



© FACHHOCHSCHULE LUZERN

Erscheinungsbild der Villa mit der charakteristischen altrosafarbenen Fassade und dem Carport links mit dem Terracotta-Photovoltaikdach.

Lucerne University of Applied Sciences and Arts

**HOCHSCHULE LUZERN**

Technik & Architektur

Die Photovoltaikdachseite mit den sichtbaren Haltehaken, die auch zur Befestigung der Faserzementplatten im Randbereich benutzt wurden.



© FACHHOCHSCHULE LUZERN

© FACHHOCHSCHULE LUZERN

## VERGLEICHENDE ÖKOBILANZIERUNG PHOTOVOLTAIK

Die Hochschule Luzern entwickelt Lösungen zur besseren Integration von Photovoltaik in Gebäuden. Neben farbigen PV-Modulen werden auch Ausführungsvarianten zur Gebäudeintegration entworfen und gebaut. Bei deren Vergleich werden zunehmend auch Ökobilanzierungen als Entscheidungsgrundlage eingesetzt. Ein konkretes Anwendungsbeispiel wird hier beschrieben.

### Situation

Für das Unternehmen ÜserHuus AG wurde 2016 eine Indach-PV-Anlage als Ersatz für ein bestehendes Ziegeldach eines Carports entwickelt und in Betrieb genommen. Die Anlage liegt im Bereich einer schützenswerten Villa in direkter Lage am Vierwaldstättersee und muss daher architektonisch und visuell in das Erscheinungsbild der Gesamtanlage passen. Dieses ist geprägt durch die altrosa und graue Farbe des Fassadenputzes, die weissen Sprossenfenster und hellgrauen Klappläden aus Holz sowie die kleinteiligen Tondachziegel.

Es war von vornherein klar, dass eine Standard-PV-Anlage mit dunklen und glänzenden PV-Modulen nicht passen würde. Zusammen mit der Hochschule Luzern wurde ein Konzept entwickelt, in dem eine neue Generation von terrakottafarbenen PV-Modulen zum Einsatz

kommen sollten, an deren Entwicklung ÜserHuus und das CSEM in Neuenburg beteiligt waren. In Rücksprache mit der Fachstelle für Denkmalpflege sollten neben der Farbe auch weitere Merkmale erhalten bleiben, z. B. die Optik der geschuppten Verlegung, die Hinterlüftungsfunktion und die Randabschlüsse an First, Ortgang und Traufe. Als Besonderheit sollten die Dachseiten mit unterschiedlichen Montagesystemen erstellt werden, um allfällige architektonische Konsequenzen vergleichen zu können. Die architektonische Planung der Hochschule Luzern wurde dann von BE Netz konstruktiv umgesetzt.

### Architektonische Wirkung zweier Montagesysteme

Montagesysteme für PV-Fassaden und Dächer müssen neben konstruktiven auch architektonische Anforderungen

erfüllen. Immer mehr werden Systeme nachgefragt, die schmalste Fugen ermöglichen und die Unterkonstruktion vollständig verdecken, damit diese konstruktiven Elemente das übergeordnete architektonische Erscheinungsbild nicht stören. Um die Auswirkung der Sichtbarkeit konstruktiver Elemente auf das architektonische Erscheinungsbild beurteilen zu können, entschied man sich in diesem Projekt dafür, zwei verschiedene Systeme zu verwenden, damit ein direkter Vergleich ermöglicht wird. Für die westliche Dachseite wurde ein System aus Schweizer Herstellung verwendet, welches hierzulande bei Indach-PV-Systemen sehr verbreitet ist. Auf der östlichen Dachseite wurde ein System aus Nordirland verwendet, das für Dach und Fassaden zugelassen ist und jede Art von Panels integrieren kann. Beide Systeme ermöglichen die geforderte geschuppte Verle-



Die Photovoltaikdachseite mit der unsichtbaren Befestigung. Auf jeder Dachseite wurden die gleichen PV-Module und Faserzementplatten verwendet.



© FACHHOCHSCHULE LUZERN

Die rückseitig aufgeklebten, keilförmigen Aluminiumrahmen mit den Langlöchern an den Seiten zur Aufnahme der bauseits angebrachten Haltehaken

gung und Hinterlüftung. Architektonisch unterscheiden sie sich aber in einem kleinen, entscheidenden Detail, nämlich in der Sichtbarkeit von Haltehaken. Das Schweizer System hat sichtbare Haken, das nordirische System bedient sich sogenannter Backrails, mit denen die Haltehaken hinter dem PV-Modul versteckt werden können. Die Systeme werden im Weiteren als Haken- und Backrailsystem bezeichnet.

### Ökobilanzierung zur Ausweisung der Umweltauswirkungen

Generell werden in einer Ökobilanz die Umweltauswirkungen von Produkten über den ganzen Lebenszyklus betrachtet. Das schliesst die Gewinnung der Rohmaterialien und der Energie, die Herstellung der Materialien und des Produkts, die Nutzungsphase und die Entsorgung bzw. die Verwertung der Materialien ein. Die Durchführung besteht prinzipiell aus den folgenden vier Schritten:

1. Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens
2. Sachbilanz
3. Wirkungsabschätzung
4. Auswertung und Interpretation

Es gibt verschiedene Tools zum Erstellen von Ökobilanzen, die allesamt recht komplex sind und Expertenwissen voraussetzen. Für einen schnellen Vergleich gebäudeintegrierter Photovoltaiksysteme sind sie zu umfangreich und zugleich ist

ihre Datengrundlage in diesem Spezialbereich oft nicht aktuell. Daher sollte ein schlankes und massgeschneidertes Tool für solche Vergleiche entwickelt werden. In einer Zusammenarbeit der Hochschule Luzern und der Fachhochschule Nordwestschweiz, Hochschule für Life Sciences, entstand ein Excel-basierter Prototyp, der für dieses Projekt zur Anwendung kam.

### Festlegung des Ziels und der Systemgrenze

Es galt, die beiden Montagesysteme miteinander zu vergleichen.

- Die architektonische Wirkung der beiden Montagesysteme ist offensichtlich, aber welche der dazu notwendigen Konstruktion ist umweltfreundlicher?
- Wie wirkt sich der Mehraufwand der angeklebten Alurahmen aus?
- Welchem System würde man auf Basis einer Ökobilanz den Vorzug geben?
- Und wie viel Aufwand steckt in der Erstellung von Ökobilanzen?

Als Erstes wird die funktionelle Einheit festgelegt, auf die sich die Umweltbelastungen beziehen. PV-Systeme werden meist mit dem pro Kilowattstunde erzeugten Strom verglichen, in diesem Fall über einen Zeitraum von 25 Jahren. Da die Ökobilanz nur die beiden Montagesysteme miteinander vergleichen sollte, ist es wichtig, die Systemgrenze

eindeutig zu definieren. In diesem Fall sind es alle Elemente oberhalb der Dachschalung, aber nur in dem Bereich, in dem sich die Dachseiten unterscheiden. Elemente, die beide Systeme gemeinsam haben, wie die umlaufende Einfassung der PV-Module durch die Faserzementplatten, wurden weggelassen.

### Untersuchungsrahmen

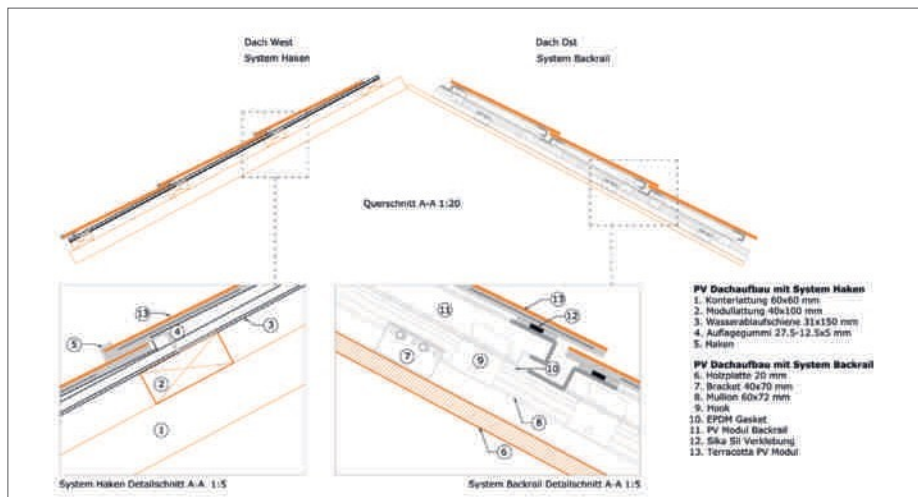
Die wichtigsten Elemente innerhalb der Systemgrenze werden im Folgenden beschrieben und sind in den nachfolgenden Bildern zeichnerisch dokumentiert. Beim Hakensystem sorgt die Halteklammer für die Überlappung der PV-Module, sie fixiert die Oberkante des unteren PV-Moduls und dient gleichzeitig als Auflager für das überlappende obere PV-Modul. Damit allfällige Windsoge die PV-Module nicht abdecken, umschliessen die Auflager die Unterkante des PV-Moduls mit einer kleinen, sichtbaren Nase. Die Haken werden auf einfache Modul-Lattungen aus Holz geschraubt. Darunter liegt die Konterlattung, die für die notwendige Durchlüftung von Traufe zu First sorgt. Regenwasser, welches in die vertikalen Fugen zwischen den PV-Modulen gerät, wird von einer darunter befindlichen Wasserablauftrinne aufgefangen und nach unten in die Regenrinne abgeleitet. In dieser Wasserablauftrinne sitzen auch Gummidichtungen, die den keilförmigen Zwischenraum unterhalb des PV-Moduls schliessen und so als Auflager



ger und Barriere gegen seitliches Regenwasser dienen. Die Anpassung und Montage dieses Systems ab Dachschalung ist dank Montagelehren relativ schnell und betrug hier ca. einen Personentag für die 15 PV-Module einer Dachseite (ca. 11 m<sup>2</sup>). Beim Backrailsystem werden Aluminiumrahmen rückseitig auf die PV-Module geklebt. Diese Verklebung ist ein Standardprozess, den fast jeder Metallbauer anbieten kann, der aber in der Fabrik unter kontrollierten Bedingungen erfolgen muss. Die Backrails haben Langlöcher, die zu den bauseits angebrachten Haken passen. Sie haben aber auch die keilförmige und versetzte Geometrie für die Überlappung. Die Haken sind entlang vertikaler Pfosten (Mullions) fixiert. Die Mullions sind mittels Konsolen (Brackets) an der Dachschalung befestigt und ermöglichen die Hinterlüftung sowie den Wasserablauf bzw. die Abdichtung vor seitlichem Wassereinfall. Der Dachaufbau ist etwas höher als beim Hakensystem, allerdings ist die Anzahl der Einzelelemente, mit der vor Ort hantiert werden muss, etwas geringer. Rechnet man die Verklebung in der Fabrik mit in die Montagezeit ein, fällt sie deutlich länger aus als beim Hakensystem.

**Sachbilanzierung**

Der zweite Schritt ist die Erstellung der Sachbilanzen für beide Systeme. Die Stoff-, Energieflüsse, Emissionen und Abfälle über den gesamten Lebensweg der verwendeten PV-Dachelemente bilden die Grundlage. Hier gilt es die Material- und Prozesseigenschaften zu finden und zuzuordnen. Die umfassende Datenbank von Ecoinvent ([www.ecoinvent.org](http://www.ecoinvent.org)) enthält für viele Materialien und Prozesse grundlegende Sachbilanzdaten wie z. B. Luft- und Wasseremissionen aus der Herstellung von Aluminium oder die Materialzusammensetzung von PV-Modulen. Diese sind jedoch spezifisch für jedes Projekt anzupassen. Das ist meist aufwendiger als gedacht, denn die Datenblätter der Bauelemente informieren nur zu einem geringen Teil über Herstellungsverfahren und Ursprungsorte der verwendeten Einzelmaterialien, und so kommt man nicht umhin bei Schlüsselkomponenten die Hersteller zu befragen.



Querschnitte und Details der verschiedenen PV-Dachflächen

Bei den massgefertigten terrakotta-farbenen PV-Modulen stellte sich dabei heraus, dass der Glasanteil deutlich höher ist als die Sachbilanzdaten der PV-Module in der Datenbank. Parallel dazu wurden die Mengen aller PV-Dachelemente aus den Plänen ermittelt und in die spezifischen Einheiten wie kg, m<sup>2</sup>, m<sup>3</sup>, tkm (für den Transport) der Sachbilanzdaten umgerechnet. Mit deren Hilfe und den Angaben des Herstellers lassen sich nun die Sachbilanzen der Komponenten, Materialien und Prozesse der PV-Anlage modellieren und wie unten beschrieben die Wirkbilanz berechnen.

**Umweltindikatoren und Wirkbilanzierung**

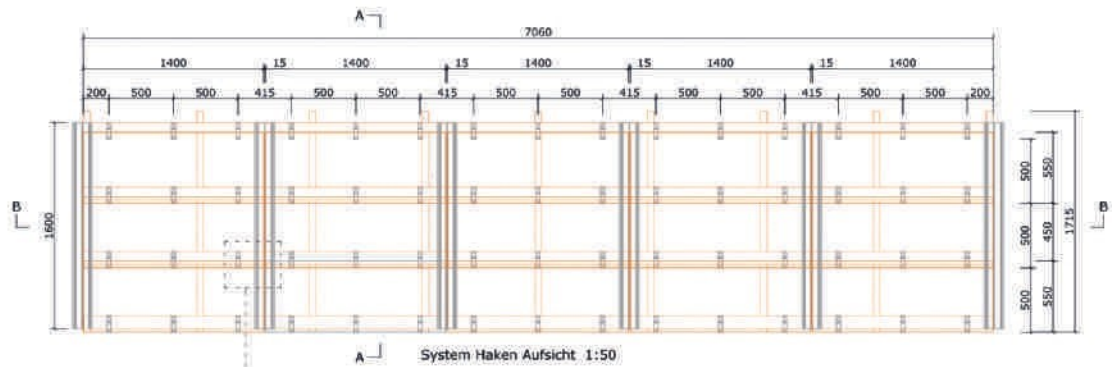
Basierend auf der Sachbilanz wird die Wirkbilanz für das System berechnet. Im Tool wurden die Umweltauswirkungen aus den Sachbilanzen für normierte Mengen der wichtigsten Materialien und Prozesse bereits als Umweltindikatorwert hinterlegt. Das Produkt aus tatsächlicher Menge mit dem jeweiligen Indikatorwert ergibt die Wirkbilanz der einzelnen Komponenten, Materialien und Prozesse. Die Wirkbilanz des PV-Systems berechnet sich dann aus der Summe der Komponenten, Materialien und Prozesse des PV-Systems. Die Tabelle auf Seite 36 fasst diese numerischen Ergebnisse zusammen.

Die Berechnung der verschiedenen Umweltindikatoren folgt den Empfehlungen zum nachhaltigen Bauen, verfasst von der Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der

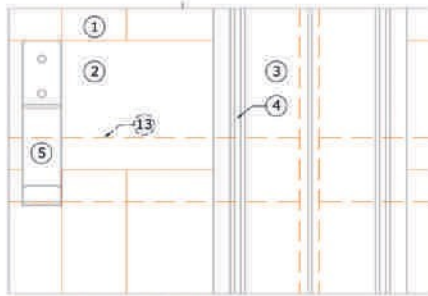
öffentlichen Bauherren (KBOB). Sie sind so gestaltet, dass sie eine ganzheitliche und vergleichende Bilanzierung von Gebäuden auf Grundlage des SIA ermöglichen. Zu den Indikatoren gehören der kumulierte Primärenergieaufwand in MJ-eq (Cumulative Energy Demand, CED), die Treibhausgasemissionen in kg CO<sub>2</sub>-eq (Global Warming Potential, GWP) und die ökologische Knappheit (Ecological Scarcity) in Umweltbelastungspunkten, UBP.

Der CED ist auch als graue Energie bekannt und ist eine Einschätzung, wie viel Primärenergie für die Gewinnung der Rohmaterialien, die Erzeugung von Endenergie (z. B. Strom), die Herstellung der Materialien und des Produkts sowie in der Nutzungsphase und für die Entsorgung bzw. die Verwertung der Materialien der PV-Anlage aufgewendet wird. Der CED einer produzierten Kilowattstunde PV-Strom berechnet sich dann aus dem CED über den Lebenszyklus, geteilt durch die in der Nutzungsphase produzierte Strommenge der PV-Anlage. Der CED beinhaltet gemäss Systemgrenze dieser Ökobilanz nur die Montagesysteme und die PV-Module und nicht alle Komponenten des PV-Systems. Der CED dient auch für die Berechnung der energetischen Rückzahlzeit (Energy Pay Back Time, EPBT) einer PV-Anlage bzw. der Komponenten in der Systemgrenze; je kürzer sie ausfällt, desto besser.

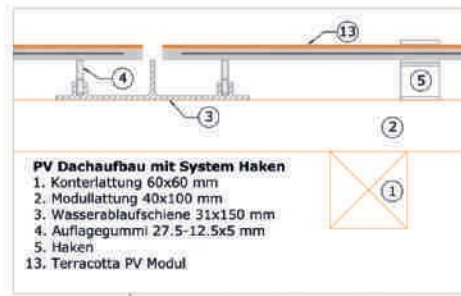
Die Treibhausgasemissionen (GWP) sagen aus, wie klimafreundlich eine Energietechnologie ist. Die Treibhausgasemissionen der Schweiz sollen ja bis



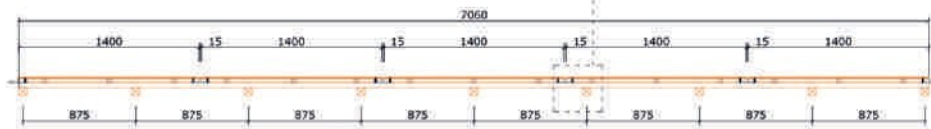
System Haken Aufsicht 1:50



System Haken Detailansicht 1:5



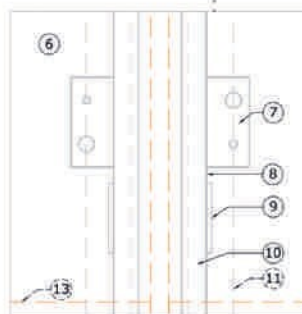
System Haken Detailschnitt B-B 1:5



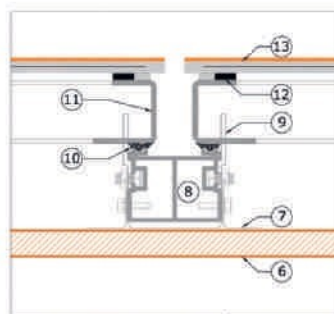
System Haken Horizontalschnitt B-B 1:50



System Backrail Aufsicht 1:50



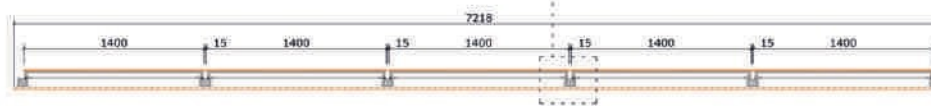
System Backrail Detailansicht 1:5



System Backrail Detailschnitt B-B 1:5

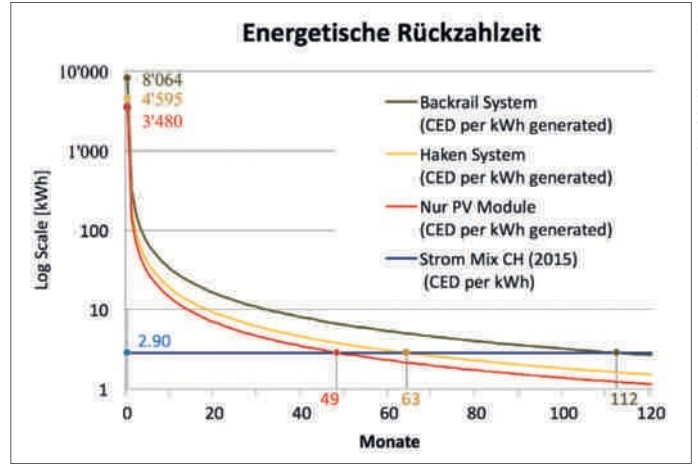
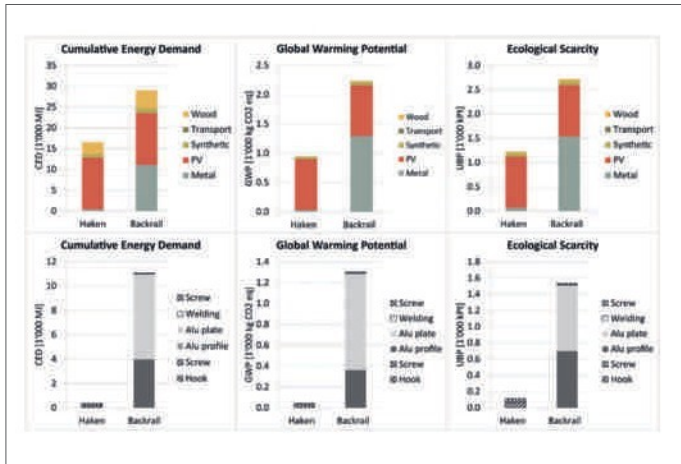
**PV Dachaufbau mit System Backrail**

6. Holzplatte 20mm
7. Bracket 40x70 mm
8. Mullion 60x72 mm
9. Hook
10. EPDM Gasket
11. PV Modul Backrail
12. Sika SII Verklebung
13. Terracotta PV Modul



System Backrail Horizontalschnitt B-B 1:50

Ansichten und Längsschnitte sowie Details der verschiedenen Dachflächen (gleiche Numerierung auch in der Tabelle auf Seite 36 unten)



Direktvergleich der beiden PV-Dächer. Die Diagramme in der oberen Reihe zeigen für alle drei Indikatoren, dass massgebliche Anteile der Umweltauswirkungen von den Metallen der Montagesysteme stammen. Die Kleber und Gummis (Synthetic) haben einen geringen Anteil. Die Diagramme in der unteren Reihe zeigen die Anteile innerhalb der Gruppe Metall. Hier wird deutlich, dass das Aluminium der Backrails, Mullions und Brackets dominiert.

Energierrückzahlzeit der PV Module und Montagesysteme im Schweizer Strommix. Die PV-Module amortisieren sich im Strommix 2015 nach ca. 4 Jahren, die Anlage mit dem Hakensystem nach ca. 5½ Jahren und diejenige mit dem Backrailssystem nach ca. 10 Jahren.

PV Dächer			Sachbilanzierung pro Einheitsgrösse					Wirkbilanzierung		
Elemente	Menge	Einheit	Unit Process Name	Material	CED [MJ]	GWP [kg CO <sub>2</sub> eq]	UBP [kPt]	CED [MJ]	GWP [kg CO <sub>2</sub> eq]	UBP [kPt]
13. Terracotta PV Modul	11.550	[m <sup>2</sup> ]	PV a-si laminate, NEX POWER	PV	1'084.91	75.25	91.92	12'530.75	869.14	1'061.63
3. Wasserablaufschiene	6.384	[kg]	Glass fibre reinforced plastic, polyester resin, hand lay-up [GLO]	Synthetic	74.98	4.36	7.42	478.66	27.85	47.38
Schrauben (Haken)	2.160	[kg]		Screw	66.16	4.55	14.39	142.91	9.82	31.08
5. Hooks	6.000	[kg]		Hook	26.45	2.73	4.11	158.68	16.35	24.67
2. Modullattung	0.113	[m <sup>3</sup> ]	Sawnwood, board, softwood, kiln dried, planed [CH] planing	Wood	17'213.52	63.60	211.24	1'944.44	7.18	23.86
4. Auflagegummi	2.880	[kg]	Synthetic rubber [GLO] incl. transportation	Synthetic	94.36	3.10	4.35	271.75	8.93	12.52
Schrauben (Wasserablaufschiene)	0.864	[kg]		Screw	66.16	4.55	14.39	57.17	3.93	12.43
1. Konterlattung	0.056	[m <sup>3</sup> ]	Sawnwood, board, softwood, kiln dried, planed [CH] planing	Wood	17'213.52	63.60	211.24	956.49	3.53	11.74
See Fracht (Taiwan - CH, PV)	5.273	[tkm]	Transport, freight, sea, transoceanic ship [GLO]	Transport	0.18	0.01	0.02	0.95	0.06	0.10
Transport in CH	0.038	[tkm]	Transport, freight, light commercial vehicle [GLO]	Transport	31.31	1.96	2.33	1.19	0.07	0.09
<b>System Haken</b>								<b>16'542.99</b>	<b>946.89</b>	<b>1'225.50</b>
13. Terracotta PV Modul	11.550	[m <sup>2</sup> ]	PV a-si laminate, NEX POWER	PV	1'084.91	75.25	91.92	12'530.75	869.14	1'061.63
8. Mullion	20.808	[kg]	Aluminium profile	Metal	177.41	16.06	31.15	3'691.55	334.19	648.09
11. Backrail Oben	19.309	[kg]	Aluminium plate	Metal	136.86	18.08	15.97	2'642.67	349.17	308.30
11. Backrail Unten	18.310	[kg]	Aluminium plate	Metal	136.86	18.08	15.97	2'505.98	331.11	292.36
11. Backrail Seite	11.664	[kg]	Aluminium plate	Metal	136.86	18.08	15.97	1'596.38	210.92	186.24
6. Holzplatte	0.250	[m <sup>3</sup> ]	Sawnwood, board, softwood, kiln dried, planed [CH] planing	Wood	17'213.52	63.60	211.24	4'311.38	15.93	52.91
7. Bracket	1.602	[kg]	Aluminium profile	Metal	177.41	16.06	31.15	284.22	25.73	49.90
Sikasil WS-605 S Abdichtung	8.636	[kg]	Silicone product [GLO] incl. Transportation	Synthetic	57.12	3.12	3.80	493.29	26.96	32.81
12. Sikasil SG-20 Verklebung	7.941	[kg]	Silicone product [GLO] incl. Transportation	Synthetic	57.12	3.12	3.80	453.56	24.79	30.17
9. Hooks	1.848	[kg]	Aluminium plate	Metal	136.86	18.08	15.97	252.92	33.42	29.51
Schrauben (Haken - Mullion)	0.600	[kg]		Screw	66.16	4.55	14.39	39.70	2.73	8.63
Schrauben (Bracket - Holzplatte)	0.360	[kg]		Screw	66.16	4.55	14.39	23.82	1.64	5.18
10. EPDM Gasket	0.907	[kg]	Synthetic rubber [GLO] incl. transportation	Synthetic	94.36	3.10	4.35	85.61	2.81	3.94
Schrauben (Bracket - Mullion)	0.216	[kg]		Screw	66.16	4.55	14.39	14.29	0.98	3.11
Schweissnaht (Aluminium)	3.000	[m]	Welding, arc, aluminium [GLO]	Metal	4.10	0.35	0.88	12.30	1.04	2.64
Primer Sika Aktivator-205	0.629	[tkm]	Propanal [GLO] incl. Transportation	Synthetic	91.63	3.74	3.76	42.33	1.73	1.73
Sika Cleaner P	0.462	[kg]	Isopropanol [GLO] incl. Transportation	Synthetic	60.99	1.83	2.64	28.18	0.85	1.22
Vorlegeband Schaumstoff	0.174	[kg]	Laymasking Tape	Synthetic	89.79	3.85	3.92	15.61	0.67	0.68
LKW (Belfast - Basel, PV+RF50)	0.629	[tkm]	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6 [GLO]	Transport	2.72	0.17	0.19	1.71	0.11	0.12
See Fracht (Taiwan - CH, PV)	5.273	[tkm]	Transport, freight, sea, transoceanic ship [GLO]	Transport	0.18	0.01	0.02	0.95	0.06	0.10
LKW (Basel - Belfast, PV)	0.472	[tkm]	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6 [GLO]	Transport	2.72	0.17	0.19	1.28	0.08	0.09
Transport in CH	0.037	[tkm]	Transport, freight, light commercial vehicle [GLO]	Transport	31.31	1.96	2.33	1.16	0.07	0.09
<b>System Backrail</b>								<b>29'029.64</b>	<b>2'234.13</b>	<b>2'719.43</b>

Zusammenfassung der Sachbilanzen für jedes Element der beiden PV-Dachflächen. Die ersten Spalten enthalten die Mengensummen, die aus den Zeichnungen ermittelt wurden. Die nächsten Spalten zeigen für die zugeordneten und normierten Sachbilanzdaten die Umweltindikatoren kumulierter Primärenergieaufwand (CED), Treibhausgasemissionen (GWP) und Umweltbelastungspunkte (UBP), die entweder aus Ecoinvent stammen oder auf Basis der Herstellerangaben neu ermittelt wurden (kursiv). Die letzten Spalten enthalten die Wirkbilanzen für die Dachflächen mit den drei Indikatoren, dem Produkt der vorhergehenden Spalten, sortiert nach Anzahl der UBPs.



2030 im Vergleich zu 1990 um 50 Prozent reduziert werden, auch durch einen vermehrten Einsatz erneuerbarer Energien. Als Referenz bezieht man sich immer auf die Erwärmung durch CO<sub>2</sub>. 1 kg Methan aus der Landwirtschaft entspricht zum Beispiel einem Wert von 28 kg CO<sub>2</sub> eq, das heisst, über einen Zeitraum von 100 Jahren ist der Effekt einer Menge Methan 28-mal so gross wie derjenige der gleichen Menge Kohlenstoffoxid. Das GWP einer Kilowattstunde Strom berechnet sich aus dem GWP des Lebenszyklus, geteilt durch die produzierte Strommenge. Analog zu CED ist auch hier zu beachten, welche Komponenten der PV-Anlage innerhalb der Systemgrenze liegen.

Die Methode der ökologischen Knappheit berücksichtigt ein breites Spektrum von Umweltbelastungen wie z. B. Luft- und Gewässerbelastung, Klimawandel, Ressourcenverbrauch oder radioaktive Strahlung, gewichtet sie nach umweltpolitischen Gesichtspunkten der Schweiz und aggregiert diese in eine Kennzahl. So berücksichtigt die Methode auch potenzielle Schäden für Mensch und Umwelt aus Atomenergie, die bei einer reinen GWP-Betrachtung nicht berücksichtigt werden und zu verzerrten Schlussfolgerungen führen können. Prinzipiell gilt für alle Indikatoren, dass niedrigere Zahlen die Umwelt weniger belasten.

#### Auswertung und Interpretation

Auf Grundlage der numerischen Ergebnisse wurden Diagramme generiert, die selektiv die Umweltauswirkungen (CED, GWP und UBP) bestimmter Komponenten gegenüberstellen und so einen ökologischen Vergleich besser ermöglichen. Zuerst wurden die einzelnen Elemente in die Baustoffgruppen Photovoltaik, Metall, Holz, synthetische Baustoffe sowie Transport zusammengefasst. Bei der Gegenüberstellung der beiden PV-Systeme fallen zwei Dinge auf. Zum einen, dass das Montagesystem Backrail bei allen Indikatoren deutlich schlechter abschliesst bezüglich Umweltauswirkungen. Und zum anderen, dass die Gruppen PV und

Metall den weitaus grössten Anteil ausmachen und synthetische Baustoffe als auch Transport relativ unbedeutend sind, obwohl die PV-Module aus Taiwan geliefert wurden. Löst man die massgeblichen Gruppen in ihre Einzelelemente auf, wird deutlich, dass die Aluminiumrahmen den Unterschied ausmachen.

Vergleicht man den CED der PV-Module mit dem substituierten Schweizer Strommix (der CED einer kWh Schweizer Strommix entspricht 10,4 MJ eq bzw. 2,4 kWh eq Primärenergie) lässt sich eine EBPT von 49 Monaten abschätzen. Dies ist relativ lang, verglichen mit den 13 bis 40 Monaten für Standard-PV-Module in der Schweiz unter günstigen Einstrahlungsbedingungen. Im Gegensatz zum untersuchten Projekt erfüllen diese aber nicht die architektonischen Anforderungen. Deshalb werden Ertragseinbussen durch die eingefärbten Module, aber auch durch ungünstigere Einstrahlungsbedingungen in Kauf genommen. Die PV-Module zusammen mit dem Hakenmontagesystem amortisieren sich erst nach ungefähr fünf Jahren und die PV-Module mit dem Backrailsystem erst nach ungefähr zehn Jahren.

#### Fazit

Die lange energetische Rückzahlzeit des Backrailmontagesystems macht deutlich, dass bei architektonisch hochwertigen PV-Installationen, bei welchen Effizienz einbussen in Kauf genommen werden, die Materialwahl von grosser Bedeutung ist, um die ökologischen Vorteile des PV-Stroms nicht einzubüssen. Das GWP und die UBPs des produzierten Stroms der PV-Anlage sollten deutlich niedriger sein als diejenigen des Schweizer Strommix.

Mittels einer Ökobilanz können die Umweltauswirkungen von Produkten quantifiziert, verglichen und Variantenentscheide aus ökologischer Sicht untermauert werden.

Als Indikatoren haben sich international der kumulierte Primärenergieaufwand (Cumulative Energy Demand, CED), die Treibhausgasemissionen (Global

Warming Potential, GWP) und national die Methode der ökologischen Knappheit (Ecological Scarcity) mit Umweltbelastungspunkten (UBP) etabliert.

Die Erstellung einer genauen Ökobilanz ist allerdings zeitaufwendig. Zwar kann die Ermittlung der Stoffmengen aus CAD-Konstruktionen hochgradig automatisiert werden (ein Versprechen des Building Information Modeling, BIM),

## AUTOREN



Stephen Wittkopf ist Architekt und Co-Leiter des Kompetenzzentrums Gebäudehülle am Institut für Bauingenieurwesen der Hochschule Luzern, Departement Technik und Architektur. Neben der Leitung von Forschungsprojekten ist er für die UserHuus AG in Nidwalden für den Technologietransfer farbiger Photovoltaik zuständig.



Dirk Hengevoss ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Copreneurship, der Hochschule für Life Sciences der Fachhochschule Nordwestschweiz. Er beschäftigt sich mit umweltfreundlicher Produktion und hat langjährige Erfahrung mit der Ökobilanzierung von Photovoltaiktechnologien.

# AluFix® EVO - Die neue Absturzsicherung

Stützabstand bis 5m



AluFix® EVO wird in einer übersichtlich aufgeteilten Kassette geliefert

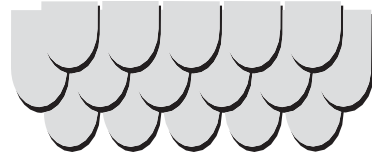
Schnelle und einfache Montage durch Click-in-System



Hauptsitz: 3506 Grosshöchstetten  
**Tel. 031 711 04 36**  
 Filiale Zürich 044 865 20 01  
 Filiale Lausanne 021 701 97 90  
 www.geda.ch · www.alcllic.ch

# ALFA

ELEMENTSCHINDELN AG



Tel. 041 838 03 25 6418 Rothenthurm www.alfaschindeln.ch  
 Fax 041 838 03 26 info@alfaschindeln.ch

## Saugen und Blasen von Trockenmaterialien

Ab Flachdach und Baustelle bis 100 m horizontale und 60 m vertikale Schlauchdistanz

Saugen von Kies, Sand, Humus, Substrate, Schlacke, Kohle, Asche, Staub, Holzschnitzen, Pellet etc.  
 Blasen von Extensivsubstraten, Kies etc.



## GERBER

Ernst Gerber AG  
 Mumenthalstrasse 5 Tel. 062 916 40 80 info@gerber-ag.ch  
 4914 Roggwil Fax 062 916 40 89 www.gerber-ag.ch

## batterX home series

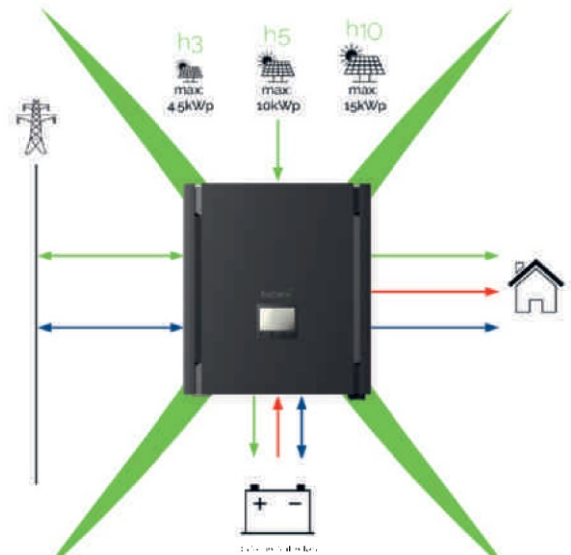
NETZUNABHÄNGIGE USV-ENERGIESPEICHER



Vorge stellt an der Intersolar 2017 in München.  
 In der Businessversion von 10kVA bis 650 kVA.



## FUNKTIONSPRINZIP



### HYBRID-WECHSELRICHTER

- 3/5kW Einphasig
- 10kW Dreiphasig
- Integrierter N/A Schutz
- Batterieladung mit günstigem Netzstrom

### STROMSPEICHER

- Bis zu 50kWh Stromspeicher
- Regelbare Entladeparameter
- Kompatibel mit LiFePo und Bleiakkus

### USV/INSEL BETRIEB

- 3/5/10kW USV nach IEC62040-3
- Umschalzeit <10msec
- Netzverbunden ohne Einspeisung
- oder reiner Inselbetrieb



AT Center GmbH · www.atc-ag.ch  
 info@atc-ag.ch · +41 (0)62 887 30 85



aber die Recherchen zu den Produktinformationen sind noch mühsam. Jedoch werden auch hier Fortschritte durch die Digitalisierung erwartet. Die Informationen aus den technischen Datenblättern der Produkte decken in der Regel noch nicht den Informationsbedarf für die Sachbilanzen. Dank der Ecoinventdatenbank stehen zwar viele Sachbilanzen zu Materialien und Prozessen zur Verfügung, aber welche für ein bestimmtes Produkt passen, das aus verschiedenen Materialien mit unterschiedlichsten Prozessen aus verschiedenen Ländern mit unterschiedlichsten Strommixen produziert wird, erschliesst sich einem nicht unmittelbar. Insofern

war die interdisziplinäre Zusammenarbeit mit Experten in PV-Projekten und mit Zugang zu Herstellerdaten und Konstruktionszeichnungen sowie Experten aus dem Bereich der Ökobilanzierung notwendig und fruchtbar.

Konkret konnte durch das entwickelte Prototypentool und diesen Anwendungsfall abgeschätzt werden, welche Elemente in der Ökobilanz dominieren. Wem nützt diese Information? Folgende Szenarien sind denkbar: Als Architekt oder Bauherr kann man nun umweltbewusster über Varianten entscheiden und Ökobilanzen auch zur Unterstützung des Entwurfs heranziehen. Als Hersteller weiss man nun, wo eine Optimierung viel brin-

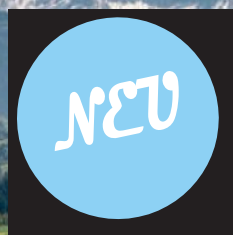
gen kann oder wie man Sachbilanzen besser bedienen kann. Behörden oder Planer können Grenzwerte festlegen oder kontrollieren. Wir sind der Meinung, dass Ökobilanzen in Zukunft für Entscheide immer wichtiger werden, und möchten daher einen praxisorientierten Beitrag leisten, dies im Bereich gebäudeintegrierter Photovoltaik zu etablieren.

Dieses Projekt wird zum Teil vom Schweizerischen Nationalfonds durch das Nationale Forschungsprogramm Energiewende (NFP 70) im Rahmen des Forschungsprojekts «Active Interfaces» sowie der ÜserHuus AG gefördert.

[WWW.HSLU.CH](http://WWW.HSLU.CH)

Das Dachfenster für die Schweiz

## Thermo 2 Plus – einfach stark!



Matthias Sempach  
Schwingerkönig

TripleProtect

Thermo 2 Plus ist die neue Variante, welche auf Basis der bewährten Dreifachverglasung Thermo 2 speziell für die klimatischen Ansprüche der Schweiz entwickelt wurde. Seine einzigartige Technologie wurde unter extremen Wetterbedingungen getestet und setzt neue Massstäbe. Mehr erfahren: [www.velux.ch/thermo2plus](http://www.velux.ch/thermo2plus)

**VELUX®**

GEBÄUDEHULLE 07 – 08 | 17 39