

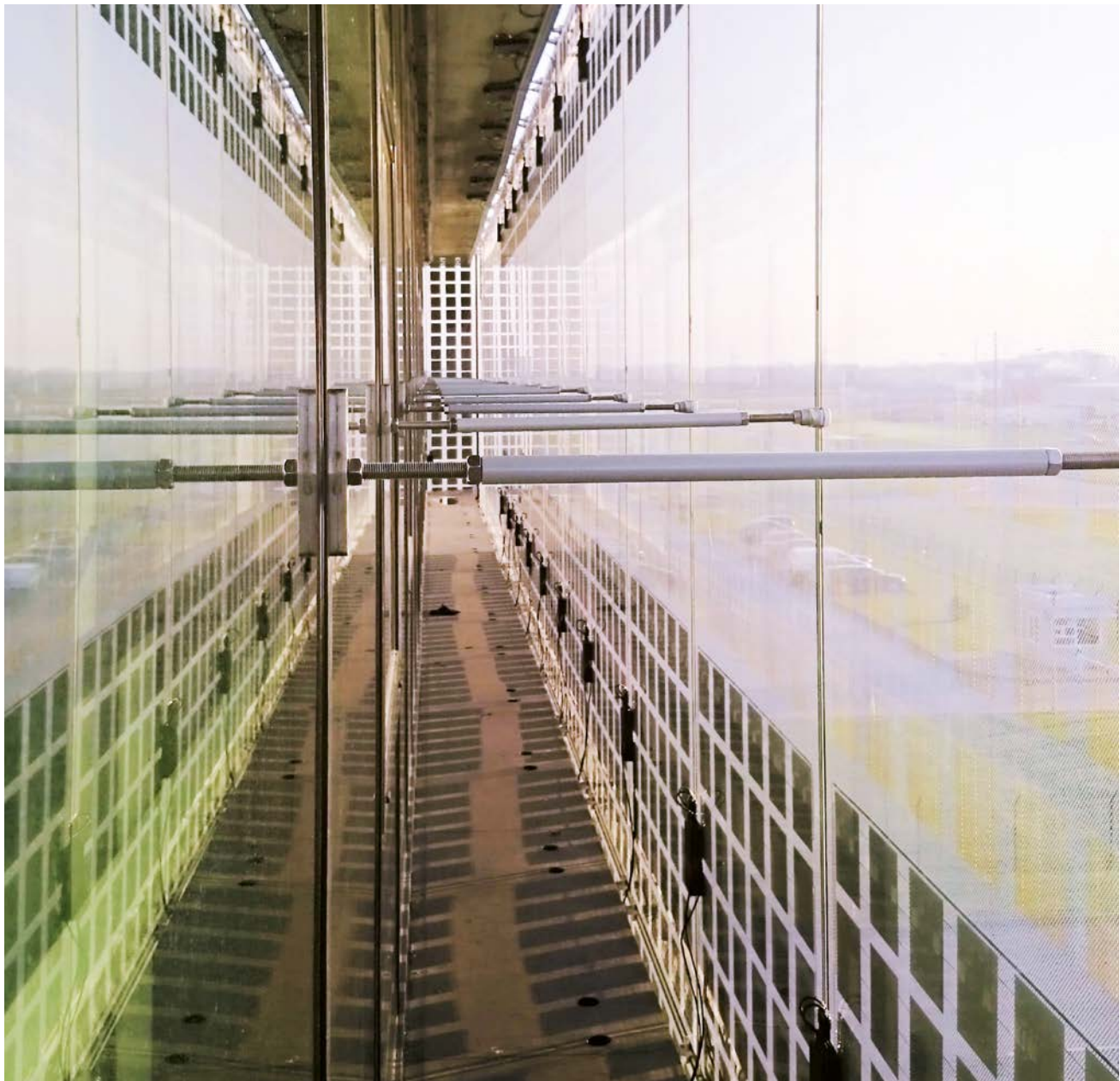
BUILDING INTEGRATED PHOTOVOLTAICS – POTENZIALE

Solare Perspektive

100% Stromversorgung aus erneuerbarer Energie – das ist machbar!

In der Schweiz könnte bis zu einem Drittel des jährlichen Strombedarfs über Photovoltaik gedeckt werden. Zurzeit werden die Möglichkeiten für eine Gebäudeintegration von Photovoltaik im Rahmen von Stadterneuerungsprozessen im Bestand untersucht.

Text: Viola John



Eine ökonomisch interessante Möglichkeit, um die Energie- und Klimaziele zu erreichen: Am Bürogebäude eines litauischen Glasherstellers wurde eine Testfassade mit verschiedenen semitransparenten Solarmodulen als zweite Haut installiert. Nach Abschluss einer einjährigen Testphase ist klar: Die 75 Glas-Glas-Module produzieren insgesamt rund 12,5 MWh Strom jährlich. Die Anschaffungskosten der Fassade sind wettbewerbsfähig: Mit 550 Euro/m² liegen sie ungefähr auf dem Niveau einer Stein- oder Holzfassade.

Die Städte von morgen sind schon heute gebaut. Ein Grossteil des aktuellen Gebäudeparks der Schweiz sowie anderer europäischer Länder wird voraussichtlich auch in gut 30 Jahren noch stehen.

Da bis dahin die Schweizer Ziele der Energiestrategie 2050¹ umgesetzt und der Gebäudebestand energetisch ertüchtigt beziehungsweise selbst zum Erzeuger von ökologisch verträglichem Strom werden sollen, spielen Stadterneuerungsprozesse eine wesentliche Rolle für die zukünftige Entwicklung. Sollen Gebäude zu Kraftwerken werden, stellt die Nutzung von Photovoltaik (PV) im und am Gebäude eine vielversprechende Möglichkeit dar, um Bestandsbauten zu optimieren und fit für die Zukunft zu machen.

sondern bilden mittlerweile durchaus eine ökonomisch wettbewerbsfähige Alternative zu herkömmlichen Hüllmaterialien für Fassaden und Dächer. Zu diesem Ergebnis kommt das Forschungsteam eines von der Europäischen Union geförderten Kooperationsprojekts nach Abschluss der Testphase für ein Bürogebäude in Litauen (Abb. S. 24).⁵ Darüber hinaus ermöglicht BIPV eine grossflächige Nutzung von PV am gesamten Bauwerk. Eingesetzt als Hüllmaterial und dezentraler Stromerzeuger zur Gewinnung regenerativer Energie kann BIPV gleichzeitig den Einsatz von Baustoffressourcen und fossiler Energie sowie den Ausstoss von Treibhausgasen im Bausektor reduzieren. BIPV-Systeme bieten somit eine potenzielle Antwort auf viele Herausforderungen der Energiewende.

Auf dem Weg zur wichtigsten Stromquelle

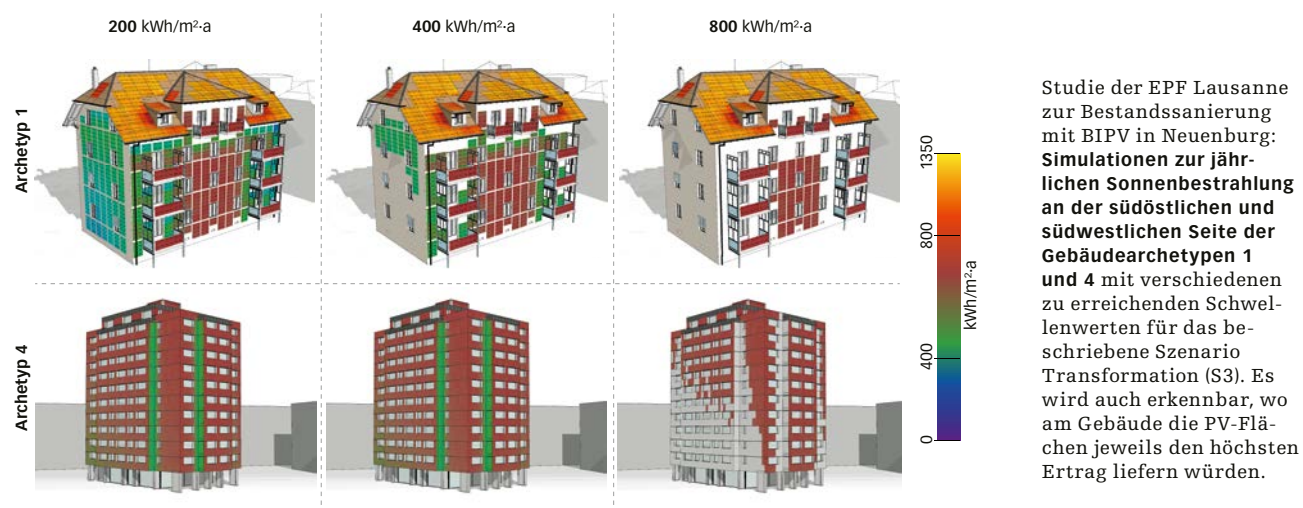
Gemäss International Energy Agency (IEA) wäre es problemlos machbar, in der Schweiz einen Drittel des jährlichen Strombedarfs über PV-Anlagen zu decken.² Eine aktuelle gemeinsame Studie der finnischen Lappeenranta University of Technology (LUT) und der internationalen Energy Watch Group (EWG) legt sogar nahe, dass eine weltweite Energiewende hin zu 100% erneuerbarer Stromversorgung – mit einem Schwerpunkt auf Solarenergie – keine Zukunftsvision, sondern greifbare Realität ist (vgl. «Globales Energiesystem...», S. 27).³ Darüber hinaus entwickelt sich momentan die PV-Technologie in vielen Ländern zur wirtschaftlich günstigsten Möglichkeit, Energie zu erzeugen.⁴ Der Wettbewerb bei den Herstellern von Solarmodulen lässt seit Jahren die Preise sinken – und laut Prognosen der IEA wird Solarstrom in Zukunft noch günstiger produziert werden können als heute. Für eine globale solare Energiewende sind dies ökonomisch gute Voraussetzungen.

PV integriert in die Gebäudehülle

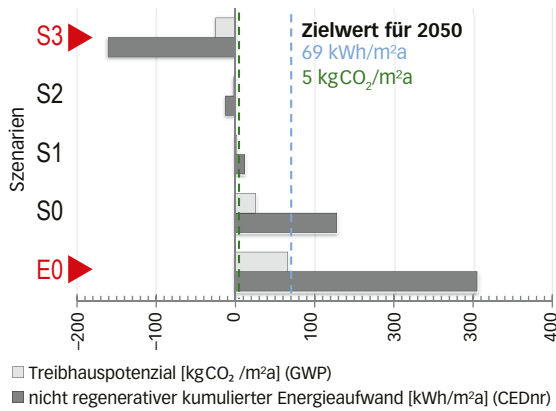
Wirtschaftlich vorteilhaft können insbesondere Building Integrated Photovoltaics (BIPV) sein – gebäudeintegrierte PV-Anlagen. Als Aussenhaut angewendet bieten sie nicht nur den Vorteil der Energieerzeugung,

Bestandsbauten profitieren von BIPV

Ein interdisziplinäres Forschungsteam unter der Leitung des Labors für Architektur und nachhaltige Technologien (LAST) der EPF Lausanne geht in einem aktuellen Forschungsprojekt sogar davon aus, dass es für das Erreichen der Ziele der Schweizer Energiestrategie 2050 unverzichtbar ist, energetische Sanierungsprojekte mit der Integration von erneuerbaren Energien – insbesondere in Form von BIPV – zu kombinieren. Das Dämmen der Gebäudehülle allein genügt nicht. Vielmehr sollten BIPV-Systeme als Baustoff verstanden und wie jedes andere Hüllmaterial eingesetzt werden, sodass sie idealerweise herkömmliche Materialien der Gebäudehülle sukzessive konstruktiv ersetzen. Um Möglichkeiten und Strategien zur Bestandssanierung mit BIPV-Systemen zu untersuchen, analysieren die Wissenschaftler im Rahmen des vom Schweizerischen Nationalfonds SNF geförderten Forschungsprojekts «Active Interfaces»^{6,7} in Neuenburg derzeit exemplarisch archetypische Mehrfamilienhäuser aus verschiedenen Baujahren hinsichtlich ihres Potenzials für eine solare Stadterneuerung.⁸ Neben dem Baujahr fliessen unter anderem auch Informationen über den Standort sowie über die Eignung von Dach und Fassade für BIPV und etwaige Denkmalschutzauflagen in die Analyse ein.



Studie der EPF Lausanne zur Bestandssanierung mit BIPV in Neuenburg: **Simulationen zur jährlichen Sonnenbestrahlung an der südöstlichen und südwestlichen Seite der Gebäudearchetypen 1 und 4** mit verschiedenen zu erreichenden Schwellenwerten für das beschriebene Szenario Transformation (S3). Es wird auch erkennbar, wo am Gebäude die PV-Flächen jeweils den höchsten Ertrag liefern würden.



Ergebnisse Energie und Emissionen (Betrieb) für die verschiedenen Szenarien.



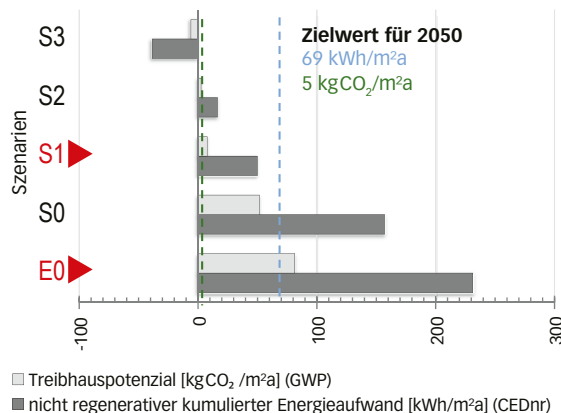
SZENARIO TRANSFORMATION (S3)

Das Szenario S3 zeigt die Ergebnisse des Archetyps im Transformationszustand. Es wird eine hinterlüftete Fassade mit Aussendämmung und BIPV-Elementen vorgeschlagen. Farblich soll diese dem ursprünglichen Aussehen des Gebäudes angepasst werden. Neben der Wärmedämmung der Fassade und des Dachs werden die vorhandenen Fenster ausgetauscht. Der Ölkessel wird durch eine Luft-Wasser-Wärmepumpe ersetzt, die mit der BIPV-Anlage kompatibel ist und das Selbstverbrauchs-potenzial erhöht. Die Ergebnisse beziehen sich jeweils auf 100% der in Simulationen zuvor ermittelten aktiven Hüllfläche mit BIPV.



ARCHETYP 1 (E0)

Wohnarchetyp 1 wurde 1909 erstellt. Konstruktiv ist das Gebäude typisch für diese Bauzeit: massive Aussenmauern von 40 cm Stärke, keine Wärmedämmung. Die Fensteröffnungen sind vertikal und relativ klein, die Holzfenster sind einfach verglast. Eine Ölheizung deckt den Bedarf an Wärme und Warmwasser. Das Szenario E0 zeigt die Ergebnisse des Archetyps im Ist-Zustand.



Ergebnisse Energie und Emissionen (Betrieb) für die verschiedenen Szenarien.



SZENARIO ERHALT (S1)

Das Szenario S1 zeigt die Ergebnisse des Archetyps im Erhaltszustand. Bei der Sanierung soll die Ästhetik des ursprünglichen Gebäudes so weit wie möglich erhalten bleiben. Hierfür wird eine Innendämmung angebracht, die die gesetzlichen Anforderungen nach SIA 380/1:2016 erfüllt und die bestehende Wärmedämmung ersetzt. Darüber hinaus wird im unteren Teil der Fenster BIPV in einem Betonfarbton angebracht. Dieses Szenario ermöglicht es, die Energie- und Klimaziele für 2050 zu erreichen – dank der passiven Renovierung, der BIPV-Installation, aber auch dank dem Ersatz des bestehenden Ölkessels durch eine Luft-Wasser-Wärmepumpe erreicht das Gebäude einen Eigenverbrauch von 41% und eine Selbstversorgung von 21% mit nur 18 Jahren Amortisationszeit unter Berücksichtigung der gesamten Sanierung.



ARCHETYP 4 (E0)

Wohnarchetyp 4 wurde in den 1970er-Jahren erstellt. Er besteht aus Betonfertigteilen und grossen Fenstern und ist mit 4 cm Wärmedämmung ausgestattet. Eine Ölheizung deckt den Bedarf an Wärme und Warmwasser. Das Szenario E0 zeigt die Ergebnisse des Archetyps im Ist-Zustand.

Ausserdem werden verschiedene Sanierungsszenarien hinsichtlich ihrer Wirksamkeit miteinander verglichen:

- Keine BIPV (S0): In diesem Szenario wird die energetische Performance der Gebäudehülle lediglich durch passive Strategien nach den Anforderungen der SIA 380/1 2016 verbessert, auf PV am Gebäude wird gänzlich verzichtet.
- Erhalt (S1): In diesem Szenario wird das Aussehen des Gebäudes bewahrt, die Gebäudehülle nach SIA 380/1 2016 verbessert und BIPV an Dach und Fassaden eingesetzt (Abb. und Grafik S. 26 unten).
- Erneuerung (S2): In diesem Szenario werden die architektonisch prägenden Linien der Hülle erhalten, das Gebäude energetisch auf Minergie-Standard gebracht und BIPV an Dach und Fassaden installiert.
- Transformation (S3): In diesem Szenario wird das Gebäude konform mit den Zielen der 2000-Watt-Gesellschaft saniert und BIPV für eine maximale Stromerzeugung am Gebäude vorgesehen. Hierfür sollen vorgefertigte, wärmedämmte Elemente als hinterlüftete Fassade vor die bestehende Wand gehängt werden. In die opaken Bauteile wird BIPV integriert (Abb. und Grafik S. 26 oben).

Innerhalb der drei Szenarien mit BIPV wird nochmals unterschieden in drei verschiedene Strategien:

- 100% der Gebäudehüllfläche als BIPV,
- nur so viel anteilige BIPV-Hüllfläche, wie zur Deckung des Eigenenergiebedarfs des Gebäudes erforderlich ist,
- die anteilige BIPV-Hüllfläche mit einer zusätzlichen Batterieunterstützung für Optimierungen im Energiemanagement.

Erste Ergebnisse legen nahe, dass die drei Sanierungsszenarien mit BIPV im Vergleich zum Szenario ohne BIPV allesamt besonders kosteneffizient sind. Auch hinsichtlich Einsparungen des Treibhauspotenzials und der grauen Energie bieten die BIPV-Szenarien Vorteile.

Ästhetik im Wandel

Einiges spricht also dafür, BIPV bei der Bestandsanierung einzusetzen. Auch die technisch und ästhetisch entsprechend hohen Anforderungen an das Material werden schon heute von vielen auf dem Markt erhältlichen Produkten erfüllt. Photovoltaikmodule können mittlerweile in Vorhangfassaden, Fenster oder Dachziegel integriert und farblich nach Belieben gestaltet werden (vgl. «Rot ist gefragt» und «Neues Farbenspiel», S. 28). So sind mit BIPV individuelle Erneuerungsstrategien von Bestandsbauten in Abhängigkeit von der jeweiligen Gebäudetypologie, den architektonischen Gestaltungszielen und dem Interventionsgrad umsetzbar.

Allerdings hätte der konsequente Einsatz von BIPV an sämtlichen Bestandsbauten zur Folge, dass sich ganze Stadt- und Ortsbilder in ihrer Ästhetik ra-

Globales Energiesystem basierend auf 100% erneuerbarer Energie – Stromsektor

Erneuerbare Energien und die Technologien dahinter, inklusive Stromspeicherungssysteme, haben das Potenzial dazu, Strom effizient und sicher zu erzeugen und damit den weltweiten Energiebedarf bis 2050 zu decken.

Bis 2030 wird Windenergie 32% des Strombedarfs weltweit decken. Allerdings wird nach 2030 Photovoltaik wettbewerbsfähiger. Daher steigt der prozentuale Anteil von Photovoltaik im globalen Stromsektor von 37% im Jahr 2030 auf 69% im Jahr 2050.

Strom aus erneuerbarer Energie wird billiger. Die Durchschnittsstromkosten für 100% erneuerbare Energien belaufen sich auf 52 Euro/MWh im Jahr 2050 (dies beinhaltet Kosten für Abregelungen, Speicher und Netz), während es im Jahr 2015 noch 70 Euro/MWh waren.

Dank stark fallenden Kosten werden **Photovoltaik und Batteriespeicherung im Jahr 2050 die wichtigsten Pfeiler** des erneuerbaren Energiesystems sein. Photovoltaik wird 69%, Windenergie 18%, Wasserkraft 8% und Bioenergie 2% des globalen Strommix ausmachen.

Batterien werden im Jahr 2050 die Schlüsseltechnologie für Photovoltaik darstellen. 31% des globalen Strombedarfs wird von Speichern abgedeckt, wovon wiederum 95% durch Batteriespeicher bereitgestellt wird. Batteriespeicher werden vor allem die täglichen Schwankungen ausgleichen, während Gas, aus erneuerbaren Energien erzeugt, die saisonale Speicherung decken wird.

Als Resultat dieser Entwicklungen werden sich die weltweiten Treibhausgasemissionen drastisch reduzieren: von ungefähr 11 Gt CO₂eq im Jahr 2015 hin zur emissionsfreien Energiegewinnung bis 2050 oder sogar früher, während die durchschnittlichen Stromkosten im Stromversorgungssystem sinken. • 3

dikal wandeln würden. Die Abbildung auf S. 26 rechts oben veranschaulicht, wie sich die ertragsorientierte Integration von Photovoltaik auf das Aussehen der Fassaden von Bestandsbauten auswirken könnte. Insbesondere bei baukulturell bedeutenden Bauwerken stösst man hier noch immer an Grenzen – Wunsch und Wirklichkeit liegen mitunter weit auseinander. Wenn BIPV sich in Zukunft auch bei solchen Bauwerken durchsetzen soll, sind Architekten, Forscher und Hersteller von PV-Modulen weiterhin gefordert, gemeinsam individuelle und ästhetisch ansprechende Lösungen hierfür zu entwickeln.

Autark oder altruistisch in die Zukunft?

Letztendlich stellt sich allerdings auch die Frage, wohin die Reise der gebäudeintegrierten Photovoltaik in Zukunft gehen soll: Ist es sinnvoll und erforderlich, dass jedes Gebäude für sich genommen energieautark ist, um die Energieziele zu erreichen? Zielführender könnte es sein, in urbanen Energieclustern zu denken und damit

Rot ist gefragt

Wirtschaftswissenschaftler der Universität St. Gallen haben Schweizer Eigenheimbesitzer nach ihren Präferenzen bei der Auswahl von PV-Modulen befragt. Danach scheinen Farbe sowie Herstellungsland die wichtigsten Aspekte bei der Kaufentscheidung zu sein: Rot ist die beliebteste Farbe, und in der Schweiz hergestellte PV-Systeme werden bevorzugt gekauft. Ebenfalls beliebt sind schwarze oder in Deutschland hergestellte PV-Module. Am wenigsten gefragt sind blaue PV-Module und solche, die in China produziert wurden. Ein weiteres Ergebnis ist, dass es bei den Befragten eine Bereitschaft gibt, bis zu 22% mehr für ein Dach mit BIPV-System zu bezahlen gegenüber einem nicht in die Dachhaut integrierten PV-Dach gleicher Herkunft und Farbe.⁹ • (vj)

dann auch flexibler über den Einsatz von BIPV im Stadtraum und am individuellen Bauwerk zu entscheiden (vgl. «Mein Haus ist mein Kraftwerk», TEC21 7–8/2017). Während exemplarische Betrachtungen des BIPV-Potenzials einzelner Bestandsgebäude eine wichtige Grundlage in der Forschung darstellen und das Durchspielen von Szenarien im kleinen Massstab ermöglichen, ist es wichtig, die gewonnenen Erkenntnisse in der Folge auch auf grössere Stadträume anzuwenden. So können Potenziale von BIPV innerhalb von urbanen Energieclustern und in Kombination mit anderen erneuerbaren Energietechnologien identifiziert werden. Werden dabei ökologische, ökonomische und gesellschaftliche Aspek-

te gleichwertig berücksichtigt, kann BIPV im Rahmen von Stadterneuerungsprozessen auch im Bestand eine nachhaltige Perspektive für die Zukunft bieten. •

Dr. Viola John,
Redaktorin Konstruktion/nachhaltiges Bauen

Anmerkungen

1 Bundesamt für Energie BfE: Energiestrategie 2050; Zürich 2014.

2 International energy agency IEA: Potential for Building Integrated Photovoltaics, Report PVPS T7-4; Switzerland 2002.

3 M. Ram et al.: Global Energy System based on 100% Renewable Energy-Power Sector. Study by Lappeenranta University of Technology and Energy Watch Group; Lappeenranta, Berlin, November 2017.

4 International Energy Agency IEA: World Energy Outlook 2017.

5 SmartFlex Solarfacades: EU SmartFlex project finishes reference solar façade; www.smartflex-solarfacades.eu/press

6 www.activeinterfaces.ch/de

7 www.pnr70.ch/de/Seiten/Home.aspx

8 S. Aguacil Moreno, S. Lufkin, E. Rey: Influence of energy-use scenarios in Life-Cycle Analysis of renovation projects with Building-Integrated Photovoltaics; International Conference for Sustainable Design of the Built Environment SDBE; London 2017.

9 S. Hille et al.: Red is the new blue – The role of color, building integration and country-of-origin in homeowners' preferences for residential photovoltaics. *Energy and Buildings* Vol. 162, S. 21–31; 2018.

BUILDING INTEGRATED PHOTOVOLTAICS – HERAUSFORDERUNGEN

Neues Farbenspiel

Unter dem Motto «Schön viel Strom produzieren» arbeiten Schweizer Wissenschaftler an architektonisch ansprechenden Lösungen für die gebäudeintegrierte Photovoltaik. Ein PV-Experte der Hochschule Luzern stellt aktuelle Forschungsergebnisse vor.

Text: Stephen Wittkopf

Photovoltaikfassaden und -dächer sind technisch herausfordernd, weil hier bisher unabhängige Disziplinen, Standards, Akteure und Entwicklungen zusammenkommen oder eher aufeinandertreffen. PV-Strom in der Gebäudehülle ist eher selten, den nötigen Platz für Kabel und Leistungselektronik einzuräumen erfordert höheren Planungsaufwand. Für Gebäudehüllen und PV-Module gibt es

verschiedene, teils widersprüchliche Standards und Normen, die nur langsam zusammenfinden. Architekten müssen nicht nur mit Fassadenplanern, sondern auch mit PV-Modulherstellern und Energieversorgern reden, und die schnellen Entwicklungen in der PV-Technologie machen es schwer, sich zu entscheiden. Dennoch nehmen immer mehr Architekten diese Herausforderung an. Zum einen, weil es die Bauherren wollen, und zum anderen, weil sich innovative Gestaltungsmöglichkeiten