

## Photovoltaik (PV)-Potentiale - Literaturrecherche

### Zusammenfassung

Auf Basis einer Literaturrecherche werden in diesem Dokument langfristige, wirtschaftliche PV-Potentiale abgeleitet. Für die Ermittlung von Freiflächenpotentialen wird auf bestehende, GIS-basierte Studien, kombiniert mit ergänzenden Annahmen, zurückgegriffen. Wesentliche Quellen sind ZSW (2019) und BMVI (2015). Für die Bestimmung von Dach-Potentialen wird eine Studie von September 2020 herangezogen, die deutschlandweit gebäudescharf Aufdachpotentiale ermittelt hat (Eggers et al., 2020). Diese Daten werden zusätzlich mit Resultaten des Solardachkatasters Hessen kombiniert, um das Dachflächenpotential nach Dachgröße herzuleiten. Die wesentlichen Resultate sind in untenstehender Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 1: Langfristiges, wirtschaftliches Potential der Photovoltaik in Deutschland\*

Anlagentyp	Kategorie	Potential [GW]	Kommentar
Freifläche gem. EEG 2017/2021 s. Anhang 1**	Autobahn- u. Schienen-Randstreifen	70-105	Erweiterung auf 200m, Annahme 4-6% der Fläche nutzbar
	Konversionsfläche	6-10	250 000 ha Gesamtfläche, ca. 15-25% raumverträglich und hiervon 20% ökonomisch nutzbar
	Ackerflächen und Grünland in benachteiligten Gebieten	90	1,5% der Ackerflächen und Grünland in benachteiligten Gebieten
	Versiegelte Flächen	2,5	Nutzbare Gesamtfläche 670 km <sup>2</sup> , 5% als wirtschaftlich betrachtet.
Zusätzliche Freifläche	Agri-PV	130	Pauschal 1% der Landwirtschaftsfläche zur Größenordnungsabschätzung
	Schwimmende PV	5-7,5	Zwei- bis Dreifache der geeigneten Flächen in ehem. Tagebauten bei 5% wirtschaftlicher Nutzbarkeit
Gebäude-integriert***	15 m <sup>2</sup> -50m <sup>2</sup> (2-6kW <sub>p</sub> )	120	Zerlegung eines dt. Gesamtpotentials von 400 GW (Abschlag von 20% auf Potential gem. Eggers et al. 2020) gemäß Dachstruktur in Hessen
	50 m <sup>2</sup> -100 m <sup>2</sup> (6-13kW <sub>p</sub> )	110	
	100 m <sup>2</sup> -250 m <sup>2</sup> (13-30kW <sub>p</sub> )	80	
	250 m <sup>2</sup> -500 m <sup>2</sup> (30-60kW <sub>p</sub> )	30	
	500 m <sup>2</sup> -1000 m <sup>2</sup> (60-125kW <sub>p</sub> )	20	
	>1000 m <sup>2</sup> (>125kW <sub>p</sub> )	30	
	Fassaden	320	Abschlag von 20% auf Potential gem. Eggers et al. 2020
<b>Gesamt</b>	Freifläche	300-350	große ‚Reserve‘ durch landwirtschaftl. Fläche
	Dach	400	
	Fassade	320	

\* Annahme eines Flächenbedarfs von 1,25 ha/MW bei Freiflächen (konservativ f. 20er Jahre)

\*\* einziger Unterschied in der Flächenkulisse ist Verdopplung Randstreifen auf 220m

\*\*\* Annahme 8qm pro kW<sub>p</sub>

## **Betrachtete Literatur**

Die verfügbare Literatur bezieht sich bis vor kurzem – insbesondere bei den Potentialen für Dachanlagen – auf eine kleine Anzahl von ‚Primärstudien‘. Dabei werden diese zum Teil über Kettenzitationen zitiert, so dass nicht unmittelbar ersichtlich ist, welche Primärquelle zugrunde liegt. Zwei wesentliche Primärstudien sind:

- Kaltschmitt, Martin und Wiese, Andreas. 1993. *Erneuerbare Energieträger in Deutschland - Potentiale und Kosten*. München : Springer Verlag, 1993.
- Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) Institut für Technische Thermodynamik, Institut für Energie- und Umweltforschung (ifeu), Wuppertal Institut für Klima, Umwelt und Energie (WI). 2004. *Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland*. s.l.: Forschungsvorhaben im Auftrag des Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 2004. FKZ 90 14 803.

Kaltschmitt und Wiese (1993) leitet auf Basis von statistischen Daten zum Gebäudebestand (Wohn- und Nicht-Wohngebäude) und Annahmen über die mittlere Stockwerkzahl je Gebäudetyp, der mittleren Wohnfläche je Wohnung und der mittleren Wohnungsanzahl je Gebäude leiten die Gebäudegrundfläche unter Berücksichtigung eines Flächenzuschlags für Treppenhäuser ab.

Dieser Ansatz findet sich in unterschiedlichen Variationen mit jeweils neueren Daten zum Gebäudebestand und Verbesserungen der Methodik zur Herleitung der nutzbaren Dachfläche. So nutzt Quaschnig (2000, sowie in Folgejahren) eine adaptierte Methodik von Kaltschmitt und Wiese (1993). IWES (2010) rechnet ebenfalls nach dieser Methodik mit neuen Daten. Ebenso verwendet FFE (2015) eine Variation dieser Methodik.

DLR, IFEU, WI (2004) nennt direkt Flächenpotentiale ohne Quelle: „Überlegungen zu einer praktikablen und ökonomisch sinnvollen Einbindung von PV-Anlagen in bestehende Siedlungsstrukturen, also unter Nutzung von Dachflächen, Fassaden, Überdachungen, Lärmschutzwänden etc., sowie die Beachtung der konkurrierenden Nutzungsmöglichkeiten durch thermische Kollektoren für Warmwasser und Raumheizung legen es nahe, von einem verfügbaren Flächenanteil von rund 700 km<sup>2</sup> Modulfläche auszugehen“

Ein Beispiel einer relevanten Zitierketten ist: Die Modellbeschreibung des in der Esys-Energiesystemstudie verwendete Modell des Fraunhofer ISE ReMod (Eggers et. al 2018). Eggers et. al (2018) zitiert UBA (2014). UBA (2014) zitiert UBA (2010) und UBA (2010) zitiert DLR, IFEU, WI (2004). Dies bedeutet, dass die in diesen Studien verwendeten Potentiale auf – zumindest soweit in DLR, IFEU, WI (2004) ersichtlich – gegriffenen Annahmen beruhen.

Eine wesentliche Innovation findet sich in neueren Studien mit der systematischen Nutzung von GIS-Systemen für die Potentialberechnung. BMVI (2015) enthält bereits eine bottom-up Analyse für die Flächenpotentiale von EE-Technologien inkl. Freiflächen PV. Für Dachanlagen greift aber auch diese Studie auf ein Schätzverfahren in Anlehnung an Kaltschmitt und Wiese (1993) zurück und für Nicht-Wohngebäude wird ein Wert aus IE (2009) angesetzt, der eine gegriffene Gutachterschätzung darstellt.

ZSW (2019) verwendet die Daten aus BMVI (2015) als Ausgangsbasis für eine detailliertere Analyse. Diese Analysen werden in diesem Dokument – z.T. in abgewandelter Form – als Grundlage für die Ableitung von Freiflächen-Potentialen herangezogen.

In den vergangenen Jahren sind für eine Reihe von Bundesländern und Kommunen gebäudescharfe Solarkataster entwickelt worden. Die Zeitschrift EnBauSa.de<sup>1</sup> führt auf ihrer Webseite eine aktuelle Liste der verfügbaren Kataster.

Die erste, deutschlandweite GIS-basierte Studie auf Gebäudeebene ist – soweit die Recherche ergeben hat – erst im September 2020 erschienen (Eggers et al., 2020); aufbauend auf Fath (2018). Diese nutzt eine digitale Repräsentation aller Gebäude in Deutschland zur Ableitung der Dachflächen. Eine Detailanalyse für Dresden verbessert die Repräsentation weiter in 3D, so dass eine Berechnung der verfügbaren Fassadenfläche möglich ist. Diese Detailanalyse wird dann wieder auf die bundesdeutsche Ebene hochskaliert. Dieses Dokument greift für die Dachanlagenpotentiale auf diese Studie zurück und ergänzt diese, soweit erforderlich, durch Daten aus Solarkatastern.

## **Freiflächenpotentiale**

### ***Autobahn- und Schienen-Randstreifen***

IWES (2012) berechnet das Potential auf der Grundlage einer Schienenweglänge von ca. 38.000 km und einer Autobahnlänge von 12.645 km (Daten aus 2005 bzw. 2009).

IWES (2012) nimmt an, dass 20% dieser Flächen tatsächlich nutzbar sind. ZSW (2019) hat eine deutliche höhere Restriktion bei den Flächen (s. ZSW [2019], S. 27) und es verbleiben nur 2-5% des technischen Potenzials, das als raum-verträgliches Potenzial mit hoher Realisierungswahrscheinlichkeit zur Verfügung steht. Dabei reduziert sich das Potential allein aufgrund operativer Restriktionen (Entfernungen zu Netzanschlusspunkten so-wie Flächen- und Eigentümerstrukturen) um 80-90%.

Entsprechend unterscheiden sich die resultierenden Potentiale um einen Faktor 5-10 zwischen den beiden Studien. Setzt man zur Berechnung einen Nutzbarkeitsfaktor von 4-6%, geht von einem Flächenbedarf von 1,25 ha/MW und rundet auf die nächsten vollen 5 GW, so ergeben sich die in der untenstehenden Tabelle verzeichneten Werte (Grundlage ist Verkehrsweglänge gemäß IWES 2012).

Randstreifen Schiene und Autobahn – 110m	<b>ca. 35 – 55 GW</b>
Randstreifen Schiene und Autobahn – 220m	<b>ca. 70 – 105 GW</b>

### ***Konversionsfläche aus wirtschaftlicher, verkehrlicher, wohnungsbaulicher oder militärischer Nutzung***

ZSW (2019) geht von einem Flächenpotential von insgesamt 250 000 ha aus (weit überwiegend ehemalige militärische Anlagen mit einem Schwerpunkt in Ostdeutschland) und geht davon aus, dass 15-25% raumverträglich genutzt werden können. Setzt man das wirtschaftlich realisierbare Potential mit ca. 20% dieser Flächen

---

<sup>1</sup> <https://www.enbausa.de/solarenergie/fotovoltaik/staedte-mit-solarkataster.html>

an, so ergibt sich mit einem Flächenbedarf von 1,25 ha/MW ein Potential von ca. **6 – 10 GW**.

### **Ackerflächen und Grünland in benachteiligten Gebieten**

ZSW (2019) berechnet die verfügbaren Flächen dieser Kategorie durch Rückgriff auf eine GIS-Analyse, die die Flächen gemäß Richtlinie 86/465/EWG in der Fassung der Entscheidung 97/172/EG als benachteiligt gelten kombiniert mit den Restriktionskriterien für Flächen gemäß BMVI (2015). Dabei werden konservativ nur solche Flächen angenommen, die gemäß BMVI (2015) als komplett restriktionsfrei angenommen werden. Vom dann resultierenden Potential werden nur 0,5-1% als tatsächlich realisierbar angenommen. Es ergeben sich die in der nachfolgenden Tabelle gezeigten Flächen.

	Abzgl. 110m-Korridore [ha]	Abzgl. 220m-Korridore [ha]
Ackerland	27.250 – 54.500	25.850 – 51.700
Grünfläche	11.730 – 23.460	11.100 – 22.200

Nimmt man den 220 m-Wert in ZSW (2019) und geht außerdem davon aus, dass bestimmte Flächen mit Restriktionen aus BMVI (2015) in Frage kommen, und ein nutzbares Potential von 1,5% als konservativ vertretbar erscheint, so ergibt sich bei einem Flächenbedarf von 1,25 ha/MW ein Wert von rund **90 GW**.

### **Versiegelte Flächen**

DLR, IFEU, WI (2004) nennt ohne Angabe von Quellen oder Herleitung 670 km<sup>2</sup> als Potentialfläche für versiegelte Flächen. Nur ein Teil dieser Flächen ist tatsächlich nutzbar (Schattenspendler, befahrbare Module). Aufgrund der erheblichen Unsicherheiten wird nur 5% dieses Flächenpotentials als langfristig wirtschaftlich nutzbar betrachtet. Dies entspricht bei einem Flächenbedarf von 1,25 ha/MW einer installierten Leistung von **2,5 GW**.

### **Agri-PV**

Die grundlegende Idee der Agri-PV ist eine gleichzeitige Nutzung von Flächen für Landwirtschaft und Photovoltaik. Insgesamt sind laut BMEL<sup>2</sup> 16,7 mio ha landwirtschaftlich genutzt. Nimmt man konservativ an, dass nur 1% dieser Fläche für Agri-PV genutzt werden, so ergibt sich bei einem Flächenbedarf von 1,25 ha/MW eine installierbare Leistung von rund **130 GW**.

### **Schwimmende-PV**

2016 betrug der Anteil von Seen, Flüssen, Kanälen und nahen Küstengewässer 2,3 % der deutschen Fläche, d.h. rund 820.000 ha.<sup>3</sup> Alleine auf gefluteten Tagebauten (rund 47.000 ha) beträgt das technische Potential schwimmender PV ca. 55 GW. Hiervon sind 5%, also rund 2,5 GW, als wirtschaftlich erschließbar einzustufen.<sup>4</sup>

<sup>2</sup> <https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/Daten-und-Fakten-Landwirtschaft.pdf>

<sup>3</sup> <https://www.umweltbundesamt.de/daten/flaeche-boden-land-oekosysteme/flaeche/struktur-der-flaechennutzung#die-wichtigsten-flaechennutzungen>

<sup>4</sup> <https://www.ise.fraunhofer.de/de/leitthemen/integrierte-photovoltaik/schwimmende-photovoltaik-fpv.html>

Geht man davon aus, dass insgesamt das zwei- bis drei-fache technische Potential insgesamt in Deutschland vorhanden ist und ebenfalls 5% wirtschaftlich erschließbar, ergibt sich ein Gesamtpotential von **5-7,5 GW**.

## Dachanlagen

### Gesamtpotential

ZSW (2019) enthält eine Übersicht bestehender Analysen (s. Tabelle). Es fällt auf, dass bestehende Studien auf Basis von statistischen Hochrechnungen ein Maximalpotential von ca. 300 GW ausweisen. Die Studie von Fath (2018) beruht auf GIS-Daten, allerdings sind diese von ZSW (2019) auf GW installierte Leistung umgerechnet.

Potenzialstudie	Betrachtungsjahr	Solarthermie berücksichtigt?	Dachflächenpotenzial [km <sup>2</sup> ]	pot. Leistung [GW]	pot. Stromerzeugung [TWh]
Kaltschmitt (2013)	2010	nein	742	52 - 119	47,5 - 108,7
Quaschnig (2000)	1994	ja	864	121 - 173	94 - 151
Quaschnig (2000)	1994	nein	1.304	(182 - 261) <sup>1</sup>	(142 - 228) <sup>1</sup>
IWES (2012) <sup>2</sup>	2009	nein	965	77 - 193	-
IWES (2012) <sup>3</sup>	2009	nein	1.516	121 - 303	-
FfE (2015)	2015	nein	-	206	-
BMVI (2015)	2015	nein	1.050	150	142
Fath (2018) <sup>4</sup>	2015	nein	(11.426) <sup>5</sup>	(1.713) <sup>5</sup>	1.627

1 ZSW-Berechnung basierend auf Annahmen von Quaschnig (2000) 2 Hochrechnung Kaltschmitt 1993 3 Hochrechnung Quaschnig 2000 4 bauliche Beschränkungen werden nicht berücksichtigt 5 ZSW-Berechnung. Annahmen: 950 Volllaststunden, Wirkungsgrad 15 %

Eine detaillierte Umrechnung auf Grundlage der Methodik in Fath (2018) findet sich in Eggers et al. (2020). Diese Studie findet für Deutschland Nettodachflächen von rund 3.200 km<sup>2</sup>, Nettofassadenflächen von rund 2.500 km<sup>2</sup> und eine Gesamtnettfläche von 5.700 km<sup>2</sup>. Als Dach-Modulfläche lassen sich damit überschlägig 2.800 km<sup>2</sup> an Dächern und 2.200 km<sup>2</sup> an Fassaden nutzen. Insgesamt sind es 5.000 km<sup>2</sup>. Diese Flächen entsprechen einer installierbaren elektrischen PV-Leistung von etwa 900 GW insgesamt, aufgeteilt auf rund 500 GW an Dächern und 400 GW an Fassaden.

Es ist wichtig zu betonen, dass die GIS-basierte Methodik erstmals auch eine zuverlässige Abschätzung des Fassaden-Potentials zulässt. Allerdings ist die Detailanalyse nur für Dresden gemacht worden, so dass das gesamtdeutsche Potential weiterhin mit Unsicherheiten behaftet ist. Daher wird konservativ angenommen, dass 400 GW an Dächern und 320 GW an Fassaden als Potential vorhanden sind.

### Aufteilung nach Gebäudetyp und Bundesland

FFE (2015) enthält auf Seite 29 eine Übersichtstabelle, die das Dach-PV-Potential nach Gebäudetyp und Bundesland aufschlüsselt. Die Absolutwerte dieser Potentiale liegen deutlich unterhalb GIS-basierter Analysen. Dennoch gibt die Aufteilung nach Gebäudetyp Hinweise auf die Verteilung des Potentials: so entfällt mehr als die Hälfte des Potentials auf Wohngebäude und hiervon wiederum die Hälfte auf

Einfamilienhäuser; Zwei- und Mehrfamilienhäuser machen je ein Viertel des Potentials aus.

Die verbleibenden rund 45% des Potentials verteilen sich im Verhältnis von 2/3 zu 1/3 auf Gewerbe, Handel, Dienstleistungen, Industrie und Landwirtschaftliche Gebäude. Insbesondere Dächer in Gewerbegebieten tragen relevant zum Gesamtpotential bei.

Bundesland	Wohnen					GHD und Industrie				Landwirtschaft				Summe
	Summe	EFH	ZFH	MFH	Garagen	Summe	Büro- und Verwaltung	Gewerbegebiete	sonstige Gebäude	Summe	Tierhaltung	Lagerhallen	Maschinenhallen	
SH	4,2	2,6	0,7	0,6	0,3	2,2	0,5	1,5	0,2	2,4	1,7	0,2	0,5	8,8
HH	1,4	0,6	0,1	0,6	0,1	1	0,4	0,5	0,1	0	0	0	0	2,4
NI	13,1	7,3	2,8	2,2	0,8	7,2	1,4	5,1	0,7	6,1	4,1	0,6	1,4	26,4
HB	0,6	0,3	0	0,3	0	0,4	0,1	0,3	0	0	0	0	0	1
NW	24	10,5	5,3	7	1,2	11,3	3,2	6,6	1,5	4,1	2,6	0,3	1,2	39,4
HE	8,7	3,9	2,4	1,9	0,5	3,6	1,3	1,9	0,4	1,4	0,7	0,1	0,6	13,7
RP	7,2	3,9	1,6	1,2	0,5	2,6	0,6	1,7	0,3	1,2	0,5	0,1	0,6	11
BW	15,3	6,7	4,1	3,6	0,9	8,2	2	5,3	0,9	3,3	1,7	0,1	1,5	26,8
BY	18,9	9,7	4,6	3,4	1,2	8,3	2,3	5,1	0,9	8,5	4,6	0,5	3,4	35,7
SL	1,9	0,9	0,6	0,3	0,1	0,7	0,2	0,5	0	0,1	0,1	0	0	2,7
BE	2,2	0,6	0	1,5	0,1	1,3	0,6	0,4	0,3	0	0	0	0	3,5
BB	3,3	2	0,5	0,6	0,2	4,1	0,4	3,6	0,1	1,1	0,8	0,1	0,2	8,5
MV	2	1,1	0,3	0,5	0,1	1,8	0,3	1,5	0	1,2	0,8	0,2	0,2	5
SN	4,3	1,6	0,9	1,6	0,2	3,4	0,7	2,4	0,3	1	0,7	0,1	0,2	8,7
ST	2,9	1,6	0,4	0,7	0,2	2,7	0,3	2,3	0,1	0,9	0,6	0,2	0,1	6,5
TH	2,9	1,3	0,7	0,7	0,2	1,5	0,3	1	0,2	0,9	0,6	0,1	0,2	5,3
DE	112,8	54,5	25,2	26,6	6,5	61,2	14,7	39,8	6,7	32,2	19,5	2,6	10,1	206,2

### Verteilung nach Dachgröße

Die Daten für das Solarkataster in Hessen weisen die ermittelten Dachpotentiale nach Größenkategorien aus<sup>5</sup>. Unter der Annahme, dass diese grob repräsentativ für Deutschland sind, ist eine Zerlegung nach Anlagengrößen möglich.

Intervall [m <sup>2</sup> ]	Angenommener Durchschnitt [m <sup>2</sup> ]	Anteil Potential	GW bei 400 GW Gesamtpotential
15-50	32,5	31%	120
50-100	75	27%	110
100-250	175	20%	80
250-500	375	8%	30
500-1000	750	6%	20
>1000	2500	8%	30

<sup>5</sup> [https://www.energieland.hessen.de/pdf/Leitfaden\\_SolarDachHessen\\_VersionWEB.pdf](https://www.energieland.hessen.de/pdf/Leitfaden_SolarDachHessen_VersionWEB.pdf) Seite 15

Die Analyse macht deutlich, dass das überwiegende Potential auf Dächer mit Flächen von unterhalb 250 m<sup>2</sup> entfällt. Dieses macht unter den gemachten Annahmen 380 GW oder 76% des Gesamtpotentials aus.

### **Anhang 1 - Flächen für Freiflächenanlagen gemäß EEG 2017**

- a) die zum Zeitpunkt des Beschlusses über die Aufstellung oder Änderung des Bebauungsplans bereits versiegelt war,
- b) die zum Zeitpunkt des Beschlusses über die Aufstellung oder Änderung des Bebauungsplans eine Konversionsfläche aus wirtschaftlicher, verkehrlicher, wohnungsbaulicher oder militärischer Nutzung war,
- c) die zum Zeitpunkt des Beschlusses über die Aufstellung oder Änderung des Bebauungsplans längs von Autobahnen oder Schienenwegen lag, wenn die Freiflächenanlage in einer Entfernung bis zu 110 Meter, gemessen vom äußeren Rand der befestigten Fahrbahn, errichtet werden soll,
- d) die sich im Bereich eines beschlossenen Bebauungsplans nach § 30 des Baugesetzbuchs befindet, der vor dem 1. September 2003 aufgestellt und später nicht mit dem Zweck geändert worden ist, eine Solaranlage zu errichten,
- e) die in einem beschlossenen Bebauungsplan vor dem 1. Januar 2010 als Gewerbe- oder Industriegebiet im Sinn des § 8 oder § 9 der Baunutzungsverordnung ausgewiesen worden ist, auch wenn die Festsetzung nach dem 1. Januar 2010 zumindest auch mit dem Zweck geändert worden ist, eine Solaranlage zu errichten,
- f) für die ein Verfahren nach § 38 Satz 1 des Baugesetzbuchs durchgeführt worden ist,
- g) die im Eigentum des Bundes oder der Bundesanstalt für Immobilienaufgaben stand oder steht und nach dem 31. Dezember 2013 von der Bundesanstalt für Immobilienaufgaben verwaltet und für die Entwicklung von Solaranlagen auf ihrer Internetseite veröffentlicht worden ist,
- h) deren Flurstücke zum Zeitpunkt des Beschlusses über die Aufstellung oder Änderung des Bebauungsplans als Ackerland genutzt worden sind und in einem benachteiligten Gebiet lagen und die nicht unter eine der in Buchstabe a bis g genannten Flächen fällt oder
- i) deren Flurstücke zum Zeitpunkt des Beschlusses über die Aufstellung oder Änderung des Bebauungsplans als Grünland genutzt worden sind und in einem benachteiligten Gebiet lagen und die nicht unter eine der in Buchstabe a bis g genannten Flächen fällt.

Einzigste Änderung durch EEG 2021 ist die Vergrößerung der Breite des Randstreifens von 110m auf 200m.

## Literatur

- Kaltschmitt, Martin und Wiese, Andreas. 1993. Erneuerbare Energieträger in Deutschland - Potentiale und Kosten. München : Springer Verlag, 1993.
- Quaschnig, Volker. 2000. Systemtechnik einer klimaverträglichen Elektrizitätsversorgung in Deutschland für das 21. Jahrhundert. Düsseldorf : VDI\_Verlag, 2000.
- DLR, IFEU, WI (2004): Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) Institut für Technische Thermodynamik, Institut für Energie- und Umweltforschung (ifeu), Wuppertal Institut für Klima, Umwelt und Energie (WI). 2004. Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland. s.l. : Forschungsvorhaben im Auftrag des Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 2004. FKZ 90 14 803.
- IE (2009): Leipziger Institut für Energie GmbH: Energie- und umweltstrategisches Entwicklungs- und Handlungskonzept für die Region Vogtland im Vierlän- dereck Sachsen – Tschechien – Bayern – Thüringen. Modul 3: Energeti- sche Potenziale von Wind, Solar, Geothermie und Wasser. 21 S., Leipzig, 2009
- Umweltbundesamt (2010), Energieziel 2050:100% Strom aus erneuerbaren Quellen, [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/energieziel\\_2050.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/energieziel_2050.pdf)
- TU München und Siemens AG. Abschätzung des Photovoltaik-Potentials auf Dachflächen in Deutschland. 2010.
- Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES). Vorstudie zur Integration großer Anteile Photovoltaik in die elektrische Energieversorgung – Studie im Auftrag des BSW - Bundesverband Solarwirtschaft e.V. – ergänzte Fassung vom 29.05.2012. 2012.
- Umweltbundesamt (2014), Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050, [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/07\\_2014\\_climate\\_change\\_dt.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/07_2014_climate_change_dt.pdf)
- BMVI (2015) (Hrsg.): Räumlich differenzierte Flächenpotentiale für erneuerbare Energien in Deutschland. BMVI-Online-Publikation 08/2015.
- FFE(2015): Forschungsstelle für Energiewirtschaft e. V. (FFE). Regionalisierung der dezentralen Stromerzeugung im Netzentwicklungsplan 2025 - Methodik und Ergebnisse. 2015.
- Erlach et al. (2018): Optimierungsmodell REMod-D. Materialien zur Analyse »Sektorkopplung« – Untersuchungen und Überlegungen zur Entwicklung eines integrierten Energiesystems(Schriftenreihe Energiesysteme der Zukunft), München 2018.
- Fath, Karoline (2018), Technical and economic potential for photovoltaic systems on buildings, Dissertation, <https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000081498>
- ZSW (2019): Kelm, T.; Metzger, J.; Fuchs, A.-L.; Schicketanz, S.; Günnewig, D.; Thylmann, M. (2019): Untersuchung zur Wirkung veränderter Flächenrestriktionen für PV-Freiflächenanlagen, Kurzstudie im Auftrag der Innogy SE, Januar 2019. [https://www.zsw-bw.de/fileadmin/user\\_upload/PDFs/Aktuelles/2019/politischer-dialog-pv-freiflaechenanlagen-studie-333788.pdf](https://www.zsw-bw.de/fileadmin/user_upload/PDFs/Aktuelles/2019/politischer-dialog-pv-freiflaechenanlagen-studie-333788.pdf)
- Eggers, Jan-Bleicke & Behnisch, Martin & Eisenlohr, Johannes & Poglitsch, Hanna & Phung, Windy-Fook & Münzinger, Markus & Ferrara, Claudio & Kuhn, Tilmann. (2020). PV-Ausbauerfordernisse versus Gebäudepotenzial: Ergebnis einer gebäudescharfen Analyse für ganz Deutschland.