



## Flächennutzungsmonitoring X Flächenpolitik – Flächenmanagement – Indikatoren

IÖR Schriften Band 76 · 2018

ISBN: 978-3-944101-76-7

### **Eine Frage des Flächensparens: Wo können 1 Milliarde Photovoltaik-Module in Deutschland installiert werden?**

*Hanna Poglitsch, André Hartmann, Steffen Schwarz,  
Robert Hecht, Johannes Eisenlohr, Claudio Ferrara,  
Martin Behnisch*

Poglitsch, H.; Hartmann, A.; Schwarz, S.; Hecht, R.; Eisenlohr, J.; Ferrara, C.; Behnisch, M. (2018): Eine Frage des Flächensparens: Wo können 1 Milliarde Photovoltaik-Module in Deutschland installiert werden?. In: Meinel, G.; Schumacher, U.; Behnisch, M.; Krüger, T. (Hrsg.): Flächennutzungsmonitoring X. Flächenpolitik – Flächenmanagement – Indikatoren. Berlin: Rhombos, IÖR Schriften 76, S. 133-142.

# Eine Frage des Flächensparens: Wo können 1 Milliarde Photovoltaik-Module in Deutschland installiert werden?

*Hanna Poglitsch, André Hartmann, Steffen Schwarz, Robert Hecht,  
Johannes Eisenlohr, Claudio Ferrara, Martin Behnisch*

## Zusammenfassung

Dieser Beitrag fokussiert auf die bauwerksintegrierte Photovoltaik (BIPV) und widmet sich den folgenden Fragen: Wie kann das Flächenpotenzial deutscher Gebäudefassaden in Bezug auf die Eignung für BIPV überschlüssig erfasst, beschrieben und nach verschiedenen Gebäudefunktionen bewertet werden? Wo können künftig 1 Milliarde PV-Module in Deutschland installiert werden? Untersucht wird das theoretische Fassadenflächenpotenzial (ohne Berücksichtigung von Fenster- und Türflächenanteilen, ohne Bewertung der tatsächlichen Solareinstrahlung) in Deutschland, um zu analysieren, ob ausreichend Fassadenflächen für die Bereitstellung der benötigten elektrischen Leistung vorhanden sind. Es wird eine Bestandsanalyse für alle Gebäude in Deutschland durchgeführt, die darauf abzielt, jene Gebäudefunktion mit besonderer Eignung für BIPV unter Berücksichtigung der Fassadenausrichtung zu bestimmen. Außerdem wird ermittelt, auf welche Stadt- und Gemeindetypen besonders relevante Gebäude entfallen.

## 1 Einführung

Studien für Deutschland (Henning, Palzer 2012) und für die Welt (Jacobsen et al. 2017) haben gezeigt, dass sich sowohl einzelne Länder als auch die Welt insgesamt mit einem Energiemix aus 100 % erneuerbaren Energien versorgen können. Um den Photovoltaik-Anteil dieses Bedarfes zu decken, werden zu den bereits installierten 42 Gigawatt peak einer Studie zur Folge (Henning, Palzer 2015) ca. 260-300 Gigawatt peak installierte elektrische Leistung für Deutschland benötigt. Derzeit am Markt erhältliche PV-Module mit einer Standardgröße von ca. 1,6 m<sup>2</sup> verfügen über eine durchschnittliche Leistung von ca. 300 Watt peak. Somit werden ca. 1 Milliarde Photovoltaikmodule benötigt, die eine aktive Fläche von ca. 1 600 km<sup>2</sup> erfordern, um den Bedarf zu decken.

Der Anteil der versiegelten Fläche in Deutschland beträgt ca. 49 066 km<sup>2</sup>, davon sind 25 077 km<sup>2</sup> durch Gebäude und Freiflächen erschlossen (Quelle: Statistisches Bundesamt; Stand: 2015). Die für die Module benötigte Fläche von 1,6 Mrd. m<sup>2</sup> (bzw. 1 600 km<sup>2</sup>) deckt somit etwa 3,5 % der versiegelten Fläche ab. Mit einer Bevölkerung von 82,5 Millionen Einwohnern (31.12.2016) ergibt sich ein durchschnittlicher Nettoflächenbedarf von 19,4 m<sup>2</sup>/Kopf, bei optimaler Ausrichtung der Module. Für die Abschätzung der benötigten Fassadenfläche muss der o. g. Wert etwa verdoppelt werden,

da die PV-Module nicht die optimale Ausrichtung haben und z. T. verschattet sind. Damit würde an den Fassaden in Deutschland eine Fläche von ca. 3 200 km<sup>2</sup> bzw. 38 m<sup>2</sup>/Einw. für ein Energiesystem benötigt, das zu 100 % auf erneuerbaren Quellen beruht.

Denkt man an die bereits versiegelte Fläche durch Gebäude und Infrastruktur sowie an die Klimaneutralität des Gebäudebestandes bis 2050, dass als Ziel der Bundesregierung zur Energiewende politisch verankert ist (UBA 2014), kann bauwerksintegrierte Photovoltaik (BIPV) einen wichtigen Beitrag zum Flächensparen leisten. BIPV-Bauelemente sind als Bauprodukt Teil der Fassade bzw. des Daches und als Stromerzeuger Teil der Anlagentechnik. Sie sind sowohl baukonstruktive, gestalterische als auch elektrotechnische Komponenten der Gebäudehülle. Durch BIPV lässt sich das Aufstellen einer Solaranlage auf einer Freifläche vermeiden. Außerdem können Baumaßnahmen, die unter das Bauplanungsrecht fallen, verhindert werden, so dass keine Fläche neu in Anspruch genommen werden muss. Solarparks benötigen vergleichsweise viel Fläche, da die Modulreihen mit mehreren Metern Abstand aufgestellt werden, um den Verschattungsabstand einzuhalten. Solaranlagen auf einer Freifläche werden durch das Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien (EEG) nur dann gefördert, wenn es sich um eine Konversionsfläche, eine bereits versiegelte Fläche oder eine landwirtschaftliche Fläche handelt.

Nun stellen sich zwei Fragen:

1. Wie viel Fläche wird benötigt, um den Verbrauch abdecken zu können?
2. Sind diese Flächen potenziell an den Fassaden verfügbar?

Um die Kosten für Photovoltaik zu minimieren, soll ein standardisiertes Modul entwickelt werden, das die hohen Investitionskosten reduziert. Das Projekt Standard-BIPV, gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), hat als Ziel die Entwicklung eines solchen Moduls. Zunächst wird eine Bauwerkskategorie identifiziert, die großes Flächenpotenzial für eine solche Anwendung besitzt. Mittels geoinformatischen Ansätzen wird das theoretische Flächenpotenzial der Gebäudefassaden für das PV-Modul abgeschätzt. Auf Grundlage der ausgewählten Bauwerkskategorie wird daraufhin die Entwicklung, prototypische Herstellung und Montage eines standardisierten Moduls durchgeführt (Erläuterung erstmalig in bei Ferrara 2013). Das Modul soll für eine kostengünstige Massenproduktion geeignet sein und sich durch eine einfache mechanische Montage und elektrotechnische Installation auszeichnen. Dieser Beitrag fokussiert auf die Vorgehensweise zur Ermittlung der geeigneten Bauwerkskategorie, wozu relevante Arbeitsschritte beschrieben werden.

## 2 Nutzung von 3D-Daten für Bestandsanalysen

### 2.1 Datengrundlage

Als Grundlage für die Ermittlung der Potenzialflächen an Fassaden dient ein deutschlandweites 3D-Gebäudemodell im Level of Detail 1 (LoD1). Dieser Datenbestand enthält ca. 53 Mio. oberirdische Gebäude ohne Berücksichtigung der tatsächlichen Dachform in Form eines einfachen Klötzchens mit Flachdach. Abgeleitet werden diese Klötzchen aus der Liegenschaftskarte und den Hauskoordinaten mit Höheninformationen, die durch Laserscanning ermittelt werden. Bei Ableitung der Gebäudegrundrisse aus der Liegenschaftskarte wird die Gebäudefunktion mitgeführt, welche als Grundlage für die Ermittlung des Potenzials einer Gebäudekategorie dient. Weitere Merkmale sind ein Objektidentifikator, Qualitätsangaben (Metadaten), der Amtliche Gemeindeschlüssel (AGS) sowie die Koordinaten, die standardmäßig im Raumbezugssystem ETRS89/UTM abgegeben werden (AdV 2018).

Mit dem neuen Datenangebot (LOD1/2) ist es möglich, von der 2D-Perspektive in die 3D-Perspektive zu wechseln. Stadtstrukturen und deren Gestaltung werden oftmals in der planaren Ebene dargestellt. Durch diese noch junge Form der Darstellung lassen sich nun das Stadtgefüge noch greifbarer darstellen und Bautypen bzw. deren Funktionen unterscheiden. Durch die Dreidimensionalität ist es auch möglich, das theoretische Fassadenflächenpotenzial erstmalig zu quantifizieren. Es sollten jedoch die bundeslandspezifischen Unterschiede bei der Ableitung der Gebäudehöhen bzw. der Bezüge beim Liegenschaftskataster (ALKIS/ALK) beachtet werden. Der hohe Qualitätsstandard der Lagegenauigkeit durch Liegenschaftskatasterableitung macht Detailanalysen möglich und lässt den Schluss zu, dass zurzeit kein besseres Geodatenprodukt für diesen Zweck verfügbar ist.

### 2.2 Methodik

Für die Ermittlung des theoretischen Fassadenflächenpotenzials bedarf es einiger Aufbereitungsschritte zur Analyse der Daten. Zunächst werden die Gebäudegrundrisse in Form von 2D-Polygonen aus dem LoD1-Datensatz extrahiert. Die weitere Datenaufbereitung erfolgt durch Behebung der Inkonsistenzen des zu analysierenden Datenbestandes. Hier werden Überlappungen der Polygone beseitigt, Kleinstpolygone eliminiert und atypische Gebäudegrundrisse bereinigt (Hartmann et al. 2016). Die Polygone werden mit den zugehörigen Attributen, wie z. B. die Gebäudefunktion, verknüpft. Außerdem müssen die Polygone generalisiert werden, da teilweise Rechtecke aus mehr als vier Segmenten bestehen, d. h. die Grundrisse mit zu vielen Stützpunkten modelliert wurden. Hier wird ein Generalisierungsalgorithmus (Douglas-Peucker-Algorithmus) zur Bereinigung der Stützpunkte angewendet, der einen Kompromiss zwischen der Datenreduktion und dem Formerhalt schließt.



## 2.3 Typologie

Tab. 1: Gebäudenutzungstypologie nach Hauptnutzungskategorien (links) und deren Untergliederungen (Quelle: eigene Darstellung)

<b>Gewerbe und Industrie</b>	Fabrikgebäude	Lagergebäude	Werkstattgebäude	Sonstige Gewerbe- und Industriegebäude
<b>Gebäude für Land- und Forstwirtschaft</b>	Landwirtschaftliche Häuser und Hütten	Scheunen und Ställe	Sonstige Gebäude für Land- und Forstwirtschaft	
<b>Gebäude der verkehrl. Erschließung/ Infrastruktur</b>	Öffentl. Verkehrs- und Transportanlagen/ -einrichtungen	Garagen und Parken	Sonstige Gebäude der verkehrlichen Erschließung/Infrastruktur	
<b>Büro und Verwaltung</b>	Regierungs- und Gerichtsgebäude	Verwaltungs-, Polizei- und Feuerwehrgebäude	Sonstige Bürogebäude	
<b>Bildung</b>	Allgemeinbildende Schulen	Hochschulen und Forschung	Kindergärten, Kindertagesstätten	
<b>Handel und Dienstleistung</b>	Kaufhäuser	Einkaufszentren	Sonstige Verkaufsgebäude	
<b>Heilbehandlung</b>	Krankenhäuser, Kliniken	Praxisgebäude und Gesundheitseinrichtungen		
<b>Gebäude der techn. Erschließung/ Infrastruktur</b>	Versorgungsanlagen	Entsorgungsanlagen		
<b>Kultur und Unterhaltung</b>	Museen, Bibliotheken und Ausstellungsgebäude	Opern, Theater und Veranstaltungshallen	Gebäude für kulturelle Zwecke	
<b>Sport</b>	Sporthallen	Schwimmbhallen	Sonstige Sportbauten	
<b>Beherbergung und Gastronomie</b>	Hotels und Pensionen	Gaststätten und Restaurants		
<b>Wohngebäude</b>	Wohngebäude	Mehrfamilienhäuser	Wohnheimgebäude	Sonstige Wohngebäude
<b>Mischnutzung</b>				
<b>Sonstige Nichtwohngebäude</b>	Gebäude für Religionszwecke	Gebäude für Tiere und Botanik	Sonstige Nichtwohngebäude	

Für die Entwicklung und Konstruktion eines standardisierten Moduls ist es sinnvoll, auf eine Gebäudekategorie zu fokussieren. Zur Identifikation einer Gebäudekategorie ist das Aufstellen einer Gebäudetypologie notwendig (Tab. 1). In dieser Untersuchung wird eine Typologie der Gebäude nach ihrer Nutzungsart aufgestellt, wobei der Objektartenkatalog des Amtlichen Liegenschaftskatasters eine Grundlage bildet. Die Zuordnung der Gebäude erfolgt in 14 Hauptnutzungskategorien, um das theoretische Fassadenflächenpotenzial zu ermitteln. Außerdem gibt es eine weiterführende Einteilung in Subkategorien zur differenzierteren Betrachtung. Die Einteilung erfolgt in Anlehnung an bestehende Typologien (Deilmann et al. 2013) und eigene Empirie. Wichtig ist bei Klassifizierungen nach ALKIS/ALK die Berücksichtigung verschiedener Detaillierungsgrade der Gebäudenutzungsarten in den einzelnen Bundesländern.

### **3 Flächenpotenzial an Gebäudefassaden**

#### **3.1 Bestandskartierung**

Zum Überblick über das theoretische Fassadenflächenpotenzial werden die Hausumringe mit der berechneten Fassadenfläche gegenübergestellt und als Punktdichteraster dargestellt. Somit sind neben der rein quantitativen Aussage auch räumliche Analysen der Verteilungsmuster möglich. Die nachfolgende Karte gibt einen räumlichen Überblick der Verteilung des Fassadenpotenzials in Deutschland (Abb. 2). Die Klassifizierung erfolgte über sieben Klassen in Quantile, bei der jede Klasse die gleiche Anzahl an Beobachtungen aufweist. Hier werden sowohl Hotspots als auch starke räumliche Disparitäten sichtbar. Beim Vergleich mit der Verteilung der Hausumringe (hier nicht dargestellt), ist eine starke Korrelation zwischen dieser und der Fassadenfläche zu erkennen. Die Konzentration beläuft sich auf die urbanen und suburbanen Räume mit hoher Bevölkerungsdichte, d. h. es sind Ballungen von Hausumringen und Fassadenflächen in Städten und Agglomerationen vorzufinden.

#### **3.2 Empirische Befunde**

Die Berechnung des Fassadenflächenpotenzials lässt auf einen theoretischen Wert für Deutschland von ca. 12 416 km<sup>2</sup> schließen. Somit kann die benötigte Fläche für bauwerksintegrierte Photovoltaik an den Fassaden für die benötigte PV-Leistung theoretisch abgedeckt werden. Allerdings soll für das Modul eine standardisierte Lösung entwickelt werden. Vor diesem Hintergrund wird zunächst auf nur eine Gebäudekategorie aus dem Bereich Nichtwohnen fokussiert. Wohngebäude sind oftmals sehr individuell gestaltet und durch die Fenster und Türanteile in der Regel nicht mit großen, zusammenhängenden Flächen versehen und werden deshalb nicht weiter in Betracht gezogen. Bei Zuordnung der Fassadenflächen in die Hauptnutzungskategorien wird deutlich,



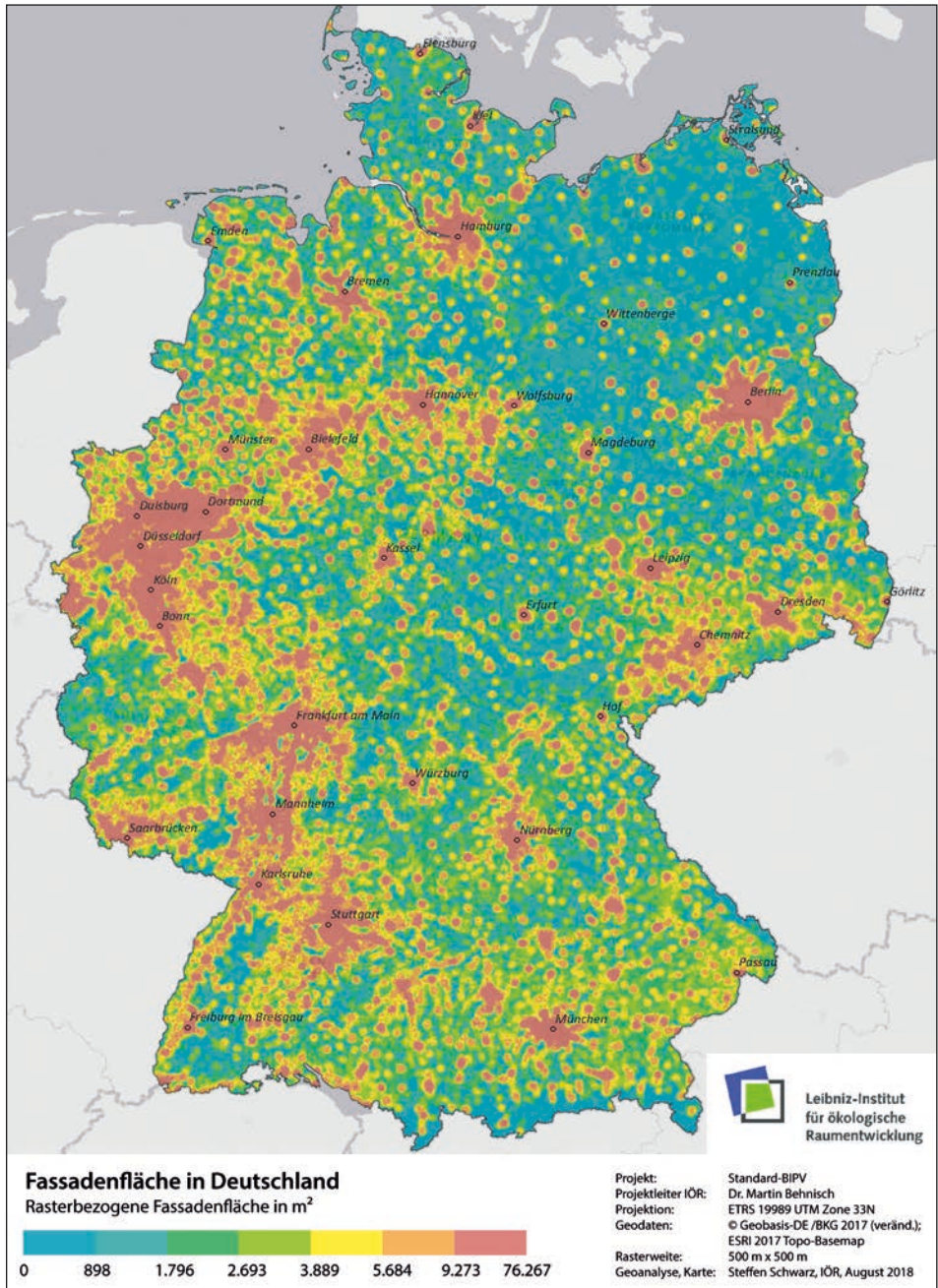


Abb. 2: Verortung der Fassadenfläche (Quelle: eigene Berechnungen)

dass im Bereich des Nichtwohnens die Gewerbe- und Industriebauten mit dem größten Potenzial für BIPV ausgewiesen werden können (Abb. 3).



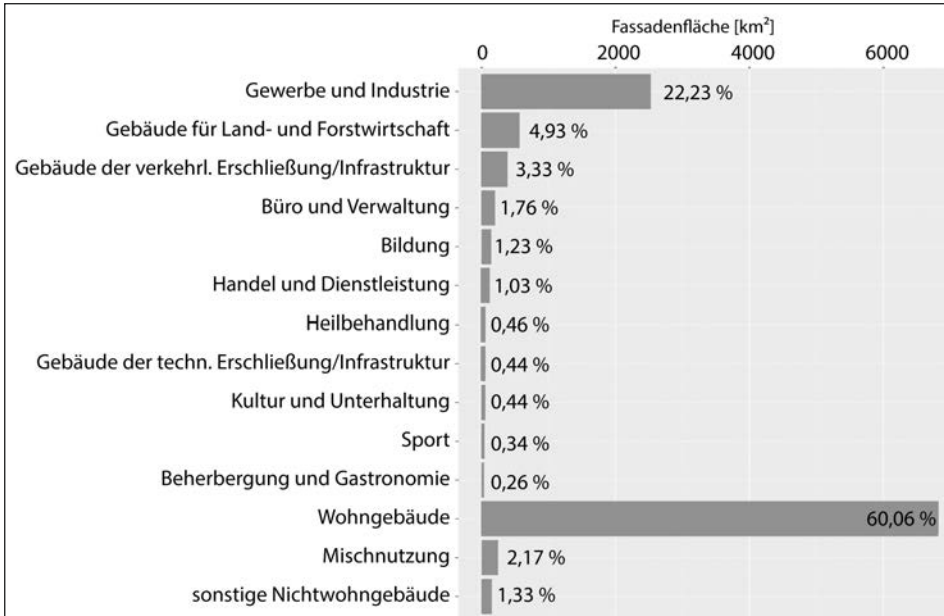


Abb. 3: Verteilung der theoretischen Fassadenfläche nach der Gebäudenutzungstypologie (Quelle: eigene Berechnungen)

Um die Regionen in Deutschland zu bestimmen, die über besonders viele relevante Gebäude verfügen, erfolgt die Verortung der Gebäude nach der Klassifizierung der Stadt- und Gemeindetypen des BBSR (Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung). Aus einer entsprechenden Analyse ist erkennbar, dass die Fassadenflächen der Gewerbe- und Industriegebäude vermehrt in Städten mit weniger als 50 000 Einwohnern (kleine Mittelstädte und Kleinstädte) sowie in Landgemeinden vorzufinden sind (Abb. 4).

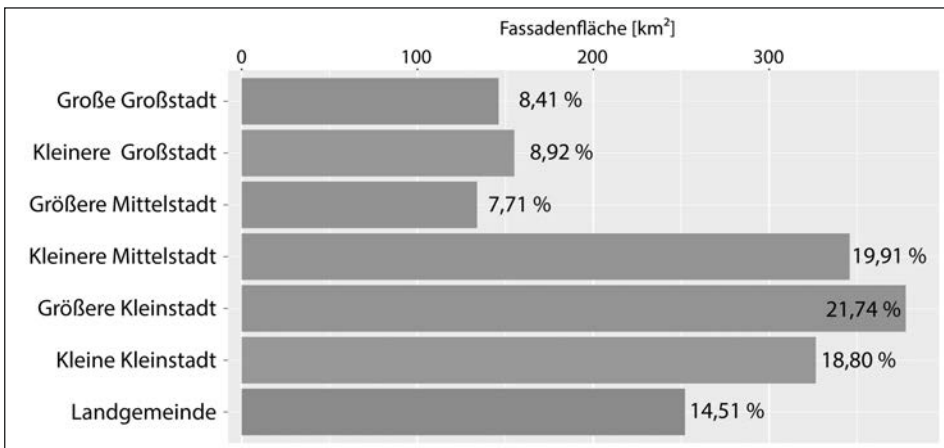


Abb. 4: Verteilung der theoretischen Fassadenfläche für Gewerbe- und Industriegebäude nach Stadt- und Gemeindetypen des BBSR (Quelle: eigene Berechnungen)

## 4 Fazit und Ausblick

Der Umbau und die Umstellung der Energieversorgungssysteme in Deutschland und weltweit zu 100 % erneuerbaren Energiequellen haben bereits begonnen und sind nach aktuellem Kenntnisstand nicht mehr aufzuhalten. BIPV-Systeme können bei der Umstellung einen wichtigen Beitrag leisten. Sie verbinden die Bereitstellung von Energie vor Ort mit einer Steigerung der Flächeneffizienz durch Doppelnutzung und einer zusätzlichen Gestaltungsoption, die vorhandene Gebäude aufwerten kann. Die Analysen auf Basis verfügbarer Geodaten haben gezeigt, dass im deutschen Gebäudebestand ein erhebliches Flächenpotenzial allein an den Fassaden (12 416 km<sup>2</sup>) vorhanden ist. Somit ist potenziell ausreichend Fläche für Photovoltaikanlagen von 3 200 km<sup>2</sup> vorhanden, die den Bedarf decken können. Gewerbe- und Industriegebäude verfügen über das größte theoretische Potenzial im Nichtwohnbau und sind geeignet für standardisierte Module. Sie verfügen in der Regel über große, zusammenhängende Fassadenstrukturen.

Nach der Bestimmung des theoretischen Flächenpotenzials der Gebäudefassaden soll zukünftig das tatsächliche Potenzial berechnet werden. Hierzu können Solareinstrahlungsanalysen durchgeführt werden, die die Topografie und die Verschattung umliegender Gebäude und Vegetation berücksichtigen. Ebenso kann stichprobenartig der Fenster- und Türenanteil der Fassaden bestimmt werden, um somit das technische Fassadenflächenpotenzial abzuleiten. Ein vielversprechender Ansatz zum Schließen dieser Lücke ist die Informationsgewinnung durch Crowdsourcing (Wendt et al. 2018).

## 5 Literatur

- AdV – Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (2018): Die amtlichen 3D-Gebäudemodelle in der Ausprägung LoD1 (LoD1-DE).  
<http://www.adv-online.de/AdV-Produkte/Weitere-Produkte/3D-Gebaedemodelle-LoD/> (Zugriff: 20.06.2018).
- Deilmann, C.; Behnisch, M.; Dirlich, S.; Gruhler, K.; Hagemann, U.; Petereit, R.; Kunz, C.; Petereit, K. (2013): Systematische Datenanalyse im Bereich der Nichtwohngebäude – Erfassung und Quantifizierung von Energieeinspar- und CO<sub>2</sub>-Minderungspotenzialen. Berlin: BMVBS.  
<http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BMVBS/Online/2013/ON272013.html?nn=423048> (Zugriff: 20.06.2018).
- Ferrara, C.; Vicente, C. (2013): BIPV-Standard Module for Large Scale Halls. Sustainable Building Conference, Graz.
- Hartmann, A.; Meinel, G.; Hecht, R.; Behnisch, M. (2016): A Workflow for Automatic Quantification of Structure and Dynamic of the German Building Stock Using Official Spatial Data. In: ISPRS Int. J. Geo-Inf. 5/2016: 142.
- Henning, H.-M.; Palzer, A. (2012): 100 % Erneuerbare Energien für Strom und Wärme in Deutschland. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE), Freiburg.

- Henning, H.-M.; Palzer, A. (2015): Was kostet die Energiewende? Wege zur Transformation des deutschen Energiesystems bis 2050. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE), Freiburg.
- Jacobson, M.; Delucchi, M.; Bauer, Z. A. F.; Goodman, S.; Chapman, W. E.; Cameron, M. A.; Bozonnat, C.; Chobadi, L.; Clonts, H. A.; Enevoldsen, P.; Erwin, J. R.; Fobi, S. N.; Goldstrom, O. K.; Hennessy, E. M.; Liu, J.; Lo, J.; Meyer, C. B.; Morris, S. B.; Moy, K. R.; O'Neill, P. L.; Petkov, I.; Redfern, S.; Schucker, R.; Sontag, M. A.; Wang, J.; Weiner, E.; Yachanin, A. S. (2017): 100 % Clean and Renewable Wind, Water, and Sunlight All-Sector Energy Roadmaps for 139 Countries of the World. Joule, Elsevier Inc.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.joule.2017.07.005> (Zugriff: 20.06.2018).
- UBA – Umweltbundesamt (2014): Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050. Dessau-Roßlau.
- Wendt, T.; Hecht, R.; Behnisch, M. (2018): Crowdsourcing zur Informationsgewinnung von Potentialen zur Nutzung von Gebäudeintegrierter Photovoltaik. 38. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF und PFGK18. München: DGPF 27/2018: 658-669.