellten Module sind im Gegensatz zu den massgeschneiderten Modulen sehr günstig. Nachteil: Die Anwendungsmöglichkeiten sind durch die Masse und Form eingeschränkt.

Einfach lassen sich Anlagen auf bestehenden Mauerwerkfassaden aufbringen. Es sind dabei die verschiedensten Fassadensysteme denkbar. In Projektionsfolie 30 ist eine 3-kW-Fassadenanlage gezeigt. Immer fünf übereinanderliegende Module wurden auf zwei Alu-C-Profile geschraubt. Diese wiederum werden auf Ankerschienen befestigt. Als Montageerleichterung sind an den Ankerschienen Sicherungshaken befestigt, die je eine Fünfer-Einheit tragen können. So kann die Einheit zuerst grob plziert und nachher verschraubt werden. Diese Montageart ist nur für kleine Felder oder kurze Profillängen geeignet, da keine Gleitpunkte vorhanden sind. Es sind verschiedene Anlagen dieses Types in Betrieb. Die Unterkonstruktionen variieren von Objekt zu Objekt.

4.3 Systeme auf dem Flachdach

Das Hauptproblem bei Flachdachanlagen ist die Verankerung. Sie muss so ausgeführt sein, dass die Dichtigkeit der Dachhaut nicht beeinträchtigt wird. Besonders bei Foliendächern darf die Unterkonstruktion die Dampfsperre nicht durchdringen.

Montagesysteme auf dem Flachdach lassen sich in zwei Kategorien unterteilen.

Systeme mit Schwerlastverankerung

Die grosse Angriffsfläche von Solaranlagen bewirkt bei Wind grosse Kräfte. Durch den Unterdruck hinter den Modulen sind Flachdachanlagen besonders gegen Abheben und Verrutschen zu sichern. Bei der Schwerlastverankerung wird die Unterkonstruktion auf Betonsockeln befestigt. Die Sockel sind so schwer, dass bei maximal zu erwartender Windlast die Anlage noch fest aufliegt.

Bei Dächern, auf welchen anstelle von Kies Betonplatten verwendet wurden, können die Platten unter Umständen direkt als Schwerlast verwendet werden. Die Montagestruktur wird dann direkt mit Schraubenanker in den Platten befestigt.

Systeme mit fester Verbindung zum Dach

Anstelle der Betonsockel ist es denkbar, die Unterkonstruktion auf Metallträger zu montieren, die an den Dachrändern befestigt werden. Anlagen dieses Typs wurden realisiert, sind allerdings Spezialanwendungen und für die wenigsten Dächer geeignet.

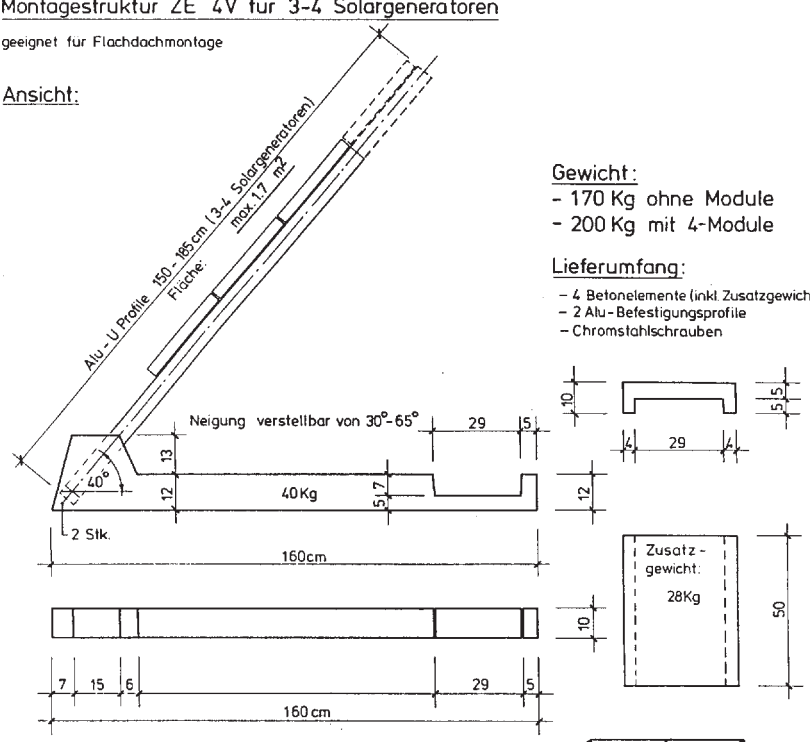
Es wird im Moment die Möglichkeit untersucht, minishedartige Elemente zu finden, die es erlauben Flachdächer elementweise einzudecken. Diese Elemente würden die Dachhaut bilden und wären gleichzeitig Träger für die Solarmodule. Auch hier stellt sich das Problem der Verankerung. Auf flachen Schrägdächern für grössere Industriebauten sind Verankerungstechniken, wie sie für Trapezblechprofiltdächer verwendet werden denkbar. Für konventionelle Massivbauten besteht die Möglichkeit, Umkehrdächer zu bauen und die Solarmodulträger in der Isolation zu verankern.

Da die meisten Flachdachanlagen mit Schwerlastverankerung ausgeführt wurden, werden nachfolgend zwei Möglichkeiten genauer vorgestellt.

Universelle Schwerlastverankerung

Montagestruktur ZE 4V für 3-4 Solargeneratoren
 geeignet für Flachdachmontage

Ansicht:



Alu - U Profilie 150 - 185 cm (3-4 Solargeneratoren)
 Fläche: max. 1,7 m²

Neigung verstellbar von 30°-65°

40Kg

160cm

Zusatzgewicht: 28Kg

50

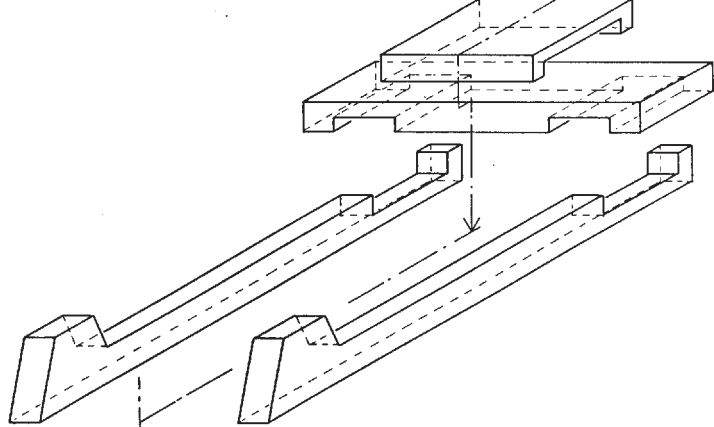
Gewicht:

- 170 Kg ohne Module
- 200 Kg mit 4-Module

Lieferumfang:

- 4 Betonelemente (inkl Zusatzgewicht)
- 2 Alu-Befestigungsprofile
- Chromstahlschrauben

Grundriss:



Universelle Montagestruktur für 3-4 Solarmodule

Anlage mit Schwerlastverankerung



Projektionsfolie 31

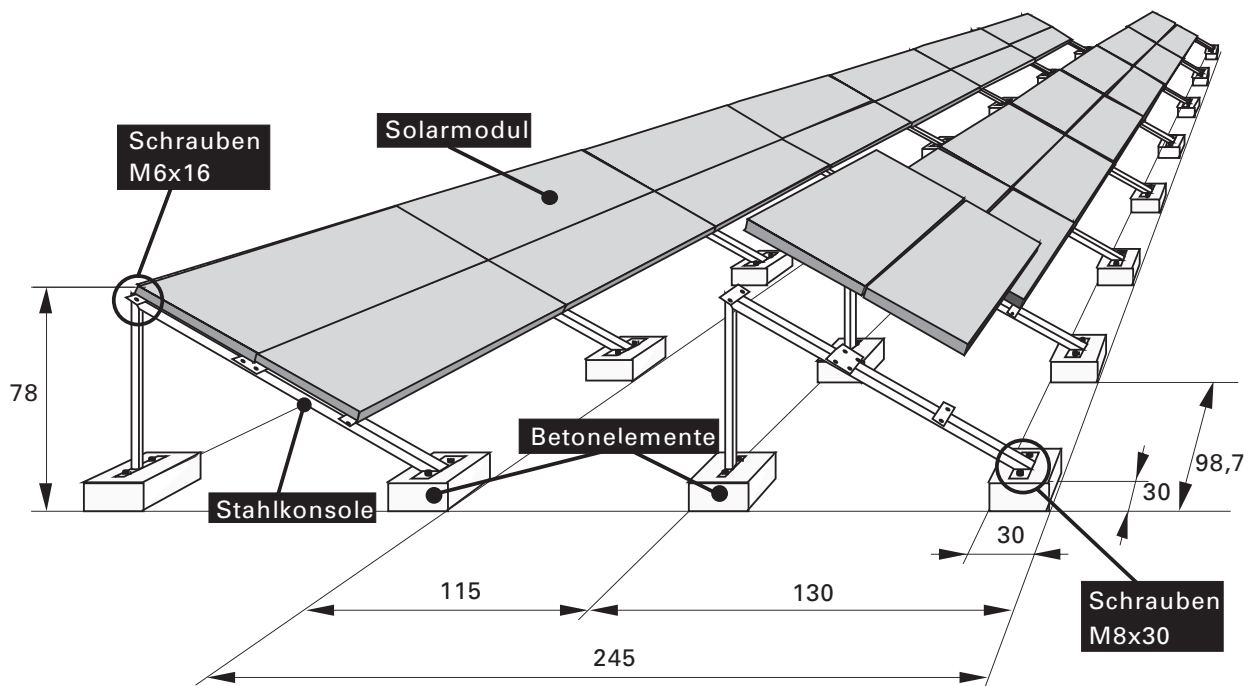
4.3.1 Universelle Schwerlastverankerung

Die Montagestruktur ZE 4V ist für praktisch alle Module geeignet. Die Module werden mit vier Schrauben auf zwei Alu-Profilen befestigt. Je nach Breite können drei oder vier Module aufgenommen werden. Der Neigungswinkel der Module kann stufenlos zwischen 30 bis 65° eingestellt werden. Die Verstellbarkeit ist allerdings weniger für eine Änderung des Neigungswinkels während des Betriebs geeignet. Es müssten dafür an jeder Montageeinheit vier Schrauben gelöst, der neue Winkel einjustiert und die Schrauben wieder angezogen werden. Der Montageablauf in Stichworten:

- Kies und Sand entfernen
- Dachhaut reinigen
- Gummiunterlagen versetzen
- Betonelemente darauf stellen
- Alu-Profile montieren
- Solarmodule anschrauben
- Zusatzgewichte setzen
- Kies und Sand wiederverteilen

Da die Anlage periodisch kontrolliert werden sollte, empfiehlt es sich, Gehweg-Platten zu verlegen.

Optimierte Schwerlastverankerung



Schnitt einer optimierten Montagestruktur



3,2-kW-Anlage in Zürich mit Schwerlastverankerung

4.3.2 Optimierte Schwerlastverankerung

Liegt der Vorteil der universellen Montagestruktur in Projektionsfolie 31 bei der Eignung für praktisch alle Solarmodule, so kommen die optimierten Schwerlastverankerungen mit wesentlich weniger Material aus. Pro Modul ist nur ein ca. 25 kg schwerer Betonblock notwendig. Die Stahlkonsolen tragen Module auf beide Seiten. Pro zwei Module ist so nur eine Stahlkonsole nötig. Der Montageablauf in Stichworten:

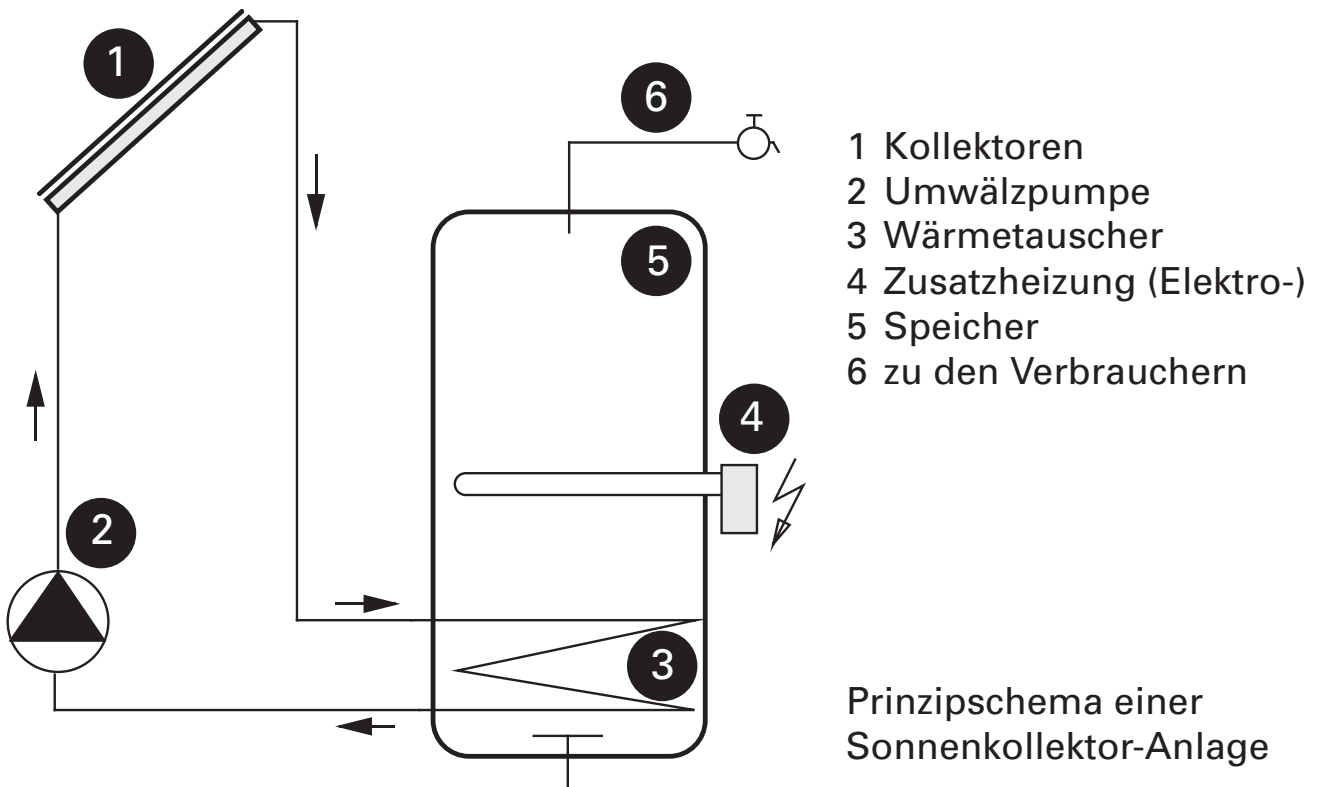
- Kies und Sand entfernen
- Dachhaut reinigen
- Polystyrolunterlagen versetzen
- Betonelemente darauf stellen
- Verschraubung der Stahlkonsolen in die eingegossenen Gewindehülsen
- Solarmodule anschrauben
- Kies und Sand wiederverteilen

Da die Anlage periodisch kontrolliert werden sollte, empfiehlt es sich, Gehweg-Platten zu verlegen.

Warmwasserkollektor-Anlagen



Photovoltaik- und Warmwasserkollektor-Anlage auf dem selben Dach



4.4 Montagesysteme für Warmwasserkollektor-Anlagen

Neben der photovoltaischen Stromerzeugung gibt es eine zweite aktive Nutzung der Sonnenenergie: Sonnenkollektoranlagen für die Wärmegewinnung für Heizung und Warmwasser. Dabei werden die Sonnenkollektoren auf dem Dach mit Wasser durchflossen. Das Wasser wird dabei erwärmt und in einem geschlossenen Rohrsystem zum Speicher geleitet. Dort ist es zu Heizzwecken oder Warmwasseranwendungen zur weiteren Nutzung bereit.

Im Vordergrund steht die Wärmegewinnung für Warmwasser, weil dafür – im Gegensatz zur Heizenergie – während des ganzen Jahres ein Bedarf besteht.

Gute Objekte sind hier eindeutig Bauten mit ganzjährig grossem Warmwasserverbrauch wie Spitäler, Altersheime, Hotels, Wohnbauten, Küchen, Waschanstalten und Bäder.

Eine reichliche Auslegung für Warmwasser und die Nutzung des Überschusses für die Heizung ist immer eine prüfenswerte Kombination. Primär wird dabei Sonnenenergie für die Warmwassererwärmung genutzt, mit dem Überschuss wird der Heizungsrücklauf nacherwärmt.

Bei Sonnenenergieanlagen für Warmwassergewinnung variieren die Energiepreise je nach Anlagegrösse und Standort zwischen ca. 20 bis 60 Rp./kWh. Demgegenüber sind die Energiepreise für Photovoltaikanlagen doppelt bis viermal so hoch. Allerdings sind die beiden Energieformen nicht ohne weiteres vergleichbar. So hat die Energieform «Elektrizität» eine höhere Wertigkeit als «Wärme», da sich Elektrizität in jede beliebige andere Energieform umwandeln lässt und Wärme nicht.

In der Schweiz sind beide Energieformen von grösster Wichtigkeit. Wie die Projektionsfolie 33 zeigt, können sie problemlos auf demselben Dach installiert werden. Die Kollektoranlage arbeitet mit einem Kombispeicher für Warmwasser und Heizung. Anzutreffen ist dieser Anlagentyp besonders in Ein- und Zweifamilienhäusern. Der relativ grosse Speicher sichert eine hohe Warmwasserautonomie im Sommer und dient zugleich zur Raumheizungsunterstützung in der Übergangszeit.

Um eine Übersicht zu vermitteln, werden folgende Montagearten aufgezeigt:

- in einem Schrägdach eingebaut
- auf einem Schrägdach aufgebaut
- auf einem Flachdach oder im Gelände aufgestellt

Tips

- Gute Koordination der beteiligten Handwerker ist nötig:
- Dachdecker
- Kollektormonteur
- Spengler
- Evtl. Zimmermann

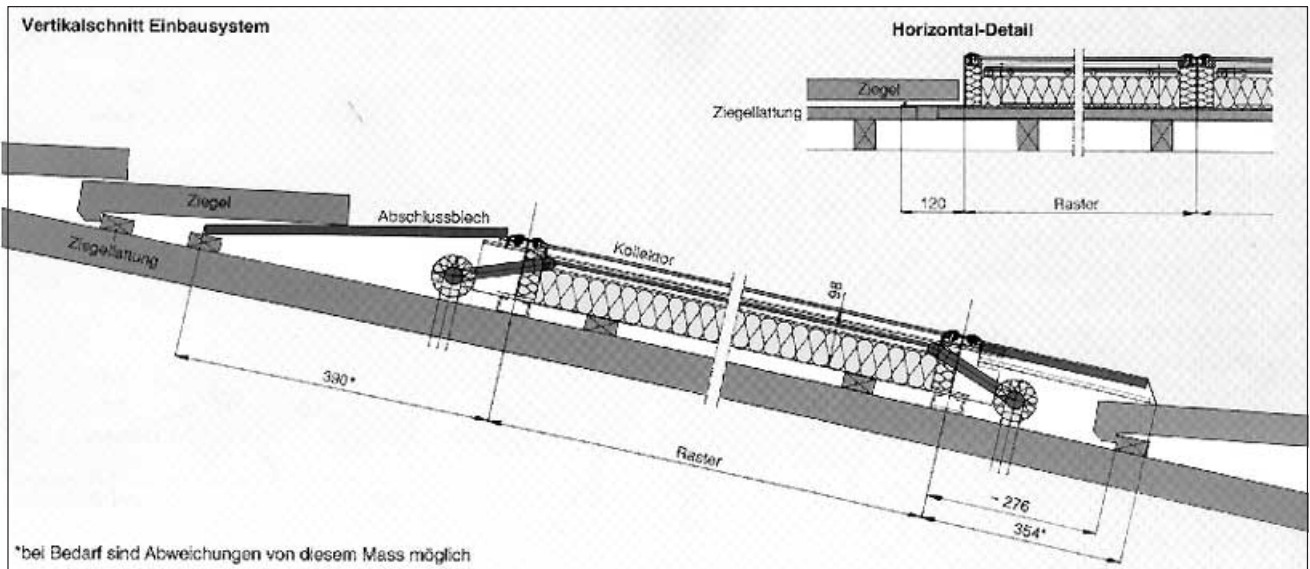
In schneereichen Gegenden

- Keine Schneefangeinrichtungen unmittelbar unter den Kollektoren
- Keine vorstehende Rahmen oder Befestigungsteile im Kollektorenfeld
- Anlagenplaner beziehen bei Kollektoren auf Flachdach betreffend Schneehöhe

System «Einbau I» (I)

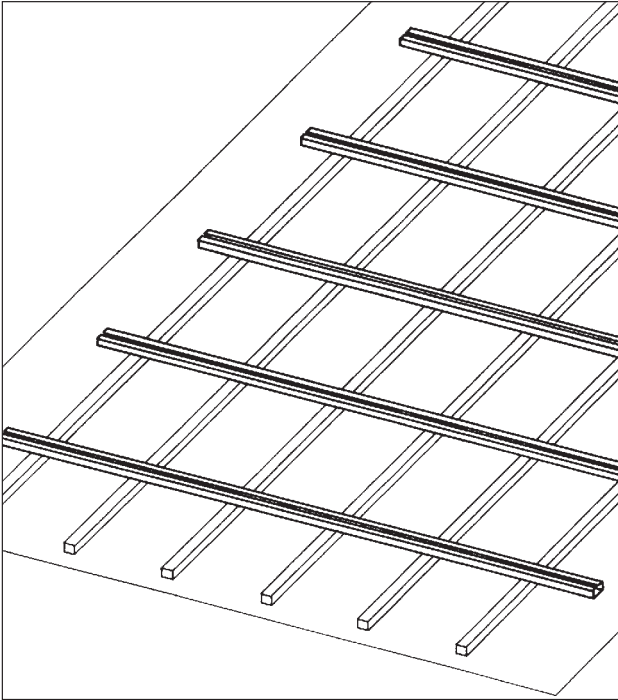


Ansicht einer Einbaukollektor-Anlage

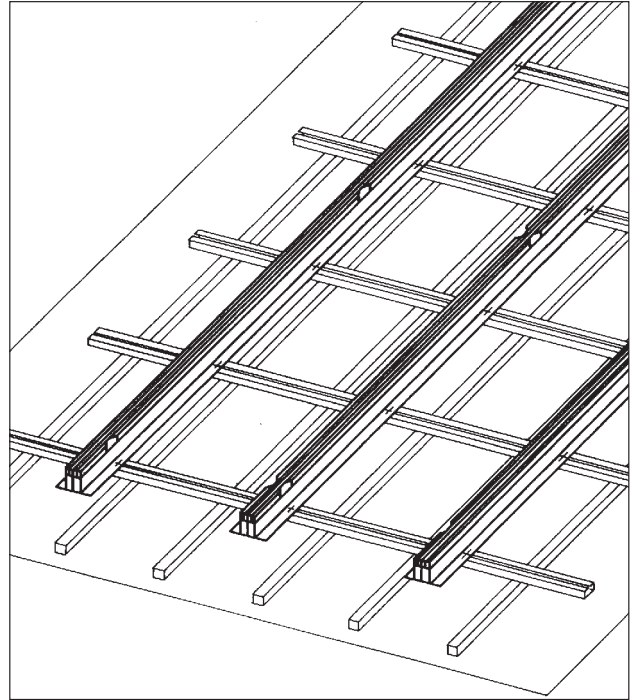


Vertikalschnitt

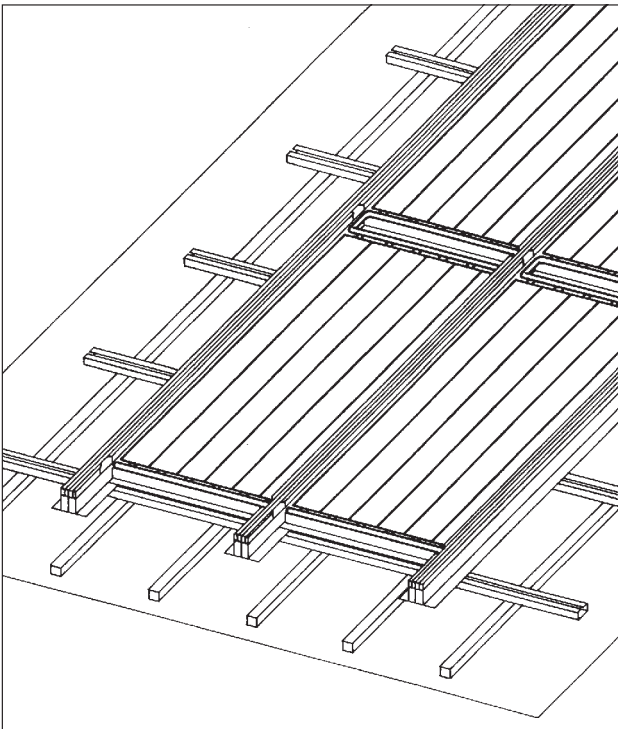
System «Einbau I» (II)



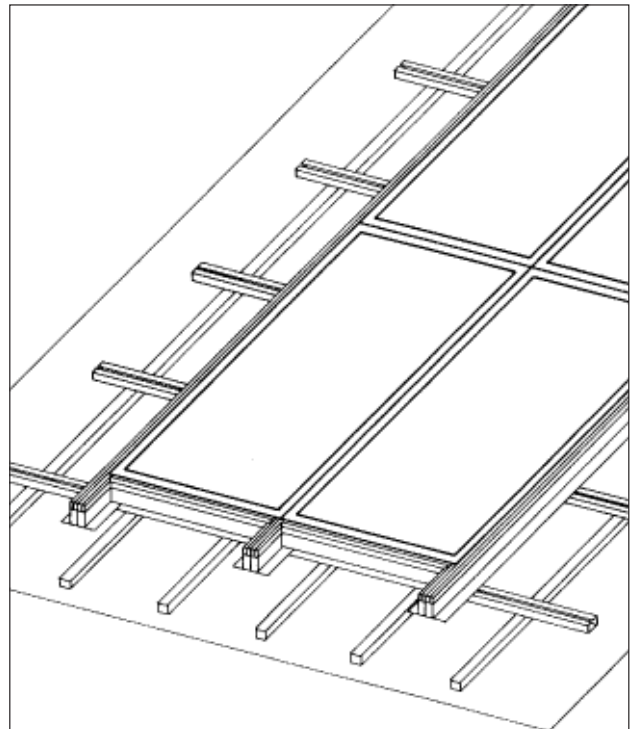
Montage der C-Profile



Setzen der Längsprofile



Isolieren, Querprofile einsetzen
und Absorber löten

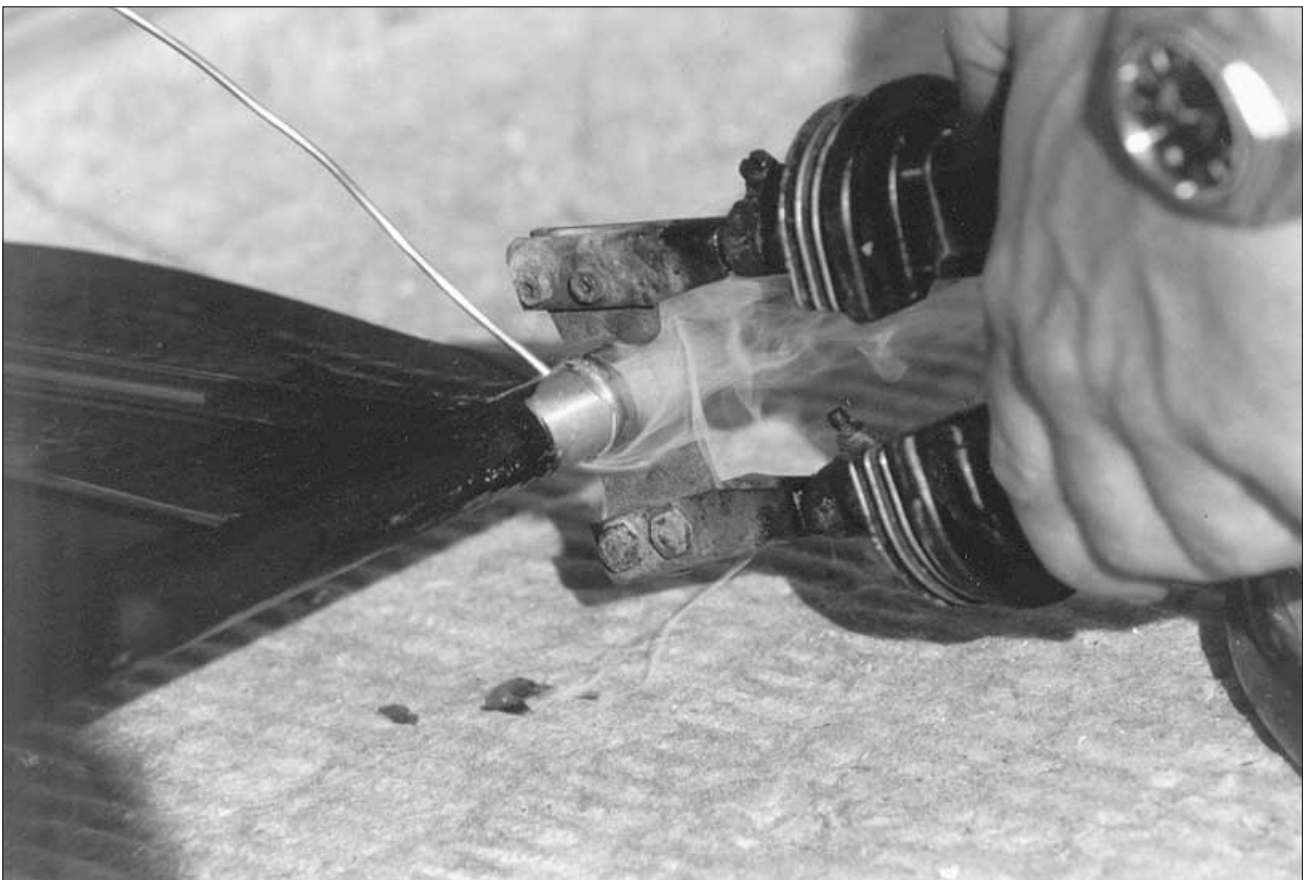


Glasauflagerahmen, Gläser und
Abdeckgummi montieren

System «Einbau I» (III)

Montageablauf

- 1 Montage der horizontalen C-Profile
- 2 Seitenprofil rechtwinklig zu den C-Profilen mittels Klemmplatten befestigen, Bleilappen vormontieren
- 3 Übrige Längsprofile und zweites Seitenprofil befestigen
- 4 Von unten nach oben abwechslungsweise Querprofile einsetzen, Isolationsplatten montieren, Absorber einlegen und verlöten
- 5 Glasaufleg gummi, Glas sowie Abdeckgummirahmen montieren
- 6 Sammelleitungen verlöten und isolieren
- 7 Anschlussbleche einsetzen und mittels Stossabdeckungen und Abdeckgummirahmen befestigen



Löten der Verbindungsleitungen

4.4.1 System «Einbau I»

Einbausystem für thermische (und photovoltaische) Nutzung

Im Folgenden wird ein Pfosten-Riegel-System aus Aluprofilen beschrieben, welches die Integration von Sonnenkollektoren (und photovoltaischen Sonnenzellen) in das Schrägdach ermöglicht. Die entwässerte Pfosten-Riegel-Konstruktion erlaubt die sturmsichere Halterung der Sonnenkollektoren. Innerhalb dieser Profilkonstruktion (windgeschützt hinter einer Glasscheibe) befindet sich der Absorber aus Kupfer, in welchem das Wärmeträgermedium erhitzt wird.

Damit der Absorber möglichst wenig Wärme «verliert», weist er eine sog. selektive Beschichtung auf und ist vorderseitig mit Glas abgedeckt. Die rückseitige Wärmedämmung wird mit einer 60 mm dicken Mineralwollplatte erreicht. Die Verbindung der einzelnen Absorber innerhalb eines grossen Kollektorfeldes wird von aussen unsichtbar mit gelöteten Kupferrohren ausgeführt.

Von aussen sichtbar sind nur die einzelnen Glasscheiben (hagelfestes Solarglas), welche durch witterungsbeständige Gummiprofile abgedichtet werden. Durch diese Rasterung wirken vor allem grosse Kollektorfelder ästhetisch sehr ansprechend.

Der Randabschluss zu den angrenzenden Dachflächen wird in der Regel mittels einbrennlackierbarer Blecheinfassung gelöst.

Energieertrag

Der jährliche Nettoertrag von Sonnenenergieanlagen zur Wassererwärmung bewegt sich zwischen 400–500 kWh pro Quadratmeter. Höchstwerte von 700–800 kWh pro Jahr und Quadratmeter sind an optimalen Lagen möglich. Anlagen für Einfamilienhäuser führen zu höheren Sonnenenergiepreisen als grosse Anlagen für Mehrfamilienhäuser, öffentliche Gebäude etc., weil die Fixkosten stärker ins Gewicht fallen. Für Einfamilienhäuser ergeben die Berechnungen 40–60 Rp./kWh, bei grösseren Anlagen sind Sonnenenergiepreise von weniger als 20 Rp./kWh erreichbar (Stand 1993).

Technische Daten

Aufbau:

- Pfosten-Riegel-System mit unsichtbaren Aluminiumprofilen (feuchtigkeits- und temperaturbeständig)
- vollständig entwässert
- langlebiger Kupferabsorber mit selektiver Schwarzschrömschichtung
- unbrennbare Wärmedämmung aus Steinwolle von 60 mm Stärke
- Kollektorabdeckung aus gehärtetem Weissglas, Glasdicke 4 mm
- Ziegelanschlüsse aus Aluminiumblechen, einbrennlackierbar in Wunschfarbe
- alle Dichtungen aus vulkanisiertem EPDM-Profilmgummi

Rastermass: 2002 mm x 837 mm

- Anordnung: Raster horizontal oder vertikal, beliebige Anzahl Kollektoren nebeneinander, geringer Mehrpreis bei Kollektorfeldhöhe >6m
- Nennfläche pro Raster: 1,5m²
- Gewicht: ca. 35 kg/m²

Zeitlicher Aufwand

- Die Montage von 6 m² Sonnenkollektoren (übliche Warmwasseranlage für ein Einfamilienhaus) kann in einem Tag durchgeführt werden.

Kosten

Kollektorfeld fertig montiert: ca. Fr. 800.–/m², abhängig von der Kollektorfeldgrösse (Stand 1993).

Grössenordnung für die Kollektorflächen

Brauchwassererwärmung in Ein- und Mehrfamilienhäusern:

- Einfamilienhaus 6–9 m²
- z.B. Sechsfamilienhaus 18–30 m²

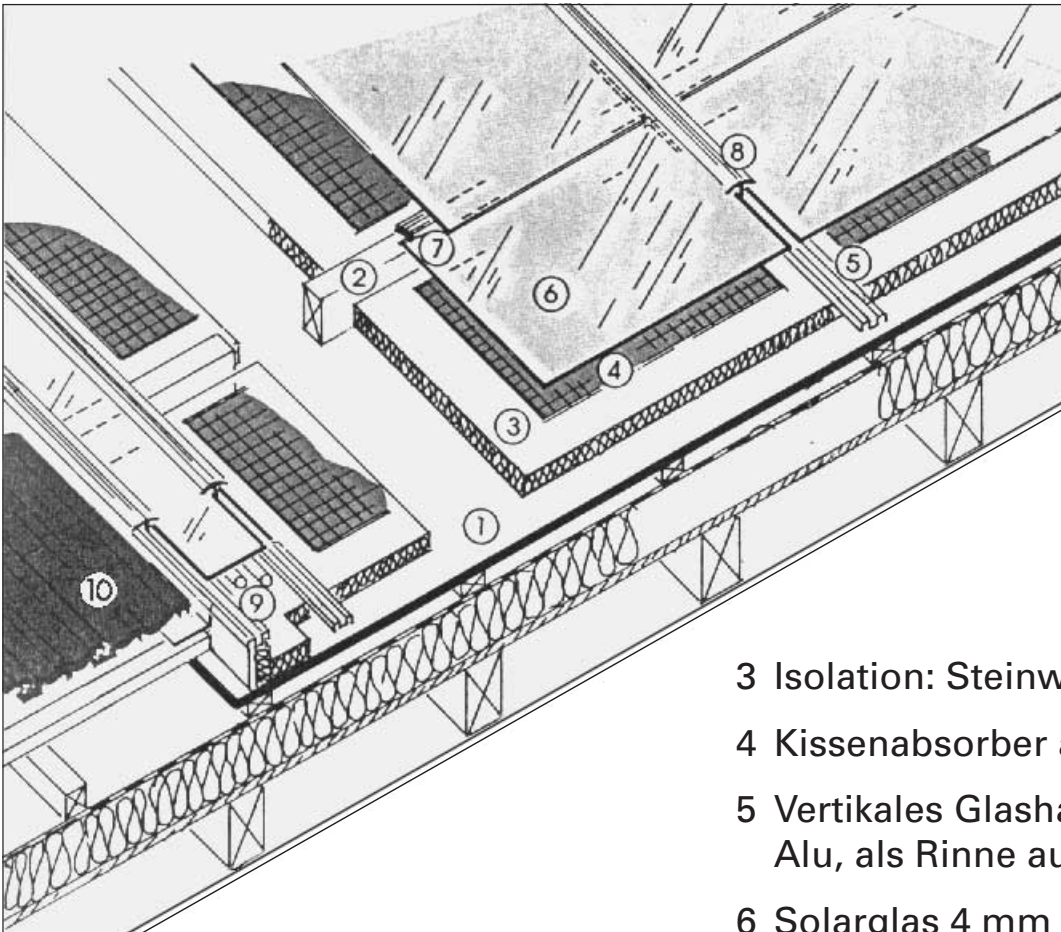
Heizungsunterstützung und Warmwasser in Ein- und Mehrfamilienhäusern:

- Einfamilienhaus 15–20 m²
- Zweifamilienhaus 25–35 m²

System «Einbau II» (I)



Flächenbündig
eingebaute
Sonnen-
kollektoren

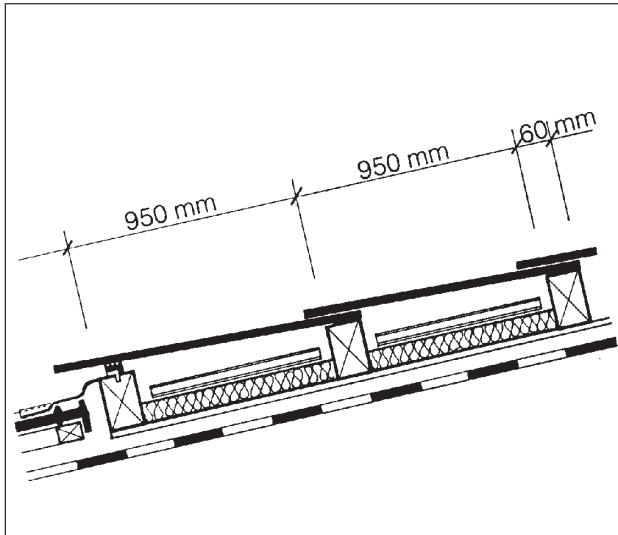


- 1 Isolationsrückwand, fugenfrei hinter
ganzem Kollektorenfeld
- 2 Horizontale Tragkonstruktion aus
Hetzerbalken, wasserfest verleimt

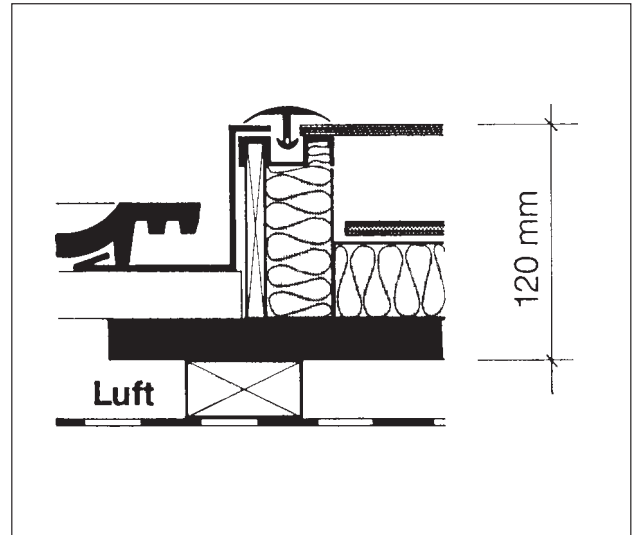
- 3 Isolation: Steinwolle
- 4 Kissenabsorber aus Edelstahl
- 5 Vertikales Glashalteprofil aus
Alu, als Rinne ausgebildet
- 6 Solarglas 4 mm
- 7 Spezialprofil bei Scheiben-
überlappung
- 8 Abdeckprofil EPDM
- 9 Sammelrohrteil verglast

System «Einbau II» (II)

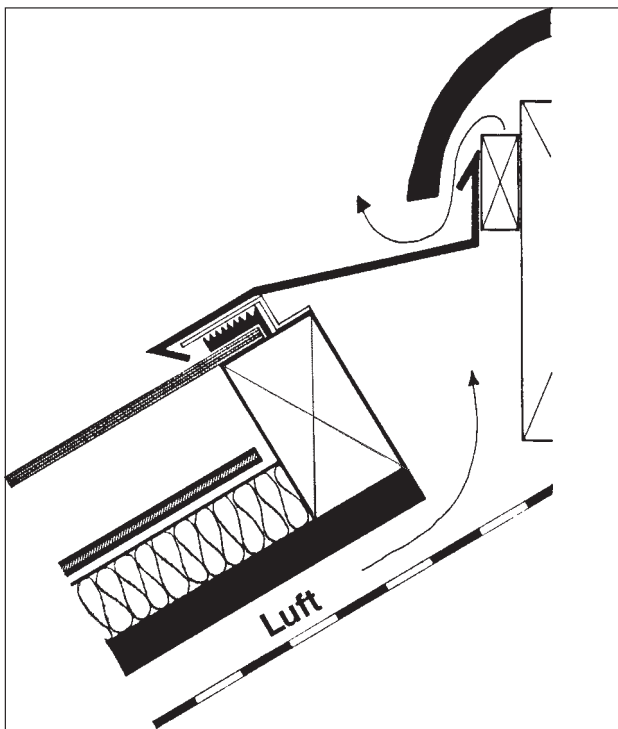
Einbau- und Anschlussdetails



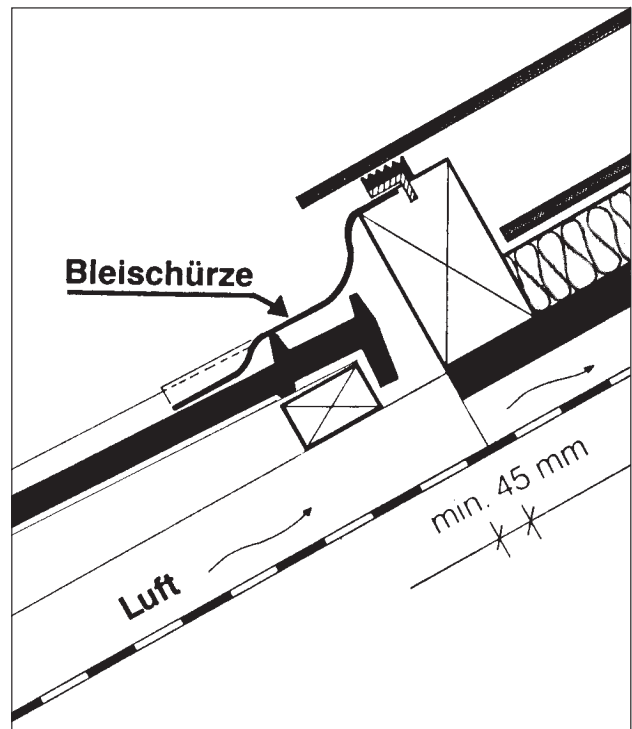
Längsschnitt



Seite



First



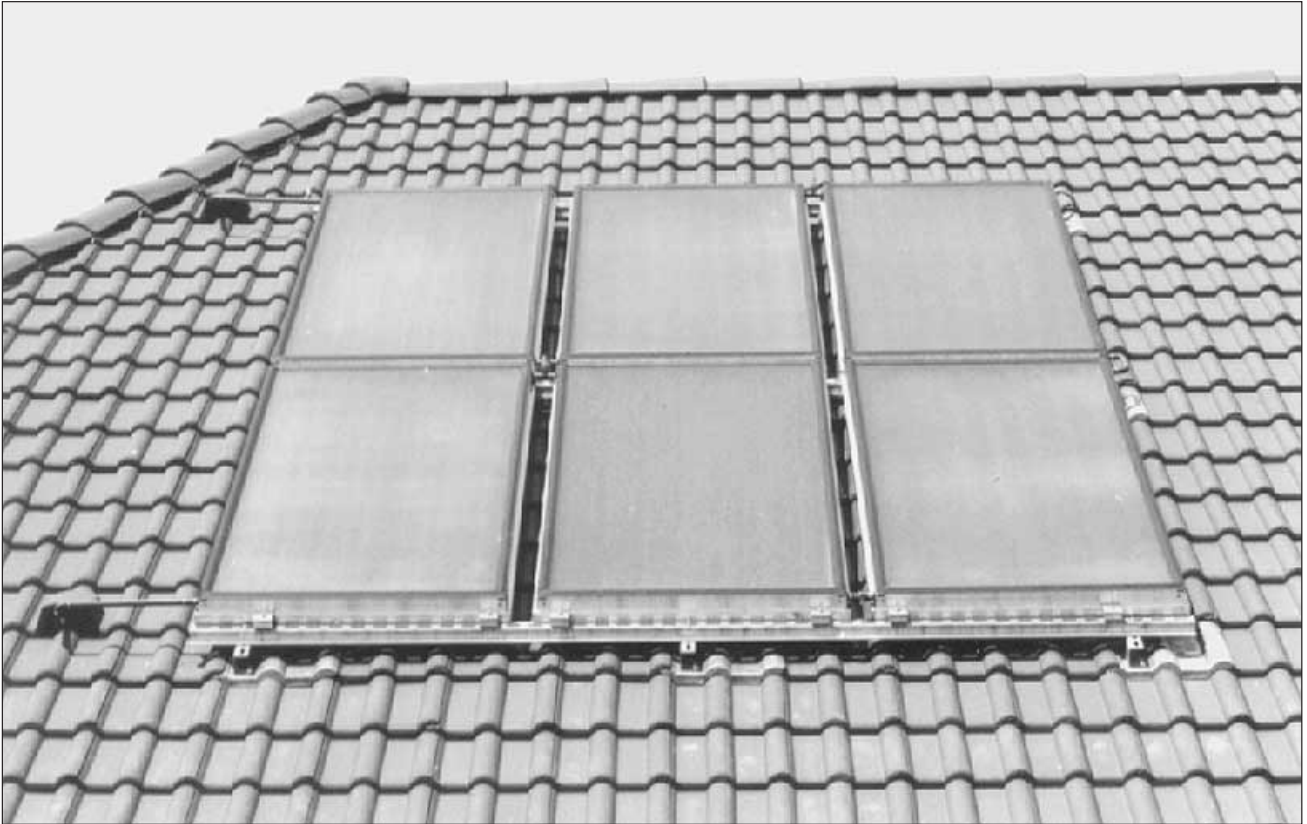
Unten

4.4.2 System «Einbau II»

Technische Anforderungen

- Alle wasserführenden Teile müssen jederzeit gut zugänglich sein
- Kurze Montagezeiten sind vorteilhaft (pro Tag ca. 10–15 m²)
- Die absolute Dichtheit vom Kollektorenfeld muss gewährleistet sein
- Ein Einbau in alle Dacharten wie Ziegel, Eternit und Blech muss möglich sein
- Der Schnee muss gut abrutschen können
- Eine gute Hinterlüftung verhindert zum Teil Kondensat im Kollektorfeld
- Gewicht pro m² fertig montiert, z.B. ca. 38 kg
- Dachdurchführungen der Leitungen am besten innerhalb vom Kollektorenfeld, dadurch absolute Dichtheit
- Die verschiedenen Materialausdehnungen müssen aufgenommen werden (Speziell bei Spengleranschlüssen)

System «Aufbau» und «Flachdach/Gelände»



Ansicht aufgebauter Sonnenkollektoren



Freistehende Sonnenkollektor-Anlage

4.4.3 System «Aufbau» und «Flachdach/ Gelände»

Aufbau

- Bei dieser Montageart wird das Kollektorenfeld auf das Dach montiert
- Es gibt nur geringe Eingriffe auf das bestehende Dach
- Die Verankerung muss der Schneelast, sowie der Windbelastung widerstehen können
- Befestigung mit Blechziegel oder Montagebügel
- Dachdurchführung mit speziellem Ziegel durch Dachdecker muss absolut dicht sein

Flachdach oder Gelände

- Diese Montageart wird bei Flachdächern oder im Gelände eingesetzt
- Der Beschattung durch die voranstehende Reihe ist besondere Beachtung zu schenken
- Die Verankerungen der Kollektoren müssen den Windstößen standhalten
- Die Dachhaut darf bei der Montage oder durch die Befestigungselemente nicht verletzt werden. Besonders im Falle von Betontragelementen und Foliendächern muss deshalb eine Schutzisolation zwischen Tragelementen und Dachhaut vorgesehen werden
- Alle Elemente sind demontierbar zu befestigen

5 Standorteignung

5.1	Globalstrahlung = direkte und diffuse Strahlung	80
5.2	Tägliche Variation der Solareinstrahlung	81
5.3	Jahreszeitliche Variation der Solareinstrahlung	82
5.4	Neigungswinkel der Solarmodule	84
5.5	Ausrichtung und Neigungswinkel	86
5.6	Beschattung von Solarzellenanlagen	88
5.7	Reihenabstand auf Flachdächern	89
5.8	Abschätzung der möglichen Anlagegrösse und der Kosten	90

Globalstrahlung = direkte und diffuse Strahlung

Diffusstrahlung:

- bei Reflexion der Solarstrahlung an Wolken, Bergen, Seen, etc.

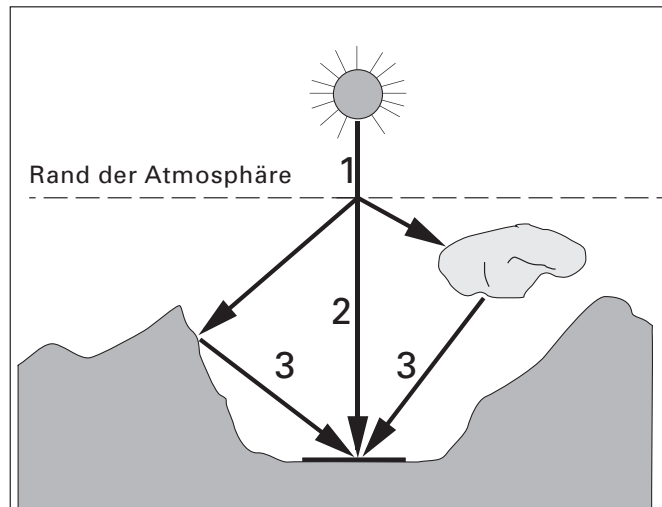
Direktstrahlung:

- winkelabhängig (Sonnenstand)
- erzeugt Schlagschatten

Gesamtstrahlung:

- auf geneigte Fläche umgerechnete Globalstrahlung

Wolken lassen keine Direktstrahlung durch, nur Diffusanteil



Wie Globalstrahlung entsteht:

- 1 Extraterrestrische Strahlung
- 2 Direkte Strahlung
- 3 Diffuse Strahlung

Projektionsfolie 40

5.1 Globalstrahlung = direkte und diffuse Strahlung

Die Sonne ist der Energielieferant unseres Planeten. Die Temperatur der weissleuchtenden Oberfläche beträgt rund sechstausend Grad Celsius. Dieser enorm heisse Feuerball sendet pausenlos Energie aus.

Ein Bruchteil der von der Sonne ausgestrahlten Energie trifft auf die Erde. Weil die Strahlung von einer extrem heissen Oberfläche stammt, besitzen die Lichtteilchen eine hohe Energiewertigkeit. Die gesamte Sonneneinstrahlung, die sogenannte Globalstrahlung, lässt sich in drei Komponenten aufteilen:

- Die als paralleles Licht von der Sonne einfallende Direktstrahlung.
- Die von Wolken und Staubteilchen der Luft gestreute in alle Richtungen austretende Himmelsstrahlung.
- Die von der nahen Umgebung zurückgestrahlte Reflexstrahlung.

Himmelsstrahlung und Reflexstrahlung werden als diffuse Strahlung bezeichnet. Die direkte und die diffuse Strahlung ergeben zusammen die Globalstrahlung.

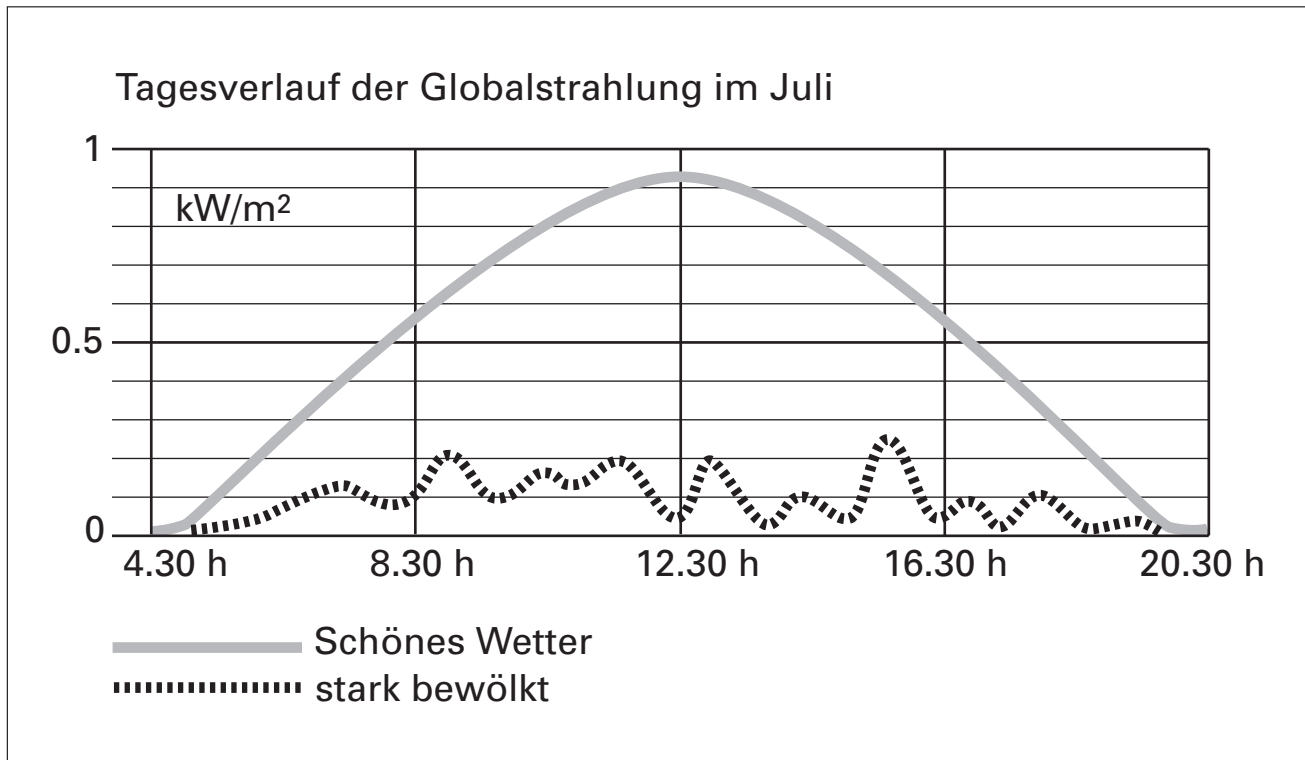
Direkte Sonnenstrahlung liegt dann vor, wenn ein Gegenstand einen klaren Schattenwurf abbildet. Dagegen erzeugt die aus allen Richtungen einfallende diffuse Sonnenstrahlung keinen Schatten.

Man spricht von Globalstrahlung, wenn die gesamte einfallende Strahlenmenge bezogen auf eine Fläche gemessen wird. Streng genommen gilt der Begriff nur im Falle horizontaler Flächen. Die gesamte Strahlung auf eine geneigte Fläche (z.B. Modulfläche) wird aber oft ebenfalls Globalstrahlung genannt.

Der Anteil der Diffusstrahlung ist in erster Näherung für horizontale und wenig geneigte Flächen gleich. Das bedeutet zum Beispiel, dass eine Solarzellenanlage mit flachem Neigungswinkel (z.B. 25°) während einem Nebeltag etwa gleich viel Energie erzeugt, wie eine Solarzellenanlage mit steilem Anstellwinkel (z.B. 45°).

Der direkte Strahlungsanteil dagegen ändert sich sehr stark mit dem Neigungswinkel der Fläche beziehungsweise des Solarmoduls.

Tägliche Variation der Solareinstrahlung



Projektionsfolie 41

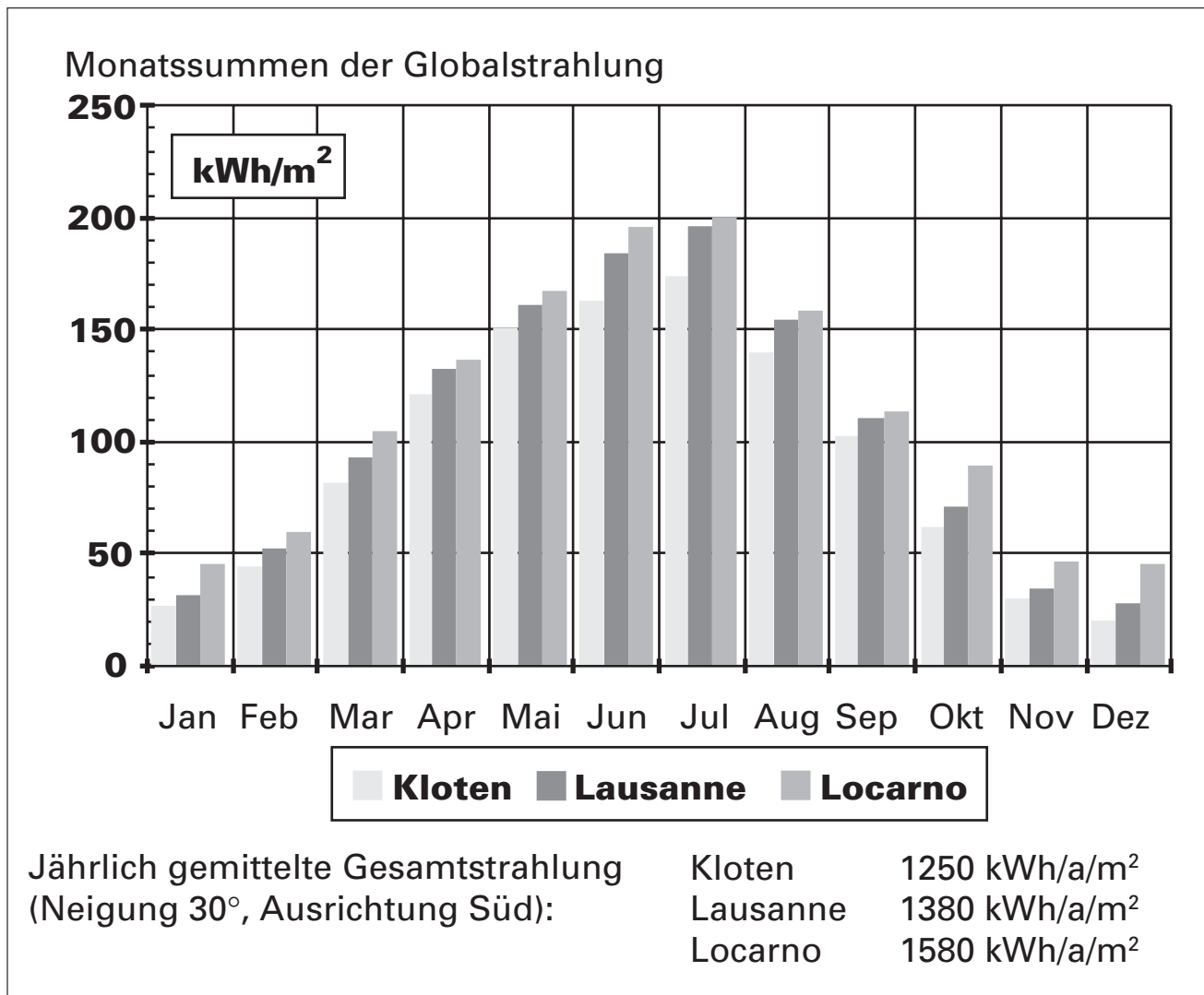
5.2 Tägliche Variation der Solareinstrahlung

Die Erde dreht sich einmal pro Tag um ihre eigene Achse. Für die Bewohner der Nordhalbkugel bedeutet dies, dass die Sonne am Morgen im Osten aufgeht, am Mittag im Süden den höchsten Stand erreicht und am Abend im Westen wieder untergeht. Während der übrigen Zeit der Erddrehung ist es Nacht. Dies ist gleichzeitig ein grosser Nachteil der Sonnenenergienutzung: die Sonnenenergie fällt täglich mit grossen Schwankungen an.

Interessant ist der Tagesverlauf der Globalstrahlung. Aufgetragen sind Messwerte der Leistung in Kilowatt pro Quadratmeter über der Tageszeit. Dick ausgezogen ist der Verlauf der Einstrahlung für einen Schönwettertag, gestrichelt jener eines bewölkten Himmels.

Die Leistung der Solarenergie wird in Kilowatt pro m² (kW/m²) angegeben.

Jahreszeitliche Variation der Solareinstrahlung



Projektionsfolie 42

5.3 Jahreszeitliche Variation der Solareinstrahlung

Während des jährlichen Umlaufes der Erde um die Sonne ändert sich der Einstrahlwinkel der Sonne. Das Resultat sind in unseren Breitengraden die vier Jahreszeiten. Die grosse saisonale Schwankung des Sonnenenergieangebotes ist damit ein weiterer Nachteil der Sonnenenergienutzung.

In Kloten beträgt die Strahlung auf eine 30° geneigte, nach Süden ausgerichtete Fläche von einem Quadratmeter rund 1250 kWh pro Jahr. In Lausanne sind es immerhin 1380 und in Locarno 1580 kWh pro Jahr und Quadratmeter. Die Grafik (oben) zeigt die jährliche Variation der Energiebeiträge, welche

monatlich aufgetragen sind. Locarno hat das ganze Jahr über mehr Einstrahlung als Lausanne und Kloten. Lausanne übertrifft Kloten vor allem in den Wintermonaten, da Lausanne häufiger nebelfrei ist.

Die eingestrahelte Energiemenge in Kilowattstunden pro Quadratmeter (kWh/m²).

Durch den Verbund der Solarzellenanlage mit dem Netz wird der Nachteil des schwankenden Sonnenenergieangebotes ausgeglichen. Am Tag wird oft mehr Strom produziert, als im Haus verbraucht wird. Die Differenz geht ins Netz. Nachts wird die fehlende Solarleistung durch Bezug aus dem Netz ausgeglichen.

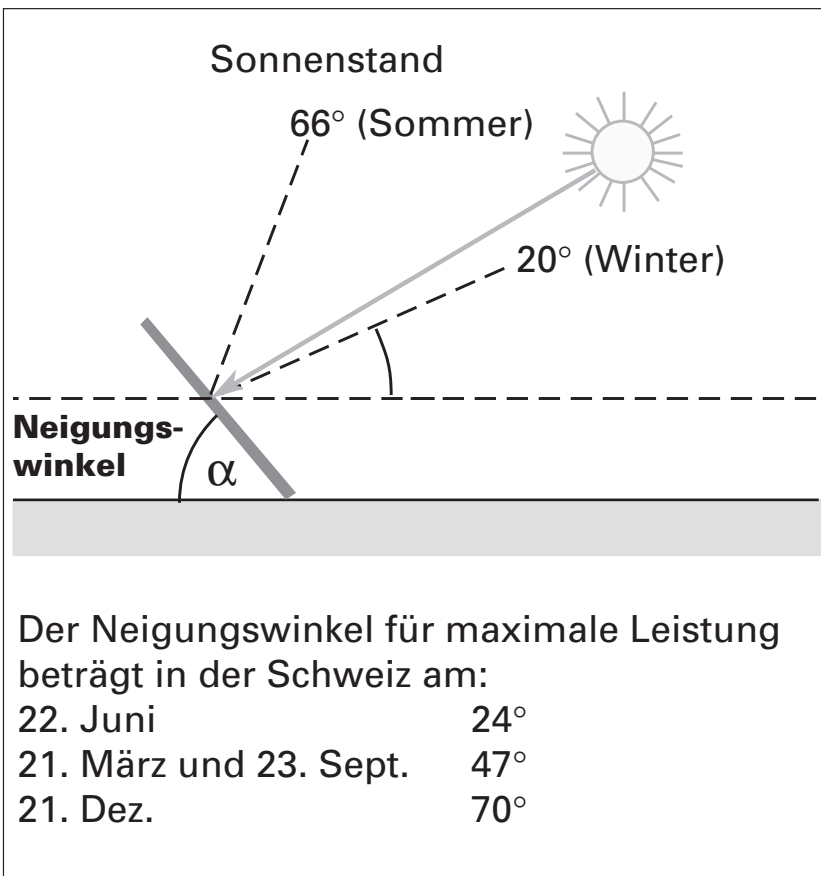
Neigungswinkel der Solarmodule

Der Einfluss des Neigungswinkels auf die Jahresproduktion ist klein.

Module liegen bei Schrägdachanlagen aus ästhetischen Gründen meist parallel zum Dach.

Steilere Winkel begünstigen:

- die Winterproduktion, vor allem in nebel-freien Gebieten
- das Abgleiten von Schnee
- die Reinigungswirkung von Regen



Projektionsfolie 43

5.4 Neigungswinkel der Solarmodule

Kurgäste, welche ein Sonnenbad nehmen, «wissen», welches der beste Neigungswinkel ist, um optimale Bräunung zu erhalten. Im Winter werden die Liegestühle steil angestellt, im Sommer dagegen eher flach. Ebenso fangen Solarzellenmodule im Winter bei steiler Anstellung und im Sommer bei flacher Anstellung mehr Energie ein.

Dieser Unterschied ist allerdings nur für den Anteil der direkten Sonneneinstrahlung wesentlich. Die Intensität der diffusen Sonnenstrahlung ist dabei weitgehend richtungsunabhängig. Wie oben erwähnt, erwartet man in Gebieten mit hohem Diffusanteil (Nebelgebiete) einen kleinen Einfluss des Neigungswinkels der Solarmodule auf die Energieproduktion. In Gebieten mit viel Direkteinstrahlung (Berggebiete) ist die Energieproduktion und das Verhältnis der Winter- zur Sommerproduktion stark vom Neigungswinkel abhängig.

Der Neigungswinkel des Solarmoduls ist definiert als der Winkel zwischen der Horizontalen und dem Solarmodul. Die maximale Leistung wird dann erreicht, wenn die Sonnenstrahlung senkrecht auf das Solarmodul fällt.

Für eine nach Süden ausgerichtete Solarzelle ist dies bei Mittagszeit unter folgenden Bedingungen der Fall: Im Juni müsste der Neigungswinkel 24° betragen, bei der Tag- und Nachtgleiche im Frühjahr und im Herbst 47° und im Dezember 70° . Wie sich in Berechnungsmodellen zeigen lässt, ist der optimale Anstellwinkel in den Gebieten des Mittelandes rund 30° bis 40° und in Berggebieten rund 35° bis 45° .

Allerdings sollte man mit Hinblick auf eine mögliche Optimierung der Energieerträge im Winterhalbjahr vor allem in nebelfreien Gebieten mit steilen Anstellwinkeln von 45° und darüber arbeiten. Damit wächst zwar nicht die Jahresenergieproduktion, aber der Winteranteil wird positiv beeinflusst. Berechnungen und Messungen haben gezeigt, dass im Berggebiet bei steilen Anstellwinkeln von 55° bis 60° die Energieproduktionsanteile für das Winter- und das Sommerhalbjahr praktisch gleich gross sind (45% im Winter-, 55% im Sommerhalbjahr).

Nach den obigen Darstellungen ergäbe sich eigentlich das Ertragsoptimum, wenn die Solarzellen dem wechselnden Sonnenstand nachgeführt würden. Das wurde auch in mehreren Anlagen, vor allem im Ausland an Orten mit einem hohen Anteil an direkter Sonneneinstrahlung realisiert. Man nimmt dabei allerdings zwei Nachteile in Kauf:

- a) Die Ästhetik des Solarzellenfeldes leidet. Insbesondere bei Schrägdächern empfiehlt es sich, die Module parallel zur Dachfläche aufzubauen. Damit lässt sich das Solarzellenfeld am ehesten als homogener Bestandteil in die Gebäudehülle integrieren. Eine zusätzliche Anstellung der Solarmodule gegenüber einer flachen Schrägdachneigung mag wohl den Energieertrag geringfügig erhöhen und die Anteile der Wintererträge verbessern. Neben dem Verlust an Ästhetik ist diese Konstruktionsvariante auch sehr viel teurer, da zusätzlich zu den Schneelasten nun vermehrt auch Windlasten durch die mechanische Unterkonstruktion aufgefangen werden müssen.
- b) Durch die variable Nachführung, die den Neigungswinkel der Solarmodule dem wechselnden Sonnenstand anpasst, wird aus einem System ohne mechanisch bewegte Teile plötzlich eine Anlage, wo wieder mechanisch bewegte Strukturen verwendet werden. Höhere Investitionskosten, Abnutzung und damit erhöhter Wartungsaufwand sind die Folgen.

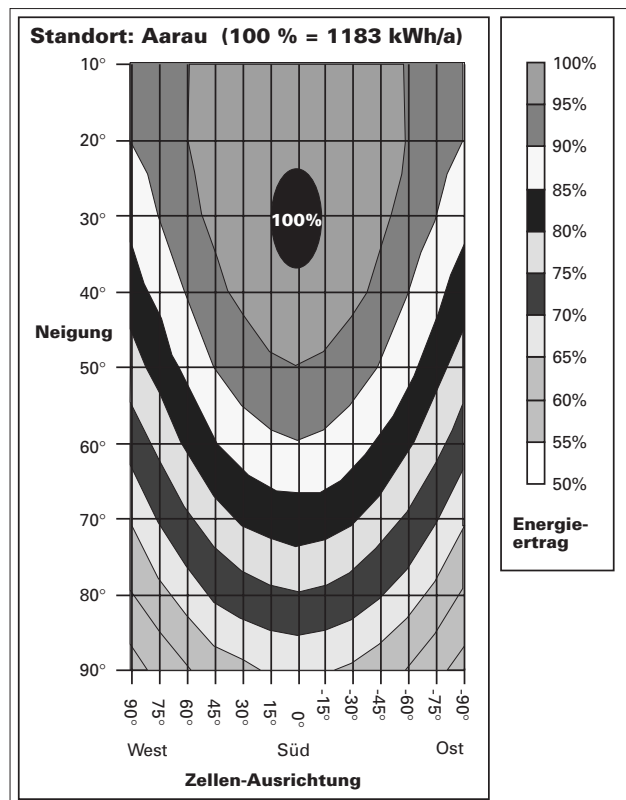
Der Einfluss des Anstellwinkels auf die Jahresproduktion ist verhältnismässig klein. Geringere Neigungswinkel als 20° sollten vermieden werden, damit der Regen für die Moduloberfläche noch immer die reinigende Wirkung erzielt. Zudem ist es so, dass bei flachen Anstellwinkeln der Schnee länger liegenbleibt als bei steileren Anstellwinkeln. Länger dauernde Versuche in Zusammenarbeit mit der Eidgenössischen Schnee- und Lawinenforschung in Davos haben gezeigt, dass bei Neigungswinkeln über 60° der Schnee praktisch bei allen Witterungen abrutscht. Allerdings gilt das für ein relativ trockenes Gebiet wie Davos, wo die Neigung zur Bildung von Eiskristallen gering ist. Im Voralpengebiet können Situationen auftreten, wo der Schnee auch bei 60° nicht abrutschen wird. Bekannt dürften die Bilder der schneeverwehten Messstation auf dem Säntisturm sein.

Ausrichtung und Neigungswinkel

Ausrichtung:
Möglichst nach Süden.
Bis +/-45° SO/SW,
kleine Einbussen.

Optimaler Neigungswinkel:
Nebelgebiet 20° – 50°
nebel freies Gebiet 30° – 60°

METEONORM-Bücher geben
über Strahlungsdaten in der
Schweiz Auskunft.



Projektionsfolie 44

5.5 Ausrichtung und Neigungswinkel

Neben dem Neigungswinkel spielt auch die Ausrichtung nach Süden, bzw. die Abweichung aus der Südachse eine Rolle für den Energieertrag einer Solarzellenanlage. Eine genaue Optimierung für jeden Standort ist mit speziellen Simulationsprogrammen oder mit den *Meteonorm*-Handbüchern möglich. Die Berechnungen werden in der Regel von spezialisierten Ingenieurbüros durchgeführt.

Bei fester Aufständerung ergibt die Ausrichtung nach Süden optimale Energieerträge. Allerdings müssen in der Realität auch hier Abweichungen vom Optimum in Kauf genommen werden. Schrägdächer sind nun einmal nicht immer genau nach Süden ausgerichtet. Das wäre dann der Fall, wenn der Dachgiebel genau Richtung Ost-West verlaufen würde. Es zeigt sich nun aber, dass die Abweichungen aus der Ideallage auf den Energieertrag einer Solarzellenanlage wenig Einfluss haben. Abweichungen von $\pm 45^\circ$ aus der Südachse sind zulässig. Die Einbussen bei der Energieproduktion sind relativ klein.

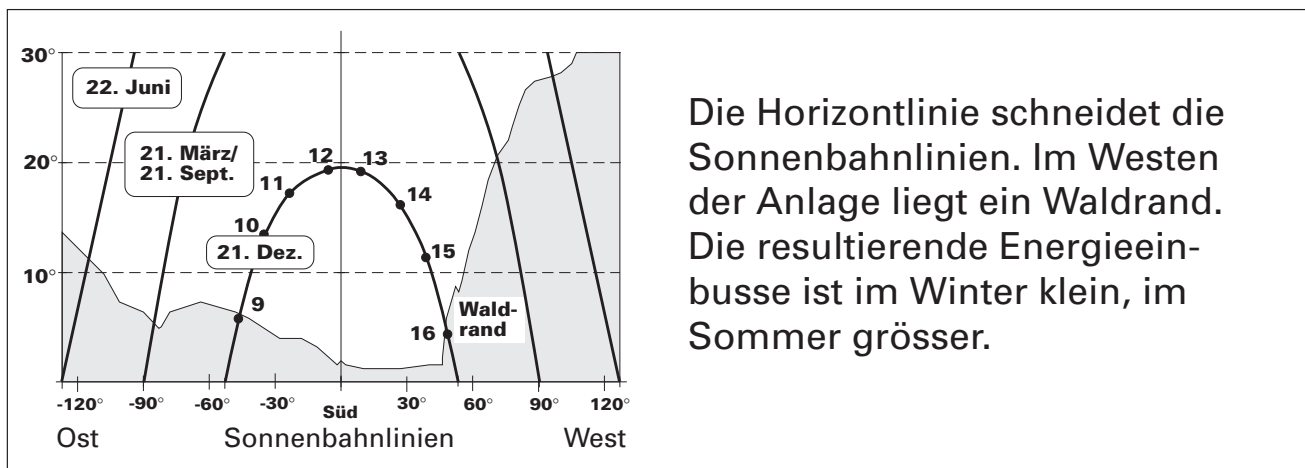
Der Ausrichtungswinkel wird auch Azimuth genannt. In der Ortskunde wird dieser Winkel zwischen dem rechtweisenden Nord- und dem einfallenden Sonnenstrahl gemessen. In der *Meteonorm*-Buchreihe sowie auch allgemein im Bereich der Sonnenenergienutzung wird der Azimuth als Winkel-Abweichung aus der Südachse angegeben. Eine genaue Ausrichtung nach Ost bedeutet folglich einen Winkel von -90° , eine genaue Ausrichtung nach Süden einen Winkel von 0° und eine genaue Ausrichtung nach Westen einen Winkel von $+90^\circ$.

Ertragseinbussen aufgrund einer Abweichung vom idealen Ausrichtungs- und Neigungswinkel können mit Hilfe der Graphik in Projektionsfolie 44

abgeschätzt werden. Die Parameter auf den beiden Achsen sind die Ausrichtung bzw. deren Abweichung aus der Südrichtung und der Neigungswinkel (zwischen 10° und 90°). Ein Anstellwinkel von 90° entspricht dem Einbau eines Solarmoduls in eine senkrechte Fassade. Aus der Graphik kann die prozentuale Einstrahlung bezüglich des Optimums für beliebige Neigungswinkel und Ausrichtungen abgeschätzt werden. So kann man zum Beispiel erkennen, dass eine Ausrichtung des Daches von 45° nach Osten und einem Neigungswinkel von 60° noch einen Energieertrag zwischen 80% und 85% des Maximums erwarten lässt (Maximum: Ausrichtung nach Süden, Neigungswinkel 30°). Die Graphik wurde für Daten ausgearbeitet, welche in Aarau gemessen wurden. Sie gilt also streng genommen nur für Orte mit gleicher Nebelhäufigkeit und gleicher Sonneneinstrahlcharakteristik wie in Aarau. Sie zeigt aber, dass gerade in Nebelgebieten die Einbussen gegenüber optimal ausgerichteten Anlagen mit optimalem Neigungswinkel (30°) relativ gering sind. Erst steile Neigungswinkel (Fassaden) mit grosser Abweichung aus der Südrichtung, ergeben massive Einbussen in der Energieproduktion.

Eine genauere Abschätzung lässt sich mit einem speziellen Verfahren relativ leicht erarbeiten, welches in der *Meteonorm*-Bücherreihe zusammengestellt ist. Diese *Meteonorm*-Bücher, welche speziell für Solarplaner durch das Bundesamt für Energiewirtschaft in Bern herausgegeben werden, ermöglichen in relativ einfacher Art und Weise, für jede Gemeinde in der Schweiz die Einstrahlungsverhältnisse für jede Ausrichtung und jeden Neigungswinkel zu berechnen. Für eine einfache Ertragsabschätzung ist das zugehörige PC-Programm «*Meteonorm*» geeignet, welches bei Eingabe der Standortgemeinde, der Orientierung und des Neigungswinkels die mittlere Einstrahlung pro Jahr (oder Monat) und m^2 berechnet. Die Bezugsquelle für diese Unterlagen ist INFOENERGIE, Postfach 311, 5200 Brugg.

Beschattung von Solarzellenanlagen



Teilbeschattung einer 3-kW-Flachdachanlage.

Schatten vermindern den Ertrag. In der Regel sind die Einbussen der Energieproduktion vernachlässigbar. Im nebefreien Berggebiet ist der Einfluss am grössten.

5.6 Beschattung von Solarzellenanlagen

Neben der zeitlichen Variation der Sonneneinstrahlung, bedingt durch die Erdrotation, durch die Erdumlaufbahn, und durch die klimatischen Gegebenheiten von Wolken und klarem Himmel, gibt es noch das Problem der Beschattung von Solarzellenanlagen zu berücksichtigen. Die Teilbeschattung einer Anlage hat einen grossen Einfluss auf die momentane Leistung der Solarzellenanlage.

Schattenwerfende Hindernisse wie Bäume, Kamine, Balkone oder andere Gebäudeteile können den Ertrag einer Anlage bei direkter Sonnenstrahlung wesentlich verringern. So hat der Schattenwurf eines Kamins nicht nur Einfluss auf die direkt betroffenen Module, sondern auch auf alle andern mit diesen verbundenen Modulen. Die Einbusse ist daher überproportional zur abgeschatteten Fläche.

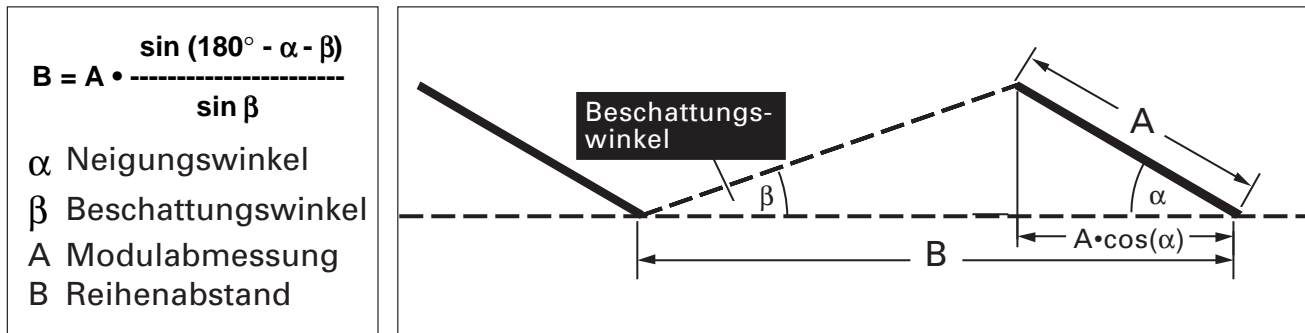
Beschattung an den Randstunden, bei flachem Einfallswinkel der Sonne, haben geringeren Einfluss und treten zumindest im Sommer bei allen Anlagen auf. Mögliche Ausnahme: Nachgeführte Anlagen. Abschattung durch Gebäudeteile oder Bäume sind erlaubte Betriebszustände der Anlage und beeinträchtigen deren Funktion, abgesehen von einem Minderertrag, nicht.

Eine Abschätzung, ob der Horizont den Ertrag mindert oder nicht, erfordert einen erhöhten rechnerischen Aufwand. Die in der Projektionsfolie 45 dargestellte Graphik zeigt den Verlauf der Sonnenbahn für den Winteranfang am 21. Dezember, für die Tag- und Nachtgleiche im März und im September und für den längsten Tag am 22. Juni. Das Beispiel zeigt eine gemessene Horizontlinie für eine Anlage an einem Waldrand. Aus der Messung ist ersichtlich, dass der Horizont von Osten über Süden bis ungefähr 50° nach Westen unter 10° liegt. Erst bei noch westlicherer Orientierung steigt die Horizontlinie stark an. Es ist zu erwarten, dass die Anlage im Wintermonat in ihrem Ertrag durch den Horizont nicht beeinträchtigt ist, und dass im Frühjahr und vor allem im Sommer am späteren Nachmittag mit Schatten zu rechnen ist. In diesem Beispiel hat die Berechnung gezeigt, dass die Energieeinbusse aufgrund dieser Horizontlinie für die Anlage klein ist.

Als Regel sollte beachtet werden, dass der Horizont vor allem in der Südachse um rund $\pm 45^\circ$ aus der Südachse nach Osten und Westen unterhalb 15° liegt. Dann dürften die Energieeinbusse in jedem Falle relativ bescheiden sein. Bei hohen Horizontlinien ist allerdings Vorsicht geboten. In solchen Fällen ist es ratsam, die Einbusse der Produktion genauer untersuchen zu lassen.

Die Horizontlinie wird am genauesten mit einem Vermessungsgerät oder anhand der Landkarte aufgenommen. Ob dies ein teurer Theodolit ist oder ein einfaches Handgerät, spielt für die erforderliche Genauigkeit der Solarenergie keine Rolle. Man setzt sich in der Nähe des zukünftigen Standortes der Solaranlage und richtet das Gerät zuerst nach Osten. Dann wird der Höhenwinkel gemessen. In Abständen von rund 10° bis 20° bewegt man sich mit dem Gerät nach Süden und misst dann jeweils die zugehörigen Höhenwinkel. Man erhält so die Beschattungslinie. Dieses Verfahren dürfte allerdings nur dann notwendig sein, wenn durch umliegende Berge die Gefahr einer längeren Beschattung der Anlage besteht. In der Regel dürfte in einem solchen Fall der Hausbesitzer jedoch recht gut Bescheid wissen, wann bei ihm die Sonne aufgeht und ob die Berge einen massgeblichen Einfluss auf seine Sonnenscheindauer haben. Eine direkte Sonnenbestrahlung im Berggebiet von vier Stunden im Dezember dürfte das zulässige Minimum sein. Eine viel grössere Schattenwirkung als der Horizont bewirken oft nahestehende Häuser und Bäume. Es gibt praktische keine realisierte Anlage, wo nicht zu einer bestimmten Tageszeit irgend ein Haus oder ein Baum einen Schatten auf die Anlage wirft. Die Einbusse rechnerisch zu erfassen sind aufwendig. Meist genügt es, sie abzuschätzen. Wiederum dürfte der Hausbesitzer recht gut die Besonnung seines eigenen Daches und die Schattenwirkung umliegender Gebäude und Bäume kennen. Diese Informationen genügen meist zur Abschätzung der Einbusse. Vorsicht ist geboten, wenn die Anlage im Winter zwischen 10 und 14 Uhr, bzw. im Sommer zwischen 7 und 17 Uhr von dem Schattenwurf tangiert wird. Die Beschattung am Morgen, bzw. am Abend hat wenig Einfluss auf den Ertrag.

Reihenabstand auf Flachdächern



Beim Aufstellen von Solarzellenreihen auf Flachdächern:

- Je grösser der Reihenabstand, um so weniger Schatten morgens, abends und im Winter --> mehr Energieertrag.
- Reihenabstand ergibt sich aus Faustformel «Beschattungswinkel β rund 18° oder kleiner» (β = Winkel zwischen Zellenunterrand und Zellenoberrand der vorderen Reihe; $\alpha = 30^\circ$; Ausrichtung nach Süden).
- Flächenausnutzungsziffer zwischen 0.3 und 0.4 (Beispiel: 100 m^2 Flachdach --> $30\text{--}40 \text{ m}^2$ Solarzellenfläche).

Projektionsfolie 46

5.7 Reihenabstand auf Flachdächern

Auf Flachdächern oder im Felde werden die Solarmodule in sogenannten Reihen aufgestellt. Während die vorderste Reihe in der Regel ganz besonnt ist, lässt sich kaum vermeiden, dass bei tiefen Sonnenständen am Morgen und am Abend sowie im Winter, die hintere Reihe durch die vordere Reihe beschattet wird. Als Faustformel gilt: die Horizontüberhöhung β zwischen Unterkante der hinteren Solarzellenreihe und Oberkante der vorderen Reihe sollte maximal 18° betragen. Tiefere Winkel wie etwa 15° sind zu bevorzugen, wenn das Dach gross genug ist und die Reihenabstände entsprechend gewählt werden können. Im Bild ist dieser Horizontüberhöhungswinkel, auch Beschattungswinkel genannt, mit β bezeichnet. Sind Neigungswinkel α und Horizontüberhöhung β gegeben, lässt sich der Abstand zwischen den einzelnen Reihen auf sehr einfache Art und Weise berechnen.

Man kann folgende Faustformeln für das Aufstellen von Solarzellenreihen auf Flachdächern formulieren:

- Je weiter die Reihen auseinander liegen, desto weniger besteht die Gefahr von Schatten am Morgen, am Abend und zur Winterszeit. Die Gefahr der gegenseitigen Beschattung darf nicht unterschätzt werden. Sie ist in der Regel viel häufiger als die Beschattung der Solarzellenfelder durch den Horizont.
- Als minimaler Horizontüberhöhungswinkel β sollte ein Winkel von maximal 18° angenommen werden. Sollte die vorhandene Dachfläche klein sein, empfiehlt es sich vor allem im Mittelland, zuerst den Neigungswinkel des Solarzellenfeldes von zum Beispiel 35° auf 30° zu reduzieren. Damit sinkt der Einfluss der gegenseitigen Beschattung.

Lassen sich wegen Platzmangel die Reihen nicht weit genug voneinander montieren, muss mit Beschattung der hinteren Reihen gerechnet werden. Dies mindert vor allem die Produktion im Winter. Es empfiehlt sich dann, die elektrische Verschaltung der Solarzellen so vorzunehmen, dass die untersten Module in einem Strang liegen. Sie werden dann alle gleichzeitig durch die vordere Reihe abgeschattet. Auf diese Weise kann erreicht werden, dass innerhalb der Reihe die oben liegenden Module immer noch ihre volle Energie produzieren können.

Abschätzung der möglichen Anlagegrösse und der Kosten

Kosten (1992):

Fr. 16 000 ... 20 000.– pro kW installierte Leistung

Beispiel Steildach:

Gegeben: Solarzellenleistung $p = 120 \text{ Wp/m}^2$

Geeignete Dachfläche $F = 44 \text{ m}^2$

Gesucht: Maximale Spitzenleistung P ; Kosten K

Lösung: $P = p * F = 120 \text{ Wp/m}^2 * 44 \text{ m}^2 = 5280 \text{ Wp} = 5.3 \text{ kW}$

$K = 5.3 \text{ kW} * \text{Fr. } 17\,000.– \approx \text{Fr. } 90\,000.–$

Beispiel Flachdach:

Gegeben: Solarzellenleistung $p = 120 \text{ Wp/m}^2$

Geeignete Dachfläche $F = 150 \text{ m}^2$

Flächenausnutzung $a = 0.3 \dots 0.4$

Gesucht: Maximale Spitzenleistung P ; Kosten K

Lösung: $P = a * p * F = 0.4 * 120 \text{ Wp/m}^2 * 150 \text{ m}^2 = 7200 \text{ Wp} = 7.2 \text{ kW}$

$K = 7.2 \text{ kW} * \text{Fr. } 16\,000.– \approx \text{Fr. } 115\,000.–$

Projektionsfolie 47

5.8 Abschätzung der möglichen Anlagegrösse und der Kosten

Um für ein Objekt die mögliche Anlagegrösse und die Investitionskosten abschätzen zu können, ist für Steil- und Flachdächer je ein Beispiel angegeben.

In der Schweiz bieten verschiedene Firmen schlüsselfertige PV-Anlagen für ca. Fr. 17 000.– bis Fr. 20 000.– pro kW installierter Solarzellenfeldleistung an.

Sollen beispielsweise 44 m^2 im Steildach photovoltaisch genutzt werden, so können Solarmodule mit einer Gesamtleistung von ca. 5.3 kW installiert werden. Die Kosten für die schlüsselfertige «Auf-

Dach»-Anlage betragen ca. Fr. 90 000.– (Basis: Fr. 17 000.–/kW). Bei Einbauvarianten können die Kosten bis zu ca. Fr. 106 000.– zustehen kommen (Basis: Fr. 20 000.–/kW).

Soll ein Flachdach mit 150 m^2 Fläche photovoltaisch genutzt werden, so kann nur bis etwa 40% der Dachfläche mit Solarmodulen versehen werden, da zwischen den Reihen nicht nutzbare Zwischenräume entstehen. Die maximal mögliche Leistung beträgt ca. 7.2 kW , die Kosten belaufen sich auf ca. Fr. 115 000.–.

Die berechneten Grössen sind grobe Schätzwerte. Bei Offertstellungen können die Anzahl der Reihen auf dem Flachdach, eine spezielle Unterkonstruktion auf dem Schrägdach, spezielle Wechselrichter-Konfigurationen oder ändernde Solarmodulpreise die Kosten beeinflussen.

6 Bewilligungen und Vorschriften

6.1	Baubewilligung	92
<hr/>		
6.2	SUVA-Verordnung 1805	92
<hr/>		
6.3	Anschlussgesuch	93
<hr/>		
6.4	Erlangen einer Bewilligung für den Parallelbetrieb von Energie-Eigenerzeugungsanlagen (EEA)	93
6.4.1	Gesetze, Verordnungen und Vorschriften	94
6.4.2	Ablauf des Bewilligungsverfahrens	95
6.4.3	Abnahmekontrolle bei den EKZ	96
<hr/>		
6.5	Planvorlage	97
<hr/>		
6.6	Einwirkungen auf Tragwerke SIA 160	97
6.6.1	Schneelast	97
6.6.2	Windlast	97

6 Bewilligungen und Vorschriften

6.1 Baubewilligung

Für die Erstellung einer PV-Anlage muss die Baubewilligung vorliegen. Bei Neubauten, Umbauten oder grösseren Projekten sind Architekten und Planer mitbeteiligt. Mindestens in diesen Fällen kann die Baubewilligung durch sie eingereicht werden. Die Bewilligung wird heute in den seltensten Fällen verweigert, falls der Standort nicht in historischen Siedlungsteilen liegt.

6.2 SUVA-Verordnung 1805

Absturzunfälle bilden noch immer den Schwerpunkt bei Bauunfällen. Aus Unachtsamkeit oder um vermeintlich Zeit beziehungsweise Geld zu sparen, werden Absturzsicherungen oft nicht oder zu spät angebracht. Praktisch alle heute in der Schweiz im Betrieb befindlichen Photovoltaikanlagen wurden auf bestehenden Dächern montiert. Der Einbau der Tragkonstruktion ins Dach, die Montage der Solarmodule, sowie die Blitzschutzverbindungen und die Verkabelung der Module erfordert vom Dachdecker, Spengler, Elektriker ein Arbeiten auf dem Dach. Umso wichtiger ist es deshalb, Schutzmassnahmen gegen Absturz vorzusehen. Rechtliche Grundlage bei Unfällen an und auf Dächern bildet die SUVA-Vorschrift 1805. Der Arbeitgeber ist verantwortlich dem Arbeitnehmer die entsprechenden Schutzvorrichtungen zur Verfügung zu stellen. Im Unterlassungsfall kann der Arbeitgeber zur Rechenschaft gezogen werden.

Nachfolgend sind die wichtigsten von der SUVA geforderten Massnahmen zusammengefasst:

a) Bei Arbeitshöhen von über 3 m sind sowohl auf Schräg- wie auf Flachdächern immer Sicherungsmassnahmen erforderlich. Mögliche Sicherungsmassnahmen sind:

- Schutzgerüst
- Schutzwand
- Seilsicherung
- Schutzgeländer

b) Dächer mit beschränkt tragfähigem Material (besonders Asbestzementplatten «Eternitdächer») dürfen nur unter Anwendung von Schutzmassnahmen wie

- Laufstegen (Bretter)
- Fangnetze

betreten werden.

Detaillierte Auskunft geben folgende SUVA-Schriften:

SUVA 1805.d Verordnung über die Verhütung von Unfällen bei Arbeiten an und auf Dächern
SUVA 44002.d Sicherheit durch Anseilen
SUVA 44009.d Auffangnetze

6.3 Anschlussgesuch

Um eine PV-Anlage im Netzverbund betreiben zu können muss beim lokalen Elektrizitätswerk (EW) eine Bewilligung für den Parallelbetrieb von Energie-Eigenerzeugungsanlagen eingeholt werden. Das Anschlussgesuch für diese Bewilligung wird vom Elektroinstallateur oder Planer ausgefüllt und eingereicht. Formulare können beim EW oder beim Verein Schweiz. Elektrizitätswerke (VSE) angefordert werden. Beigelegt werden müssen in der Regel ein technischer Beschrieb der Anlage sowie ein Detailschema des elektrischen Anlageteils.

6.4 Erlangen einer Bewilligung für den Parallelbetrieb von Energie-Eigenerzeugungsanlagen (EEA)

Der Ablauf des Bewilligungsverfahrens von PV-Anlagen wird bei den EKZ den Verfahren anderer EEA-Arten gleichgestellt. Ja man verwendet sogar das gleiche Formular, um ein Gesuch für den Betrieb einer solchen Anlage zu stellen. Da schon seit Jahrzehnten immer wieder vereinzelt Gesuche für den Netz-Parallelbetrieb von Energieerzeugungsanlagen an uns gestellt werden, ist das Bewilligungsverfahren auch nichts Neues. Neueren Datums ist lediglich, dass anstelle eines rotierenden Generators Solarzellen verwendet werden, um die elektrische Energie zu erzeugen.

Gesetze, Verordnungen und Vorschriften

- Bundesgesetz betreffend die elektrischen Schwach- und Starkstromanlagen
- Starkstromverordnung
- Verordnung über elektr. Niederspannungserzeugnisse (NEV)
- Verordnung über elektr. Niederspannungsinstallationen (NIV)
- Bestimmungen und Vorschriften des ESTI 233.0690.d
- Hausinstallationsvorschriften des SEV
- Werkvorschriften der Elektrizitätswerke

Projektionsfolie 48

6.4.1 Gesetze, Verordnungen und Vorschriften

Gemäss NIV Art. 2 gelten EEA's aller Art als Installationen. Demzufolge dürfen die elektrischen Installationen von PV-Anlagen nur von Personen und Unternehmen erstellt oder geändert werden, die eine Installationsbewilligung der kontrollpflichtigen Unternehmung oder eine Anschlussbewilligung des eidgenössischen Starkstrominspektors, nachfolgend ESTI genannt, besitzen.

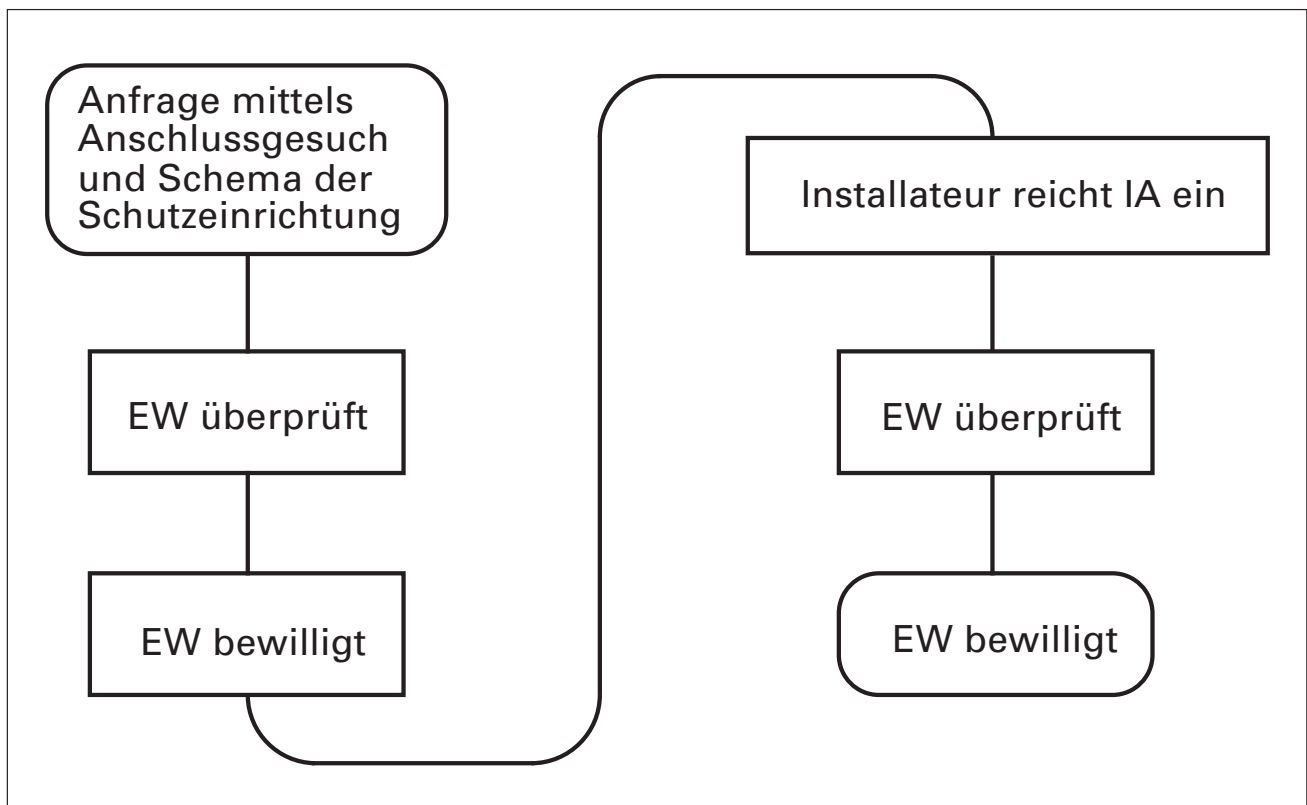
Auch für diesen Installations-Bereich gilt: Keine Regel ohne Ausnahme. Ohne Bewilligung dürfen Installationen für PV-Anlagen nur von fachkundigen Personen (berufskundliche Fächer der Mei-

sterprüfung bestanden), Elektrokontrolleuren oder Elektromonteuren mit eidgenössischem Fähigkeitsausweis erstellt werden. Dies gilt allerdings nur für Installationen in selbstbewohnten und in ihrem Eigentum stehenden Gebäuden.

Die genannten Erleichterungen für die Installation befreien den Installateur jedoch nicht von der Meldepflicht.

Insbesondere zu beachten gilt die provisorische Sicherheitsvorschrift Nr. 233.0690 des ESTI «Photovoltaische Energieerzeugungsanlagen». Sie kann beim Schweizerischen Elektrotechnischen Verein SEV, 8008 Zürich, bezogen werden und richtet sich vor allem an den Elektroinstallateur.

Ablauf des Bewilligungsverfahrens



Projektionsfolie 49

6.4.2 Ablauf des Bewilligungsverfahrens

Die einzuhaltenden Bestimmungen sind aus den technischen Bedingungen für den Parallelbetrieb von EEA's mit dem Netz des EW's ersichtlich. Diese werden dem Interessenten zusammen mit dem Anschlussgesuch für den Betrieb einer EEA zugestellt.

Sie finden ein Muster-Exemplar des Anschlussgesuches im Anhang.

Nachdem das Anschlussgesuch bezüglich der technischen Bedingungen überprüft und als in Ordnung befunden wurde, bewilligt das Elektrizitätswerk das Anschlussgesuch.

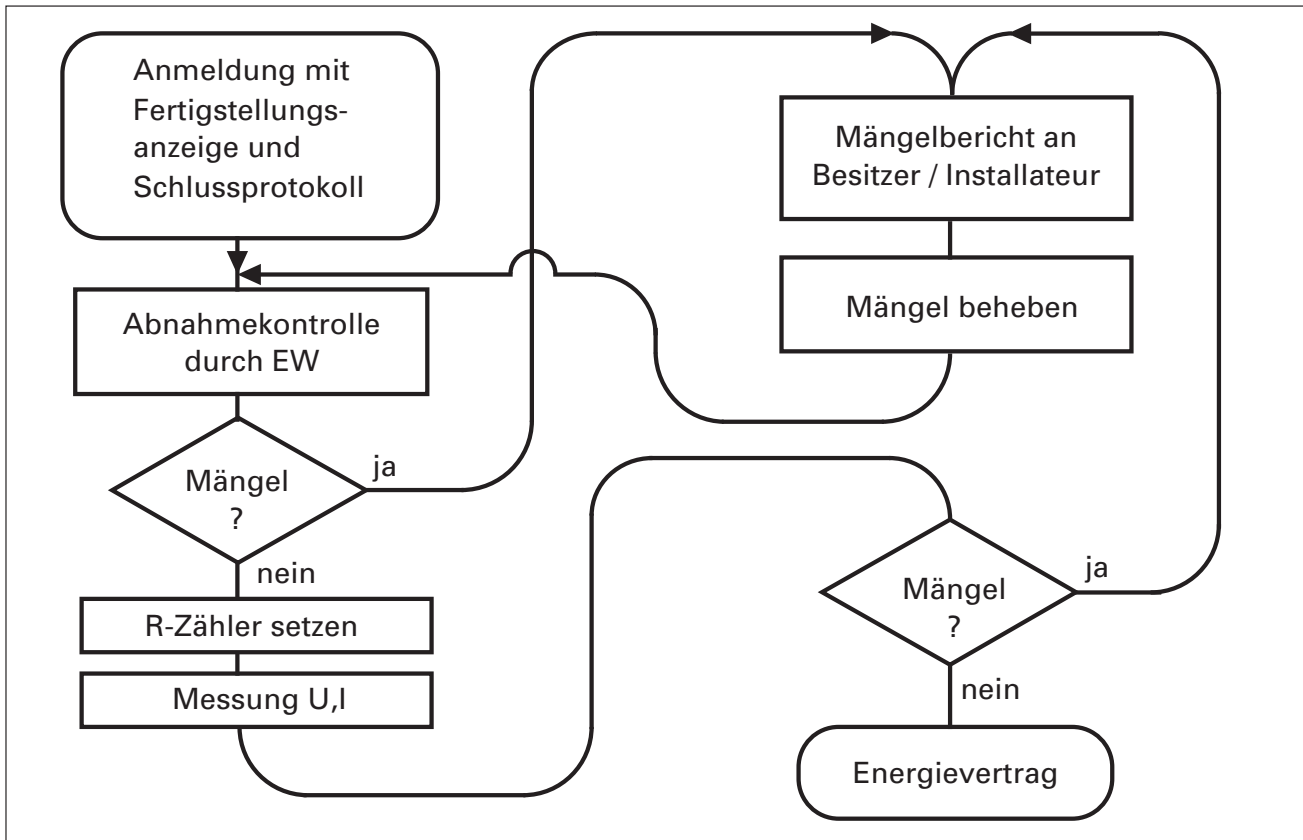
Nun kann der künftige Anlagebesitzer einen Installateur mit der Ausführung beauftragen.

Dieser reicht nun dem EW kurz vor Baubeginn die nötige Installationsanzeige ein und gibt somit dem EW bekannt, dass die angefragte Installation tatsächlich auch zur Ausführung gelangt.

Das EW überprüft die eingereichte Installationsanzeige und gibt dem Installateur unter Umständen nähere Bestimmungen bekannt (z.B. Zugänglichkeit der Trennstelle, Ausführung der Energie-Messung, etc.).

Dem Antragsteller werden zusammen mit dem Anschlussgesuch die technischen Bestimmungen zugestellt, die von der Anlage eingehalten werden müssen. Eine detaillierte Beschreibung des Ablaufes ist in der PACER-Publikation Nr. 724.242, «Photovoltaik – Grundlagen, Montage und Einspeisung» nachzulesen.

Abnahmekontrolle bei den EKZ



Projektionsfolie 50

6.4.3 Abnahmekontrolle bei den EKZ

Der Vorgang der Abnahmekontrolle lässt sich unterteilen in

- eine technische Abnahmekontrolle
- eine Abnahmekontrolle betreffend Ausführung der Installation

Der Installateur meldet mit einer Fertigstellungsanzeige und einem Schlussprotokoll die Arbeiten dem EW bereit zur Kontrolle.

Bei der technischen Abnahmekontrolle wird geprüft, ob die technischen Bedingungen eingehalten werden. Besondere Aufmerksamkeit wird dem Abschalten der PV-Anlage bei Netzausfall sowie den Oberschwingungs-Spannungsbeiträgen geschenkt.

Bei der Abnahmekontrolle der Installation wird ein spezielles Auge auf die Dimensionierung des Potentialausgleiches und der Erdleitungen geworfen. Natürlich werden auch alle anderen Komponenten überprüft, ob sie den Anforderungen der Hausinstallations- und den Werkvorschriften entsprechen.

Treten bei der Abnahmekontrolle Mängel auf, werden diese dem Anlagebesitzer und dem Installateur schriftlich mitgeteilt.

Weist die Anlage keine Mängel mehr auf, wird der Zähler für die Rücklieferung montiert und die Anlage zusammen mit dem Werk provisorisch in Betrieb gesetzt.

Die EKZ messen nun während mindestens einer Woche Spannung, Oberwellen und Strom, welche die PV-Anlage in das EW-Netz einspeist.

Wenn die gemessenen Grössen die bewilligten Werte nicht überschreiten, erhält der Anlagebesitzer die Betriebsbewilligung zum Parallel-Lauf mit dem Netz, sowie den Energielieferungsvertrag für die Rücklieferung.

Nun sind alle Bedingungen eingehalten und der Energielieferungsvertrag mit dem Anlagebesitzer wird unterzeichnet.

6.5 Planvorlage

Anlagen mit Leistungen bis zu 3.3 kW einphasig und 10 kW dreiphasig sind nicht vorlagepflichtig. Grössere Anlagen können andere elektrische Anlagen wesentlich stören oder gefährden. Für deren Bau müssen daher die Pläne dem Eidg. Starkstrominspektorat (ESTI) zur Genehmigung eingereicht werden. Mit dem Bau darf erst begonnen werden, wenn eine rechtsgültige Genehmigung des ESTI vorliegt.

6.6 Einwirkungen auf Tragwerke SIA 160

Damit das Solarzellenfeld von der Sonne optimal bestrahlt wird, ist es gleichzeitig auch grossflächig Wind und Schnee ausgesetzt.

6.6.1 Schneelast

Bei Neigungswinkel des Solarzellenfeldes grösser als 60° ist der Schneeabrutsch gewährleistet. Es empfiehlt sich deshalb an Standorten mit grossen Schneemengen den Neigungswinkel, wo möglich, steil zu wählen. So kann die Anlage möglichst lange Zeit schneefrei betrieben werden und einen optimalen Ertrag erzielen. Die Unterkonstruktion der Solaranlage muss der SIA-Norm 160 betreffend Schnee genügen. Die Werte sollten vom Hersteller garantiert werden.

6.6.2 Windlast

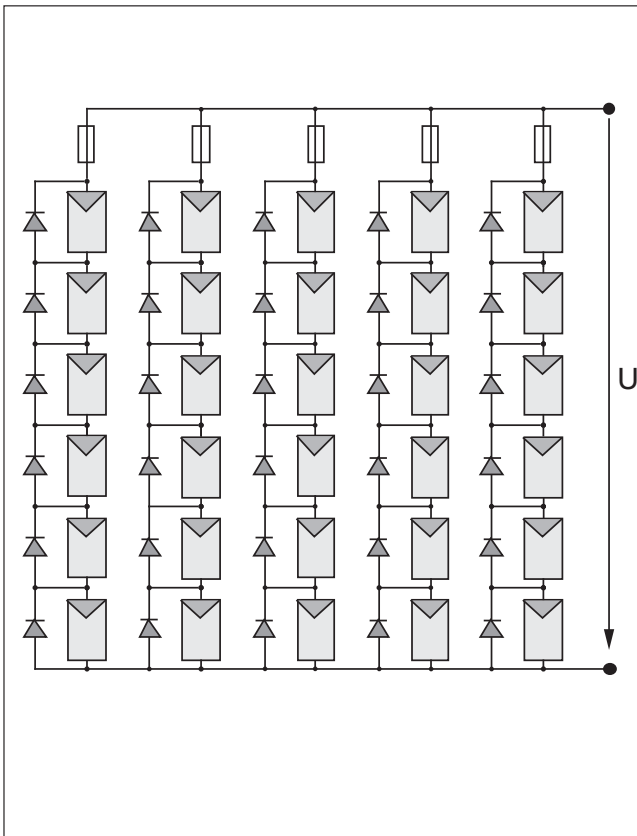
Kritischer Punkt bei hohen Windstärken ist nicht ein zusätzlicher Druck auf die Tragkonstruktion, sondern der Unterdruck, der auf der Rückseite des Solarzellenfeldes entsteht. Dieser Unterdruck kann zum Ausreissen der Montagebügel, zum Abheben der Ziegel oder zum Rutschen und Kippen der Flachdachkonstruktion führen. Die Dimensionierung der Unterkonstruktion muss der SIA-Norm 160 genügen. In Gebieten hoher möglicher Windstärken, insbesondere in Föhntälern, sind höhere Anforderungen einzuhalten. Die Werte sollten vom Hersteller garantiert werden.

7 Zusammenarbeit mit Elektriker oder Planer

7.1	Solarzellenfeld: Serie- und Parallelschaltung von Modulen	100
<hr/>		
7.2	Arbeitsvorbereitung	101
7.2.1	Detailplanung	101
7.2.2	Materialauszug	101
7.2.3	Baustelleninstallation	101
7.2.4	Elektro-Installationen	101
7.2.5	Terminplanung	101
<hr/>		
7.3	Blitzschutz und Potentialausgleich	102
7.3.1	Gebäude mit äusserem Blitzschutz	103
7.3.2	Gebäude ohne äusseren Blitzschutz	104
<hr/>		
7.4	Service und Unterhalt	105
<hr/>		
7.5	Verantwortlichkeit und Garantie	105

7 Zusammenarbeit mit Elektriker oder Planer

Solarzellenfeld: Serie- und Parallelschaltung von Modulen



Serieschaltung:

Die Anzahl in Serie geschaltener Solarmodule wird durch die Eingangsspannung des Solarwechselrichters bestimmt.

Parallelschaltung:

Die Anzahl parallel geschaltener Seriestränge wird durch den Leistungsbereich des Solarwechselrichters bestimmt.

Schutz der einzelnen Stränge mit Sicherungen oder Dioden gegen Rückspeisung durch die anderen Stränge bei Kurzschluss.

Projektionsfolie 51

7.1 Solarzellenfeld: Serie- und Parallelschaltung von Modulen

Unter dem Solarzellenfeld verstehen wir die Gesamtheit aller einzelnen Solarzellenmodule, welche mechanisch und elektrisch zu einer Einheit zusammengeschaltet sind.

Durch Serieschaltung werden die Spannungen der Module addiert. Die Anzahl der in Serie zu schaltenden Solarmodule richtet sich nach der Höhe der Eingangsspannung des Wechselrichters. Es ist al-

lerdings zu berücksichtigen, dass die grösstmögliche Leerlaufspannung des Solarzellenfeldes ungefähr 1.5 mal höher als die Betriebsspannung (Nennspannung) des Wechselrichters werden kann.

Durch die Parallelschaltung der Stränge werden die einzelnen Strombeiträge addiert. Bei Kurz- und Erdschlüssen können verschiedene Fehlerströme auftreten, welche zu Lichtbogenbildung und damit zu Brandursachen führen können. Es ist deshalb bei allen Arbeiten auf fachgerechte Verkabelung zu achten.

7.2 Arbeitsvorbereitung

Eine gute Arbeitsvorbereitung ist in diesem Bereich unbedingt nötig, um einen reibungslosen Einbau zu gewährleisten. Welche wichtigsten Punkte sind dabei zu berücksichtigen:

- Detailplanung
- Materialauszug
- Baustelleninstallation
- Elektro-Installation (Verkabelung)
- Terminplanung

7.2.1 Detailplanung

Eine genaue Detailplanung hilft einerseits Probleme vor der Montage zu erkennen, andererseits wird dadurch erst ein genauer Materialauszug möglich. Beides ist nötig, damit der Einbau der Anlage am Bau ohne zeitraubende Unterbrechungen abgewickelt werden kann. Bei der Planung ist insbesondere darauf zu achten, ob die Anlage standardmässig eingebaut wird oder ob spezielle Befestigungen oder Anschlüsse nötig werden, z.B. Dachbruch, Traufübergang etc. Vielfach ist es nützlich, wenn problematische Partien massstäblich aufgezeichnet werden. Dadurch wird die Situation besser ersichtlich und allfälliges Zusatzmaterial kann mit ausbezogen werden.

7.2.2 Materialauszug

Ein detaillierter Materialauszug sollte in jedem Fall erfolgen. So wird sichergestellt, dass bei Arbeitsbeginn sämtliche Materialien vorhanden sind und somit unnötige, zeitraubende Fahrten und Arbeitsunterbrüche vermieden werden. Ein Materialauszug sollte folgende hauptsächliche Elemente enthalten:

- Hauptmaterialien
- Befestigungsmaterialien
- Hilfsmaterialien
- Spezialwerkzeuge

7.2.3 Baustelleninstallation

Bei der Arbeitsvorbereitung sollte man sich auch über die Baustelleninstallation einige Gedanken machen. Diese können je nach Gebäude und Arbeitsgattung sehr unterschiedlich sein. Als Anregung folgende Punkte:

- Ist ein genügend grosser Installationsplatz vorhanden?
- Wird dieser auch durch andere Baubeteiligte genutzt?
- Ist ein Gerüst erforderlich; welche Ausführung?
- Muss ein Aufzug installiert werden?
- Müssen Schuttmulden gestellt werden?
- Besteht ein genügend abgesicherter Stromanschluss, 230/400V ?
- Müssen Elektro-Freileitungen isoliert werden?
- Sind spezielle Abdeckmassnahmen nötig?

7.2.4 Elektro-Installationen

Für den Einbau von Photovoltaik-Modulen braucht es den Dachdecker und den Elektro-Installateur. Diese beiden Berufsgattungen kommen bei einem konventionellen Bauwerk normalerweise nicht direkt miteinander in Verbindung. Es ist daher wichtig die Zusammenarbeit gut vorzubereiten. Insbesondere muss abgeklärt werden, wie der Arbeitsbereich abgegrenzt wird und wann welche Installation vorgenommen werden muss.

7.2.5 Terminplanung

Um einen reibungsfreien Arbeitsablauf zu gewährleisten, sollte ein detaillierter Terminplan erstellt werden.

Eine solchermassen ausgeführte Arbeitsvorbereitung stellt sicher einen gewissen Arbeitsaufwand dar. Auf die Kosten wird sich diese Arbeit jedoch positiv auswirken. Auf Grund der Erfahrung läuft bei schlechter Arbeitsvorbereitung meist etwas schief. Entweder werden Materialien vergessen oder es ergeben sich beim Einbau unvorhergesehene Probleme. Der für diese Pannen erforderliche Zeitaufwand ist unkalkulierbar und meistens grösser als jener für eine seriöse Arbeitsvorbereitung.

7.3 Blitzschutz und Potentialausgleich

Unter einer Blitzschutzanlage für bauliche Anlagen wird das ganze System zum Schutz vor den Auswirkungen des Blitzes verstanden. Sie besteht aus einer äusseren Blitzschutzanlage und einer inneren Blitzschutzanlage.

Der äussere Blitzschutz besteht im wesentlichen aus den Fangeinrichtungen, den Ableitungen und der Erdungsanlage. Die Fangeinrichtungen sind metallene Leitungen oder Flächen, welche die Blitze auffangen sollen. Die Ableitungen sind die Verbindungen zwischen den Fangeinrichtungen und der Erdungsanlage. Das können metallene Fassadenteile, Stahlarmerungen, Kupferablaufrohre aber auch ganz gewöhnliche Kupferdrähte sein. Die Erdungsanlage ist schliesslich derjenige Teil, welche die Blitzströme in die Erde einleitet und dort verteilt. Die Erdungsanlage kann als Fundamenterder, Tiefenerder oder als Oberflächenerder (Bänderer, mindestens 0.7 m unter Erde) ausgeführt werden.

Der innere Blitzschutz beinhaltet alle zusätzlichen Massnahmen, welche die elektrischen und magnetischen Auswirkungen des Blitzstromes innerhalb des zu schützenden Objektes reduzieren. Als wichtigste Massnahme gilt der Blitzschutz-Potentialausgleich.

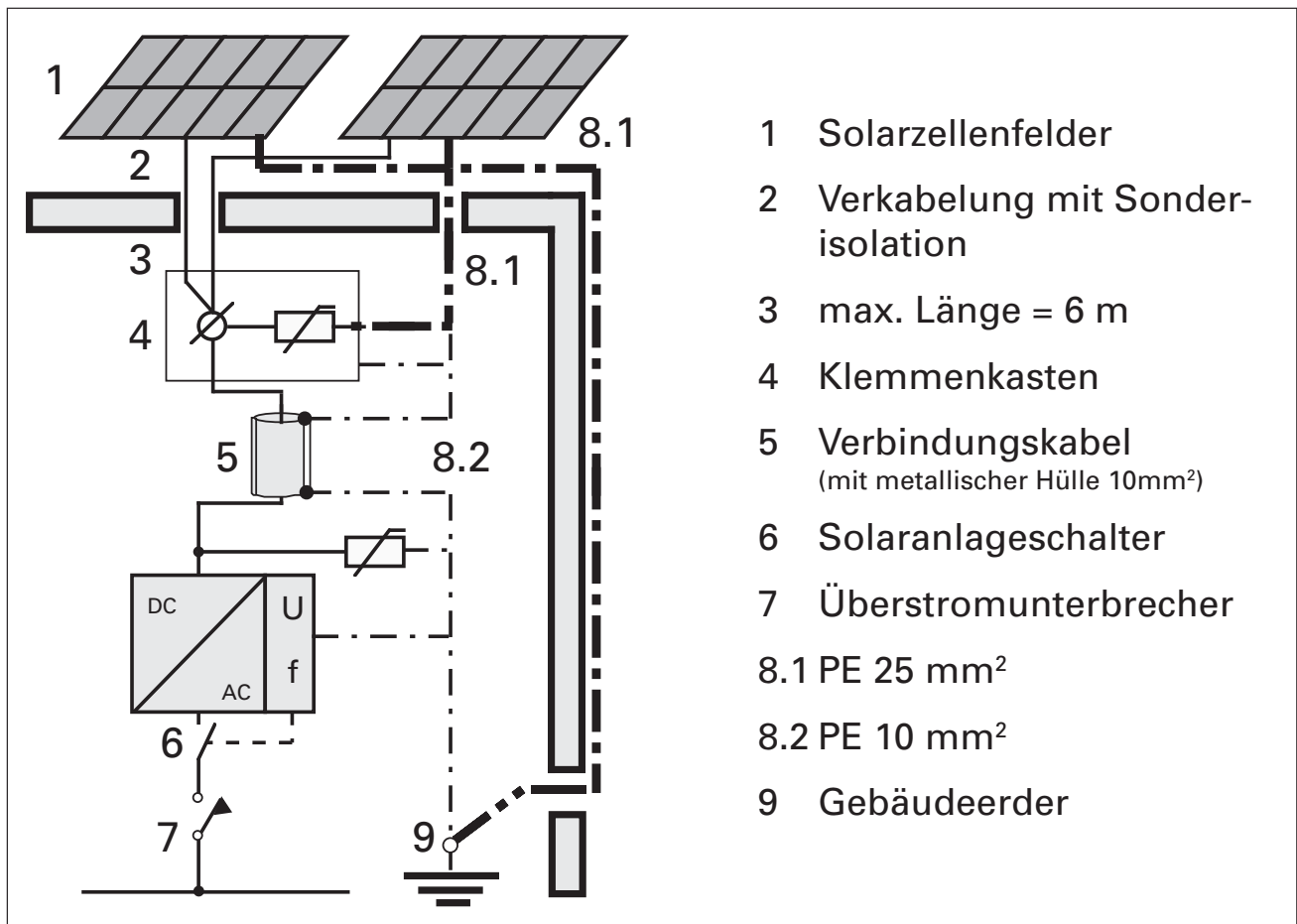
Der Blitzschutz-Potentialausgleich umfasst jene Teile der inneren Blitzschutzanlage, die zur Reduktion der vom Blitzstrom hervorgerufenen Potentialunterschiede erforderlich sind. Dazu gehören u.a. Armierungen, Potentialausgleichsleiter, Überspannungsableiter und Wasserrohre etc. Die leitenden Strukturen im Haus sollten möglichst engmaschig miteinander verbunden werden.

Nach den neuen, provisorischen Richtlinien für Photovoltaikanlagen (SEV 233.0690d) wird ein Gebäude ohne Blitzschutz durch die Installation einer Solarzellenanlage **nicht** blitzschutzpflichtig. Somit können Solarzellenanlagen auch auf Gebäuden ohne Blitzschutz ausgeführt werden.

Wird mit der PV-Anlage Starkstrom ($I > 2A$) erzeugt, muss diese auf jeden Fall auch mit dem Erder der Installation verbunden und, falls vorhanden, in den Blitzschutz des Gebäudes integriert werden. Grundsätzlich muss jedoch an dieser Stelle erwähnt werden, dass ein Gebäude infolge seiner PV-Anlage nicht blitzschutzpflichtig wird. Auf jeden Fall ist immer ein Potentialausgleich nötig.

Da nicht alle Gebäude über einen Erder verfügen, ist es beim Bau von PV-Anlagen für bestehende Gebäude möglich, dass noch ein Erder erstellt werden muss (z.B. Band- oder Tiefenerder).

Gebäude mit äusserem Blitzschutz



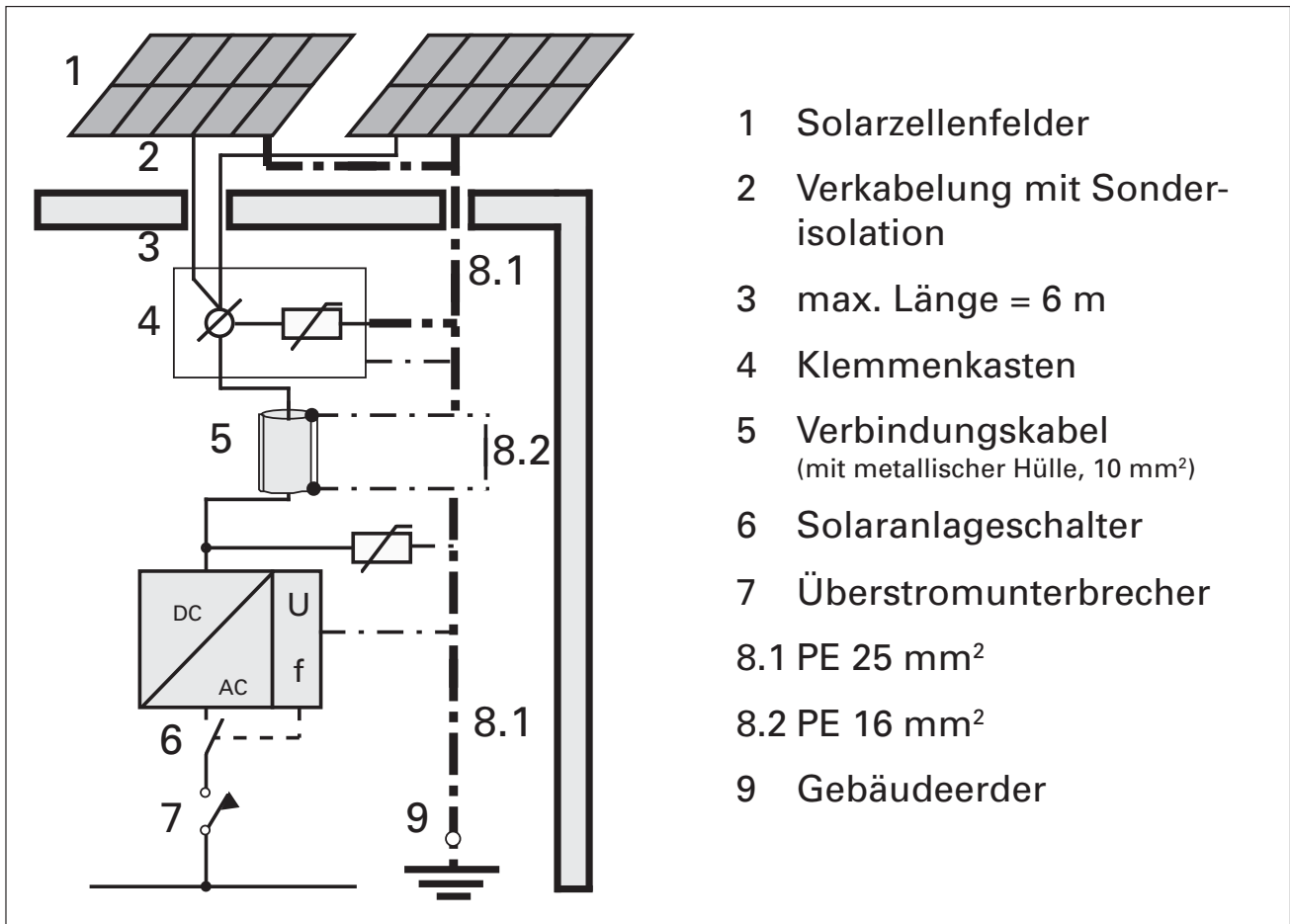
Projektionsfolie 52

7.3.1 Gebäude mit äusserem Blitzschutz

Die metallene Hülle des Verbindungskabels oder das Rohrende ist mit den metallenen Rahmen der Module und mit der Blitzschutzanlage zu verbinden (Querschnitt: mind 10 mm² Cu).

Generell kann gesagt werden, dass bei Gebäuden mit äusserem Blitzschutz die Verbindung von den Modulen bis zum Gebäudeerder im Gebäudeinnern mindestens einem Querschnitt von 10 mm² Cu entsprechen muss. Die Verbindung ausserhalb des Gebäudes via Blitzschutz zwischen Modulen und Gebäudeerder muss mindestens einem Querschnitt von 25 mm² entsprechen.

Gebäude ohne äusseren Blitzschutz



Projektionsfolie 53

7.3.2 Gebäude ohne äusseren Blitzschutz

Da bei Gebäuden ohne äusseren Blitzschutz die Verbindung zwischen Modulrahmen und Gebäudeerder nur im Gebäudeinnern realisiert wird, muss diese Verbindung durchgehend einen mindestens 25-mm²-Cu-Querschnitt aufweisen.

In diesen Fällen kann im Bereich der Verbindungsleitung zwischen Klemmenkasten und Wechsel-

richter ein Schutzleiter mit einem Querschnitt von mindestens 16 mm² Cu verlegt werden, da ja die metallene Ummantelung der Verbindungsleitung bereits schon einen Querschnitt von 10 mm² aufweist.

Natürlich ist es besser, wenn die Verbindung vom Modulrahmen direkt zum Gebäudeerder durchgehend mit einem Querschnitt von 25 mm² ausgeführt wird.

7.4 Service und Unterhalt

Eine Photovoltaik-Anlage ist, im Gegensatz zur Dacheindeckung, die ein passives Bauelement darstellt, ein aktives Bauelement, denn sie produziert Strom. Damit die Anlage über einen langen Zeitraum ihre Funktion gewährleisten kann, ist eine regelmässige Kontrolle notwendig. Bei den Unterhaltsarbeiten müssen folgende Kriterien überprüft werden:

durch den Dachdecker:

- Verschmutzung
- mechanische Beschädigungen
- Befestigung
- Dichtheit bei integrierten Systemen
- Korrosion/Verwitterung
- (Kontrolle wie beim normalen Dach)

durch den Betreiber:

- Strom-Produktion
- Produktionsabfall

durch den Elektriker:

- Installationskontrolle

Um einen effizienten Unterhalt zu gewährleisten, sollte objektbezogen ein Unterhaltsplan erstellt werden und ein Service-Vertrag mit dem Bauherren vereinbart werden. Darin sollten auch spezielle Gegebenheiten berücksichtigt werden, wie z.B. Kontrolle der Eindeckung bei einer Montage auf dem Dach oder die Installation von Gehwegplatten bei Flachdächern.

7.5 Verantwortlichkeit und Garantie

Grundsätzlich gelten dieselben Garantiebestimmungen wie sonst beim Bau üblich (OR resp. SIA). Zu beachten ist jedoch, dass einige Hersteller auf ihre Produkte nur ein Jahr Garantie leisten. Ebenso sollten die werkseitigen Garantiebestimmungen bekannt sein.

Die Verantwortlichkeiten ergeben sich aus der gewählten Zusammenarbeit mit dem Elektroinstallateur oder dem Planungs- oder Architekturbüro. Folgende Konfigurationen sind möglich:

1. Beide Unternehmen bearbeiten ihren Arbeitsbereich getrennt.
Dies ist die sauberste Lösung, da jeder für seine im Werkvertrag aufgeführten Leistungen haftet. Es kann eine genaue Abgrenzung erreicht werden.
2. Eine Unternehmung tritt als GU auf, die andere arbeitet im Unterakkord.
Bei dieser Konfiguration haftet gegenüber dem Bauherrn in erster Linie der als GU auftretende Unternehmer. Dieser muss selber aufgetretenen Mängel beim Unterakkordanten geltend machen.
3. Der Auftrag wird in Arbeitsgemeinschaft gelöst.
Diese Form bietet sich nur bei grossen Anlagen an, da der administrative Aufwand (ARGE-Gründung, Wust, Abrechnung etc. recht gross ist. Haftungsmässig ist die ARGE Partner. Mängel müssen beim einzelnen ARGE-Mitglied geltend gemacht werden.

8 Anhang

8	Anhang I: Beispiel Anschlussgesuch	108
	Anschlussgesuch	108
	Kurzbeschreibung einer 3-kW-Einheit	111

9	Anhang II: Von der Dach- und Gebäudebesichtigung bis zur Produktewahl	113
----------	--	------------

10	Anhang III: Energieertrag und Energiekosten	115
10.1	Flächenbedarf	115
10.2	Jährlicher Energieertrag	115
10.3	Kosten und Energiepreis	116

11	Anhang IV: Bibliographie	117
11.1	Bücher	117
11.2	Zeitschriften	117
11.3	Adressen der Verbände	117
11.4	INFOENERGIE Beratungszentralen	118
11.5	Beratungszentralen	118
11.6	Kantonale Energiefachstellen	118

12	Anhang V: Quellenverzeichnis	120
-----------	-------------------------------------	------------

8 Anhang I: Beispiel Anschlussgesuch

Formular in Anlehnung an VSE/UCS 2.24 d Oktober 1989

Anschlussgesuch

für elektrische Energieerzeugungsanlagen im Parallelbetrieb mit dem Netz und den Energiebezug bzw. die Rücklieferung in das Netz des Elektrizitätswerkes der **Stadt Zürich** (nachstehend Werk genannt)

1. Name, Adresse und Tel.-Nr. des Gesuchstellers:	<i>Elektro Strom AG, Dachstrasse 1</i> <i>9999 Sonnenwil 099 / 99 99 99</i>
2. Name, Adresse des Eigentümers der Anlage: Ort der Energieerzeugung: Adresse: Katasterplan Nr.: Parzelle Nr.: Gebäude-Versicherungs-Nr.:	<i>Frau P. V. Sonnenmeier</i> <i>Lichtstrasse 1, 9999 Sonnenwil</i> <i>Wohngebäude</i> <i>Lichtstrasse 1</i> <i>4890</i> <i>----</i> <i>noch keine</i>
3. Datum der vorgesehenen Inbetriebnahme:	<i>Februar 1993</i>
4. Technische Angaben	
4.1 Antriebssystem:	<i>Photovoltaischer Generator/Wechselrichter</i>
4.2 Hersteller/Lieferant:	<i>ARCO/Siemens, USA; Hardmeier, Schweiz</i>
4.3 Erzeugung der elektrischen Energie (zutreffendes mit X bezeichnen)	
Synchronmaschine:	<input type="checkbox"/>
Asynchronmaschine:	<input type="checkbox"/>
Blindleistungskompensation (Art, Leistung):	<hr/>

4.4 Nenndaten des Generators bei Dauerbetrieb (Vollast)

Wirkleistung:	2.5	kW
Scheinleistung:	2.6	kVA
Kurzschlussleistung:	2.6	kVA
Leistungsfaktor $\cos \varphi$:	0.95	
Spannung:	230	V
Frequenz:	50	Hz
Schaltung (Δ , Y):	—	

4.5 Vorgesehene Schutzeinrichtungen

a) für Generator (Überlast, Kurz- und Erdschluss, Schiefast, Rückleistung, usw.):

Überlast, Kurzschluss, Rückleistung

b) für Parallelbetrieb mit Netz (Minimal- und Maximalspannungs- sowie Frequenz-Überwachung, Einschalt- und Wiedereinschaltverriegelung gegen spannungsloses Netz, Synchronisierung und Zuschaltung, usw.):

alles vorhanden, ferner Spannungsüberwachung (230 V +/- 10 %)

Frequenzüberwachung (50 Hz +/- 1 Hz)

c) gegen Netzurückwirkungen:

Trenntransformator zwischen AC & DC

4.7 Sternpunktbehandlung:

Anschluss einphasig

5. Betriebsart (zutreffendes mit X bezeichnen)

5.1 Inselbetrieb mit Noteinspeisung aus dem Netz:

Leistungsbedarf:

_____ kW

5.2 Notstromanlage mit zeitlich beschränktem Parallelbetrieb:

Leistungsabgabe an das Netz:

_____ kW

5.3 Parallelbetrieb mit dem Netz:

5.3.1 Voraussichtliche Energierücklieferung

a) im Sommerhalbjahr:

_____ 1000 kWh

b) im Winterhalbjahr:

_____ 500 kWh

Leistungsbedarf bei Ausfall der Anlage:

null

Zu 5.2 und 5.3

vorgesehene Betriebszeit(en):

Nur während der Tageszeit

6. Periodische Kontrolle der elektrischen Anlagen durch:

Betriebselektriker

Ort und Datum:

Unterschrift des Gesuchstellers:

- Beilagen:**
- Technischer Beschrieb der Anlage
 - Detailschema des elektrischen Anlageteils

Kurzbeschreibung einer 3-kW-Einheit

Eine Solarzellenanlage besteht in den wesentlichen Elementen aus den Solarzellenmodulen und dem Wechselrichter. Daneben gehören Kabel, Verbindungs-, Sicherungs- und Schaltelemente zur üblichen Ausrüstung gemäss dem beiliegenden Plan.

Solarzellenmodule

Die Solarzellenmodule sind auf dem Dach montiert. Jedes Modul mit den Abmessungen von rund 130 x 33 cm ist elektrisch isoliert. Von den 54 Modulen sind jeweils 6 in Serie geschaltet. Daraus ergibt sich eine Betriebsspannung von 80 bis 110 V. Alle metallischen Konstruktionselemente, welche zur Anlage gehören, sind elektrisch leitend verbunden und geerdet.

Die DC-Leitungen werden in einem Klemmenkasten zusammengefasst. Von hier aus führt eine Hauptleitung direkt zum Solarwechselrichter.

Solarwechselrichter

Es sind Standard-Solarwechselrichter vom Typ SOLCON vorgesehen. Ein solches Gerät ist nachfolgend kurz beschrieben.

Der Solarwechselrichter wandelt den Gleichstrom aus den Solarzellen in netzkonformen Wechselstrom. Am Eingang des Gerätes kann das Solarzellenfeld direkt angeschlossen werden. Gleichermassen ist die Ausgangsseite via einen Sicherungsabgang und einen Anlagenschalter an eine 230/400-V-Verteilung einphasig angeschlossen.

Der Betrieb ist vollautomatisch. Eine Mikroprozessorsteuerung übernimmt sämtliche Steuer- und Überwachungsaufgaben.

In Bezug auf die Eingangs- und Ausgangsschnittstelle sind das folgende Parameter:

Eingang:

- On-Off-Steuerung
- Maximum Power Tracking
- Überlastschutz

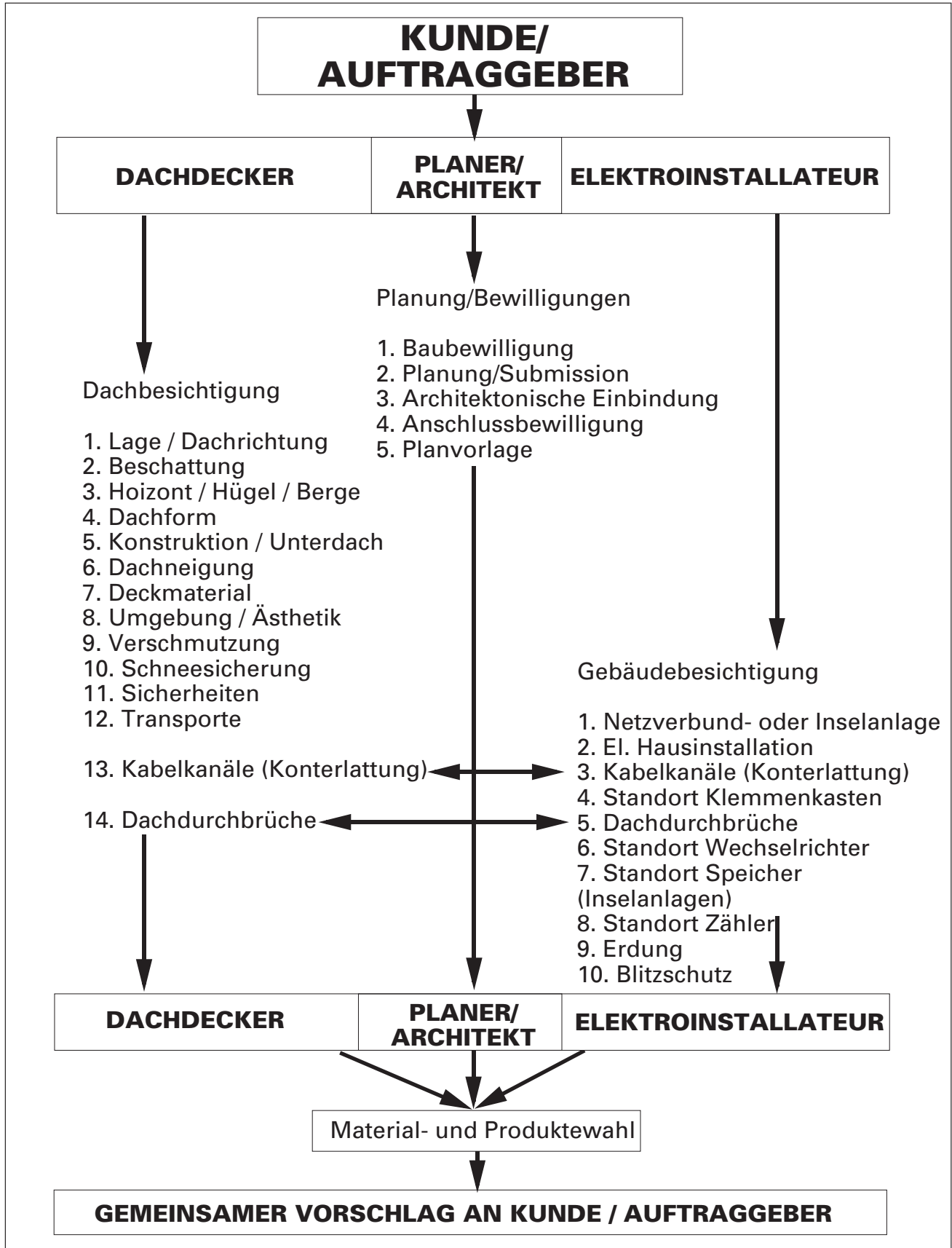
Ausgang:

- Unter- und Überspannung
- Unter- und Überfrequenz
- Abschaltung bei Netzausfall oder fehlerhaftem Netz innert einer Sekunde.
- Synchronisation

Die SEV-Leitsätze «SEV 3600-1 1987, Begrenzung von Beeinflussungen in Stromversorgungsnetzen» werden eingehalten.

Die Wiedereinschaltung nach einem Netzausfall oder einer Störung erfolgt automatisch innert ca. 5 bis 10 Sekunden nach dem Anliegen eines korrekten Netzes.

9 Anhang II: Von der Dach- und Gebäudebesichtigung bis zur Produktewahl



10 Anhang III: Energieertrag und Energiekosten

10.1 Flächenbedarf

gesucht: Flächenbedarf A
 gegeben: Modulwirkungsgrad $\eta = 11.5\%$
 Zu installierende Spitzenleistung $P = 3\text{ kW}$
 Maximale Strahlung $I = 1\text{ kW/m}^2$

Flächenbedarf

$$A = \frac{P}{I * \eta} = \frac{3\text{ kW}}{1\text{ kW/m}^2 * 0.115} = 26\text{ m}^2$$

10.2 Jährlicher Energieertrag

gesucht: Geschätzter jährlicher Energieertrag E_{AC}
 gegeben: Anlagewirkungsgrad $\eta = 9.5\%$
 Solarzellenfläche $A = 26\text{ m}^2$
 Dachneigung 25°
 Ausrichtung 30° Ost
 Strahlungsdaten Aarau G (Aarau: extremes Nebelgebiet im Winter)

METEONORM V1.00 (C) 1988 OFEN/BWE P. BREMER / J.-C. STRITT
STRAHLUNG AUF GENEIGTE FLÄCHEN [kWh/m²]
AARAU / HÖHE : 385 m / STRAHLUNGSREGION : 15

Fläche No: 1				Neigung: 25.0°				Orientierung: -30.0°					
	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	TOTAL
G:	30.1	51.2	88.7	127.1	151.2	160.9	174.3	144.4	112.0	69.1	33.1	23.0	1165

G: Globalstrahlung

Jährlicher Energieertrag: $E_{AC} = G * A * \eta = 1165\text{ kWh/m}^2 * 26\text{ m}^2 * 0.095 = \mathbf{2878\text{ kWh}}$

10.3 Kosten und Energiepreis

Die finanziellen Auswirkungen beim Kauf einer privaten Photovoltaikanlage hängen stark von der Bewertung der Investition ab. So kann eine PV-Anlage als Investitionsgut, als Konsumgut oder als Substitutionsgut angesehen werden.

Bewertung als Investitionsgut ist im Zusammenhang mit einer unternehmerischen Tätigkeit zu sehen, bei der mit geliehenem Geld die Erlöse alle Kosten decken und zusätzlich einen Gewinn erbringen sollen. Handlungsziel ist also das Erwirtschaften eines unternehmerischen Gewinns.

Bewertung als Konsumgut ist dann der Fall, wenn die Anlage als Pionier- oder Hobbyobjekt oder als Symbol für eine umweltbewusste Lebensführung gekauft wird. In diesem Fall bilden nicht kaufmännische Beurteilungskriterien, sondern subjektive Wertmassstäbe und die Verfügbarkeit von Geld die Bewertungsgrundlage.

Bewertung als Substitutionsgut kann in Zukunft eine stärkere Rolle spielen, falls es gelingt, Photovoltaikanlagen vermehrt ins Gebäude zu integrieren. Eine Integration ins Gebäude erfüllt nicht nur die Funktion der Stromerzeugung, sondern hat bauliche Funktionen wie Witterungsschutz (Ziegeldach, Fassade), schattenspende Elemente, lichtdurchlässige Oblichter oder Dächer und Wärmeproduktion zu Heizzwecken. Diese Ersetzung von Teilen eines Gebäudes muss in die Gesamtrechnung einbezogen werden.

Die Kraftwerke der Elektrizitätsgesellschaften sind Investitionsgüter, die durch den Verkauf von elektrischer Energie wirtschaftlich betrieben werden müssen. Ein Vergleich der Stromgestehungskosten ist deshalb oft problematisch, da die Betreiber von PV-Anlagen in der Anfangsphase dieser Technologie vielfach keine unternehmerischen Massstäbe ansetzen. Zudem wird das Bild durch die heutigen Strompreise insofern verzerrt wiedergegeben, weil die meisten heutigen Grosskraftwerke amortisiert sind. Müssten neue Grosskraftwerke gebaut werden, wären die Strompreise deutlich über den heutigen Verkaufspreisen an den Endverbraucher.

Um eine Vergleichsmöglichkeit zu haben, wird im folgenden Beispiel die PV-Anlage als Investitionsgut betrachtet. Die Jahreskosten werden nach der Barwertmethode berechnet. Es können zwei Wege beschritten werden. Bei der ersten, der **Realverzinsung**, wird nur der reale Zinssatz, teuerungsbereinigt, zur Berechnung verwendet (Bsp.: Nominaler Zins 6%, Teuerung 4%, --> realer Zinssatz 2%). Bei üblichen Kostenrechnungen wird mit der **Nominalverzinsung** gerechnet. Die Jahreskosten sind auf Grund der berücksichtigten Teuerung höher als bei der realen Verzinsung des Kapitals.

Die Höhe der Stromgestehungskosten hängt von folgenden Annahmen ab:

- **Lebensdauer:** Da fest montierte Solarzellenanlagen keine beweglichen Teile besitzen, kann von einer Lebensdauer von 25 bis 30 Jahren ausgegangen werden.
- **Ertrag:** Für die Voraussage des Ertrages stützt man sich bei Solaranlagen auf gemessene Werte der Sonneneinstrahlung. Man geht dabei von gemittelten Werten des letzten Jahrzehnts aus. Der Ertrag ist stark vom Standort abhängig. Die eingestrahlte Sonnenenergie ist in Zermatt rund 1.3 bis 1.4 mal so gross wie diejenige in Zürich.
- **Teuerung:** Die Teuerung ist sehr schwer vorzusagen. So können wirtschaftliche und politische Ereignisse die Teuerung kurzfristig extrem in die Höhe treiben. War die Teuerungsrate 1991 bei hohen 5.5%, so liegt sie für das Jahr 1992 bei ca 4%.
- **Kapitalzinsen:** Als Kapitalzinsen werden jeweils 2% höhere Werte als die Teuerung angenommen.

Beispiel (Stand 1992):

- Die folgenden Zahlen sollen die Grössenordnung wiedergeben. So können die Installations- / Montagekosten je nach Dachtyp, die Modul- und Wechselrichter Kosten je nach Hersteller beträchtlich variieren.

Solarmodule	60 mal 50 W à 420.–	25 000.–
Wechselrichter		6 000.–
Installation komplett		16 500.–
WUSt		2 500.–
Total		50 000.–

Amortisation in 30 Jahren, Kapitalzins 6% (Stand 1992)

Kosten pro Jahr (Annuität: ≈ 7.3%)	3650.–
Unterhalt pro Jahr (Teuerung 4%)	350.–
Jahreskosten	4000.–

Die Jahreskosten über die Lebensdauer von 30 Jahren sind nominal immer gleich gross, nämlich Fr. 4000.–. Mit steigender Lebensdauer werden diese Jahreskosten real immer kleiner, da die Teuerung das Geld entwertet und u.a. die Strompreise steigen.

Strompreis:

Jahreskosten	4000.–
Jahresertrag	2878 kWh
Strompreis	4000.– / 2878 kWh = Fr. 1.39

11 Anhang IV: Bibliographie

11.1 Bücher

- [1] BfK: «Photovoltaik - Grundlagen, Montage und Einspeisung». Kurshandbuch zum gleichnamigen PACER-Kurs. Best.-Nr. 724.242 d/f/i, EDMZ, Bern, 1991
- [2] BfK: «Photovoltaik. Planungsunterlagen für autonome und netzgekoppelte Anlagen». Publikation zum PACER-Kurs für Ingenieure. Best.-Nr. 724.243, EDMZ, Bern, 1992
- [3] BfK: «Photovoltaik: Einführung für Architekten und Bauherren». Publikation zum PACER-Video. Best.-Nr. 724.241.1, EDMZ, Bern, 1992
- [4] H. Häberlin: «Photovoltaik. Strom aus Sonnenlicht für Inselanlagen und Verbund». AT Verlag Aarau, 1991
- [5] TÜV Rheinland, ISET: «Installation von Photovoltaik-Anlagen» Köln, 1992
- [6] H. K. Köthe: «Stromversorgungen mit Solarzellen», Franzis-Verlag, München, 1988
- [7] SIA-Dokumentation D 073: «Photovoltaik – Gebäude-Bestandteil im Jahr 2010», Zürich, 1991.
- [8] SEV/VSE Bulletin 10/1991: «Elektrizitätswirtschaft, Photovoltaik», SEV, Zürich, 1991
- [9] SEV/VSE Bulletin 10/1992: «Elektrizitätswirtschaft, Photovoltaik», SEV, Zürich, 1992
- [10] RWE Energie AG: «Private Photovoltaik-Stromerzeugungsanlagen im Netzparallelbetrieb. Planung, Errichtung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit», D-Essen, 1990
- [11] «Handbuch Solar Energie 93», Solar-Energie Fachverlag, Wil SG, 1993
- [12] «Schweizer Energie-Fachbuch 1993». Bezug: Verlag Künzler-Bachmann AG, Postfach 926, 9001 St.Gallen

11.2 Zeitschriften

- [1] «Sonnenenergie». Erscheint zweimonatlich. Abonnemente: SSES, Belpstrasse 69, 3007 Bern
- [2] «IMPULS». Zeitschrift für IP BAU, RAVEL, PACER (gratis). Bundesamt für Konjunkturfragen, Impulsprogramme, 3003 Bern, Auskünfte: 031/61 21 29

11.3 Adressen der Verbände

SDV
Schweiz. Dachdeckermeister Verband
Lindenstrasse 4, 9240 Uzwil, Tel. 073/51 72 44

VSEI
Verband Schweiz. Elektro-Installationsfirmen
Postfach 3357, 8031 Zürich, Tel. 01/272 07 12

SSIV
Schweiz. Spenglermeister- und Inst.-Verband
Auf der Mauer 11, 8001 Zürich, Tel. 01/251 74 00

VSE
Verband Schweiz. Elektrizitätswerke
Bahnhofplatz 3, 8023 Zürich, Tel. 01/211 51 91

SEV
Schweiz. Elektrotechnischer Verein
Seefeldstrasse 301, 8034 Zürich, Tel. 01/384 91 11

11.4 INFOENERGIE Beratungszentralen

INFOENERGIE Mittelland

Kindergartenstrasse 1
Postfach 310
5200 Brugg
Tel. 056/ 41 60 80

INFOENERGIE Nordostschweiz

c/o FAT
8356 Tänikon
Tel. 052/ 62 34 85

INFOENERGIE Romandie

c/o Centre cantonal de formation
professionnelle des métiers du bâtiment
2013 Colombier
Tel. 038/ 41 35 25

INFOENERGIA Ticino

Dip. del territorio
c/o SPAA
6500 Bellinzona
Tel. 092/ 24 37 40

11.5 Beratungszentralen

SOFAS

Sonnenenergie-Fachverband Schweiz
Edisonstrasse 22
8050 Zürich
Tel. 01/ 311 90 40

PROMES

Association des professionnels romands
de l'énergie solaire
Case postale 6
1510 Moudon
Tel. 021/ 905 26 56

VOBE

Verband Ostschweizer Bau- und Energiefachleute
c/o R. Schmid
Im Zogg
7304 Maienfeld

11.6 Kantonale Energie- fachstellen

Aargau

Finanzdepartement
Abteilung Energiewirtschaft
Laurenzenvorstadt 12
Postfach
5001 Aarau
Tel. 064/ 21 17 05

Appenzell-Innerrhoden

Baudepartement
Fachstelle für Energie
Blattenheimatstrasse 2b
9050 Appenzell
Tel. 071/ 87 13 73

Appenzell-Ausserrhoden

Amt für Umweltschutz
Energiefachstelle
Kasernenstrasse 17
9102 Herisau
Tel. 071/ 53 65 35

Bern

Wasser- und Energiewirtschaftsamt
Abteilung Energiewirtschaft
Reiterstrasse 11
3011 Bern
Tel. 031/ 69 38 41

Basel-Landschaft

Amt für Umweltschutz und Energie
Hauptabteilung Energie
Rheinstrasse 29
4410 Liestal
Tel. 061/ 925 55 24

Basel-Stadt

Kantonale Energiefachstelle
Industrielle Werke Basel
Postfach
4008 Basel
Tel. 061/ 275 51 27

Fribourg

Département des transports et de l'énergie
118, Rue des Chanoines
1700 Fribourg
Tel. 037/ 25 28 46

Genève

Service du délégué à l'énergie
Office cantonal de l'énergie
Département de l'économie publique
Case postale 252
1211 Genève 3
Tel. 022/ 319 23 40

Glarus

Energiefachstelle
Kantonale Baudirektion
8750 Glarus
Tel. 058/ 63 61 11

Graubünden

Energiefachstelle
Stadtgartenweg 11
7001 Chur
Tel. 081/ 21 36 24

Jura

Service des transports et de l'énergie
2, Rue des Moulins
2800 Delémont
Tel. 066/ 21 53 90

Luzern

Kantonale Fachstelle für Energiefragen
Löwengraben 14
6002 Luzern
Tel. 041/ 24 61 46 oder 041/ 24 51 11

Neuchâtel

Service cantonal de l'énergie
Rue de Tivoli 5
Case postale 24
2003 Neuchâtel
Tel. 038/ 22 35 54/55

Nidwalden

Kantonale Energiefachstelle
Ingenieurbüro Fred Waser
Obere Turmatt 4
6370 Stans
Tel. 041/ 61 30 20

Obwalden

Tiefbauamt Obwalden
Energiefachstelle
Dorfplatz 4
6060 Sarnen
Tel. 041/ 66 92 22

St. Gallen

Amt für Umweltschutz des Kantons St. Gallen
Sektion Energie
Sternackerstrasse 7
9001 St. Gallen
Tel. 071/ 21 31 81

Schaffhausen

Energiefachstelle
Beckenstube 11
8200 Schaffhausen
Tel. 053/ 82 73 58

Solothurn

Energiefachstelle
Volkswirtschaftsdepartement
Rathaus
4500 Solothurn
Tel. 065/ 21 24 44

Schwyz

Baudepartement
Öffentlicher Verkehr und Energie
Bahnhofstrasse 9
6430 Schwyz
Tel. 043/ 24 25 13

Thurgau

Amt für Wirtschaft, Energie und Verkehr
Energiefachstelle
8500 Frauenfeld
Tel. 054/ 24 28 57

Ticino

Dipartimento del Territorio
SPAA
Via Franscini 17
6501 Bellinzona
Tel. 092/ 24 37 45

Uri

Amt für Energie
Professorenhaus
Klausenstrasse 2
6460 Altorf
Tel. 044/ 4 26 11

Vaud

Délégué cantonal à l'énergie
5, Rue de l'Université
1014 Lausanne
Tel. 021/ 316 70 17

Wallis

Département cantonal de l'énergie
Service de l'énergie
Av. du midi 7
1951 Sion
Tel. 027/ 21 68 86

Zug

Kantonale Baudirektion
Energiefachstelle
Postfach 897
6301 Zug
Tel. 042/ 25 33 06

Zürich

Amt für technische Anlagen und
Lufthygiene ZH
Energiefachstelle
Stampfenbachstrasse 12
8090 Zürich
Tel. 01/ 259 42 71

12 Anhang V: Quellenverzeichnis

In verdankenswerter Weise wurden für diese Publikation Unterlagen von folgenden Firmen und Personen zur Verfügung gestellt:

Alpha Real AG, Zürich
Alteno AG, Basel
Atlantis Energie AG, Bern
Fadaplan AG, Winterthur
Glas Trösch Solar AG, Ursenbach
Günther Solar AG, Muttenz
Holinger Solar AG, Liestal
Klöber GmbH, D-Ennepetal
Müller, Gebrüder, Zug
Newtec-Plaston AG, Widnau
PMS Energie AG, Mönchaltorf
Schweizer Metallbau AG, Hedingen
Solution AG, Härkingen
Zetter Solar AG, Bellach