

Plusenergiehaus auf dem Prüfstand

Das im Jahr 2010 erstellte Einfamilienhaus produziert dreimal so viel Energie wie es insgesamt benötigt. Lohnt sich die zusätzliche Wärmedämmung, die Komfortlüftung und die 75 m² grosse Photovoltaikanlage aus ökologischer und aus wirtschaftlicher Sicht? Ökobilanzen und Wirtschaftlichkeitsrechnungen geben positive Antworten. Das Potenzial solcher Plusenergiehäuser zur Stromversorgung der Schweiz ist bedeutend.

VON HEIDI HUBER UND DANIEL RUFER



Das Plusenergiehaus in Küsnacht: Energiegewinn durch Südfenster und mit 75 m² Photovoltaikdach.

Heidi Huber

Lic. iur., Rechtsanwältin, E2 Management Consulting AG.

Daniel Rufer

Dr. sc. techn. ETH, MBA, E2 Management Consulting AG.

In Küsnacht wurde ein einseitig angebautes Einfamilienhaus aus den 50er-Jahren durch einen Neubau mit nahezu gleicher Grundfläche und Kubatur ersetzt. Eine Sanierung des alten Gebäudes kam wegen ungeeignetem Grundriss sowie aus Gründen der Energieeffizienz und Ökobilanz

nicht in Frage. Mit den Architekten [1] haben die Autoren dieses Artikels deshalb auf dem Keller des bisherigen Hauses ein Passivhaus gebaut, das die Vorgaben des Standards Minergie-P-Eco [2] übertrifft. Für die Tragstruktur und Wärmedämmung wurde Porenbeton verwendet. Zu den Vorgaben

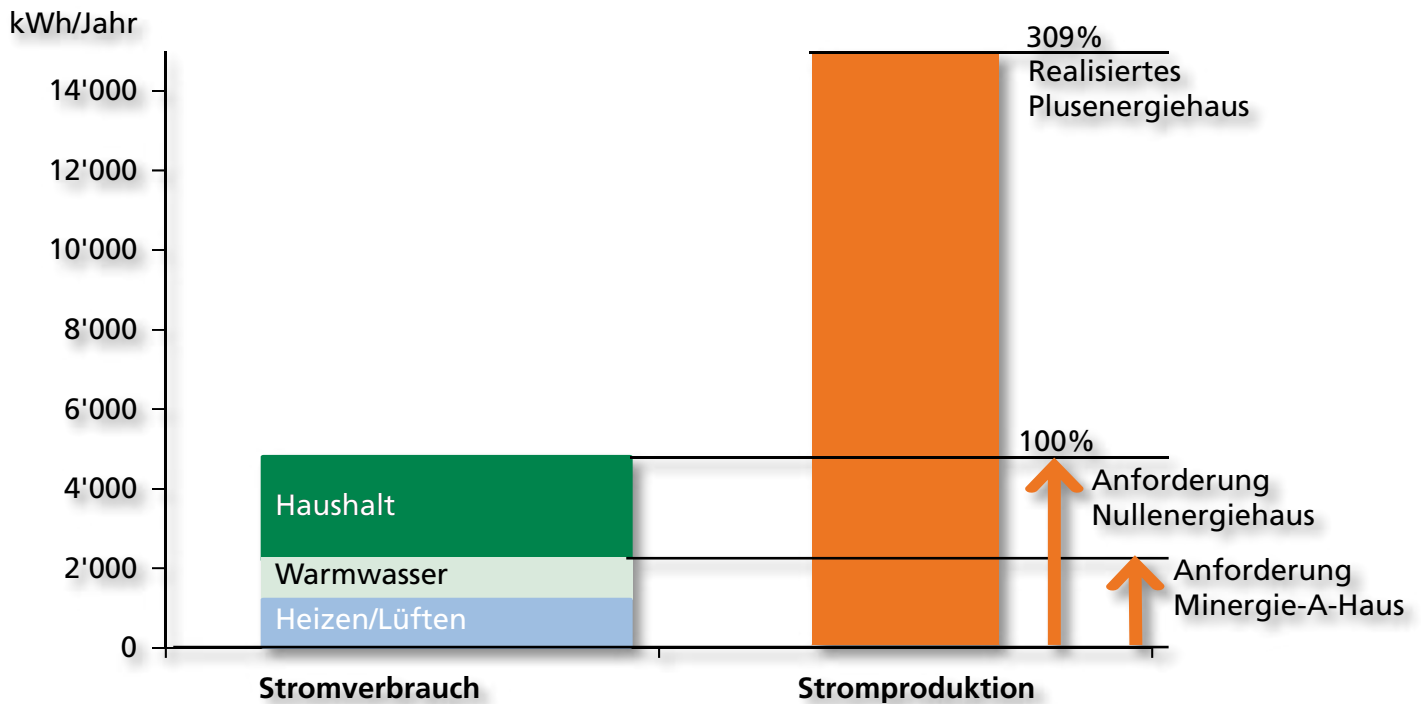


Abbildung 1: Energiebilanz des Plusenergiehauses.

gehörte, dass das Haus mehr Energie produzieren soll, als es verbraucht und die eingesetzten Materialien auch ökologischen und gesundheitlichen Anforderungen genügen.

Architektur und Energieeffizienz

Die Energiebilanz in Abbildung 1 zeigt, dass sich dieses Plusenergiehaus mit einer realisierten Solarstromproduktion von 309 % deutlich von den Anforderungen «Nullenergiehaus» sowie «Minergie-A» abhebt. Der hohe Energieüberschuss, der ins öffentliche Stromnetz eingespeist und verkauft wird, basiert auf dem Zusammenwirken von Architektur und Technik:

- Geringer Heizenergieverbrauch (Minergie-P) dank starker Wärmedämmung, Wärmegewinn durch Südfenster, Luftdichtigkeit und Komfortlüftung.
- Erdsonden-Wärmepumpe (750 Watt elektrische Leistung) mit hohem Wirkungsgrad für Heizung und Warmwasser sowie stromsparende Haushaltgeräte.
- Grosse Dachfläche (75 m²) mit integrierten Photovoltaikmodulen von hohem Wirkungsgrad.

Ein effizientes Plusenergiehaus entsteht somit durch Ergänzung des Baustandards Minergie-P mit einer Wärmepumpenheizung und einer grossen Photovoltaikanlage. Die dazu benötigte Haustechnik ist einfach und wartungsarm.

Ökobilanz des Solarstroms

Ökobilanzen zeigen auf, welche Umweltbelastung ein Produkt – zum

Beispiel eine Kilowattstunde Strom aus Photovoltaik (PV) oder aus einem Gaskraftwerk – verursacht. Zur Quantifizierung der Umweltbelastung gibt es verschiedene Möglichkeiten. Oft verwendet werden:

- Umweltbelastungspunkte (UBP⁰⁶),
- Treibhausgas-Emissionen (kg CO₂-Äquivalente) oder
- nicht-erneuerbarer Primärenergie-Bedarf (kWh).

Der Vergleich verschiedener Stromproduktionen in Abbildung 2 zeigt, dass Solarstrom sehr geringe Umweltbelastungen aufweist. Die Berechnungen basieren auf der Ökobilanz-Datenbank Ecoinvent 2.1 der ETH sowie den IEA-Richtlinien [3]. Die Umweltbelastung des PV-Stroms hängt von den eingesetzten Solarmodulen sowie von Standort und Ausrichtung der Solaranlage ab. Der Wert von 50 UB, respektive 35 g CO₂-Äquivalente pro kWh bezieht sich auf die im beschriebenen Plusenergiehaus installierte PV-Anlage mit den Eckdaten:

- Standort Küsnacht, Neigung 15°, Ausrichtung Südwest;
- monokristalline Siliziumzellen mit 23 % Wirkungsgrad.

Die zur Herstellung der PV-Anlage benötigte nicht erneuerbare Primärenergie wird durch den nicht vom Netz bezogenen Strom bereits nach 1,7 Jahren kompensiert. Anschliessend produziert die PV-Anlage während weiteren 30 bis 40 Jahren Strom ohne Umweltbelastung. Wenn statt den effizienten Solarzellen mit 23 % Wirkungsgrad billigere Produkte mit 18 % Wirkungs-

grad eingesetzt würden, ist die Umweltbelastung pro kWh Strom um rund 20 % höher.

Ökobilanz des gesamten Plusenergiehauses

Für die Herstellung und den künftigen Rückbau des Gebäudes wurde ebenfalls eine Ökobilanz erstellt. Die Grafik links in Abbildung 3 zeigt die jährliche Umweltbelastung in Tonnen Treibhausgas-Emissionen: Verursacht wird die Umweltbelastung zu 86 % durch die Herstellung und den Rückbau des Gebäudes (grau) und zu 14 % durch den für Eigenbedarf benötigten Solarstrom (grün). Der für den Verkauf produzierte Solarstrom verursacht einerseits die gelb markierte Umweltbelastung. Andererseits entlastet dessen Einspeisung ins öffentliche Stromnetz die Umwelt stark (gelber Pfeil), denn es muss dadurch weniger Strom in den europäischen Kraftwerken produziert werden. Das Ergebnis der Ökobilanz ist rot dargestellt: Insgesamt entlastet das Plusenergiehaus die Umwelt um jährlich 3,6 Tonnen Treibhausgase. Das Haus ist somit wesentlich besser als ein «Zero Emission Building».

Interessant ist die Frage: Wie verändert sich die Ökobilanz, wenn das Haus statt mit einer starken Wärmedämmung (Minergie-P) mit einer geringeren Wärmedämmung (Minergie) gebaut wäre? Die Grafik rechts in Abbildung 3 liefert die Antwort: Der grau markierte Teil der Ökobilanz (Herstellung und Rückbau des Gebäudes) ist zwar geringer, doch für die Heizung wird wesentlich mehr Solarstrom

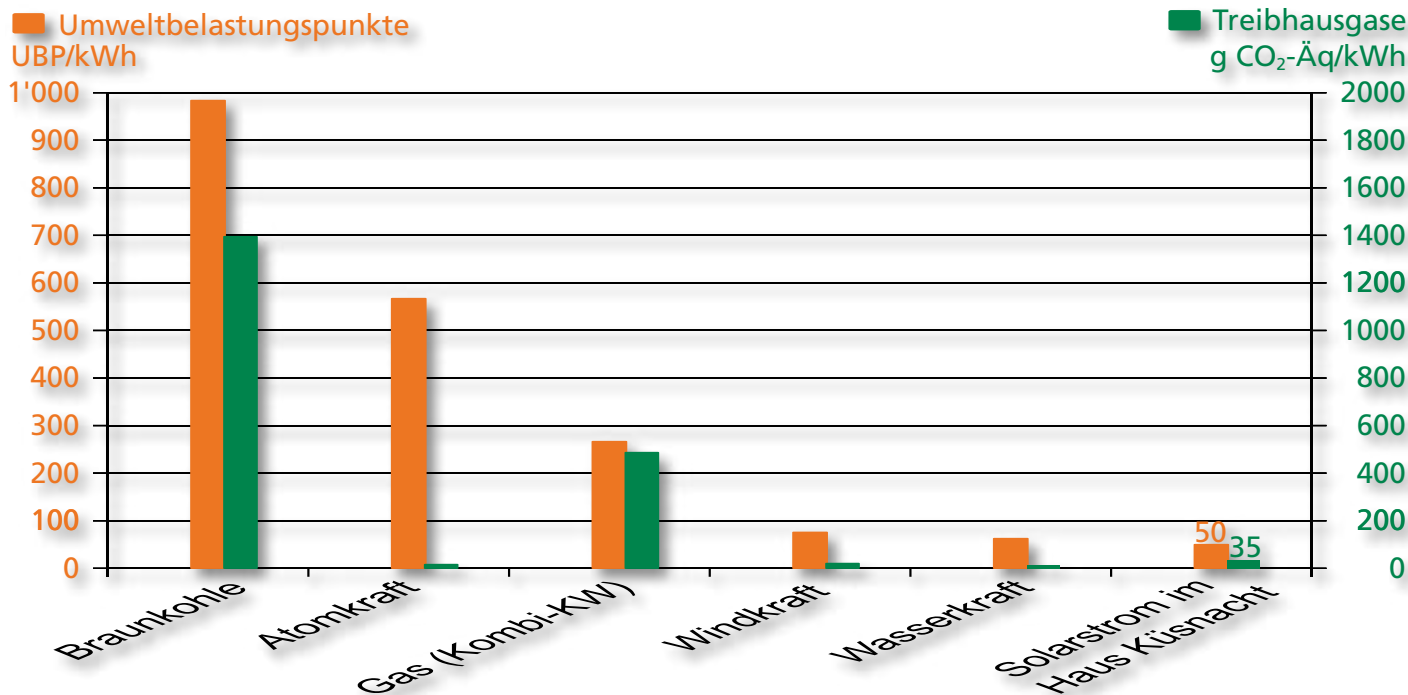


Abbildung 2: Umweltbelastung verschiedener Stromproduktionen.

benötigt. Dadurch reduziert sich der ins Netz eingespeiste Stromüberschuss um rund 20%, und die Treibhausgas-Reduktion beträgt nur noch 2,5 statt 3,6 Tonnen pro Jahr (30% weniger). Das stark wärmegeämmte Plusenergiehaus nach Minergie-P produziert somit nicht nur mehr Strom, sondern es ist bezüglich Umweltbelastung deutlich besser als ein nur gemäss gesetzlichen Vorgaben oder Minergie-Standard isoliertes Gebäude. Diese Schlussfolgerung gilt nicht nur für das beschriebene Haus mit Porenbeton als Wärmedämmung, sondern auch für andere Isolationsmaterialien, beispielsweise Polystyrol (EPS) oder Holzfasern.

Wirtschaftlichkeit der Mehrinvestition

Neben der Umwelteffizienz stehen bei allen Bauentscheidungen wirtschaftliche Aspekte im Vordergrund. Am konkreten Beispiel des beschriebenen Plusenergiehauses werden nachfolgend die Mehrkosten für den Baustandard Minergie-P einerseits und für die Photovoltaikanlage andererseits analysiert.

Um die Anforderungen von Minergie-P (statt nur die gesetzlichen Energievorgaben) zu erfüllen, waren die unten stehenden Mehrinvestitionen notwendig. Die Minderkosten bei der Erdsondenbohrung ergaben sich, da wegen des geringen Heizenergiebedarfs eine weniger tiefe Bohrung (nur 80 m) notwendig war.

– Wärmedämmung	
Wände und Dach	CHF 20 000
– Aussentüren und	
Dreifachfenster	CHF 9 000

– Komfortlüftung	
inkl. Wärmetauscher	CHF 24 000
– Prüfung Luftdichtigkeit	CHF 2 000
– Minderkosten	
Erdsondenbohrung	CHF –7 000
Total Mehrinvestition	CHF 48 000

Es ergeben sich die nachfolgenden jährlichen Mehr- und Minderkosten, wobei gemäss der ZKB-Studie [4] selbst für Minergie-Bauten ein um rund 6% höherer Mietwert angenommen werden kann:

– Zins und Abschreibung	
(2,5%, 30 Jahre)	CHF 2 300
– Unterhalt	
Lüftungsanlage	CHF 300
– Geringere Stromkosten	CHF –400
– Erhöhung	
Mietwert (6%)	CHF –3 200
Total jährliche	
Minderkosten	CHF –1 000

Diese Rechnung zeigt, dass sich die zusätzliche Investition in den Gebäudestandard Minergie-P aus wirtschaftlicher Sicht lohnt.

Die zweite Mehrinvestition für das Plusenergiehaus betrifft die 75m² grosse, ins Dach integrierte Photovoltaikanlage. Die Investition im Jahr 2010 betrug CHF 92 000 (inkl. Wechselrichter, Montage, Installationen), abzüglich CHF 3 000 eingesparte Kosten für Dachbedeckung, also netto CHF 89 000. Daraus ergeben sich Zins- und Abschreibungskosten von jährlich CHF 4 400, was bei einer aktuellen Stromproduktion von 15 000 kWh pro Jahr zu Eigenkosten von 0,29 CHF/kWh Strom führt. Dieser Wert ist höher als der mittlere Strompreis des Elektrizitätswerkes.

Mit der kostendeckenden Einspeisevergütung des Bundes (KEV) werden jedoch während 25 Jahren Solarstrompreise vergütet, die über den Eigenkosten von 0,29 CHF/kWh liegen. Damit ist auch die zusätzliche Investition in die PV-Anlage wirtschaftlich. Würde die gleiche PV-Anlage im Sommer 2012 erstellt, könnte im Vergleich zur im Jahr 2010 realisierten Anlage mit 30% tieferen Kosten und einer 6% höheren Produktion der Solarmodule gerechnet werden. Somit würden die Eigenkosten der Solarstromproduktion noch 0,21 CHF/kWh betragen.

Plusenergiehäuser als Kraftwerke

Im Jahr 2011 lag der Stromverbrauch in der Schweiz bei 58,6 TWh (Terawattstunden), d.h. 58,6 Milliarden Kilowattstunden [5]. Davon sollen gemäss der Energiestrategie des Bundesamts für Energie bis im Jahr 2050 rund 20% (12 TWh) durch Photovoltaik erzeugt werden. Gemäss Branchenverband Swissolar könnte dieses Ziel bei entsprechenden Massnahmen bereits 2025 erreicht werden. Wie realistisch sind diese Ziele und welchen Beitrag können Plusenergiehäuser liefern?

Benötigte Dachflächen: Heute existieren in der Schweiz 400 km² Hausdächer. Davon sind mindestens 150 km² für die Installation von Photovoltaikanlagen geeignet (Ost-, Süd- und Westdächer, ohne geschützte Objekte). Um in der Schweiz jährlich 12 TWh Solarstrom zu erzeugen, werden rund 90 km², also etwa 60% aller geeigneten Dachflächen benötigt. Solaranlagen auf Kulturland oder Bergen sind deshalb unnötig.

Treibhausgas-Emissionen (Tonnen CO₂-Äq./Jahr)

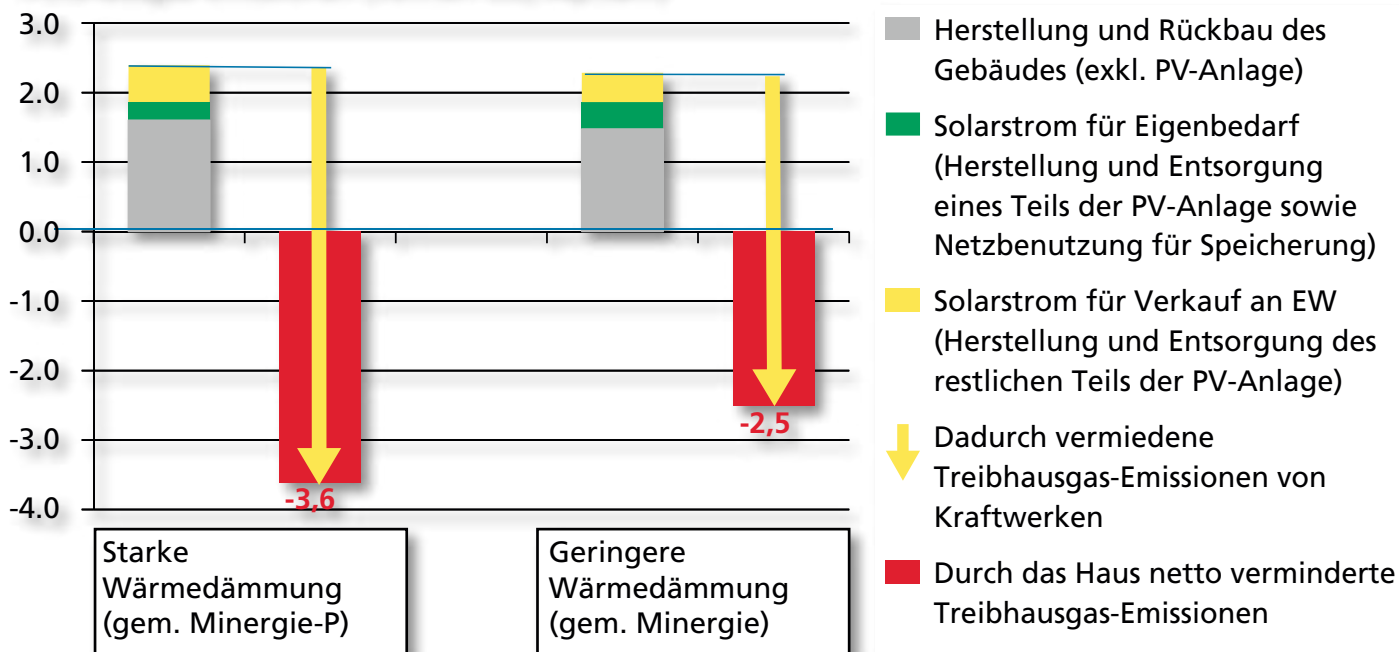


Abbildung 3: Ökobilanz des Hauses mit unterschiedlicher Wärmedämmung.

Nachtstromverbrauch: Der Nachtstromverbrauch von Plusenergiehäusern (für Beleuchtung, Lüftung, Kochen usw.) kann durch gespeicherten Überschuss der Tagesproduktion gedeckt werden (durchschnittlich 3,2 kWh pro Nacht beim beschriebenen Haus). Dies könnte durch handelsübliche Batteriespeicher im Keller erfolgen. Für die Tag/Nacht-Speicherung von Solarstrom gibt es in der Schweiz eine Alternative: Mit solarem Stromüberschuss kann die Stromproduktion aus Stauseen tagsüber reduziert und dafür in der Nacht erhöht werden. Dies ist möglich, denn die Leistung der Wasserkraftwerke (über 10 Gigawatt) reicht bei weitem aus, um den Nachtstrombedarf zu decken [5]. Bei derartiger Solarstrom-Speicherung durch Produktionsverschiebung der Wasserkraftwerke entstehen zusätzliche Netzverluste von rund 7%. In der Ökobilanz des Plusenergiehauses (Abbildung 3) sind diese Netzverluste eingerechnet.

Winterstromverbrauch: Das beschriebene Plusenergiehaus benötigt im Dezember und Januar mehr Energie als die Photovoltaikanlage erzeugen kann. Deshalb müssen 550 kWh Strom (11% des jährlichen Energiebedarfs) vom Sommerüberschuss für diese Wintermonate gespeichert werden. Wie bei der Tag/Nacht-Speicherung kann dies durch Speicherkraftwerke (ohne Pumpspeicherung) erfolgen: Dank Solarstrom wird im Sommer weniger Wasser der Stauseen zur Stromproduktion benötigt. Dadurch könnte der maximale Füllgrad der Stauseen im September noch um etwa 1 TWh erhöht werden [5]. Diese Energiemenge steht in den Wintermo-

naten unter anderem zur Deckung des Strombedarfs von Plusenergiehäusern zur Verfügung. Wenn die angestrebten 20% Solarstrom in der Schweiz allein durch Gebäude wie das beschriebene Plusenergiehaus produziert würden, hätten diese einen Winterstrombedarf von 0,52 TWh. Mit 1 TWh können somit auch Plusenergiehäuser mit höherem Winterstrombedarf versorgt werden.

Solarstromspitze im Sommer: Wenn 20% des schweizerischen Stromverbrauchs durch Photovoltaikanlagen erzeugt werden, produzieren diese Anlagen an einem in der ganzen Schweiz sonnigen Sommermittag ihre Maximalleistung von 12 GW. Zusammen mit den nur wenig regulierbaren Flusskraftwerken und den auf ein Minimum gedrosselten Speicherkraftwerken (2 bis 3 GW) entsteht in diesem Fall eine Produktionsspitze von 14 bis 15 GW Elektrizität. Da der Leistungsbedarf der Schweiz an einem Sommermittag nur bei etwa 8 GW liegt, müssen in dieser Zeit die bestehenden und heute im Bau befindlichen Pumpspeicherkraftwerke (über 4 GW) aktiviert werden, um zusätzliche Leistung aufzunehmen. Verbleibende Stromspitzen können künftig durch weitere Massnahmen abgefangen werden: Automatisches Einschalten von Warmwasserboilern, Kälteaggregaten oder Batteriespeichern sowie allenfalls kurzzeitiges Abschalten von Solaranlagen.

Förderung von Plusenergiehäusern

Wie viele Beispiele zeigen, bieten auch gut isolierte Gebäude mit solarer Energieproduktion ein breites Spek-

trum architektonischer Gestaltungsmöglichkeiten. Plusenergiehäuser sind heute erprobter Stand der Technik. Sie bieten den Bewohnern dank angenehmerem Raumklima im Winter und Sommer mehr Komfort. Anhand des beschriebenen Ersatzneubaus wurde dargelegt, dass die notwendigen Zusatzinvestitionen wirtschaftlich sind und die Ökobilanz besser ist als bei einem «Zero Emission Building». Mit Plusenergiehäusern lässt sich auch der Heizenergiebedarf und CO₂-Ausstoss der Schweiz stark senken. Zugleich tragen sie entscheidend dazu bei, das Ziel einer 20-prozentigen Solarstromversorgung der Schweiz so rasch als möglich zu erreichen.

Aus all diesen Gründen vergibt die Solar Agentur Schweiz jährlich Preise für die besten Plusenergiebauten [6]. Gezielte gesetzliche Massnahmen zur Förderung solcher Gebäude müssen rasch möglichst geschaffen werden. ●

Links und Literatur

- [1] Bauatelier Metzler: www.bauatelier-metzler.ch
- [2] Baustandards Minergie, Minergie-A und Minergie-P: www.minergie.ch
- [3] Methodology Guidelines on Life Cycle Assessment of Photovoltaic Electricity, Report IEA-PVPS T12-01:2009
- [4] Der Minergie-Boom unter der Lupe, Marktanalyse Zürcher Kantonalbank, März 2010
- [5] Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2011: www.bfe.admin.ch
- [6] Schweizer Solarpreis 2011, Solar Agentur Schweiz: www.solaragentur.ch