Bundesamt für Energie
Office fédéral de l'énergie
Ufficio federale dell'energia
Swiss Federal Office of Energy

Programm
Aktive Sonnenenergienutzung, Photovoltaik

Photovoltaik-Aussenisolationselemente

Schlussbericht

ausgearbeitet durch
Richard Durot
ZAGSOLAR
Amlehnstr. 33, 6010 Kriens

im Auftrag des
Bundesamtes für Energie

Oktober 2000 Schlussbericht DIS 28023 / 68221

ZAGSOLAR **Energie Photovoltaik** Beratung Projektierung Anlagebau Datenerfassung

Bundesamt für Energie

Energiefachstelle des Kantons Luzern

Photovoltaik- Aussenisolationselemente

Schlussbericht



Kriens, Mai 2000

RD / PV-Isolationselemente

Zusammenfassung

Je länger je mehr werden Photovoltaikmodule ins Gebäude integriert.
Je länger je mehr werden Gebäude aus Energiespargründen gut isoliert.
Einige der marktüblichen Isolationsplatten können auch als Träger von Solarzellen oder Photovoltaikmodulen eingesetzt werden.

Im Projekt „Photovoltaik-Aussenisolationselemente" wurden diverse Isolations-Materialien und Produkte auf die Kombinationsmöglichkeiten mit Solarzellen hin untersucht (Kap. 2.2). Aus der Betrachtung der vielen marktüblichen Isolationsprodukten resultierten 12 Kombinationsvarianten (Kap. 3), welche interessante, gebäudeintegrierte Photovoltaikanlagen versprechen.

Die näheren Untersuchungen der einzelnen Varianten (Kap. 5) zeigen, dass die verschiedenen Anforderungen (Kap. 4), welche durch die Umwelteinflüsse gegeben sind und welche in Normen von Fachverbänden festgelegt wurden (Kap. 2.1), nicht einfach zu erfüllen sind. Es sind aber Lösungsmöglichkeiten vorhanden. Die strukturierten Untersuchungen bezüglich der bedeutenden Kriterien (Kap. 4) lassen eine Beurteilung der einzelnen Varianten zu. Aus dieser Beurteilung (Kap. 6) resultiert das Eurowand-System mit Photovoltaikmodulen (Kap. 4.1, 5.1) als eine der aussichtsreichsten Varianten.

Im Rahmen des Projektes wurde eine Versuchswand mit dem Eurowand-System und 2 Prototyp-Elementen erstellt. Die Versuchswand bestätigte die Funktion des Befestigungssystems (Kap. 7). Einige mechanische Halteteile müssen allerdings optimiert und genauer getestet werden.

Das Projekt „Photovoltaik-Aussenisolationselemente" zeigt auf, dass es einige recht interessante Möglichkeiten gibt, Isolationsplatten als Träger von Photovoltaikmodulen einzusetzen. Es zeigt, dass einige Varianten auch aus Kostengründen sehr vielversprechend sind.

Kontakte zur Isolationsindustrie wurden aufgebaut und müssen weitergehen, um neue PV-Produkte auf den Markt zu bringen.

Diese Arbeit ist im Auftrag des Bundesamtes für Energie entstanden. Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Abstract

More and more Photovoltaic-modules are integrated into buildings.

More and more buildings are well insulated because of energy saving reasons.

Some of the used insulation-plates can also act as carrier of solar-cells or a PV-module.

In this project "PV-insulation-modules" different insulation materials and products are investigated concerning the possibilities of combination with Photovoltaics. The study of many existing insulation materials on the marked results in the creation of 12 variants of combination promising interesting PV-installations as part of the building.

The investigations of these variants show, that the different requirements, that come from norms of the building sector and from environmental influences are not easy to meet, but solutions are found. The structured investigations according to relevant criteria's lead to the judgement of the different variants. As a result of this judgement the combination of the Eurowall-system with PV-modules is found one of the most promising variants.

2 prototype-elements of this variant are built and investigated at an experiment-wall. They confirm the construction-system but the mechanical parts necessary in this variant need further optimisation and tests.

This project shows that there are several solutions to use insulation-plates as carrier of Photovoltaic modules which lead to a functional building integration. It shows, that some variants are as well very promising because of financial reasons.

Contacts to the insulation-industry exist and have to continue to bring new PV-products to the marked.

INHALTSVERZEICHNIS

1 Einleitung 1
1.1 Zielsetzung 1
1.2 Vorgehen 1
2 Ausgangslage 2
2.1 Gesetzliche Grundlagen, Normen und Empfehlungen 2
2.2 Handelsübliche Aussenisolationselemente 2
2.3 Solarmodule 4
2.4 Bereits existierende kombinierte Elemente 4
3 Varianten von Photovoltaik-Aussenisolationselementen 6
3.1 PV-Eurowand 7
3.2 PV-Fertig-Fassadenelement 8
3.3 PV-ALUHIT-Flumroc-Wand 9
3.4 PV-XPS-Fassade 10
3.5 PV-XPS-Flachdach 11
3.6 PV-Schaumglaselement 12
3.7 PV-Macodach 13
3.8 PV-Thermodach System AMPUS 14
3.9 PV-Fertigdach 15
3.10 PS-Tragstruktur 16
3.11 PV-Alpur-Dach 17
3.12 PV-Metall-Dämmelement 18
4 Randbedingungen und Beurteilungskriterien: 19
5 Untersuchung der Varianten 21
5.1 PV-Eurowand 21
5.2 PV-Fertig-Fassadenelement 25
5.3 PV-ALUHIT-Flumroc-Wand 28
5.4 PV-XPS-Fassade 31
5.5 PV-XPS-Flachdach 34
5.6 PV-Schaumglaselement 37
5.7 PV-Macodach 40
5.8 PV-Thermodach System AMPUS 45
5.9 PV-Fertigdach 49
5.10 PS-Tragstruktur 52
5.11 PV-Alpur-Dach 55
5.12 PV-Metall-Dämmelement 58
6 Beurteilung mit Vorschlag einer Variante zur Umsetzung 61
7 Detailuntersuchung 64
7.1 Fertigung der Prototyp-Elemente 64
7.2 Montage der Elemente 65
7.3 Resultate aus der erstellten Versuchswand 65
8 Weiteres Vorgehen 68
9 Anhang 69

1 Einleitung

Im Zeichen des Energiesparens werden Gebäude je länger je mehr isoliert. Die Wärmeisolationsschicht wird dabei mehrheitlich ausserhalb der Tragkonstruktion des Gebäudes platziert. Häufig werden formstabile Isolationsplatten für die Wärmedämmung verwendet.
Für Flachdächer existieren Isolierplatten aus extrudiertem Polystyrol, die in einer Umkehr- oder Duodachkonstruktion eingesetzt werden. Solche Platten können in verschiedener Art und Weise als Trägerplatten für Solarmodule verwendet werden (z.B. PowerGuard-System).
Für Steildächer existieren Dämmelemente mit Unterdachbahn oder geformte Dämmelemente mit Unterdachfunktion. Diese können in Verbindung mit Photovoltaikmodulen zu einem interessanten Gebäudeteil werden.
Im Fassadenbau sind diverse Konstruktionen vorhanden, welche den Einsatz von kombinierten Photovoltaik-Dämmelementen ermöglichen. Oft werden Fassadenverkleidungen eingesetzt, welche gut aus Solarmodulen bestehen könnten.

Vor diesem Hintergrund konnte das Büro ZAGSOLAR im Winter 98/99 mit Unterstützung des Bundesamtes für Energie und der Fachstelle für Energiefragen des Kantons Luzern das Projekt beginnen, in Zusammenarbeit mit Industriepartnern diverse Möglichkeiten von Aussenisolationselementen als Träger von Solarzellen zu untersuchen und bezüglich ihrer Markttauglichkeit zu evaluieren.

1.1 Zielsetzung

Es sollen Varianten für neue Photovoltaik-Dämmelemente aufgezeigt werden. Diese werden als Bestandteil der Gebäudehülle konzipiert und haben demzufolge ihre Funktionen zu erfüllen. Ziel ist das Finden von funktionellen und sicheren Varianten, die vom Preis her interessant sind und die sich in einer weiteren Phase bis zur Markttauglichkeit weiterentwickeln lassen.

1.2 Vorgehen

Ausgangspunkt dieses Projektes sind marktübliche Dach- und Wandkonstruktionen mit Aussendämmung. In diesen auch durch Normen festgelegten Konstruktionen gelangen diverse Dämmelemente zum Einsatz. Über diese Dämmelemente und über ihre Anwendung wurde von den verschiedenen Herstellern und Vertretungen Dokumentationen eingeholt.
Ausgangspunkt waren aber auch die marktüblichen Solarmodule mit ihren Preisen und Ausmassen.
Die verschiedenen Dämmelemente wurden auf die Möglichkeit einer nutzbringenden Kombination mit einem Solarmodul untersucht. Wichtig war dabei auch immer der Hinblick auf eine spätere industrielle Fertigung. Unter Berücksichtigung der SIA-Normen wurden interessante Varianten gefunden und Beurteilungskriterien aufgestellt.
Es folgten die genaueren Untersuchungen der Varianten, welche von mehreren Besprechungen und Telefongesprächen mit Industrievertretern begleitet wurden. Preisabklärungen zu Solarmodulen, Befestigungsarten und Dämmelementen lieferten eine weitere Beurteilungsbasis.
Die untersuchten Varianten wurden entsprechend den Beurteilungskriterien bewertet und eine Variante für die Detailuntersuchung anhand von Prototypen gefunden.

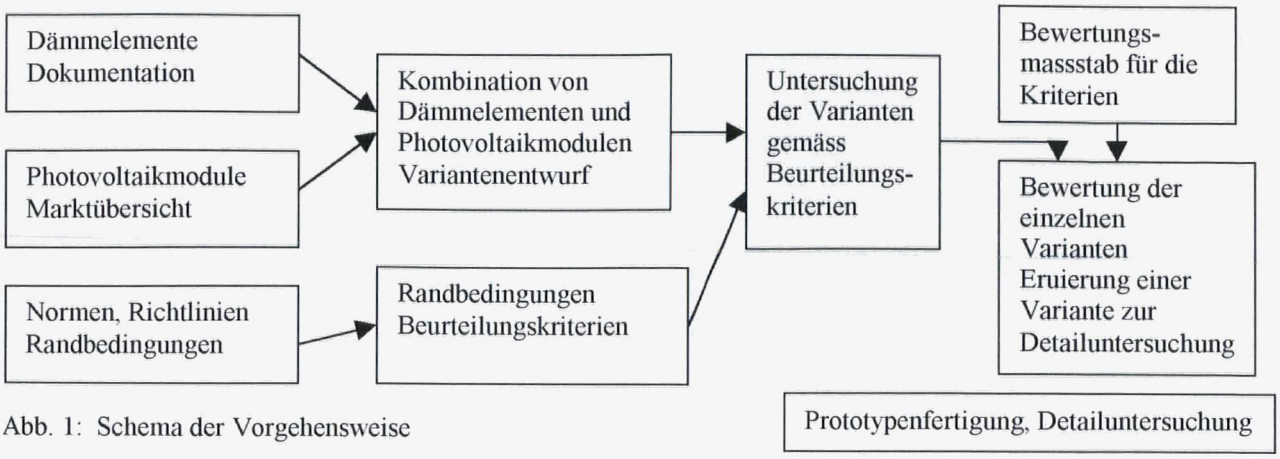


Abb. 1: Schema der Vorgehensweise

2 Ausgangslage

Auf dem Photovoltaikmarkt werden schon etliche Solarmodule für die Integration in die Gebäudehülle angeboten. Von diesen Produkten sind nur wenige in Kombination mit der Wärmedämmung konzipiert (vgl. 2.4).
Im Bereich der Wärmedämmung haben sich einige Materialien auf dem Markt etabliert (vgl. 2.2): Sehr häufig werden Produkte aus Steinwolle oder Glasfasern eingesetzt. Häufig gelangen Produkte aus Polystyrol zum Einsatz. Weniger häufig werden Schaumglas, Polyurethan, Holzfaserplatten oder auch Zellulosedämmstoffe verwendet.

2.1 Gesetzliche Grundlagen, Normen und Empfehlungen

Die Erstellung eines Gebäudes hat den Normen und Empfehlungen der Fachverbände und auch dem Stand der Technik entsprechend zu erfolgen.
Bei Integration der Photovoltaikelemente in die Gebäudehülle werden diese zum Gebäudeteil. Für die Ausführung der Gebäudeteile hat der SIA diverse Normen oder Empfehlungen herausgegeben.
So definiert die Empfehlung SIA 271 „Flachdächer" das Flachdach. Die verschiedenen Ausführungsformen des Flachdachs sind aufgeführt und die Anforderungen an die einzelnen Schichten des Flachdachs sind ihrer Funktion entsprechend festgelegt.
Die SIA-Norm 232 „Geneigte Dächer" ersetzt Teile der Norm SIA238 und legt die Anforderungen an die einzelnen Schichten des Steildaches fest.
Für die Ausführung von Fassaden bestehen, im Gegensatz zu Steil- und Flachdächern keine spezifischen Empfehlungen und Normen. Hingegen finden sich für einzelne Schichten der Wand Bestimmungen, wie z.B. Norm SIA243 für die verputzte Aussenwärmedämmung.
Neben dem Schweizerischen Ingenieur- und Architektenverein haben noch weitere Fachvereine und Organisationen Richtlinien auf dem Gebiet des Bauwesens herausgegeben. Von Bedeutung ist hinsichtlich von grösseren Photovoltaikanlagen die Brandschutzrichtlinie der Vereinigung kantonaler Feuerversicherungen.

Zur Sicherstellung der Qualität von Photovoltaikmodulen existieren international anerkannte Normen. Die Anforderungen an Solarmodule mit mono- und polykristallinen Zellen werden in der Norm ISPRA 503 beziehungsweise IEC 1215 (od. IEC 61215) festgelegt. Die Anforderungen an Module mit amorphen Zellen werden in der Norm IEC 1646 festgelegt.

2.2 Handelsübliche Aussenisolationselemente

Eine gute Übersicht über den Dämmstoffmarkt kann über das Merkblatt 2001 des Schweizerischen Ingenieur- und Architekten-Vereins (SIA) gewonnen werden. In diesem Merkblatt sind die deklarierten und vom SIA bestätigten Kennwerte der meisten marktüblichen Wärmedämmstoffe aufgeführt. Die Wärmedämmstoffe sind dabei dem Herstellungsmaterial und Dämmelementaufbau entsprechend geordnet.
Es gibt Dämmelemente aus Steinwolle, Glaswolle, Schaumglas, expandiertem Polystyrol (EPS), extrudiertem Polystyrol (XPS), Polyurethan (PUR), Holzwerkstoffen und Zellulose, weiter Verbundplatten und verputzte Aussenwärmedämm-Systeme.
Die Dämmstoffe können aber auch entsprechend ihren Einsatzmöglichkeiten geordnet werden. Hinsichtlich der Kombinationsmöglichkeit mit einem Photovoltaikmodul sind mehr oder weniger formbeständige Aussenisolationselemente interessant. Dementsprechend ist die folgende Aufstellung eine Auswahl aller Produkte und Einsatzarten auf dem Markt.

2.2.1 Aussenisolationselemente für Fassaden

Bei Fassaden, bei welchen die Isolation ausserhalb der Tragstruktur liegt, können Aussenwärmedämmungen mit hinterlüfteter Verkleidung von direkt verputzten Aussenwärmedämmungen unterschieden werden.

- Aussenwärmedämmung mit hinterlüfteter Verkleidung
  Bei diesen Aussenwandsystemen werden Glas- und Steinwoll-Platten eingesetzt. Standardgrössen der Platten von den Schweizer Herstellern Isover, Saglan und Flumroc sind 100cm bzw. 125cm x 60cm)

- Verputzte Aussenwärmedämmung
  Bei diesen Aussenwandsystemen werden EPS-Platten (Standardgrössen 100 x 50 cm), XPS-Platten (Standardgrössen 125 x 60 cm) und auch Steinwollplatten (Standardgrössen 100 x 60 cm) eingesetzt.

- Als Spezialsystem ist auch das Fertigfassadensystem von Interesse. Die Fertigfassadenelemente mit Metallbeplankung und einem Isolationskern aus EPS resp. aus PUR der Firmen Montana und Thyssen weisen eine Breite von ca. 1m und eine Länge bis 15m (je nach Kundenwunsch) auf.

2.2.2 Aussenisolationselemente für Flachdächer

Bei Flachdächern werden Kaltdach, Warmdach, Verbunddach, Umkehrdach und Duodach unterschieden. Beim Kaltdach, Warmdach und Verbunddach wird die Isolationsschicht von einer durchgehenden Abdichtung überdeckt. Beim Umkehrdach liegt die und beim Duodach eine Isolationsschicht über der Abdichtung. Dies macht Umkehr- und Duodach interessant bezüglich der Kombination mit einem Photovoltaikelement.
Für die Isolation ausserhalb der Abdichtung eignen sich, ihrer Witterungsbeständigkeit und geringen Wasseraufnahme wegen vor allem Isolationselemente aus extrudiertem Polystyrol (XPS). Solche Elemente werden unter anderem von den Firmen Dow Chemical und BASF mit den Ausmassen von ca. 125cm x 60 cm angeboten.
Aufgrund ihrer Witterungsbeständigkeit, der Wasserdichtheit und Formbeständigkeit sind auch Schaumglaselemente interessant.

2.2.3 Aussenisolationselemente für Steildächer

Beim Steildach kann die Wärmeisolation zwischen oder über der Tragkonstruktion liegen. Hinsichtlich der Kombinationsmöglichkeit mit einem Photovoltaikmodul sind Isolationselemente von Interesse, welche über den Sparren liegen und welche genügend druckfest für die Aufnahme der ganzen Bedachung sind. Es können 3 Aufbauarten unterschieden werden:

1. Unterdach über der Wärmeisolation:
   In diesem Fall gelangen folgende Dämmstoffe zum Einsatz:
   - Dämmstoffplatten aus EPS (von verschiedenen Herstellern mit Standardgrösse 100 x 50cm angeboten)
   - Dämmstoffplatten aus Glaswolle oder Steinwolle der Firmen Isover AG, Saglan AG und Flumroc AG (Grösse: 125/120 x 60cm)
   - Dämmstoffplatten aus Holzwerkstoffen und Verbundplatten der Firmen Pavatex AG, Schwenk Schichtex AG, Cewag AG und Dietrich Isol AG mit unterschiedlichen Standardgrössen
   - Dämmstoffplatten aus PUR der Firmen Alporit AG und Vaparoid AG (Standardgrösse 120 x 60 cm)

2. Kombinierte Dämmelemente mit Unterdach
   Folgende Elemente werden eingesetzt:
- Pararoof-Flumroc-Kombination der Firma Gantner AG (Standardgrösse 195 x 66.7cm)
- Alpur-Platten (PUR-Bitumen-Komb.) der Firma Alporit AG (Standardgrösse 235 x 100cm)
- Geformte EPS-Elemente, welche überlappend auf eine Lattung gesetzt werden und dadurch ein wasserdichtes Unterdach bilden. Solche Elemente gibt es von der MacoDach GmbH und der Ampus AG.

3. Fertigdachelemente
   Diese Elemente werden vorwiegend im Hallenbau eingesetzt. Die Wärmeisolation ist von einer Metallbeplankung umschlossen. Das ganze Element hat Tragfunktion, bildet die Isolation und Bedachung. Verwendung finden Fertigdachelemente der Firmen Montana oder Thyssen in kundenspeziefischen Grössen (Breite ca. 100cm x Länge bis 15m).
   Fertigdachelemente werden mit Dachneigungen bis annähernd 0° eingesetzt, also auch bei Flachdächern.

2.3 Solarmodule

Gemäss der Marktübersicht Solarmodule 2000 der Zeitschrift Photon Ausgabe 2-2000 bieten zur Zeit weltweit über 30 Hersteller Solarmodule mit einer Leistung bis zu 300W und in diversen Grössen an.
Nach wie vor sind Module mit mono- und polykristallinen Zellen vorherrschend. Es sind Module, welche mit Alu-Rahmen, meistens aber auch als Laminat erhältlich sind.
Mit steigender Tendenz werden auch amorphe Solarmodule angeboten, welche in Glas-Zellen-Glas-Verbund gefertigt sind oder aber als flexible Matte mit integrierter Stahlfolie unter den Zellen. Gerade diese Module von United Solar, welche in Grössen bis zu 5.58m x 0.4m angeboten werden eröffnen Möglichkeiten für die Gebäudeintegration.

In Hinblick auf eine industrielle Fertigung eines kombinierten PV-Isolationselementes ist zu beachten:
Kristalline Solarzellen werden üblicherweise durch einen Laminierungsprozess in einem Laminator sozusagen wetterfest eingepackt oder zwischen 2 Glasscheiben eingegossen. Die Laminierung geschieht unter Vakuum (zur Vermeidung von Luftblasen) und mit Wärme (140-160°C).
Amorphe Silizium-Solarzellen werden in einer Vakuum-Kammer durch Abscheiden von amorphen Silizium auf einem Trägersubstrat (Glas oder Kunststoff) oder einer Trägerfolie aus Edelstahl bei erhöhter Temperatur erzeugt (typischerweise ca. 200°). Die Verkapselung der Zellen erfolgt wie bei kristallinen Zellen durch Laminieren oder Eingiessen. In der Regel wird ein Glas/ Glas-Verbund erzeugt (bei Edelstahl-Trägerfolie ist es ein Stahl-Kunststoff-Verbund).
In Folge der erhöhten Temperatur und dem Vakuum im Laminierprozess kommt direktes Laminieren von Solarzellen auf ein Dämmelement kaum in Frage.

2.4 Bereits existierende kombinierte Elemente

2.4.1 PowerGuard-Modul

Die amerikanische Firma Powerlight Corporation entwickelte das PowerGuard-System für Flachdächer und wenig geneigte Steildächer, welche keine grosse Belastung mehr zulassen. Das System basiert bezüglich Dachaufbau auf dem Umkehrdach, bei welchem die Isolation ausserhalb der wasserfesten Dachbahn liegt. Die einzelnen Module bestehen aus einer Isolationsschicht aus extrudiertem Polystyrol und einem auf Sockeln aufgeleimten Solarmodul. Durch ein Nut-Kamm-System in der Isolationsschicht greifen die einzelnen Module ineinander und führen zur erforderlichen Stabilität. Bei Flachdächern liegen die Solarmodule somit horizontal oder bei entsprechender Sockelform mit einer Neigung von 10°.

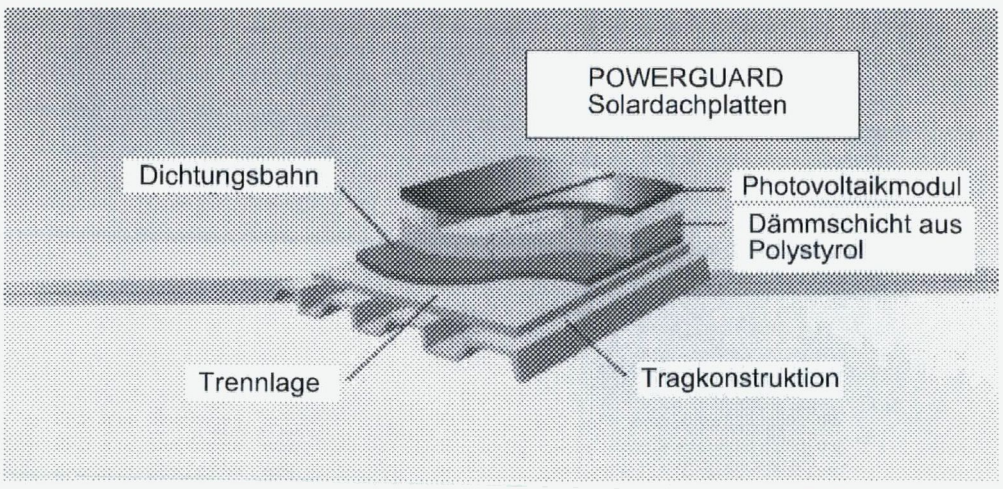


Abb. 2: Schematische Darstellung des PowerGuard-Systems

2.4.2 Linit-Fassadenelement

Das Linit-Solarpaneel von Linzmeier GmbH ist ein Sondertyp der Linit-Glaspaneelen. Diese Elemente werden mit einer standardisierten Metall-Unterkonstruktion in die Fassade gesetzt. Das Solarpaneel besteht aus einem Glas,Glas-Solarmodul und einer Dämmschicht aus Polyurethan-Hartschaum, welche von einem Alukantblech eingerahmt und an den Kanten schub- und zugfest miteinander verklebt sind. Die Grösse der Module ist abhängig von der gewünschten Fassadenstruktur und kann kundenspezifisch festgesetzt werden.

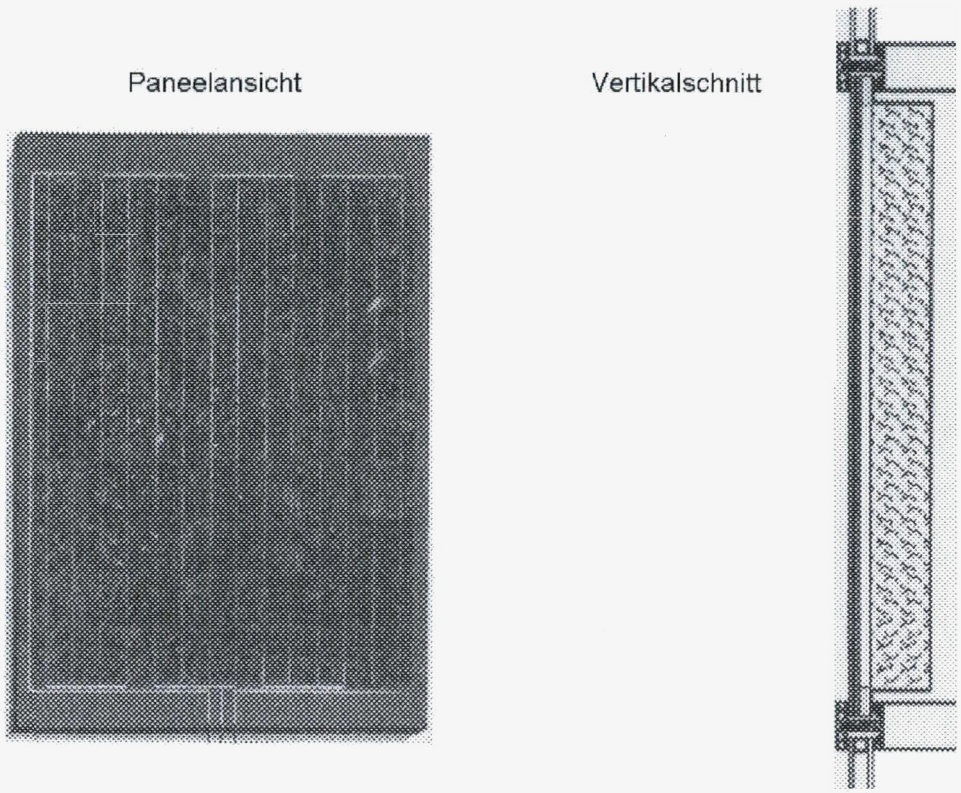


Abb.3: Linit-Solarpaneel

3 Varianten von Photovoltaik-Aussenisolationselementen

Die in den folgenden Kap. 3.1 bis 3.12 angeführten Varianten von kombinierten Photovoltaik-Aussenisolationselementen beruhen auf den untersuchten Aussenisolationssystemen (2.2.1 bis 2.2.3).
Die Varianten sind ihrer Anwendungsart entsprechend gegliedert in

- Fassadenelemente: Kap. 3.1 bis 3.4
- Flachdachelemente: Kap. 3.5 bis 3.6
- Steildachelemente: Kap. 3.7 bis 3.12

Die Varianten zeigen Elemente auf, welche als Gebäudebestandteil diverse Funktionen erfüllen, wie:

- Stabile Elemente als Gebäudehaut
- Wärmedämmung
- Wasserschutz
- Witterungsschutz

Die Varianten zeigen Elemente auf, welche durch die integrierte Photovoltaik auch gewisse Montageeigenschaften aufweisen, wie:

- Montagefreundlichkeit
- Reparaturfreundlichkeit
- Verkabelungsart
- Solarzellenerwärmung

Bei den einzelnen Varianten sind die Punkte aufgeführt und näher erklärt, die eine Überprüfung erfordern. Mit den aufgelisteten Punkten wird auf die offensichtlichsten Problempunkte der einzelnen Varianten hingewiesen. Dementsprechend ist die Aufzählung nicht vollständig und nicht systematisch für alle Varianten gleich.
In Kap. 4 werden alle Randbedingungen und Beurteilungskriterien systematisch aufgeführt.
In Kap. 5 folgt die Untersuchung aller Varianten bezüglich der Randbedingungen und Beurteilungskriterien.

Nicht alle untersuchten Isolationsprodukte lassen sich derart mit einem Photovoltaikelement verbinden, dass ein funktionelles Gebäudeelement entsteht.
Folgende Dämmprodukte sind aufgrund der oben erwähnten Funktionen, die ein PV-Isolationselement erfüllen muss, eher ungeeignet:

- weiche Dämmstoffe wie:
  diverse Steinwollprodukte
  diverse Glaswollprodukte
  Zelluloseflocken
- Dämmplatten für die Anwendung im Steildach, welche von einem Unterdach überdeckt werden müssen:
  Holzwolleplatten
  Holzfaserplatten
  Verbundplatten

3.1 PV-Eurowand

Das Eurowand-system von Schneider Leichtbau und Flumroc besteht aus Blechkassetten EUROWALL, Dämmplatten EUROC und dem Eurodeck Trapezblech als Witterungsschutz. Anstelle des Trapezbleches können die Dämmplatten mit Solarmodulen ergänzt werden.

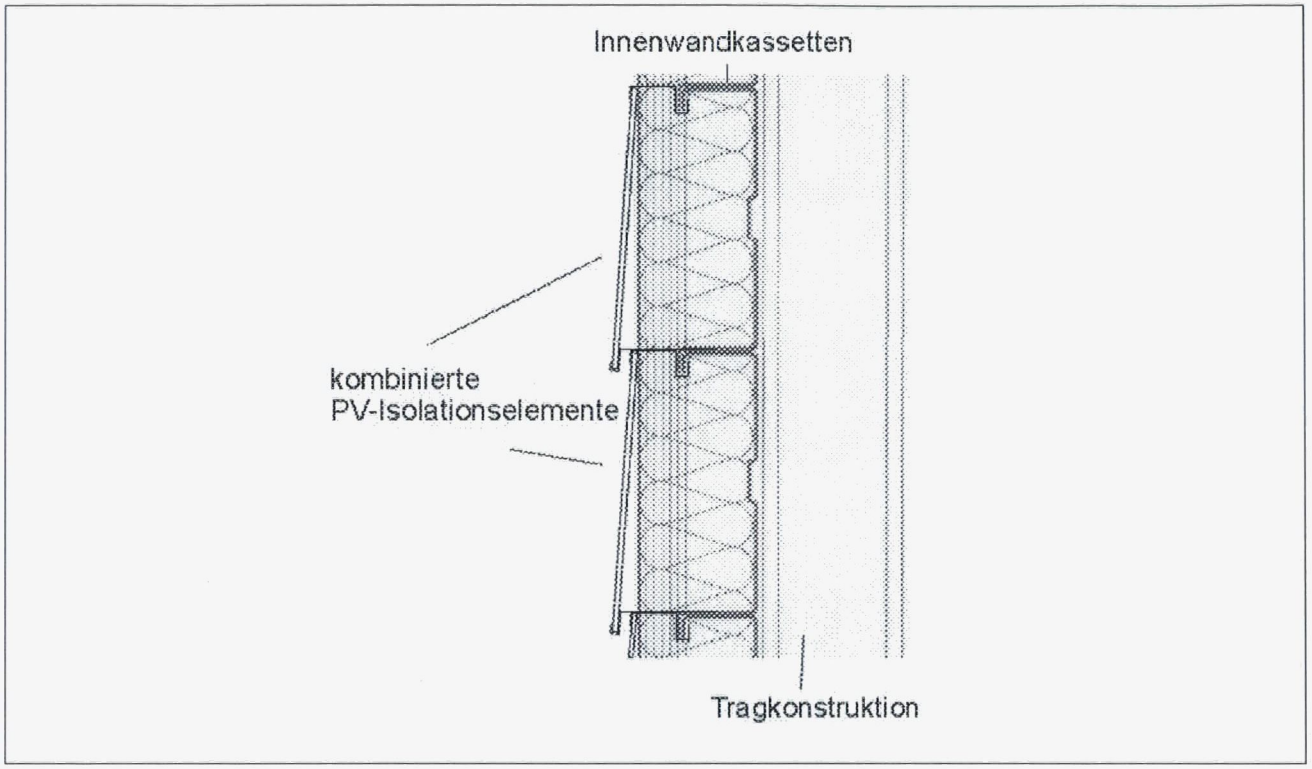


Abb. 4: Schnitt durch Fassade Variante PV-Eurowand

Abzuklärende Punkte:

- Art der Fixierung der Solarmodule: Da die Flumroc-Dämmplatten keine Klebeverbindung zulassen, muss die Fixierung der Solarmodule über Halteklammern erfolgen
- Stabilität im Verbund bei Windeinfluss: Die Photovoltaikelemente müssen auch bei extremen Windverhältnissen stabil eingebunden sein, ohne eine gegenseitige Beschädigung zu erzeugen.
- Wasserschutz: Die Solarmodule haben die Dämmplatten und die ganze Fassade vor einer Beschädigung durch eindringendes Wasser zu schützen
- Verkabelung: Die in den Solarmodulen produzierte Energie muss via Kabel weggeführt werden. Zwischen Solarmodul und Dämmplatte ist Platz für Kabel vorhanden. Die Art der Verkabelung soll möglichst einfach und für die meisten Anwendungen einsetzbar sein.
- Montagefreundlichkeit: Die Montage der Euro-PV-Wand muss möglichst einfach sein.
- Reparaturfreundlichkeit: Der Ersatz eines defekten Solarmodules soll einfach möglich sein.
- Solarzellenerwärmung: Die Dämmplatten müssen austrocknen können und die Module sollten sich dank Hinterlüftung nicht übermässig erwärmen.

3.2 PV-Fertig-Fassadenelement

Die Wilan-Fertigisolationselemente bestehen aus einem Polystyrol-Hartschaumkern mit fertiger Aussen- und Innenbeplankung. Die Elemente werden an einer Stahl- oder Holzunterkonstruktion befestigt und die Wand ist erstellt. Diese Fertigisolationselemente können mit Solarzellen ergänzt werden.
Die Thyssen-Thermowand ist ein Bauelement mit Deckschalen aus beidseitig bandverzinktem und kunststoffbeschichtetem Stahlblech und einem Kern aus Polyurethan. Es sind auch Thyssen-Bauelemente erhältlich mit sendzimirverzinkten Deckschalen und Kern aus Steinwolle.
Diese Fertigelemente, die direkt auf eine Holz- oder Stahl-Tragkonstruktion befestigt werden, können mit Photovoltaikmodulen ergänzt werden.

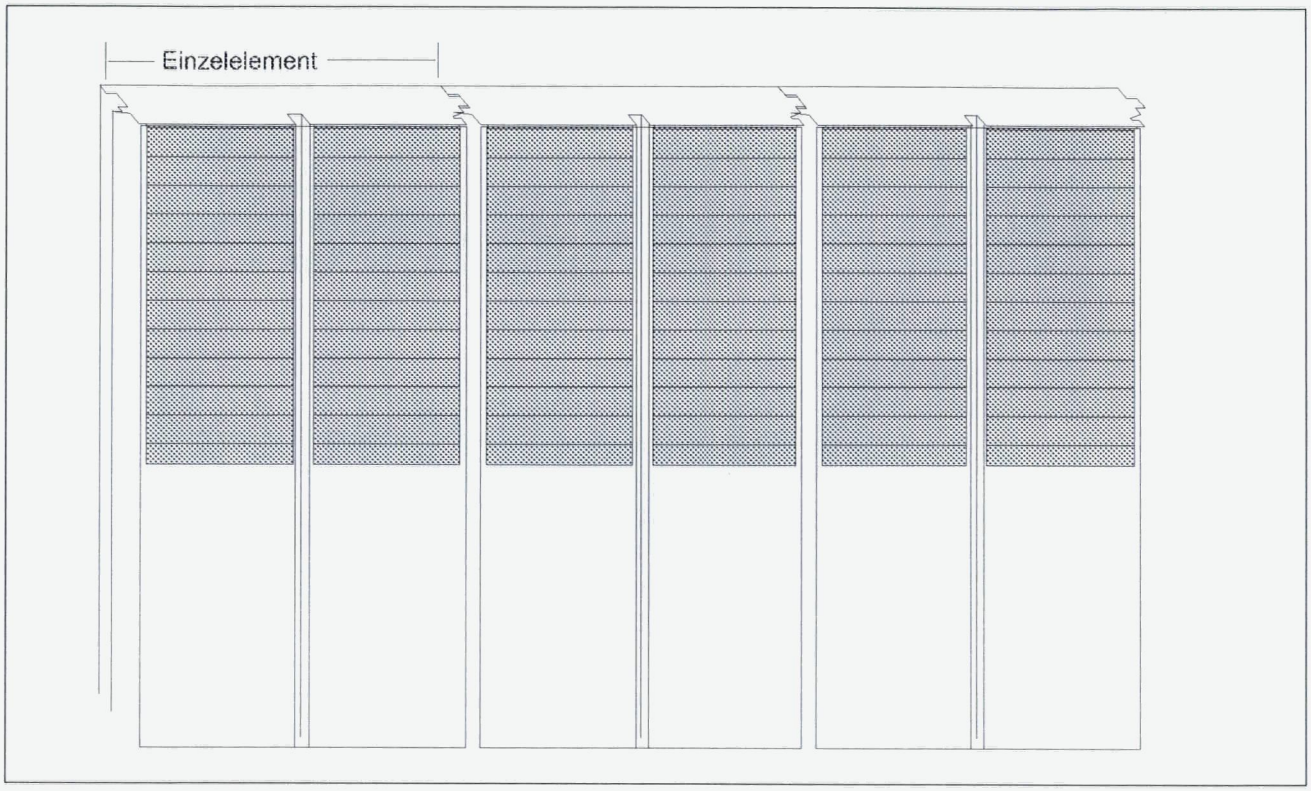


Abb. 5: Blick auf 3 Elemente Variante PV-Fertig-Fassadenelement

Abzuklärende Punkte:

- Befestigungsart der Solarzellen — Die Solarzellen resp. die Solarmodule müssen an der Aussenbeplankung aus Stahl mit Schutzschicht befestigt werden.
- Montagefreundlichkeit — Die Fertigelemente sollen möglichst schnell und ohne Beschädigung des Photovoltaikteils montiert werden können.
- Reparaturmöglichkeiten — Bei einem Defekt eines Solarmodules soll die Instandstellung der Photovoltaikanlage möglich sein. Die Art und Weise einer Reparatur ist zu untersuchen.
- Verkabelung, Kabelführung — Die Art der Kabelführung muss geklärt werden. Zu untersuchen ist auch der ideale Standort für die Kabeldurchführung ins Gebäude
- Zellenerwärmung — Werden die Solarzellen direkt auf der Beplankung fixiert, so fehlt die Hinterlüftung. Die Zellenerwärmung ist zu beachten.

3.3 PV-ALUHIT-Flumroc-Wand

Bei der hinterlüfteten Fassade mit vorgehängten Keramikplatten wird auf die Tragkonstruktion des Hauses ein Metallaufhängesystem montiert. Die Dämmplatten kommen zwischen die Metallprofile zu liegen.
Anstelle von Keramikplatten, welche über bereits fixierte Dämmplatten gehängt werden, können kombinierte PV-Dämmelemente vorgehängt werden.

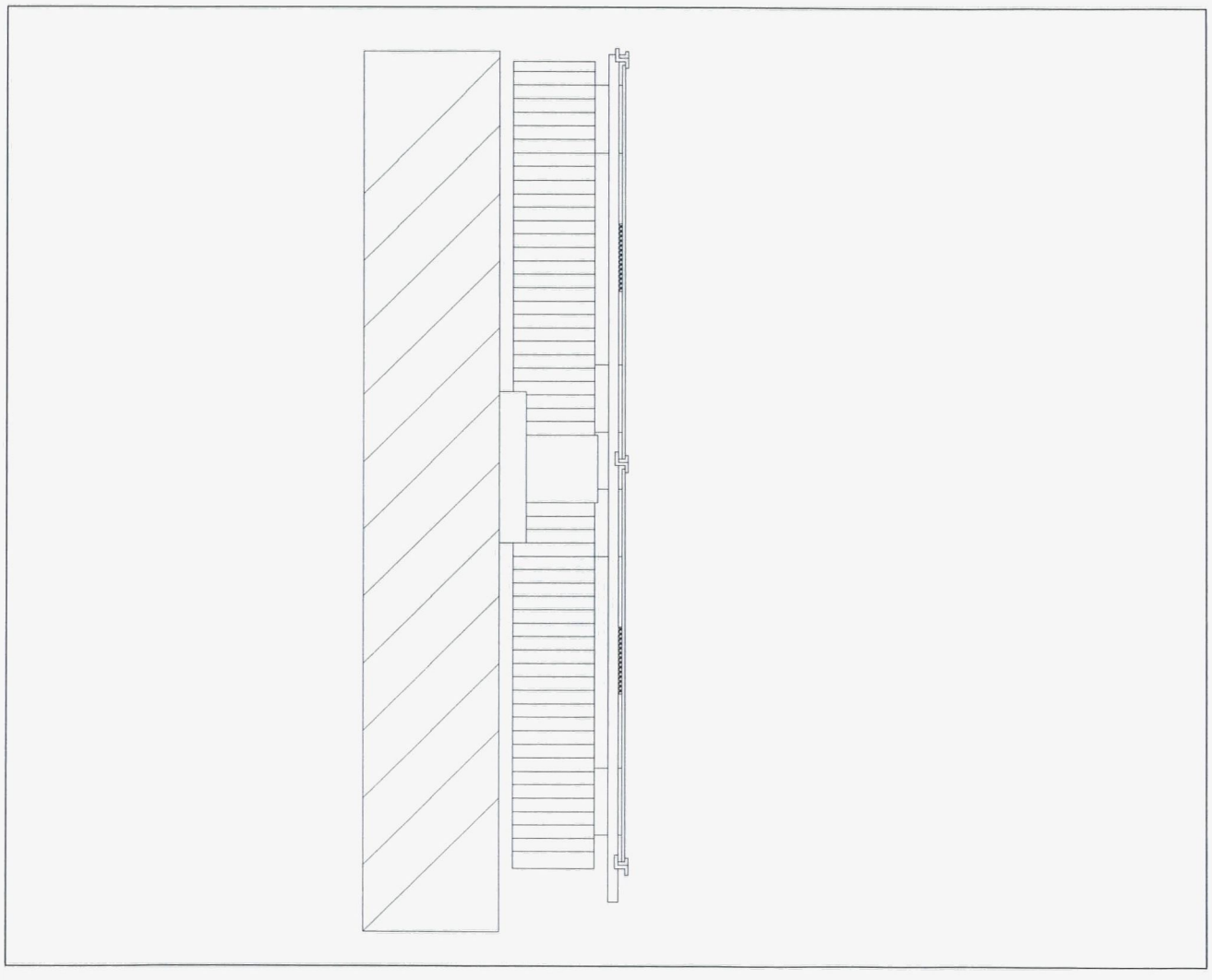


Abb. 6: Schnitt durch Fassade Variante PV-ALUHIT-Flumroc-Wand

Abzuklärende Punkte:

• Verbindung PV-Modul-Dämmung:	Das Gewicht der Dämmplatte muss über die Sockel auf das Photovoltaikmodul übertragen werden
• Wärmedämmung	Die Dämmplatten sollen möglichst eine Dämmung ohne Wärmebrücken ergeben
• Wasserschutz	Die Solarmodule haben die Dämmplatten und die ganze Fassade vor einer Beschädigung durch eindringendes Wasser zu schützen
• Herstellung der PV-Flumroc-Module	Kann ohne zu viel Staubaufwirbelung günstig gefertigt werden.
• Montageart	Der Montageablauf muss geklärt werden
• Reparaturfreundlichkeit	Wie kann ein defektes Modul ersetzt werden?
• Art der Verkabelung	Die einzelnen Kabel sollen auf einfache Weise verbunden werden können.

3.4 PV-XPS-Fassade

Eine häufig angewendete Fassaden-Aussenisolation weist folgenden Aufbau auf: Mauerwerk- Klebemörtel- Polystyrol-Platte (als Wärmedämmung)- Einbettmörtel mit Gewebearmierung und Aussenputz (als Schutz vor äusseren Einwirkungen) .

Idee: Polystyrol-Platte, Einbettmörtel und Aussenputz können ersetzt werden durch, mit Isolationsplatten verbundene Photovoltaikmodule.

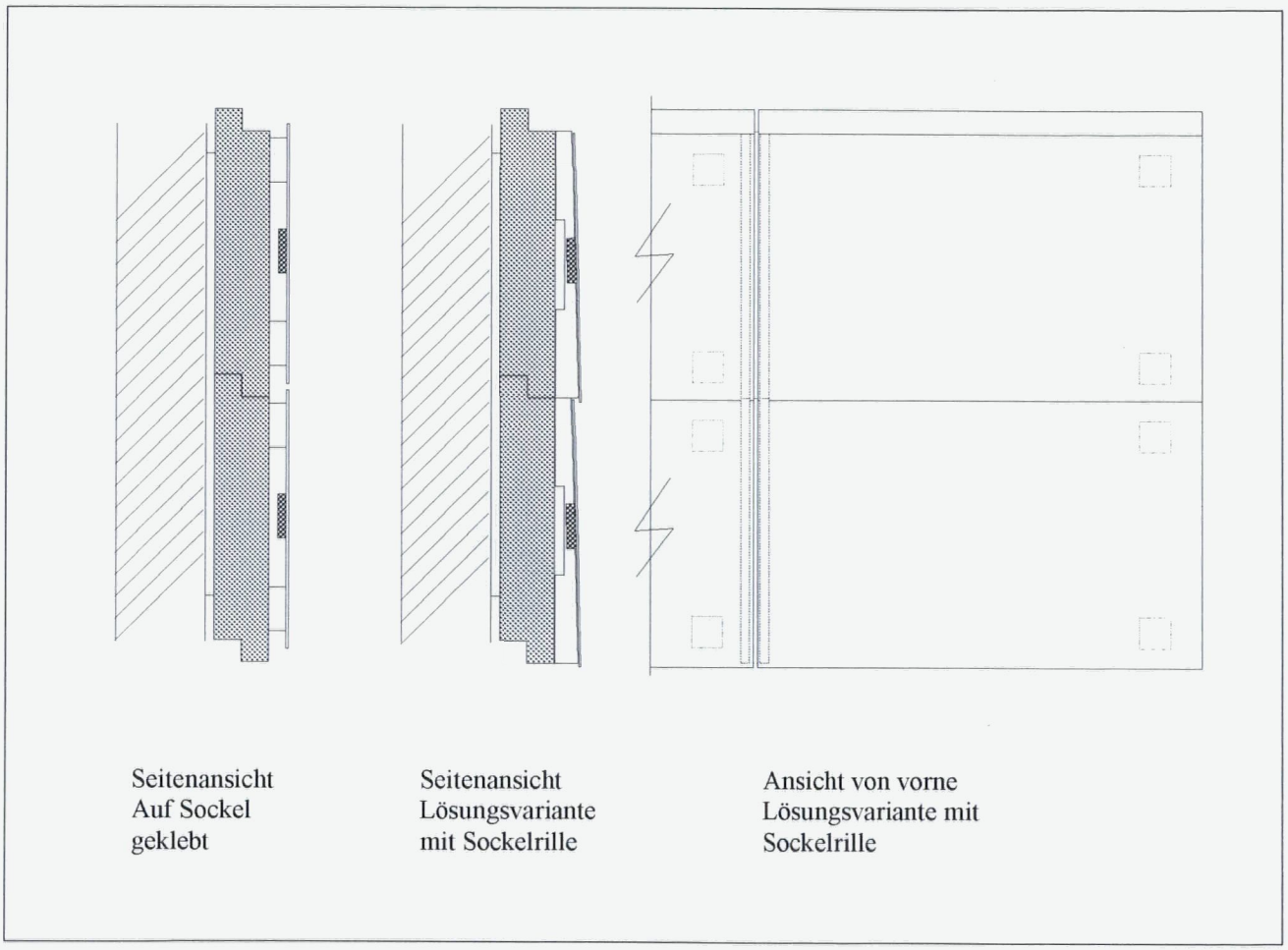


Abb. 7: Schnitt durch Fassade und Ansicht Variante PV-XPS-Fassade

Abzuklärende Punkte:

- Stabilität der Sockelverbindungen: Das Gewicht der Photovoltaikmodule muss über die Sockel und die Dämmplatte auf das Mauerwerk übertragen werden
- Qualität der Plattenverbindung zum Mauerwerk Die resultierenden Kräfte aus dem Modulgewicht müssen kleiner sein als die minimale Haftung der Verbindung zur Mauer
- Witterungsbeständigkeit Durch die Fugen eindringendes Wasser und Sonnenstrahlen dürfen das Dämmmaterial nicht beschädigen.
- Montageart Der Montageablauf muss geklärt werden
- Reparaturfreundlichkeit Ein defektes Solarmodul soll möglichst einfach ersetzt werden können.
- Art der Verkabelung Die Art der Kabelführung muss geklärt werden.

3.5 PV-XPS-Flachdach

Auf Flachdächern werden häufig Umkehr- oder Duodächer realisiert. Bei diesen liegt mindestens ein Teil der Isolationsschicht ausserhalb der Dachabdichtung. Darüber liegt normalerweise eine Kiesschicht. Die Platten, die dabei zum Einsatz gelangen, sind aus extrudiertem Polystyrol. Sie sind witterungsbeständig und zeichnen sich durch eine geringe Wasseraufnahme aus. Auf den Platten können auch Photovoltaikmodule befestigt werden. Dadurch fällt dort die Kiesschicht weg.

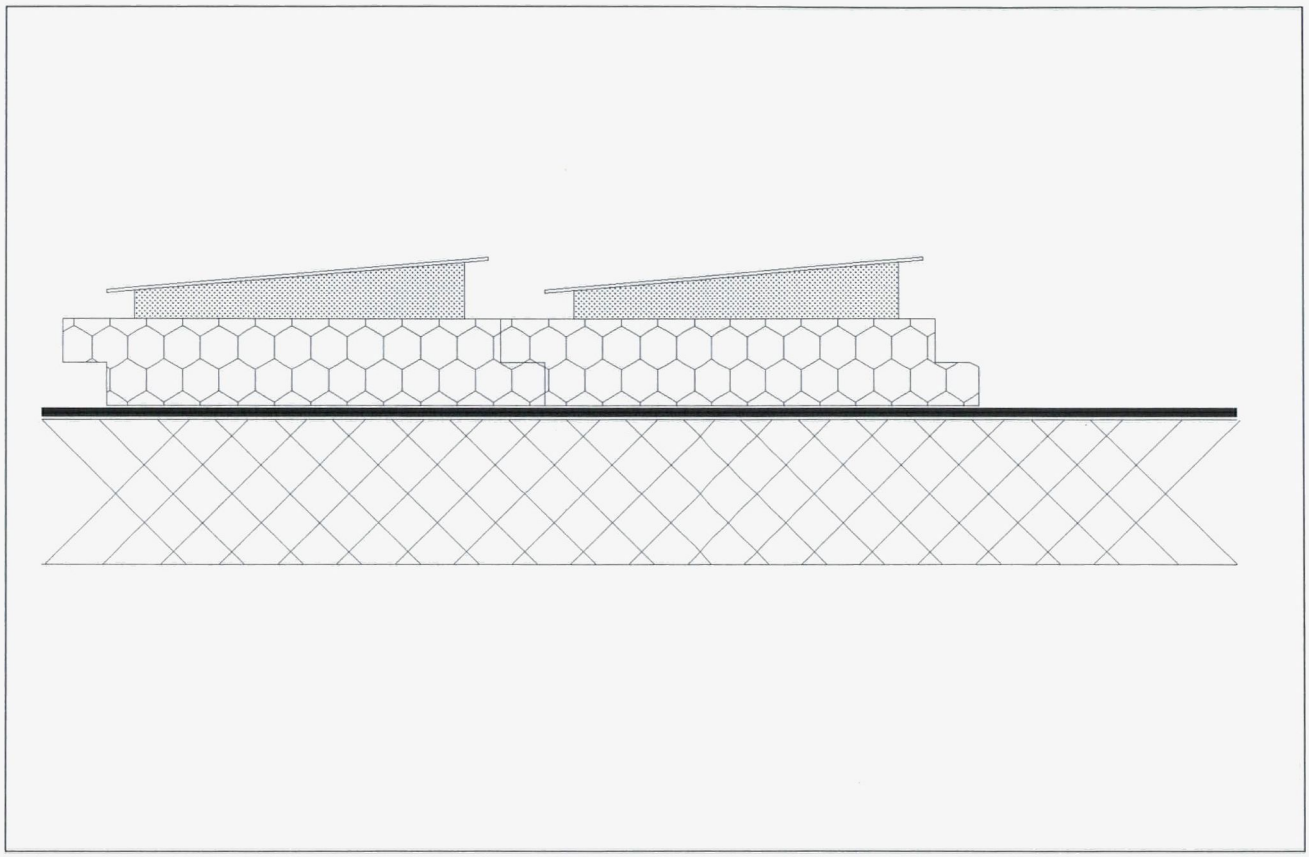


Abb. 8: Schnitt durch Flachdach Varianten PV-XPS-Flachdach

Abzuklärende Punkte:

• Stabilität der Verbindung	Das Solarmodul muss mit der XPS-Dämmplatte auch bezüglich Sogkräften gut verbunden sein.
• Stabilität im Verbund	Die Konstruktion mit Solardachplatten müssen den Anforderungen nach SIA160 genügen.
• UV-Beständigkeit	XPS ist vor UV-Bestrahlung zu schützen. Das Solarmodul deckt nicht die ganze XPS-Dämmung
• Optimale Plattengrösse	Für Standardmodule ist eine Optimierung vorzunehmen
• Reparaturfreundlichkeit	Wie wird eine Platte ersetzt?
• Begehbarkeit	Kann das Solarzellenfeld begehbar gemacht werden?
• Verkabelung	Die Art und Fixierung der Verkabelung muss geklärt werden

3.6 PV-Schaumglaselement

Schaumglaselemente zeichnen sich aus durch sehr hohe Druckfestigkeit, durch die gute Witterungsbeständigkeit und Formstabilität. Diese Elemente werden vor allem im Verbunddach eingesetzt. Bei einer zweilagigen Isolationsschicht könnte die bituminöse Abdichtung über der ersten Lage realisiert werden. Die Schaumglaselemente der äusseren Lage könnten als Träger von amorphen Solarmodulen genutzt werden.

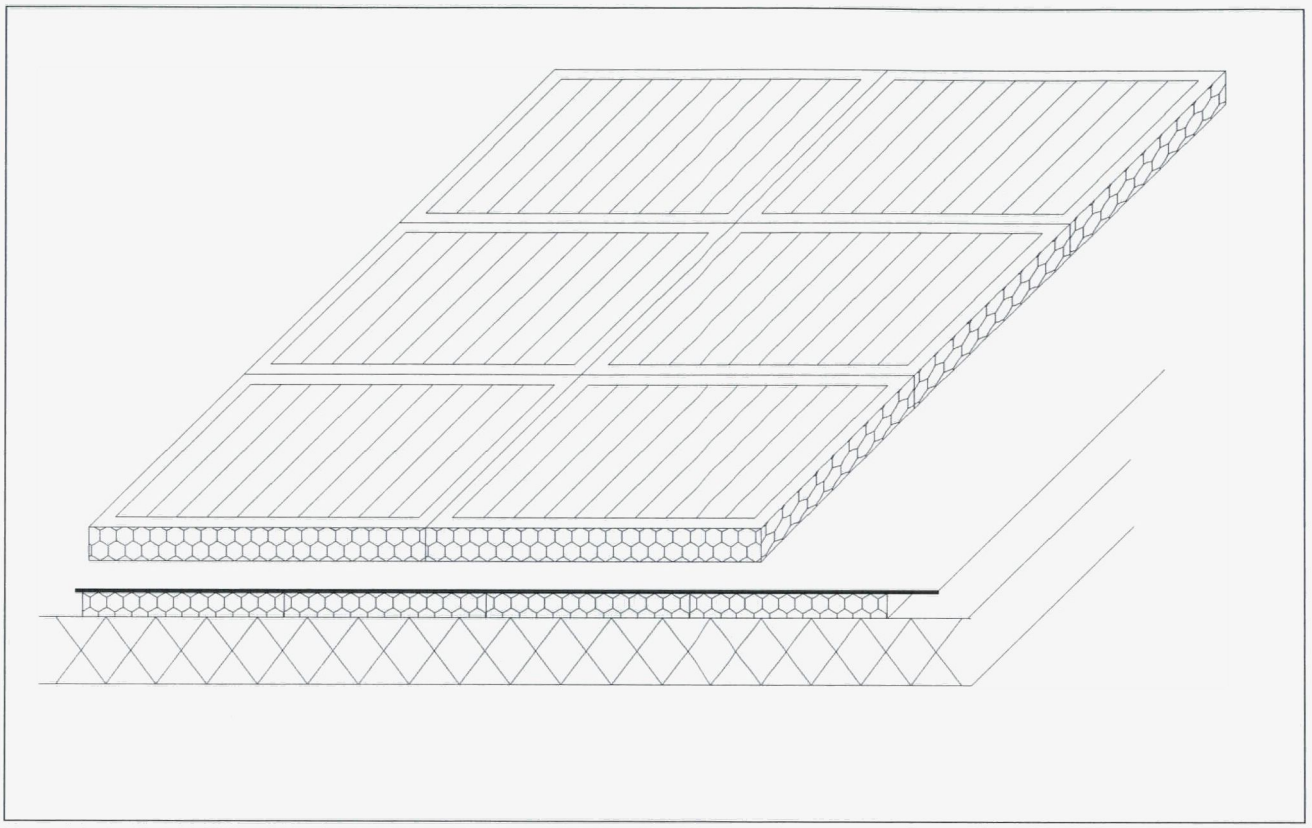


Abb. 9: Flachdachaufbau Variante PV-Schaumglaselement

Abzuklärende Punkte:

• Wärmedämmung	Isolationswirkung der zweilagigen Schaumglasisolation
• Stabilität der Verbindung	Das Solarmodul muss mit der Schaumglas-Dämmplatte auch bezüglich Sogkräften gut verbunden sein.
• Stabilität im Verbund	Die Konstruktion mit Solardachplatten müssen den Anforderungen nach SIA160 genügen.
• Verkabelung	Die Art und Fixierung der Verkabelung muss geklärt werden
• Optimale Plattengrösse	Für Standardmodule ist eine Optimierung vorzunehmen
• Begehbarkeit	Kann das Solarzellenfeld begehbar gemacht werden?
• Reparaturfreundlichkeit	Wie wird eine Platte ersetzt?

3.7 PV-Macodach

Das Macodach weist eine ein-bis dreifach überlappende Wärmedämmschicht auf. Anstelle von Ziegelsteinen, welche auf die speziellen Dämmelemente aus Polystyrol gelegt werden, sollen die Dämmelemente mit einem Solarmodul ergänzt werden. Dabei wird die Schutzfunktion des Ziegelsteines von den Solarmodulen übernommen. Diese überlappen einander, was mit zusätzlichen Dichtungsprofilen zur erforderlichen Dichte führt.

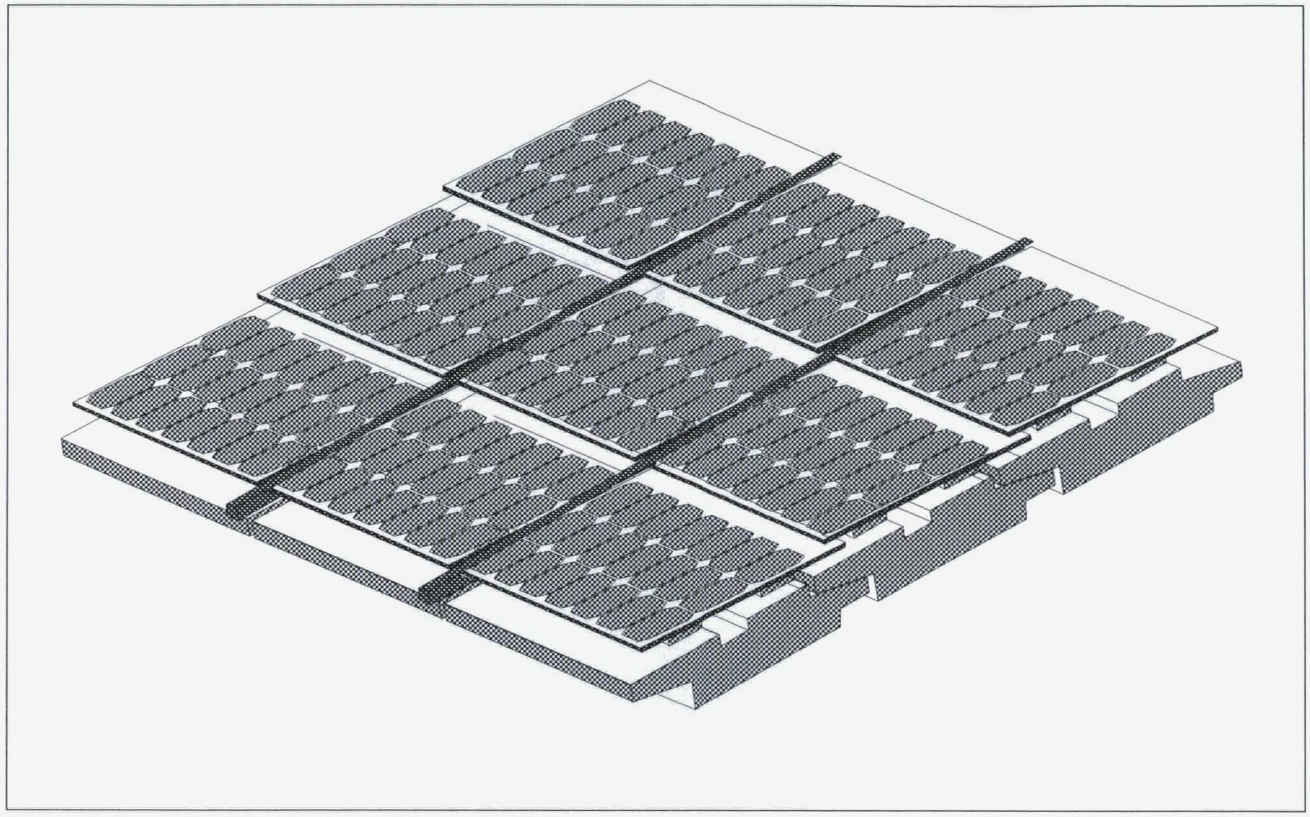


Abb. 10: PV-Macodachelemente (Photovoltaikmodule auf Sockel befestigt)

Abzuklärende Punkte:

- Art der Fixierung der Solarmodule: Die Solarmodule müssen auf den Polystyrol-Elementen fixiert sein. Denkbar ist eine Fixierung im Klebverfahren oder mit Halteklammern.
- Stabilität im Dachverbund bei Windeinfluss: Die Photovoltaikelemente haben im Verbund auf dem Dach die vorgeschriebene Windbelastung (gemäss Norm SIA 160) auszuhalten.
- Wasserschutz: Die Solarmodule müssen im Verbund eine wasserdichte Schutzschicht geben. Erst dann ergibt sich ein Doppeldach, wie dies im Bauwesen üblich ist. Es ist zu untersuchen, wie weit dies mit Überlappung und Gummidichtungen möglich ist.
- Erwärmung der Module: Der Wirkungsgrad von Solarmodulen ist umso schlechter, je wärmer die Solarzellen werden. Daher ist zu prüfen, wie gut die Solarmodule hinterlüftet werden können.
- Verkabelung: Die in den Solarmodulen produzierte Energie muss via Kabel weggeführt werden. Zwischen Solarmodul und Polystyrol ist genügend Platz für Kabel vorhanden. Denkbar ist auch ein Durchführen der Kabel bis unter die PS-Elemente und die Verbindung derselben dort.
- Montage- und Reparaturfreundlichkeit: Die Montage des isolierten und mit Solarzellen versehenen Daches muss möglichst einfach sein. Auch der Ersatz eines defekten Solarmodules soll einfach möglich sein.
- Randprobleme: Der Übergang Solarmodul zu anderer Dachüberdeckung muss geklärt sein.

3.8 PV-Thermodach System AMPUS

Das Thermodach besteht aus einzelnen Polystyrolelementen, welche überlappend und in angepassten Kunststoffschalen auf die Dachlattung aufgelegt werden. Das Thermodach erfüllt die Funktion eines wasserführenden Unterdaches. Anstelle der Ziegelsteine, welche normalerweise auf das Thermodach aufgelegt werden, werden die Thermodachelemente mit Solarzellen ergänzt.

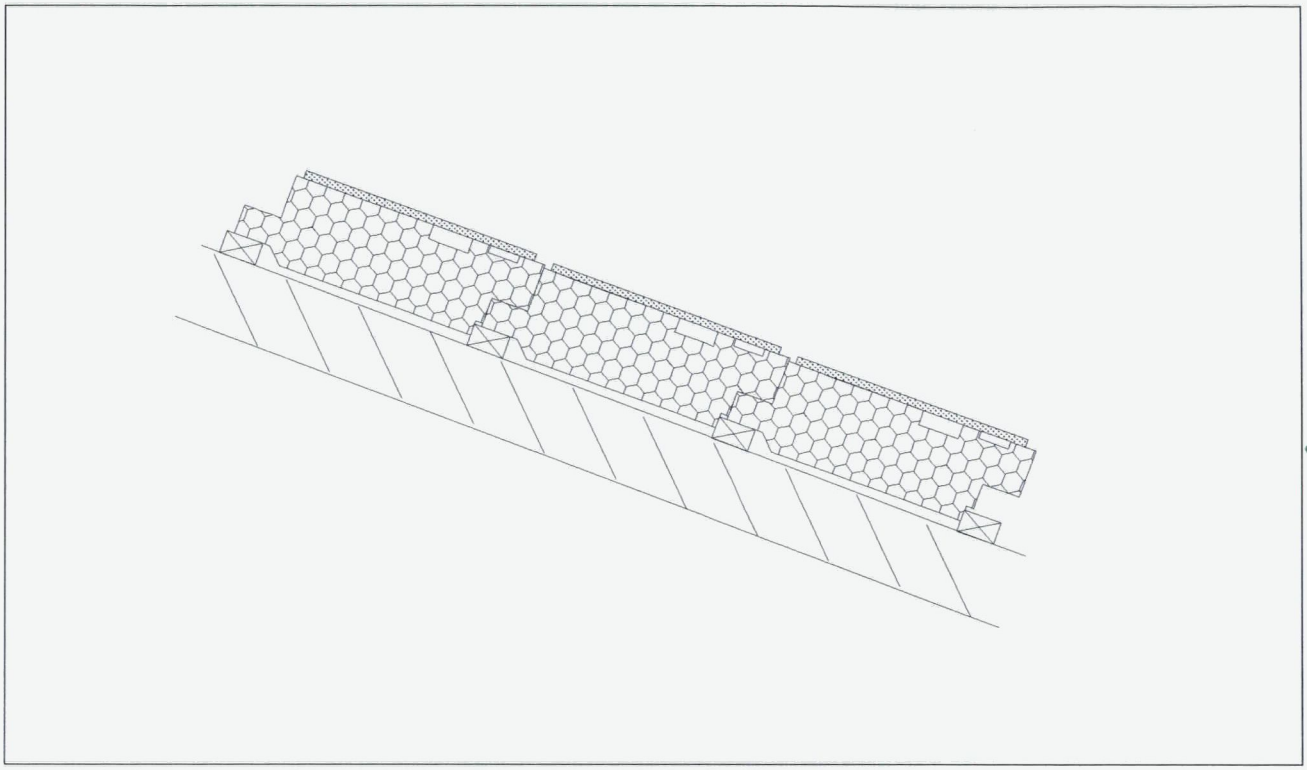


Abb. 11: Steildachaufbau Variante PV-Thermodach (Module direkt aufgeklebt)

Abzuklärende Punkte:

- Art der Fixierung der Solarmodule: Die Solarmodule müssen auf den Polystyrol-Elemente fixiert sein. Denkbar ist eine Fixierung im Klebverfahren oder mit Klammern.
- Stabilität im Dachverbund bei Windeinfluss: Die Photovoltaikelemente haben im Verbund auf dem Dach die vorgeschriebene Windbelastung (gemäss Norm SIA 160) auszuhalten.
- Wasserschutz: Das PV-Thermodach muss den im Bauwesen üblichen Wasserschutz bieten. Üblich ist ein Doppeldach. Um ein solches zu erhalten, sind 2 Ansätze denkbar: Entweder wird unter der Lattung ein konventionelles Unterdach angebracht oder die Solarmodule werden als 2. Schutzschicht konzipiert. Es ist zu untersuchen, wie weit dies mit Überlappung und Gummidichtungen möglich ist.
- Erwärmung der Module: Der Wirkungsgrad von Solarmodulen ist umso schlechter, je wärmer die Solarzellen werden. Daher ist zu prüfen, ob die Solarzellen hinterlüftet werden können. Der Einsatz von amorphen Solarzellen ist zu überlegen, da diese die kleinere Temperaturabhängigkeit zeigen.
- Montagefreundlichkeit: Die Montage des isolierten und mit Solarzellen versehenen Daches muss möglichst einfach sein.
- Reparaturfreundlichkeit: Der Ersatz eines defekten Solarmodules soll einfach möglich sein.
- Verkabelung: Die in den Solarmodulen produzierte Energie muss via Kabel weggeführt werden. Zwischen Solarmodul und Polystyrol ist Platz für Kabel vorhanden. Denkbar ist auch ein Durchführen der Kabel bis unter die Polystyrol-Elemente und die Verbindung derselben dort.

3.9 PV-Fertigdach

Die Fertigdachisolationselemente von Wilan, Montana oder von Thyssen sind Elemente mit Mehrfachfunktion: fertige Aussenddachbeplankung, Isolationsdämmkern, Dampfsperre und fixfertige Innenbeschichtung. Die Elemente sind vorwiegend im Hallenbau auf Stahl- oder Holzpfettenkonstruktionen eingesetzt. Diese Elemente können auch mit Solarmodulen ergänzt werden.

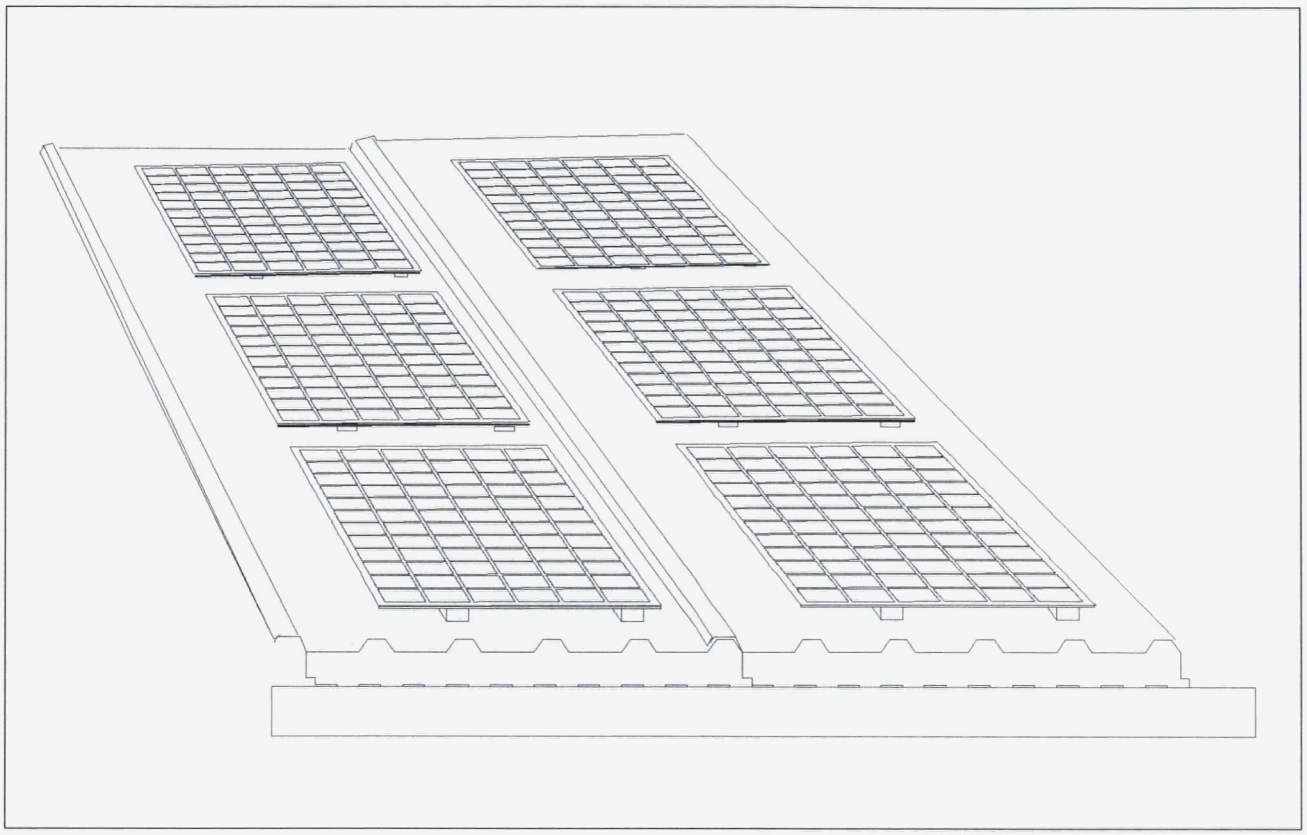


Abb. 12: Blick auf 2 PV-Fertigdachelemente

Abzuklärende Punkte:

- Fixierung der PV-Module — Die Solarmodule müssen am Fertigdachdämmelement stabil befestigt sein.
- Wahl des Solarmodules: — Die Fertigdachdämmelemente weisen standardmässig eine Länge von bis zu 10m auf. Das geeignete Solarmodul dazu ist zu evaluieren.
- Wasserschutz — Die Befestigungsart der Solarmodule darf keine undichten Stellen erzeugen.
- Montagefreundlichkeit — Die Montage der Fertigdachdämmelemente darf durch die Solarmodule nicht wesentlich erschwert werden.
- Reparaturfreundlichkeit — Eine Reparatur der Solaranlage soll möglich sein.
- Verkabelung — Die in den Solarmodulen produzierte Energie muss via Kabel weggeführt werden. Auch der Ort der Kabeleinführung ist zu untersuchen.

3.10 PS-Tragstruktur

Auf einer grossen Isolationsplatte zB. aus Polystyrol oder Steinwolle wird eine überlappende Unterdachbahn fixiert. Dies entspricht auch einem wärmedämmenden Unterdachelement der Gantner AG. Auf dem Unterdachelement ist eine Kunststoffschale befestigt, welche die Bedachung bildet. Die Kunststoffschale weist eine Halterung auf für Solarmodule und dient als Tragbasis für Betonsteine zur Erreichung der erforderlichen Stabilität.

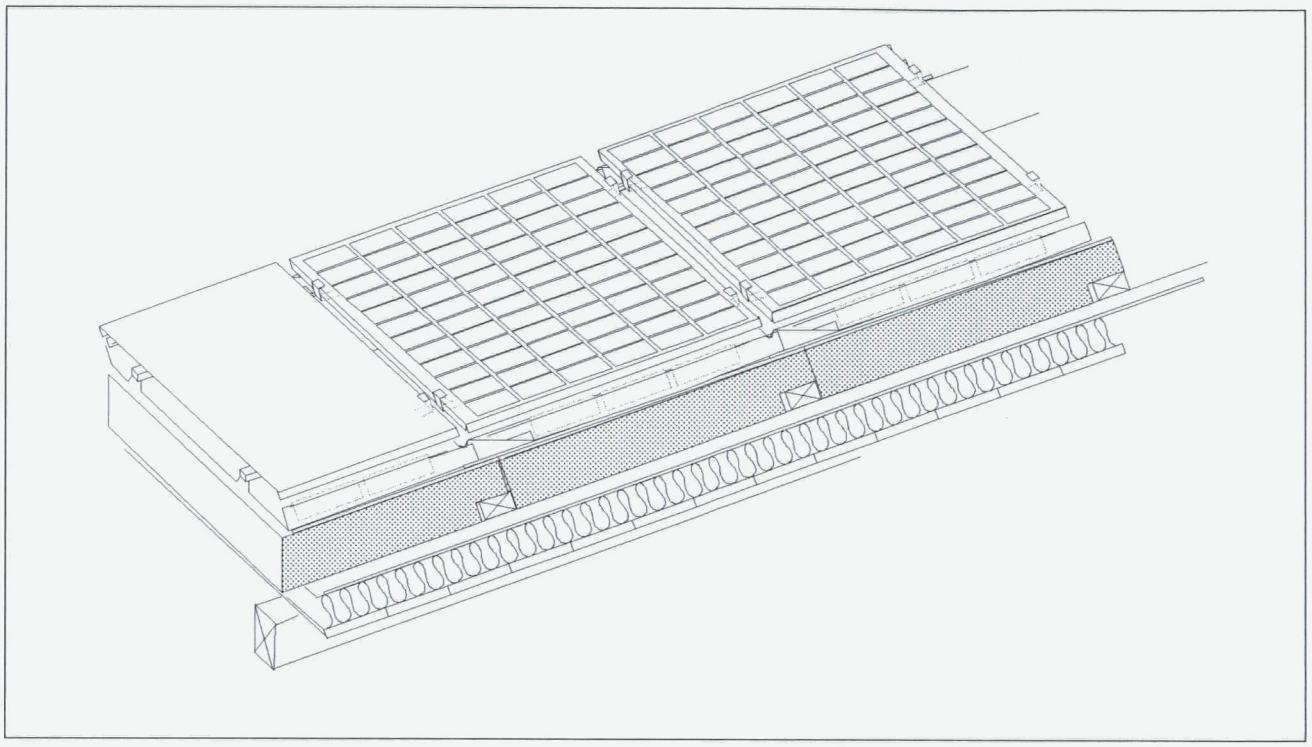


Abb. 13: Dachaufbau Variante PS-Tragstruktur

Abzuklärende Punkte:

- Stabilität im Dachverbund bei Windeinfluss: Die Photovoltaikelemente haben im Verbund auf dem Dach die vorgeschriebene Windbelastung (gemäss Norm SIA 160) auszuhalten.
- Fixierung der PV-Module: Die Halteprofile für die Fixierung der Solarmodule sind an der Kunststoffschale befestigt. Diese Verbindung ist zu überprüfen.
- Wasserschutz: Die sich überlappenden Kunststoffschalen müssen eine dichte Bedachung bilden. Zudem muss die Funktion des Unterdaches gewährleistet sein.
- Brandschutz: Die Lösung soll den Brandschutzrichtlinien für Steildächer entsprechen.
- Montagefreundlichkeit: Mit der Montage des Elementes ist sowohl das Unterdach und die Bedachung platziert. Dieser Montageablauf ist zu überprüfen.
- Reparaturfreundlichkeit: Das Ersetzen eines defekten Solarmodules muss möglich sein.
- Ideale Plattengrösse: Hinsichtlich Material- und Montagekosten ist die Plattengrösse zu optimieren
- Verkabelung: Die in den Solarmodulen produzierte Energie muss via Kabel weggeführt werden.

3.11 PV-Alpur-Dach

Alpur-Dämmelemente beinhalten einen Dämmstoff aus Polyurethan-Hartschaum , sowie eine Unterdachbahn aus Polymerbitumen. Diese Dämmelemente können mit einer Halterung ergänzt werden, welche der Fixierung von Photovoltaikmodulen dient. Die Photovoltaikelemente ihrerseits bilden die Bedachung.

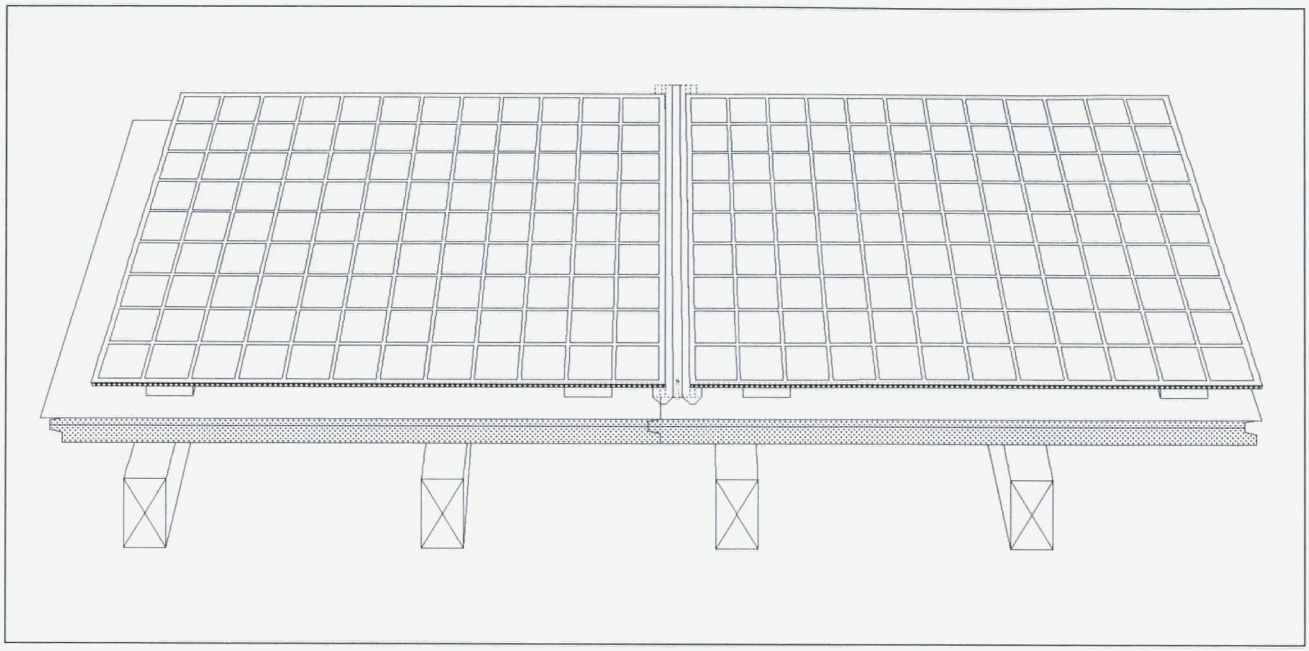


Abb. 14: Dachaufbau Variante PV-Alpur-Dach

Abzuklärende Punkte:

- Stabilität im Dachverbund bei Windeinfluss: Die Photovoltaikelemente haben im Verbund auf dem Dach die vorgeschriebene Windbelastung (gemäss Norm SIA 160) auszuhalten.
- Fixierung der PV-Module: Die Solarmodule in der Funktion der Bedachung müssen vom Unterdach mit der Dämmschicht getrennt werden können.
- Wasserschutz: Die Bedachung muss mit den Photovoltaikmodulen und zusätzlichen Schutzelementen realisiert werden. Das Konzept Unterdach-Bedachung ist zu überprüfen.
- Brandschutz: Die Lösung soll den Brandschutzrichtlinien für Steildächer entsprechen.
- Montagefreundlichkeit: Die Montage des isolierten und mit Solarzellen versehenen Daches muss möglichst einfach sein.
- Reparaturfreundlichkeit: Der Ersatz eines defekten Solarmodules soll einfach möglich sein.
- Ideale Plattengrösse: Solarmodule im Standard-Alpur-Platten-Format wären recht gross und schwer.
- Verkabelung: Die in den Solarmodulen produzierte Energie muss via Kabel weggeführt werden.

3.12 PV-Metall-Dämmelement

United Solar produziert grössere amorphe Solarmodule für Metalldächer. Diese Solarmodule von rund 3m Länge und 40 cm Breite lassen sich auch mit einer Dämmplatte verbinden. Die Bedachung wird dabei durch die Metallbahn gebildet, welche das Solarmodul trägt.

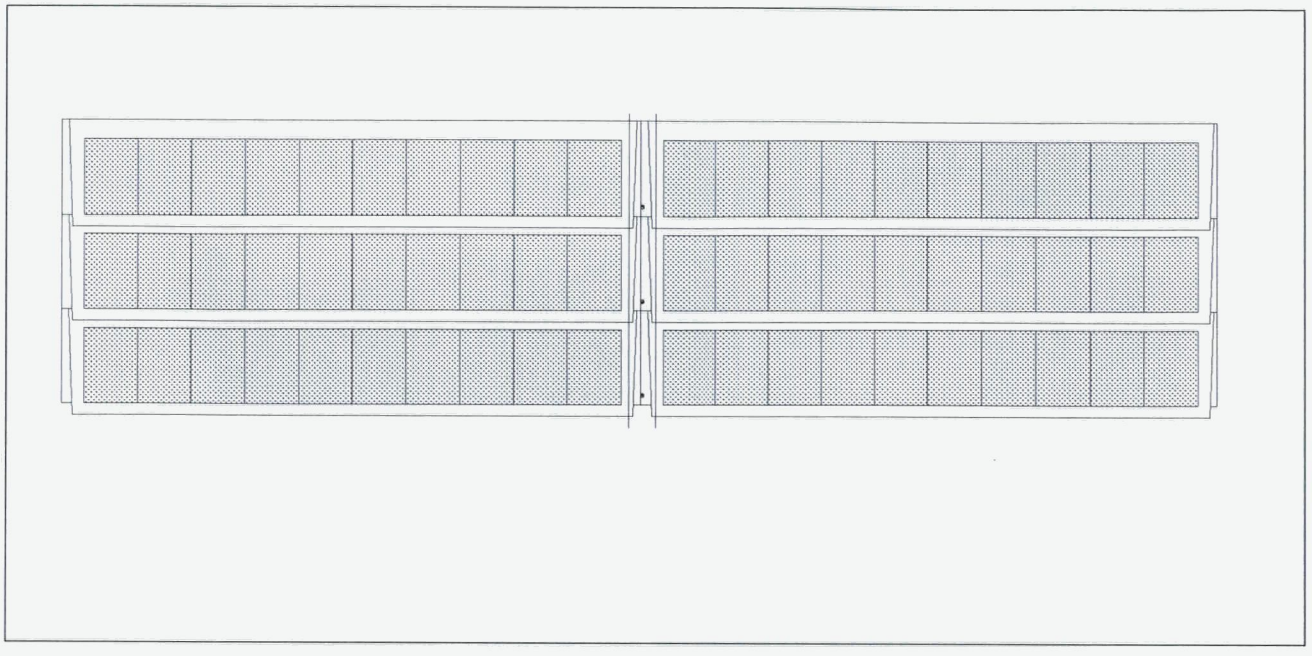


Abb. 15: Dachaufsicht auf 6 Elemente Variante PV-Metall-Dämmelement

Abzuklärende Punkte:

- Stabilität im Dachverbund bei Windeinfluss: Die Photovoltaikelemente haben im Verbund auf dem Dach die vorgeschriebene Windbelastung (gemäss Norm SIA 160) auszuhalten.
- Wasserschutz: Die Bedachung wird durch die überlappenden Metallplatten sowie zusätzliche Befestigungsprofile realisiert. Deren Funktionalität ist zu überprüfen. Zu überprüfen ist auch die Realisierung und Funktionalität des Unterdaches.
- Brandschutz: Die Lösung soll den Brandschutzrichtlinien für Steildächer entsprechen.
- Montagefreundlichkeit: Die Montage des isolierten und mit Solarzellen versehenen Daches muss möglichst einfach sein.
- Reparaturfreundlichkeit: Der Ersatz eines defekten Solarmodules soll einfach möglich sein.
- Ideale Plattengrösse: Beschattungen durch Befestigungselemente seitlich der Zellen müssen möglichst vermieden werden.
- Verkabelung: Die in den Solarmodulen produzierte Energie muss via Kabel weggeführt werden.

4 Randbedingungen und Beurteilungskriterien

Ein Photovoltaikelement wird mit einem Isolationselement kombiniert. Für das kombinierte Element sind die je eigenen Charakteristika wie auch die durch die Kombination entstehenden wichtig.

1.	Qualität der Kombination	Die Solarzellen müssen langlebig mit der Isolation verbunden sein
2.	Stabilität im Verbund	Die einzelnen Elemente werden ins Gebäude integriert. Dabei muss eine stabile Schicht des Daches oder der Fassade entstehen, die den Anforderungen entsprechend SIA Norm 160 genügt.
3.	Dämmwirkung, u-Wert:	Die Isolation weist einen bestimmten u-Wert auf, der im Verbund nur unwesentlich verändert werden soll.
4.	Elektrische Leistung	Das Element beinhaltet eine Anzahl Solarzellen mit einer genormten Leistung
5.	Reparaturmöglichkeit	Im Schadenfall soll das defekte Solarmodul möglichst einfach ersetzt werden können.
6.	Preis pro Element	Der Preis pro Element, resp pro m2, resp. pro installiertes W soll möglichst tief sein.
7.	Montageaufwand	Die Kosten für die Montage der Elemente soll möglichst tief sein

Die kombinierten Photovoltaik-Isolationselemente bilden die äusserste Schicht des Daches respektive der Fassade. Dementsprechend sind sie der Witterung (Wasser, Wind, Hagel, Schnee, Sonne) ausgesetzt und haben diverse Funktionen zu übernehmen:

8.	Wasserdichte:	Die Gebäudehaut muss dicht sein
9.	Mechanischer Schutz zB. Hagel	Natürliche Einflüsse dürfen den PV-Isolationselementen keine Beschädigung verursachen
10.	UV-Beständigkeit	Die Elemente haben auch bezüglich UV-Licht langzeitbeständig zu sein

Die kombinierten Photovoltaik-Isolationselemente bilden einen Teil des Dach- oder Aussenwandaufbaus. Dementsprechend haben sie Einfluss auf diverse Systemanforderungen an den Dach- oder Wandaufbau:

11.	Dampfdiffusion	Bei kalter Witterung kann Feuchtigkeit ins Bauteil diffundieren. Eventuell entstehendes Kondenswasser darf einen bestimmten Grenzwert nicht überschreiten und muss wieder austrocknen können
12.	Sommerlicher Wärmeschutz	Die Sonnenstrahlung im Sommer soll einen möglichst langsamen Temperaturanstieg im Gebäudeinnern verursachen. Folgende Grössen gilt es dabei zu optimieren: Amplitudendämpfung: Diese gibt an, wie stark sich bei täglichen Temperaturschwankungen des Aussenklimas die Temperatur im Gebäudeinnern mitbewegt. Phasenverschiebung: Diese gibt an, mit welcher zeitlichen Verschiebung die Temperatur im Gebäudeinnern den täglichen Temperaturschwankungen des Aussenklimas folgt. Instationäres Verhalten: Amplitudendämpfung und Phasenverschiebung charakterisieren das instationäre Verhalten der Gebäudehülle.
13.	Schallschutz	Das Bauteil weist eine Schallabsorption auf, die möglichst gross sein soll
14.	Brandschutz	Die Anforderungen bezüglich Brandschutz sind einzuhalten Mit dem Ziel, Brände zu verhüten, wurden vom SIA Empfehlungen und von der Vereinigung kantonaler Feuerversicherungen (VKF) Richtlinien und Wegleitungen herausgegeben. In der Brandschutzrichtlinie des VKF werden für diverse Gebäudeteile die minimalen Brandkennziffern tabelliert. Für Fassade und Dach sehen diese Anforderungen an die äusserste Schicht wiefolgt aus:

Häuser mit	1-2 Geschosse	3 und mehr	Hochhäuser
Aussenschicht Fassade	4.2	4.3 od. 6.3	6.3
Oberste Schicht Flachdach	4.1, 5.1 oder 6.3 je nach Aufbau		6.3
Oberste Schicht Steildach	6.3	6.3	6.3

Die einzelnen Solarmodule müssen zu einer Gesamtanlage verbunden werden. Diesbezüglich sind weitere Kriterien wichtig:

15.	Verkabelung	Die PV-Isolationselemente sollen möglichst einfach miteinander verbunden werden können.
16.	Temperatureinfluss, Hinterlüftung	Die Module sollen sich möglichst nicht zu stark erwärmen, um die Leistungsabnahme infolge Erwärmung klein zu halten.
17.	Kabeleinführung	Die Einführung der Kabel ins Gebäude soll einfach realisierbar sein

Wenn die kombinierten PV-Isolationselemente nicht das ganze Dach oder die ganze Fassade ausfüllen, dann müssen Übergänge zu üblichen Bauteilen vorgesehen werden, was ein gewichtiges Kriterium ist:

18.	Übergänge und Abschlüsse	Der Übergang zu konventionellen Gebäudeteilen neben PV-Elementen soll möglichst einfach und funktionell sein. Auch Abschlüsse an einem Dachrand oder der Fassadenkante sollen einfach möglich sein.

5 Untersuchung der Varianten

Die verschiedenen Varianten werden hinsichtlich der angeführten Randbedingungen und Beurteilungskriterien näher untersucht.

5.1 PV-Fassadenelement Euro-PV-Wand

Das Eurowand-System der Firmen Schneider AG und Flumroc AG ist ein häufig eingesetztes Fassadensystem im Gewerbe- und Industriebau. Auf die Tragkonstruktion des Gebäudes (meistens aus Metall) werden Innen-Metallkassetten geschraubt. In diese werden doppelschichtige Euroc-Dämmplatten eingeklappt. Als Wetterschutz und Schutz der Dämmschicht werden Trapezbleche an die Kassetten angeschraubt. Anstelle dieser Trapezbleche können Solarmodule eingesetzt werden.

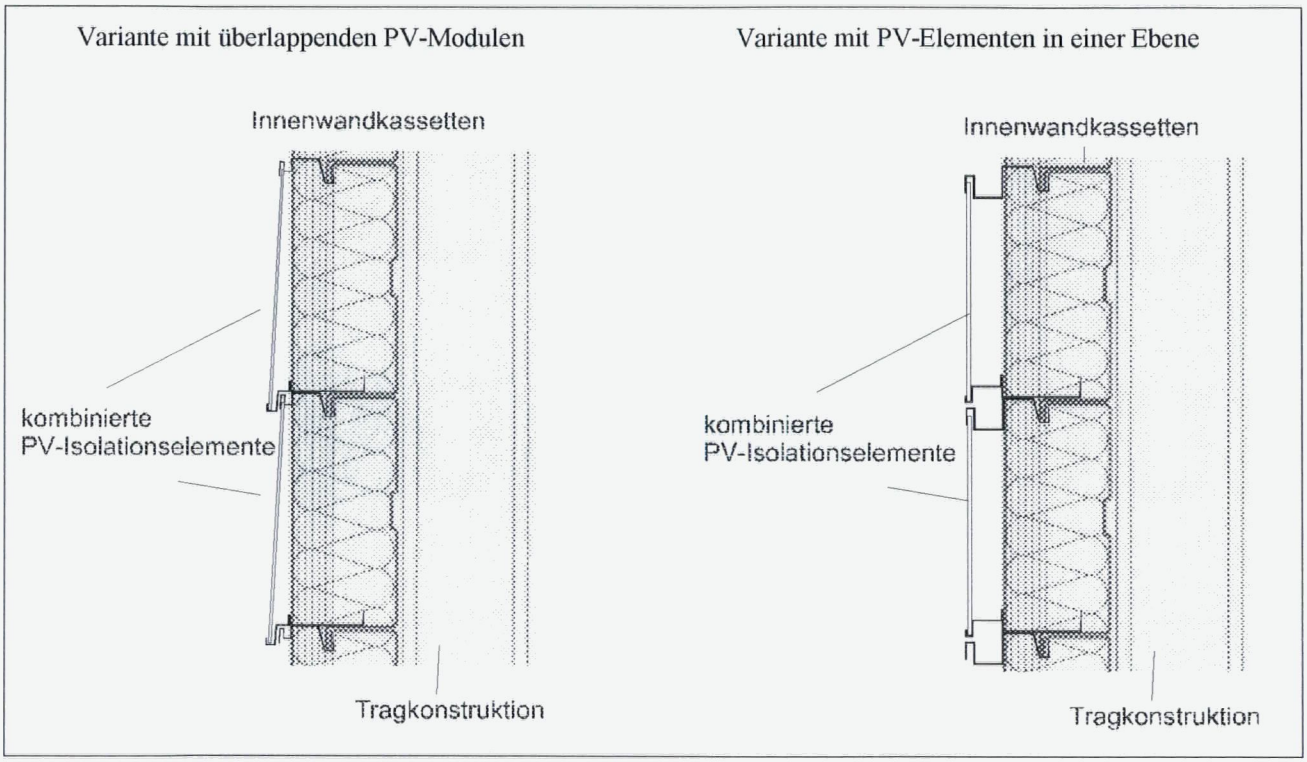


Abb. 16: Schnitte durch Fassade mit überlappenden Modulen und mit Solarmodulen in einer Ebene

5.1.1 Qualität der Kombination:

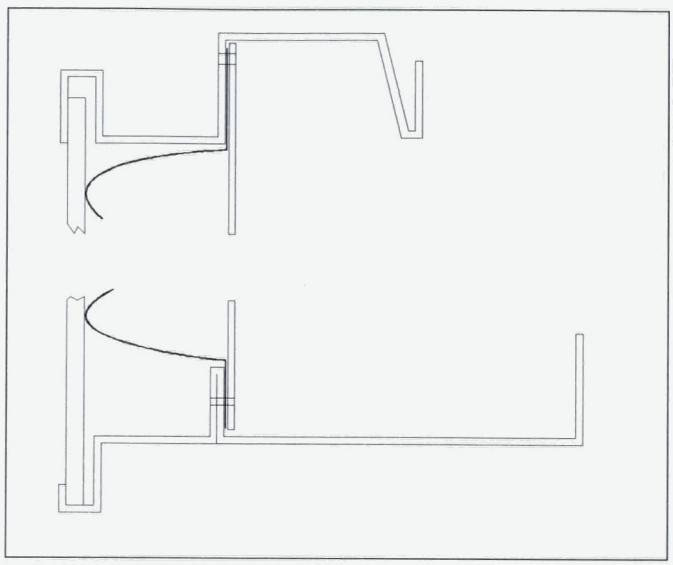
Die Verbindung von Steinwollplatte und Solarmodul wird mit Halteklammern realisiert, welche fest auf der Steinwollplatte verankert sind. Mittels Metallfedern werden die Module in der richtigen Lage in der Halterung fixiert. Die Solarmodule können aber durch Anheben aus den Halteklammern gelöst werden. Die Haltevorrichtung aus Aluminium oder Chromstahl ist wetterbeständig und langlebig.

5.1.2 Stabilität im Verbund:

Die Blechkassetten dieser Wandkonstruktion werden an die Tragelemente (Metallträger oder auch Mauerwerk) geschraubt. Die Stärke der Verbindung kann durch die Schraubenanzahl und die Schraubenart vergrössert werden und ist von den Kassettenlieferanten gut untersucht und belegt worden. Die PV-Isolationselemente werden nun in die Blechkassetten eingeklappt. Das Gewicht der Elemente wirkt unten auf die Blechkassetten ein und wird von diesen auf die Tragkonstruktion übertragen.

Belastung der Isolationsplatte:
Bei der Flumroc AG wurden Messungen durchgeführt, welche die Belastbarkeit der „Euroc"-Platte in Querrichtung aufzeigen. Als Resultat kann festgehalten werden, dass bei 100mm Dicke mit einer maximalen Stauchung von 7.9mm bei einem minimalen Druck von 0.023 N/mm^2 gerechnet werden muss (vergleiche Anhang E). Bei Annahme eines 50 cm breiten Solarmodules mit ca. 10 kg Gewicht zeigt sich, dass für die Aufnahme und Übertragung des Gewichtes auf die Kassetten eine Halterung zwingend ist.
Eine einfache Halterung basiert auf Metallklammern, welche das Isolationselement oben und unten umgeben.

Belastung der Blechkassetten resp. der Halteklammern
Da die Isolationsplatten in die Blechkassetten eingeklappt werden, können die Metallklammern die Isolation nicht vollständig umgeben. Vor allem die hintere, untere Kante der Isolationsplatte muss frei respektive dehnbar sein, um das Einklappen zu ermöglichen. Folgende Klammerformen versprechen, die erforderliche Stabilität bezüglich Modulfixierung und Übertragung der Kräfte auf die Blechkassetten zu erbringen.



Die obere und untere Halteklammer werden mit einem Verbindungstück zusammengehalten. Damit wird ein Ausscheren des Solarmodules bei starker Krafteinwirkung verhindert. Mittels Metallfedern wird das Solarmodul in den Metallhalterungen stabilisiert.

Abb. 17: Halteklammern und Metallfedern

Das Gewicht des Solarmodules wirkt aussen auf die untere Halteklammer ein. Über die Klammern wird die Kraft auf die Innenwandkassetten übertragen. Die Berechnung für die resultierenden Spannungen und Ausdehnungen in den Blechkassetten (vergleiche Berechnung im Anhang D) bestätigt die nötige Stabilität dieser Lösung.

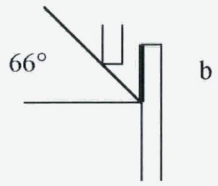
5.1.3 Dämmwirkung, U-Wert

Die Dämmwirkung der Euro-PV- Wand-Elemente ist gegeben durch die verwendeten Euroc-Platten. Durch die Metallklammern ergeben sich Wärmebrücken, deren Auswirkung hinsichtlich des betroffenen Flächenanteils an der Isolation sehr gering ist. Bei 125 mm Dämmdicke ergibt sich ein u-Wert von rund 0.35 W/m^{2}K.

5.1.4 Elektrische Leistung

Standardgrössen der Blechkassetten sind 33cm, 50cm und 60cm. Aus Kostengründen sind auch standardisierte Photovoltaikmodule für die Kombination mit Euroc-Platten zu bevorzugen. Bei Einsatz von ASE-Modulen mit amorphen Solarzellen resultiert bei einer Plattengrösse von rund 0.6 x 1m eine elektrische Leistung von 32 W.

Werden die Halteklammern so gewählt, dass die Module in der Fassade überlappen, dann ist eine Modulbreite von etwas über den angegebenen Blechkassettenbreiten erforderlich. In diesem Fall muss aber sichergestellt werden, dass auch im Hochsommer durch die Überlappung keine Beschattung der darunterliegenden Solarzellen erfolgt.

Problematik der Überlappung: Schattenwurf im Sommer  	Im Sommer steht die Sonne sehr hoch (rund 66° in der Schweiz). Dadurch wird von der äusseren Platte auf die untenliegende ein Schatten geworfen: Bei einem Plattenabstand von 1 cm ergibt sich ein beschatteter Streifen von tan66° x 1cm = 2,2 cm Wird eine Überlappung von rund 0.8mm gewählt ergibt sich der Min. Zellenabstand Moduloberkante b = 2.2 +0.8 = 3cm

Dies bedeutet, dass Module gefragt sind, welche zumindest an einer Längskante einen Zellenabstand zur Kante von mindestens 3 cm haben. Auf der anderen Seite darf der Abstand viel kleiner sein.

5.1.5 Reparaturmöglichkeiten

Die Fixierung der Solarmodule auf der Isolationsplatte mittels Metallhalterung erlaubt die Entfernung jedes einzelnen Moduls, ohne dass die Isolationsplatte ebenfalls entfernt werden muss. Das Auswechseln eines Modules ist einfach möglich.

5.1.6 Preis pro Element

Die Kostenberechnung eines PV-Isolationselementes mit einer 125mm dicken Eurocplatte und einem 32W-ASI-Modul von ASE ergibt einen Preis von 271 Fr./ Element. Dies entspricht einem Preis von 8.47 Fr./W resp. 451Fr./m^2.

5.1.7 Montageaufwand

Basis für die Montage von Euro-PV-Wand-Elementen ist die Fixierung der Metallkasseten. Sind diese im Rahmen der Errichtung des gesamten Gebäudes einmal angebracht, so erfolgt die Montage der PV-Elemente durch Einklicken der kombinierten Elemente in die Metallkassetten. Die Kabelverbindung (Steckverbindung) wird während oder nach dem Einklicken des Elementes vorgenommen. Steht die Verkabelungsart fest, so kann mit einer Montageleistung von rund 2-3m2 pro Std. und Person (ca. 24 Fr./m2) gerechnet werden.

5.1.8 Wasserdichte

Bei Betrachtung des Kriteriums Wasserdichte bei diesem Fassadenaufbau sind folgende Überlegungen wichtig: Werden die Module überlappend angeordnet, so ist das Eindringen von Wasser bei den horizontalen Übergängen praktisch verhindert. Soll auch das Eindringen von Wasser durch die vertikalen Fugen bei den Plattenübergängen verhindert werden, sind zwischen Modul und Isolation im Bereich der vertikalen Kante Auffangrinnen anzubringen. Dies ist mit zusätzlichen Kosten verbunden und scheint aus folgendem Grund eher unnötig: Es handelt sich bei dieser Konstruktion sozusagen um eine vorgehängte, hinterlüftete Fassade mit geringem Fugenanteil gegenüber der gesamten Fassadenfläche. Dies bedeutet, dass bei Unwetter nur wenig Wasser eindringt, da im Zwischenraum zwischen Modul und Isolation dieselben Druckverhältnisse vorhanden sind wie aussen. Zudem sorgt die Hinterlüftung immer wieder für ein Austrocknen von eventuell feuchten Stellen. Diese Auffassung, dass Fugen von vorgehängten Fassaden (kleiner 1 cm) keine schadhafte Auswirkung haben, wird zudem auch von Untersuchungen von Prof. K. W. Liersch an der TU Cottbus Deutschland belegt (vgl. Anhang). Wird dennoch ein Schutzprofil bei der vertikalen Fuge angebracht, so kann diese eine zusätzliche Funktion als Halterung der Verbindungskabel übernehmen.
Die Untersuchungen von Prof. Liersch führen auch dazu, eine Halterung der Module ohne Überlappung weiterzuverfolgen. Die Metallklammern könnten dadurch vereinfacht werden und da die Module nun in einer Ebene liegen, sind auch gegenseitige Beschattungseffekte im Hochsommer kein Problem mehr.
Die Halteklammern sind rostfrei. Wird bei starkem Unwetter die Euroc-Isolationsplatte nass, so wird diese durch den Hinterlüftungsraum wieder austrocknen.

5.1.9 Mechanischer Schutz

Die Solarmodule haben ein gehärtetes, eisenarmes Deckglas, welches entsprechend der Norm Ispra 503 strengen Anforderungen bezüglich Hagelbeschuss genügen muss. Demzufolge ist durch die Solarmodule auch die Fassade bei Hagelwetter geschützt. Wie alle Glasfassaden ist hingegen auch eine Euro-PV-Wand bei Vandalismus durch Steinwurf oder sonstige schwere Gegenstände schlecht geschützt. Die Glasscheiben zersplittern in viele kleine Teile,

welche durch das Laminat zusammenhängend bleiben. Vor allem bei Hochhäusern ist eine zusätzliche Sicherung der einzelnen Solarmodule durch Stahlseile vorzusehen, da defekte Module aus der Metallhalterung austreten könnten.

5.1.10 UV-Beständigkeit

Sowohl die Solarmodule, wie die Halterung und die Isolationsplatte sind UV-beständig.

5.1.11 Dampfdiffusion

Die Innen-Metallkassetten bilden eine wind- und dampfdichte Fassadenschicht. Die Wärmdämmung und die Aussen-Fassadenbekleidung sind bezüglich Dampfdruck dem Aussenklima ausgesetzt. Durch die Erstellung einer Euro-PV-Wand wird die Dampfdiffusion gegenüber einer gewöhnlichen Eurowand nicht verändert.

5.1.12 Sommerlicher Wärmeschutz

Eine vorgehängte Fassade verbessert den sommerlichen Wärmeschutz. Die Sonne strahlt auf die Solarmodule, ein Teil der eingestrahlten Wärme wird durch den Hinterlüftungsraum abtransportiert. Die Wärmeisolation ist nicht direkt der Sonne ausgesetzt und leitet die Wärme weniger schnell ins Innere.

5.1.13 Schallschutz

Das bewertete Bauschall-Dämmmass Rw einer Eurowand ist bei einer 150mm dicken Dämmschicht 48 dB. Durch das Vorhängen der Solarmodule anstelle des Trapezblechs ist mit einer leicht reduzierten Dämmwirkung bezüglich Luftschall, hingegen mit einer Verbesserung bezüglich Körperschall zu rechnen.

5.1.14 Brandschutz

Die Euro-PV-Wand ist bezüglich Brandverhalten eher unproblematisch, da sowohl das Glas der Solarmodule wie die Metall-Halteteile als auch die Wärmedämmung nicht brennbar sind. Aufgrund der Brennbarkeit von Tedlar, welches bei vielen Solarmodulen die Rückseite bildet, muss vor allem für eine Euro-PV-Wand an einem Hochhaus das Brandverhalten speziell untersucht werden.

5.1.15 Verkabelung

Die einzelnen PV-Isolationselemente sind mit Anschlusskabeln und MC-Steckern versehen. Die MC-Stecker werden je nach Verbindungsart seitlich in eine Steckerhalterung eingelegt. Dadurch wird das Kabelende zugänglich, auch wenn das ganze Element in der Wand fixiert ist. Die erforderlichen Strangkabel müssen rechtzeitig in die Fassade mit eingelegt werden.

5.1.16 Temperatureinfluss, Hinterlüftung

Die Solarmodule sind mit den Metallklammern derart fixiert, dass auf allen Seiten Fugen sind, welche eine Luftzirkulation zulassen. Zwischen Modulrückseite und Isolation ist ein rund 4 cm grosser Zwischenraum, der den Abtransport von erwärmter Luft zulässt. Demzufolge ist nicht mit einer übermässigen Einbusse der Leistung infolge der Panelerwärmung zu rechnen.

5.1.17 Kabeleinführung

Die Kabeleinführung ins Gebäude ist an einer Übergangsstelle unten oder oben an der Fassade vorzusehen. Die Strangkabel sind dementsprechend bis zur Kabeleinführung und dem innen liegenden Klemmenkasten zu führen. Diese Kabel können hinter dem Trapezblech der angrenzenden Fassade geführt werden (vgl. nächstes Kap.)

5.1.18 Übergänge

Das Euro-PV-Wandsystem kann gut mit einer Eurowand kombiniert werden. Das Eurowandsystem sieht ein senkrechtes Trapezblech als Wetterschutz vor. Dieses Trapezblech wird nun bis an die Solarmodule herangeführt. Es entstehen Übergangsfugen, wie sie auch zwischen den Solarmodulen bestehen.

5.2 *PV-Fertigisolationselement*

Fertigfassadenelemente werden von verschiedenen Herstellern angeboten. Die Elemente unterscheiden sich durch die Profilierung und Bearbeitung der Beplankung und das unterschiedliche Kamm-Nutsystem. Die meisten Fertigelemente weisen eine Breite von ca. 1 m auf und sind erhältlich in Längen bis 8 oder gar 12 m. Auf diesen grossen Metallflächen können gut Photovoltaikelemente befestigt werden. Am geeignetsten ist die Kombination mit Solarmodulen von Unisolar aus amorphen Solarzellen.

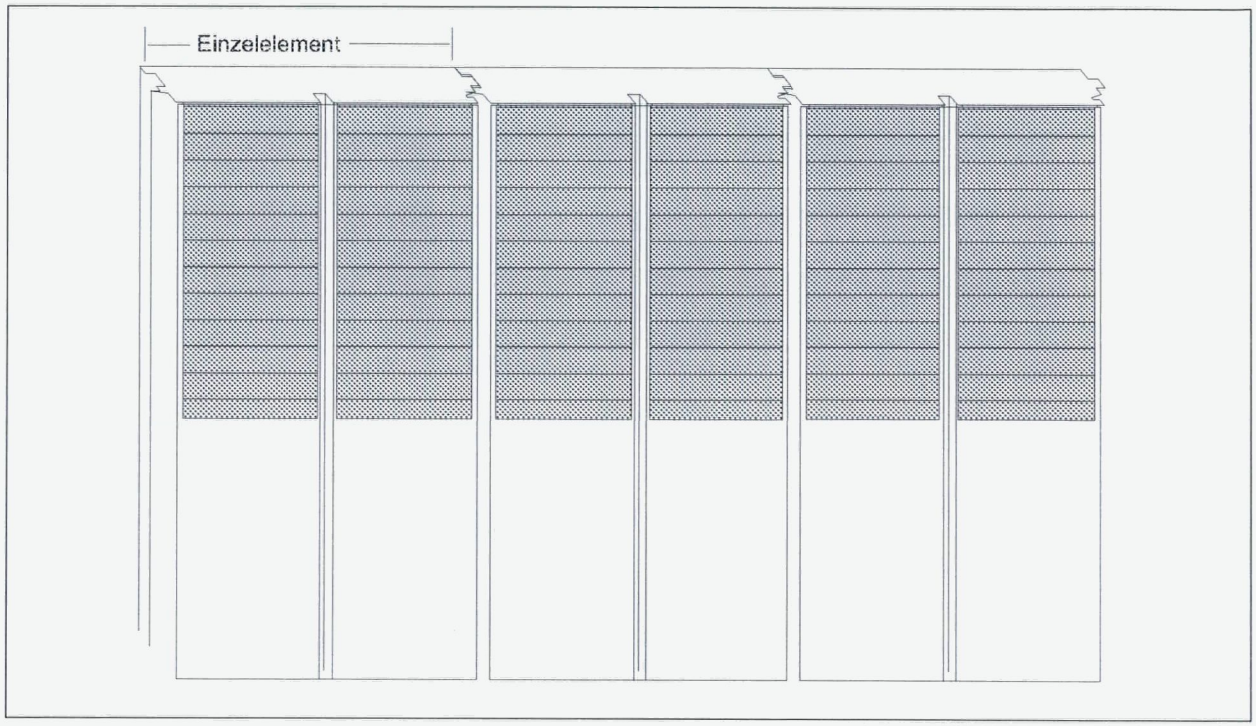


Abb. 18: Ansicht PV-Fertigfassadenelemente

5.2.1 Qualität der Kombination:

Die Unisolarmatten werden auf die Fertigelemente geklebt. Mit einem geeigneten Leim können die unterschiedlichen thermisch bedingten Ausdehnungen von Stahl und Solarmodul aufgefangen werden. Das Eigengewicht der Solarmodule von rund 10 kg/m^2 wird über die Klebverbindung auf das Fertigelement übertragen.

5.2.2 Stabilität im Verbund:

Die Stabilität des Fertigfassadensystems ändert sich durch das Anbringen von Solarmodulen nur unwesentlich. Die etwas schwereren Fertigfassadenelemente werden an der Tragkonstruktion des Gebäudes befestigt und ergeben dadurch die erforderliche Stabilität.

5.2.3 Dämmwirkung, U-Wert

Die Dämmwirkung der PV-Fertigelemente ist gegeben durch die gewählte Dicke der Isolationsschicht innerhalb der Beplankung. Bei einer Plattenstärke von 125mm und einem Polystyrol-Hartschaumkern resultiert ein u-Wert von rund 0.31 W/m^2 K.

5.2.4 Elektrische Leistung

Bei Verwendung von 2 rund 3m langen Unisolar-Modulen ergibt sich pro Fertigfassadenelement eine Leistung von 128 W.

5.2.5 Reparaturmöglichkeiten

Die Unisolar-Matten mit amorphen Solarzellen haben ein zerbrechliches Deckglas und werden durch die Stahlbeplankung des Fertigelementes gestützt. Geht dennoch ein Modul defekt, dann kann das Modul entweder innerhalb des Gebäudes elektrisch überbrückt werden, oder es wird ein funktionierendes Modul über das defekte geklebt. Dies ist infolge der schmalen Unisolar-Modulen kaum sichtbar.

5.2.6 Preis pro Element

Auf die Fertigfassadenelemente werden 2 Solarmodule aufgeleimt. Es ergibt sich ein Preis pro Element von 1306 Fr. Dies entspricht 10.40 Fr. / W installierte Leistung resp. 266 Fr. / m^2 bebaute Fassadenfläche (vgl Anhang).

5.2.7 Montageaufwand

Die elektrischen Verbindungen werden an den Oberkanten der Fertigelemente realisiert. Sie werden nach der eigentlichen Montage der Fertigelemente vom Dach aus erstellt. Der Montageaufwand entspricht dem von normalen Fertigfassaden-Elementen mit einem kleinen Zusatzaufwand für die elektischen Verbindungen. Es muss mit Montagekosten von rund 33 Fr. pro Fertigelement gerechnet werden (vgl. Anhang).

5.2.8 Wasserdichte

Durch das Anbringen der Photovoltaikmodule auf den Fertigfassadenelementen wird die Wasserdichte des Systems nicht beeinträchtigt.

5.2.9 Mechanischer Schutz

Die Solarmodule sind direkt an der Aussenbeplankung aufgeleimt. Dadurch erhalten die flexiblen Matten durch das Stahlblech der Aussenbeplankung Festigkeit. Von aussen sind die Solarzellen durch eine lichtdurchlässige Beschichtung geschützt.

5.2.10 UV-Beständigkeit

Die PV-Fertig-Fassadenelemente sind UV-beständig.

5.2.11 Dampfdiffusion

Fertigfassadenelemente sind dicht. Dampf kann hingegen an den Seiten, beim Übergang zum nächsten Element diffundieren. Die Solarmodule beeinträchtigen die Dampfdiffusion des Fertigfassadensystems nicht.

5.2.12 Sommerlicher Wärmeschutz

Der sommerliche Wärmeschutz wird durch die Photovoltaikmodule nicht beeinträchtigt.

5.2.13 Schallschutz

Es erfolgt keine wesentliche Beeinträchtigung des Schallschutzes.

5.2.14 Brandschutz

Entsprechend der Brandschutzrichtlinie der VKF können beschränkte Flächenanteile an öffnungslosen Fassaden mit Feuerwiderstand F60 eine Aussenschicht mit Brandkennziffer 4.3 aufweisen (Gebäude mit 3 und mehr Geschossen ohne Hochhäuser). Bei ausreichenden Schutzabständen ist auch eine weitergehende Verwendung von Aussenschichtmaterialien möglich. Demzufolge sind auch die PV-Fertigfassadenelemente hinsichtlich Brandschutz verwendbar.

5.2.15 Verkabelung

Die Kabelanschlüsse der einzelnen Module sind oben. Nach dem Stellen der einzelnen Fertigelemente werden im Übergangsbereich zum Dach noch die Steckverbindungen der einzelnen Module erstellt.

5.2.16 Temperatureinfluss, Hinterlüftung

Amorphe Solarzellen weisen eine bedeutend geringere Temperaturabhängigkeit der Leistung auf als monokristalline Solarzellen. Die Leistungseinbusse infolge der Modulerwärmung darf als unwesentlich bezeichnet werden, zumal der Ausrichtung entsprechend die maximale Sonneneinstrahlung auf die Module nicht am Mittag in der heissen Sommerzeit sein wird, sondern im Winter respektive morgens oder abends.

5.2.17 Kabeleinführung

Die Kabeleinführung ins Gebäude ist an der oberen Fassadenkante vorzusehen. Die Strangkabel sind dementsprechend bis zur Kabeleinführung und dem innen liegenden Klemmenkasten zu führen.
Denkbar ist aber auch der Einsatz von Stringwechselrichtern, die im Bereich der Dachkante platziert werden können.

5.2.18 Übergänge

Die PV-Fertig-Fassadenelemente können problemlos mit Fertigelementen ohne Solarmodule kombiniert werden.

5.3 PV-Aluhitflumroc-Fassade

Das ALUHIT-System ermöglicht es, Photovoltaikmodule wie Keramikplatten an die Fassaden zu hängen. Es können auch kombinierte PV-Dämmmodule mit dem ALUHIT-System befestigt werden. Die Dämmplatte, zB. eine Flumrocplatte ist über Sockel, die eine Hinterlüftung gewähren direkt mit dem Photovoltaikmodul verbunden und wird mit diesem in die Fassade eingefügt.

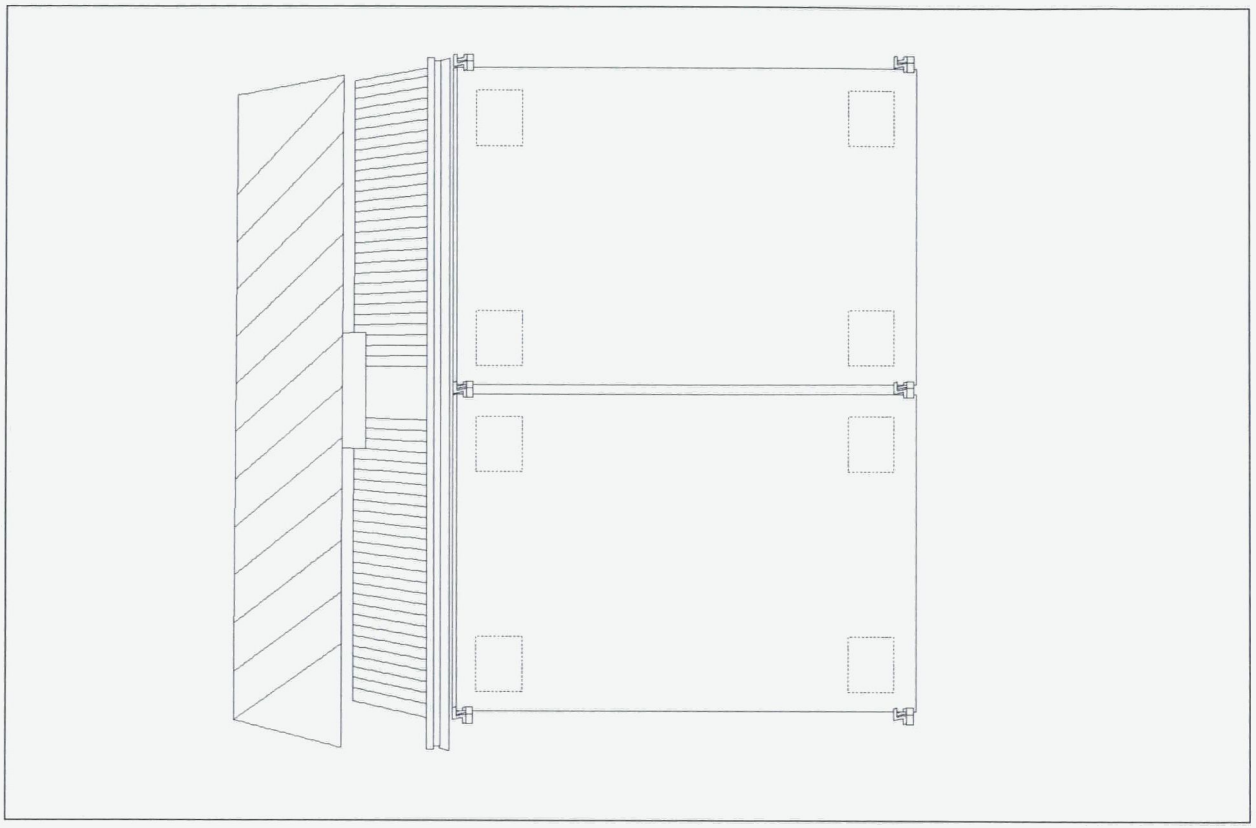


Abb. 19: Fassadenaufbau: Aluhit-Befestigungssystem auf Betonwand, PV-Isolationselemente

5.3.1 Qualität der Kombination:

Die Standard-Photovoltaikmodule werden auf Polystyrol-Sockel geleimt. Auf diesen ist mit üblichen Befestigungselementen aus dem Fassadenbau mit weichen Dämmplatten, die Dämmplatte fixiert. Bei den Klebverbindungen zu den Polystyrolsockeln darf mit einer Zugfestigkeit von 0.2 N/mm^2 und eine Schärfestigkeit von 0.12 N/mm^2 gerechnet werden. Die metallenen Befestigungsteile für die Dämmplatte haben sich in der Praxis bewährt und können die erforderlichen Kräfte aufnehmen.
Zu beachten ist, dass nur die Verbindung zwischen Dämmplatte und Photovoltaikmodul fixiert sein muss, da die Befestigung der kombinierten Elemente an der Wand über das ALUHIT-System erstellt wird.

5.3.2 Stabilität im Verbund:

Solarfassaden mit dem ALUHIT-System haben sich in der Praxis bestens bewährt. Das zusätzliche Gewicht durch die Dämmplatte, die nun am Solarmodul hängt, ergibt laut Hersteller des ALUHIT-Systems keine Probleme.

5.3.3 Dämmwirkung, U-Wert

Damit die PV-Dämmelemente in die Metallhalterung des ALUHIT-Systems eingeführt werden kann, muss die Dämmplattenbreite rund 9 cm kleiner sein als das PV-Modul. Nach dem Einsetzen des Moduls in die Fassade, muss daher mit einem passenden Dämmstück die Zone rund um die seitlich liegende Befestigungskonsole ausgefüllt werden. Gemäss Fassadenbauer ist bei Gebäuden zudem mit Toleranzen von grösser als 1 cm zu rechnen. Dies könnte

ohne Gegenmassnahme zu einem Luftzwischenraum zwischen Dämmung und Mauerwerk führen, was bei Durchdringen von Kaltluft in diesen Bereich die Dämmwirkung der Fassade schwächt. Um eine gute Dämmwirkung zu erreichen, muss dementsprechend ein Mauerwerk mit kleinen Toleranzen vorhanden sein und die Montage sorgfältig ausgeführt werden.

5.3.4 Elektrische Leistung

Bei Einsatz von ASE-Modulen mit amorphen Solarzellen resultiert bei einer Plattengrösse von rund 0.6 x 1 m eine elektrische Leistung von 32 W.

5.3.5 Reparaturmöglichkeiten

Die Polystyrolsockel können mit Heissdraht durchtrennt werden. Danach kann die Photovoltaikplatte dem ALUHIT-System entsprechend aus der Fassade gelöst werden.

5.3.6 Preis pro Element

Auf das Photovoltaikmodul müssen die Sockel mit der Plattform für die Dämmplatten-Befestigung geklebt werden. Die Dämmplatten sind anschliessend zu fixieren. Bei einer Dämmplatte von 125mm Dicke muss mit Modulkosten von 259 Fr. gerechnet werden. Dies entspricht rund 8.1 Fr. /W resp. 432 Fr. /m^2 Fassadenfläche (vgl. Anhang).

5.3.7 Montageaufwand

Vorerst werden die Metallkonsolen des ALUHIT-Systems im Mauerwerk verankert und die Metallprofile zur Modulhalterung fixiert. Anstelle dass die Dämmplatten nun direkt am Mauerwerk befestigt werden, werden kombinierte PV-Dämmelemente in die Fassade eingefügt. Die elektrische Verbindung und die Ausisolierung des seitlichen Zwischenraums ist vor dem Einsetzen des Moduls zu erstellen. Es muss mit Montagekosten von rund 18 Fr. pro Modul gerechnet werden (vgl. Anhang).

5.3.8 Wasserdichte

Durch die horizontalen und vertikalen Fugen kann Wasser an die Flumroc-Platten gelangen. Die Platten können aber, bedingt durch den Zwischenraum zwischen Solarlaminat und Platte wieder austrocknen.

5.3.9 Mechanischer Schutz

Durch die Fassaden-tauglichen Solarmodule wird ein genügend guter mechanischer Schutz gewährleistet.

5.3.10 UV-Beständigkeit

Die Polystyrolsockel müssen durch einen Deckanstrich vor UV-Licht geschützt werden. Die restlichen Materialien der PV-Aluhitflumroc-Elemente sind UV-beständig.

5.3.11 Dampfdiffusion

Es resultiert eine für vorgehängte Fassaden übliche Dampfdiffusion

5.3.12 Sommerlicher Wärmeschutz

Mit den Solarmodulen wird sozusagen eine vorgehängte Fassade geschaffen. Erwärmte Luft kann im Zwischenraum zwischen den Sockeln gegen oben abfliessen, frische Luft durch die Fugen eintreten. Gegenüber einer kompakten Aussendämmung wird ein besserer sommerlicher Wärmeschutz erreicht.

5.3.13 Schallschutz

Es erfolgt keine wesentliche Beeinträchtigung des Schallschutzes.

5.3.14 Brandschutz

Die Anforderungen an die Fassade nach der Brandschutzrichtlinie der VKF werden bei Realisierung einer Fassade mit PV-Aluhit-Flumroc-Elementen erfüllt.

5.3.15 Verkabelung

Die Strangaufteilung der Photovoltaikanlage muss vorgängig geklärt sein und bei der Montage berücksichtigt werden.

5.3.16 Temperatureinfluss, Hinterlüftung

Zwischen Platte und Solarlaminat entsteht ein Zwischenraum, der eine Hinterlüftung ermöglicht.

5.3.17 Kabeleinführung

Die Kabeleinführung ins Gebäude wird neben dem Solarfeld erstellt. Dies kann im Dachbereich oder auch im Sockelbereich des Gebäudes sein.

5.3.18 Übergänge

Neben dem Solarfeld können andere Fassadenplatten vorgehängt werden. Es sind keine speziellen Übergangs-Bauteile zu erstellen.

5.4 PV-XPS-Fassade

EPS und vor allem XPS-Platten werden häufig für Aussendämmungen von Fassaden eingesetzt. Dämmplatten sind von verschiedenen Herstellern und in verschiedenen Dicken erhältlich. Wo an sonnenexponierter Stelle eine Aussendämmung realisiert werden muss, kann auch ein kombiniertes Photovoltaik- und Dämmelement eingesetzt werden. Die Standardgrösse bei XPS beträgt 125cm mal 60cm, bei EPS-Platten 100 cm x 50 cm. Um das Austrocknen der Dämmplatte zu ermöglichen und einen erhöhten mechanischen Schutz zu erreichen, wird das Konzept der hinterlüfteten Fassade gewählt.

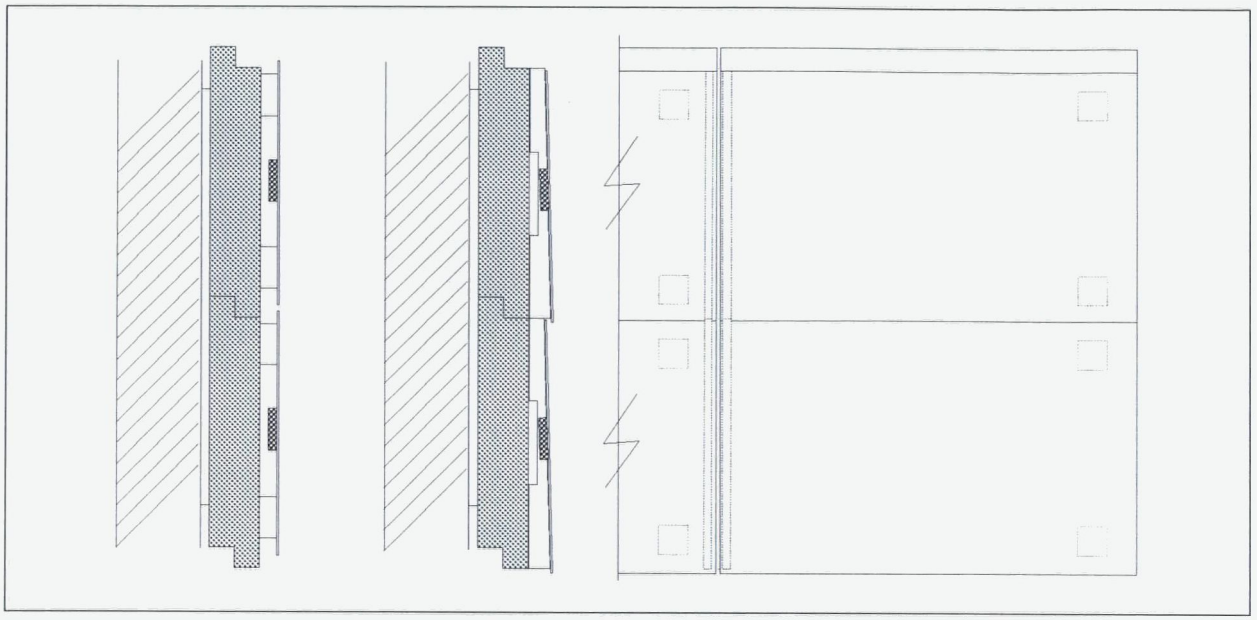


Abb. 20: PV-XPS-Fassade: links Befestigung der Module über Sockel (einfachere Lösung, genauer untersucht)
rechts Befestigung über Sockelleisten

5.4.1 Qualität der Kombination:

Die Standard-Photovoltaikmodule werden auf Sockel geleimt, welche ihrerseits auf die Polystyrol-Platten geklebt sind. EPS-Platten, welche für die Aussendämmung von Fassaden eingesetzt werden, müssen eine minimale Zugfestigkeit von 0.2 N/mm2 und eine Schärfestigkeit von mindestens 0.12 N aufweisen. Gemäss Angaben eines Systemhalters von Aussenisolationen hat der Klebemörtel mindestens dieselben Kräfte auszuhalten. Bei Wahl von 4 Befestigungssockeln von 10 x10 cm resultiert eine Zugfestigkeit pro Modul von 8000N und eine Schärfestigkeit von 4800N. Dies ist über 50-mal mehr als das Eigengewicht des Solarmoduls.

5.4.2 Stabilität im Verbund:

Die einzelnen PV-Polystyrolplatten werden mit Klebemörtel an das Mauerwerk geklebt. Der grossen Fläche der Module entsprechend resultiert eine Verbindung mit einer Zugfestigkeit von mindestens 100kN/EPS-Modul(50x100cm) und eine Schärfestigkeit von mindestens 60kN/EPS-Modul. Basierend auf den Qualitätsangaben der beim Fassadenbau eingesetzten Materialien ist die Stabilität einer Anlage mit PV-Polystyrolplatten gewährleistet. Hingegen ist fraglich, ob die Klebverbindung und ob der Polystyrol auch bei Beschädigung die minimale Sollfestigkeit zeigt. Die Dämmplatte, die Sockel, sowie die Klebestellen des PV-Modules sind einer dauernden Belastung ausgesetzt.

5.4.3 Dämmwirkung, U-Wert

Die Dämmwirkung der PV-Polystyrolplatten ist gegeben durch die gewählte Dicke der Isolationsschicht. Durch Wahl von gefälzten Platten werden die Wärmebrücken bei den Plattenübergängen verkleinert.

5.4.4 Elektrische Leistung

Bei Verwendung von XPS-Platten können Standardmodule mit 75-80 W eingesetzt werden.
Bei Verwendung von EPS-Platten ergeben sich 55 W-Module.

5.4.5 Reparaturmöglichkeiten

Die PV-Polystyrolplatten werden ans Mauerwerk geklebt und können bei Defekt eines Solarmodules nicht getrennt werden. Hingegen können mit einem Heizdraht die Sockel und damit das Solarmodul weggetrennt werden. Nach Wegtrennen der ganzen zerschnittenen Sockel kann ein Ersatzmodul mit Sockeln an die betreffende Stelle geklebt werden.

5.4.6 Preis pro Element

Auf dem Dämmelement muss eine Mörtelschicht aufgetragen werden. Die Sockel und das Modul werden aufgeleimt. Es ergibt sich ein Preis pro Element von rund 365 Fr. Dies entspricht 6.70 Fr. / W installierte Leistung resp. 730 Fr. / m^2 bebaute Fassadenfläche (vgl Anhang).

5.4.7 Montageaufwand

Die PV-Polystyrolplatten werden anstelle der gewöhnlichen Dämmplatten mit Klebemörtel auf das Mauerwerk geklebt. Des Solarlaminats mit Deckglas wegen bedarf es dazu erhöhter Vorsicht. Die Module können zudem, bis der Klebemörtel hält mit einer Schraubverbindung ins Mauerwerk gesichert werden. Auf Grund des genügend grossen horizontalen Zwischenraums zwischen den Platten kann die elektrische Steckverbindung auch im Nachhinein erstellt werden. Es muss mit Montagekosten von rund 15 Fr. pro Element gerechnet werden (vgl. Anhang).

5.4.8 Wasserdichte

Durch die horizontalen und vertikalen Fugen kann Wasser an die Polystyrolplatten gelangen. Die Platten können aber, bedingt durch den Zwischenraum zwischen Solarlaminat und Platte schnell wieder austrocknen. Es besteht aber die Gefahr, dass Wasser zur Winterzeit in die Fugen zwischen den Polystyrol-Platten gelangt und gefriert. Dies könnte zur Beschädigung der Dämmplatte führen.

5.4.9 Mechanischer Schutz

Das Deckglas der Solarlaminate kann genügend dick gewählt werden, um den Anforderungen an eine Fassade zu genügen. Die Zwischenräume zwischen den Solarlaminaten sind mit Deckputz respektive bei den horizontalen Fugen mit einem Deckblech zu sichern.

5.4.10 UV-Beständigkeit

Da Polystyrol nicht UV-beständig ist, müssen exponierte Stellen speziell vor Bestrahlung geschützt werden. Dies erfordert ein opakes Solarlaminat und Deckmörtel respektive Deckbleche in den Zwischenräumen.

5.4.11 Dampfdiffusion

Polystyrol weist gute Dampfdiffusionseigenschaften auf, welche durch das hinterlüftete Photovoltaikmodul nicht beeinträchtigt werden.

5.4.12 Sommerlicher Wärmeschutz

Mit den Solarmodulen wird sozusagen eine vorgehängte Fassade geschaffen. Erwärmte Luft kann im Zwischenraum zwischen den Sockeln gegen oben abfliessen, frische Luft durch die Fugen eintreten. Gegenüber einer kompakten Aussendämmung ist mit einer Besserung bezüglich Sommer-Wärmeschutz zu rechnen.

5.4.13 Schallschutz

Gegenüber einer Polystyrolfassade mit Putz erfolgt keine wesentliche Beeinträchtigung des Schallschutzes.

5.4.14 Brandschutz

Die Anforderungen an eine Fassade nach der Brandschutzrichtlinie der VKF werden bei Realisierung einer Fassade mit PV-Polystyrol-Dämmplatten erfüllt.

5.4.15 Verkabelung

Die Strangaufteilung der Photovoltaikanlage muss vorgängig geklärt sein und bei der Montage der PV-Polystyrol-Platten durch Legen der entsprechenden Strangkabel berücksichtigt werden.

5.4.16 Temperatureinfluss, Hinterlüftung

Die Solarlaminate sind auf rund 3-4 cm hohe Sockel geklebt. Zwischen Platte und Solarlaminat entsteht ein Zwischenraum, der eine Hinterlüftung ermöglicht.

5.4.17 Kabeleinführung

Die Kabeleinführung ins Gebäude wird neben dem Solarfeld erstellt. Diese kann sich im Dachbereich oder auch im Sockelbereich des Gebäudes befinden.

5.4.18 Übergänge

Neben dem Solarfeld kann eine normale Kompaktwand realisiert werden.

5.5 PV-XPS-Flachdach

Für die Erstellung eines Umkehr- respektive eines Duodaches sind in der Schweiz XPS-Platten von 3 Herstellern auf dem Markt. Die XPS-Platten, die in diversen Dicken erhältlich sind, sind mit Stufenfalz oder Nut und Kamm erhältlich. Eine Standardgrösse weist eine Länge von 125 cm und eine Breite von 60 cm auf. Auf diesen Platten können Sockel befestigt werden, welche Standardsolarmodule tragen. Bei Wahl von polykristallinen 64W-Modulen mit einer Abmessung von rund 1100 cm x 500 cm können die Module leicht geneigt fixiert werden, um den Energieertrag im Winter etwas zu erhöhen. Bei dieser Modulgrösse resultieren zudem Zwischenräume, welche eine Begehung des Solarzellenfeldes ermöglichen.

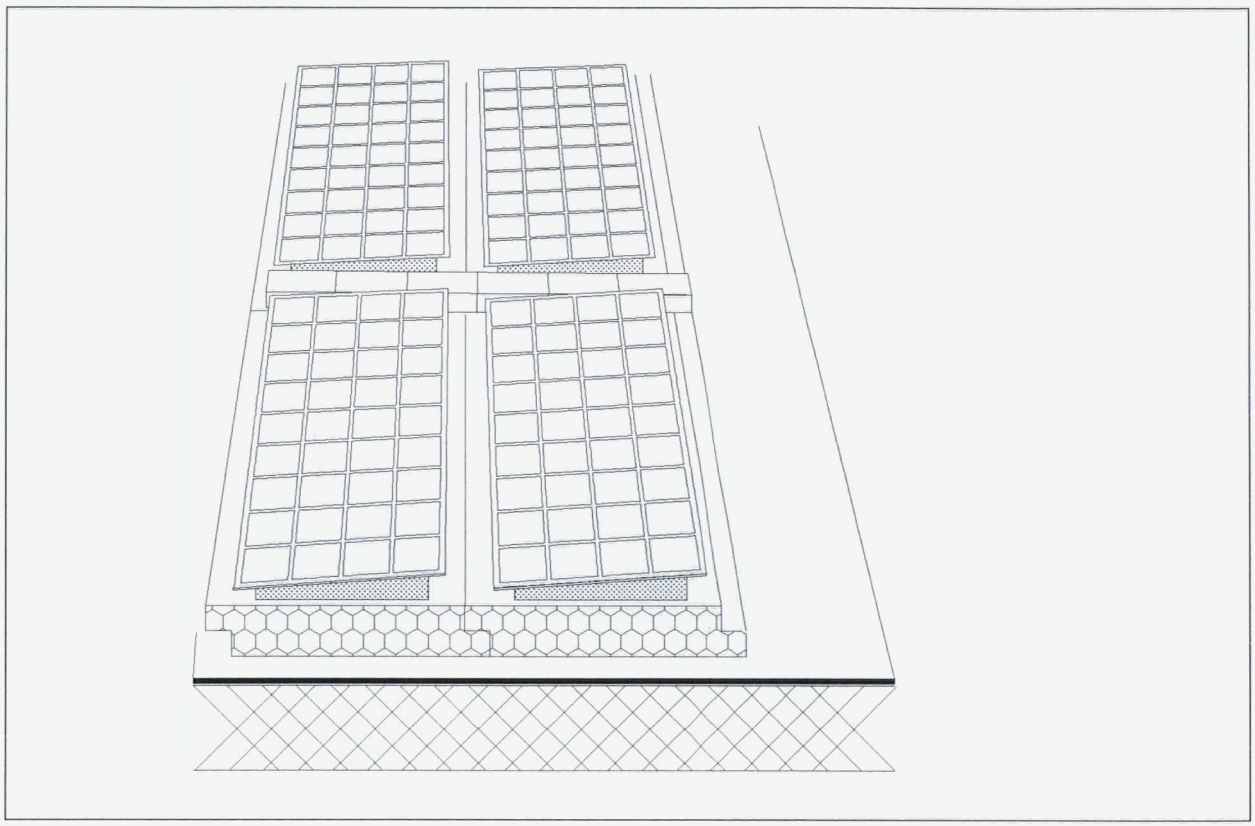


Abb. 21: Dachaufbau Variante PV-XPS-Flachdach

5.5.1 Qualität der Kombination:

Die Standard-Photovoltaikmodule werden auf Polystyrol-Sockel geleimt. Bei den Klebverbindungen zu den Polystyrolsockeln darf mit einer Zugfestigkeit von 0.2 N/mm^2 und eine Schärfestigkeit von 0.12 N/mm^2 gerechnet werden (entspricht den Minimalanforderungen an Dämmplatten im Fassadenbau). Bei Wahl von 2 Sockeln mit je rund 200cm^2 Fläche ergibt sich eine maximale Zugkraft von rund 800 kg und eine Schärkraft von 480 kg. Die erforderliche Festigkeit wird damit erreicht.

5.5.2 Stabilität im Verbund:

Bei Wahl von Dämmplatten mit Stufenfalz überlappen diese einander. Die erforderliche Festigkeit auf dem Dach muss mit einer Belastungsschicht erreicht werden. Entsprechend der SIA-Norm 160 muss pro m^2 zum Solarmodulgewicht eine zusätzliche Last von rund 35 kg platziert werden. Bei Verwendung von handelsüblichen Betonsteinen könnten in den Zwischenräumen rund 28 kg/m^2 Belastung erreicht werden. Dies ist für wenig exponierte Dachflächen eine gangbare Lösung. Eine verbesserte Belastbarkeit ergibt sich zudem durch Wahl von Dämmplatten mit Nut und Kamm.

5.5.3 Dämmwirkung, U-Wert

Die Dämmwirkung ist gegeben durch die Wahl der XPS-Platte. Bei einer Plattendicke von 12cm resultiert ein u-Wert von 0.29 W/m^2K.

5.5.4 Elektrische Leistung

Bei Einsatz von MSX64-Modulen von Solarex ergibt sich eine elektrische Leistung von 64W/Modul resp. $85W/m^2$.

5.5.5 Reparaturmöglichkeiten

Die Sockel der Solardachplatten können durchgetrennt und dadurch eine defekte Platte ersetzt werden.

5.5.6 Preis pro Element

Die Sockel und Dämmplatten müssen mit einer Mörtelschicht versehen und die Klebverbindungen zwischen Dämmplatte, Sockel und Solarlaminat realisiert werden. Es ergibt sich ein Preis pro Element von rund 462 Fr. Dies entspricht 7.20 Fr. / W installierte Leistung resp. 615 Fr. / m^2 überbaute Dachfläche (vgl Anhang).

5.5.7 Montageaufwand

Die XPS-Solardachplatten werden anstelle von gewöhnlichen XPS-Platten auf die Dachabdichtung aufgesetzt. Vor dem Platzieren der Platte wird die elektrische Verbindung zur vorhergehenden Platte oder zum Strangkabel erstellt. Nachdem die Platte gesetzt ist erfolgt das Beschweren mittels Beton- resp. Verbundsteinen zwischen den Solarlaminaten. Es muss mit Montagekosten von rund 14 Fr. pro m^2 gerechnet werden (vgl. Anhang).

5.5.8 Wasserdichte

Die Abdichtung des Daches wird vorgängig realisiert. Die Dämmplatten und auch die Solardachplatten liegen ausserhalb der Abdichtung und beeinflussen diese in positivem Sinne durch Verringerung der Temperaturschwankungen.

5.5.9 Mechanischer Schutz

Solarmodule, Betonsteine und Mörtelschicht schützen die XPS-Platten zuverlässig auch bei Hagelschlag

5.5.10 UV-Beständigkeit

Die XPS-Platten und Sockel sind durch eine Mörtelschicht vor UV-Strahlung geschützt.

5.5.11 Dampfdiffusion

XPS-Platten weisen gute Dampfdiffusionseigenschaften auf, welche durch die vorliegende Situation nur unwesentlich verändert wird.

5.5.12 Sommerlicher Wärmeschutz

Die Solarmodule und Betonsteine verhindern grösstenteils eine direkte Bestrahlung der Wärmedämmung. Gegenüber einem Umkehrdach mit Kiesbeschichtung ergibt sich keine wesentliche Veränderung.

5.5.13 Schallschutz

Gegenüber einem gewöhnlichen Umkehrdach erfolgt keine wesentliche Beeinträchtigung des Schallschutzes.

5.5.14 Brandschutz

Das Flachdach mit XPS-Solardachplatten ist durch Solarmodul, Betonsteine und Mörtelschicht vor Flugfeuer geschützt und entspricht den Anforderungen der Brandschutzrichtlinien.

5.5.15 Verkabelung

Die Strangaufteilung der Photovoltaikanlage sollte vorgängig geklärt sein und bei der Montage berücksichtigt werden. Es können aber auch nachträglich Veränderungen vorgenommen werden, da das Zellenfeld begehbar ist.

5.5.16 Temperatureinfluss, Hinterlüftung

Zwischen Platte und Solarlaminat entsteht ein Zwischenraum, der eine Hinterlüftung ermöglicht.

5.5.17 Kabeleinführung

Die Kabeleinführung ins Gebäude wird neben dem Solarzellenfeld erstellt. Geeignet sind Lifthäuschen auf dem Flachdach.

5.5.18 Übergänge

Neben dem Solarfeld können standardmässige XPS-Platten eingesetzt werden. Diese sind mit einem Vlies zu schützen und mit Kies zu beschweren. Es sind keine speziellen Bauteile erforderlich.

5.6 *PV-Schaumglaselement*

Schaumglas wird im Flachdachbau fast ausschliesslich zur Bildung eines Verbund- oder Kompaktdaches eingesetzt. Dabei werden die Schaumglasplatten mittels Heissbitumen fest mit der Betondecke und den darüberliegenden Polymerbitumenbahnen verklebt. Schaumglas ist gut zu bearbeiten, absolut witterungsbeständig und formstabil. Die Isolationsschicht mit Schaumglas kann auch zweilagig erfolgen. Die äussere Lage liegt ausserhalb der Abdichtung und trägt, direkt aufgeleimt, das Solarmodul.
Standardgrössen von Schaumglaselementen sind 45 x 60 cm und 60 x 120 cm. Es sind aber auch andere Grössen erhältlich. Interessant ist die Kombination eines 60x120cm-Modules mit einem 32W-Modul mit amorphen Solarzellen von ASE sowie ein Verbund aus flexiblen Unisolar-Modulen auf speziellen 3 m langen Schaumglasplatten

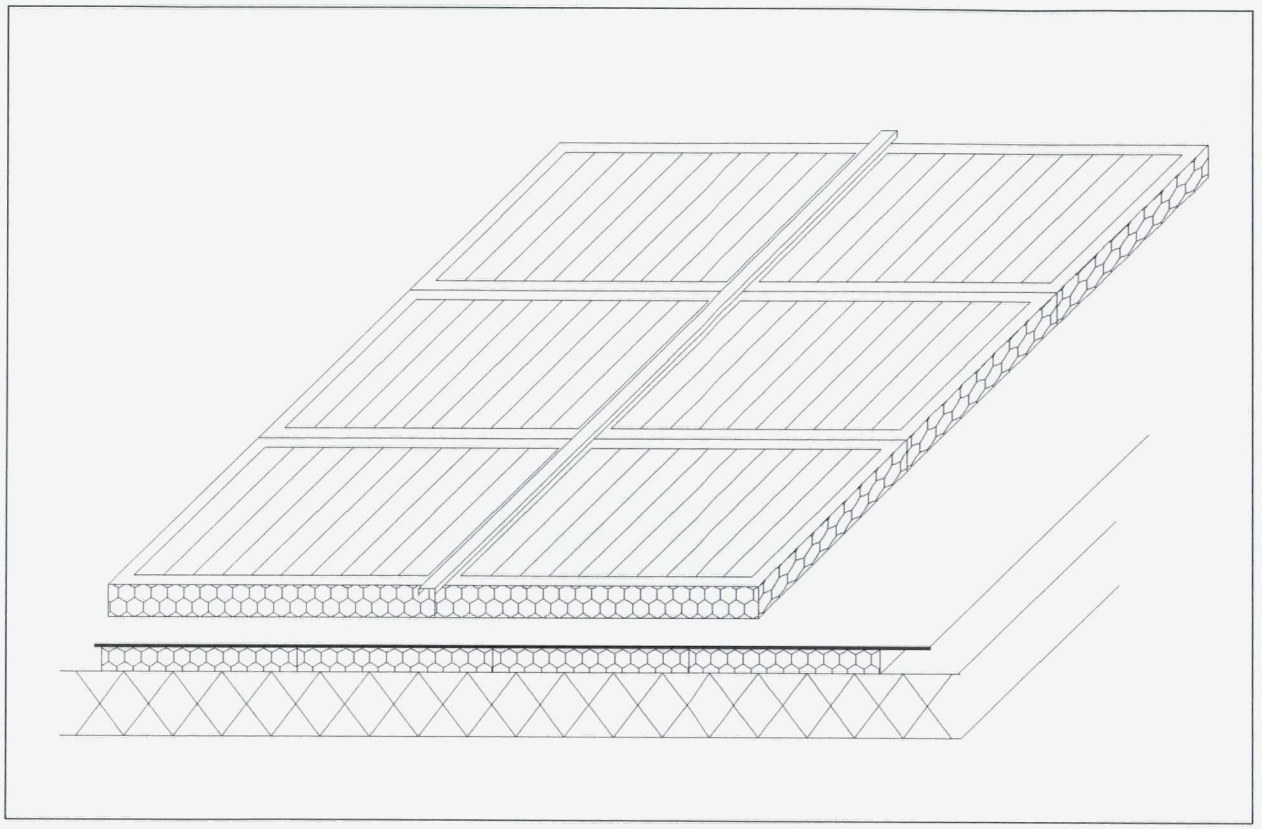


Abb. 22: Dachaufbau mit PV-Schaumglaselementen

5.6.1 Qualität der Kombination:

Die Photovoltaikmodule werden direkt auf das Schaumglaselement geleimt. Dadurch entsteht eine vollflächige Verbindung zwischen Schaumglas und PV-Modul. Die Ausdehnungskoeffiziente von Schaumglas (9×10^{-6}), vom bei ASE verwendeten Floatglas (9×10^{-6}) und von Stahl (12×10^{-6}) liegen nahe beieinander, sodass die erforderliche Festigkeit gut erreicht werden kann.

5.6.2 Stabilität im Verbund:

Schaumglas weist ein spezifisches Gewicht von rund 120 kg / m^3 auf. Da keine Durchdringung der Dachhaut erwünscht ist, muss die erforderliche Festigkeit auf dem Dach mit zusätzlicher Belastung erreicht werden. Diese kann in Form eines schweren Kabelkanals, welcher zudem seitlich verankert werden kann, realisiert werden. Zusätzliche Stabilität ergibt auch der Einsatz von Schaumglasmodulen mit Nut und Kamm.

5.6.3 Dämmwirkung, U-Wert

Die Dämmwirkung basiert auf den beiden Isolationsschichten unter und über der Dachbahn. Schaumglas trägt mit einer Wärmeleitfähigkeit von 0.04 W/mK zur Dämmwirkung bei.

5.6.4 Elektrische Leistung

Bei Einsatz von ASE –30-DG-Modulen ergibt sich eine elektrische Leistung von 32W auf einer Fläche von 120cm x 60cm. Bei Einsatz von Unisolar-Modulen ergibt sich eine Leistung von 64W auf einer Fläche von 300cm x 45cm.

5.6.5 Reparaturmöglichkeiten

Ist ein Modul defekt, so wird es elektrisch aus dem Strang gelöst. Ein Ersatzmodul wird auf das defekte Modul aufgeleimt und elektrisch in den Strang eingebunden.

5.6.6 Preis pro Element

Für die Anschlüsse des Solarmodules müssen im Schaumglas Aussparungen geschaffen werden. Das Solarmodul wird auf das Schaumglaselement direkt aufgeleimt. Bei 32W-Modulen ergibt sich ein Preis pro Element von rund 298 Fr. Dies entspricht 9.30 Fr. / W installierte Leistung resp. 413 Fr. / m^2 überbaute Dachfläche (vgl Anhang).

5.6.7 Montageaufwand

Die PV-Schaumglaselemente werden reihenweise auf die Dachabdichtung aufgesetzt. Anschliessend werden die schweren Kabelkanäle zur Belastung verlegt und die elektrischen Verbindungen zwischen den Modulen erstellt. Es muss mit Montagekosten von rund 12 Fr. pro m^2 gerechnet werden (vgl. Anhang).

5.6.8 Wasserdichte

Die Abdichtung des Daches wird vorgängig realisiert. Die PV-Schaumstoffplatten liegen ausserhalb der Abdichtung und beeinflussen diese in positivem Sinne durch Verringerung von Temperaturschwankungen.

5.6.9 Mechanischer Schutz

Die Solarmodule erfüllen die Anforderungen nach IEC1215 bzw. 1646 bezüglich Hageleinschlag, Schaumglas ist sehr druckfest, witterungsbeständig und formstabil. Demzufolge darf von einem guten mechanischen Schutz des Daches gesprochen werden.

5.6.10 UV-Beständigkeit

Schaumglas und Solarmodule sind UV-beständig.

5.6.11 Dampfdiffusion

Schaumglas ist absolut wasserdicht und dampfundurchlässig

5.6.12 Sommerlicher Wärmeschutz

Die Solarmodule und Metallkanäle verhindern zwar grösstenteils eine direkte Bestrahlung der Wärmedämmung. Gegenüber einem Umkehrdach mit Kiesbeschichtung ist mit einer Verschlechterung zu rechnen.

5.6.13 Schallschutz

Schaumglas hat ein relativ hohes spezifisches Gewicht. Zudem wird Schaumglas als Dachisolation vorwiegend auf Betondecken verwendet. Daher weisen Flachdächer mit Schaumglas (Kompaktdächer) gute Schalldämmwerte auf.

5.6.14 Brandschutz

Schaumglas hat die Brandkennziffer 6.3 (nicht brennbar). PV-Schaumglaselemente sind bezüglich Feuer unproblematisch.

5.6.15 Verkabelung

Das gesamte Solarmodulfeld sollte der Stranggrösse entsprechend aufgeteilt werden. Die Module eines Stranges sollten nebeneinander liegen. Die Verkabelung erfolgt nach dem Verlegen der Elemente zwischen den Solarmodulen, wo zum Schutz ein Kabelkanal platziert wird.

5.6.16 Temperatureinfluss, Hinterlüftung

Die Module werden nicht hinterlüftet. Um die Verluste infolge Zellenerwärmung dennoch klein zu halten, werden Module mit amorphen Zellen eingesetzt.

5.6.17 Kabeleinführung

Die Kabeleinführung ins Gebäude wird neben dem Solarzellenfeld erstellt. Geeignet sind Lifthäuschen auf dem Flachdach.

5.6.18 Übergänge

Neben dem Solarfeld können Schaumplatten ohne Solarmodule oder standardmässige XPS-Platten eingesetzt werden. Diese sind mit einem Vlies zu schützen und mit Kies zu beschweren. Es sind keine speziellen Bauteile erforderlich.

5.7 Macodach-PV-Element

Macodachelemente sind geformte Polystyrol-Elemente. Diese gibt es in verschiedenen Dämmdicken für einfach-, zweifach- oder dreifach-überlappenden Dämmschichtaufbau. Durch die Form und Überlappung der einzelnen Macodachelemente wird eine wasserdichte Unterdachbahn gebildet. Da die Elemente ursprünglich für die einfache Dachsanierung von bestehenden Bauten vorgesehen sind, wurde die Grösse dem typischen Lattenabstand von 32-36 cm angepasst. Die Breite der Macodachelemente beträgt standardmässig 75 cm. In Kombination mit diesen Elementen sind je nach Anwendungsbereich sowohl amorphe wie auch kristalline Solarmodule geeignet.

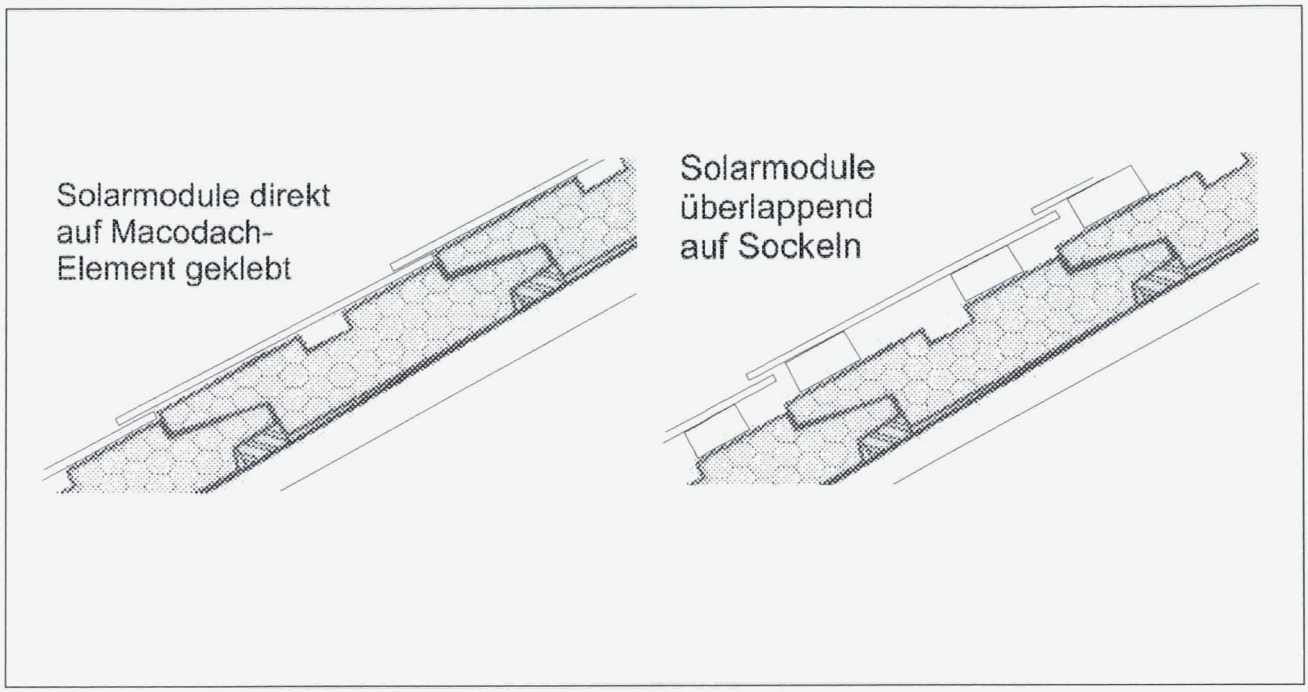


Abb. 23: Befestigungsarten von PV-Modulen auf Macodachelementen

Anwendungsbereich:
Das Macodach Dämmsystem bildet eine wasserdichte Dämmschicht aus Polystyrol-Elementen. Die einzelnen Elemente, welche nun an der äusseren Seite Photovoltaikmodule tragen, werden auf die Lattung aufgesetzt.
Besteht bei einem Gebäude bereits ein Unterdach mit darüberliegender Lattung und Konterlattung, können die Macodach-PV-Elemente in der Funktion von zusätzlicher Wärmedämmung und Bedachung eingesetzt werden. Es bieten sich einfach überlappende rund 8 cm dicke Macodachelemente an.
Bei einem Neubau oder der Sanierung eines älteren Gebäudes ist auch ein Unterdach zu erstellen. Die Macodach-PV-Elemente bestehen in diesem Fall aus 2 trennbaren Schichten. Die untere Schicht, welche vorzugsweise aus dreifach überlappenden Macodachelementen besteht, bildet sowohl eine gute und dichte Wärmedämmung als auch das Unterdach. Darauf aufgeschnappt werden die Solarmodule, welche überlappend und mit seitlichen Dichtungen die Bedachung bilden.

Untersucht wurden 3 verschiedene Fixierungsarten der Solarmodule auf den Macodachelementen:

Fixierungsart 1: Die Solarmodule werden mit einer Überlappung unten direkt auf das Macodachelement (nur kleine Sockel) geklebt

Fixierungsart 2: Die Module werden auf ca. 4-5 cm hohen Sockeln geklebt, welche ihrerseits am Macodachelement anhaften. Dies erlaubt Module mit einer gewöhnlichen Anschlussbox einzusetzen.

Fixierungsart 3: Die Solarmodule sind mit dem Macodachelement durch Metallhalterungen verbunden. Die Module können vom Isolationselement durch Ausklicken einfach getrennt werden.

5.7.1 Qualität der Kombination

Bei Einhaltung der Herstellerangaben von Klebern kann eine Klebverbindung mit langer Lebensdauer erreicht werden. Bei Polystyrol-Platten darf von einer minimalen Zugfestigkeit von 0.2 N/mm^2 und einer Schärfestigkeit von 0.12 N/mm^2 ausgegangen werden. Die Haftung der eingesetzten Kleber hat gemäss Kleberhersteller mindestens diese Festigkeit. Bei Einsatz von 4 Sockeln von 6 x 8 cm resultiert eine Zugfestigkeit pro Modul von rund 3840 N (dies erfüllt die Bedingungen nach SIA 160).
Die Fixierungsart mit Metallhalterungen bedingt genügend grosse Klebestellen auf Modul und Macodachelement, so dass auch die Krafteinwirkung durch Ein - und Ausklicken die Verbindung nicht gefährdet. Das Eigengewicht der Module drückt diese in die Halterung hinein. Die Angrifftsfläche bei der Überlappungsstelle darf nur so gross sein, dass auch bei starken Windkräften von unten die Module nicht aus den Halterungen gestossen werden. Wird mit einem Staudruck q von 1.4kN/m2 gerechnet (entsprechend der Norm SIA160 eine sehr hohe Belastung), resultiert pro Modul eine Kraft von 34 kg. Die Gewichtskomponente des Modules sowie die Verbundwirkung können diese Krafteinwirkung kompensieren.

5.7.2 Stabilität im Verbund

Die einzelnen Macodach-PV-Elemente werden ähnlich wie Tonziegel auf der Dachlattung aufgesetzt. Die Elemente überlappen sich horizontal und vertikal, so dass jedes einzelne Element durch das danebenliegende und 2 darüberliegende Module gehalten wird.
Werden nach SIA-Norm160 Beiwerte für Extremsituationen eingesetzt, ergeben sich maximale Sogkräfte von ca. 420 kg/m^2. Solche Kräfte können allein durch die überlappende Konstruktion der Bedachung kaum aufgenommen werden. Eine zusätzliche Absicherung der Macodach-PV-Module ist möglich durch Schraub-oder Nagelverbindung im seitlichen Überlappungsbereich hinein in die darunterliegende Lattung.

Bei Fixierung der Solarmodule über Halteklammern muss auch die Halterung die maximalen Sogkräfte bei Unwetter aufnehmen können. Die Halterung darf daher nicht nur auf dem Eigengewicht beruhen, sondern muss mittels Metallfedern oder Einrastungen zusätzlich gesichert werden.

5.7.3 Dämmwirkung, U-Wert

Die Dämmwirkung der Macodach-PV-Elemente ist gegeben durch die verwendeten Macodachelemente. Durch nicht sorgfältige Montage können undichte Stellen der Wärmeschicht entstehen, welche bedeutenden Einfluss auf die gesamte Dämmwirkung haben. Eine sorgfältige Arbeit ist daher Bedingung.

5.7.4 Elektrische Leistung

Bei der Wahl von monokristallinen Solarzellen für das Photovoltaiklaminat resultiert eine Leistung von 30W pro Element. Bei Wahl von amorphen Zellen resultiert eine Leistung von 10 W pro Element.

5.7.5 Reparaturmöglichkeiten

Werden die Solarmodule auf der Isolationsplatte mittels Metallhalterung fixiert, so können die Solarmodule im Schadensfall einzeln ausgetauscht werden, ohne dass die Isolationsplatte ebenfalls entfernt werden muss.
Sind die Solarlaminate auf Sockeln oder direkt auf die Macodachelemente geklebt, dann wird im Falle eines defekten Modules das ganze Element aus dem Verbund gelöst. Dies bedingt allerdings, dass einige Elemente rund um das defekte ebenfalls gelöst werden müssen.

5.7.6 Preis pro Element

Auf das geformte Polystyrol-Element werden Sockel und Modul aufgeleimt. Auf der rechten Seite und oben werden die Dichtungsprofile angesetzt. Bei Wahl von 12 cm dickem Dämmelement und 10W-ASI-Modulen ist mit Kosten von 110 Fr. pro Element zu rechnen. Dies entspricht 11 Fr. / W installierte Leistung resp. 550 Fr. / m^2 überbaute Dachfläche (vgl Anhang). Bei Wahl von 30 W-Solarmodulen mit monokristallinen Zellen ergibt sich ein Preis pro Element von rund 320 Fr. Dies entspricht 10.7 Fr. / W installierte Leistung resp. 1261 Fr. / m^2 überbaute Dachfläche (vgl Anhang).

5.7.7 Montageaufwand

Macodach-PV-Elemente werden auf eine Lattung mit 32 bis 36 cm Abstand montiert. In Ergänzung zu einer Montage wie bei Ziegelsteinen, wird vor dem Setzen des Elementes die Kabelverbindung zum angrenzenden Modul oder zur Zuleitung erstellt. Basierend auf den Verlegezeitangaben für die Dämmelemente, darf mit einer Verlegezeit von rund 12 – 15 Min. / m^2 ausgegangen werden. Es muss mit Montagekosten von rund 3 Fr. pro Element gerechnet werden (vgl. Anhang).

5.7.8 Wasserdichte

Macodach-Dämmelemente sind derart geformt, dass auftreffendes Regenwasser in dafür vorgesehenen Kanälen sicher über mehrere Elemente zur Traufe geleitet wird. Auf den Dämmelementen aufgesetzt sind Solarlaminate, welche einander überlappen und dementsprechend ebenfalls Wasser zur Traufe hin leiten.
Existiert bereits ein Unterdach unter der Lattung (vgl Abb. 24), dann übernimmt das System aus kombinierten Macodach-PV-Elementen die Funktion der Bedachung. Bei extremem Regen- und Windaufkommen sorgen die Solarlaminate und die dazwischenliegenden Fugenschutzbleche, dass nicht allzuviel Wasser auf die Dämmelemente durchdringt. Die Macodach-Elemente leiten das durchdringende Wasser sicher zur Traufe.

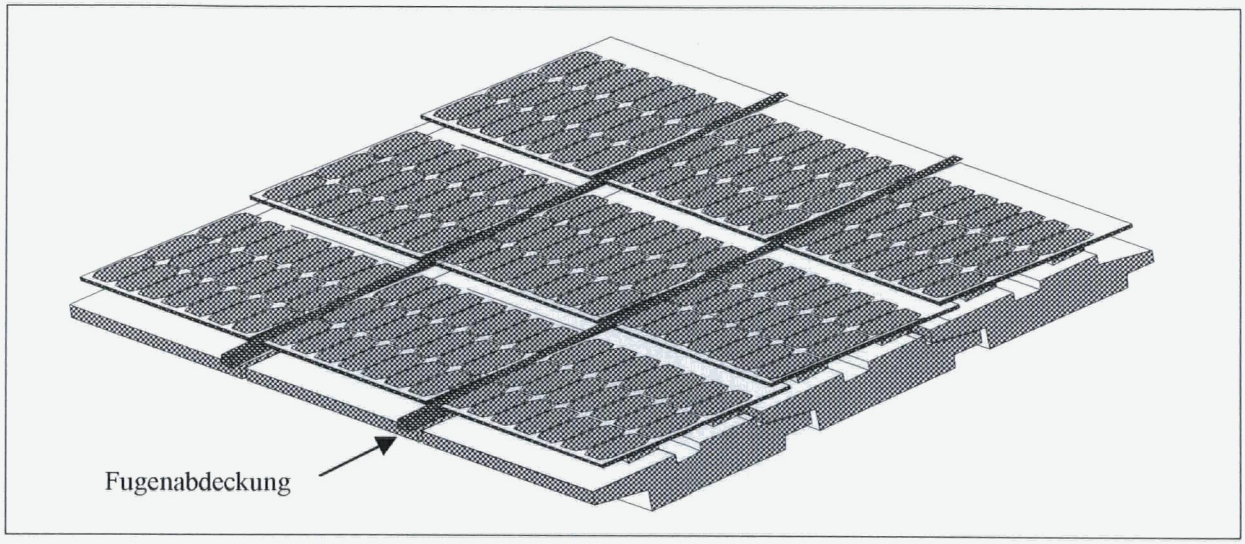


Abb. 24: Macodach-PV-Elemente bei Anwendung auf einem bestehenden Unterdach

Wird das Macodach in der Zusatzfunktion des Unterdaches eingesetzt (vgl. Abb. 25), dann fällt den aufgesetzten Solarlaminaten die Funktion der Bedachung zu. Die Überlappungen sowie die seitlichen Übergänge zwischen den Laminaten müssen mit einem EPDM-Dichtungsprofil abgedichtet werden.

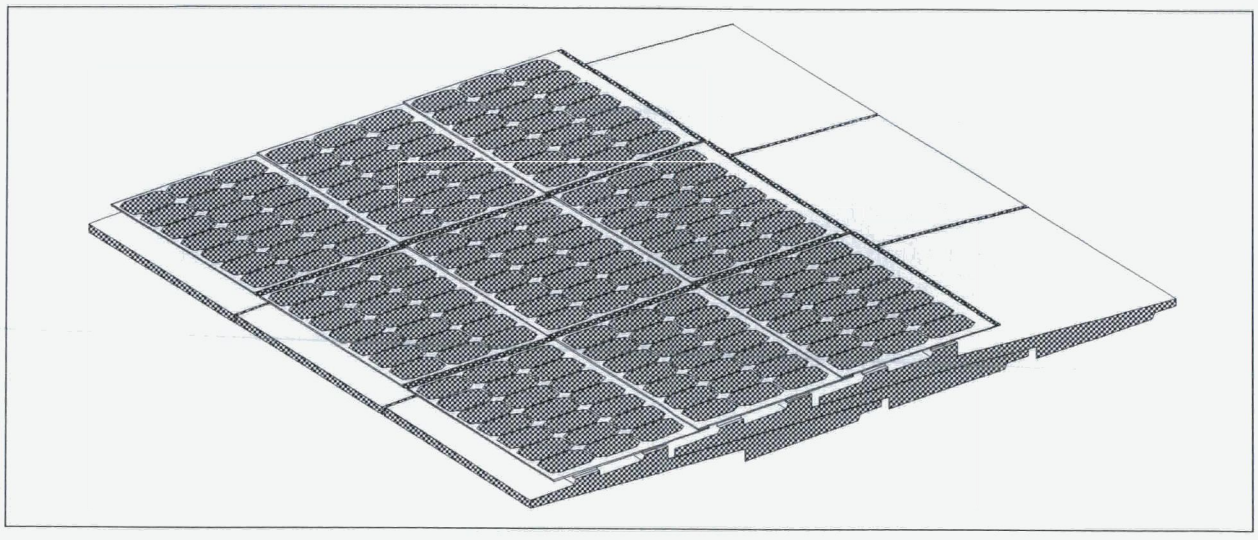


Abb. 25: Macodach-PV-Elemente, wenn das Unterdach und die Bedachung zu bilden sind

5.7.9 Mechanischer Schutz

Die Solarmodule haben ein gehärtetes, eisenarmes Deckglas, welches entsprechend der Norm Ispra 503 strengen Anforderungen bezüglich Hagelbeschuss genügen muss. Dichtungsprofile respektive Fugenbleche weisen eine Stabilität auf, welche durch Hagel nicht beschädigt wird. Die Fixierung der Photovoltaiklaminate auf dem PS-Sockel ist hinsichtlich Druckkraft derart stark, dass das Stehen auf dem Element ermöglicht wird.

5.7.10 UV-Beständigkeit

Die Macodach-Elemente aus Polystyrol brauchen einen Schutz vor UV-Licht. Dieser Schutz wird durch die Solarmodule und die Fugenabdeckung erreicht.

5.7.11 Dampfdiffusion

Expandierter Polystyrol weist eine gute Wasserundurchlässigkeit und eine gute Wasserdampf- und Luftdurchlässigkeit auf. Die Diffusionswiderstandszahl liegt zwischen 40 und 60. Der Lage und den Eigenschaften des EPS entsprechend sind beim Einsatz von Macodach-PV-Elementen keine Dampfdiffusionsprobleme zu erwarten.

5.7.12 Sommerlicher Wärmeschutz

Ein Teil der eingestrahlten Wärme wird durch den Hinterlüftungsraum zwischen Solarmodul und Dämmelement abtransportiert. Die Wärmeisolation ist nicht direkt der Sonne ausgesetzt und leitet die Wärme weniger schnell ins Innere.
EPS ist ein sehr leichtes Material, was zu einem eher schlechten instationären Verhalten der Konstruktion beiträgt. Dieses instationäre Verhalten muss bei Bedarf durch den Einbau von Materialien mit hoher thermischer Masse unter den Macodach-PV-Elementen verbessert werden.

5.7.13 Schallschutz

Polystyrol ist ein leichtes Dämmelement mit kleiner Schalldämmwirkung. Es muss versucht werden, in Kombination mit dem übrigen Dachaufbau den gewünschten Schallschutz zu erreichen

5.7.14 Brandschutz

Entsprechend der Brandschutzrichtlinie der VKF darf die oberste Schicht im Steildach nicht brennbar sein. Beim PV-Macodach-System wird die oberste Schicht durch überlappende Photovoltaiklaminate, sowie durch Fugen-Abdeckbleche gebildet. Ist eine dichte Schicht durch die Photovoltaiklaminate zu bilden, werden EPDM-Profile eingesetzt. Der Flächenanteil dieser schlecht brennbaren Profile ist aber gering und ist vergleichbar der Situation bei Wintergärten.

5.7.15 Verkabelung

Die einzelnen PV-Isolationselemente sind mit Anschlusskabeln und MC-Steckern versehen. Die MC-Stecker werden je nach Verbindungsart nach links oder rechts herausgeführt. Vor dem Platzieren des Elementes wird die Steckverbindung erstellt. Die Lage der einzelnen Stränge und die Kabelführung werden vorgängig definiert. Die erforderlichen Strangkabel müssen rechtzeitig in die Zwischenräume zwischen den Elementen mit eingelegt werden.

5.7.16 Temperatureinfluss, Hinterlüftung

Zwischen Photovoltaiklaminat und Polystyrolkörper ist ein Zwischenraum, der die Luftzirkulation ermöglicht. Die Photovoltaiklaminate sind überlappend angeordnet, was die Zufuhr von Frischluft in den Belüftungsraum ermöglicht und im Firstbereich zum Austritt von erwärmter Luft führt. Die Ertragsminderung infolge hoher Zellentemperatur wird dadurch reduziert.
Wird das Photovoltaiklaminat direkt auf das Macodachelement geklebt, ist mit höheren Zelltemperaturen zu rechnen. Bei dieser Befestigungsart sind amorphe Solarzellen bevorzugt einzusetzen, da diese die kleinere Leistungsminderung pro Grad Temperaturerhöhung zeigen.

5.7.17 Kabeleinführung

Die Kabeleinführung ins Gebäude ist im Randbereich des Daches vorzusehen. Die Strangkabel sind dementsprechend bis zur Kabeleinführung und dem innen liegenden Klemmenkasten zu führen.

5.7.18 Übergänge

Die Integration der PV-Macodach-Elemente in ein Ziegeldach ist einfach. Seitlich an die Elemente angrenzend werden Macodach-Elemente ohne Photovoltaik-Laminat platziert. Zur Beschwerung dieser Elemente und zur Bildung der oberen Dachschicht werden Dachziegel gelegt. Der Übergang zwischen Ziegel und PV-Laminat wird mit gefalzten Kupferblechen realisiert.

5.8 PV-Thermodach

Das System Thermodach ist ein Isolier-Unterdach, vergleichbar mit dem Macodach-System (im Kap. 5.7). Geformte Polystyrol-Elemente werden überlappend auf eine Lattung aufgesetzt, so dass eine dichte, auch wasserdichte Unterdachbahn entsteht. Das Wasser wird über Kanäle im Polystyrol zur Traufe geleitet.
Die Thermodachelemente können mit Photovoltaiklaminaten ergänzt werden. Mit der Zielsetzung, dass alle Funktionen des Daches normgerecht mit den kombinierten Elementen gewährleistet sein müssen, ergeben sich folgende Konzepte des Dachaufbaus und der Solarmodulbefestigung:

Konzept Unterdach bestehend:

Bei diesem Konzept ist das Unterdach mit einer Unterdachbahn realisiert. Auf der Unterdachbahn liegt die Lattung und gegebenenfalls eine Konterlattung. Die PV-Thermodachelemente werden auf die Lattung aufgesetzt und bilden eine zusätzliche Wärmeisolationsschicht, sowie die Bedachung (vgl. Abb. 26).
Die Solarmodule werden direkt auf die Dämmelemente geklebt.

Konzept Unterdach mit Thermodachelement

Auf den Sparren des Dachstuhls wird das Täfer angebracht. Darauf wird mit der Lattung eine Dampfsperre fixiert. Auf der Lattung werden die PV-Thermoelemente montiert. Während der Körper dieser Elemente aus Polystyrol die Unterdachbahn und Wärmedämmschicht bildet, dienen die überlappenden Solarlaminate als Bedachung. Die Solarmodule sind über Sockel oder Sockelschienen mit dem Dämmelement verbunden. Diese Sockel können dabei aus Polystyrol oder als Metallhalterung ausgebildet sein.

Konzept Doppelschicht Thermodach

Bei diesem Konzept wird das Unterdach mit der ersten Thermodachschicht gebildet. Zur Fixierung der Dämmelemente wird eine Lattung aufgenagelt. Darauf werden die PV-Thermodachelemente montiert. Diese bilden die zusätzliche Dämmschicht sowie die Bedachung.

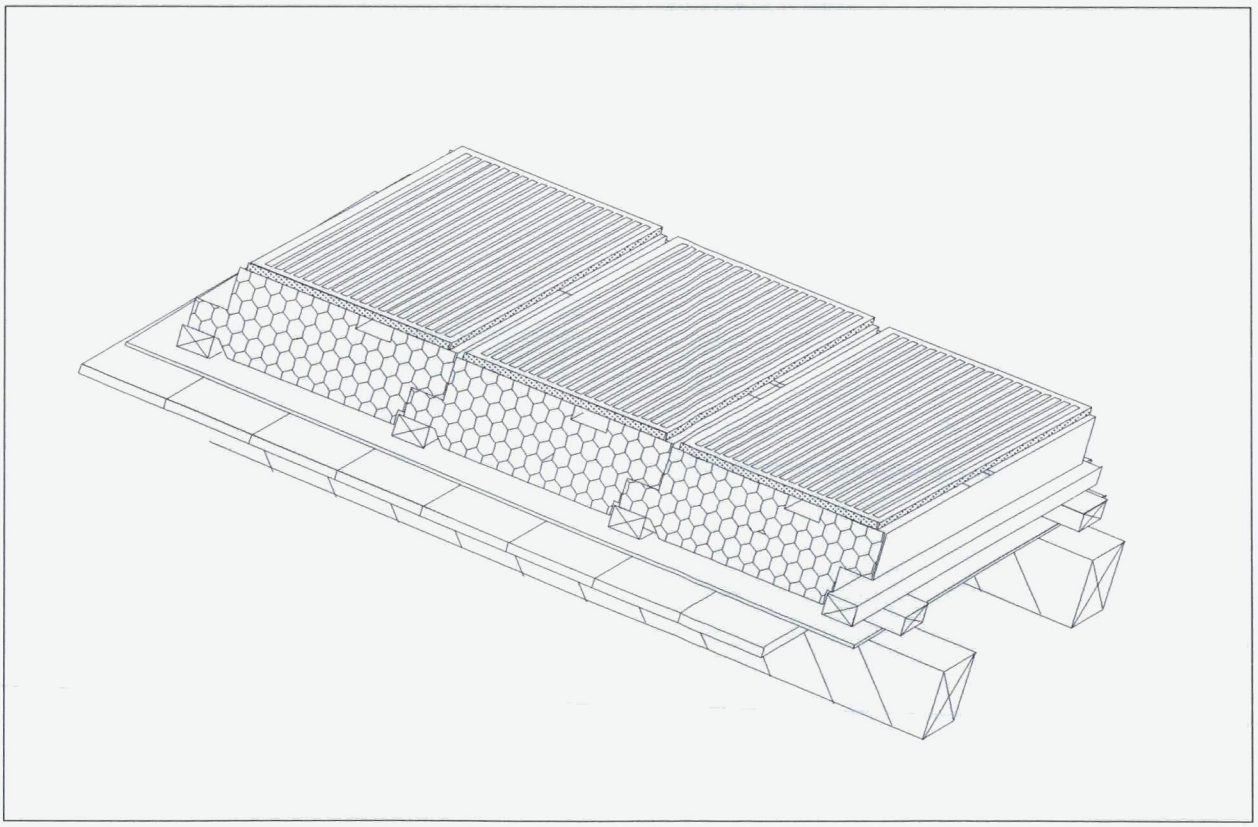


Abb. 26: Dachaufbau bei Konzept Unterdach bestehend

5.8.1 Qualität der Kombination:

Die Photovoltaikmodule werden direkt oder über Polystyrol-Sockel auf die Dämmplatte geleimt oder sind über eine Metallhalterung mit der Dämmplatte verbunden. Bei den Klebverbindungen zu den Polystyrolsockeln darf mit einer Zugfestigkeit von 0.2 N/mm2 und eine Schärfestigkeit von 0.12 N/mm2 gerechnet werden (minimale Materialfestigkeit von EPS). Auch bei einer Metallhalterung ist die limitierende Grösse für die Festigkeit durch die Materialfestigkeit von EPS gegeben.

5.8.2 Stabilität im Verbund:

Die Dämmelemente liegen auf der Lattung auf und überlappen einander. Das darauf befestigte Solarlaminat erhöht durch das Eigengewicht die Stabilität. Wird das Modul direkt auf die EPS-Platte geklebt, so können an extremer Lage zwischen den Modulen unter der Überlappungsbahn aus Bitumen Nägel oder Schrauben zur zusätzlichen Befestigung eingesetzt werden (Konzept Unterdach bestehend).

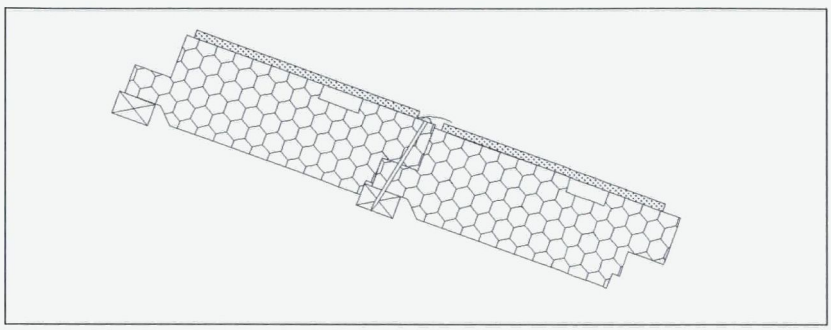


Abb. 27: Befestigung der Elemente bei Konzept Unterdach bestehend

Werden die Solarmodule auf Sockeln montiert, dann kann die Stabilität des Verbundes erhöht werden durch Erhöhung des Sockelgewichtes.
Beim Konzept mit einer doppelten Thermodachschicht wird die erforderliche Stabilität erreicht durch Fixierung der zwischenliegenden Lattung und zusätzlicher Fixierung der äusseren Thermodachschicht mittels Schraub- oder Nagelverbindungen.

5.8.3 Dämmwirkung, U-Wert

Das Thermodachsystem erfordert ein sorgfältiges Verlegen aller Dämmelemente und eine gute Abdichtung in den Randzohnen mittels Thermopakt-Dosenschaum. Unter der Dämmschicht muss eine ruhende Luftschicht entstehen. Ist diese Bedingung erreicht, dann resultiert ein U-Wert entsprechend der Dämmschichtdicke von 8, 10 oder 12 cm und der EPS-Wärmeleitfähigkeit (u-Wert=0.38, 0.33, 0.27). Bei einer doppelten Thermodachschicht (je 8cm) resultiert ein u-Wert von rund 0.22.

5.8.4 Elektrische Leistung

Bei Einsatz von ASE-Modulen mit amorphen Solarzellen resultiert bei einer Plattengrösse von rund 0.3 x 0.58 m eine elektrische Leistung von 10 W.
Denkbar ist aber auch die Verwendung von einem Solarmodul über mehrere Dämmplatten. Dies würde eine Modulgrösse von rund 0.32 x 1.19m oder 1.79m ergeben. Bei Wahl von kristallinen Zellen resultiert eine elektrische Leistung von rund 50 W resp. 75W

5.8.5 Reparaturmöglichkeiten

Bei bestehendem Unterdach kann ein ganzes defektes PV-Thermodachelement mit angeklebtem PV-Laminat entfernt werden. Dies ist durch Entfernen einer eventuellen Schraubverbindung möglich. Ein neues Element kann bei Lösung der umliegenden Elemente wieder eingesetzt werden.
Bildet das Thermoelement das Unterdach und das PV-Laminat die Bedachung, so werden die Sockel zwischen Laminat und Dämmung durchtrennt. Bei Sockeln aus Polystyrol dient dazu ein Heizdraht. Das neue Solarmodul kann auf

neuen Sockeln wieder angeklebt werden. Bei Fixierung mit Metallhalterungen sind diese durch seitliches Ausfahren zu lösen und das neue Modul mit gleichen Halteklammern kann eingesetzt werden.

5.8.6 Preis pro Element

Es sind diverse Klebverbindungen zu erstellen und die Dichtungsprofile aufzusetzen.
Bei Wahl von amorphen Solarzellen ist pro Modul von 60 cm Breite mit Kosten von rund 106 Fr. zu rechnen.
Dies entspricht 10.6 Fr. / W installierte Leistung resp. 531 Fr. / m^2 überbaute Dachfläche (vgl Anhang).
Bei Verwendung von kristallinen Zellen und einer Modulbreite von 120 cm resultieren Kosten von ca. 510 Fr. pro PV-Thermodachelement (10.3 Fr./W resp. 1280 Fr./ m^2).

5.8.7 Montageaufwand

Die Dämmelemente sind auf der Lattung richtig zu platzieren, die Verbindung zum vorhergehenden Modul ist zu erstellen und das Modul ist zu sichern.
Es muss mit Montagekosten von 3 –4 Fr. pro Element gerechnet werden (vgl. Anhang).

5.8.8 Wasserdichte

Bezüglich Wasserdichte sind die 3 oben erwähnten Konzepte zu unterscheiden:
Beim Konzept „Unterdach bestehend" wird die Bedachung durch die Thermodachelemente mit den aufgeklebten Solarlaminaten gebildet. Die Dichte des Thermodachsystems, das durch Überlappung und Wasserrinnen ein wasserdichtes System bildet, wird durch die Solarlaminate und die Bitumenstreifen resp. ALU-Profile verbessert.
Beim Konzept „Unterdach mit Thermodachelement" wird die Bedachung durch die Solarlaminate und EPDM-Dichtungsprofile gebildet. Die Solarlaminate überlappen einander. Die überlappte Oberkante der Laminate weist einen erhöhten Kantenschutz auf, der durch Windeinfluss rückfliessendes Wasser abweist.
Beim Konzept „Doppelschicht Thermodach" bildet die innere Thermodachschicht das Unterdach. Die Dichte der Bedachung (äussere Thermodachschicht, Solarlaminate) wird wie beim Konzept „Unterdach bestehend" erreicht.

5.8.9 Mechanischer Schutz

Die Stellen zwischen den Solarlaminaten sind mit Bitumenbahnen respektive mit EPDM-Dichtungsprofilen geschützt.

5.8.10 UV-Beständigkeit

Gegebenenfalls exponierte Stellen der EPS-Dämmelemente sind durch einen Deckanstrich vor UV-Licht zu schützen.

5.8.11 Dampfdiffusion

Die Dampfdiffusion wird aufgrund der guten Wasserdampfdurchlässigkeit und der bestehenden Fugen zwischen den Elementen nicht wesentlich beeinträchtigt.

5.8.12 Sommerlicher Wärmeschutz

Gegenüber einem Ziegeldach mit darunterliegender Isolationsschicht, ist bei direkt verklebten Elementen ohne Zwischenraum zwischen Dämmschicht und Solarmodul eher mit einer Verschlechterung zu rechnen. Hingegen ermöglicht die Befestigung auf Sockeln eine Durchlüftung, was zu einer ähnlichen Situation führt wie beim Ziegeldach.

5.8.13 Schallschutz

Polystyrol ist ein leichtes Dämmmaterial, das bezüglich Schallschutz weniger gute akustische Dämmeigenschaften besitzt als die schwereren Stein- ,Glaswoll- und Holzwollstoffe.

5.8.14 Brandschutz

Entsprechend der Brandschutzrichtlinie der VKF darf die oberste Schicht im Steildach nicht brennbar sein. Im Fugenbereich zwischen den Modulen wird demzufolge die EPS-Dämmplatte mit ALU-Profilen, Bitumenbahn oder einer Mörtelschicht abgedeckt. Bilden die Solarmodule die Bedachung, so werden überlappende Module und EPDM-Profile eingesetzt. Der Flächenanteil dieser schlecht brennbaren Profile ist aber gering und ist der Situation bei Wintergärten vergleichbar.

5.8.15 Verkabelung

Die Strangaufteilung der Photovoltaikanlage muss vorgängig geklärt sein und bei der Montage berücksichtigt werden. Beim Konzept „Unterdach vorhanden" können die Anschlusskabel durch die Dämmschicht nach unten geführt werden. Durch die Verklebung des Laminates mit der Dämmplatte wird die Kabeldurchführung wieder dicht verschlossen. Die Verkabelung der Module kann dann unter der Dämmschicht erfolgen. Bei den beiden anderen Konzepten liegt die Verkabelung über der Dämmschicht im Hinterlüftungsraum oder unter den Abdeckprofilen.

5.8.16 Temperatureinfluss, Hinterlüftung

Bei einer direkten Verklebung des Solarlaminates mit der Dämmplatte, erfolgt die Wärmeabgabe bei Sonneneinstrahlung sozusagen nur gegen aussen. Dies kann zu etwas höheren Temperaturen der Solarzellen führen. Um die Wirkungsgradminderung durch diese erhöhte Temperatur gering zu halten, bieten sich amorphen Solarzellen an.

5.8.17 Kabeleinführung

Liegen die Kabel über der Dämmschicht, wird die Kabeleinführung ins Gebäude neben dem Solarfeld erstellt. Dies kann im Traufbereich oder auch im Firstbereich des Gebäudes sein.
Liegen die Kabel unter der Dämmschicht, kann die Kabeldurchführung in den Estrichbereich überall erfolgen.

5.8.18 Übergänge

Neben dem Solarfeld werden gewöhnliche Thermodachelemente eingesetzt, um die Dämmung zu vervollständigen. Diese werden zur Bildung der Bedachung mit Ziegelsteinen belegt. Der Übergang zwischen Ziegel und PV-Laminat wird mit gefalzten Kupferblechen realisiert.

5.9 PV-Fertigdach

Fertigdachisolationselemente bestehen aus einem Isolationskern aus extrudiertem Polystyrol oder aus Polyurethan und einer Beplankung aus Stahlblechprofilen. Die Aussenbeplankung weist aus Stabilitätsgründen eine trapezförmige Struktur auf. Die Breite der Elemente beträgt rund 1 m; die Länge kann auf das Bauwerk abgestimmt werden und variiert je nach Hersteller zwischen 2 und 24m. Auf diese Elemente werden nun rahmenlose Solarmodule geklebt.

Erforderlicher Dachaufbau:
Die Tragkonstruktion des Daches kann mit Holzsparren oder Metallträgern realisiert sein. Darauf werden direkt die PV-Fertigdachelemente gelegt und mit Schraubverbindungen in die Tragkonstruktion fixiert.
Mit dem Einsatz von standardisierten 110W-Solarmodulen werden die erforderlichen Schraubverbindungen ermöglicht

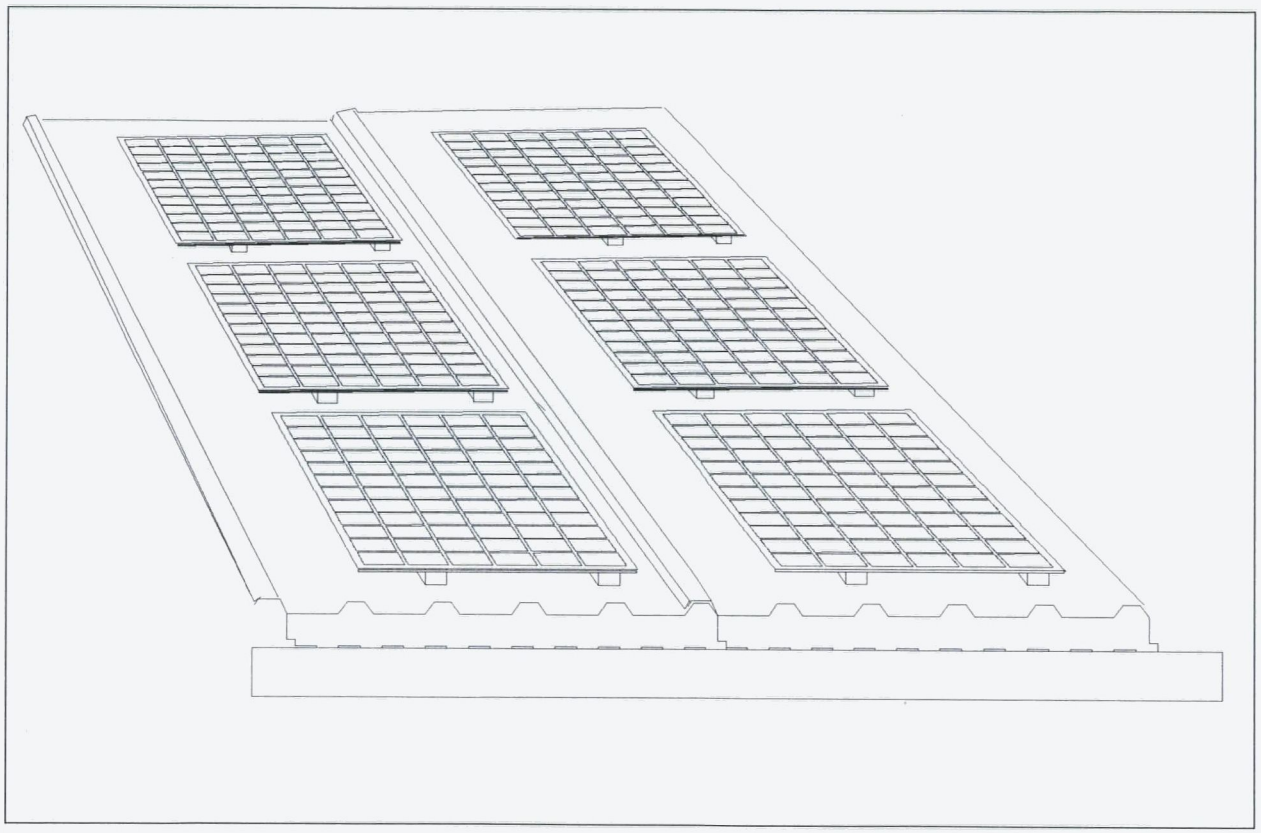


Abb. 28: Fertigdachelemente mit Standardsolarmodulen auf Sockeln fixiert

5.9.1 Qualität der Kombination:

Die Elemente weisen 5 „Trapezberge" auf. Über den mittleren 3 werden die ca. 65 cm breiten Photvoltaiklaminate platziert und via Polystyrolsockel per Klebverbindung fixiert. Die Festigkeit dieser Verbindungen ist gegeben durch die Materialeigenschaften des schwächsten Elementes, nämlich des Polystyrols. Dieser weist eine Zugfestigkeit von rund 0.2N/mm^2 und eine Schärfestigkeit von rund 0.12N/mm^2 auf. Bei 4 Klebeflächen der Ankerpunkte von rund 50cm^2 resultiert eine maximal mögliche Zugbelastung von rund 400 kg pro Element.

5.9.2 Stabilität im Verbund:

Durch die Kombination der Fertigdachisolationselemente mit Solarmodulen muss mit einem um rund 10kg/m^2 höheren Dachgewicht gerechnet werden. Dies und die erhöhte Sogwirkung durch die Module sind angesichts der hohen Stabiltätsanforderungen nach SIA 160 als unwesentlich zu bezeichnen. Es ergibt sich eine unwesentliche Erhöhung der Fertigdachkonstruktion.

5.9.3 Dämmwirkung, U-Wert

Die Dämmwirkung ist gegeben durch das Fertigdachdämmelement und wird durch die Kombination mit Solarmodulen nicht beeinträchtigt.

5.9.4 Elektrische Leistung

Bei 5 m langen Elementen könnten 3 110 W- Module platziert werden. Dies ergibt pro m eine Leistung von rund 66W.

5.9.5 Reparaturmöglichkeiten

Das Solarzellenfeld ist zugänglich und die Solarmodule unabhängig voneinander fixiert.
Defekte Solarmodule können relativ einfach ersetzt werden durch Trennen der PS-Sockel mit Heizschlaufe.

5.9.6 Preis pro Element

Sockel und Solarmodule müssen auf die Fertigdachelemente geleimt werden. Bei 5 m langen Elementen mit 3 Standard-110W-Modulen resultiert ein Modulpreis von rund 2500 Fr. Dies entspricht 7.6 Fr. / W installierte Leistung resp. 500 Fr. / m^2 überbaute Dachfläche (vgl Anhang).

5.9.7 Montageaufwand

Fertigdachelemente sind relativ schwer und werden von mehreren Personen oder per Kran an die gewünschte Stelle getragen. Die werkseitige Ergänzung der schweren Elemente mit Solarzellen, welche relativ heikel sind, dürfte zu Lagerungs- und Transportproblemen führen. Die ganze Montage muss mit erhöhter Sorgfalt ausgeführt werden. Es muss mit Montagekosten von rund 30 Fr. pro Element gerechnet werden (vgl. Anhang).

5.9.8 Wasserdichte

Es erfolgt keine wesentliche Beeinträchtigung der Wasserdichte.

5.9.9 Mechanischer Schutz

Das Fertigdach wie auch die ungerahmten Solarmodule weisen die erforderliche Stabilität bezüglich Hagelwetter auf. Die Solarmodule sind nicht begehbar.

5.9.10 UV-Beständigkeit

Die UV-Beständigkeit ist gewährleistet, wenn die Polystyrolsockel mit einem Mörtelanstrich versehen werden.

5.9.11 Dampfdiffusion

Es erfolgt keine Beeinträchtigung der Dampfdiffusion.

5.9.12 Sommerlicher Wärmeschutz

Der Leichtbauweise wegen ist mit einer geringen Amplitudendämpfung und Phasenverschiebung zu rechnen. Das Fertigdach kommt im Hallenbau zum Einsatz, wo meist eine Lüftung für das sommerliche Innenklima sorgt.

5.9.13 Schallschutz

Der leichten Bauweise wegen ist mit eher schlechten Dämmeigenschaften zu rechnen.

5.9.14 Brandschutz

Die Variante ist bezüglich Brandschutz unproblematisch.

5.9.15 Verkabelung

Die Solarmodule der einzelnen Elemente werden im Firstbereich miteinander elektrisch verbunden. Auch die Strangkabel sind im Firstbereich platziert.

5.9.16 Temperatureinfluss, Hinterlüftung

Zwischen Solarmodul und Fertigdachelement ist ein Zwischenraum, der eine gute Hinterlüftung der Module ermöglicht.

5.9.17 Kabeleinführung

Die Kabeleinführung ins Gebäude wird an geeigneter Stelle im Firstbereicht erstellt. Möglich ist auch ein externer Kabelkanal vom Dach zur Energiezentrale.

5.9.18 Übergänge

Neben dem Solarfeld sind Fertigdachdämmelemente ohne Solarzellen. Die Übergänge sind unproblematisch.

5.10 PS-Tragstruktur

Die Variante PS-Tragstruktur basiert auf der Überlegung, dass die Bedachung auch mit geformten Kunststoffschalen gebildet werden kann und dadurch die Befestigung der Standard-Solarmodule sehr einfach ausfallen kann. Die Kunststoffschalen werden in der Werkstatt mit dem Dämmelement (Polystyrol), das bereits eine Unterdachbahn trägt, verbunden. Die kombinierten Elemente bilden auf dem Steildach eine Tragstruktur, welche einfach mit Gewicht gegen Wind gesichert werden kann und welche eine einfache, auf die Elemente abgestimmte Montage der Solarmodule ermöglicht.

Erforderlicher Dachaufbau: Über den Sparren wird eine Schalung mit Dampfsperre verlegt. Darauf liegt eine erste Dämmschicht (nur bei Bedarf einer erhöhten Dachisolation), immer aber eine Lattung. Die PS-Tragstruktur wird auf diese Lattung aufgesetzt.

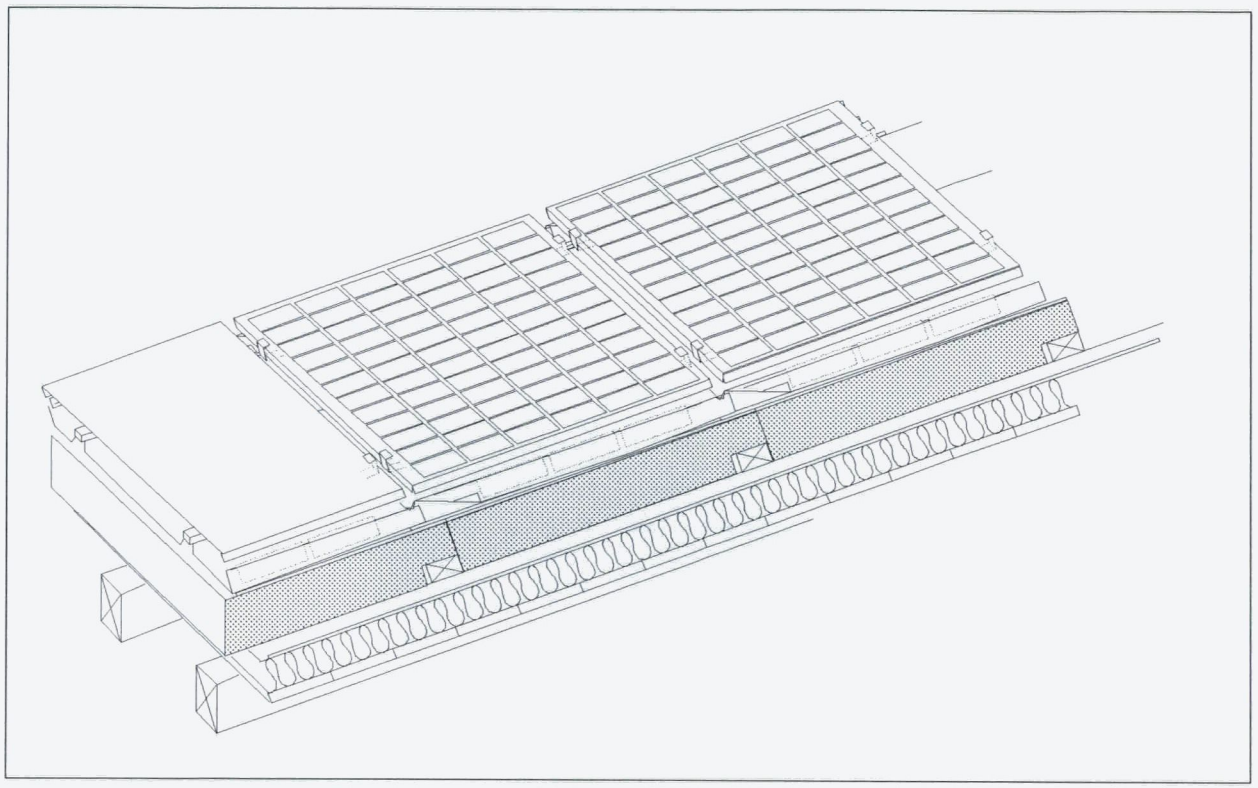


Abb. 29: Dachaufbau mit PS-Tragstruktur für Photovoltaikmodule

5.10.1 Qualität der Kombination

Die Unterdachbahn, eine Polymerbitumenschicht, wird mittels Klebverbindung direkt auf das Dämmelement aus Polystyrol geklebt. Auf die Bitumenbahn sind einfache Ankerpunkte aus Metall geklebt, welche die Schraubbefestigung der Kunststoffschale gestatten. Die Festigkeit dieser Verbindungen ist gegeben durch die Materialeigenschaften des schwächsten Elementes, nämlich des Polystyrols. Dieser weist eine Zugfestigkeit von rund $0.2 N/mm^2$ und eine Schärfestigkeit von rund $0.12 N/mm^2$ auf. Bei 4 Klebeflächen der Ankerpunkte von rund 50 cm^2 resultiert eine maximal mögliche Zugbelastung von rund 400 kg pro Element.

5.10.2 Stabilität im Verbund

Die kombinierten Elemente werden auf die Lattung und die darunterliegende Dachschicht aufgelegt. An der oberen Kante werden die Elemente mit Schrauben- oder Nagelverbindung in die Lattung fixiert. Falls dies nicht erwünscht ist können die Elemente mit Betonsteinen fixiert werden, welche zur Belastung auf der Kunststoffschale und unter den Solarmodulen platziert werden. Die Lösung mit Belastungssteinen kann allerdings nur in der Dachmitte und an wenig wind-exponierten Orten gewählt werden, da sonst die nach SIA 160 möglichen Sogkräfte zu hoch werden. Mit Nagel- oder Schraubbefestigungen im Überlappungsbereich ist die erforderliche Festigkeit aber auch an exponierteren Orten erreichbar.

5.10.3 Dämmwirkung, U-Wert

Polystyrol weist eine Dämmleitfähigkeit von ca. 0.04 W/mK auf. Die Dämmelemente sind gross, was zu einem eher kleinen Fugenanteil führt. Wärmebrücken an diesen Fugen in Verbindung mit der Aussparung für die Lattung führen aber zu einer Reduktion des theoretischen U-Wertes.

5.10.4 Elektrische Leistung

Weit verbreitete und günstige Solarmodule sind die 110W-Module diverser Hersteller. Diese sind auch für diese Variante eine gute Wahl.

5.10.5 Reparaturmöglichkeiten

Defekte Solarmodule können infolge der Schraubbefestigung einfach ersetzt werden.

5.10.6 Preis pro Element

Unterdachbahn und Ankerplatten müssen auf die EPS-Platte geklebt werden Die Kunststoffwanne mit Halterungsprofilen wird angeschraubt. Bei Wahl von 110W-Modulen ist mit Modulkosten von 782 Fr. zu rechnen. Dies entspricht 7.10 Fr. / W installierte Leistung resp. 828 Fr. / m^2 überbaute Dachfläche (vgl Anhang).

5.10.7 Montageaufwand

Die PS-Tragstruktur wird auf die Lattung, welche einen Lattenabstand von 0.7m aufweist, gelegt. Vor dem Platzieren des nächsten Elementes oberhalb wird das Element im Überlappungsbereich mit Schrauben oder Nägeln in die Lattung fixiert. Das Solarmodul kann nachträglich auf der Montageschiene festgeschraubt werden.
Es muss mit Montagekosten von rund 13 Fr. pro Element gerechnet werden (vgl. Anhang).

5.10.8 Wasserdichte

Die einzelnen Kunststoffschalen überlappen einander und führen das Wasser direkt zur Traufe. Das Wasser auf den Solarmodulen fliesst in die Kunststoffschalen. Bei starkem Windaufkommen wirken die Solarmodule sozusagen als Schutz der Überlappungsstellen der Kunststoffschalen und verhindern so ein Wassereindringen.
Die Funktion des Unterdaches wird durch die überlappenden Polymerbitumenbahnen gewährleistet.

5.10.9 Mechanischer Schutz

Die gerahmten Solarmodule, sowie ein witterungsbeständiger Kunststoff bilden den erforderlichen mechanischen Schutz.

5.10.10 UV-Beständigkeit

Die UV-Beständigkeit ist gewährleistet.

5.10.11 Dampfdiffusion

Durch Anbringen einer guten Dampfsperre über der Schalung kann eine Beschädigung der Dachkonstruktion durch Dampfdiffusion verhindert werden.

5.10.12 Sommerlicher Wärmeschutz

Der Dämmstoff Polystyrol weist einge geringe Masse und dem entsprechend ein geringes Wärmespeichervermögen auf, was zu einer geringen Amplitudendämpfung und Phasenverschiebung führt. Kunststoffschalen, Solarmodule und Belastungssteine führen aber zu einer Verbesserung derselben. Zudem können diese durch die Wahl geeigneter Dachelemente unter der PS-Tragstruktur verbessert werden.

5.10.13 Schallschutz

Der leichten Bauweise wegen ist mit eher schlechteren Dämmeigenschaften zu rechnen. Diese können allerdings durch Kombination mit einer zweiten schwereren Dämmschicht unter der PS-Tragstruktur verbessert werden.

5.10.14 Brandschutz

Die Variante ist bezüglich Brandschutz unproblematisch.

5.10.15 Verkabelung

Beim Verlegen der Solarmodule wird jeweils die Verbindung zum vorhergehenden Modul oder zum Strangkabel erstellt. Für die Kabel ist in den Kunststoffschalen unter den Solarmodulen genügend Platz.

5.10.16 Temperatureinfluss, Hinterlüftung

Zwischen Solarmodul und Kunststoffschale ist ein Zwischenraum, in dem Luft zirkulieren kann. Dadurch wird einer übermässigen Temperaturerhöhung entgegengewirkt.

5.10.17 Kabeleinführung

Die Kabeleinführung ins Gebäude wird am besten im Firstbereich über oder im Traufbereich unter dem Solarzellenfeld erstellt. Da die Kunststoffschalen durch die Schraubverbindungen entfernbar sind, könnte die Durchführung auch an einer geeigneten Stelle im Solarzellenfeld erfolgen.

5.10.18 Übergänge

Neben dem Solarfeld können dieselben Dämmplatten eingesetzt werden. Anstelle der Solarmodule werden aber günstige Stein-, Metall- oder Glasplatten eingesetzt. Bei Kombination mit anderen Bedachungsarten sind Spenglerarbeiten im Übergangsbereich erforderlich.

5.11 PV-Alpur-Dach

Die Alpur-Dämmelemente weisen einen hohen Dämmwert auf und werden mit Unterdachbahn geliefert. Die Dämmelemente mit Standardgrösse von 2350 mm x 1000 mm müssen auf die erforderliche Grösse für Standard-Solarmodule angepasst werden. Auf diesem Element kann eine Halterung fixiert werden, welche zur Befestigung von grossen Solarmodulen dient. Während die Polymerbitumenbahn des Alpur-Elementes als Unterdach dient, wird die Bedachung mit den Solarmodulen erstellt. Da die Bildung einer Bedachung mit Standard-Solarmodulen nicht unproblematisch ist, bietet sich ein weiteres Konzept an: Das Unterdach wird unter der Alpurplatte auf einer Schalung, die über den Sparren liegt erstellt. Die Alpurplatte bildet mit der Polymer-Bitumenbahn und den darauf befestigten Solarmodulen die Bedachung.

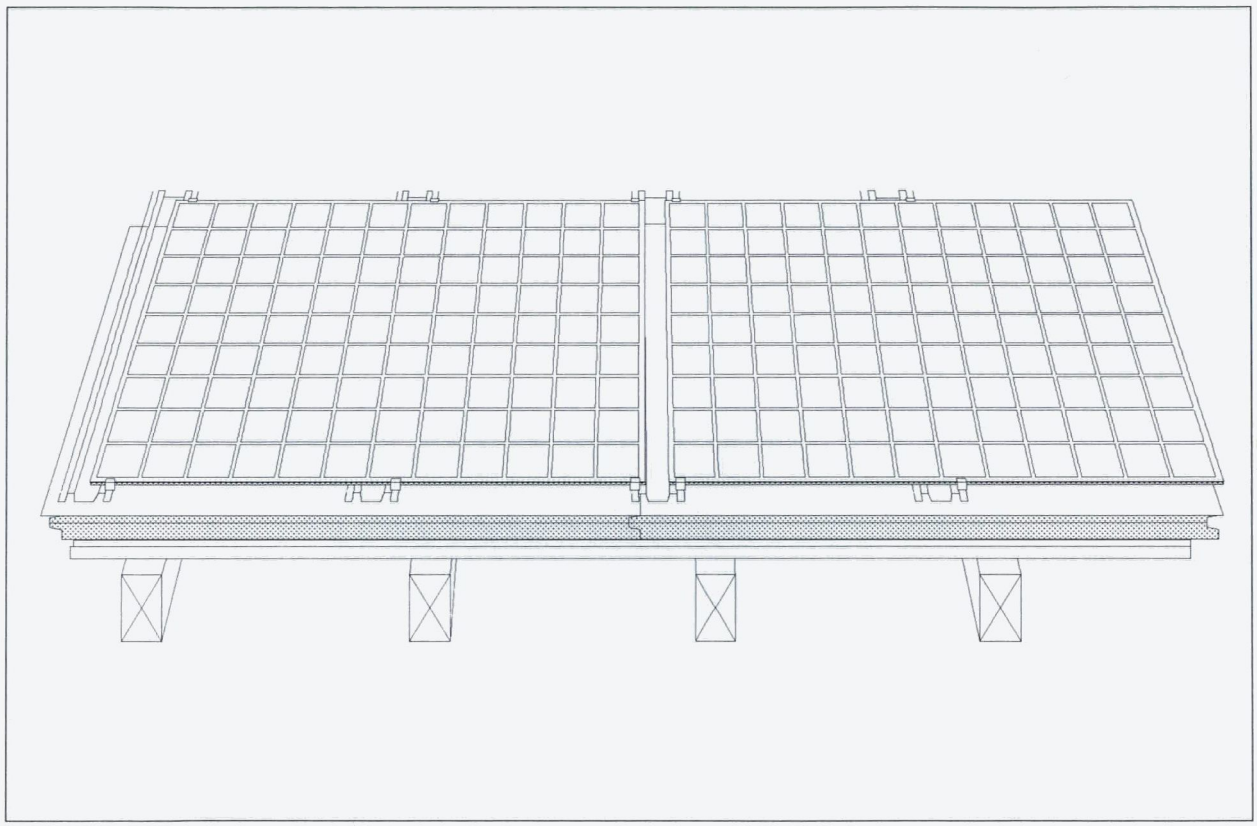


Abb. 30: Dachaufbau PV-Alpur-Dach

5.11.1 Qualität der Kombination

Um eine genügende Festigkeit der Verbindung von Modulhalterung, Unterdachbahn und Dämmplatte zu erhalten, muss gegenüber der Standard-Alpur-Dämmplatte eine erhöhte Klebverbindung zwischen Polymerbahn und PUR-Dämmplatte realisiert werden. Auf die Polymerplatte werden 4 Metallsockel geklebt, auf welche Modulhalteprofile geschraubt werden. In Bezug auf die Festigkeit der Verbindung bildet die Materialfestigkeit von PUR die Begrenzung. Bei Klebflächen von über 45 cm^2 pro Sockel kann mit der nötigen Stabilität der Verbindung gerechnet werden.

5.11.2 Stabilität im Verbund

Die Alpur-Dämmplatten werden auf den Sparren oder einer Schalung verlegt. Zur Fixierung dienen Nägel, die durch die Platte in die Sparren geschlagen werden.

5.11.3 Dämmwirkung, U-Wert

Die Dämmwirkung ist gegeben durch die Wahl der PUR-Platte. PUR weist eine sehr tiefe Wärmeleitfähigkeit von 0.025 W/mK auf, womit gegenüber anderen Dämmstoffen eine kleinere Dämmstoff-Dicke gewählt werden kann.

5.11.4 Elektrische Leistung

Grosse Standardmodule, auf welche die Dämmplatten zugeschnitten werden müssen, weisen eine Länge von 1.31 m und eine Breite von rund 97.5 cm auf. Es resultiert eine Leistung von rund 160W/Modul auf.

5.11.5 Reparaturmöglichkeiten

Die Standard-Solarlaminate sind auf Metallprofilen mit lösbaren Halteklammern befestigt. Dementsprechend ist das Auswechseln eines defekten Moduls nachträglich möglich.

5.11.6 Preis pro Element

PUR-Dämmplatten mit Unterdachbahn sind relativ teuer. Hingegen weisen grosse Standard-Solarmodule gute Preise pro W Leistung auf. Es ist mit Kosten von rund 1060 Fr. pro Element zu rechnen.
Dies entspricht 6.6 Fr. / W installierte Leistung resp. 825 Fr. / m^2 überbaute Dachfläche (vgl Anhang).

5.11.7 Montageaufwand

Die rund 1.30 x 97 cm grossen Dämmplatten werden auf den Sparren oder besser einer Schalung verlegt und mit Schrauben oder Nägeln in die Sparren befestigt. Strangkabel und Kabeldurchführung werden entsprechend vorbereitet. Daraufhin werden die Module auf die Halteprofile platziert und vor dem Festschrauben noch die Verbindung zum vorhergehenden Modul erstellt. Der Grösse der einzelnen Elemente und Module wegen ist eine Arbeit zu zweit von Vorteil. Es muss mit Montagekosten von rund 10 Fr. pro Element gerechnet werden (vgl. Anhang).

5.11.8 Wasserdichte

Beim Verlegen der Dämmplatten wird mit dem Andrücken der klebenden Überlappung der Unterdachbahn ein dichtes Unterdach erstellt. Die Solarmodule werden nachträglich auf die Metallprofile geklemmt. Seitlich liegen die Solarmodule auf dem Metallprofil auf, das zugleich als Regenrinne dient. Mittels Dichtungsband an der oberen Solarmodulkante, welche vom oberen Modul überlappt wird, wird das Eindringen von Regen bei Windaufkommen verringert.

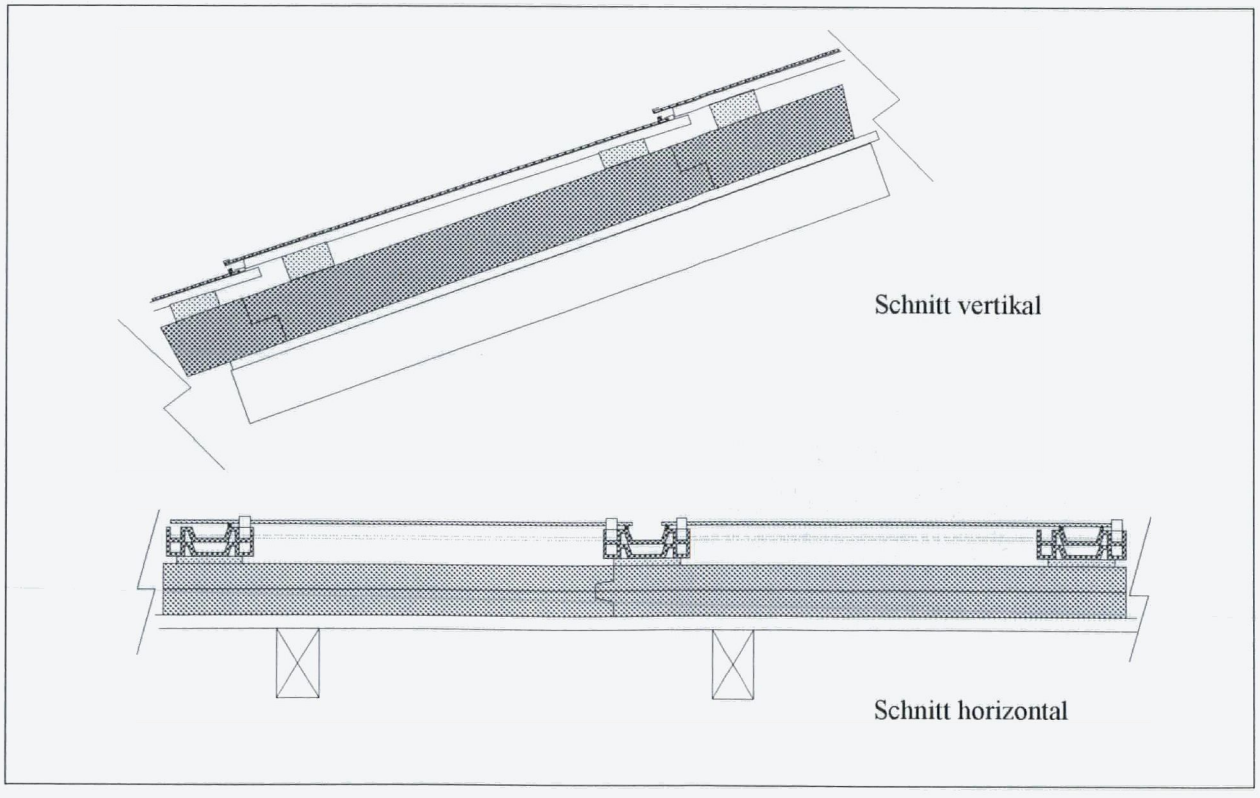


Abb. 31: Bildung der Bedachung beim PV-Alpur-Dach

5.11.9 Mechanischer Schutz

Es werden Solarmodule eingesetzt, welche der Norm IEC 61215 entsprechen und demzufolge einem Hagelunwetter standhalten sollten.

5.11.10 UV-Beständigkeit

Sowohl Solarmodule, Metallprofile und EPDM-Dichtungsband sind UV-beständig.

5.11.11 Dampfdiffusion

Die Dampfdiffusionseigenschaften sind gegeben durch die Dämmplatten und die Unterdachbahn, da zwischen Solarmodul und Unterdachbahn eine Hinterlüftung besteht.

5.11.12 Sommerlicher Wärmeschutz

Die Solarmodule und die Metallprofile verhindern eine direkte Bestrahlung der Wärmedämmung. Mit den vorzüglichen Dämmeigenschaften von PUR wird die Wärme von den Innenräumen abgehalten. Der geringen Masse entsprechend weist das Dach mit PV-Alpur-Platten eine eher geringe Amplitudendämpfung und Phasenverschiebung auf.

5.11.13 Schallschutz

Gegenüber einem Ziegeldach mit Alpur-Platten ist mit leicht verminderten akustischen Dämmeigenschaften zu rechnen.

5.11.14 Brandschutz

Die Lösung entspricht den Brandschutz-Richtlinien

5.11.15 Verkabelung

Die Strangaufteilung der Photovoltaikanlage muss vorgängig geklärt sein und bei der Montage berücksichtigt werden. Die Solarmodule sind mit Stecker ausgerüstet, über welche vor dem genauen Platzieren eine Verbindung zum vorhergehenden Solarmodul oder zum Strangkabel erstellt wird.

5.11.16 Temperatureinfluss, Hinterlüftung

Zwischen Platte und Solarlaminat entsteht ein Zwischenraum, der eine Hinterlüftung ermöglicht.

5.11.17 Kabeleinführung

Die Kabeleinführung ins Gebäude wird neben dem Solarzellenfeld erstellt. Die Kabeleinführung wird durch die darüberliegende Ziegelschicht geschützt.

5.11.18 Übergänge

Neben dem Solarfeld kann ein Ziegeldach mit Alpur-Dämmplatten als Dämmung und Unterdach realisiert werden. Während seitlich ein dichter Übergang dank den Metallprofilen mit Regenwasserrinne ohne zusätzliche Abdeckbleche möglich ist, sind oben und unten Übergangsbleche zur gewünschten Regenwasserführung erforderlich.

5.12 PV-Metall-Dämmelement

Das PV-Metall-Dämmelement basiert auf dem amorphen Standard-Solarmodul SSR64 von United Solar. Dieses Solarmodul mit rund 3 m Länge und 40 cm Breite kann auf eine Stahlplatte geklebt werden. Diese kann mit einer Dämmelement verbunden werden. Während diese Elemente und speziell die Stahlplatten die Bedachung bilden wird das Unterdach auf einer Schalung über den Sparren erstellt. Oft besteht bereits eine Wärmedämmschicht und ein Unterdach, womit mit dem Einsatz von PV-Metall-Dämmelementen die Dämmwirkung erhöht und Strom produziert werden kann.

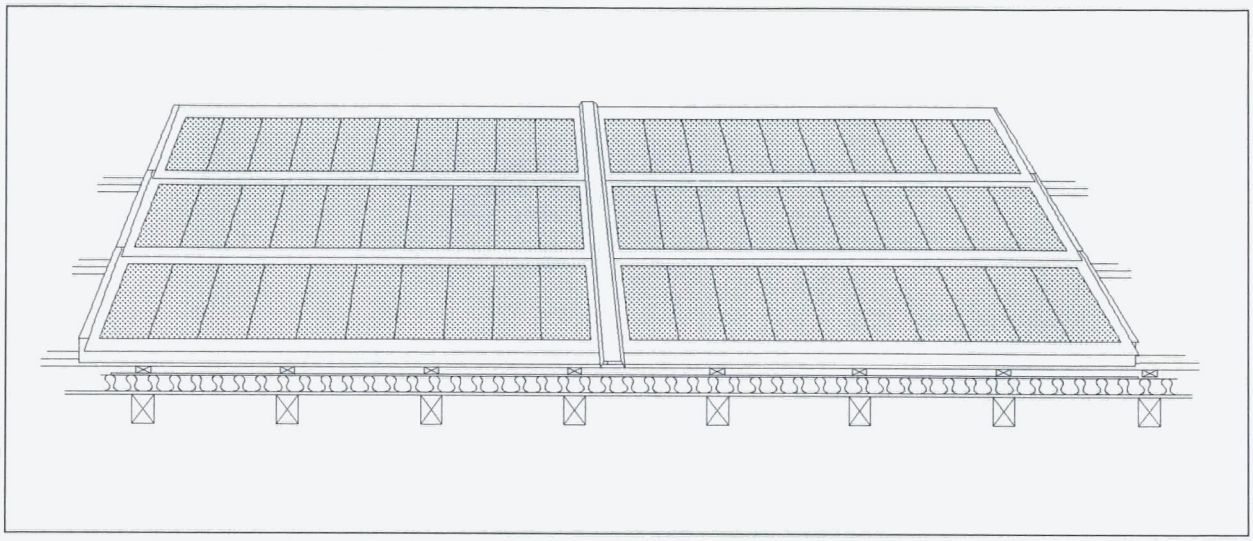


Abb. 32: Dachaufbau mit PV-Metalldämmelementen

5.12.1 Qualität der Kombination

Mit grossflächigen Verklebungen zwischen Dämmplatte, Stahlplatte und Solarmodul kann eine sehr hohe Festigkeit erreicht werden.

5.12.2 Stabilität im Verbund

Die kombinierten Elemente werden durch die Abdeckprofile, welche seitlich der Solarmodule aufliegen und welche durch Schraubverbindung in die Lattung fixiert sind, gehalten. Es ergibt sich eine Schraubverbindung pro ca. 1.5 m^2.

5.12.3 Dämmwirkung, U-Wert

Bei Wahl von Polyurethan als Dämmstoff (aufgrund der Temperaturbeständigkeit) ist mit einer Wärmeleitfähigkeit von 0.025 W/mK zu rechnen. Die Dämmwirkung der Isolationsschicht wird bei den Plattenunterkanten vermindert durch den Falz, welcher das Aufliegen auf der Lattung ermöglicht. Es muss zudem wegen undichter Stellen mit Wärmebrücken bei den Plattenübergängen gerechnet werden. Der resultierende U-Wert ist ferner davon abhängig, ob unter den PV-Metall-Dämmelementen eine weitere Dämmschicht vorhanden ist.

5.12.4 Elektrische Leistung

Das eingesetzte Solarmodul mit amorphen Zellen weist eine Leistung von 64 W bei Standardbedingungen auf.

5.12.5 Reparaturmöglichkeiten

Da die ganze Verkabelung unter den seitlich der Zellen liegenden Deckprofilen liegt, sind die Kabelanschlüsse durch Entfernen der Deckprofile zugänglich. Ein defektes Modul kann somit elektrisch aus dem Strang gelöst werden. Das Ersatzmodul wird auf das defekte Modul aufgeleimt und in den Strang eingefügt.

5.12.6 Preis pro Element

PUR-Dämmplatten sind relativ teuer. Hingegen weisen die grossen Standard-Solarmodule einen guten Preis pro W Leistung auf. Es ist mit Kosten von rund 474 Fr. pro Element zu rechnen. Dies entspricht 7.4 Fr. / W installierte Leistung resp. 316 Fr. / m^2 überbaute Dachfläche (vgl Anhang).

5.12.7 Montageaufwand

Der Plattengrösse und des Gewichtes der Elemente wegen, ist die Montage zu zweit auszuführen. Auf der Lattung mit rund 50 cm Lattenabstand werden die Elemente aufgesetzt. Die Verkabelung erfolgt nach dem Verlegen der einzelen Elemente. Daraufhin werden die Deckprofile gesetzt und bei den Plattenübergängen mit Schrauben in die Lattung fixiert. Es muss mit Montagekosten von rund 15 Fr. pro Element gerechnet werden (vgl. Anhang).

5.12.8 Wasserdichte

Die Wasserdichte des Daches wird durch die Formgebung der dünnen Stahlplatte erreicht, welche das Solarmodul trägt und auf der Dämmplatte aufliegt. Die Stahlplatten überlappen einander und weisen seitlich eine Biegestelle gegen oben auf. Diese verhindert einfliessendes Wasser. Sie wird durch ein Abdeckprofil überdeckt. Mit einem Gummiband bei der horizontalen Überlappungsstelle wird ein Einfliessen des Wassers bei Windeinfluss verhindert. Das Unterdach befindet sich unter dem PV-Metall-Dämmelement. Unglücklicherweise daraufgelangendes Wasser muss raumseitig abgeleitet werden, um möglichest keine Wärmebrücke zu bilden.

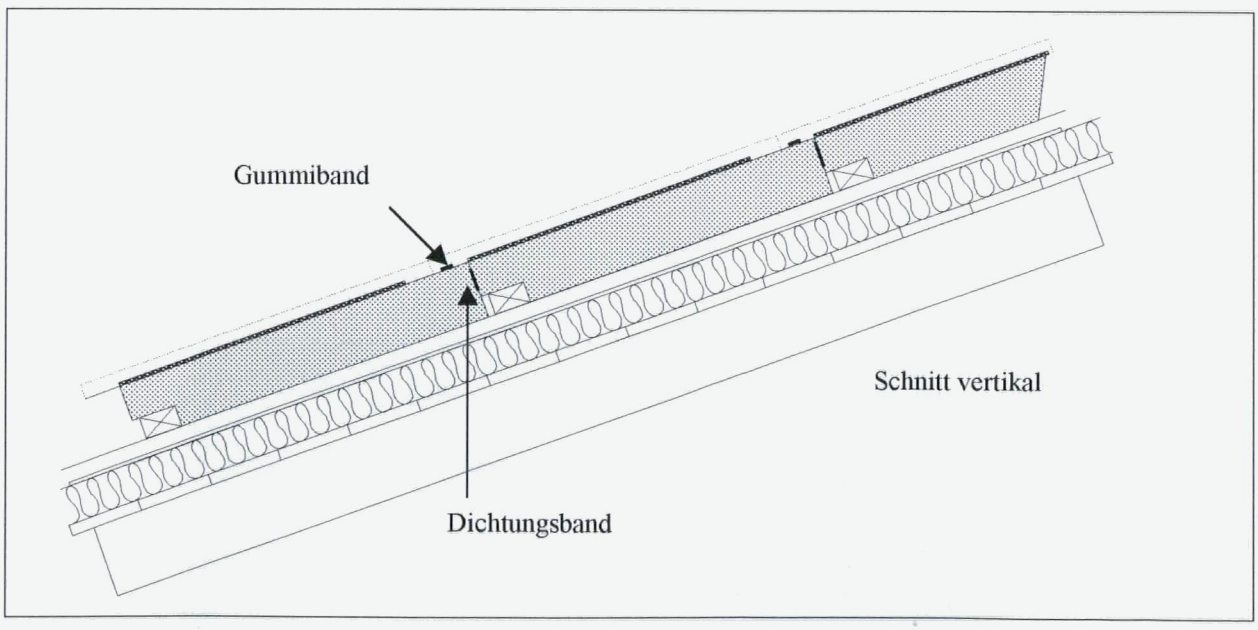


Abb. 33: einander überlappende PV-Metall-Dämmelemente

5.12.9 Mechanischer Schutz

Solarmodul und Metallbedachung bilden den erforderlichen mechanischen Schutz.

5.12.10 UV-Beständigkeit

Die UV-Beständigkeit ist gewährleistet.

5.12.11 Dampfdiffusion

Der Dämmstoff PUR weist eine sehr geringe Wärmeleitfähigkeit auf . Zudem ist die Dämmplatte fest mit der dünnen, sehr dichten Stahlplatte verbunden. Dies führt im Dach zu einem Temperaturverlauf, der keine Kondensation erwarten lässt. Durch unsorgfältige Montage kann allerdings eine Kondensation an undichten Stossstellen der PV-Metall-Dämmelemente stattfinden. Dem kann mit breiten Dichtungsbändern vorgebeugt werden.

5.12.12 Sommerlicher Wärmeschutz

Die Solarmodule mit den Metallplatten sind direkt auf der Wärmedämmung aufliegend, was bei Sonneneinstrahlung zu Temperaturen bis zu 90° führen kann. Der Dämmstoff PUR ist temperaturbeständig bis 120° und weist sehr gute Dämmeigenschaften auf, was die Wärme von den Innenräumen abhält. Der geringen Masse entsprechend weist das Dach mit PV-Metall-Dämmelementen eine eher geringe Amplitudendämpfung und Phasenverschiebung auf. Diese kann durch geeignete Wahl der Baustoffe unter den Elementen verbessert werden.

5.12.13 Schallschutz

Der leichten Bauweise wegen ist mit eher schlechteren Dämmeigenschaften zu rechnen. Diese können allerdings durch Kombination mit weiteren schwereren Baumaterialien unter den PV-Metall-Dämmelementen verbessert werden.

5.12.14 Brandschutz

Die Variante ist bezüglich Brandschutz unproblematisch.

5.12.15 Verkabelung

Die Verbindung der einzelnen Module erfolgt seitlich unter den Abdeckprofilen durch Steckanschlüsse. Die Verkabelung kann nach dem Verlegen der Elemente ausgeführt werden.

5.12.16 Temperatureinfluss, Hinterlüftung

Da sich die Solarmodule bei Sonneneinstrahlung stark aufwärmen können und keine Hinterlüftung der Module erfolgt, wurden für diese Variante amorphe Solarzellen gewählt. Diese weisen die kleineren Leistungsverluste infolge von hoher Zellentemperatur auf.

5.12.17 Kabeleinführung

Die Kabeleinführung ins Gebäude wird im Giebelbereich über oder im Traufbereich unter dem Solarzellenfeld erstellt. Die Kabeleinführung wird durch das darüberliegende Abdeckprofil geschützt.

5.12.18 Übergänge

Neben dem Solarfeld können dieselben Metall-Dämmplatten ohne Solarmodul eingesetzt werden. Bei Kombination mit anderen Bedachungsarten sind Spenglerarbeiten im Übergangsbereich erforderlich.

6 Beurteilung mit Vorschlag einer Variante zur Umsetzung

Die Untersuchungen der Varianten von PV-Aussenisolationselementen (Kap. 5) zeigen die Stärken und Schwächen der einzelnen Varianten hinsichtlich der in Kap. 4 festgelegten Kriterien auf. Neben den technischen Aspekten spielen vor allem auch die Preise für die Fertigung und Montage eine gewichtige Rolle. Diese Preise wurden basierend auf diversen Offerten und durch Schätzungen des Arbeitsaufwandes ermittelt. Um die resultierenden Kosten für die Elemente und deren Montage einschätzen zu können, wurde jeweils ein Vergleich einer 10 kW-Anlage mit einer marktüblichen 10 kW-Anlage angestellt. Selbstverständlich wurden in diese Vergleiche die Kosten für die Wärmedämmung und die Unterkonstruktion miteinbezogen (vgl. Kostenvergleiche im Anhang).
Zu den untersuchten technischen und finanziellen Kriterien sind in Hinblick auf den späteren Einsatz am Gebäude weitere Kriterien von Bedeutung:

- Ästhetik: Aufgrund der Subjektivität, die im Beurteilen dieses Kriteriums liegt, wurde hier darauf verzichtet.
- Potentielles Marktvolumen: Das potentielle Marktvolumen der einzelnen Varianten ist unterschiedlich gross. Die Nachfrage bei verschiedenen Isolationslieferanten und Baustoffhändler bestätigt, dass für die Varianten durchaus ein rechtes Marktpotential besteht. Dieses muss bei der Weiterentwicklung noch genauer abgeklärt werden. Vorerst wurde auf dieses Beurteilungskriterium verzichtet.
- Entsorgung: Die kombinierten PV-Isolationselemente müssen nach ihrer Lebensdauer entsorgt werden können. Sowohl bezüglich der Entsorgung von Isolationselementen wie auch von Photovoltaikmodulen sind Bestrebungen im Gange, die Entsorgung der ausgedienten Produkte zu optimieren. Dementsprechend und hinsichtlich der über 30-jährigen Lebensdauer der Elemente wurde auf dieses Beurteilungskriterium verzichtet.

Die Beurteilung der einzelnen Varianten erfolgt anhand der Beurteilungstabelle auf Seite 63. Die Tabelle enthält eine Unterteilung in Fassadenelemente, Flachdach- und Steildachelemente. Ein Vergleich ist nur zwischen den Varianten desselben Anwendungsbereiches sinnvoll.

Den in Kap. 5 untersuchten Kriterien ist in der Beurteilungstabelle eine Gewichtung zugeordnet, um die Bedeutung des jeweiligen Kriteriums in die Gesamtbeurteilung einzubringen.
Die Tabelle zeigt zudem die Beurteilung der einzelnen Varianten bezüglich den einzelnen Kriterien mit Punkten zwischen 1 und 3. Dabei wurden die Punkte gemäss folgender Aufstellung ermittelt.

Kriterium	Gewichtung	Punkte	Bedeutung
Qualität der Kombination	3 Wichtig	1 2 3	Genügend, eher Schwachpunkt Gut Sehr gut
Stabilität im Verbund	3 Wichtig	1 2 3	Genügend, eher Schwachpunkt Gut Sehr gut
Dämmwirkung, u-Wert:	3 Wichtig	1 2 3	Viele Wärmebrücken möglich Wärmebrücken möglich Geringe Beeinträchtigung durch Wärmebr.
Elektrische Leistung	1 Hinsichtl.Gebäude-Element unwichtig	1 2 3	Geringe Leistung pro m^2 Mittlere Leistung pro m^2 Hohe Leistung pro m^2 (kristalline Zellen)
Reparaturmöglichkeit	3 Wichtig	1 2 3	Reparatur aufwendig Reparatur möglich Reparatur einfach möglich
Preis pro Element	5 Am wichtigsten	1 2 3	Im Vergleich zu Standard eher schlechter Im Vergleich zu Standard etwa gleich Im Vergleich zu Standard eher besser
Montageaufwand	4 Sehr wichtig	1 2 3	Hoch Mittel Klein
Wasserdichte	3 Wichtig	1 2 3	Eher schlechter Wasserschutz Genügende Wasserdichte Gute Wasserdichte

Kriterium	Gewichtung	Punkte	Bedeutung
Mechanischer Schutz zB. Hagel	3 Wichtig	1 2 3	Schlecht Mittel Gut
UV-Beständigkeit	3 Wichtig	1 2 3	Gefahr zu einer Beschädigung besteht Kaum Gefahr durch UV-Strahlen Keine Beschädigungsgefahr
Dampfdiffusion	2 Weniger wichtig	1 2 3	Beschädigungsgefahr durch Dampfdiffusion Geringe Beschädigungsgefahr Gute Diffusionseigenschaften
Sommerlicher Wärmeschutz	2 Weniger wichtig	1 2 3	Schlecht Mittel Gut
Schallschutz	2 Weniger wichtig	1 2 3	Schlecht Mittel Gut
Brandschutz	3 Wichtig	1 2 3	Knapp genügend, eher schlecht Genügend Gut
Verkabelung	2 Weniger wichtig	1 2 3	Aufwendig Gut möglich Einfach
Temperatureinfluss, Hinterlüftung	2 Weniger wichtig	1 2 3	Keine Hinterlüftung Geringe Hinterlüftung Gute Hinterlüftung
Kabeleinführung	2 Weniger wichtig	1 2 3	Umständlich Gut möglich Einfach
Übergänge	3 Wichtig	1 2 3	Aufwendig Gut möglich Einfach

Es ergibt sich folgendes Resultat (vgl. Beurteilungstabelle Seite 63):

Fassadenelemente:
Unter den Fassadenelementen resultiert das PV-Fertigfassadenelement als die aussichtsreichste Variante. Dies ist damit verbunden, dass Photovoltaikmodule auf ein bestehendes und wettererprobtes Fertigfassadenelement geleimt werden. Ebenfalls eine hohe Punktzahl bekommt die Variante PV-Eurowand. Bei dieser Variante haben sich allerdings die Kriterien Stabilität und Montageaufwand zu bestätigen.

Flachdachelemente:
Die Varianten PV-XPS-Flachdach und PV-Schaumglaselement haben annähernd dieselbe Punktzahl. Während eine Schaumglasvariante die stabilere Anlage ergibt, hat eine XPS-Variante preisliche Vorteile.

Steildachelemente:
Bei den Steildachelementen zeigt sich das bessere Abschneiden der grossen Elemente. Kleinere Elemente, wie sie aus bestehenden geformten PS-Elementen resultieren, führen zu höheren Flächenpreisen und grösserer Problematik bezüglich Dichtigkeit. Bei guter Anpassung von günstigem Solarmodul mit einem neuen geformten PS-Element könnte das Preis/Leistungs-Verhältnis verbessert werden.
Günstige und interessante Photovoltaikanlagen versprechen die Varianten PS-Tragstruktur, PV-Alpur-Dach und PV-Metall-Dämmelement (hohe Punktzahl).

Vorschlag einer Variante zur Umsetzung

Die Untersuchungen in Kap. 5 zeigen, dass einige Varianten zu technischen und preislich interessanten Elementen führen können. Es hat sich keine Variante als die absolut beste oder einzige herauskristallisiert.
Es ist vorgesehen, das PV-Alpur-Dach und PV-Metall-Dämmelement in nächster Zeit näher zu untersuchen.
Interessant im Bereich Fassade ist die Variante PV-Eurowand. Sie verspricht eine günstige Fassadenanlage für grössere Geschäfts-, Industrie- und Gewerbegebäude. Ein potentielles Marktvolumen ist vorhanden. Die technischen Randbedingungen, die an dieses Fassadensystem gestellt werden, erscheinen lösbar. Die Firmen Flumroc AG, Schneider Leichtbau AG und Wyss AG zeigen sich sehr hilfsbereit bezüglich weiterer Abklärungen anhand von Prototyp-Elementen. Daher wurde die Variante PV-Eurowand zur Detailuntersuchung anhand von Prototypen gewählt.

Beurteilungstabelle PV-Isolationselemente

			Fassadenelemente								Flachdach		Steildachelemente											
	Kriterium	Gew.	Var1		Var2		Var3		Var4		Var5		Var6		Var7		Var8		Var9		Var10		Var11		Var12	
1	Qualität der Kombination	3	2	6	3	9	1	3	2	6	2	6	3	9	2	6	2	6	2	6	2	6	2	6	3	9
2	Stabilität im Verbund	3	1	3	3	9	2	6	2	6	1	3	1	3	2	6	2	6	3	9	2	6	2	6	2	6
3	Dämmwirkung, u-Wert:	3	2	6	2	6	1	3	2	6	2	6	2	6	2	6	1	3	2	6	3	9	3	9	3	9
4	Elektrische Leistung	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	1	1
5	Reparaturmöglichkeit	3	3	9	2	6	1	3	1	3	2	6	1	3	2	6	2	6	2	6	3	9	3	9	1	3
6	Preis pro Element	5	2	10	3	15	1	5	2	10	3	15	1	5	1	5	1	5	2	10	2	10	2	10	3	15
7	Montageaufwand	4	2	8	2	8	1	4	1	4	2	8	2	8	2	8	2	8	2	8	2	8	3	12	3	12
8	Wasserdichte	3	2	6	3	9	2	6	1	3	3	9	3	9	2	6	1	3	3	9	3	9	2	6	2	6
9	Mechanischer Schutz zB. Hagel	3	3	9	3	9	3	9	2	6	2	6	3	9	2	6	2	6	3	9	3	9	3	9	3	9
10	UV-Beständigkeit	3	3	9	3	9	3	9	2	6	2	6	3	9	2	6	2	6	3	9	3	9	3	9	3	9
11	Dampfdiffusion	2	3	6	2	4	3	6	3	6	3	6	3	6	3	6	3	6	2	4	3	6	3	6	2	4
12	Sommer-Wärmeschutz	2	2	4	1	2	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	1	2	1	2	2	4	2	4	1	2
13	Schallschutz	2	2	4	2	4	1	2	1	2	1	2	2	4	1	2	1	2	2	4	2	4	1	2	1	2
14	Brandschutz	3	3	9	2	6	3	9	1	3	1	3	3	9	1	3	1	3	2	6	1	3	2	6	3	9
15	Verkabelung	2	2	4	2	4	3	6	2	4	3	6	2	4	3	6	3	6	2	4	3	6	3	6	3	6
16	Temperatureinfluss, Hinterlüftung	2	3	6	1	2	3	6	3	6	3	6	1	2	2	4	2	4	2	4	3	6	2	4	1	2
17	Kabeleinführung	2	1	2	1	2	2	4	2	4	3	6	3	6	3	6	3	6	1	2	2	4	2	4	2	4
18	Übergänge	3	3	9	3	9	3	9	3	9	3	9	3	9	2	6	2	6	3	9	2	6	2	6	3	9
				111		114		95		91		110		106		94		86		110		117		117		117

Var1 PV-Eurowand
Var2 PV-Fertig-Fassadenelement
Var3 PV-Aluhit-Flumroc-Wand
Var4 PV-XPS-Fassade
Var5 PV-XPS-Flachdach
Var6 PV-Schaumglaselement
Var7 PV-Macodach
Var8 PV-Thermodachsystem Ampus
Var9 PV-Fertigdach
Var10 PS-Tragstruktur
Var11 PV-Alpur-Dach
Var12 PV-Metall-Dämmelement

Gew. Gewichtung der einzelnen Kriterien je nach Wichtigkeit zwischen 1 und 5
Punkte Beurteilung der einzelnen Varianten mit Punkten zwischen 1 und 3

7 Detailuntersuchung

Abbildung 34 zeigt die Versuchswand, welche 2 Prototyp-Elemente der Variante PV-Eurowand mit 2 Abschluss-Elementen enthält. Die Unterkonstruktion für den Einsatz der PV-Isolationselemente sind Innenwandkassetten. In diese Kassetten sind die 4 gefertigten Elemente eingeklappt. Bereits die Fertigung und die Montage der Elemente führte zu wichtigen Erkenntnissen. Aber auch die fertige Versuchswand gibt Aufschluss über zu verbessernde Detaillösungen.

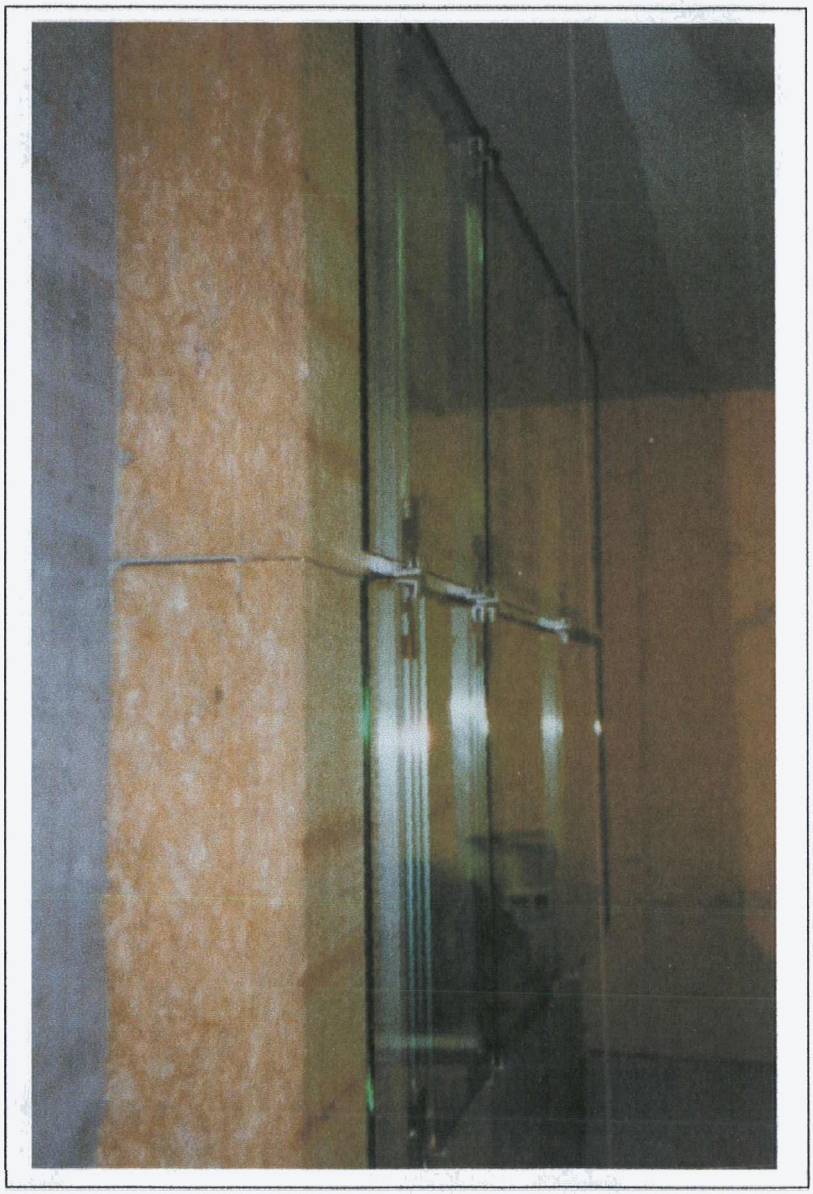


Abb. 34: Versuchswand mit Prototyp-Elementen

7.1 Fertigung der Prototyp-Elemente

Für die Prototypen wurden 6mm dicke Glasscheiben mit den gewünschten Abmessungen von 995mm x 488mm anstelle von Solarmodulen eingesetzt. Es wurden Steinwollplatten für den Einsatz in Innenwandkassetten in der Standardgrösse 1000mm x 500mm x 150mm verwendet. Die Halteteile aus Metall mussten zum Teil speziell gefertigt werden. Zum Teil konnten Metallteile eingesetzt werden, die zum ALUHIT-System der Firma Wyss AG gehören. Vorerst mussten die Metallhalterungen auf der Steinwollplatte aufgesetzt und befestigt werden. Dabei zeigte sich, dass die Metallhalterungen direkt an der richtigen Stelle fixiert werden müssen, da sonst die Steinwollplatte beschädigt werden kann. Als Folge einer solchen Beschädigung sitzen die Metallhalterungen nicht mehr fest auf der Dämmplatte.

Eine weitere Schwierigkeit zeigte sich beim Anbringen der Klammern darin, die Halterung oben und unten im gewünschten Abstand festzuschrauben. Diese Schwierigkeit kann beseitigt werden, indem die auf der Dämmplatte aufliegende Verbindungsschiene die genau richtige Länge besitzt, so dass die Halteklammern oben und unten bis an den Anschlag eingeschoben werden können.
Die Metallfedern können einfach in die Verbindungsschiene eingesetzt werden. Sie sind dadurch stabilisiert.
Zuletzt konnten die Solarmodule resp. die Glasscheiben in die Halterungen eingesetzt und mit 2 weiteren Metallteilchen fixiert werden.
Es zeigte sich, dass das gesamte Element mit Dämmplatte und Glasscheibe doch recht schwer und unhandlich für den Transport wird. Auch wird durch das Gesamtgewicht die Verbindung zwischen Modul und Dämmplatte belastet, was in der Fassade nicht mehr der Fall ist, da das Gewicht dort durch die Klammern auf die Innenwandkassetten übertragen wird.

7.2 Montage der Elemente

Wie in Kap. 7.1 erwähnt, sind die kombinierten Prototypen durch das Gewicht von Dämmplatte und Solarmodul resp. Glasscheibe recht unhandlich. Ein Arbeiten zu zweit ist erforderlich und eine übermässige Belastung der Dämmplatte durch über die Metallhalterungen einwirkende Kräfte, die während Transport und Montage nicht direkt an die Kassetten übertragen werden können, ist kaum zu vermeiden. Weit einfacher und im gesamten Bauvorgang auch schneller ist es, vorerst die Dämmelemente mit den Metallhalterungen in die Innenwandkassetten einzusetzen und danach die Solarmodule anzubringen.
Beim Einklappen der Steinwollplatten mit den Halterungen bestätigte sich das gute Greifen der oberen Klammer an der Kassetten-Oberkante.
Um eine Dämmplatte ans richtige Ort zu bringen, konnte sie zwar seitlich verschoben werden. Allerdings wird dadurch die Klemmverbindung der Metallhalterung auf der Dämmplatte belastet.
In einem weiteren Schritt wurden die Solarmodule resp. Glasscheiben an die Metallhalterungen montiert. Dies war mit etwas Übung und richtigen Abständen der Halteklammern gut möglich.
Bei einem Solarmodul müsste vor dem Einsetzen die elektrische Verbindung zum vorhergehenden Modul erstellt werden. Es empfiehlt sich eine Montage zu zweit. Dies erleichtert auch das Anbringen von Kunststoffteilchen, welche zu Schutzzwecken zwischen Halteklammern und Solarmodulen mit Tedlar-Rückseite vorgesehen sind.

7.3 Resultate aus der erstellten Versuchswand

Die erstellte Versuchswand mit 2 Prototyp-Elementen und 2 kleineren Anschlusselementen führte zu weiteren Erkenntnissen bezüglich der Kriterien, die sich entsprechend der Beurteilungstabelle Kap. 6 als optimierungsbedürftig erwiesen.

7.3.1 Qualität der Kombination

Die bei den Prototypen eingesetzten Aluminiumteile resp. Stahlteile von 2 cm Breite und 2 mm Dicke erwiesen sich für eine gute Fixierung der Metallhalterung auf der Dämmplatte als zu schwach. Die Dämmplatte gab der zu kleinen Auflagefläche der Metallteile entsprechend nach. Dementsprechend fehlte dem kombinierte Element die Festigkeit, um eine Montage in dieser Form zu ermöglichen. Die Auflagefläche der Metallteile auf der Dämmplatte muss vergrössert werden. Zudem zeigte sich, dass durch das Gewicht von Dämmplatte und Solarmodul die Dämmplatten über die Metallteile weit stärker belastet werden als im eingesetzten Zustand in der Fassade. Daher ist es besser, vorerst die Isolationselemente mit Halterungen einzuklappen und anschliessend die Solarmodule zu montieren.

7.3.2 Stabilität im Verbund

Die Halteklammern greifen gut in die Oberkante der Blechkassetten ein. Der obere Teil der Elemente sitzt dementsprechend fest.
Die untere Halteklammer musste unter Kraftaufwendung in die Blechkassette gehoben und geschoben werden. Die Versuchswand zeigt nun, dass die Kraft von der Halterungsgeometrie her, welche ein Aushängen der Elemente erschwert, in Hinblick auf maximale Windbelastungen zu klein ist. Demzufolge ist eine Verankerung der unteren Halteklammer an der oberen Halteklammer der darunterliegenden Dämmplatte erforderlich. Dies muss bei der Entwicklung der neuen Halteklammern berücksichtigt werden.

7.3.3 Dämmwirkung, U-Wert

Da die obere Halteklammer die Dämmplatte nach unten drückt und die untere Klammer sich leicht durchbiegt, entsteht bei der Oberkante der Dämmplatte ein kleiner Raum ohne Wärmedämmung. Dadurch wird die Wärmebrücke bei der Blechkassettenoberkante vergrössert. Dies muss und kann verhindert werden durch eine Optimierung der Halteklammern.

7.3.4 Montageaufwand

Die Versuchswand und die Montage der Elemente an dieser zeigte auf, dass eine zweistufige Montage der Euro-PV-Wand einfacher ist. Vorerst sind die Dämmplatten mit den Metallhalterungen in die Kassetten einzubringen. In einem zweiten Schritt werden die Module bei gleichzeitiger Verkabelung derselben eingesetzt. Aufgrund des einfacheren Handlings der Elemente bei Transport und Montage wird sich der Montageaufwand eher leicht reduzieren. Die berechneten Montagezeiten (vgl. Anhang) konnten an der Versuchswand ungefähr bestätigt werden.

7.3.5 Wasserdichte

Während die vertikale Fuge durch die Alu-Schiene geschützt ist, ist die horizontale Fuge zwischen den Solarmodulen offen. Bei der Versuchswand entstand eine horizontale Fuge von rund 17 – 20 mm. Diese Fuge war so gross aufgrund der zu schwachen Halteklammern. Durch eine Optimierung dieser Klammern kann die Fuge auf rund 14mm reduziert werden. Zwischen Modul und Halterung besteht ein Hinterlüftungsraum, der an die Dämmplatten gelangendes Regenwasser wieder austrocknen kann (vgl. Anhang C).



Abb. 35: Horizontale Fuge der Versuchswand

7.3.6 Verkabelung

Da bei den Befestigungselementen auf das ALUHIT-Befestigungssystem abgestützt wurde, ist für die Kabel und die MC-Stecker keine spezielle Halterung vorhanden. Bei den Prototypen der Versuchswand lagen die vertikalen Aluminium-Schienen direkt auf der Dämmplatte auf. Dementsprechend bestand für seitliche Verbindungen zwischen 2 Elementen nur bei den Klammern Platz. Es zeigte sich, dass dieser Platz für die Verkabelung ungenügend ist. Durch Optimierung der Klammern muss die vertikale Schiene soweit von der Dämmplatte distanziert werden, dass MC-Stecker seitlich gut unter der Schiene durchgeführt werden können.
Da vorerst die ganze Fassadendämmung mit den Metall-Halterungen eingesetzt wird, können daraufhin alle Strangkabel einfach bis zu den Anfangs- und Endpunkten verlegt werden. Bei der Montage der Solarmodule muss darauf geachtet werden, dass der MC-Stecker für die Verbindung zum nächsten Element griffbereit angeordnet wird.

7.3.7 Kabeleinführung

Als Folge davon, dass die Solarmodule in einem zweiten Schritt montiert werden, kann die Kabeleinführung auch unter dem Solarzellenfeld platziert werden. In die Innenwandkassette muss an der entsprechenden Stelle ein Loch gebohrt und geschnitten werden und dort eine Durchführung erstellt werden, welche nach dem Verlegen der Strangkabel wieder gebührend zu isolieren und abzudichten ist.

8 Weiteres Vorgehen

Mit dem vorliegenden Projekt Photovoltaik-Aussenisolationselemente kann aufgezeigt werden, dass die Kombination von Photovoltaikmodulen mit Dämmelementen zu interessanten, auch kostenmässig interessanten Bauteilen führen kann.
Im Rahmen des Projektes wurde mit diversen Hersteller- und Lieferfirmen von Isolationselementen und Solarmodulen Kontakt aufgenommen. Die jeweils besprochenen kombinierten PV-Dämmelemente stiessen auf Interesse. Zum Teil wurde aus zeitlichen Gründen noch nicht näher auf die Produkteidee eingegangen. Dies trifft auf die Varianten PV-Macodach, PV-XPS-Fassade und PV-XPS-Flachdach zu. Eine Weiterführung der Varianten ist noch offen.
Es ist zu erwarten, dass ab Juli von der Firma Alporit AG eine eingehendere Überprüfung der Varianten PV-Alpurdach und PV-Metall-Dämmelement mit der Unterstützung des Büros ZAGSOLAR in Angriff genommen wird. Die Überprüfung soll dabei in Form eines Vorprojektes stattfinden, mit dem Ziel, an einem Prototyp die Machbarkeit und die Preisvorstellung zu bestätigen. In einem weiteren Schritt sind dann die Detailuntersuchungen vorgesehen, welche zu einem markttauglichen Produkt führen sollen.
Im Rahmen dieses Projektes wurden bereits Prototyp-Elemente der Variante EuroPV-Wand erstellt (vgl. Kap. 7). Zusammen mit den beteiligten Firmen gilt es, diese Variante weiterzuentwickeln und zu testen. Zu den anstehenden Tätigkeiten gehören:

1. Optimierung der Halterung
2. Optimierung des eingesetzten Solarmodules
3. Überprüfung der resultieren Element- und Montagekosten
4. Marktanalyse
5. Klarlegung aller Punkte und erforderlichen Detailtests, die für die Marktakzeptanz von Bedeutung sind.
6. Kontaktpflege mit den erforderlichen Materialprüfungsstellen, welche für die Akzeptanz von neuen Produkten wichtig sind.
7. Koordinieren und Überwachen der nötigen Prüfungen an einer anerkannten Materialprüfungsstelle.
8. Klärung der Schutzmöglichkeiten für die Fertigung von den kombinierten PV-Dämmelementen

Aufgrund der voraussichtlichen Preise für eine Photovoltaikanlage, welche auf dieser Variante basiert, erscheint die Weiterentwicklung sehr vielversprechend.

Wir sind überzeugt, dass auch bei anderen Anwendungen die Dämmelemente als Träger von Solarmodulen dienen können und so zu sehr interessanten, markttauglichen Photovoltaikanlagen führen. Gerne werden wir uns weiterhin für eine Diversifizierung und Optimierung der Photovoltaikmodule im Gebäudebau einsetzen.

Kriens, Mai 2000 ZAGSOLAR

An dieser Stelle möchten wir dem Bundesamt für Energie und der Fachstelle für Energiefragen des Kantons Luzern vielmals für die Unterstützung danken, die diese Arbeit überhaupt ermöglicht hat.

9 Anhang

A Kostenvergleiche Seiten A1-A13
B Hersteller und Lieferanten von interessanten Dämmelementen
C Bericht Der Regenschutz von Aussenwänden mit vorgehängten hinterlüfteten Fassaden
D Belastung Innenwandkassetten
E Prüfprotokolle Druckspannung Dämmplatte Euroc

Anhang A: Kostenvergleiche

A1 PV-Eurowand
A2 PV-Fertig-Fassadenelement
A3 ALUHIT-Flumroc-Wand
A4 PV-XPS-Fassade
A5 PV-XPS-Flachdach
A6 PV-Schaumglaselement
A7 PV-Macodach Sanierung
A8 PV-Macodach Neubau
A9 PV-Thermodach
A10 PV-Fertigdach
A11 PS-Tragstruktur
A12 PV-Alpurdach
A13 PV-Metall-Dämmelement

Kostenvergleich PV-Isolationselement gegenüber konventioneller Anlage

PV-Eurowand

10 kW mit 300 ASI-Modulen (32W)

PV-Isolationselement				**Standard**			
Anlageangaben:				Sarna Granol System TF3			
betrachtete Fassadenfläche in m2	180				180		
Solarmodulfläche in m2	180				180		
Solarmodulfeldumrandung im m	58				0		
Anzahl Solarmodule	300			ASI-Standardmodule	300		
installierte Leistung pro Modul in W	32				32		
Kostenfaktoren	Material pro m2	Montage	total	**Kostenfaktoren**	Material pro m2	Montage pro m2	total
Unterkonstruktion				**Unterkonstruktion**			
Innenwandkassette 100x60	30	17	8460	System TF3-Sarna Granol	80	48	23040
Wärmedämmung				**Wärmedämmung**			
				Flumroc 125mm	23	12	6300
Solarmodule				**Solarmodule**			
PV-Isolationselement	451	24	85500	ASI-Standardmodul	367	32	71820
Elektrisch				**Elektrisch**			
WR, Klemmenkästen, Verkabelung			35000	WR, Klemmenkästen, Verkabelung			35000
			128960				136160

Modulfertigung	**ALUHIT-Lösung**						
Material	**Anzahl**	**Ko/Stck**	**Kosten**	**Material Standard**	**Anzahl**	**Ko/Stck**	**Kosten**
Solarmodul			230	Solarmodul			220
Eurocplatte 125	0.6	26	15.6				
ALUHIT-Schiene	2	1.9	3.8				
Halterung oben mit Schraube u. Mutter	2	1.2	2.4				
Halterung unten mit Schraube u. Mutter	2	1.1	2.2				
Einschubstück	2	0.3	0.6				
Kunststoffschutz	4	0.7	2.8				
Metallfeder	4	0.8	3.2				
			0				
Material total			260.6				
Fertigung							
Halterung unten fest anschrauben	2	1	2				
Auf Euroc-Platte aufsetzen	2	0.5	1				
Halterung oben festsschrauben	2	1	2				
Metallfeder und Kunststoff einsetzen	4	0.5	2				
Solarmodul und Einschubstck.einfügen	1	3	3				
Fertigung total			10				
Modul total			270.6				220
Abmessungen: Länge, Breite	1	0.6		Abmessungen: Länge, Breite	1	0.6	
Modulkosten/m2			***451***	***Modulkosten/m2***			***366.667***
Modulkosten/W			***8.5***				

Modulmontage	Pers.	Min à 1Fr.		**Modulmontage Standard**	
Transport / Handling	2	3	6	System der Unterkonstruktion	
Modul platzieren	2	1	2	TF3-Sarna Granol	
Steckverbindung erstellen	2	1	2	und Panelmontage	
Modul genau einfügen	2	2	4	offeriert von Ullmann AG	
			14		
Montagekosten/m2			***23.3333***	***Montagekosten/m2***	***32***

Kostenvergleich PV-Isolationselement gegenüber konventioneller Anlage

PV-Fertig-Fassadenelement 10 kW mit 160 Unisolar ASR64-Modulen (64W)

PV-Isolationselement				**Standard**			
Anlageangaben:				Aluhit-Fassadensystem			
betrachtete Fassadenfläche in m2	400				400		
Solarmodulfläche in m2	186				180		
Solarmodulfeldumrandung im m	166				0		
Anzahl Solarmodule	160			ASI-Standardmodule	300		
installierte Leistung pro Modul in W	64				32		
	Material	Montage			Material	Montage	
Kostenfaktoren	pro m2	pro m2	total	**Kostenfaktoren**	pro m2	pro m2	total
				Unterkonstruktion			
				Aluhit-Befestigungssystem	31	25	22400
				Wärmedämmung			
				Flumroc-125-Platte	23	12	14000
				Aussenfassade			
				Fassadenplatten	30	15	9900
Solarmodule				**Solarmodule**			
PV-Fertigfassadenelemente	266	6.6	109040	ASI-Standardmodul 32 W	367	24	70380
Elektrisch				**Elektrisch**			
WR, Klemmenkästen, Verkabelung			35000	WR, KK, Verkabelung			35000
			144040				151680

Modulfertigung							
Material	***Anzahl***	***Ko/Stck***	***Kosten***	**Material Standard**	**Anzahl**	**Ko/Stck**	**Kosten**
Solarlaminat	2	384	768	Solarmodul ASI 32 W			220
Fertigfassadenelement(WI25125x5m)	1	475	475				
Klebstoff	1	40	40				
Kabelzugsicherung	3	1	3				
Material total			1286				
Fertigung							
Solarmodule auf Elemente kleben	2	20	40				
			0				
			0				
		1	0				
Fertigung total			40				
Modul total			1326				220
Abmessungen: Länge, Breite	5	1		Abmessungen: Länge, Breite	1	0.6	
Modulkosten/m2			***265.2***	***Modulkosten/m2***			***366.7***
Modulkosten/W			***10.4***				
Modulmontage				**Modulmontage Standard**			
Transport/ Handling	1	10	10	Transport / Handling	1	6	6
Element platzieren	1	5	5	Steckverbindung erstellen	1	2	2
Element festschrauben	16	1	16	Modul genau einfügen	1	2	2
Modulverbindung mit vorherg. Modul	1	2	2	Befestigungsstücke einsetzen	2	2	4
							14
Montagezeit pro Element			33	***Montagekosten/m2***			***23.33***
Abmessungen: Länge, Breite	5	1					
Montagezeit pro m2			6.6				

Kostenvergleich PV-Isolationselement gegenüber konventioneller Anlage

ALUHIT-flumroc-Fassade 10 kW mit 300 ASI-Modulen (32W)

PV-Isolationselement				**Standard**			
Anlageangaben:				ALUHIT-Fassaden-System			
betrachtete Fassadenfläche in m2	180				180		
Solarmodulfläche in m2	180				180		
Solarmodulfeldumrandung im m	58				0		
Anzahl Solarmodule	300			ASI-Standardmodule	300		
installierte Leistung pro Modul in W	32				32		
	Material	Montage			Material	Montage	
Kostenfaktoren	pro m2	pro m2	total	**Kostenfaktoren**	pro m2	pro m2	total
Unterkonstruktion				**Unterkonstruktion**			
Aluhit-Befestigungssystem	31	25	10080	Aluhit-Befestigungssystem	31	25	10080
Wärmedämmung				**Wärmedämmung**			
				Flumroc-125-Platte	23	12	6300
Solarmodule				**Solarmodule**			
PV-Isolationselement	448	30	86040	ASI-Standardmodul	367	24	70380
Elektrisch				**Elektrisch**			
WR, Klemmenkästen, Verkabelung			35000	WR, Klemmenkästen, Verkabelung			35000
			131120				121760

Modulfertigung	**ALUHIT-Lösung**					
Material	**Anzahl**	**Ko/Stck**	**Kosten**	**Material Standard**	**Anzahl**	**Ko/Stck**	**Kosten**
Solarmodul			230	Solarmodul			220
Flumrocplatte	0.6	23	13.8				
EPS-Sockel	4	1	4				
Tellerschrauben	4	0.5	2				
Lochplatte	4	1	4				
Dämmstreifen	1	3	3				
Material total			256.8				
Fertigung							
Solarmodul auf Sockel kleben	4	1	4				
Lochplatte auf Sockel kleben	4	1	4				
Dämmplatte mit Tellerschrauben be	4	1	4				
Fertigung total			12				
Modul total			268.8				220
Abmessungen: Länge, Breite	1	0.6		Abmessungen: Länge, Breite	1	0.6	
Modulkosten/m2			***448***	***Modulkosten/m2***			***366.67***
Modulkosten/W			***8.4***				
				Aluhit-Befestigungssystem			
Modulmontage				**Modulmontage Standard**			
Transport / Handling	1	6	6	Transport / Handling	1	6	6
Steckverbindung erstellen	1	2	2	Steckverbindung erstellen	1	2	2
Modul genau einfügen	1	2	2	Modul genau einfügen	1	2	2
Befestigungsstücke einsetzen	2	2	4	Befestigungsstücke einsetzen	2	2	4
Seitlich Isolationsstreifen einsetzen	1	4	4				14
			18	***Montagekosten/m2***			***23.333***
Montagekosten/m2			***30***				

Kostenvergleich PV-Isolationselement gegenüber konventioneller Anlage

PV-XPS-Fassade **10 kW mit 184 M55-Modulen (55W)**

PV-Isolationselement				**Standard**			
Anlageangaben:				ALUHIT-Fassaden-System			
betrachtete Fassadenfläche in m2	92				92		
Solarmodulfläche in m2	92				92		
Solarmodulfeldumrandung im m	42				0		
Anzahl Solarmodule	184			M55-Solarmodule zb. Eurosolare	184		
installierte Leistung pro Modul in W	55				55		
	Material	Montage			Material	Montage	
Kostenfaktoren	pro m2	pro m2	total	**Kostenfaktoren**	pro m2	pro m2	total
Unterkonstruktion				**Unterkonstruktion**			
			0	Aluhit-Befestigungssystem	31	25	5152
Wärmedämmung				**Wärmedämmung**			
				Flumroc-125-Platte	23	12	3220
Solarmodule				**Solarmodule**	Mat/St.	Mon./St.	
PV-Isolationselement	730	30	69920	M55-Solarmodule zb. Eurosolare	330	14	63296
Elektrisch				**Elektrisch**			
WR, Klemmenkästen, Verkabelung			35000	WR, Klemmenkästen, Verkabelung			35000
			104920				106668

Modulfertigung							
Material	**Anzahl**	**Ko/Stck**	**Kosten**	**Material Standard**	**Anzahl**	**Ko/Stck**	**Kosten**
Solarmodul			330	Solarmodul			330
EPS-Platte	0.5	20	10				
EPS-Sockel	4	1	4	Aluhit-Befestigungssystem			
Mineralkleber	1	10	10				
			0				
Material total			354				
Fertigung							
Mörtelschicht auf Dämmplatte bringer	1	3	3				
Sockel auf Dämmplatte kleben	4	1	4				
Solarmodul auf Sockel kleben	1	4	4				
Fertigung total			11				
Modul total			365				330
Abmessungen: Länge, Breite	1	0.5		Abmessungen: Länge, Breite	1	0.5	
Modulkosten/m2			***730***	***Modulkosten/m2***			***660***
Modulkosten/W			***6.6***				
Modulmontage				**Modulmontage Standard**			
Transport / Handling	1	6	6	Transport / Handling	1	6	6
Mineralkleber auftragen	1	4	4	Steckverbindung erstellen	1	2	2
Steckverbindung erstellen	1	2	2	Modul genau einfügen	1	2	2
Modul in Fassade einsetzen	1	1	1	Befestigungsstücke einsetzen	2	2	4
Modul fixieren	1	2	2				14
			15	***Montagekosten/m2***			***28***
Montagekosten/m2			***30***				

Kostenvergleich PV-Isolationselement gegenüber konventioneller Anlage

PV-XPS-Flachdach 10 kW mit 160 MSX-64-Modulen (64W)

PV-Isolationselement				**Standard**			
Anlageangaben:				Umkehrdach mit aufgeständeter PV-Anlage			
betrachtete Dachfläche in m2	120				120		
Solarmodulfläche in m2	120				88		
Solarmodulfeldumrandung im m	44.2				0		
Anzahl Solarmodule	160			Solarex MSX64	160		
installierte Leistung pro Modul in W	64				64		
	Material	Montage			Material	Montage	
Kostenfaktoren	pro m2	pro m2	total	**Kostenfaktoren**	pro m2	pro m2	total
Wärmedämmung				**Wärmedämmung**			
				XPS-Isolierplatten	59	6	7800
Unterkonstruktion				**Unterkonstruktion**			
			0	Betonsockel Sofrel	32	5	5920
				Metallteile X-Clip	32	5	5920
Beschwerungssteine	3	3	720	Kiesbelastung aufgebracht	16		512
Solarmodule					Mat/St.	Mon./St.	
PV-Isolationselement				**Solarmodule**			
XPS-Solardachplatten	615	11	75120	Solarex MSX64	400	4	64640
Elektrisch				**Elektrisch**			
WR, Klemmenkästen, Verkabelung			35000	WR, Klemmenkästen, Verkabelung			35000
			110840		480		119792

Modulfertigung				**Modulfertigung**			
Material	**Anzahl**	**Ko/Stck**	**Kosten**	**Material**	**Anzahl**	**Ko/Stck**	**Kosten**
Solarlaminat	1	400	400	Solarmodul			400
XPS-Modul	0.75	59	44.25				
Sockel XPS	2	2	4				
Mineralkleber	1	5	5				
Material total			453.25				400
Fertigung							
Sockel auf Dämmplatte kleben	4	1	4				
Solarlaminat auf Sockel kleben	4	1	4				
Fertigung total			8				0
Modul total			461.25				400
Abmessungen: Länge, Breite	1.25	0.6		Abmessungen: Länge, Breite	1.1	0.5	
Modulkosten/m2			***615***	***Modulkosten/m2***			***727.27***
Modulkosten/W			***7.2***				
Modulmontage				**Modulmontage Standard**			
Modul platzieren	1	3	3	Modul auflegen	1	2	2
Steckverbindung erstellen	1	2	2	Durch Drehen der Klammern Modul fix	2	1	2
Transporte, Handling	1	3	3	Modul durch Druck einklicken	1	1	1
			8				5
Montagekosten/m2			10.667				

Kostenvergleich PV-Isolationselement gegenüber konventioneller Anlage

PV-Schaumglaselement 10 kW mit 320 ASI-Modulen (32W)

PV-Isolationselement				**Standard**			
Anlageangaben:				Kompaktdach mit aufgeständeter PV-Anlage			
betrachtete Dachfläche in m2	230				230		
Solarmodulfläche in m2	230				82		
Solarmodulfeldumrandung im m	67.4				0		
Anzahl Solarmodule	320			BP585-Module	120		
installierte Leistung pro Modul in W	32				85		
	Material	Montage			Material	Montage	
Kostenfaktoren	pro m2	pro m2	total	**Kostenfaktoren**	pro m2	pro m2	total
Wärmedämmung				**Wärmedämmung**			
				Schaumglas	57	5	14260
Unterkonstruktion				**Unterkonstruktion**			
			0	Betonsockel Sofrel	32	5	4440
				Metallteile X-Clip	32	5	4440
Beschwerungskanäle	5	2	1610				
Solarmodule				**Solarmodule**	Mat/St.	Mon./St.	
PV-Isolationselement	414	10	97520	BP585-Module	535	4	64680
PV-Schaumglaselement							
Elektrisch				**Elektrisch**			
WR, Klemmenkästen, Verkabelung			35000	WR, Klemmenkästen, Verkabelung			35000
			134130				122820

Modulfertigung				**Modulfertigung**			
Material	**Anzahl**	**Ko/Stck**	**Kosten**	**Material**	**Anzahl**	**Ko/Stck**	**Kosten**
Solarmodul			230	Solarmodul			535
Schaumglas-Readyboard	0.72	71.3	51.3				
Klebstoff	0.72	10	7.2				
Material total			288.5				535
Fertigung							
Aussparung für Anschlüsse einschneiden	2	2	4				
Modul auf Schaumglas kleben	1	5	5				
Fertigung total			9				0
Modul total			297.5				535
Abmessungen: Länge, Breite	1.2	0.6		Abmessungen: Länge, Breite	1.18	0.522	
Modulkosten/m2			***413.24***	***Modulkosten/m2***			***868.56***
Modulkosten/W			***9.3***				
Modulmontage				**Modulmontage Standard**			
Modul platzieren	1	3	3	Modul auflegen	1	2	2
Steckverbindung erstellen	1	2	2	Durch Drehen der Klammern Modul fi	2	0.5	1
Transporte, Handling	1	2	2	Modul durch Druck einklicken	1	1	1
			7				4
Montagekosten/m2			9.7				

Kostenvergleich PV-Isolationselement gegenüber konventioneller Anlage

PV-Macodach-Sanierung **10 kW mit 1000 ASI-Modulen (10 W)**

PV-Isolationselement				**Standard** (Flumr125mm,Unterdachb.,Lat,Kont.,Ziegel,PV-Aufbau				**Newtec-Solardachziegel**			
Anlageangaben:											
betrachtete Dachfläche in m2	200				200				200		
Solarmodulfläche in m2	200				82				104		
Solarmodulfeldumrandung im m	66				0				44		
Anzahl Solarmodule	1000			110W-Module	96			Newtec-Solardachziegel	290		
installierte Leistung pro Modul in W	10				110				36		
	Material	Montage			Material	Montage			Material	Montage	
Kostenfaktoren	pro m2	pro m2	total	**Kostenfaktoren**	pro m2	pro m2	total	**Kostenfaktoren**	pro m2	pro m2	total
Wärmedämmung / Unterdach				**Wärmedämmung**				**Wärmedämmung**			
Macodachelemente	55	6	0	Flumroc 125mm	23	5	5600	Flumroc 125mm	23	5	5600
Unterdach				**Unterdach**				**Unterdach**			
				Pavatex	7	4	2200	Pavatex	7	4	2200
Bedachung				**Bedachung**				**Bedachung**			
Lattung	6	2	1600	Lattung	6	2	1600	Lattung	6	2	1600
Übergangsarbeiten Blech	20	30	3300	Konterlattung	5	2	1400	Konterlattung	5	2	1400
				Ziegeleindeckung	35		7000	Ziegel	35		3360
				PV-Unterkonstruktion				Übergangsarbeiten Blech	20	30	2200
				Dachhaken und Modulhalterung			4044				
PV-Isolationselement				**Solarmodule**	Mat/St.	Mon./St.		**Solarmodule**			
(ASI-Module, 10W)	551	15.0	113203	110W-Module	660	11	64416	Newtec-Solardachziegel	960	20	101920
Elektrisch				**Elektrisch**				**Elektrisch**			
WR, Klemmenkästen, Verkabelung			35000	WR, Klemmenkästen, Verkabelung			35000	WR, Klemmenkästen, Verkabelung			35000
			153103				121260				153280

Modulfertigung

Material	**Anzahl**	**Ko/Stck**	**Kosten**
Solarlaminat	1	80	80
Macodachelement	1	12	9
Sockel EPS	4	1	4
Mineralkleber	1	3	3
Dichtungsprofil oben	1	2	2
Dichtungsprofil Seite	1	2	2
Material total			100
Fertigung			
Sockel auf Dämmplatte kleben	4	1	4
Solarlaminat auf Sockel kleben	4	1	4
Dichtungprofil oben ansetzen	1	1	1
Dichtungsprofil seitlich einsetzen	1	1	1
Fertigung total			10
Modul total			110
Abmessungen: Länge, Breite	0.6	0.333	
Modulkosten/m2			***550.5506***
Modulkosten/W			***11.0***
Modulmontage			
Handling , Transport	1	1	1
Modulverbindung mit vorherg. Modul	1	1	1
Modul richtig platzieren	1	1	1
Montagezeit pro Modul			3
Montagezeit pro m2 (0.60x0.33m)			15.0

Material Standard	***Anzahl***	***Ko/Stck***	***Kosten***
Dachhaken	60	12	720
Ankerschienen(1.3m/M)	125	12	1500
Halteklammern	204	6	1224
Unterkonstruktion			
Dachhaken montieren	60	5	300
Ankerschienen setzen	60	5	300
Unterkonstruktion total			4044
Modulmontage Standard			
Modul auf Schiene platzieren	1	1	1
Modulvebindung	1	2	2
Modul mit Klammern mont.	4	2	8
			11

Kostenvergleich PV-Isolationselement gegenüber konventioneller Anlage

PV-Macodach Neubau **10 kW mit 336 Solarwatt-Modulen (30W)**

PV-Isolationselement				**Standard**				**Newtec-Solardachziegel**			
Anlageangaben:				Flumr125mm,Unterdachb.,Kont.,Lat.,Ziegel,PV-Aufbau							
betrachtete Dachfläche in m2	104				104				104		
Solarmodulfläche in m2	84				82				104		
Solarmodulfeldumrandung im m	38				0				44		
Anzahl Solarmodule	336			110W-Module	96			Newtec-Solardachziegel	290		
installierte Leistung pro Modul in W	30				110				36		
Kostenfaktoren	Material pro m2	Montage pro m2	total	**Kostenfaktoren**	Material pro m2	Montage pro m2	total	**Kostenfaktoren**	Material pro m2	Montage pro m2	total
Wärmedämmung / Unterdach				**Wärmedämmung**				**Wärmedämmung**			
Macodachelemente	55	6	1220	Flumroc 125mm	23	5	2912	Flumroc 125mm	23	5	2912
Unterdach				**Unterdach**				**Unterdach**			
				Pavatex	7	4	1144	Pavatex	7	4	1144
Bedachung				**Bedachung**				**Bedachung**			
Lattung	6	2	832	Lattung	6	2	832	Lattung	6	2	832
Übergangsarbeiten Blech	20	30	1900	Konterlattung	5	2	728	Konterlattung	5	2	728
Ziegeleindeckung	35		700	Ziegeleindeckung	35		3640	Übergangsarbeiten Blech	20	30	2200
				PV-Unterkonstruktion							
				Dachhaken, Modulbef.			4044				
PV-Isolationselement				**Solarmodule**	Mat/St.	Mon./St.		**Solarmodule**			
	1282	12.0	108697	110W-Module	660	11	64416	Newtec-Solardachziegel	960	20	101920
Elektrisch				**Elektrisch**				**Elektrisch**			
WR, Klemmenkästen, Verkabelung			35000	WR, Klemmenkästen, Verkabelung			35000	WR, Klemmenkästen, Verkabelung			35000
			148349				112716				144736

Modulfertigung	**mit Halterungen**			**Modulfertigung**	**geklebt auf EPS-Sockel**			**Material Standard**	***Anzahl***	***Ko/Stck***	***Kosten***
Material	**Anzahl**	**Ko/Stck**	**Kosten**	**Material**	**Anzahl**	**Ko/Stck**	**Kosten**	Dachhaken	60	12	720
Solarlaminat	1	287	287	Solarlaminat	1	287	287	Ankerschienen(1.3m/M)	125	12	1500
Macodachelement	1	12	12	Macodachelement	1	12	12	Halteklammern	204	6	1224
Halterung unten	4	2.2	8.8	Sockel EPS	4	1	4				
Halterung oben	4	2.2	8.8	Mineralkleber	1	3	3				
Metallfeder	4	2	8					Unterkonstruktion			
Dichtungsprofil oben	1	2	2	Dichtungsprofil oben	1	2	2	Dachhaken montieren	60	5	300
Dichtungsprofil Seite	1	2	2	Dichtungsprofil Seite	1	2	2	Ankerschienen setzen	60	5	300
Material total			328.6				310				
								Unterkonstruktion total			4044
Fertigung											
Halterungen an Modul kleben	4	1	4	Sockel auf Dämmplatte kleben	4	1	4				
Halterungen an Dämmplatte kleben	4	1	4	Solarlaminat auf Sockel kleben	4	1	4				
Dichtungprofil oben ansetzen	1	1	1	Dichtungprofil oben ansetzen	1	1	1				
Dichtungsprofil seitlich einsetzen	1	1	1	Dichtungsprofil seitlich einsetzen	1	1	1	Modulmontage Standard			
								Modul auf Schiene platzieren	1	1	1
Fertigung total			10				10	Modulvebindung	1	2	2
								Modul mit Klammern mont.	4	2	8
Modul total			338.6				320				11
Abmessungen: Länge, Breite	0.75	0.333		Abmessungen: Länge, Breite	0.75	0.333					
Modulkosten/m2			***1355.756***	***Modulkosten/m2***			***1281.281***				
Modulkosten/W			***11.3***	***Modulkosten/W***			***10.7***				
				Modulmontage							
				Handling , Transport	1	1	1				
				Modulverbindung mit vorherg. Modul	1	1	1				
				Modul richtig platzieren	1	1	1				
				Montagezeit pro Modul			3				
				Montagezeit pro m2 (0.75x0.33m)			12.0				

Kostenvergleich PV-Isolationselement gegenüber konventioneller Anlage

PV-Thermodach

10 kW mit 1000 ASI-Modulen (10W)

PV-Isolationselement				**Standard**			
Anlageangaben: (für Sanierung, Unterdach bestehend)				Dachabdeck., Flumr125mm,Unterdachb.,Kont.,Lat.,Ziegel,PV-Aufbau			
betrachtete Dachfläche in m2	200				200		
Solarmodulfläche in m2	200				82		
Solarmodulfeldumrandung im m	66				0		
Anzahl Solarmodule	1000			110W-Module	96		
installierte Leistung pro Modul in W	10				110		
	Material	Montage			Material	Montage	
Kostenfaktoren	pro m2	pro m2	total	**Kostenfaktoren**	pro m2	pro m2	total
Wärmedämmung / Unterdach				**Wärmedämmung**			
				Flumroc 125mm	23	5	5600
Unterdach				**Unterdach**			
				Pavatex	7	4	2200
Bedachung				**Bedachung**			
Ziegelabdeckung	0	5	1000	Lattung	6	2	1600
Übergangsarbeiten zu Ziegeldach	5	5	660	Konterlattung	5	2	1400
				Ziegelab- und eindeckung	40		8000
				PV-Unterkonstruktion			
				Dachhaken und Modulhalterung			4044
PV-Isolationselement				**Solarmodule**	Mat/St.	Mon./St.	
(ASI-Module, 10W)	531	18.0	109800	110W-Module	660	12	64512
Elektrisch				**Elektrisch**			
WR, Klemmenkästen, Verkabelung			35000	WR, Klemmenkästen, Verkabelung			35000
			146460				122356

Modulfertigung

Material	**Anzahl**	**Ko/Stck**	**Kosten**
Solarlaminat	1	80	80
Thermodachelement	1	9	9
Befestigungsschraube	1	1	1
Mineralkleber	1	4	4
Bitumenstreifen oben	1	2	2
			0
Material total			96
Fertigung			
Anschlusseinbuchtungen erstellen	2	1	2
Thermodachelement mit Mörtel über.	1	2	2
Solarlaminat + Bitumenstr. aufkleben	2	3	6
			0
Fertigung total			10
Modul total			106
Abmessungen: Länge, Breite	0.6	0.333	
Modulkosten/m2			***530.53***
Modulkosten/W			***10.6***
Modulmontage			
Handling, Transport	1	1	1
Modulverbindung mit vorherg. Modul	1	0.5	0.5
Modul richtig platzieren	1	0.5	1
Modul sichern	1	1	1
Montagezeit pro Modul			3.5
Montagezeit pro m2 (0.60x0.33m)			17.5

Material Standard	***Anzahl***	***Ko/Stck***	***Kosten***
Dachhaken	60	12	720
Ankerschienen(1.3m/Modul)	125	12	1500
Halteklammern	204	6	1224
Unterkonstruktion			
Dachhaken montieren	60	5	300
Ankerschienen setzen	60	5	300
Unterkonstruktion total			4044
Modulmontage Standard			
Modul auf Schiene platzieren	1	2	2
Modulverbindung	1	2	2
Modul mit Klammern montieren	4	2	8
Montagezeit pro Modul			12

Kostenvergleich PV-Isolationselement gegenüber konventioneller Anlage

PV-Fertigdach

10 kW mit 96 110W-Modulen

PV-Isolationselement				**Standard**			
Anlageangaben:				Fertigdachelement, PV-Aufbau			
betrachtete Dachfläche in m2	160				160		
Solarmodulfläche in m2	82				82		
Solarmodulfeldumrandung im m	0				0		
Anzahl Solarmodule	96			110W-Module	96		
installierte Leistung pro Modul in W	110				110		
	Material	Montage			Material	Montage	
Kostenfaktoren	pro m2	pro m2	total	**Kostenfaktoren**	pro m2	pro m2	total
							0
				Fertigdachelemente			
				Wilan	95	3	15680
							0
							0
				PV-Unterkonstruktion			
				Befest.bügel, Modulbef.			3504
PV-Fertigdachelemente				**Solarmodule**	Mat/St.	Mon./St.	
	504	6	81600	110W-Module	660	11	64416
Elektrisch				**Elektrisch**			
WR, Klemmenkästen, Verkabelung			35000	WR, KK, Verkabelung			35000
			116600				118600

Modulfertigung

Material	***Anzahl***	***Ko/Stck***	***Kosten***
Solarlaminat	3	660	1980
Polystyrol-Sockel	12	1	12
Fertigdachelement(WI21115x5m)	1	475	475
Klebstoff	1	20	20
Kabelzugsicherung	3	1	3
Kabel-Abdeckblech	3	1	3
Schrauben	6	0.5	3
Material total			2496
Fertigung			
Sockel auf Fertigelemente kleben	1	7	7
Solarmodule auf Sockel kleben	1	5	5
Kabelvormontage und Abdeckbleche	3	3	9
		1	0
Fertigung total			21
Modul total			2517
Abmessungen: Länge, Breite	5	1	
Modulkosten/m2			***503.4***
Modulkosten/W			***7.6***

Material Standard	***Anzahl***	***Ko/Stck***	***Kosten***
Schraubmaterial	96	3	288
Ankerschienen(1.3m/M)	125	12	1500
Halteklammern	204	6	1224
Unterkonstruktion			
Ankerschienen setzen	96	3	288
Halteklammern vorber.	204	1	204
Unterkonstruktion total			3504

Modulmontage

Transport/ Handling	1	15	15
Element auf Tragkonstruktion setzen	1	5	5
Element festschrauben	16	0.5	8
Modulverbindung mit vorherg. Modul	1	2	2
Montagezeit pro Element			30
Abmessungen: Länge, Breite	5	1	
Montagezeit pro m2			6

Modulmontage Standard			
Modul auf Schiene platzieren	1	2	2
Modulvebindung	1	2	2
Modul mit Klammern mont.	4	2	8
Montagezeit pro Element			12

Kostenvergleich PV-Isolationselement gegenüber konventioneller Anlage

PS-Tragstruktur

10 kW mit 96 110W-Modulen

PV-Isolationselement				**Standard**			
Anlageangaben:				Flumr125mm,Unterdachb.,Kont.,Lat.,Ziegel,PV-Aufbau			
betrachtete Dachfläche in m2	90				90		
Solarmodulfläche in m2	90				82		
Solarmodulfeldumrandung in m	38.4				0		
Anzahl Solarmodule	96			110W-Module	96		
installierte Leistung pro Modul in W	110				110		
	Material	Montage			Material	Montage	
Kostenfaktoren	pro m2	pro m2	total	**Kostenfaktoren**	pro m2	pro m2	total
Wärmedämmung / Unterdach				**Wärmedämmung**			
			0	Flumroc 125mm	23	5	2520
Unterdach				**Unterdach**			
				Pavatex	7	4	990
Bedachung				**Bedachung**			
Lattung	6	2	720	Lattung	6	2	720
Übergangsarbeiten Blech	20	30	1920	Konterlattung	5	2	630
Belastungssteine	3		270	Ziegeleindeckung	35		3150
				PV-Unterkonstruktion			
				Dachhaken, Modulbef.			4044
PV-Isolationselement				**Solarmodule**	Mat/St.	Mon./St.	
	828	14	75780	110W-Module	660	12	64512
Elektrisch				**Elektrisch**			
WR, Klemmenkästen, Verkabelung			35000	WR, KK, Verkabelung			35000
			113690				111566

Modulfertigung

Material	***Anzahl***	***Ko/Stck***	***Kosten***	Material Standard	***Anzahl***	***Ko/Stck***	***Kosten***
Solarlaminat	1	660	660	Dachhaken	60	12	720
Polystyrol-Dämmelement	1	23	23	Ankerschienen(1.3m/M)	125	12	1500
Ankerplatten	4	1	4	Halteklammern	204	6	1224
Unterdachplatte	1	10	10				
Bedachungswanne	1	60	60				
Halterungsprofil	2	1	2				
Halteklammer unten	2	1	2				
Halteklammer oben	2	1	2				
Schrauben	4	0.5	2				
Nutensteine	4	0.5	2				
Material total			767				
Fertigung				Unterkonstruktion			
Unterdachp. auf EPS-Platte kleben	1	5	5	Dachhaken montieren	60	5	300
Ankerplatten aufkleben	4	1	4	Ankerschienen setzen	60	5	300
Wanne auf Unterdachp. befestigen	1	5	5				
Halterungsprofil ankleben	1	1	1				
		1	0				
Fertigung total			15	Unterkonstruktion total			4044
Modul total			782				
Abmessungen: Länge, Breite	1.35	0.7					
Modulkosten/m2			***827.51***				
Modulkosten/W			***7.1***				

Modulmontage

				Modulmontage Standard			
Dämmplatte auf Lattung setzen	1	1	1	Modul auf Schiene plazieren	1	1	2
Belastungssteine in Wanne bringen	1	2	2	Modulvebindung	1	2	2
Modulverbindung mit vorherg. Modul	1	2	2	Modul mit Klammern mont.	4	2	8
Modul mit Klammern montieren	4	2	8				
Montagezeit pro Modul			13				12
Montagezeit pro m2 (1.35x0.7m)			13.75				

Kostenvergleich PV-Isolationselement gegenüber konventioneller Anlage

PV-Alpurdach

10 kW mit 64 Isofoton I160-Modulen (160W)

PV-Isolationselement				**Standard**			
Anlageangaben:				Flumr125mm,Unterdachb.,Kont.,Lat.,Ziegel,PV-Aufbau			
betrachtete Dachfläche in m2	82				82		
Solarmodulfläche in m2	82				82		
Solarmodulfeldumrandung im m	37				0		
Anzahl Solarmodule	64			110W-Module	96		
installierte Leistung pro Modul in W	160				110		
	Material	Montage			Material	Montage	
Kostenfaktoren	pro m2	pro m2	total	**Kostenfaktoren**	pro m2	pro m2	total
Wärmedämmung / Unterdach				**Wärmedämmung**			
			0	Flumroc 125mm	23	5	2296
Unterdach				**Unterdach**			
				Pavatex	7	4	902
Bedachung				**Bedachung**			
Lattung	6	2	656	Lattung	6	2	656
Übergangsarbeiten Blech	20	30	1850	Konterlattung	5	2	574
				Ziegeleindeckung	35		2870
				PV-Unterkonstruktion			
				Dachhaken, Modulbef.			4044
PV-Isolationselement				**Solarmodule**	Mat/St.	Mon./St.	
inkl. Solarmodulen	825	8	68306	110W-Module	660	12	64512
Elektrisch				**Elektrisch**			
WR, Klemmenkästen, Verkabelung			35000	WR, KK, Verkabelung			35000
			105812				110854

Modulfertigung

Material	***Anzahl***	***Ko/Stck***	***Kosten***	Material Standard	***Anzahl***	***Ko/Stck***	***Kosten***
Solarlaminat (160W-Module)	1	960	960	Dachhaken	60	12	720
Alpurdämmelement in richtiger Gr.	1	35	35	Ankerschienen(1.3m/M)	125	12	1500
Unterdachbahn	1	10	10	Halteklammern	204	6	1224
Metallsockel	4	4	16				
Halterungsprofil	2	1	2				
Auflage-Gummiband	2	1	2				
Halteklammer unten	2	1	2				
Halteklammer oben	2	1	2				
Schrauben	4	0.5	2				
Nutensteine	4	0.5	2				
Material total			1033				
Fertigung				Unterkonstruktion			
Unterdachb. auf Alpur-Platte kleben	1	5	5	Dachhaken montieren	60	5	300
Metallsockel aufkleben	4	2	8	Ankerschienen setzen	60	5	300
Halterungsprofil anschrauben	2	2	4				
Halteklammern anschrauben	2	2	4				
Gummiband aufkleben auf Metallpr.	3	1	3				
Abdichtband auf Solarmodul kleben	1	1	1	Unterkonstruktion total			4044
Fertigung total			25				
Modul total			1058				
Abmessungen: Länge, Breite	1.35	0.95					
Modulkosten/m2			***825***				
Modulkosten/W			***6.6***				
Modulmontage				Modulmontage Standard			
Dämmplatte auf Lattung setzen	1	1	1	Modul auf Schiene plazieren	1	1	2
Dämmplatte auf Sparren nageln	1	2	2	Modulvebindung	1	2	2
Modulverbindung mit vorherg. Modu	1	2	2	Modul mit Klammern mont.	4	2	8
Modul mit Klammern montieren	1	5	5				
Montagezeit pro Modul			10				12
Montagezeit pro m2 (1.35x0.95m)			7.716				

Kostenvergleich PV-Isolationselement gegenüber konventioneller Anlage

PV-Metall-Dämmelement 10 kW mit 160 Unisolar ASR64-Modulen (64W)

PV-Isolationselement				**Standard**			
Anlageangaben:				Flumr125mm,Unterdachb.,Kont.,Lat.,Ziegel,PV-Aufbau			
betrachtete Dachfläche in m2	240				240		
Solarmodulfläche in m2	240				82		
Solarmodulfeldumrandung im m	76				0		
Anzahl Solarmodule	160			110W-Module	96		
installierte Leistung pro Modul in W	64				110		
	Material	Montage			Material	Montage	
Kostenfaktoren	pro m2	pro m2	total	**Kostenfaktoren**	pro m2	pro m2	total
Wärmedämmung				**Wärmedämmung**			
				Flumroc 125mm	23	5	6720
Unterdach				**Unterdach**			
				Pavatex	7	4	2640
Bedachung				**Bedachung**			
Lattung	6	2	1920	Lattung	6	2	1920
Konterlattung	5	2	1680	Konterlattung	5	2	1680
				Ziegeleindeckung	35		8400
				PV-Unterkonstruktion			
				Dachhaken, Modulbef.			4044
PV-Isolationselement				**Solarmodule**	Mat/St.	Mon./St.	
inkl. Solarmodulen	316	10	78240	110W-Module	660	12	64512
Elektrisch				**Elektrisch**			
WR, Klemmenkästen, Verkabelung			35000	WR, KK, Verkabelung			35000
			116840				124916

Modulfertigung

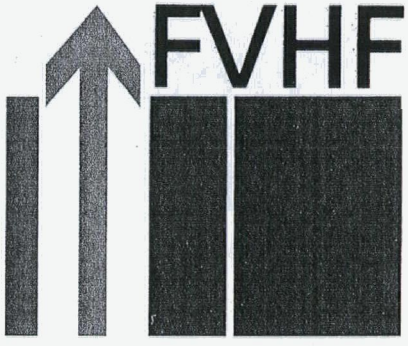
Material	***Anzahl***	***Ko/Stck***	***Kosten***	**Material Standard**	***Anzahl***	***Ko/Stck***	***Kosten***
Solarlaminat ASR64 (2896x406)	1	384	384	Dachhaken	60	12	720
Alpurdämmelement in richtiger Gr.	1	45	45	Ankerschienen(1.3m/M)	125	12	1500
Metallplatte gebogen	1	25	25	Halteklammern	204	6	1224
Deckelleiste	1	1	1				
Auflage-Gummiband	1	1	1				
Schrauben	2	1	2				
Klebstoff	2	5	10				
Material total			458				
Fertigung				Unterkonstruktion			
Laminat auf Metallplatte kleben	1	10	10	Dachhaken montieren	60	5	300
Metallplatte auf Dämmelement kle.	1	5	5	Ankerschienen setzen	60	5	300
Abdichtband auf Solarmodul kleben	1	1	1				
Fertigung total			16	Unterkonstruktion total			4044
Modul total			474				
Abmessungen: Länge, Breite	3	0.5					
Modulkosten/m2			***316***				
Modulkosten/W			***7.4***				
Modulmontage				Modulmontage Standard			
Handling, Transport	1	10	10	Modul auf Schiene plazieren	1	1	2
Dämmplatte auf Lattung setzen	1	1	1	Modulvebindung	1	2	2
Modulverbindung mit vorherg. Modul	1	2	2	Modul mit Klammern mont.	4	2	8
Deckelleiste montieren	1	2	2				
Montagezeit pro Modul			15				12
Montagezeit pro m2			10				

Anhang B: Hersteller und Lieferanten von interessanten Dämmelementen

Hersteller und Lieferanten von interessanten Dämmelementen und Bausystemen

Alporit AG	Dämmstoffe beim Bahnhof	Industriestr.		5623	Boswil
Ampus AG	Fassadenbau Gebäudeisolationen	Heinrüti		8965	Mutschellen
Anderhalden AG	Isolationen	Kernserstr.	6	6056	Kägiswil
ATB Luzern AG		Klosterstr.	14	6003	Luzern
Baukork AG	Dämmstoffe	Bahnhofstr.	52	6312	Steinhausen
Bio Bau Zentrum BBZ AG	Naturbaustoffe	Melchnaustr.	5	4900	Langenthal
Cewag Düdingen	Isolier-und Baustoffe	Murtenstr.	25	3186	Düdingen
Dietrich Isol AG	Dämmprodukte u. Systeme	Industriestr.		3700	Spiez
Flumroc AG		Industriestr.	8	8890	Flums
Foamglas Isolierungen	Pittsburgh Corning (Schweiz) AG	Welletenstr.	2	5023	Biberstein
Gantner AG, Isolier-Systeme	Werk für Isolier-Systeme	Ragnatsch		8888	Heiligkreuz (Mels)
Gonon Kunststoffwerk AG	Kunststoffverpackungen	Oberwiesenweg	2	8226	Schleitheim
Growe AG		Bahnhofstr.	28	3114	Oberwichtrach
Heck AG	Dämmsysteme	Uferstr.	90	4057	Basel
Isocell Schweiz	B-Bau Beat Bläsi	Rathausweg	3a	9425	Thal
Isover SA Bureau de vente				1522	Lucens
Knauf AG		Schorenweg	9	4144	Arlesheim
Linzmeier Bauelemente GmbH		Industriestr.	21	D-88499	Riedlingen
Macodach Schweiz		Leuernweg	14	3250	Lyss
Matola AG	Baustoffhandel			8026	Zürich
Pavatex AG		Knonauerstr.		6330	Cham
Rockwool Lapinus B.V.		Industrieweg	15	NL-6040	Roermond
Sager AG	Isolierstoffe u. Kunststoffprofile	Leutwilerstr.	281	5724	Dürrenäsch
Sarna-Granol AG	Fassaden-Aussendämmsysteme	Hochhaus		6060	Sarnen
Schneider Leichtbausysteme		Feldrietstr.	5	9204	Andwil
SCHWENK Schichtex AG	Dämmstoffe/Betonwaren	Mühlemattstr.	13	4104	Oberwil BL
Storit-Werke AG		Fabrikstr.	50	9478	Azmoos
Stroba Naturbaustoffe Dieter Baltensperger	Bio-Isolationen Naturfarben Schilfwaren	Winterthurerstr.	21	8310	Kemptthal
Vaparoid AG				3946	Turtmann
Wannerit AG		Linth-Escher-Str.	23	8865	Bilten
Weber & Broutin AG	Verputze u. Fassadenisolationen	Technoramastr.	9	8404	Winterthur
Wyss AG	Aluhit-Systemprodukte	Grossmatte	9	6014	Littau
ZZWancor		Althardstr.	5	8105	Regensdorf

Anhang C: Der Regenschutz von Aussenwänden mit vorgehängten hinterlüfteten Fassaden



Der Regenschutz von Aussenwänden mit vorgehängten hinterlüfteten Fassaden

3

FOCUS FASSADE

KURZGEFASST

Der Schlagregenschutz vorgehängter hinterlüfteter Fassaden ist durch ein hohes Sicherheitsniveau gekennzeichnet, da aufgrund der besonderen physikalischen Vorgänge weder ein kapillarer Wassertransport noch eine direkte Beregnung der wärmedämmenden Schichten auftritt. Somit ist auch die Möglichkeit offener Fugen gegeben. Hinzu kommt die ständig vorhandene Möglichkeit der Feuchtigkeitsabfuhr durch den Belüftungsraum, so daß befeuchtete Dämmschichten schnell wieder abtrocknen können, ohne daß der Wärmeschutz eingeschränkt wird.

Im allgemeinen Gebiete mit Jahresniederschlagsmengen über 800 mm sowie windreiche Gebiete auch mit geringeren Niederschlagsmengen (z.B. Küstengebiete, Mittel- und Hochgebirgslagen, Alpenvorland). Hochhäuser und Häuser in exponierter Lage in Gebieten, die auf Grund der regionalen Regen- und Windverhältnisse einer mittleren Schlagregenbeanspruchung zuzuordnen wären.

Für die Ermittlung der Jahresniederschlagsmengen kann die Regenkarte des Anhangs A der DIN 4108 Teil 3 dienen (Bild 3).

Schlagregenschutz

In DIN 4108 Teil 3 sind eine Reihe von Außenwandkonstruktionen bezüglich ihres Schlagregenschutzes qualifiziert. Danach ergeben sich vorgehängte hinterlüftete Fassaden als besonders schlagregensicher. Dies resultiert vor allem daraus, daß bei der Schlagregenbeanspruchung die kapillare Feuchtigkeitswanderung durch den Luftspalt des Belüftungsraums unterbrochen wird und die Wandbekleidung die Funktion der „zweistufigen Abdichtung" übernimmt.

Da der Belüftungsraum mit der Außenluft in Verbindung steht, ist beidseits der Fassadenbekleidung der gleiche Luftdruck gegeben, so daß praktisch kein Schlagregen durch die Fugen gedrückt wird (siehe Bild 1 unten rechts). Hierzu liegen schon seit Jahren eine ganze Reihe von Veröffentlichungen vor, die durch die Praxis glänzend bestätigt sind (siehe Literaturangaben am Ende des Aufsatzes).

Die Zuordnung von Außenwänden mit hinterlüfteter Fassade zur Beanspruchungsgruppe III ist unabhängig von der Formatgröße oder der Verlegemethode (Tabelle 1). Wie Erfahrungen aus Skandinavien und auch seit vielen Jahren aus Deutschland zeigen, gilt dies auch für Fassaden mit horizontal offenen Fugen, sofern sie nicht wesentlich breiter als 10 mm sind. Derartige Fugen besitzen zudem auch noch den zusätzlichen Vorteil geringerer Verschmutzungsanfälligkeit gegenüber Fassaden mit geschlossener oder hinterlegter Fuge.

Bei vorgehängten hinterlüfteten Fassaden auf Holzunterkonstruktion dürfen im Bereich offener Fugen liegende Holzlatten nicht direkt der Witterung ausgesetzt sein. Das bedeutet für die meist vertikal ausgerichteten Latten die Hinterlegung der Fuge mit Fugenbändern (Bild 4).

Für den Verarbeiter ist ferner noch von Wichtigkeit, daß bei Deckungen mit seitlichen Überlappungen der Schlagregenschutz durch die Deckungsrichtung unbeeinflußt bleibt. Somit ist bei der Verlegung die Beachtung der „Hauptwetterrichtung" unnötig.

Ein wesentlicher Antrieb für den Feuchtetransport bei Schlagregenbeanspruchung geht von der Windwirkung aus. Der bei Windanströmung des Gebäudes entstehende Staudruck würde bei einer Außenwand ohne Belüftungsraum durch etwaig vorhandene Risse, Fugen und Spalten Niederschlagswasser direkt in die hinter der Fassade liegenden wärmedämmenden Schichten treiben und eine Durchfeuchtung bewirken. Der Belüftungsraum verhindert dies, und ist außerdem in der Lage, eindringende Feuchtigkeit über den Belüftungsstrom wieder zu verdunsten. Bei den in [2] [5] und [6] beschriebenen Untersuchungen (Bild 5) wurde festgestellt, daß bei den üblichen Fugenbreiten von 5 bis 10 mm die weni-

Bild 3
Regenkarte der DIN 4108 Teil 3



Regenkarte nach Künzel aufgrund des mittleren Jahresniederschlags 1891 - (Schirmer, Karten mittlerer Niederschlagssummen, Deutscher Wetterdienst)

- Jahresniederschlag unter 600 mm
- Jahresniederschlag zwischen 600 und 800 mm
- Jahresniederschlag über 800 mm (im norddeutschen Küstengebiet (windreich) über 700 mm

DER REGENSCHUTZ VON AUSSENWÄNDEN

mit vorgehängten hinterlüfteten Fassaden

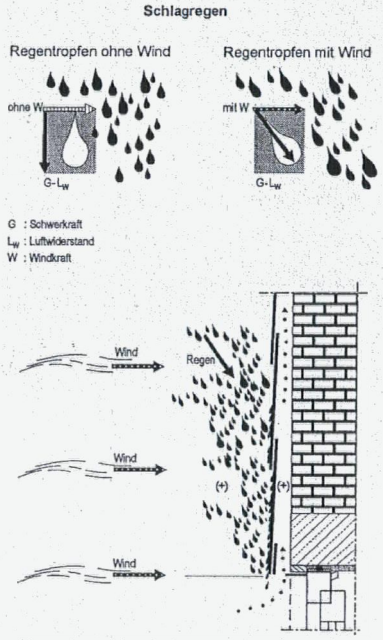
Prof. Dr.-Ing. Klaus W. Liersch, Berlin/Cottbus*

Die Bekleidung von Außenwänden mit plattenförmigen Werkstoffen ist ein seit Jahrhunderten bewährtes Verfahren, um besonders stark witterungsbeanspruchte Außenwände zu schützen. Beispiele hierfür sind die Schieferbekleidungen im Erzgebirge und im Bergischen Land, die Holzschindeln des Hochschwarzwaldes, die Zinkblechplatten des Aachen-Lütticher Raumes sowie die geprägten Zinkplatten des Harzes. Die traditionellen kleinformatigen Fassadenmaterialien werden durch die groß- und mittelformatigen Platten aus Faserzement, Keramik, Metall etc. ergänzt. Allen ist gemeinsam, daß mit ihnen hochwertige, bauphysikalisch einwandfreie Konstruktionen erstellt werden können. Eine der wichtigsten Schutzfunktionen stellt der Schlagregenschutz dar. Im folgenden sollen die wichtigsten bauphysikalischen Gesetzmäßigkeiten des Regenschutzes vorgehängter hinterlüfteter Fassaden behandelt werden.

SCHLAGREGEN-BEANSPRUCHUNG

Unter Schlagregen versteht man die horizontale Komponente des Regens, die sich mit zunehmender Windgeschwindigkeit vergrößert (Bilder 1 und 2). Im Teil 3

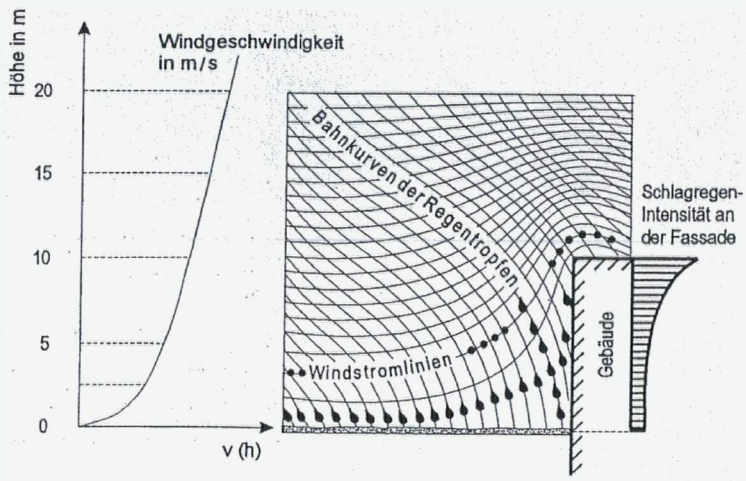
Bild 1
Erläuterung des Begriffs „Schlagregen" und Darstellung der Regenschutzfunktion einer belüfteten Fassade: da der Belüftungsraum mit der Außenluft in Verbindung steht, ist beidseits der Fassadenbekleidung der gleiche Luftdruck gegeben, es wird kein Schlagregen durch die Fugen gedrückt [1] [2] [6]



der DIN 4108 Abschnitt 4.2 werden Gebäude in Beanspruchungsgruppen eingeteilt. Bei Einordnung in die Beanspruchungsgruppen sind die regionalen klimatischen Bedingungen (Regen, Wind) zu berücksichtigen. Hierzu dienen folgende Hinweise:

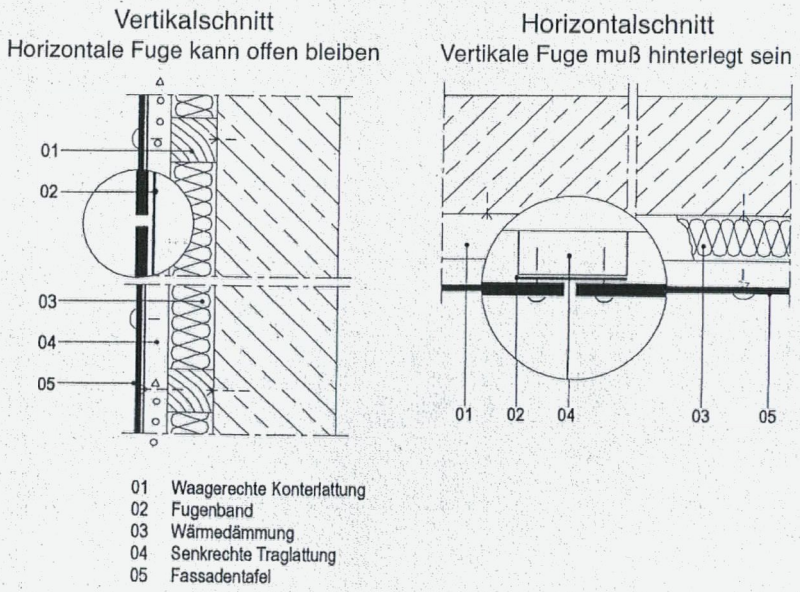
- Beanspruchungsgruppe I - Geringe Schlagregenbeanspruchung:
  Im allgemeinen Gebiete mit Jahresniederschlagsmengen unter 600 mm sowie besonders windgeschützte Lagen auch in Gebieten mit größeren Niederschlagsmengen.
- Beanspruchungsgruppe II - Mittlere Schlagregenbeanspruchung:
  Im Allgemeinen Gebiete mit Jahresniederschlagsmengen von 600 bis 800 mm sowie windgeschützte Lagen auch in Gebieten mit größeren Niederschlagsmengen. Hochhäuser und Häuser in exponierter Lage in Gebieten, die auf Grund der regionalen Regen- und Windverhältnisse einer geringen Schlagregenbeanspruchung zuzuordnen wären.
- Beanspruchungsgruppe III - Starke Schlagregenbeanspruchung:

Bild 2
Stromlinien des Windes und Fallwege der Regentropfen in der Umgebung eines Bauwerks, nach [3]



* Inhaber des Lehrstuhls Baukonstruktion/ Bauphysik an der TU Cottbus
Von der IHK Berlin ö.b.u.v. Sachverständiger für Wärme- und Feuchteschutz

Bild 4
Vorgehängte hinterlüftete Fassade auf Holzunterkonstruktion; Fugenausbildung



gen, nur bei extrem böigem Wind durch offene Fugen eindringenden Regentropfen infolge des Druckausgleichs an der Rückseite der Bekleidung ablaufen.

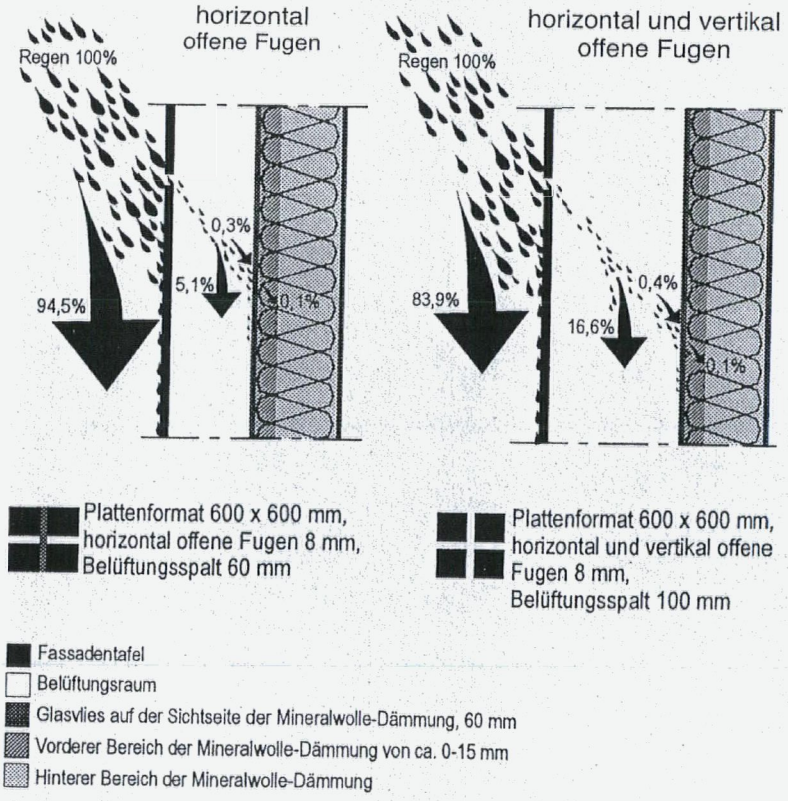


Bild 5
Ergebnisse von Schlagregenversuchen an vorgehängten hinterlüfteten Fassaden (5).

Literatur zum Schlagregenschutz:

[1] Cziesielski, E.: Regenschutz, in Hütte Bautechnik Band V, Konstruktiver Ingenieurbau 2: Bauphysik, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 29. Auflage 1988

[2] Cziesielski, E./Maerker, B.: Erzeugung eines künstlichen Schlagregens für die Bauteilprüfung, BAUPHYSIK 3/1985

[3] Leimer, H.P./Thiele, R.: Diffusionsoffene Unterspannbahnen auf Vliesstoffbasis, Vortrag Nr. 418, 6. Internationales Techtextil Symposium 1994

[4] Liersch, K.W.: Belüftete Dach- und Wandkonstruktionen; Band 1, Vorhangfassaden: Bauphysikalische Grundlagen des Wärme- und Feuchteschutzes; Bauverlag Wiesbaden und Berlin, 1981

[5] Molenhoek: Beregnungsprüfung keramischer Fassaden, Bericht Nr.: DA 1196-1 vom 05.04.1990 Adviesbureau Peutz & Associes B.V. Nijmegen

[6] Nylund, P.-O.: Schlagregen- und Windeinwirkung auf offene Horizontalfugen bei Asbestzement-Fassadenverkleidungen; Untersuchungen des Norwegischen Bauforschungsinstituts Drontheim, auszugsweise abgedruckt in ac facade, Verlag Girsberger, Zürich 1968

[7] Zimmermann, K.: Fassaden, Sanierung und Modernisierung, Bauwelt 1988, Heft 11

[8] DIN 4108 Wärmeschutz im Hochbau, Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz, Ausgabe 1981

[9] DIN 18 516 Teil 1 Außenwandbekleidungen, hinterlüftet; Anforderungen, Prüfgrundsätze, Ausgabe Januar 1990

[10] DIN 18 516 Teil 3 Außenwandbekleidungen, hinterlüftet; Naturstein, Anforderungen, Bemessung, Ausgabe Januar 1990

[11] DIN 18 517 Teil 1 Außenwandbekleidungen aus kleinformatigen Fassadenplatten; Asbestzementplatten, Ausgabe November 1985 (wurde inzwischen zurückgezogen, obwohl der Inhalt sinngemäß auch für asbestfreie Faserzementplatten anzuwenden ist)

Tabelle 1: Beispiele für die Zuordnung von genormten Wandbauarten und Beanspruchungsgruppen nach DIN 4108, Teil 3

Spalte	1	2	3
Zeile	Beanspruchungsgruppe 1 geringe Schlagregenbeanspruchung	Beanspruchungsgruppe 2 mittlere Schlagregenbeanspruchung	Beanspruchungsgruppe 3 starke Schlagregenbeanspruchung
1	Mit Außenputz ohne besondere Anforderung an den Schlagregenschutz nach DIN 18550 Teil 1 – Außenwände aus Mauerwerk, Wandbauplatten, Beton o. ä. – Holzwolle-Leichtbauplatten, ausgeführt nach DIN 1102 (mit Fugenbewehrung – Mehrschicht-Leichtbauplatten, ausgeführt nach DIN 1104 Teil 2 (mit ganzflächiger Bewehrung	Mit wasserhemmendem Außenputz nach DIN 18550 Teil 1 oder einem Kunstharzputz) verputzte – Außenwände aus Mauerwerk, Wandbauplatten, Beton o. ä. – Holzwolle-Leichtbauplatten, ausgeführt nach DIN 1102 (mit Fugenbewehrung) oder Mehrschicht-Leichtbauplatten mit zu verputzenden Holzwolleschichten der Dicken ≥ 15 mm, ausgeführt nach DIN 1104 Teil 2 (mit ganzflächiger Bewehrung) – Mehrschicht-Leichtbauplatten mit zu verputzenden Holzwolleschichten der Dicken < 15 mm, ausgeführt nach DIN 1104 Teil 2 (mit ganzflächiger Bewehrung) unter Verwendung von Werkmörtel nach DIN 18557	Mit wasserabweisendem Außenputz nach DIN 18550 Teil 1 oder einem Kunstharzputz) verputzte
2	Einschaliges Sichtmauerwerk nach DIN 1053 Teil 1, 31 cm dick[1]	Einschaliges Sichtmauerwerk nach DIN 1053 Teil 1, 37,5 cm dick[1]	Zweischaliges Verblendmauerwerk mit Luftschicht nach DIN 1053 Teil 1[2]; Zweischaliges Verblendmauerwerk ohne Luftschicht nach DIN 1053 Teil 1 mit Vormauersteinen
3		Außenwände mit angemörtelten Bekleidungen nach DIN 18515	Außenwände mit angemauerten Bekleidungen mit Unterputz nach DIN 18515 und mit wasserabweisendem Fugenmörtel[3]
			Außenwände mit angemörtelten Bekleidungen mit Unterputz nach DIN 18515 und mit wasserabweisendem Fugenmörtel[3]
4			Außenwände mit Betonaußenschicht nach DIN 1045 und DIN 4219 Teil 1 und Teil 2
5			Wände mit hinterlüfteten Außenwandbekleidungen nach DIN 18515 und mit Bekleidungen nach DIN 18516 Teil 1 und Teil 2[3]
6		Außenwände in Holzbauart unter Beachtung von DIN 68800 Teil 2 mit 11,5 cm dicker Mauerwerks-Vorsatzschale[4]	Außenwände in Holzbauart unter Beachtung von DIN 68800 Teil 2 a) mit vorgesetzter Bekleidung nach DIN 18516 Teil 1 und Teil 2 oder b) mit 11,5 cm dicker Mauerwerks-Vorsatzschale mit Luftschicht[4] [5]

1) Übernimmt eine zusätzlich vorhandene Wärmedämmschicht den erforderlichen Wärmeschutz allein, so kann das Mauerwerk in die nächsthöhere Beanspruchungsgruppe eingeordnet werden.
2) Die Luftschicht muß nach DIN 1053 Teil 2 ausgebildet werden. Eine Verfüllung des Zwischenraumes als Kerndämmung darf nur nach hierfür vorgesehenen Normen durchgeführt werden oder bedarf eines besonderen Nachweises der Brauchbarkeit, z. B. durch allgemeine bauaufsichtliche Zulassung.
3) Wasserabweisende Fugenmörtel müssen einen Wasseraufnahmekoeffizienten 0,5 kg/(m² h$^{1/2}$) aufweisen, ermittelt nach DIN 52617.
4) Durch konstruktive Maßnahmen (z. B. Abdichtung des Wandfußpunktes, Ablauföffnungen in der Vorsatzschale) ist dafür zu sorgen, daß die hinter der Vorsatzschale auftretende Feuchte von den Holzteilen ferngehalten und abgeleitet wird.
5) Die Luftschicht muß mindestens 4 cm dick sein. Die Vorsatzschale ist unten und oben mit Lüftungsöffnungen zu versehen, die jeweils eine Fläche von mindestens 150 cm² auf etwa 20 m² Wandfläche haben. Bezüglich ausreichender Belüftung für den Tauwasserschutz siehe DIS 68800 Teil 2
Für den Nachweis des Wärmeschutzes und der Tauwasserbildung an der raumseitigen Oberfläche dürfen jedoch die Luftschicht und die Vorsatzschale nicht in Ansatz gebracht werden.



Fachverband Baustoffe und Bauteile für vorgehängte hinterlüftete Fassaden e.V. (FVHF)
Abraham-Lincoln-Straße 30 · 65189 Wiesbaden · Tel. 06 11/77 22 81 · Fax 06 11/77 22 41

Anhang D: Belastung Innenwandkassetten

PV-Eurowand

Belastung der Blechkassetten



Querschnitt Blechkassetten:2x1mm (=h)
Halteklammer: 2mm

Annahme: symmetrische reine Biegung,
dann gilt:

Max. Durchbiegung $y_m = Gx\ l^3/(3xExI)$; Moment Mmax = Gxl

Max. Spannung σmax = Mmax / Wx

E= Kennzahl Alu = 72 10^9 N/m^2 Stahl: 340 10^9 N/m^2
I= b x $h^3/12$
Wx = b x $h^2/6$

Annahme: Modul BP585: 8 kg, 120cm Breite; l = 20cm, **Alu**

I= 1.2 x $0.002^3/12 = 8 \times 10^{-10}$
Wx = 1.2 x $0.002^2/6 = 8 \times 10^{-7}$

$y_m = 80 \times 0.2^3/ (3x72\ 10^9 \times 8x10^{-10})$ **=3.7 mm**

Mmax = 80 N x 0.2m = 16 Nm

σmax = $16/ (8 \times 10^{-7}) = 20x10^6$ Rm ist zwischen 65 und $170x10^6$ für Alu
σmax < Rm

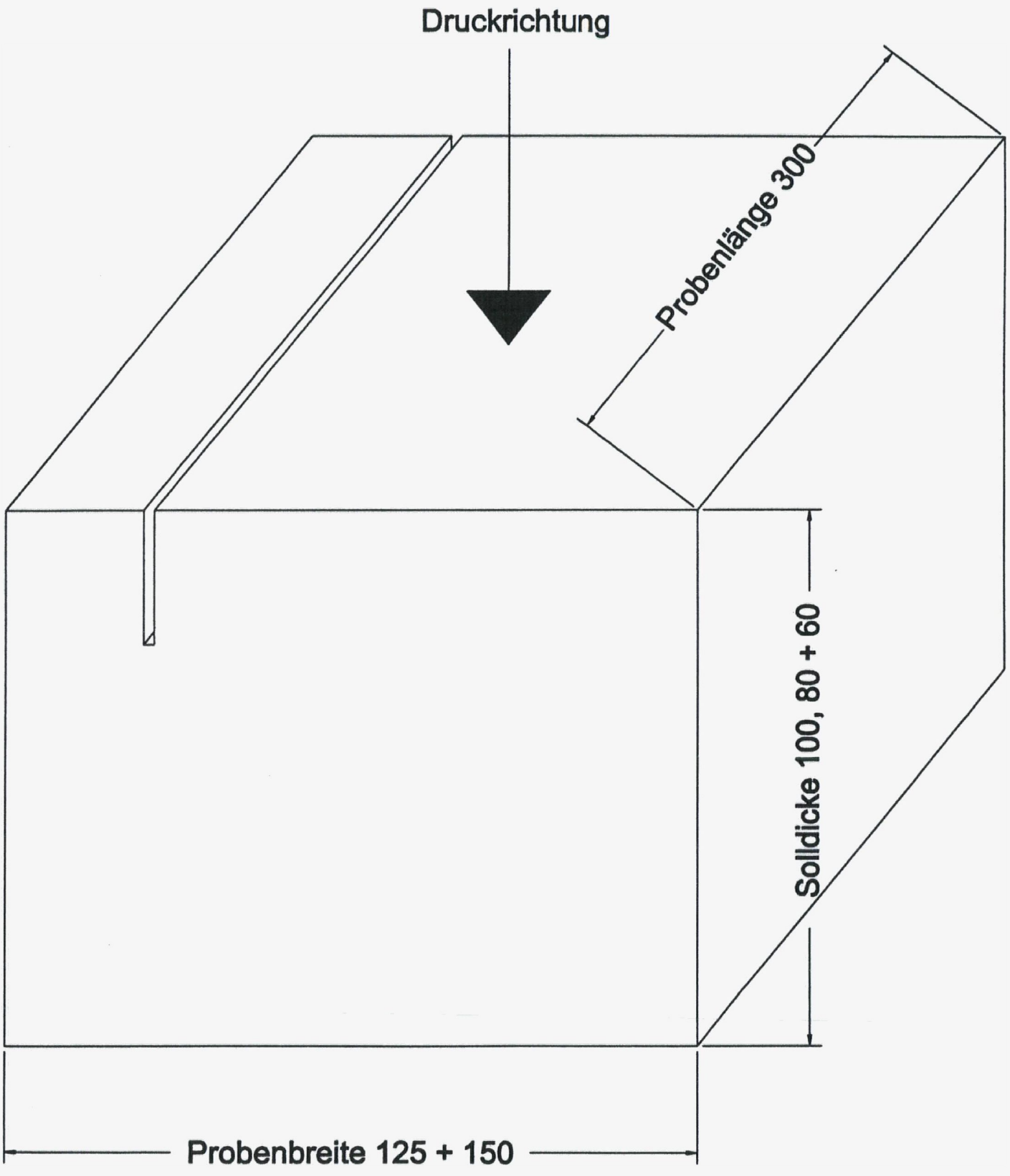
Annahme: Modul BP585: 8 kg, 120cm Breite; l = 20cm, **Stahl**

$y_m = 80 \times 0.2^3/ (3x340\ 10^9 \times 8x10^{-10})$ **=0.8 mm**

σmax = $16/ (8 \times 10^{-7}) = 20x10^6$ Rm ist ca. $340\ x10^6$ für Stahl
σmax < Rm

Anhang E: Prüfprotokolle Druckspannung Dämmplatte Euroc

Prüfung Druckspannung bei Dämmplatte EUROC



Flumroc AG

Qualitätssicherung

06.07.99 09:46:20

Prüfprotokoll

Produkt	: EUROC	Prüfer	: Pfiffner Roland
Artikelnummer	: 231100	Produktionsdatum	: 26.04.99
Material	: Steinwolle	Produktionslinie	:
Prüfung	: Druckversuch	Anteil Recycling	: 0.000 %
Kunde	:	Bemerkungen	: Versuch AWT

Prüfparameter:

Prüfgeschwindigkeit	: 10 mm/min	Probenlänge	: 300 mm
Solldicke	: 100 mm	Probenbreite	: 125 mm

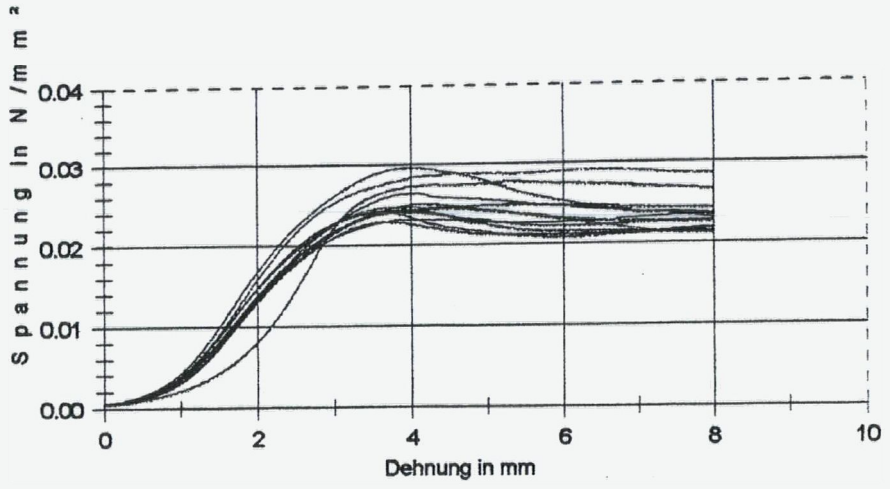
Ergebnisse:

Nr	Fmax N/mm²	Weg bis F max mm	Stauchung bis F max %	Stärke mm	Rohdichte kg/m³
1	0.028	5.4	5.44	100.0	54.6
2	0.024	3.9	3.85	100.7	55.2
3	0.026	4.1	4.05	100.6	54.1
4	0.029	6.6	6.51	100.8	57.8
5	0.024	3.8	3.77	100.5	55.4
6	0.023	3.6	3.61	100.9	55.2
7	0.029	4.0	3.96	100.7	57.0
8	0.023	7.9	7.81	100.6	53.0
9	0.025	3.8	3.78	100.2	51.2
10	0.024	3.7	3.67	100.4	51.7
11	0.025	5.4	5.34	100.5	52.8
12	0.025	4.2	4.14	100.4	54.4

Statistik:

n = 12	Fmax N/mm²	Weg bis F max mm	Stauchung bis F max %	Stärke mm	Rohdichte kg/m³
x̄	0.025	4.7	4.66	100.5	54.4
s	0.002	1.4	1.34	0.3	2.0
min	0.023	3.6	3.61	100.0	51.2
max	0.029	7.9	7.81	100.9	57.8

Seriengrafik:



Ablage: Qualitätssicherung

Flumroc AG

Qualitätssicherung

06.07.99 10:10:13

Prüfprotokoll

Produkt	: EUROC	Prüfer	: Pfiffner Roland
Artikelnummer	: 231100	Produktionsdatum	: 26.04.99
Material	: Steinwolle	Produktionslinie	:
Prüfung	: Druckversuch	Anteil Recycling	: 0.000 %
Kunde	:	Bemerkungen	: Versuch AWT

Prüfparameter:

Prüfgeschwindigkeit	: 8 mm/min	Probenlänge	: 300 mm
Solldicke	: 80 mm	Probenbreite	: 125 mm

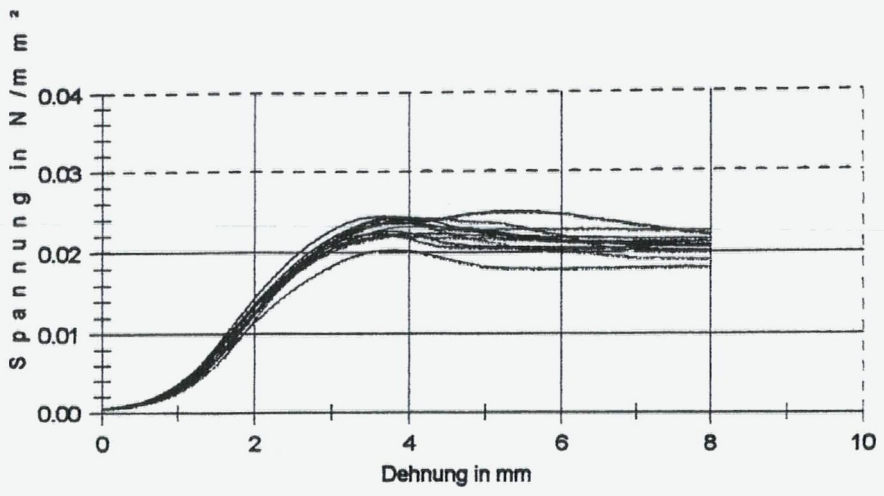
Ergebnisse:

Nr	Fmax N/mm²	Weg bis F max mm	Stauchung bis F max %	Stärke mm	Rohdichte kg/m³
1	0.022	3.6	4.54	80.3	52.5
2	0.020	3.8	4.70	80.6	50.5
3	0.024	3.7	4.58	80.4	52.8
4	0.024	4.0	5.00	80.2	49.8
5	0.022	4.3	5.30	80.3	52.5
6	0.024	3.8	4.74	80.6	52.1
7	0.024	4.2	5.17	80.7	54.5
8	0.023	4.1	5.12	79.9	49.5
9	0.022	3.9	4.84	80.3	50.8
10	0.025	5.7	7.10	80.3	51.1
11	0.022	3.8	4.65	80.7	52.1
12	0.024	3.6	4.46	80.8	55.8

Statistik:

n = 12	Fmax N/mm²	Weg bis F max mm	Stauchung bis F max %	Stärke mm	Rohdichte kg/m³
$\bar{x}$	0.023	4.0	5.02	80.4	52.0
s	0.001	0.6	0.71	0.3	1.8
min	0.020	3.6	4.46	79.9	49.5
max	0.025	5.7	7.10	80.8	55.8

Seriengrafik:



Ablage: Qualitätssicherung

Flumroc AG

Qualitätssicherung

06.07.99 10:38:11

Prüfprotokoll

Produkt	: EUROC	Prüfer	: Pfiffner Roland
Artikelnummer	: 231100	Produktionsdatum	: 26.04.99
Material	: Steinwolle	Produktionslinie	:
Prüfung	: Druckversuch	Anteil Recycling	: 0.000 %
Kunde	:	Bemerkungen	: Versuch AWT

Prüfparameter:

Prüfgeschwindigkeit	: 6 mm/min	Probenlänge	: 300 mm
Solldicke	: 60 mm	Probenbreite	: 125 mm

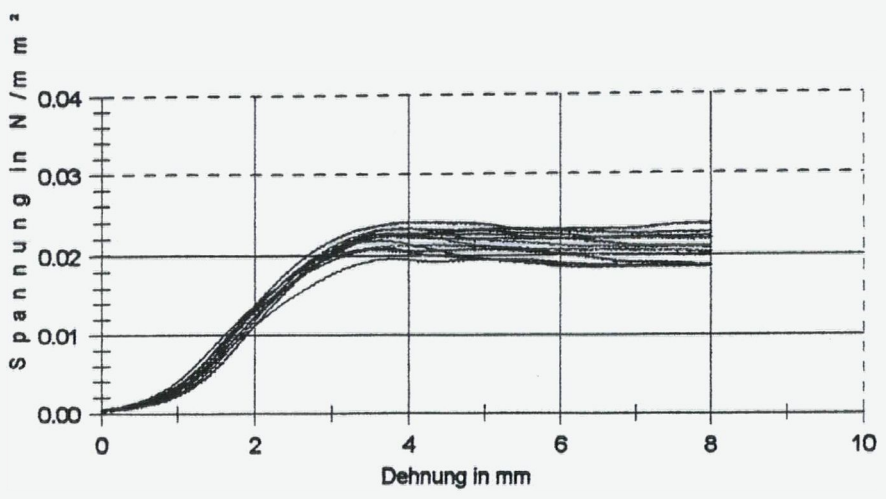
Ergebnisse:

Nr	Fmax N/mm²	Weg bis F max mm	Stauchung bis F max %	Stärke mm	Rohdichte kg/m³
1	0.023	4.0	6.74	60.1	51.4
2	0.023	3.8	6.27	60.6	51.9
3	0.019	3.7	6.23	60.0	47.8
4	0.023	3.9	6.50	59.9	51.9
5	0.023	4.0	6.66	60.4	52.7
6	0.021	3.8	6.27	60.0	49.6
7	0.021	3.5	5.74	60.1	48.3
8	0.022	3.6	6.05	60.0	50.5
9	0.021	4.5	7.45	59.9	49.2
10	0.022	3.8	6.22	60.3	51.9
11	0.023	5.0	8.22	60.4	52.3
12	0.024	4.2	6.93	60.2	52.7

Statistik:

n = 12	Fmax N/mm²	Weg bis F max mm	Stauchung bis F max %	Stärke mm	Rohdichte kg/m³
$\bar{x}$	0.022	4.0	6.61	60.2	50.9
s	0.001	0.4	0.68	0.2	1.7
min	0.019	3.5	5.74	59.9	47.8
max	0.024	5.0	8.22	60.6	52.7

Seriengrafik:



Ablage: Qualitätssicherung

Flumroc AG

Qualitätssicherung

06.07.99 08:05:44

Prüfprotokoll

Produkt	: EUROC	Prüfer	: Pfiffner Roland
Artikelnummer	: 231200	Produktionsdatum	:
Material	: Steinwolle	Produktionslinie	:
Prüfung	: Druckversuch	Anteil Recycling	: 0.000 %
Kunde	:	Bemerkungen	: Versuch AWT

Prüfparameter:

Prüfgeschwindigkeit	: 10 mm/min	Probenlänge	: 150 mm
Solldicke	: 100 mm	Probenbreite	: 300 mm

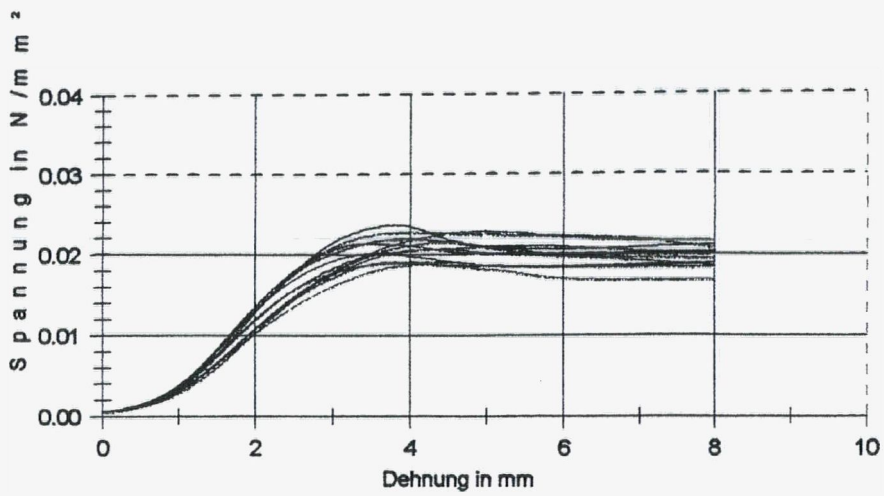
Ergebnisse:

Nr	Fmax N/mm²	Weg bis F max mm	Stauchung bis F max %	Stärke mm	Rohdichte kg/m³
1	0.021	5.7	5.75	99.8	52.0
2	0.019	3.9	3.85	100.0	53.6
3	0.024	3.8	3.91	97.5	52.2
4	0.023	4.0	4.02	99.2	53.1
5	0.021	3.4	3.38	99.7	54.4
6	0.022	4.0	4.07	97.9	54.0
7	0.020	4.3	4.34	98.9	49.6
8	0.020	3.5	3.55	99.0	51.8
9	0.019	4.1	4.13	99.9	50.4
10	0.021	4.5	4.48	100.0	51.3
11	0.019	4.0	3.95	100.2	52.2
12	0.023	5.0	5.03	98.9	54.2

Statistik:

n = 12	Fmax N/mm²	Weg bis F max mm	Stauchung bis F max %	Stärke mm	Rohdichte kg/m³
x	0.021	4.2	4.21	99.3	52.4
s	0.002	0.7	0.65	0.9	1.5
min	0.019	3.4	3.38	97.5	49.6
max	0.024	5.7	5.75	100.2	54.4

Seriengrafik:



Ablage: Qualitätssicherung

Flumroc AG

Qualitätssicherung

05.07.99 16:37:41

Prüfprotokoll

Produkt	: EUROC	Prüfer	: Pfiffner Roland
Artikelnummer	: 231200	Produktionsdatum	:
Material	: Steinwolle	Produktionslinie	:
Prüfung	: Druckversuch	Anteil Recycling	: 0.000 %
Kunde	:	Bemerkungen	: Versuch AWT

Prüfparameter:

Prüfgeschwindigkeit	: 8 mm/min	Probenlänge	: 300 mm
Solldicke	: 80 mm	Probenbreite	: 150 mm

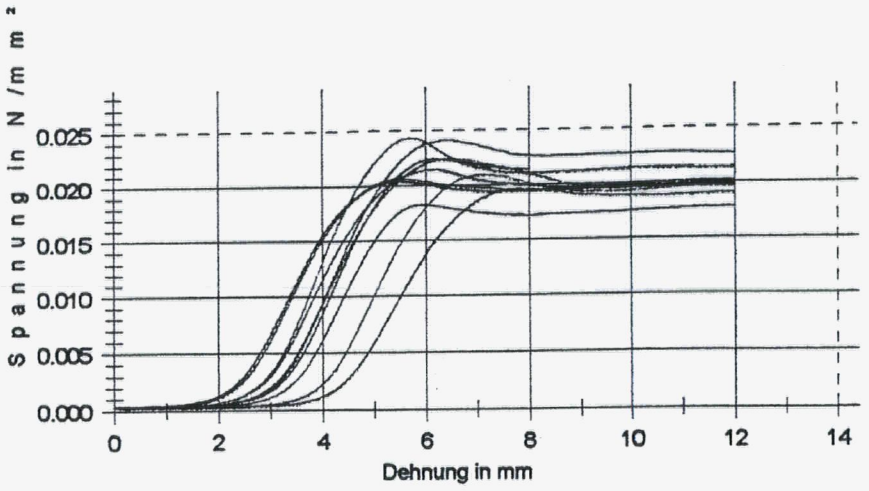
Ergebnisse:

Nr	Fmax N/mm²	Weg bis F max mm	Stauchung bis F max %	Stärke mm	Rohdichte kg/m³
1	0.022	6.2	7.53	82.0	53.3
2	0.021	5.5	6.70	81.9	51.9
3	0.018	5.9	7.19	81.9	50.6
4	0.022	6.5	7.89	82.0	51.7
5	0.021	6.1	7.48	81.9	51.7
6	0.020	7.9	9.58	81.9	49.2
7	0.024	5.7	6.94	81.9	54.4
8	0.024	6.4	7.80	81.9	54.2
9	0.021	7.1	8.66	81.9	51.9
10	0.020	5.5	6.66	81.9	51.9

Statistik:

n = 10	Fmax N/mm²	Weg bis F max mm	Stauchung bis F max %	Stärke mm	Rohdichte kg/m³
$\bar{x}$	0.021	6.3	7.64	81.9	52.1
s	0.002	0.7	0.91	0.0	1.6
min	0.018	5.5	6.66	81.9	49.2
max	0.024	7.9	9.58	82.0	54.4

Seriengrafik:



Ablage: Qualitätssicherung

Flumroc AG

Qualitätssicherung

06.07.99 07:38:45

Prüfprotokoll

Produkt	: EUROC	Prüfer	: Pfiffner Roland
Artikelnummer	: 231200	Produktionsdatum	:
Material	: Steinwolle	Produktionslinie	:
Prüfung	: Druckversuch	Anteil Recycling	: 0.000 %
Kunde	:	Bemerkungen	: Versuch AWT

Prüfparameter:

Prüfgeschwindigkeit	: 6	mm/min	Probenlänge	: 150	mm
Solldicke	: 60	mm	Probenbreite	: 300	mm

Ergebnisse:

Nr	Fmax N/mm²	Weg bis F max mm	Stauchung bis F max %	Stärke mm	Rohdichte kg/m³
1	0.020	3.5	5.88	59.7	50.0
2	0.021	3.6	6.02	60.0	53.0
3	0.023	3.6	5.95	60.2	55.6
4	0.019	3.4	5.67	59.4	51.1
5	0.021	3.5	5.85	60.4	53.0
6	0.021	3.8	6.56	57.7	51.5
7	0.021	3.5	5.93	59.3	52.2
8	0.020	4.1	6.70	60.5	52.2
9	0.019	3.4	5.67	60.1	52.2
10	0.019	3.4	5.65	59.7	51.5
11	0.018	4.2	7.13	59.2	48.9
12	0.020	3.5	5.73	60.3	52.6
13	0.021	3.5	5.87	59.5	52.6
14	0.021	3.5	5.81	60.2	52.6
15	0.019	3.7	6.15	59.5	50.7
16	0.019	3.7	6.24	59.5	51.1
17	0.020	3.8	6.27	60.0	51.9
18	0.022	3.8	6.38	58.9	53.3

Statistik:

n = 18	Fmax N/mm²	Weg bis F max mm	Stauchung bis F max %	Stärke mm	Rohdichte kg/m³
x	0.020	3.6	6.08	59.7	52.0
s	0.001	0.2	0.40	0.7	1.4
min	0.018	3.4	5.65	57.7	48.9
max	0.023	4.2	7.13	60.5	55.6

Prüfprotokoll

Seriengrafik:

