

Schlussbericht PV P+D, DIS 45134 / 85214, März 2005

Photovoltaik Alpur Dach

ausgearbeitet durch:

Richard Durot

ZAGSOLAR

Amlehnstr. 33, CH-6010 Kriens



Zusammenfassung

Das Projekt Photovoltaik Alpur Dach beinhaltet die Entwicklung eines neuen Dachsystems für die Integration von Photovoltaik Laminaten in Schrägdächer. Teil dieses Dachsystems ist gleichzeitig die thermische Isolation des Dachs.

Zum Einsatz kommen hochdämmende Alpur-Dämmelemente als Trägerplatten für die Photovoltaikmodule. Auf diesen Dämmelementen mit Unterdachbahn werden Befestigungsschienen für die Montage von rahmenlosen Standard-Solarlaminaten montiert.

Diese vorfabrizierten Elemente, bestehend aus Dämmplatte, Unterdachbahn und den darauf fixierten Befestigungsschienen für die Solarmodule werden auf die Baustelle geliefert, auf dem Dach verlegt und in den Sparren verankert. Anschliessend erfolgt die Montage der rahmenlosen Solarmodule.

Das neue PV Dachsystem wurde am Prüf- und Forschungsinstitut p+f Sursee getestet und bewies bei diversen Regen- und Windtests seine Regensicherheit.

An der Hochschule für Technik und Architektur HTA Luzern konnte in verschiedenen Belastungs- und Festigkeitstest die notwendige Stabilität des Dachsystems belegt werden.

Mit dem Abschluss der Tests ist die Entwicklung der Prototypen inkl. dem Aufbau des Versuchsdachs erfolgreich abgeschlossen.

Abstract

The project photovoltaic-alpur-roof is a new development in roofing system that allows for easy integration of photovoltaic modules in a sloped roof.

The photovoltaic laminate fixation structure is assembled on large insulation plates with roofing membrane, directly in the factory.

First, the prefabricated elements are placed on the wooden panel over the rafters. Then, the string cables are laid out. Finally, the photovoltaic laminates are connected and placed into the framework.

The roofing system was tested in rain and wind-like conditions at the Sursee Test and Research Institute. The system proved reliable under all weather conditions.

The Lucerne Technical School of Engineering and Architecture investigated the new roofing system's solidity which fulfills the Swiss Norm SIA160 (261) requirements. The element fixations also proved to be resistant.

Inhalt

1.	Einleitung / Projektziele	4
2.	Kurzbeschreibung des Projekts / der Anlage	5
3.	Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse	6
3.1.	Untersuchungen an der HTA Luzern zur Regensicherheit	7
	Prüfraum Regensicherheit.....	7
	Messprogramm.....	8
	Messresultate	9
3.2.	Untersuchungen an der HTA Luzern zur Festigkeit	9
	Belastungstest der Klickverbindung der Auflageschienen	10
	Verankerung in den Sparren	11
	Untersuchungen zum Brandschutz	11
4.	Nationale / internationale Zusammenarbeit.....	11
5.	Schlussfolgerungen	12

1. Einleitung / Projektziele

Sozusagen jedes Steildach hat eine Dachisolation. Diese Isolationsschicht wird oft über den Sparren angeordnet. Darüber liegen das Unterdach, die Lattung und die eigentliche Bedachung. Bei Dachaufbauten mit Übersparrendämmung werden mit Vorteil grosse Dämmplatten eingesetzt, auf welcher die Unterdachschicht bereits aufgebracht ist. Diese Grosselemente gaben Anlass zur Entwicklung des Photovoltaik-Alpur-Daches.

Die Idee des Photovoltaik-Alpur-Daches ist der Einsatz von hochdämmenden Alpur-Dämmelementen als Trägerplatten für Photovoltaikmodule. Auf diesen Dämmelement mit Unterdachbahn werden Befestigungsschienen angebracht, welche die Montage von rahmenlosen Standard-Solarmodulen erlauben.

In einem Vorprojekt wurden in Form eines Versuchsaufbaus die Machbarkeit aufgezeigt und die Marktchancen evaluiert.

Mit dem Projekt „Photovoltaik-Alpur-Dach“ wurden die folgenden Ziele verfolgt:

- Reduzieren des Montageaufwandes durch Kombination der Photovoltaikmodule mit der Dachisolation
- Weiterentwickeln des neuen Dachsystems bis zur Marktreife
- Überprüfen des PV-Alpur-Daches hinsichtlich der erforderlichen Festigkeit entsprechend den Normen
- Überprüfen der Witterungsbeständigkeit und speziell der Regensicherheit des neuen Dachaufbaus (Aluminiumschienen, Kunststoff-Profile und die rahmenlosen Module bilden die Bedachung)
- Abklären des Fertigungs- und Montagevorgangs und Überprüfen der Montagefreundlichkeit beim Erstellen der erforderlichen Versuchsaufbauten
- Erstellen einer Pilotanlage und Überwachen des Anlagenbetriebs in elektrischer und bauphysikalischer Hinsicht



Abbildung 1: Einblick ins PV-Alpur-Dach

Das Projekt „Photovoltaik-Alpur-Dach“ beinhaltet also die Entwicklung und Überprüfung eines neuartigen Dachsystems.

Dieses Dachsystem sieht vor, die Wärmedämmschicht auf einer Schalung über den Sparren anzubringen. Die einzelnen Elemente, bestehend aus Dämmplatte, Unterdachbahn und darauf fixierten Befestigungselementen für Solarmodule werden auf die Baustelle geliefert. Die Elemente

werden auf dem Dach verlegt und in den Sparren verankert. Anschliessend werden darauf die rahmenlosen Solarmodule einfach montiert.

Dem Projektverlauf entsprechend war für das Jahr 2004 vorgesehen, die Untersuchungen des PV-Alpur-Dachsystems in Zusammenarbeit mit der Hochschule für Technik und Architektur Luzern hinsichtlich der Stabilität, der Wasserfestigkeit und des Brandschutzes zu beenden und anschliessend eine Pilotanlage zu erstellen.

2. Kurzbeschreibung des Projekts / der Anlage

Die Firma Alporit AG stellt Dämmplatten aus Polyurethan her. Diese Dämmplatten weisen eine sehr niedrige Wärmeleitfähigkeit auf, werden standardmässig in grossen Platten (2340x1000mm) hergestellt und sind mit oder ohne Unterdachbahn lieferbar. Beim PV-Alpur-Dach werden diese Dämmplatten als Trägerplatten für rahmenlose grosse Solarmodule eingesetzt.

Bereits in der Werkstatt werden auf der Dämmplatte die Sockel fixiert und darauf die Auflageschienen mit den Halteschienen (oben) und Halteklammern (unten) befestigt.

Auf dem Dach (Steildach mit einer Neigung zwischen 15° und 45°) erfolgt die Montage in vier Schritten:

1. Die Elemente werden auf dem Dach platziert. Sie greifen durch Kamm und Nut ineinander; die Unterdachbahnen überlappen und werden mit Klebbändern dicht verbunden.
2. Zur Erreichung der erforderlichen Stabilität werden die Elemente in den Sparren verankert.
3. Die Kabeleinführung durch's Dach wird realisiert und die Strangkabel für den Anschluss der Solarmodule werden verlegt.
4. Die rahmenlosen Solarmodule werden elektrisch verbunden und in die Befestigungsschienen auf den Elementen eingefügt.

Das Photovoltaik-Alpur-Dach hat wie jedes Steildach verschiedene Funktionen zu übernehmen:

- Es bildet die Bedachung und muss regensicher sein.
- Es gewährleistet den mechanischen Schutz des Gebäudes und muss Windeinwirkungen widerstehen.
- Es muss einen guten Brandschutz bieten
- Es soll die Bewohner möglichst gut vor Aussenlärm schützen.
- Die Isolationsschicht dient dem Wärmeschutz

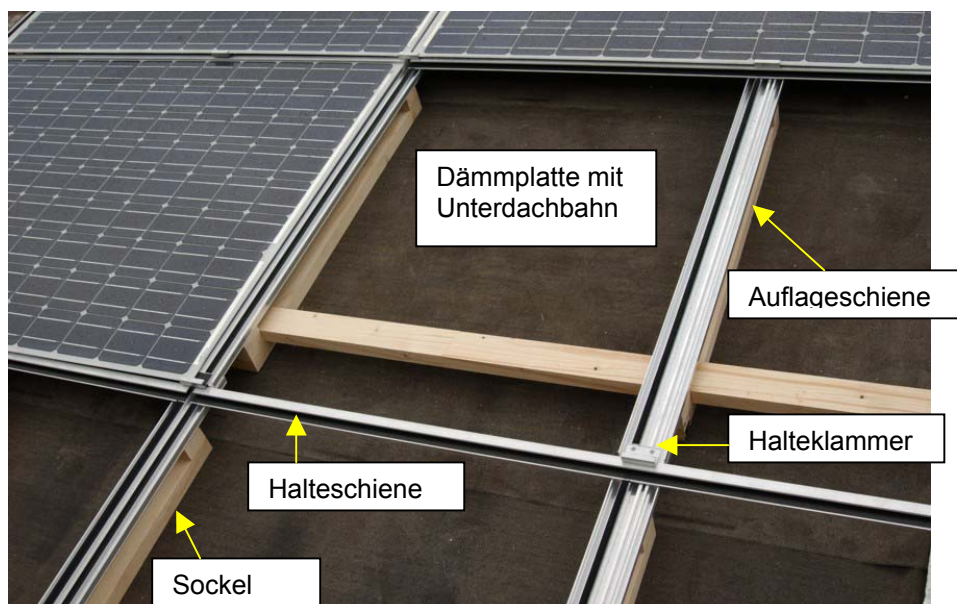


Abbildung 2: Komponenten des PV-Alpur-Daches

Neben der Entwicklungsarbeit für das „PV-Alpur-Dach“ galt es das neue Dachkonzept auch bezüglich der genannten Dachfunktionen (vor allem der ersten drei) genauer zu untersuchen.

Bei der Firma Alporit AG wurde ein PV-Alpur-Dach für Versuchszwecke eingerichtet. Im firmeneigenen Labor wurden Materialtests zur Prüfung der Druckfestigkeit des Dämmelementes und der gewünschten Klebverbindung für die Befestigungssockel durchgeführt.

Zudem erfolgte eine unabhängige Überprüfung der Eigenschaften des PV-Alpur-Daches an der Hochschule für Technik und Architektur Luzern.

Es war geplant, das neue Dachsystem in einer Pilotanlage zu realisieren und in bauphysikalischer Hinsicht zu überwachen. Mittels der begleitenden Datenerfassung sollte auch der Solarstromertrag beurteilt werden.

3. Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

Im Rahmen eines Vorprojektes wurden 2001 erste Prototypen des PV-Alpur-Dachsystems erstellt und bei der Alporit AG auf einem Versuchsdach montiert.

Aufbauend auf den Erfahrungen aus der Fertigung und der Montage der ersten Prototypen wurden 2002 die einzelnen Befestigungselemente überprüft. Folgende Punkte des neuen Dachsystems wurden bearbeitet:

- Druckfestigkeit der Dämmelemente hinsichtlich der Schneelast, die über die Sockel auf die Dämmplatte drücken könnte
- Verbindung zwischen Dämmplatte, Unterdachbahn und Sockel
- Montagefreundlichkeit der Auflageschiene
- Fixierungsart der rahmenlosen Solarmodulen in den Halteschienen und – klammern
- Randabschlüsse: Die Übergänge zwischen Solarzellenfeld und der übrigen Bedachung (vor allem zum Ziegeldach)

Bei der Alporit AG wurden Materialtests durchgeführt, um die Druckfestigkeit der Alpurdämmplatte bezüglich der vorgesehenen möglichen Krafteinwirkung über die Sockel zu ermitteln. Auch die Klebverbindungen zwischen Dämmplatte und Sockel wurden in Abreisstests untersucht.

Die Bearbeitung des Dachsystems in den erwähnten Punkten führte zu Änderungen der einzelnen Befestigungsteile. Im Juli 2002 konnten mit überarbeiteten Befestigungsteilen weitere Prototypen erstellt und auf dem Versuchsdach montiert werden.



Abbildung 3: Versuchsdach bei der Alporit AG

Die Dämmplatten mit den vormontierten Befestigungsteilen liessen sich gut montieren. Auch die Solarmodule waren schnell eingesetzt. Aufgrund dieser Ergebnisse konnte nun an der HTA Luzern die Überprüfung des Dachkonzeptes durch eine neutrale Stelle vorgenommen werden.

3.1. Untersuchungen an der HTA Luzern zur Regensicherheit

Die Überprüfung sah vor, die Regensicherheit des neuen Photovoltaik-Alpur-Daches aufzuzeigen. Doch dies erwies sich als nicht ganz einfach, denn die schweizerischen Normen sind diesbezüglich nicht sehr präzise. An der Hochschule für Technik und Architektur und am Prüf- und Forschungsinstitut Sursee wurden deshalb die Möglichkeiten einer sinnvollen und aussagekräftigen Prüfung der Regensicherheit auch unter Berücksichtigung des europäischen Normenwesens evaluiert.

In Anlehnung an den Entwurf der europäischen Norm pr EN 089030.2, welche die Ermittlung des Widerstandes von Dächern und Wänden gegen Treibregen festlegt, wurde eine Testeinrichtung geplant und im Sommer 2003 auch realisiert.

Prüfraum Regensicherheit

Der Versuchsraum zur Prüfung der Regensicherheit wurde im Prüf- und Forschungsinstitut in Sursee aufgebaut.

Er ermöglicht das Einbringen eines definierten Windes (mittels Gebläse) und einer einstellbaren Regenwassermenge auf einen Versuchsaufbau.

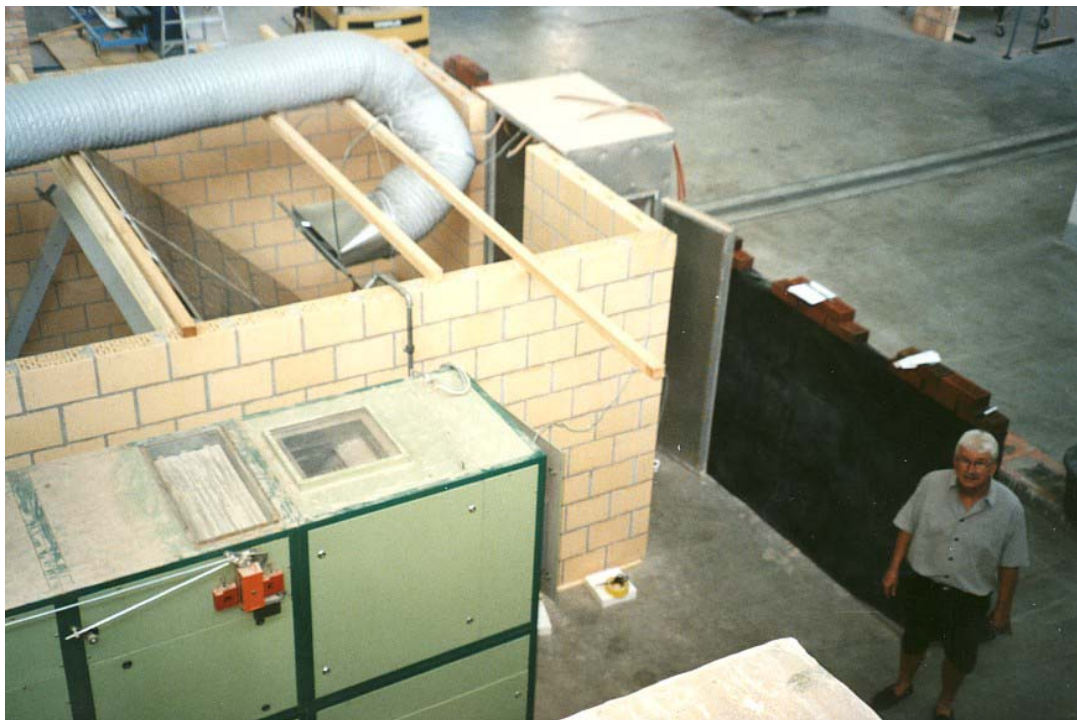


Abbildung 4: Prüfraum für die Regensicherheit

Messprogramm

In Anlehnung an den Entwurf der europäischen Norm pr EN 089030.2 wurde für die Regensicherheits-tests im Prüfraum ein Messprogramm erarbeitet und festgelegt.

Es ergaben sich, auch unter Berücksichtigung der technischen Möglichkeiten, folgende Messbedingungen:

Tabelle 1: Versuchsparameter

Sub – Test	Test	Dachneigung α ca. Grad	Windgeschwindigkeit v_r m/s	Wassermenge R'_{test} l/m ² *min	Versuchs Wassermenge l/min pro 0.4 m ²	Anzahl Messflächen
A	1	45	5	3.5	1.4	3
	2	30	5	3.7	1.4	3
	3	10 - 15	5	3.6	1.4	3
B	4	45	10	3.4	1.4	3
	5	30	10	3.2	1.2	3
	6	10 - 15	10	2.8	1.2	3
D	7	45	0	3.5	1.4	3
	8	30	0	4.3	1.8	3
	9	10 - 15	0	3.5	1.4	3

Versuchsdauer: 2 Stunden

Die geprüfte Dachfläche ist messtechnisch begrenzt auf 40cm x 100cm. Um möglichst eine allgemeingültige Aussage der Regensicherheit des ganzen PV-Alpur-Daches machen zu können und mögliche Problemstellen zu erkennen, wurden beim PV-Alpur-Dach drei Messflächen gewählt (vgl. Abbildung 5):

Messfläche 1: Horizontale Fuge

Messfläche 2: Vertikale Fuge

Messfläche 3: Verbindungsstelle horizontale und vertikale Fuge

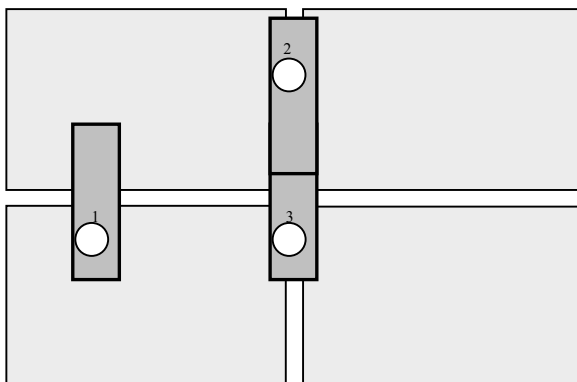


Abbildung 5: Schematische Darstellung der Messflächen

Messresultate

Die Konstruktion des PV-Alpur-Daches sah im Überlappungsbereich der Solarmodule bewusst einen Luftspalt vor, damit die Module besser hinterlüftet werden. In einem ersten Schritt wurde nun der Überlappungsbereich mit dem Luftspalt bewittert. Es zeigte sich, dass das System mit Luftspalt eine ungenügende Sicherheit gegenüber Wassereintritten aufweist.

In der Folge wurde auf den Halteschienen oben im Überlappungsbereich Dichtungsbänder aus geschäumtem CR eingesetzt. Dies führte zu starken Verbesserungen der Regensicherheit. In insgesamt 27 zweistündigen Messungen wurden Bereiche des Daches bei verschiedenen Neigungen und Windgeschwindigkeiten bewittert (vgl. Messprogramm). Im Überlappungsbereich waren dank der angebrachten Dichtungsbänder keine weiteren Wassereintritte zu verzeichnen.

Bei flachen Neigungswinkeln kam es hingegen zu Wassereintritten beim Übergang der wasserführenden Auflageschienen. Die eintretende Wassermenge war relativ gering, dennoch empfiehlt sich den Überlappungsbereich der Schienen etwas zu vergrössern oder eine Dichtung im Überlappungsbereich der Schienen einzusetzen.



Abbildung 6: Blick auf die Messfläche während eines Tests

3.2. Untersuchungen an der HTA Luzern zur Festigkeit

Im Steildach müssen die einwirkenden Kräfte (Eigengewicht, Schneelast, Windlast) sicher auf das Tragwerk abgeleitet werden. Das Projekt sah deshalb vor, die erforderliche Stabilität des neuen Dachaufbaus zu überprüfen, um die wirkenden Kräfte sicher und schadenfrei abzuleiten.

In Anlehnung an die Norm SIA 160 resp. 261 wurden diverse Konstruktionsdetails des Photovoltaik-Alpur-Daches untersucht.

Halterung des rahmenlosen Solarmodules:

Mit dem „Platten“-Berechnungsprogramm Cedrus 4 wurden die örtliche Durchbiegung und die Spannungen bei Aufbringen einer Schneelast auf ein Solarmodul berechnet, welches mit den vorgesehenen Befestigungselementen fixiert wird.

Wie die Berechnungen zeigten, lassen die Auflage- und Halteschienen und die Halteklammern sehr grosse Schneebelastungen zu, ohne das Solarmodul zu beschädigen.

Belastungstests der Halteklammern:

Die Verformung der Halteklammern bei Krafteinwirkung (Zugkraft) wurde messtechnisch ermittelt. Die Klammern wurden mit einer Zugkraft von über 1 kN belastet (vgl. Abb. 7). Bei 1.05 kN ergab sich eine mittlere Verformung von 1.23 mm. Nach Entlastung geht die Verformung wieder auf 0.3mm zurück. Dies bedeutet, dass die Klammern durchaus den Anforderungen standhalten.



Abbildung 7: Messung der Durchbiegung der Modulhalteklammer bei unterschiedlicher Belastung

Belastungstest der Klickverbindung der Auflageschienen

Die Auflageschiene klickt im Überlappungsbereich in die darunter liegende Auflageschiene. Auch die Verbindung zum Holzsockel wird durch Einklicken der Auflageschienen in Schienenstücke realisiert. Diese Verbindung wurde messtechnisch gemäss Abbildung 8 untersucht.

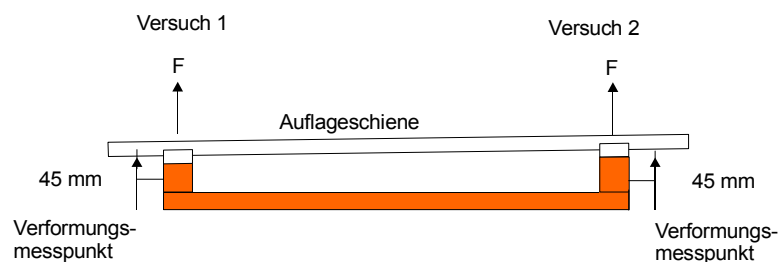


Abbildung 8: Holzsockel mit darauf fixierter Auflageschiene

Die Zugkraft F wurde in 2 Versuchen bis auf 1.8 kN erhöht, was zu einer Verformung an den Messpunkten von 3.4 resp. 3.6mm führte. Diese Messresultate unterstrichen die gute Qualität der Klickverbindung. Es zeigte sich, dass die Tragsicherheit der Klickverbindung somit unter Windsog (gem. SIA 160 Ziffer 4.06) gewährleistet ist.

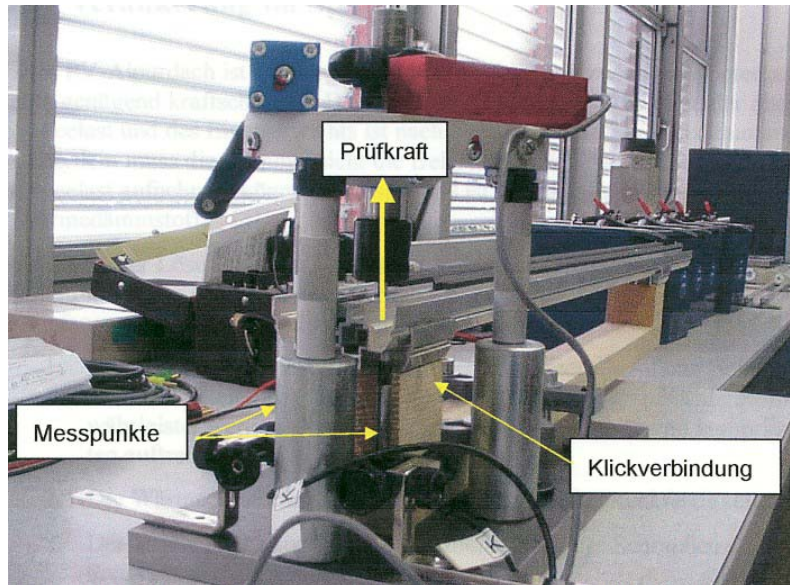


Abbildung 9: Versuchseinrichtung zur Prüfung der Klickverbindung

Verankerung in den Sparren

Die auf das PV-Alpur-Dach einwirkende Kräfte (Druck und Sog durch Wind und Schnee) müssen via Holzsockel und Dämmplatte durch Schraubverbindungen in die Sparren geleitet werden. Dazu werden auf dem Dach Dachlatten zwischen den Holzsockeln und Auflageschienen eingefügt. Diese horizontal verlaufenden Latten werden bei allen Sparren per Schraubverbindung verankert. Die Untersuchungen ergaben, dass die Lattendicke mindestens 6cm betragen muss.

Zur Erreichung der erforderlichen Kräfteübertragung zeigte sich ein Lösungsansatz gemäss demjenigen des Flumserdaches der Firma Flumroc als am besten geeignet. Hierbei werden die Druck- und Sogkräfte durch doppelgewindige geneigte Schrauben aufgefangen.

Untersuchungen zum Brandschutz

Um das PV-Alpur-Dach bezüglich Brandschutz zu beurteilen, wurde die Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen (VKF) konsultiert. Diese erhielt ausführliche Unterlagen zu Händen ihrer Fachkommission Bautechnik (FBT). Das neue Dachkonzept wurde in 2 Sitzungen von der FBT besprochen. In ihrer Mitteilung wird entsprechend den Brandschutzrichtlinien der VKF darauf hingewiesen, dass die oberste Schicht eines Steildaches aus homogenem, nicht brennbarem Material sein muss. Die darunterliegenden Materialschichten, sowie die verwendeten Materialschichten im Fugenbereich müssen im Minimum Brandkennziffer 4.1 haben. Die Überprüfung der Materialien beim PV-Alpur-Dach ergab, dass diese Bedingungen der VKF eingehalten werden können.

4. Nationale / internationale Zusammenarbeit

Während in der ersten Phase bis und mit Erstellung der Prototypen vor allem die Zusammenarbeit von der Firma Alporit AG mit dem Büro ZAGSOLAR wichtig war, erfolgte die anschliessende Prüfphase in Zusammenarbeit mit der Hochschule für Technik und Architektur Luzern und dem Prüf- und Forschungsinstitut Sursee. Den involvierten Personen der HTA und des Prüf- und Forschungsinstituts möchte ich für die gute Zusammenarbeit vielmals danken.

5. Schlussfolgerungen

Die Entwicklungsarbeiten mit der Überprüfung des neuen Dachaufbaus erwiesen sich als aufwendiger als ursprünglich angenommen. In mehreren Stufen konnte im Rahmen des Projektes aber ein Dachsystem entwickelt werden, dass durch die vereinfachte Montage eine kostengünstige Dachintegration von Solarmodulen ermöglicht.

Das Photovoltaik-Alpur-Dach wurde am Prüf- und Forschungsinstitut Sursee in umfangreichen Bewitterungstests überprüft und zeigte gute Resultate.

Die Überprüfung der Stabilität an der Hochschule für Technik und Architektur Luzern ergab für die verwendeten Befestigungselemente hinsichtlich der Norm SIA 160 eine genügende Festigkeit. Bezüglich der Verankerung der Alpur-Dach-Elemente in den Sparren konnte eine Befestigungsart aufgezeigt werden, welche die erforderliche Kräfteübertragung ermöglicht.

Damit steht nun ein Dachsystem für die Integration von rahmenlosen Solarmodulen zur Verfügung. Die Regensicherheit und die Stabilität wurde von einer neutralen Prüfstelle getestet und beurteilt und kann aufgrund der Resultate als gut bezeichnet werden.

Als nächster Schritt war geplant, das neue PV-Alpur-Dach mit den dazugehörigen Befestigungskomponenten als Pilotanlage zu realisieren, messtechnisch auszuwerten und auf dem Markt zu lancieren. Aufgrund von firmenstrategischen Überlegungen der Swisspor Gruppe, zu der die Firma Alporit gehört, hat die Geschäftsleitung beschlossen, dieses Projekt nicht mehr weiterzuverfolgen. Damit ist die Umsetzung der gewonnenen Resultate in der geplanten Form nicht gegeben. Es ist zu erwarten, dass in Zukunft PV Systeme ähnlicher Art zumindest teilweise von den gewonnenen Erkenntnissen profitieren können.