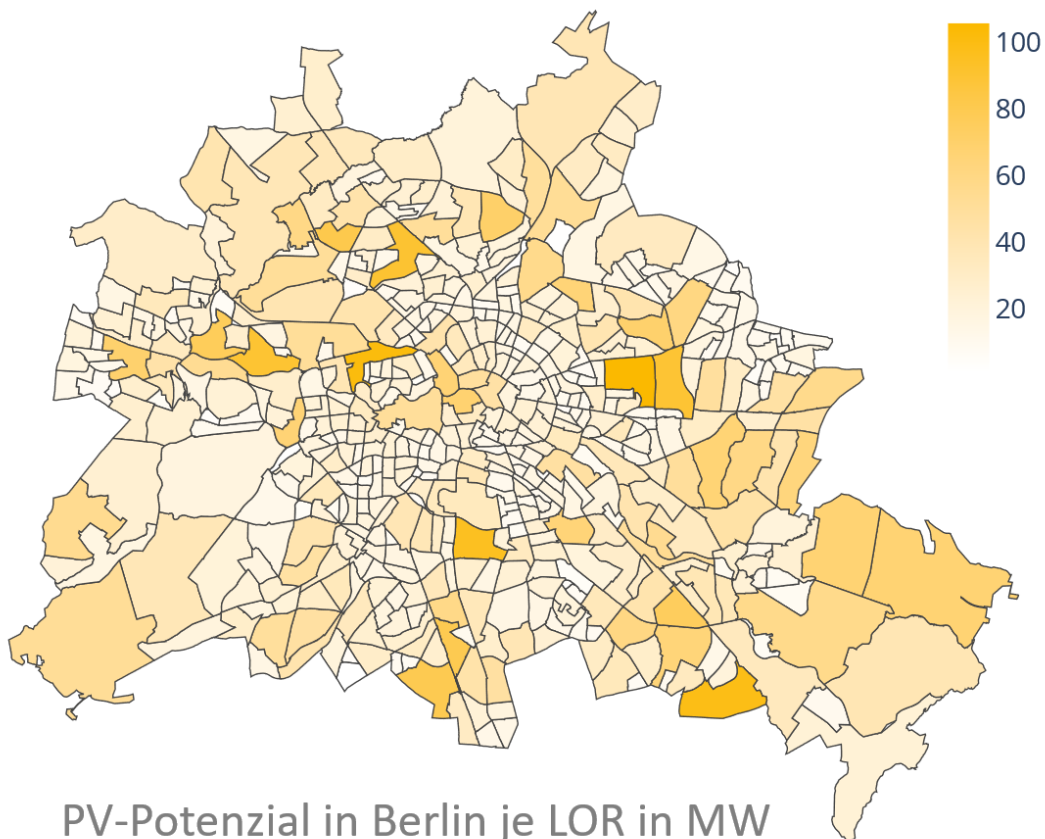


FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SOLARE ENERGIESYSTEME, ISE

AKTUALISIERTE PV-POTENZIALE BERLIN UND MÖGLICHE AUSBAUPFADE



AKTUALISIERTE PV-POTENZIALE BERLIN UND MÖGLICHE AUSBAUPFADE

Bericht erstellt im Auftrag der
BEN Berlin Energie und Netzholding GmbH
Sachsendamm 63
10829 Berlin

Autor:innen:
Gerhard Stryi-Hipp
Erik Fröhlich
Dr. Annette Steingrube

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE
Heidenhofstr. 2
79110 Freiburg

15. November 2024

Glossar

ALKIS	Amtliches Liegenschaftskataster Informationssystem
BEK 2030	Berliner Energie- und Klimaschutzprogramm 2030
EEG 2023	Erneuerbare-Energien-Gesetz (Version gültig ab 2023)
EnWG	Energiewirtschaftsgesetz
EWG Berlin	Berliner Klimaschutz- und Energiewendegesetz
EZFH	Ein- und Zweifamilienhäuser
GIS	Geoinformationssystem
GW, GWh, GWh/a	Gigawatt, Gigawattstunde, Gigawattstunde pro Jahr
kW, kWh, kWh/a	Kilowatt, Kilowattstunde, Kilowattstunde pro Jahr
KSG	Bundes-Klimaschutzgesetz
Layer	Eine „Schicht“ in den GIS Daten, die räumlich allokierte Geometrien enthält
LOR	Lebensweltlich orientierter Raum (Quartiereinheit in Berlin)
MFH	Mehrfamilienhäuser
MW, MWh, MWh/a	Megawatt, Megawattstunde, Megawattstunde pro Jahr
OSM	Open Street Map
PV	Photovoltaik
TW, TWh, TWh/a	Terawatt, Terawattstunde, Terawattstunde pro Jahr

Anmerkung: Technisch korrekt wird die Leistung von PV-Anlagen in kWp, MWp oder GWp (Kilowatt, Megawatt oder Gigawatt „peak“) angegeben. Dies meint, dass die PV-Nennleistung für Standard Test Conditions (STC) angegeben ist. Aus Gründen der Lesbarkeit wird in dieser Studie auf die Angabe „peak“ verzichtet, da sich alle Leistungsangaben für PV-Anlagen auf die Nennleistung beziehen.

Zusammenfassung

Um die deutschen Klimaschutzziele zu erreichen, strebt die Bundesregierung den Ausbau der erneuerbaren Energien am Stromverbrauch bis zum Jahr 2030 auf 80 % und bis zum Jahr 2035 auf nahezu 100 % an [1]. Im Jahr 2023 stammte mit 51,8 % erstmals mehr als die Hälfte des Bruttostromverbrauchs aus erneuerbaren Energien [2]. Einen wichtigen Beitrag zur Zielerreichung soll die Photovoltaik leisten. So soll die installierte PV-Leistung in Deutschland nach § 4 Nr. 3 EEG 2023 bis zum Jahr 2030 auf 215 GW, und bis zum Jahr 2040 auf 400 GW steigen. Ende 2023 war in Deutschland eine PV-Leistung von 81,7 GW installiert [3].

Berlin verfolgt seit vielen Jahren eine aktive Klimaschutzpolitik und verfolgt das Ziel, Solarcity zu werden. Das Abgeordnetenhaus Berlin hat im Jahr 2018 die Umsetzung des Masterplan Solarcity Berlin beschlossen mit dem Ziel, ein Viertel des Berliner Strombedarfs mit Solarenergie zu decken [4]. Das Ziel sollte spätestens im Jahr 2050 erreicht werden. Im Jahr 2019 wurde eine Masterplanstudie erstellt, die ermittelte, dass hierzu eine PV-Leistung von 4,4 GW erforderlich ist [5]. Durch die Umsetzung des Masterplans Solarcity und die Verbesserungen der Rahmenbedingungen für die Nutzung der Photovoltaik durch die Bundesregierung ist die jährlich in Berlin installierte PV-Leistung von 7,5 MW im Jahr 2018 auf 77,3 MW im Jahr 2023 stark gestiegen und die gesamt installierte PV-Leistung ist in Berlin Ende 2023 auf insgesamt 272 MW angewachsen [6].

Seit der Zielsetzung zum Masterplan Solarcity Berlin im Jahr 2018 wurde im Jahr 2021 das Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG) novelliert und im § 3 Absatz 2 KSG das Ziel der Klimaneutralität auf das Jahr 2045 festgesetzt. Daraufhin hat auch Berlin in seinem Berliner Klimaschutz- und Energiewendegesetz festgelegt, dass die Klimaneutralität bis zum Jahr 2045 erreicht werden soll (§ 3 EWG Bln). Somit wird im Folgenden davon ausgegangen, dass auch das Masterplanziel bis zum Jahr 2045 erreicht werden soll.

Vor diesem Hintergrund und der starken Ausbaudynamik der Photovoltaik in den letzten Jahren ist es nicht unwahrscheinlich, dass die installierte PV-Leistung in Berlin künftig das Ziel von 4,4 GW deutlich übertrifft. Für die langfristige Stromnetz-Ausbauplanung ist es wichtig, die Bandbreite für den künftigen PV-Ausbau zu kennen. Deshalb wurde das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE von der BEN Berlin Energie und Netzholding GmbH beauftragt, in dieser Studie die Bandbreite der möglichen PV-Ausbauziele und PV-Ausbaupfade für Berlin zu ermitteln.

Im ersten Teil der Studie wurden die PV-Potenzialanalysen des Masterplan Solarcity Berlin aus dem Jahr 2019 und des Energieatlas aus dem Jahr 2022 analysiert. Dabei hat sich gezeigt, dass das Berliner PV-Potenzial bislang unterschätzt wurde aufgrund zu eng gesetzter Randbedingungen. Unter Nutzung aktualisierter Annahmen in Bezug auf die künftig erwarteten Modulwirkungsgrade, der zusätzlichen Berücksichtigung von Balkonsolaranlagen und PV-Überdachungen über Pkw-Stellplätzen sowie der Berücksichtigung des weiteren Wachstums der Stadt, wurde das **technische PV-Potenzial von Berlin neu berechnet mit 13,9 GW**. Dieses liegt damit deutlich über den bisher ermittelten Werten von 8,9 GW bzw. 9,0 GW.

Im zweiten Teil der Studie wurden neben dem bisherigen Ausbauziel von 4,4 GW noch ein Ausbauziel von 8,8 GW sowie die maximal mögliche PV-Leistung von 13,9 GW als

Ausbauziel untersucht, um die Bandbreite möglicher Ausbauentwicklungen abschätzen zu können. Zur Entwicklung möglicher Ausbaupfade von heute ausgehend bis zum Zieljahr 2045 wurden die Hemmnisse und Treiber des PV-Ausbaus in den wesentlichen Marktsegmenten wie Ein-Zweifamilienhäuser (EZFH), Mehrfamilienhäuser (MFH), Gewerbebauten und öffentliche Gebäude untersucht.

Für die drei Ausbauziele wurden drei Pfadvarianten entwickelt. In der Pfadvariante 1 „Business as Usual“ wurde im Wesentlichen davon ausgegangen, dass die Verteilung der Marktsegmente so bleibt, wie sie heute gegeben ist. In der Pfadvariante 2 „Beschleunigter Ausbau auf öffentlichen Gebäuden“ wurde angenommen, dass alle geeigneten öffentlichen Gebäude bis zum Jahr 2030 mit PV-Anlagen belegt sind und in Pfadvariante 3 „Erhöhte Marktanteile MFH und Gewerbe“ wurde davon ausgegangen, dass die Marktsegmente MFH und Gewerbe, die bezogen auf ihre Potenziale relativ geringe Marktanteile aufweisen, überproportional wachsen und diesen Rückstand aufholen.

Die Erstellung der Ausbaupfade für die drei Ausbauziele und die drei Pfadvarianten hat gezeigt, dass das Ziel, alle öffentlichen Gebäude bis zum Jahr 2030 mit PV-Anlagen auszustatten sehr ambitioniert ist und bedeutet, dass in den kommenden Jahren der PV-Markt in Berlin vornehmlich durch die öffentlichen Gebäude absorbiert ist. Allerdings liegt der PV-Ausbau auf öffentlichen Gebäuden bislang deutlich unter dem Plan, so dass zusätzliche Maßnahmen notwendig sind, um das PV-Marktwachstum auf öffentlichen Gebäuden zu stimulieren.

Eine weitere Erkenntnis ist, dass ambitioniertere PV-Ausbauziele nur erreicht werden können, wenn der aktuelle Marktanteil von PV-Anlagen auf Mehrfamilienhäusern und Gewerbebauten deutlich gesteigert werden kann. Zur Stimulation dieser Marktsegmente müssen gezielte Maßnahmen ergriffen werden. Die Anteile der verschiedenen Marktsegmente spielt auch eine Rolle bezüglich der räumlichen Verteilung der PV-Leistung und der damit verbundenen zusätzlichen Belastungen für das Stromnetz. Denn das bislang größte Marktsegment der Ein- und Zweifamilienhäuser befindet sich vor allem im Randgürtel von Berlin, Mehrfamilienhäuser und Gewerbebauten dagegen finden sich vor allem im Zentrum und in definierten Gewerbegebieten.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass das PV-Potenzial in Berlin bei Betrachtung des Bezugsjahrs 2045 mit 13,9 GW deutlich größer ist als bislang angenommen. Dementsprechend sollte bei der Stromnetzausbauplanung auch ein PV-Ausbau in Betracht gezogen werden, der deutlich höher als das bisherige Masterplan-Ziel von 4,4 GW liegen könnte. Bezüglich der möglichen Geschwindigkeit des PV-Ausbaus bieten die erarbeiteten Ausbaupfade eine Orientierung. Es empfiehlt sich dabei, die möglichen Varianten der Entwicklung der Marktsegmente zu berücksichtigen.

Vor diesem Hintergrund wird empfohlen, das PV-Ausbauziel von 4,4 GW zu überprüfen und ggf. zu erhöhen. Im Vergleich zu den aktuellen Zielsetzungen auf Bundesebene erscheint eine Zielsetzung in der Größenordnung von 9 GW für Berlin adäquat zu sein. Dieses sollte allerdings im Rahmen einer Gesamtenergiesystembetrachtung ermittelt werden. Die Neuberechnung des PV-Potenzials hat gezeigt, dass ein solches Ziel erreichbar ist. Unabhängig von einer Zielsetzung sollte die langfristige Stromnetzausbauplanung den Marktausbau auf ein solches Niveau als mögliches Zielszenario berücksichtigen. Zusätzlich empfiehlt es sich, die Anteile der Marktsegmente bezüglich der räumlichen Verteilung des PV-Ausbaus zu berücksichtigen.

Inhalt

Zusammenfassung	4
1 Einleitung	7
2 Aktualisierte PV-Potenzialerhebung für Berlin	9
2.1 Grundlagen der Potenzialermittlung	9
2.1.1 Potenzialbegriff	9
2.1.2 Vorgehensweise der PV-Potenzialermittlung	10
2.2 PV-Ziel und PV-Potenzialanalysen.....	12
2.2.1 Photovoltaik-Ausbauziel für Berlin	13
2.2.2 PV-Potenzialanalyse Masterplanstudie Solarcity Berlin (2019)	14
2.2.3 PV-Potenzialanalyse Energieatlas Berlin (2022).....	15
2.2.4 Diskussion der vorliegenden PV-Potenzialanalysen.....	17
2.3 Neuberechnung des Berliner PV-Potenzials	21
2.3.1 Berücksichtigung eines erhöhten PV-Modulwirkungsgrads	21
2.3.2 PV-Potenziale von Balkonsolaranlagen.....	22
2.3.3 PV-Potenziale über Pkw-Parkplätzen.....	24
2.3.4 Gebäudeneubau in Berlin bis zum Jahr 2045.....	26
2.3.5 Übersicht Neuberechnetes Berliner PV-Potenzial 2045.....	27
3 PV-Ausbaupfade von 2024 bis 2045	29
3.1 Ausbauziele und Ausbaupfade.....	29
3.1.1 Historische PV-Marktentwicklung.....	29
3.1.2 Ausbauziele	30
3.1.3 Entwicklung der Ausbaupfade	31
3.2 Varianten der Ausbaupfade in Bezug auf die Anteile der Marktsegmente	34
3.2.1 Marktsegmente und deren Hemmnisse und Treiber	36
3.2.2 Ermittlung des Anteile der Marktsegmente im Startjahr und im Zieljahr.....	40
3.2.3 Entwicklung der Marktsegmente im zeitlichen Verlauf von 2024 bis 2045 ...	43
3.3 Zusammenfassung Ausbaupfade	51
4 Anhang: Daten	53
5 Literaturverzeichnis	58

1 Einleitung

Die Klimaerhitzung schreitet weltweit deutlich voran, mit 1,45 Grad Celsius über dem vorindustriellen Niveau lag die globale Mitteltemperatur im Jahr 2023 so hoch wie noch nie seit Messbeginn [7]. In Berlin sind wie in anderen Städten die Auswirkungen des Temperaturanstiegs zunehmend spürbar unter anderem in Form von Dürreperioden, Hitzeinseln und Starkregenereignissen [8]. Berlin verfolgt deshalb seit vielen Jahren eine Klimaschutzpolitik mit dem Ziel, bis zum Jahr 2045 klimaneutral zu werden [9].

Eine klimaneutrale Energieversorgung erfordert eine Dekarbonisierung der Energieerzeugung, eine Erhöhung der Energieeffizienz und eine Transformation der Energieinfrastruktur in der Stadt, insbesondere der Strom-, Wärme- und Gasnetze. Dabei müssen die Stromverteilnetze deutlich ausgebaut werden, da durch die Elektrifizierung der Wärmeversorgung und der Mobilität der Strombedarf und die Lastspitzen und durch den dezentralen Ausbau der Photovoltaik (PV) die Einspeisung von Solarstrom und damit die Erzeugungs- und Einspeisespitzen im gesamten Verteilnetz zunehmen werden.

Eine wichtige Grundlage für die Ausbauplanung des Berliner Stromnetzes ist eine belastbare Abschätzung der zu erwartenden installierten PV-Leistung in der Stadt. Diese wird nach oben begrenzt durch das vorhandene Potenzial an Installationsflächen und hängt in der Realität davon ab, in welchem Umfang dieses Potenzial tatsächlich erschlossen und genutzt wird. Das Berliner Abgeordnetenhaus hat das Ziel, Solarcity zu werden und das Ziel vorgegeben, „möglichst schnell ein Viertel der Berliner Stromversorgung durch Solarenergie zu decken“ [4]. Um dies zu erreichen, wurde der Masterplan Solarcity Berlin erarbeitet. In der zugrundeliegenden Masterplanstudie wurde im Jahr 2019 ermittelt, dass zur Zielerreichung die Installation einer PV-Leistung von etwa 4.400 MW erforderlich ist. Zur Überprüfung der Machbarkeit wurde das PV-Potenzial in der Stadt auf den Gebäudedächern untersucht, das mit 8,98 GW ermittelt wurde [5]. Im Jahr 2022 wurde im Berliner Energieatlas eine weitere PV-Potenzialanalyse veröffentlicht, die mit einer etwas anderen Methodik einen fast identischen Wert für das Berliner PV-Potenzial von 8.89 MW ermittelt hat [10].

Die Zielsetzung des Masterplans Solarcity bezieht sich auf das Jahr 2050, wobei in der Masterplanstudie auch als Alternative eine Marktentwicklung mit dem Zieljahr 2035 ausgewiesen hat. In § 3 EWG Berlin (Berliner Klimaschutz- und Energiewendegesetz) wurde im Jahr festgelegt, dass die Klimaneutralität von Berlin bis zum Jahr 2045 erreicht werden soll. Dies entspricht der Zielsetzung auf Bundesebene, wo im § 3 KSG (Bundes-Klimaschutzgesetz) festgelegt wurde, dass bis zum Jahr 2045 die Netto-Treibhausgasneutralität erreicht werden soll. Vor diesem Hintergrund wird in dieser Studie davon ausgegangen, dass das PV-Ausbauziel für Berlin bis zum Jahr 2045 erreicht werden soll.

Der Ausbau der Photovoltaik hat in Berlin seit dem Start des Masterplan Solarcity deutlich an Dynamik gewonnen, so lag die im Jahr 2023 neu installierte PV-Leistung mit 77,3 MW zehnmal so hoch wie im Jahr 2018 mit 7,5 MW. Bis Ende 2023 stieg die gesamt installierte PV-Leistung in Berlin auf 272 MW, was in Bezug auf die Masterplan-Ausbauszenarien leicht über der Leistung liegt, die erforderlich ist, um bis 2050 das Ziel von 4.400 MW zu erreichen, aber deutlich unter der Leistung, die erforderlich wäre, um das Ziel bereits im Jahr 2035 zu erreichen. [6]

Ursachen für den beschleunigten PV-Zubau sind einerseits die Marktimpulse, die die Aktivitäten im Rahmen des Masterplans Solarcity Berlin auslösen, andererseits aber auch eine Verschärfung der Zielsetzung für den Ausbau erneuerbaren Energien durch die Bundesregierung und die damit verbundenen Verbesserungen der Rahmenbedingungen zur Nutzung von PV-Anlagen. So wurden in den Jahren 2022 und 2023 die Vergütungssätze teilweise erhöht und verschiedene Vereinfachungen bei der PV-Nutzung erlassen mit dem Ziel, bis zum Jahr 2030 den Anteil der Erneuerbaren Energien am Stromverbrauch in Deutschland auf 80 % zu steigern [11]. Hinzu kommt ein steigendes Interesse der Bürgerinnen und Bürger an einer eigenen Stromerzeugung infolge des russischen Kriegs gegen die Ukraine sowie deutlich gesunkene Preise für PV-Anlagen und Batteriespeicher, die dies erleichtern.

Bei den bisher vorliegenden PV-Potenzialberechnungen wurden einige Randbedingungen relativ eng gefasst, beispielsweise wurden die Potenziale nur auf den aktuellen Gebäudebestand und nur auf die Gebäudedächer bezogen. Weiter wurde die künftig zu erwartende Steigerung der PV-Modulwirkungsgrade nur ungenügend berücksichtigt. Deshalb liegt nach heutiger Kenntnis das tatsächlich vorhandene PV-Potenzial deutlich höher als bisher angenommen. Um den künftigen Stromnetz-Ausbaubedarf auf einer belastbaren Datengrundlage in Bezug auf die künftig möglicherweise installierte PV-Leistung und resultierende Solarstromerzeugung zu beziehen, wurde das Fraunhofer ISE von der BEN Berlin Energie und Netzholding GmbH als Muttergesellschaft der Stromnetz Berlin GmbH beauftragt, die Potenzialermittlungen zu aktualisieren. Die vorliegende Studie stellt die Ergebnisse der Neuberechnung des Berliner PV-Potenzials auf Basis heutiger Kenntnisse vor.

Im ersten Teil der Studie (Kapitel 2) werden die vorliegenden PV-Potenzialberechnungen analysiert, der Aktualisierungsbedarf bei den Annahmen diskutiert und das PV-Potenzial für Berlin neu berechnet. Im zweiten Teil (Kapitel 3) wird untersucht, wie stark der PV-Marktausbau in Berlin auf Basis der Neuberechnung des PV-Potenzials sein könnte und wie die Marktentwicklung von heute bis zur möglichen Zielerreichung im Jahr 2045 sein könnte. Hierzu wurden die Marktanteile und Hemmnisse der verschiedenen Marktsegmente (Ein-Zwei-Familienhäuser (EZFH), Mehrfamilienhäuser (MFH), Gewerbebauten, öffentliche Gebäude etc.) analysiert und für diese mögliche Ausbaupfade entwickelt und variiert. Das Verständnis der Beiträge der verschiedenen Marktsegmente ermöglicht es, die Maßnahmen zur Stimulation dieser Segmente gezielt zu planen und eröffnet auch die Möglichkeit, die räumliche Verteilung der künftigen PV-Leistung in Berlin abzuschätzen, da die verschiedenen Marktsegmente räumlich unterschiedlich verteilt sind.

In diesem Kapitel wird das PV-Potenzial für Berlin auf Basis aktualisierter Annahmen neu berechnet. Zuerst werden dazu in Kapitel 2.1 die Grundlagen der PV-Potenzialermittlung vorgestellt und der Einfluss der Eingangsdaten auf das Potenzial erläutert. In Kapitel 2.2 werden die Potenzialanalysen des Masterplans Solarcity Berlin und des Energieatlas Berlin vorgestellt und deren Eingangsdaten und die Ergebnisse verglichen. Abschließend wird in Kapitel 2.3 das neue PV-Potenzial für Berlin basierend auf aktualisierten Eingangsdaten dargestellt.

2.1 Grundlagen der Potenzialermittlung

2.1.1 Potenzialbegriff

Unter dem PV-Potenzial einer Stadt wird üblicherweise das **technische Potenzial** der Solarstromerzeugung verstanden, das der maximal in der Stadt installierbaren PV-Leistung entspricht, wenn alle verfügbaren und prinzipiell zur Solarstromgewinnung geeigneten Installationsflächen vollständig zur Solarstromerzeugung genutzt, d.h. mit Solarmodulen belegt werden. Nicht berücksichtigt werden dabei die Installationsflächen, die zwar theoretisch nutzbar, aber aus technischen Gründen nicht zur Verfügung stehen oder ungeeignet sind, beispielsweise Dachflächen, auf denen Dachfenster oder Antennenanlagen installiert sind, die als Fluchtwege ausgewiesen sind oder die sich innerhalb von Sicherheitsabständen z.B. zu Dachkanten befinden.

Allerdings werden im Rahmen von technischen Potenzialen üblicherweise indirekt auch ökonomische Aspekte berücksichtigt, indem beispielsweise Installationsflächen ausgeschlossen werden, die teilweise verschattet oder die in nördliche Richtungen ausgerichtet sind. Auf diesen Dachflächen könnten zwar PV-Module installiert werden, wenn jedoch aufgrund der Ausrichtung und/oder Verschattung der Solarstromertrag deutlich geringer ist als üblich und damit die Stromgestehungskosten deutlich höher sind, werden diese Flächen üblicherweise nicht als technisches Potenzial gewertet. Der Begriff technisches Potenzial ist deshalb als vereinfachte Bezeichnung zu verstehen und sollte genaugenommen **technisch sinnvoll nutzbares Potenzial** heißen.

Beispielsweise hat in Berlin eine nach Süden ausgerichtete Solarfassade einen Solarstromertrag, der 28 % niedriger liegt als eine optimal ausgerichtete Dachfläche (40° nach Süden geneigt). Ist die Solarfassade nach Norden ausgerichtet, liegt der Solarstromertrag allerdings 82 % niedriger als bei 40° Neigung nach Süden. Bei einem solch niedrigen Solarstromertrag ist es nicht mehr sinnvoll, diese Flächen zur Stromgewinnung zu nutzen, deshalb werden sie nicht zum technischen Potenzial gezählt. Welcher Solarstromertrag und somit welche Ausrichtung und Neigung noch akzeptabel sind, hängt von den Kosten und dem Ertrag der PV-Anlage und den Strombezugskosten im Vergleich ab. Deshalb sind die Grenzwerte für den Ausschluss von Installationsflächen und damit für das technisch noch sinnvoll nutzbare PV-Potenzial nicht fix, sondern werden jeweils von

den Erstellern der Potenzialanalysen individuell festgesetzt. **Das technisch sinnvoll nutzbare Potenzial ist somit von ökonomischen Bedingungen beeinflusst, die sich mit der Zeit ändern können, weshalb sich auch die Potenziale ändern können.**

In dieser Studie werden die Annahmen bisheriger PV-Potenzialermittlungen geprüft und dann mit korrigierten Eingangsdaten ein aktualisiertes technisch sinnvoll nutzbares PV-Potenzial für die Stadt Berlin unter den heute bekannten Rahmenbedingungen ermittelt. **Im Folgenden wird vereinfacht von PV-Potenzial gesprochen, gemeint ist jedoch das technisch sinnvoll nutzbare PV-Potenzial.**

2.1.2

Vorgehensweise der PV-Potenzialermittlung

Als PV-Potenzial wird üblicherweise die **maximal installierbare PV-Leistung** bezeichnet. Teilweise wird auch die maximal erzeugbare Solarstrommenge als PV-Potenzial bezeichnet. Diese ist relevant bezüglich des möglichen Beitrags der Photovoltaik zur Stromerzeugung. Da allerdings der Solarstromertrag pro installierter PV-Leistungseinheit einerseits von der konkreten Ausrichtung der installierten Flächen und andererseits von der Einstrahlung auf diese Flächen abhängt und beide Parameter Veränderungen unterliegen können, wird üblicherweise die maximal installierbare PV-Leistung als PV-Potenzial angegeben und bei Bedarf der Solarstromertrag daraus berechnet.

Die maximal installierbare PV-Leistung wird in zwei Schritten ermittelt, zuerst werden die verfügbaren Installationsflächen identifiziert und dann die PV-Leistung der darauf installierbaren PV-Module berechnet.

Die generelle Vorgehensweise der PV-Potenzialermittlung innerhalb einer Stadt ist in Abbildung 1 für die verschiedenen Arten von Installationsorten dargestellt.

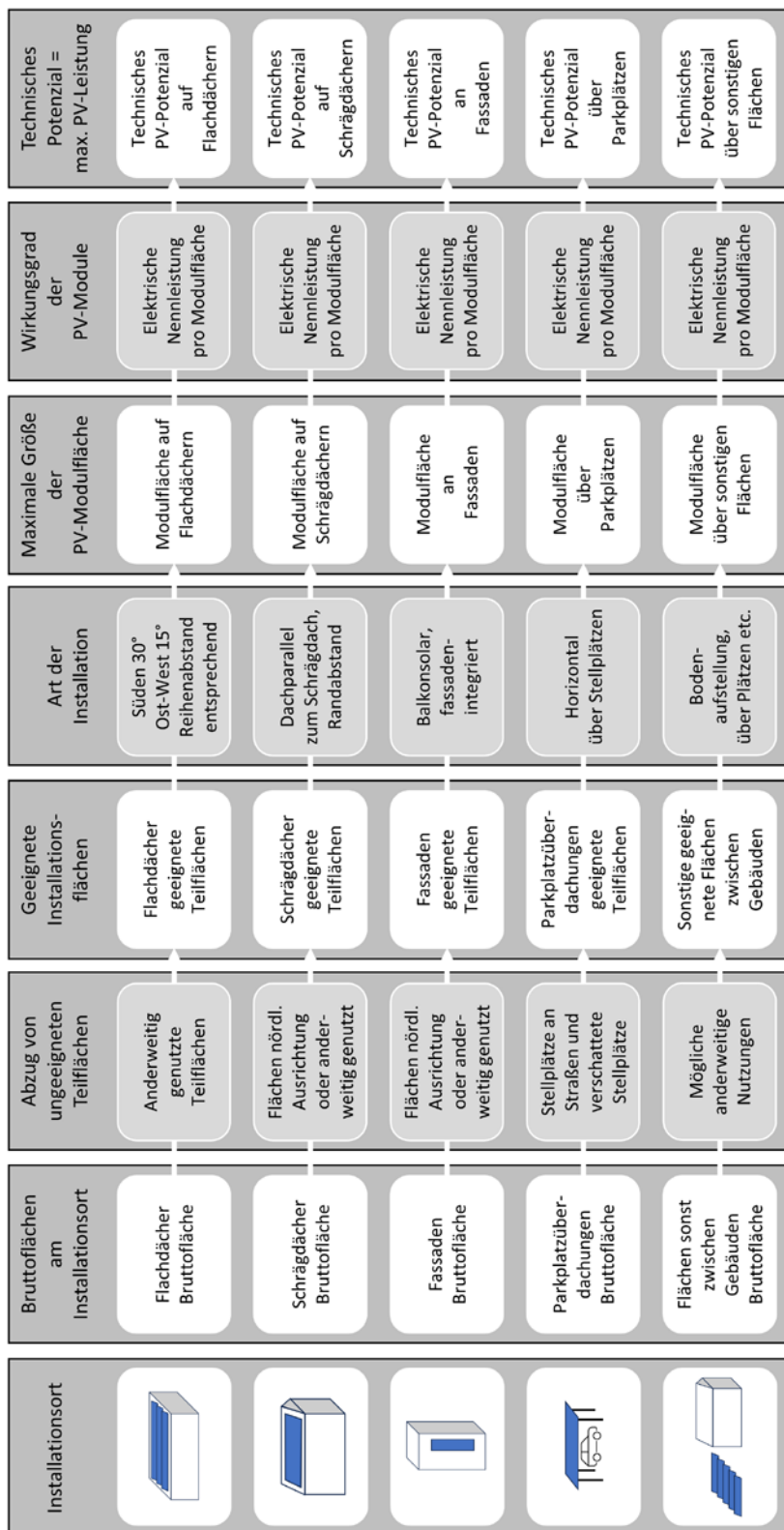


Abbildung 1: Schritte zur Ermittlung des technischen PV-Potenzials in Abhängigkeit der Installationsorte

Folgende Faktoren fließen in die Berechnung des PV-Potenzials ein, weshalb die diesbezüglich genutzten Annahmen und Randbedingungen die Ergebnisse deutlich beeinflussen können:

1. **Installationsorte**

In Städten werden als Installationsflächen für PV-Anlagen oftmals nur die Dachflächen berücksichtigt, zusätzlich können jedoch auch die Fassadenflächen von Gebäuden, Parkplatzüberdachungen und sonstige Flächen zwischen Gebäuden im urbanen Raum genutzt werden.

2. **Mengengerüst Gebäude und sonstige Installationsflächen**

Die Brutto-Installationsfläche hängt von der Zahl und Größe der Gebäude und der Größe sonstige Flächenarten ab, die sich jedoch mit der Zeit ändern und je nach Entwicklungsdynamik der Stadt wachsen oder schrumpfen können.

3. **Ungeeignete Teilflächen**

Von der Brutto-Installationsfläche werden für die Installation von PV-Modulen ungeeignete Teildachflächen abgezogen, dazu gehören u.a. Flächen für konkurrierende Dach- und Flächennutzungen (z.B. Dachfenster oder technische Anlagen), zu kleine Teilflächen, teilweise oder vollständig verschattete Flächen, Flächen mit geringer Einstrahlung aufgrund ihrer Ausrichtung (z.B. Nordfassaden) und bautechnisch ungeeignete Flächen (z.B. unzureichende Dachstatik).

4. **Art der Installation der PV-Module**

Die Installationsart beeinflusst die maximale Modulfläche, die auf einer Installationsfläche installiert werden kann. Beispielsweise können auf Flachdächern mehr PV-Module und damit eine höhere PV-Leistung installiert werden, wenn die Modulreihen abwechselnd nach Osten und Westen statt nur nach Süden geneigt installiert werden, da so geringere Reihenabstände möglich sind.

5. **Wirkungsgrad der PV-Module**

Je größer der Wirkungsgrad der PV-Module ist, desto größer ist die PV-Leistung, die pro m² Modulfläche installiert wird.

Die im Folgenden vorgestellten Potenzialanalysen unterscheiden sich in diesen Parametern und kommen unter anderem deshalb zu unterschiedlichen Ergebnissen.

2.2 PV-Ziel und PV-Potenzialanalysen

Im Folgenden werden zwei PV-Potenzialanalysen verglichen und die Gründe für die Unterschiede erläutert: die dem Masterplan Solarcity zugrundeliegende Potenzialanalyse aus dem Jahr 2019 und die aktuell im Internet verfügbare Potenzialanalyse des Berliner Energieatlas aus dem Jahr 2022. Zuvor wird noch das PV-Ausbauziel für Berlin vorgestellt, da die genannten Potenzialanalysen mit Ziel erstellt wurden, die Erreichbarkeit des Ausbauziels zu belegen.

2.2.1

Photovoltaik-Ausbauziel für Berlin

Am 25.01.2018 hat das Abgeordnetenhaus Berlin das Berliner Energie- und Klimaschutzprogramm 2030 (BEK 2030), Umsetzungszeitraum 2017 bis 2021, verabschiedet. Die darin enthaltene Maßnahme E-4 „Solare Potenziale heben – Masterplan „Solarcity“ soll dazu beitragen, die Solarpotenziale „zeitnah und zuverlässig in Nennenswerter Höhe zu erschließen“. Als Zielsetzung wurde beschlossen, „möglichst schnell ein Viertel der Berliner Stromversorgung durch Solarenergie zu decken“ [12].

Die Zielsetzung, 25 % Solarstrom in Berlin zu erreichen, erfolgte auf folgender Basis:

- Im Jahr 2014 wurde im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt die **Machbarkeitsstudie Klimaneutrales Berlin 2050** erarbeitet. Darin wurde im Zielszenario 2 für das Jahr 2050 ein erschließbares PV-Potenzial ermittelt, mit dem jährlich 3,7 TWh Solarstrom auf Dächern und Fassaden erzeugt werden kann, wobei die Solarflächen zu je 50 % für die Solarwärme und die Solarstromerzeugung genutzt werden sollten. (siehe S. 95, S. 98 in [13])
- Es wurde angenommen, dass die Bruttostromerzeugung von 2010 mit 9,3 TWh/a auf 15,6 TWh/a im Jahr 2050 im Zielszenario 2 ansteigt. Mit dem erschließbaren PV-Potenzial von 3,7 TWh/a kann somit ein **Anteil der Solarstromerzeugung von 23,9 %** an der Bruttostromerzeugung erreicht werden (siehe S. 159 in [13]).
- Das **vom Abgeordnetenhaus gesetzte Solarziel von 25 %** aus dem Jahr 2018 ist das Ergebnis der Aufrundung des Solarstromanteils von 23,9 %. Daraus ergibt sich, dass 3,9 TWh/a Solarstrom von PV-Anlagen erzeugt werden müssen. Laut Berechnungen der Masterplanstudie ist dafür eine **PV-Leistung von 4,4 GW** erforderlich (siehe S. 22 in [5]).
- Das Solarziel der Machbarkeitsstudie aus dem Jahr 2014 bezog sich auf die Bruttostromerzeugung, das Solarziel des Abgeordnetenhauses im Jahr 2018 bezog sich jedoch auf den Strombedarf von Berlin, der in der Machbarkeitsstudie für 2050 mit 16,7 TWh/a angenommen wurde, d.h. dass 93 % des Strombedarfs in Berlin erzeugt wird. Bezieht man die Solarstromerzeugung von 3,7 TWh/a auf den Strombedarf, beträgt ihr Anteil 22,3 % (siehe S. 92 in [13]). Aufgrund der geringen Differenz ist der **Bezugswechsel von der Stromerzeugung zum Strombedarf** in der Zielsetzung unproblematisch.
- Das technische PV-Potenzial ist in der Machbarkeitsstudie nicht quantifiziert. Die Potenzialflächen wurden zu je 50 % für die Solarthermie und die Photovoltaik eingesetzt. Heute geht man jedoch davon aus, dass der Solarthermiefläche wesentlich geringer ist als die PV-Fläche, weshalb ein größerer Anteil von der PV genutzt werden kann. Weiter wurden von der Dachfläche nur 22,4 % und von der Fassadenfläche nur 4 % genutzt (siehe S. 98 in [13]). , Somit ist das technische Potenzial entsprechend der Machbarkeitsstudie deutlich höher als das erschließbare Solarpotenzial, das zu einem Anteil von 22,3 % am Strombedarf führt.

2.2.2 PV-Potenzialanalyse Masterplanstudie Solarcity Berlin (2019)

Im Jahr 2019 wurde die Expertenempfehlung zum Masterplan Solarcity Berlin erarbeitet, die aus der Masterplanstudie, die die technischen und sozio-ökonomischen Grundlagen zum Ausbau der Photovoltaik untersucht, sowie einem Maßnahmenkatalog zur Umsetzung des Masterplans besteht [5]. Um die Plausibilität der Zielsetzung und die Herausforderungen für die Zielerreichung bewerten zu können, wurde in der Masterplanstudie das PV-Potenzial auf Gebäudedächern ermittelt. Ermittelt wurde ein **Solarpotenzial auf den Berliner Gebäudedächern von 8,98 GW**. Weiter wurde ermittelt, dass zur Erreichung des Ziels von 25 % Solarstrom an der Berliner Stromversorgung und somit **zur Erreichung des Solarcity-Ziels eine PV-Leistung von 4,4 GW erforderlich** ist (siehe Abbildung 2). Da das ermittelte Solarpotenzial auf Dächern mehr als doppelt so groß wie die angestrebte Zielsetzung war, wurde davon ausgegangen, dass das Ziel realistisch erreichbar ist.

Szenario	Einheit	Basis	Max	PV 25%*
Modulfläche	Mio. m ²	35,8	40,8	20,0
Potenzial Photovoltaik-Leistung	MWp	6.437	8.981	4.400
Potenzial Solarstromertrag	GWh/a	5.684	7.931	3.900
Potenzial Solarstromertrag	PJ/a	20,4	28,5	14,0
Anteil am Stromerzeugung 2050	%	36%	51%	25%

* Das Szenario PV 25% wurde aus dem Max-Szenario durch Skalierung auf 25 Prozent Solarstromerzeugung im Jahr 2050 berechnet und die Werte auf 2 Stellen gerundet.

Abbildung 2: Ergebnis der PV-Potenzialanalyse des Masterplan Solarcity Berlin für die Szenarien Basis und Max sowie die Angabe für das Masterplan (Tabelle 18 in [5])

Die Potenzialanalyse basiert auf dem Berliner Gebäudebestand im Jahr 2018 und wurde durch Verschneidung des amtlichen Liegenschaftskataster-Informationssystems Berlin (ALKIS) mit einem 3D-Stadtmodell erstellt. Aus den Bruttodachflächen, die von den Außenmaßen der Dachflächen begrenzt werden, wurden die anderweitig genutzten Teilflächen wie z.B. für Gauben, Dachfenster und Dachaufbauten durch einen pauschalen Abschlagsfaktor abgezogen. Dieser wurde aus den Daten des Energieatlas berechnet, der zu diesem Zeitpunkt auf Daten aus dem Jahr 2007 beruhte. Aus der berechneten Nettodachfläche wurden die Solarinstallations-Eignungsflächen abgeleitet, indem Flächen, die nicht der erforderlichen Mindestgröße und die aufgrund ihrer Ausrichtung nicht die erforderliche Mindesteinstrahlung aufweisen, sowie freizuhaltende Abstandsflächen ausgeschlossen wurden. Unter der Annahme, dass die Solarinstallationsfläche vollständig mit Photovoltaikmodulen sowohl auf Schrägdächern als auch auf den Flachdächern belegt werden können, wurde die Modulfläche ermittelt. Aus der Modulfläche wurden auf Basis der Annahme eines durchschnittlichen Modulwirkungsgrades die PV-Leistung und unter der Berücksichtigung des Systemwirkungsgrades und der Solarstrahlung in Abhängigkeit der Modulflächenausrichtung der Solarstromertrag berechnet. Die Vorgehensweise und die verwendeten Annahmen und Parameter sind in der Masterplanstudie detailliert beschrieben [5].

2.2.3

PV-Potenzialanalyse Energieatlas Berlin (2022)

Eine weitere PV-Potenzialanalyse wurde im Jahr 2022 für den Energieatlas Berlin erarbeitet und veröffentlicht [14] (siehe Abbildung 3). Dabei wurde im Vergleich zum Masterplan eine andere Methodik unter Nutzung einer detaillierteren Datenbasis angewandt. Das PV-Potenzial bezieht sich dabei auf aktuellere Daten wie den Gebäudebestand im Jahr 2020. Die Potenzialanalyse wurde von der Firma IP Syscon im Auftrag der Senatsverwaltung für Wirtschaft, Energie und Betriebe erstellt und kommt zum Ergebnis, dass das **PV-Potenzial in Berlin 8,89 GW** beträgt, welches fast identisch ist mit dem im Masterplan ermittelten Potenzial. [10, 14]



Abbildung 3: Ausschnitt Energieatlas Berlin, dachscharfe Darstellung des PV-Potenzials
Quelle: Umweltatlas Berlin / Photovoltaik Potenzial

Zur Erstellung der PV-Potenzialanalyse im Energieatlas Berlin wurde folgende Methodik angewandt bzw. folgende Eingangsdaten und Annahmen verwendet [10]:

- **Untersuchungsgebiet:** Betrachtet wurde die Stadt Berlin mit 891,8 km² Grundfläche und 535.722 Gebäuden.
- **Gebäudedaten:** Es wurden die Gebäudeumrisse aus dem deutschen Liegenschaftskataster mit dem Stand 22.04.2021 genutzt.
- **Methodik zur Ermittlung von Eignungsflächen:** Ausgewertet wurden hochaufgelöste Luftbilder von ganz Berlin, die im Jahr 2020 aufgenommen wurden. Daraus wurde ein 3D-Modell in der Auflösung 0,5 m x 0,5 m erstellt und dafür die solare Einstrahlung simuliert. Damit wurde auch die gegenseitige Verschattung von Gebäuden berücksichtigt.
- **Mindestgröße der Teildachflächen:** Da bei kleinen Dachflächen die installierbare PV-Leistung gering und damit pro kW Leistung die Kosten relativ hoch sind, wurde eine Mindestgröße der Installationseignungsflächen festgelegt. Diese bezieht sich auf jede einzelne Teildachfläche, da auch bei Addition mehrerer kleiner Teildachflächen der Installationsaufwand und damit die Kosten

steigen. Die Mindestgröße der Teildachfläche beträgt 7 m² für Schrägdächer und 8,75 m² für Flachdächer. Weiter muss die Form der Teildachfläche die Installation von mindestens einem PV-Modul mit dem Maß 1.700 mm x 1.020 mm ermöglichen.

- **Berechnung der geeigneten Modulfläche:** Simuliert wurde die Modulbelegung auf den Teildachflächen unter der Annahme einer Modulgröße von 1.700 mm x 1.020 mm. Ein Randstreifen zur Außenkante der Teildachfläche von 0,3 m Breite wurde nicht mit PV-Modulen belegt. Es wurde die Anzahl der Module und damit die PV-Modulfläche berechnet, die vollständig bei vertikaler Ausrichtung auf der Dachfläche installiert werden kann. Bei Flachdächern wurde ermittelt, wie viele Module plan auf dem Dach verlegt werden können.
- **Solare Einstrahlungsdaten:** Verwendet wurden 30-jährige Mittelwerte für die solare Einstrahlung aus dem Zeitraum 1981 bis 2010 für jeden Monat kalibriert für den Standort Berlin. Diese wurden vom Deutschen Wetterdienst bezogen. Die mittlere horizontale Globalstrahlung für Berlin betrug unter diesen Bedingungen 1.032 kWh/m² pro Jahr¹.
- **Verschattung:** Mit Hilfe des 3D-Modells und der Modellierung der Einstrahlung wurde der Grad der Verschattung von Dachflächen z.B. durch benachbarte Gebäude, Dachaufbauten, Geländeerhöhungen und Bäume berücksichtigt. Dachflächen, bei denen die Einstrahlung aufgrund der Verschattung um mehr als 20 % reduziert ist, wurden ausgeschlossen.
- **Mindestsolarstromertrag:** Als geeignet werden die Dachflächen betrachtet, die einen Solarstromertrag von 650 kWh/kW aufweisen. Bei einer Performance Ratio für die PV-Anlage von 80 % entspricht dies einer solaren Einstrahlung auf die Dachfläche von 812 kWh/(m²a).
- **PV-Modulwirkungsgrad:** Für die Potenzialermittlung wurde der PV-Modulwirkungsgrad verwendet, der zum Zeitpunkt der Erstellung der Berechnungen markttypisch war und 19,5 % betrug. Der Wirkungsgrad gibt an, welcher Anteil der solaren Einstrahlungsenergie, die auf das PV-Modul trifft, in Solarstrom umgewandelt wird.

Auf dieser Basis wurde eine maximal installierbare PV-Modulfläche von 45,67 Mio m² und ein **PV-Potenzial von 8,89 GW Leistung** berechnet.

Die Gebäudedaten stehen im Energieatlas als Geoinformationsdaten (GIS) mit zwei verschiedenen Layern zur Verfügung. Ein Layer beinhaltet die Geometrien der Grundflächen aller Gebäude Berlins. Im zweiten Layer sind die ermittelten, für die Installation von PV-Anlagen geeignete Dachflächen enthalten.

¹ Die mittlere jährliche Globalstrahlung hat in den letzten 3 Dekaden um 9,9 % in Deutschland zugenommen, diese stieg in Berlin von 969 kWh/m² im Zeitraum 1983 bis 1990 auf 1116 kWh/m² im Zeitraum 2011 bis 2020 an und liegt damit aktuell deutlich über dem angesetzten Wert von 1.032 kWh/m² [15].

2.2.4

Diskussion der vorliegenden PV-Potenzialanalysen

Die in der Masterplanstudie und für den Energieatlas ermittelten PV-Potenziale sind fast identisch, obwohl sie auf unterschiedlicher Methodik beruhen. Die Analyse zeigt, dass einzelne Randbedingungen und Annahmen sich deutlich unterscheiden, die daraus resultierenden Wirkungen auf das PV-Potenzial sich allerdings weitgehend aufheben.

Im Folgenden werden die wesentlichen Einflussfaktoren der PV-Potenzialanalysen erläutert und die in der Masterplanstudie und in der Potenzialanalyse für den Energieatlas getroffenen Annahmen bzw. gesetzten Randbedingungen verglichen.

- **Definition der PV-Potenziale**

Im Allgemeinen ist damit das technische PV-Potenzial gemeint, sprich die PV-Leistung, die maximal aufgrund von physikalisch-technischen Beschränkungen (insbesondere der verfügbaren Installationsfläche) im Bezugsgebiet installiert werden kann.

In der Praxis sind dabei allerdings meist auch zusätzliche ökonomische Restriktionen berücksichtigt, wie eine Mindesteinstrahlung auf die Installationsfläche (z.B. Ausschluss von nördlich orientierten und stark verschatteten Flächen) und eine Mindestgröße der Installationsfläche. Zusätzlich können auch regulative Bedingungen berücksichtigt sein wie der Ausschluss von Flächen auf Denkmälen.

- **Verwendeter Gebäudedatensatz**

Generell muss das betrachtete Gebiet in seiner geografischen Ausdehnung eindeutig definiert sein, um die zu berücksichtigenden Gebäude festzulegen (die innerhalb des Gebietes liegen). Wenn Potenzialanalysen verglichen werden, müssen sie sich auf dasselbe Untersuchungsgebiet beziehen. Das PV-Potenzial Berlin bezieht sich auf die Gemarkung des Landes Berlin.

Ein wichtiger Einflussfaktor ist der Zeitpunkt, an dem der Gebäudedatensatz erstellt wurde. Da sich die Zahl der Gebäude durch Zubau und Abriss ständig verändert, kann der Zeitpunkt eine wichtige Rolle spielen, besonders wenn es sich um eine dynamisch wachsende Stadt wie Berlin handelt.

Der 3D-Gebäudedatensatz, der als Grundlage für die Potenzialanalyse des Masterplans Solarcity diente, stammte aus dem Jahr 2013. Der Gebäudedatensatz, der zur Potenzialanalyse im Energieatlas verwendet wurde, stammte dagegen aus dem Jahr 2021 und umfasst somit die zwischenzeitlich hinzugekommenen Neubauten.

Unterschiede ergeben sich auch aus der Datenart. So basierte die Potenzialanalyse des Masterplans Solarcity Berlin auf der Auswertung des 3D Gebäudemodells für Berlin. Die Potenzialanalyse des Energieatlas dagegen wertete die Fotos aus den Überfliegungen aus, wobei die Gebäudeumrisse aus der ALKIS Datenbank entnommen wurden.

Die in der Masterplanstudie ermittelte Gebäudeanzahl (533.190) unterscheidet sich jedoch nur unwesentlich vom Energieatlas (535.722), was nahelegt, dass beide Verfahren belastbar sind.

- **Bezugsjahr der Potenzialanalyse**

Da sich die Zahl der Gebäude und damit die möglichen Installationsflächen

sowie weitere Randbedingungen, wie z.B. der Wirkungsgrad der PV-Module, mit der Zeit deutlich verändern können, ist die Festlegung des Bezugsjahres der Potenzialanalyse wichtig. Wird das Potenzial auf das aktuelle Datum und damit den aktuellen Gebäudebestand bezogen, wie dies bei der Masterplanstudie und dem Energieatlas bezüglich der Gebäudedatensätze der Fall ist, dann ist es beispielsweise sinnvoll, den aktuellen PV-Modulwirkungsgrad anzusetzen. Mit diesem Vorgehen kann die Frage beantwortet werden „Welche PV-Leistung könnte heute bereits installiert sein und welcher Anteil davon ist tatsächlich installiert“.

Wird die PV-Potenzialanalyse allerdings durchgeführt mit dem Ziel, die mögliche Rolle der Photovoltaik in der Transformation des Energiesystems insgesamt zu bewerten, ist die Betrachtung des unter heutigen Randbedingungen erschließbaren PV-Potenzials nicht ausreichend. Stattdessen müssen die aktuellen Randbedingungen für das künftige Bezugsjahr, z.B. das Jahr 2045, projiziert werden. Damit kann dann die Frage beantwortet werden: „Was ist der maximal mögliche Beitrag der Photovoltaik zur klimaneutralen Stromversorgung der Stadt im Jahr 2045 und wie stark müsste das Stromnetz ausgebaut werden, um diese Zusatzbelastungen aufnehmen zu können“.

- **Berücksichtigte Installationsorte**

In den Städten dominieren die Gebäudedächer (Flach- und Schrägdach) als Installationsort für PV-Anlagen, da üblicherweise die Solarstromerzeugung ohne Einschränkung der Funktionalität des Daches erfolgen kann. Allerdings kommen auch Gebäudefassaden, Überdachungen von Verkehrsflächen und Pkw-Stellplätzen sowie die Installation auf sonstigen Freiflächen im urbanen Raum für die Installation von PV-Anlagen in Frage.

Da die Gebäudedächer den größten Anteil am PV-Potenzial haben und bei den weiteren Installationsorten andere, teilweise schwer bewertbare Barrieren vorhanden sind (z.B. Mehrkosten für die bauliche Integration bei PV-Fassaden, Verkehrssicherheit bei Verkehrswegen, Kosten, Sicherheit und mögliche Verschattung bei Pkw-Stellplätzen und Nutzungskonkurrenzen bei Freiflächenanlagen), wurden in der Masterplanstudie und dem Energieatlas nur die Gebäudedächer als Installationsorte berücksichtigt.

- **Ausschluss von Gebäuden und Flächen**

Die technisch mögliche Installation von PV-Modulen auf vorhandenen Installationsflächen kann auch aufgrund von regulatorischen Rahmenbedingungen teilweise oder ganz ausgeschlossen sein. Wird davon ausgegangen, dass sich diese Rahmenbedingungen nicht ändern, ist es sinnvoll, dieses PV-Potenzial nicht zu berücksichtigen.

Berlin weist eine hohe Zahl von Denkmälern auf, konkret 9,5 % aller Gebäude, die 19,5 % der Bruttodachfläche aller Gebäude aufweisen [5]. Da die Installation von PV-Anlagen auf Denkmälern in der Praxis bislang nur in Ausnahmefällen möglich ist, wurde das PV-Potenzial auf Denkmälern in der Masterplanstudie nicht berücksichtigt. Im Gegensatz dazu wurden beim PV-Potenzial im Energieatlas Denkmäler nicht herausgerechnet, so dass das PV-Potenzial auch die Dachflächen auf Denkmälern umfasst.

- **Mindestgröße der Teildachflächen**

Unterhalb einer Mindestgröße ist eine Teildachfläche aus ökonomischen Gründen nicht sinnvoll nutzbar, da die spezifischen Kosten steigen, je kleiner die

Anlagenteile sind. Oder sie können aus technischen Gründen nicht installiert werden, da die Gestalt und Größe der Fläche keine Installation von PV-Modulen zulässt, beispielsweise wenn die Fläche zu schmal ist.

In Übereinstimmung mit anderen PV-Potenzialstudien wurde in der Masterplanstudie eine Mindestgröße von 45 m² bei Flachdächern und 15 m² bei Schrägdächern angenommen, die die Teildachflächen mindestens aufweisen müssen, um als PV-Potenzial tatsächlich berücksichtigt zu werden. Der Energieatlas dagegen lässt schon Flächen ab 8,75 m² auf Flachdächern und 7 m² auf Schrägdächern zu. Damit ist die berücksichtigte Dachfläche im Energieatlas erhöht um die Teilflächen, die zwischen 7 und 15 m² bei Schrägdächern und 8,75 und 45 m² bei Flachdächern groß sind.

Allerdings schränkt der Energieatlas die tatsächlich berücksichtigte Fläche dadurch ein, dass er in die Teilflächen PV-Module mit der Größe von 1,7 m x 1,02 m einpasst und nur die Fläche berücksichtigt, in der ganze Module Platz finden. Dadurch werden bei allen Teilflächen Randbereiche verworfen, wobei deren Anteil natürlich bei kleinen Flächen größer ist als bei großen.

- **Wirkungsgrad der PV-Module**

Die installierbare PV-Leistung für eine vorgegebene Modulfläche ist proportional zum Wirkungsgrad des PV-Moduls, der aufgrund der technologischen Fortschritte bei den Solarzellen und der Modultechnologie in den letzten Jahrzehnten kontinuierlich verbessert wurde. So ist der mittlere Modulwirkungsgrad von kristallinen Siliziummodulen von etwa 14,5 % Anfang 2012 auf 20,9 % Ende 2022 gestiegen, wobei die besten PV-Module am Markt einen Wirkungsgrad von etwa 24 % aufwiesen [16]. In ihrer Forschungs- und Innovationsstrategie hat die europäische Solarforschung und -industrie das Ziel definiert, den Modulwirkungsgrad von Siliziummodulen bis zum Jahr 2030 auf 25 % und die Lebensdauer auf 40 Jahre steigern. Mit Tandem-Solarzellen werden künftig sogar Modulwirkungsgrade über 30 % erwartet [17].

In der Masterplanstudie wurde vor dem Hintergrund eines Modulwirkungsgrads von etwa 18 % im Jahr 2018 von einem mittleren Modulwirkungsgrad der bis 2030 installierten PV-Module von 22 % ausgegangen. Der Energieatlas bezieht sich in seiner Berechnung auf einen Modulwirkungsgrad von 19,5 % im Jahr 2021. Somit wäre bei gleicher Modulfläche das PV-Potenzial in der Masterplanstudie um 13 % höher als im Energieatlas.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die beiden PV-Potenzialstudien verschiedene Vorgehensweisen, Mindestwerte und Annahmen aufweisen. Diese haben jeweils unterschiedlichen Einfluss auf das PV-Potenzial. Ein deutlicher Unterschied liegt darin, dass in der Masterplanstudie die PV-Potenziale auf den Denkmalen nicht berücksichtigt sind, im Energieatlas allerdings schon. Diese machen immerhin 9,5 % der Gebäude und 19,5 % der Bruttodachfläche aus. Deutlich genauer als die Masterplanstudie ist der Energieatlas in der Berücksichtigung von nicht nutzbaren Teildachflächen (durch Gauben, Dachfenster, technische Aufbauten etc., sowie aufgrund von übermäßiger Verschattung), da diese für jede Dachfläche ermittelt wurden. Die Masterplanstudie hat hierfür nur einen pauschalen Abschlag angesetzt. Auch die Mindestgröße der Teildachflächen unterscheidet sich. Am Ende der Berechnung zeigt sich jedoch, dass die ermittelte maximale Modulfläche pro berücksichtigtem Gebäude in der Masterplanstudie 84,6 m²/Gebäude (40,8 Mio. m² / 482.302 Gebäude) und im Energieatlas 85,3 m²/Gebäude (45,7 Mio. m² / 535.722

Gebäude) beträgt. Die Ergebnisse unterscheiden sich somit nur unwesentlich, da sich die Effekte der unterschiedlichen Randbedingungen ausgleichen.

Im Energieatlas wurde als Grundlage des PV-Potenzials eine maximal installierbare PV-Modulfläche von 45,7 Mio. m² ermittelt, die 12 % höher liegt als die 40,8 Mio. m², die in der Masterplanstudie ermittelt wurde. Der Grund ist vor allem, dass der Energieatlas die PV-Potenziale auf Denkmalen nicht ausschließt. Da allerdings die Masterplanstudie mit einem PV-Modulwirkungsgrad von 22 % rechnet, der 12,8 % höher liegt als der Wirkungsgrad von 19,5 % im Energieatlas, gleichen sich die beiden Effekte fast vollständig aus und es resultiert ein PV-Potenzial von 8,98 GW in der Masterplanstudie und 8,89 GW im Energieatlas. Die wichtigsten Eckdaten der PV-Potenzialermittlung sind in Tabelle 1 im Vergleich dargestellt.

Tabelle 1: Vergleich der genutzten Parameter und Ergebnisse der Potenzialermittlungen der Masterplanstudie und des Energieatlas

	Masterplanstudie [5]	Energieatlas [10]
Potenzial-Bezugsjahr	2019	2022
Berücksichtigte Installationsorte	Nur Gebäudedächer	Nur Gebäudedächer
Gebäudedatensatz	ALKIS Gebäudeumrisse aus dem Jahr 2018	ALKIS Gebäudeumrisse aus dem Jahr 2021
Anzahl Gebäude gesamt	533.190	535.722
Anzahl berücksichtigte Gebäude	482.302 (ohne Denkmale)	535.722 (mit Denkmalen)
Bruttodachfläche	86 Mio m ² (ohne Denkm.)	-
Anteil nutzbarer Dachfläche	pauschal 65 % (Annahme)	für jedes Dach aus Luftbildern berechnet
Mindestgröße einzelner Teildachflächen	Flachdach: 45 m ² Schrägdach: 15 m ²	Flachdach: 8,75 m ² Schrägdach: 7,0 m ²
Ausnutzung geeignete Teildachflächen	Vollständig	soweit Standard-PV-Module Platz haben
Mindesteinstrahlung	905 kWh/(m ² a)	812 kWh/(m ² a)
Ermittelte maximale Modulfläche	40,8 Mio. m ²	45,7 Mio m ²
PV-Modulwirkungsgrad	22 %	19,5 %
ErmittPV-Potenzial	8,98 GW	8,89 GW
Durchschnittlicher spezifischer Solarstromertrag	883 kWh/(m ² a)	891 kWh/(m ² a)
Potenzial Solarstromertrag	7.931 GWh/a	7.929 GWh/a

2.3 Neuberechnung des Berliner PV-Potenzials

Die obigen Ausführungen zeigen, dass die im Energieatlas angewandte Methodik der PV-Potenzialanalyse fundiert und belastbar ist. Ihre Stärke beruht auf der Auswertung von relativ aktuellen Überfliegsdaten und einer dachscharfen Berechnung der für die Solarnutzung geeigneten Flächen sowie deren Ausrichtung, Einstrahlungsstärke, Verschattung und Geometrie in Bezug auf die Belegbarkeit mit Standardmodulen.

Das PV-Potenzial auf Berliner Gebäudedächern ist für das Bezugsjahr 2019 (Bezugsjahr des mittleren PV-Modulwirkungsgrades) gut getroffen, wobei das Potenzial dahingehend überschätzt ist, dass kein Abzug für die Denkmale durchgeführt wurde. Allerdings wird dies (teilweise) kompensiert durch den zwischenzeitlichen Anstieg des mittleren PV-Wirkungsgrades auf etwa 22 %, so dass das im Energieatlas ausgewiesene PV-Potenzial als aktuelles Potenzial angesehen werden kann.

Die in dieser Studie vorgenommene **Neuberechnung des Berliner PV-Potenzials nutzt deshalb die Daten der PV-Potenzialanalyse des Energieatlas, bezieht sich aber auf das Bezugsjahr 2045 und aktualisiert die relevanten Randbedingungen.**

In der Neuberechnung wurden folgende Aspekte aktualisiert:

- Berücksichtigung eines erhöhten PV-Modulwirkungsgrades
- Berücksichtigung von PV-Fassadenanlagen
- Berücksichtigung von PV-Anlagen zur Pkw-Stellplatzüberdachung
- Berücksichtigung des Zubaus von Gebäuden in Berlin bis zum Jahr 2045

Das mögliche PV-Potenzial für Anlagen auf Freiflächen (Grün- oder Brachflächen) wurde dagegen nicht mit einbezogen, da diese Flächen künftig möglicherweise als Erholungsräume oder als Bauflächen benötigt werden und somit nicht sicher zur Verfügung stehen.

In den folgenden Kapiteln werden die Zwischenschritte zur Aktualisierung des PV-Potenzials vorgestellt.

2.3.1 Berücksichtigung eines erhöhten PV-Modulwirkungsgrads

Bei vorgegebener Modulfläche ist die installierbare PV-Leistung proportional zum Wirkungsgrad des PV-Moduls. Der mittlere Modulwirkungsgrad hat sich aufgrund der technologischen Fortschritte bei den Solarzellen und der Modultechnologie in den letzten Jahrzehnten kontinuierlich verbessert. So ist der mittlere Modulwirkungsgrad von kristallinen Siliziummodulen von etwa 14,5 % Anfang 2012 auf 20,9 % Ende 2022 gestiegen, wobei die besten PV-Module am Markt einen Wirkungsgrad von etwa 24 % aufwiesen [16]. Derzeit liegt der typische PV-Modulwirkungsgrad für monokristalline Siliziummodule, die einen Marktanteil von etwa 97 % aufweisen, bei etwa 22 %. Die höchsten Wirkungsgrade für PV-Module in Originalgröße liegen bei 24,7 % bei monokristallinen Silizium-Modulen, 20,4 % bei multikristallinen Silizium-Modulen, 19,2 % bei CIGS-

Modulen, 19,5 % bei CdTe-Modulen und 18,6 % für Perovskite-Modulen [18]. Die monokristallinen Siliziummodule dominieren, weil sie die höchsten Wirkungsgrade aufweisen und aufgrund ihrer Marktdominanz auch vergleichsweise günstig sind.

Es kann fest davon ausgegangen werden, dass die Solarzellen- und in Folge die PV-Modulwirkungsgrade kontinuierlich weiter steigen werden. Beidseitig kontaktierte Silizium-Solarzellen haben ein Potenzial für Wirkungsgrade bis zu 27 % und kommen damit dem physikalischen Limit von reinen Silizium-Solarzellen von 29,4 % schon recht nahe [19]. Allerdings wird erwartet, dass künftig neue Technologien wie z.B. Perovskite Solarzellen größere Marktanteile oder eine führende Rolle übernehmen, die heute im Labormaßstab im Tandem auf Siliziumzellen bereits einen Wirkungsgrad von 33,7 % erreicht haben [18].

In ihrer Forschungs- und Innovationsstrategie hat die europäische Solarforschung und -industrie das Ziel definiert, den typischen Modulwirkungsgrad von Siliziummodulen bis zum Jahr 2030 auf 25 % und deren Lebensdauer auf 40 Jahre zu steigern. Mit Tandem-Solarzellen werden künftig sogar Modulwirkungsgrade über 30 % erwartet [17].

Trotz des aktuell starken Marktwachstums sind in Berlin Ende 2023 mit 0,272 GW erst 6 % der aktuell angestrebten PV-Leistung von 4,400 GW installiert [6]. Da bis zum Jahr 2030, in dem der mittlere Modulwirkungsgrad vermutlich bei etwa 25 % liegen wird, weniger als die Hälfte der gesamten bis 2045 installierten PV-Leistung installiert sein wird und danach der Wirkungsgrad weiter steigt, kann von einem mittleren PV-Modulwirkungsgrad von mindestens 25 % für alle bis zum Jahr 2045 installierten PV-Module ausgegangen werden, wobei dies eine konservative Annahme darstellt.

Allein durch die Annahme eines erhöhten PV-Modul-Wirkungsgrads auf 25 % erhöht sich das PV-Potenzial in Berlin um 28,2 % auf 11,4 GW in Bezug auf das PV-Potenzial des Energieatlas mit einem Wirkungsgrad von 19,5 % (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2: Aktualisiertes PV-Potenzial durch erhöhten PV-Modulwirkungsgrad

	PV-Potenzial Energieatlas (2022)	Aktualisiertes PV-Potenzial Erhöhter PV-Modulwirkungsgrad
Mittlerer Wirkungsgrad der PV-Module	19,5 %	25,0 %
Faktor	100%	128,2 %
PV-Potenzial	8,89 GW	11,40 GW

2.3.2 **PV-Potenziale von Balkonsolaranlagen**

Das Potenzial für in die Gebäudefassaden integrierte PV-Anlagen ist zwar groß, allerdings ist es schwer zu heben, da die bautechnischen Anforderungen an die Module hoch sind und die Integration in die Gebäudehülle aufwändiger ist als die Montage von PV-Modulen auf dem Dach. Da gleichzeitig der Jahresstromertrag etwa 30 % geringer ausfällt als

bei optimaler Neigung auf dem Dach, sind die PV-Fassadenanlagen oftmals nicht profitabel. Allerdings gibt es auch ökonomisch attraktive Fälle, wenn z.B. die PV-Fassade eine teure Fassadenverkleidung ersetzt oder das Stromerzeugungsprofil der PV-Fassadenanlage gut mit dem Lastprofil übereinstimmt und so der Eigenverbrauch erhöht werden kann. Vor diesem Hintergrund wurden PV-Fassadenanlagen in den Potenzialbetrachtungen der Masterplanstudie und dem Energieatlas nicht berücksichtigt.

Aktuell ist jedoch eine stark steigende Nachfrage nach Balkonsolaranlagen zu verzeichnen. Diese sind kostengünstig erhältlich und können mit geringem Aufwand am Balkongeländer oder vor der Fassade installiert und per Schukostecker ans Stromnetz in der Wohnung, d.h. hinter dem Zähler des Letztverbrauchers angeschlossen werden. Im Marktstammdatenregister der Bundesnetzagentur waren Ende 2022 insgesamt 115.476 Balkonsolaranlagen registriert. Im Jahr 2023 kamen 272.412 Anlagen hinzu und allein im ersten Halbjahr 2024 nochmals 173.043, so dass Mitte 2024 insgesamt 560.922 Balkonsolaranlagen registriert waren [20]. Ende April 2024 wurde das Solarpaket I verabschiedet, in dem in § 8 Absatz 5a EEG 2023 die maximale Modulleistung von Steckersolargeräten (Balkonsolaranlagen) auf 2000 Watt und die maximale Wechselrichterleistung auf 800 Watt pro Haushalt erhöht und gleichzeitig die bislang erforderliche Anmeldung beim Netzbetreiber gestrichen wurde. Somit ist mit einem weiter steigenden Interesse an Balkonsolaranlagen zu rechnen, weshalb diese in die PV-Potenzialbetrachtung aufgenommen wurden.

Zur Ermittlung des erschließbaren technischen Potenzials von PV-Balkonsolaranlagen wurde angenommen, dass ein Viertel der Wohnungen in Berlin für die Installation einer Balkonsolaranlage geeignet ist. Nicht geeignet sind beispielsweise Wohnungen, deren Fassaden stark verschattet oder in nördliche Richtungen ausgerichtet sind. Balkone sind nicht zwingend erforderlich, um eine Balkonsolaranlage zu installieren, diese können z.B. auch unter Fenstern installiert werden, wobei ohne Balkone die Installation technisch meist aufwändiger ist und deshalb weniger genutzt wird. Weiter werden Einfamilienhäuser, die schon eine PV-Anlage auf dem Dach installiert haben, meist keine Balkonsolaranlage installieren. Weiter wurde angenommen, dass die Anlagen eine mittlere PV-Leistung von etwa 400 Watt aufweisen, was eine konservative Annahme ist, da die Anlagen bis zu 800 Watt Anschlussleitung aufweisen können. **Unter diesen Annahmen resultiert ein PV-Potenzial aus Balkonsolaranlagen von etwa 0,2 GW** (siehe Tabelle 3).

Tabelle 3: Abschätzung des Potenzials an Balkonsolaranlagen

Anzahl Wohnungen in Berlin Ende 2023 [21]	1.998.155
Annahme: Anteil Wohnungen mit Balkonsolaranlage (25 %)	499.539
Annahme: Mittlere PV-Leistung pro Balkonsolaranlage	400 W
Resultierende PV-Leistung Balkonsolaranlagen gesamt	0,2 GW
Annahme: Mittlerer Jahresstromertrag pro kW [22] (Standort Berlin, Neigung 90°, Ausrichtung 45°, Systemverlust 14%)	690 kWh/kW/a
Gesamter Jahresstromertrag aller Balkonsolaranlagen	138 GWh

Der Anteil des so abgeschätzte PV-Potenzials von Balkonsolaranlagen ist kleiner als 2% des gesamten PV-Potenzials und dessen Beitrag zur Solarstromerzeugung somit relativ gering. Allerdings entspricht das Potenzial von 0,2 GW immerhin 10 % der aktuellen Maximallast von derzeit 2,09 GW, die allerdings in den kommenden Jahren deutlich steigen wird [23]. Der Stromertrag aller Balkonsolaranlagen würde etwa 138 GWh pro Jahr betragen, was beim aktuellen Stromverbrauch von 12.200 GWh etwa 1,1 % entspricht. Auch dieser Anteil wird aufgrund des steigenden Strombedarfs auf etwa die Hälfte sinken. Balkonsolaranlagen werden somit auch bei voller Ausschöpfung des Potenzials in Bezug auf die Gesamtstromversorgung nur eine untergeordnete Rolle spielen, können aber dort, wo sie in großer Dichte installiert werden, einen merklichen Einfluss auf die lokale Last bzw. die Einspeiseleistung haben.

2.3.3 PV-Potenziale über Pkw-Parkplätzen

Zwischen Gebäuden können im öffentlichen urbanen Raum PV-Anlagen über Verkehrswegen, Parkplätzen für Kraftfahrzeuge (ruhender Verkehr), Plätzen und sonstigen Aufenthaltsräumen sowie auf dem Boden im Freiland oder auch schwimmend auf Wasserflächen installiert werden. Die Überdachung von Verkehrswegen (Straßen, Schienen) ist meist sehr aufwändig und nur im Ausnahmefall praktikabel, beispielsweise bei Fahrradwegen (siehe Abbildung 4). Auch die Überdachung von Plätzen und sonstigen Freiräumen ist aus verschiedensten Gründen (Aufenthaltsqualität, Sicherheit, Kosten, städtebauliche Integration, Mikroklima, Verschattung etc.) nur in Ausnahmefällen sinnvoll und attraktiv. Bei Frei- und Wasserflächen gibt es in verdichteten urbanen Räumen eine hohe Nutzungskonkurrenz, so dass davon auszugehen ist, dass auch auf diesen Flächen PV-Anlagen nur in Ausnahmefällen realisiert werden können. Als relevantes PV-Potenzial verbleibt somit nur die Überdachung von Parkplätzen mit PV-Anlagen, konkret die Überdachung von Pkw-Stellplätzen. Dieses Potenzial wird in diesem Kapitel abgeschätzt und in die Gesamtpotenzialbetrachtung mit aufgenommen. Natürlich können auch Bahnhöfe und sonstige Verkehrsgebäude mit PV-Anlagen belegt werden, diese sind jedoch bereits in der Kategorie Gebäude erfasst, so dass sie hier nicht betrachtet werden müssen.



Abbildung 4: Mit PV-Anlage überdachter Fahrradweg in Freiburg
Quelle: badenovaWärmeplus [24]

Zur PV-Potenzialberechnung über Pkw-Stellplätzen wurden die vorhandenen Parkplatzenflächen in Berlin ermittelt und abgeschätzt, welche der Stellplätze mit PV-Modulen

überdacht werden könnten. Dabei wurden Stellplätze entlang von Straßen und mit Verschattung durch Bäume oder Gebäude ausgeschlossen. Da eine Einzelbetrachtung aller Parkplätze nicht möglich war, wurden durch Untersuchung von repräsentativen Fällen pro Größenklasse von Parkplätzen typische Werte für die Flächenanteile nutzbarer Stellplatzflächen ermittelt.

Als Datengrundlage zur Berechnung der verfügbaren und geeigneten Pkw-Parkplatzflächen wurden OpenStreetMap (OSM) Daten [25] und Orthophotos [26] genutzt. Die OSM Daten weisen Parkplätze in 4 Kategorien aus: oberirdische Parkplätze, unterirdische Parkplätze, Parkhäuser und Parkplätze für Fahrräder, die als Geometrien hinterlegt sind. Es wurden nur oberirdische Parkplätze und Fahrradparkplätze in der Analyse berücksichtigt. Die betrachteten Parkplätze wurden in Größenklassen unterteilt und anhand der Orthophotos wurde stichprobenartig der Anteil der zur PV-Überdachung geeigneten Flächenanteile pro Größenklasse abgeschätzt. Dieser Wert wurde in der Folge auf die Größenklassen angewandt.

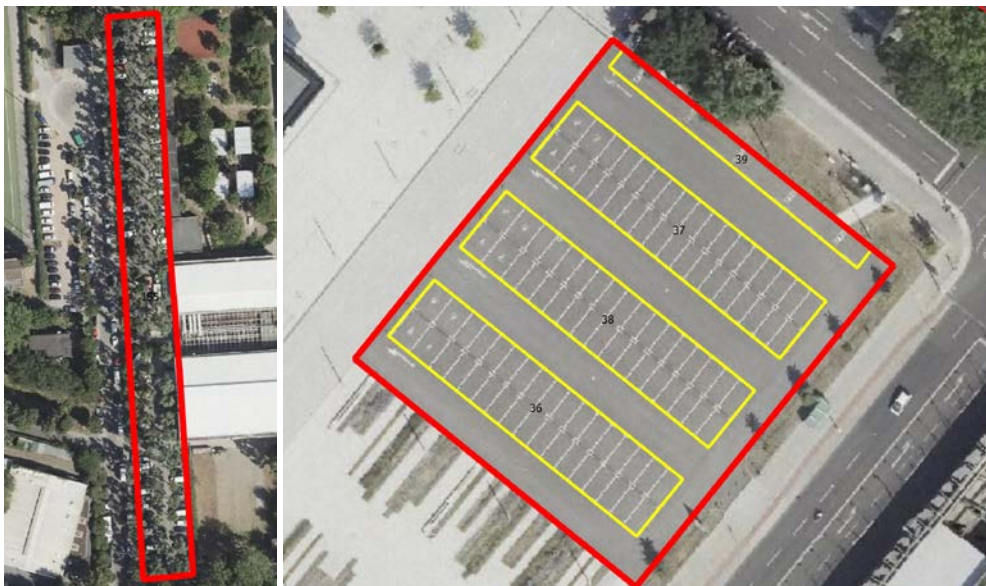


Abbildung 5: Beispiele für geeignete und ungeeignete Flächen für die Installation von PV-Anlagen über Parkplätzen (links: ungeeignet, da stark verschattet. Rechts: geeignet, da unverschattet), die roten Rahmen begrenzen die Parkplatzflächen, die gelben die zur PV-Überdachung geeigneten Stellplatzflächen. Quelle: Open StreetMap Fotos, bearbeitet

Pro Parkplatz-Größenklasse wurden zwischen 5 und 9 Stichproben, bei der größten Klasse wurden 2 Stichproben untersucht. Abbildung 5 zeigt zwei Beispiele für die Stichprobenanalyse zur Ermittlung des Anteils der PV-geeigneten Flächen eines Parkplatzes. Es ist deutlich zu sehen, dass Parkplätze entlang von Straßen oftmals stark verschattet sind (links), bei größeren Parkplätzen ist dagegen die Überdachung der Stellplätze oftmals problemlos möglich. Da allerdings die Zufahrtswege typischerweise nicht überdacht werden, wurden nur die Stellplatzflächen selbst als zur Überdachung geeignet identifiziert (rechts).

Tabelle 4 zeigt das Ergebnis der Untersuchungen. Nach Größenklassen klassifiziert sind die vorhandenen Parkplatzflächen in Berlin und die zur PV-Stellplatzüberdachung geeigneten Flächen aufgelistet. Dabei wurde davon ausgegangen, dass nur Pkw-Stellplätze mit PV-Anlagen überdacht werden und nicht die Fahrwege zu den Stellplätzen.

Parkplätze entlang von Straßen wurden generell ausgeschlossen, da diese oft verschattet sind und die Installation von PV-Überdachungen sicherheits- und verkehrstechnisch problematisch wäre, da auch hohe Fahrzeuge direkt neben der PV-Überdachung vorbeifahren würden. **Insgesamt wurde ein PV-Potenzial durch Überdachung von Pkw-Stellplätzen in Berlin von 0,767 GW ermittelt.** Mit etwa 7 % des ermittelten PV-Gesamtpotenzials stellen die PV-Überdachungen von Parkplätzen eine relevante Ergänzung dar.

Tabelle 4: Größe der Parkplätze in Berlin und PV-geeignete Flächenanteile nach Größenklasse

Größenklasse der Parkplätze	Fläche aller Parkplätze einer Größenklasse	PV-geeigneter Flächenanteil	Zur PV-Überdachung geeignete Stellplatzflächen
<i>m² pro Parkplatz</i>	<i>Mio m²</i>		<i>Mio m²</i>
bis 250	1,0	29 %	0,29
251 – 1.000	2,4	28 %	0,67
1.001 – 2.500	2,7	26 %	0,70
2.501 – 5.000	2,2	30 %	0,66
5.001 – 15.000	2,2	25 %	0,55
15.001 – 32.000	0,4	48 %	0,19
Summe zur PV-Überdachung geeignete Stellplatzflächen			3,07 Mio m ²
Modulflächenbedarf pro kW Leistung (25 % Wirkungsgrad)			4 m ² /kW
PV-Potenzial über Pkw-Stellplätzen (Parkplätzen)			0,767 GW

2.3.4

Gebäudeneubau in Berlin bis zum Jahr 2045

Für das Bezugsjahr 2045 des Neuberechneten PV-Potenzials ist auch zu berücksichtigen, dass die Stadt wächst und bis zum Jahr 2045 zahlreiche neue Gebäude erstellt werden, die zusätzliche Dachflächen zur Installation von PV-Anlagen aufweisen. Auf den Dächern der Neubauten ist aufgrund des Berliner Solargesetzes die Installation PV-Anlagen verpflichtend, was zu einer hohen Ausschöpfung des PV-Potenzials führt.

Berlin hat das Ziel, die Neubauraten zumindest im Wohnungsbau zu erhöhen, so dass die aktuelle Wachstumsdynamik eher noch zunehmen dürfte. Ob dies allerdings gelingt und wie stark die Erhöhung tatsächlich sein wird, ist jedoch unsicher. Deshalb wurde angenommen, dass der Gebäudebestand in Berlin mit derselben Rate weiter wächst wie in den letzten 10 Jahren. Die Zahl der Wohngebäude ist in Berlin von 2013 bis 2023 von 316.047 auf 334.716 gestiegen, was einem Wachstum von 5,9 % insgesamt und einem durchschnittlichen jährlichen Wachstum von 0,575 % entspricht [21]. **Schreibt man dieses Wachstum gleichbleibend fort, erhöht sich der Wohngebäudebestand in Berlin bis zum Jahr 2045 gegenüber dem Jahr 2023 um 13 %.** Für die öffentlichen Gebäude und die Gewerbebauten liegt eine entsprechende Statistik nicht vor. Es wird deshalb angenommen, dass diese mit derselben Rate wie die Wohngebäude wachsen. Eine ähnliche Wachstumsrate ist wahrscheinlich, da mit einer steigenden Einwohnerzahl auch die wirtschaftlichen Aktivitäten und der Bedarf an öffentlichen Dienstleistungen

etwa proportional zunehmen. Weiter wird angenommen, dass die mittlere Dachfläche pro Gebäude gleich bleibt und somit das PV-Potenzial proportional zur Anzahl der Gebäude wächst. Diese Annahmen weisen Unsicherheiten auf, da sich Wirtschafts- und Bevölkerungswachstum und die benötigten Fläche entkoppeln könnten, angesichts des Anteils von 13 % am Gesamtpotenzial haben mögliche Abweichungen für das Gesamtergebnis jedoch nur eine untergeordnete Bedeutung.

2.3.5 Übersicht Neuberechnetes Berliner PV-Potenzial 2045

Die Neuberechnung des Berliner PV-Potenzials nutzt die aktuellen Daten des Energieatlas zur Ermittlung der nutzbaren Dachflächen und berücksichtigt zusätzlich die Potenziale der Balkonsolaranlagen und Parkplatzüberdachungen sowie die Potenziale auf den Neubauten, die voraussichtlich bis zum Jahr 2045 erstellt werden. Zusätzlich wurde ein erhöhter PV-Modulwirkungsgrad von 25 % statt 19,5 % angenommen. Die Schritte sind in Abbildung 6 dargestellt.

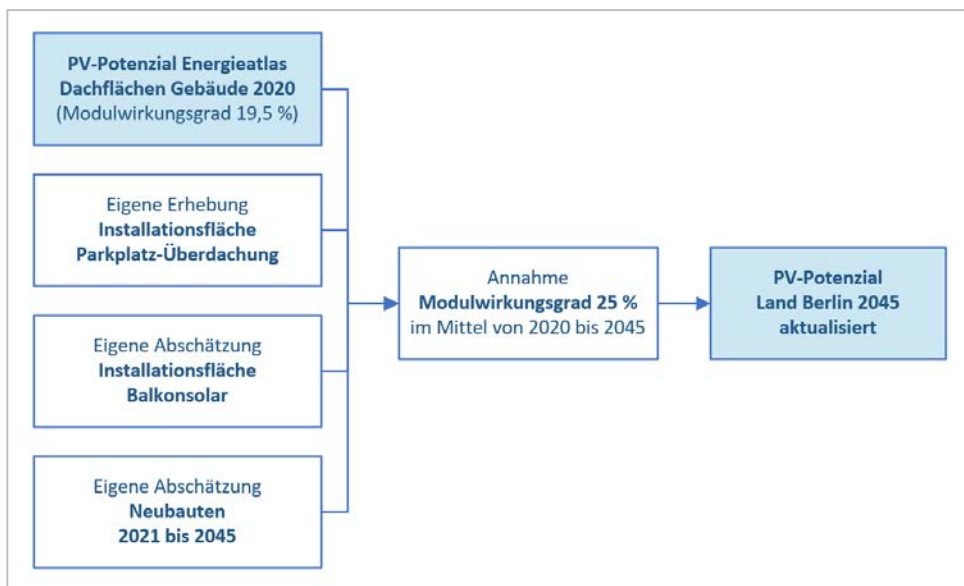


Abbildung 6: Vorgehensweise bei der Ermittlung des aktualisierten PV-Potenzials des Landes Berlin für das Jahr 2045 ausgehend von der Potenzialermittlung des Energieatlas für den Gebäudebestand 2022

Tabelle 5 fasst die Ergebnisse der Neuberechnung des Berliner PV-Potenzials zusammen und zeigt ausgehend von dem im Energieatlas ermittelten PV-Potenzial von 8,9 GW, der auf dem Berliner Gebäudebestand im Jahr 2020 besteht, in 3 Schritten die Auswirkungen der Berücksichtigung zusätzlicher Potenziale. Im ersten Schritt ist der erhöhte PV-Modulwirkungsgrad, im zweiten Schritt die PV-Potenziale von Balkonsolaranlagen und Parkplatz-Überdachungen und im dritten Schritt die Zunahme des Gebäudebestands bis zum Jahr 2045 um 13 % berücksichtigt. Daraus resultiert ein **PV-Gesamtpotenzial für Berlin von 13,9 GW für das Bezugsjahr 2045**. Die beiden Potenzialberechnungen sind auch grafisch in Abbildung 7 dargestellt.

Tabelle 5: PV-Potenziale in Berlin auf Flach- und Schrägdächern, Balkonsolaranlagen und über Parkplätzen für verschiedene Randbedingungen (Modulwirkungsgrad, Gebäudebestand)

Aktualisierte PV-Potenzialerhebung für Berlin

	Basis Energieatlas Berlin [14]	Schritt 1 Erhöhter Wirkungsgrad	Schritt 2 + Balkon PV + Parkplätze	Schritt 3 + Gebäude- bestand 2045
Wirkungsgrad PV-Module	19,5%	25%	25%	25%
Gebäude- bestand [Jahr]	2020	2020	2020	2045 (+13%)
PV-Potenziale				
Dachanlagen	8,9 GW	11,4 GW	11,4 GW	12,9 GW
Balkonsolar			0,2 GW	0,2 GW
Parkplätze			0,8 GW	0,8 GW
PV-Potenzial gesamt	8,9 GW	11,4 GW	12,4 GW	13,9 GW
Modulfläche	45,7 Mio. m ²	45,7 Mio. m ²	49,6 Mio. m ²	55,6 Mio. m ²

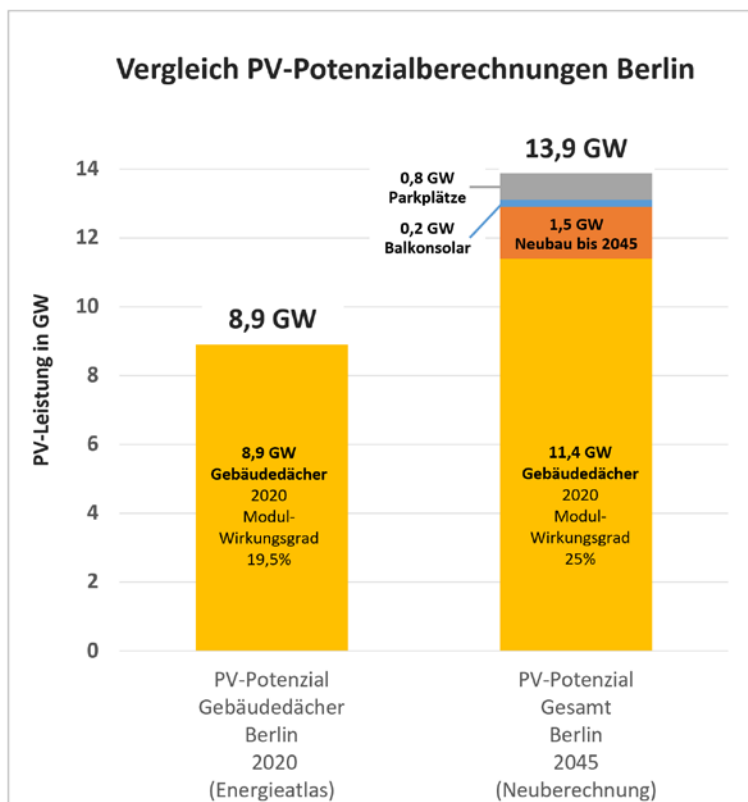


Abbildung 7: Vergleich der PV-Potenzialberechnungen für Berlin: Energieatlas mit Bezugsjahr 2020 und Neuberechnung Gesamt mit Bezugsjahr 2045

Im zweiten Teil der Studie wurden Entwicklungspfade für den Ausbau der Photovoltaik in Berlin erarbeitet, um mögliche künftige Anforderungen an das Berliner Stromnetz ableiten zu können. Dabei wurden die mögliche PV-Ausbauleistung und die Ausbaugeschwindigkeit variiert. **Entwickelt wurden mit den möglichen Ausbauzielen und Ausbaupfaden keine Prognosen der künftigen Marktentwicklung, sondern eine Abschätzung der Bandbreite der künftig möglicherweise installierten PV-Leistung und damit die resultierende Stromnetzbelastung.**

Hierzu wurden nach Darstellung der historischen Marktentwicklung (Kapitel 3.1.1) drei Ausbauziele für das Zieljahr 2045 festgelegt (Kapitel 3.1.2) und für diese jeweils ein Ausbaupfad entwickelt unter Berücksichtigung der bundespolitischen Zielsetzungen und der Marktdynamik in Berlin (Kapitel 3.1.3). Um die Bedeutung der einzelnen Marktsegmente für die Erreichung dieser Ausbaupfade zu ermitteln, wurden jeweils drei Varianten pro Ausbaupfad entwickelt, die sich in den Anteilen der Marktsegmente (EZFH, MFH, Gewerbe, öffentliche Gebäude etc.) unterscheiden (Kapitel 3.2). Dies ist u.a. relevant für die räumliche Verteilung der installierten PV-Leistung in Berlin, da die Gebäudetypen und damit Marktsegmente ungleichmäßig über die Stadt verteilt sind und sich die notwendigen Maßnahmen zur Marktstimulation unterscheiden.

3.1

Ausbauziele und Ausbaupfade

3.1.1

Historische PV-Marktentwicklung

Ende des Jahres 2023 waren in Berlin PV-Anlagen mit einer Leistung von 272 MW installiert, was einer Verdopplung in den letzten 3 Jahren entspricht. Seit dem Jahr 2019 ist eine starke Wachstumsdynamik im Berliner PV-Markt zu verzeichnen, so wuchs die jährlich installierte PV-Leistung von 7,5 MW im Jahr 2018 auf 77,3 MW im Jahr 2023 stark an (siehe Abbildung 8) [6]. Damit zeigen die Maßnahmen zur Stimulation des PV-Marktes im Rahmen des Masterplans Solarcity Berlin, unterstützt durch die Verbesserung der Verbesserungen der politischen Rahmenbedingungen durch die Bundesregierung, eine deutliche Wirkung.

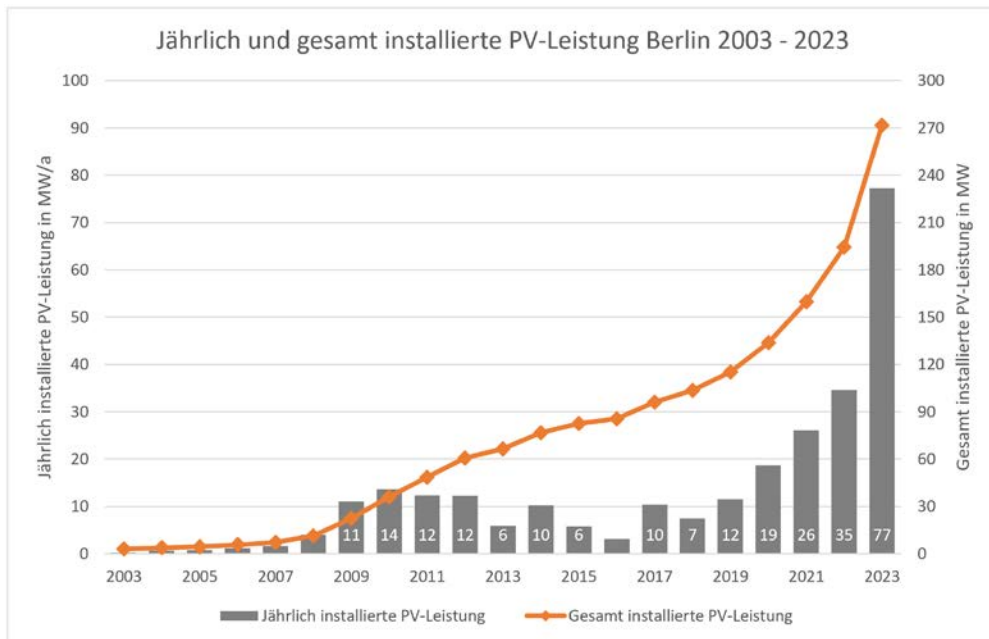


Abbildung 8: Jährlich und gesamt installierte PV-Leistung in Berlin von 2003 bis 2023 [6]

3.1.2 Ausbauziele

Berlin verfolgt mit dem Masterplan Solarcity Berlin das Ziel, eine gesamt installierte PV-Leistung von 4,4 GW zu erreichen. Das **Ausbauziel 4,4 GW** basiert auf einer Machbarkeitsstudie aus dem Jahr 2014 und dem Beschluss des Abgeordnetenhauses aus dem Jahr 2018 und wurde im Masterplan Solarcity im Jahr 2019 auf Basis der Ermittlung des PV-Potenzials von 8,98 GW als erreichbar bestätigt (siehe Kapitel 2.2.1 und 2.2.2). Auch wenn die Erreichung dieses Ziels bereits eine große Herausforderung darstellt, soll im Folgenden untersucht werden, welche Auswirkungen höhere Ausbauziele haben würden. Denn einerseits wurde in dieser Studie ein größeres PV-Potenzial für die Stadt Berlin ermittelt als bisher angenommen und andererseits wurden im Jahr 2022 die bundesweiten Zielsetzungen für den Ausbau der erneuerbaren Energien deutlich erhöht auf 80 % erneuerbare Energien an der Stromversorgung bis zum Jahr 2030 und nahezu 100 % bis zum Jahr 2035 [1]. Die Frage, ob vor diesem Hintergrund auch das PV-Ausbauziel für Berlin erhöht werden sollte, ist nicht Gegenstand dieser Studie. Allerdings wird im Folgenden durch die Untersuchung möglicher erhöhter PV-Ausbauziele aufgezeigt, welche Auswirkungen ein verstärkter Ausbau haben würde.

Als Orientierung für ein mögliches erhöhtes PV-Ausbauziel in Berlin kann die bundesweite PV-Ausbauplanung herangezogen werden. § 4 EEG 2023 setzt als Ausbauziele für die installierte PV-Leistung in Deutschland 215 GW bis zum Jahr 2030, 309 GW bis 2035 und 400 GW und bis 2040, wobei davon mindestens die Hälfte der PV-Leistung auf oder an Gebäuden installiert werden soll. Wird das bundesweite Ziel von 200 GW auf und an Gebäuden im Jahr 2040 bevölkerungsproportional auf Berlin heruntergebrochen, ergeben sich etwa 9,2 GW, die Berlin zum Bundesziel beitragen sollte (siehe Tabelle 6). Die bevölkerungsproportionale Zuordnung der Potenziale gibt nur eine grobe Orientierung, da beispielsweise in ländlichen Regionen der Anteil von Einfamilienhäusern größer ist

und Mehrfamilienhäuser im Schnitt eine geringere Geschosshöhe aufweisen, sodass mehr Dachfläche pro Bewohner:in zur Verfügung steht und es damit in ländlichen Regionen einfacher sein sollte, die Zielsetzung bevölkerungsbezogen zu erreichen. Allerdings orientiert sich die Höhe des Stromverbrauchs an der Einwohnerzahl, was die dezentrale Stromerzeugung stimuliert und für eine bevölkerungsproportionale Betrachtung spricht, solange das PV-Potenzial einen solchen Ausbau zulässt. Es gibt zwar keinen Mechanismus, der die Bundesländer verpflichtet bestimmte Anteile zum Bundesziel beizutragen, als erste Näherung für eine eigene Zielsetzung kann diese Betrachtung aber trotzdem dienen.

Vor diesem Hintergrund wird im Rahmen dieser Studie die bisherige Zielgröße für Berlin von 4,4 GW verdoppelt und als **zweites Ausbauziel 8,8 GW** gesetzt.

Tabelle 6: PV-Ausbauziele bundesweit heruntergebrochen auf Berlin

	Zielsetzung 2030	Zielsetzung 2035	Zielsetzung 2040
PV-Ausbauziel bundesweit Freiflächen und Gebäude nach § 4 EEG 2023	215 GW	309 GW	400 GW
PV-Ausbauziel bundesweit auf und an Gebäuden (mindestens) nach § 4 EEG 2023	107,5 GW	154,5 GW	200 GW
Bevölkerungsanteil Berlin an der BRD (Stand 2023, als konstant angenommen)	4,58%	4,58%	4,58%
Bundesweites PV-Ausbauziel auf und an Gebäuden bevölkerungsproportional auf Berlin heruntergebrochen	4,9 GW	7,1 GW	9,2 GW

Das Maximalszenario ist eine vollständige Ausschöpfung des technischen PV-Potenzials von Berlin, so dass als **drittes Ausbauziel 13,9 GW** angesetzt wird. Dies ist nur ein theoretisches Ausbauziel, da technische Potenziale in der Praxis nie vollständig umgesetzt werden können, allerdings ist das Maximalszenario hilfreich, um die Bandbreite der Ausbaupfade einschätzen zu können.

Zu beachten ist, dass es sich bei zweiten und dritten Ausbauziel weder um offizielle Zielsetzungen, noch um Empfehlungen von Zielsetzungen in dieser Studie handelt, sondern um Zielwerte für mögliche Ausbauszenarien, die in dieser Studie entwickelt und untersucht wurden. Die Erkenntnisse dieser Studie können für eine mögliche Diskussion einer Erhöhung des PV-Ausbauziels für Berlin hilfreich sein, dieses sollte allerdings durch eine fundierte Analyse des künftigen klimaneutralen Gesamtenergiesystems ermittelt werden.

3.1.3 Entwicklung der Ausbaupfade

Für jede dieser 3 Ausbauziele werden im Folgenden Ausbaupfade und deren Varianten entwickelt und vorgestellt. Unter Ausbaupfad gesamt wird verstanden, wie sich die gesamt installierte PV-Leistung in Berlin ausgehend von der im Jahr 2023 bereits

installierten PV-Leistung von 0,272 GW bis zu einem drei Ausbauziele von 4,4 GW, 8,8 GW und 13,9 GW im Jahr 2045 entwickelt. Dabei werden die jährlich neu installierte PV-Leistung von 2023 bis 2045 und die Entwicklung der bis zum jeweiligen Jahr erreichten kumulativ installierte PV-Leistung dargestellt, die sich gegenseitig bedingen. Vereinfachend werden Ersatzinvestitionen bei den folgend dargestellten Ausbaupfaden nicht berücksichtigt. Da PV-Anlagen eine Lebensdauer von mindestens 25 Jahren aufweisen und der bisherige PV-Ausbau nur etwa 2 % des geringsten Ausbauziels beträgt, ist fast die gesamte PV-Leistung in den kommenden 21 Jahren bis zum Jahr 2045 zu installieren und Ersatzinvestitionen spielen keine nennenswerte Rolle für das jährliche Marktvolumen.

PV-Ausbaupfade von 2024 bis 2045

Der Startwert und der Zielwert der Ausbaupfade liegen fest, somit kann nur die Form der Ausbaukurve variieren. Die jährliche PV-Installation kann entweder gleichmäßig oder eher früher oder eher später im vorgegebenen Zeitraum stattfinden. Generell hat die Kurvenform der jährlich neu installierten PV-Leistung aufgrund von praktischen Einschränkungen wie z.B. der Verfügbarkeit von Anbietern und Anlagen eine ansteigende erste Phase, in der die notwendigen Marktbedingungen für ein großes Marktvolumen geschaffen werden, ein Hochplateau als zweite Phase und eine dritte Phase mit einem tendenziell reduzierten jährlichen Zubau zum Ende hin, da die Erschließung der letzten Anteile eines Potenzials immer aufwändiger ist. Daraus resultiert für die kumuliert installierte PV-Leistung eine S-Kurve, die zuerst langsam und dann in der mittleren Phase rascher ansteigt sowie in der Endphase abflacht.

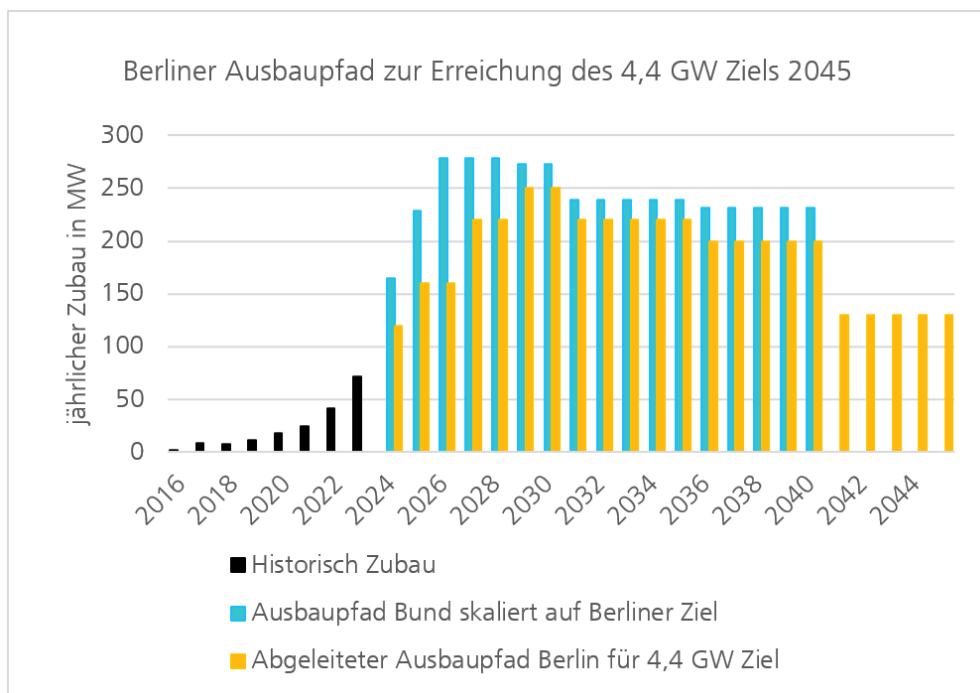


Abbildung 9: PV-Ausbaupfad für das 4,4 GW Ausbauziel in Berlin (gelb), abgeleitet von der bundesweiten Ausbauzielsetzung, skaliert auf das 4,4 GW Ziel (blau), die gesamt installierte Leistung ist mit jeweils 4,4 GW dieselbe

Für die Ermittlung des **Ausbaupfads mit dem Ausbauziel 4,4 GW** wurde im ersten Schritt der in § 4 EEG 2023 hinterlegte bundesweiten Ausbaupfad für die Jahre 2024, 2026, 2028, 2030, 2035 und 2040 auf das Ausbauziel von 4,4 GW in Berlin skaliert, da davon auszugehen ist, dass die Marktentwicklung in Berlin ähnlich zu der im Bund ist.

Da die PV-Ausbaudynamik in Berlin jedoch bislang dem nationalen PV-Ausbau nur verzögert folgt, wurden im zweiten Schritt die anfänglichen Wachstumsraten und damit der jährliche Zubau im Bund für den Berliner Ausbaupfad reduziert und dafür die jährlichen Installationen gestreckt, da das bundesweite Ziel im Jahr 2040, das Berliner Ziel aber erst im Jahr 2045 erreicht werden soll. Dies führt zu einem Ausbaupfad, der die besonderen Herausforderungen in der Hauptstadt berücksichtigt. Abbildung 9 zeigt den auf das Berliner Ausbauziel skalierten bundesweiten PV-Ausbaupfad und den abgeleiteten PV-Ausbaupfad für Berlin zur Erreichung des 4,4 GW Ausbauziels in Bezug auf die neu installierte PV-Leistung.

Die **Ausbaupfade für die Ausbauziele 8,8 GW und 13,9 GW** wurden entsprechend entwickelt. Der jährliche Zubau liegt naturgemäß jeweils höher als im 4,4 GW Ausbaupfad, wobei die Maximalwerte für den jährlichen Zubau etwas später erreicht werden (zwischen 2035 und 2040 statt zwischen 2028 und 2030), da eine längere Zeit für den Markthochlauf benötigt wird. Die Ausbaupfade für die 3 Ausbauziele für den jährlichen Zubau an PV-Leistung sind im Vergleich in Abbildung 10 dargestellt.

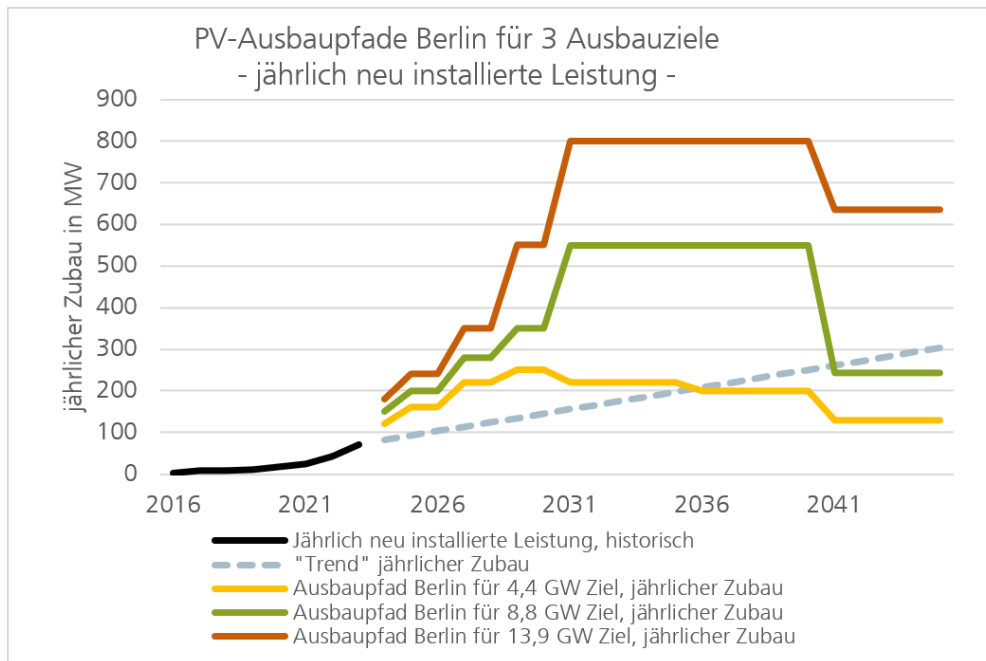


Abbildung 10: PV-Ausbaupfade zur Erreichung der drei PV-Ausbauziele für Berlin im Vergleich

Die resultierenden **Ausbaupfade der kumulativ installierten PV-Leistungen** für die 3 Ausbauziele sind in Abbildung 11 dargestellt. Die Spannweite der Entwicklung der Ausbaupfade vom 4,4 GW bis zum 13,9 GW Ziel ist gelb unterlegt. Zum Vergleich ist die Extrapolation des aktuellen Markttrends dargestellt. Im Anhang des Berichts sind die Daten der historischen Entwicklung des PV-Zubaus in Berlin (Tabelle 9) sowie Daten für den jährlichen PV-Zubau und die kumulierte Leistung in den verschiedenen Ausbauszenarien (Tabelle 10) pro Jahr aufgelistet.

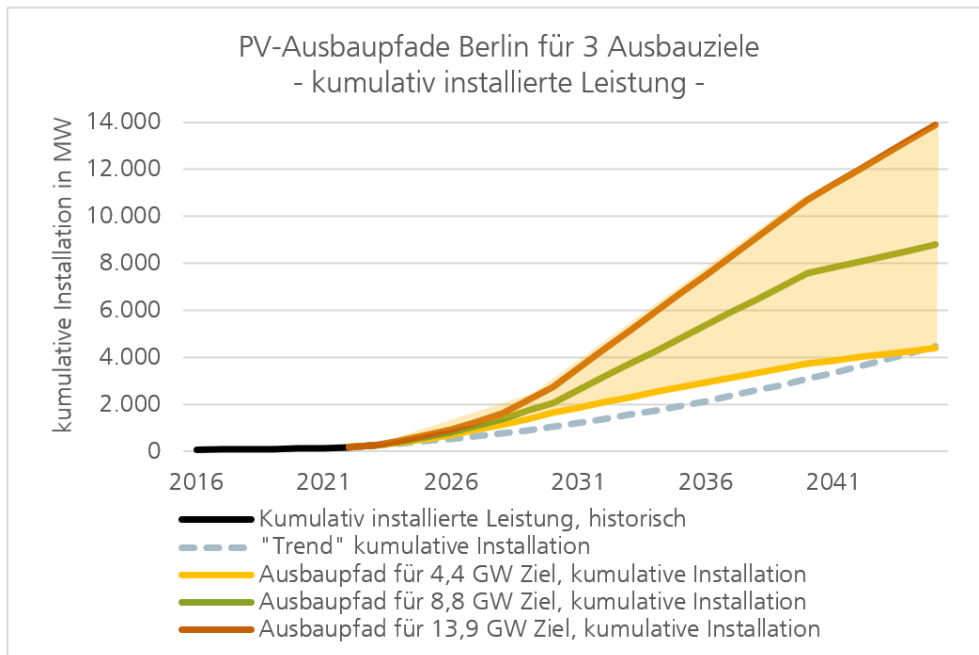


Abbildung 11: Entwicklung der kumulierten PV-Leistung zur Erreichung der 4,4 GW, 8,8 GW und 13,9 GW Ausbauziele sowie Extrapolation der Marktentwicklung der Jahre 2017-2023 ("Trend")

Für die richtige Einordnung dieser Kurven ist es wichtig festzustellen, dass die **Ausbaupfade keine Prognosen für die künftige Marktentwicklung, sondern mögliche Entwicklungspfade zur Erreichung der vorgegebenen Ausbauziele darstellen**. Die Ausbaupfade weisen bezogen auf das jeweilige Ausbauziel jedoch eine hohe Plausibilität für die Marktentwicklung auf, da größere Verschiebungen bei den jährlichen Installationsraten unwahrscheinlich sind. Beispielsweise würde ein deutlich langsamerer Hochlauf der jährlich installierten PV-Leistung zu Beginn deutlich höhere Installationsraten in einer späteren Phase erfordern, die nur schwer zu erreichen sind. Die Ausbaupfade werden in der Realität jedoch vom energiepolitischen Umfeld, der Wettbewerbsfähigkeit der Technologie und von der Marktentwicklung im Allgemeinen (z.B. Verfügbarkeit von Produkten, Anbietern, Handwerkern) stark beeinflusst, weshalb sich begrenzte Verschiebungen und Schwankungen zwischen den Jahren zwangsläufig ergeben. Die Form der Ausbaupfade kann aber nicht grundsätzlich anders sein, da die Fläche unter dem Ausbaupfad mit den jährlichen Zubauraten der gesamt installierten PV-Leistung und damit dem Ausbauziel entspricht, das ja festgelegt ist.

3.2 Varianten der Ausbaupfade in Bezug auf die Anteile der Marktsegmente

Die jährlich in Berlin zu installierende PV-Leistung ist im jeweiligen Ausbaupfad vorgegeben. Der PV-Zubau kann jedoch unterschiedlich auf die verschiedenen Marktsegmente verteilt sein. Um dies zu berücksichtigen, wurden drei Pfadvarianten mit einer jeweils anderen Verteilung der Marktsegmente entwickelt. Variiert wird also nicht die jährlich installierte PV-Leistung in Berlin, sondern die Anteile der einzelnen Marktsegmente.

Die **Pfadvariante 1 „Business as usual“** entspricht einer gleichbleibenden Verteilung der PV-Marktsegmente wie bislang über den gesamten Ausbau bis zur Zielerreichung im Jahr 2045 mit der Ausnahme der Neubauten, die aufgrund des Solargesetzes alle eine PV-Anlage installieren (siehe auch Kapitel 3.2.3.1)

Die **Pfadvariante 2 „Beschleunigter Ausbau auf öffentlichen Gebäuden“** sieht vor, dass die PV-Potenziale auf öffentlichen Gebäuden bis zum Jahr 2031 vollständig erschlossen werden. Die Potenziale auf Neubauten werden vollständig genutzt und die restlichen Potenziale wie bisher verteilt (siehe auch Kapitel 3.2.3.2).

Die **Pfadvariante 3: „Erhöhte Marktanteile von MFH und Gewerbe“** berücksichtigt größere Marktanteile von PV-Anlagen auf MFH und Gewerbebauten als bisher und damit eine gleichmäßigere Ausnutzung der PV-Potenziale der verschiedenen Marktsegmente (siehe auch Kapitel 3.2.3.3).

Abbildung 12 zeigt die Zuordnung der Pfadvarianten zu den Ausbauzielen und Ausbaupfaden.

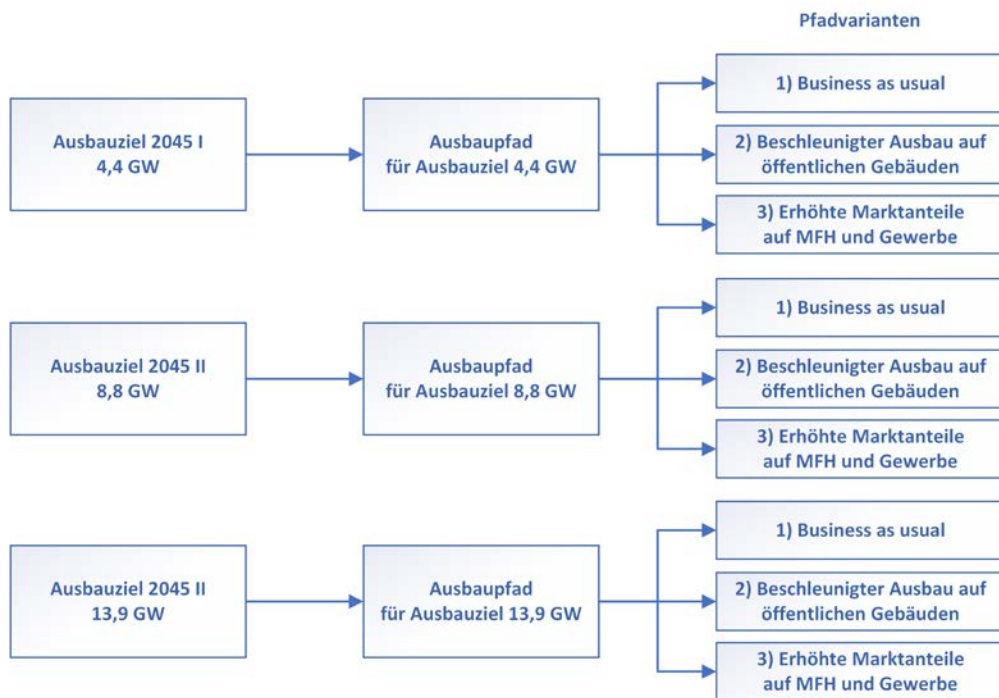


Abbildung 12: Zuordnung der 9 Pfadvarianten zu den Ausbauzielen und Ausbaupfaden

Die Definition von 3 Pfadvarianten hat zwei Vorteile. Erstens können daraus Unterschiede in der räumlichen Verteilung des Ausbaus abgeleitet werden, da die Potenziale der Marktsegmente in den Berliner Bezirken und den lebensweltlich orientierten Räumen (LOR) unterschiedlich verteilt sind. Zweitens können die Maßnahmen zur Stimulation des PV-Marktes besser geplant werden, wenn die Marktsegmente und damit die zu adressierenden Zielgruppen bekannt sind.

Im Folgenden werden zuerst die unterschiedlichen Marktsegmente und dann die Pfadvarianten vorgestellt.

3.2.1

Marksegmente und deren Hemmnisse und Treiber

Als Grundlage für die Entwicklung der Pfadvarianten wurden Hemmnisse und Treiber für den PV-Ausbau identifiziert differenziert nach den Marktsegmenten bzw. Gebäudetypen und damit den zugehörigen Akteuren. Im Anhang sind in Tabelle 11 die wichtigsten identifizierten Hemmnisse aufgelistet. Die Hemmnisse und Treiber der verschiedenen Gebäudetypen werden im Folgenden vorgestellt.

Die Bedeutung der einzelnen Gebäudetypen bzw. Marktsegmente ist Tabelle 7 zu entnehmen. So weisen Mehrfamilienhäuser (MFH) das größte PV-Potenzial mit 34,1 % auf gefolgt von den Gewerbebauten mit 29,1 %.

Tabelle 7: Dach-PV-Potenziale in Berlin für den Gebäudebestand 2020 nach Marktsegmenten inklusive und ohne Potenziale auf Denkmalen

Marktsegment	PV-Potenzial inklusive Denkmale (Gebäudebestand 2020)	Anteil auf Denkmalen	PV-Potenzial ohne Denkmale (Gebäudebestand 2020)	Marktanteil
Öffentliche Gebäude	1,3 GW	38%	0,8 GW	8,5%
Gewerbebauten	3,4 GW	19%	2,8 GW	29,1%
Wohngebäude EZFH	2,7 GW	9%	2,5 GW	26,0%
Wohngebäude MFH	3,8 GW	15%	3,2 GW	34,1%
Sonstige Gebäude	0,2 GW	20%	0,2 GW	1,7%
Gesamt	11,4 GW	17%	9,5 GW	100%

3.2.1.1

Öffentliche Gebäude

Das Berliner Abgeordnetenhaus hat im Berliner Klimaschutz- und Energiewendegesetz (EWG Bln) aus dem Jahr 2016, zuletzt geändert 2021, das Ziel gesetzt, die PV-Potenziale auf eigenen Gebäuden vollständig zu erschließen. Nach § 19 Absatz 4 EWG Berlin sind „auf Dächern öffentlicher Gebäude [...] spätestens bis zum 31. Dezember 2024 Solaranlagen auf der gesamten technisch nutzbaren Dachfläche zu errichten“. Diese enorm ambitionierte Zielsetzung ist allerdings nicht mehr zu erreichen. Ende 2023 betrug die installierte PV-Leistung auf öffentlichen Gebäuden ca. 38 MW [6], das Potenzial auf nicht denkmalgeschützten öffentlichen Gebäuden wird jedoch auf 790 MW geschätzt, inklusive denkmalgeschützter Gebäude beträgt es 1.270 MW [5]. Die in Berlin gesamt installierte PV-Leistung betrug im Vergleich dazu 272 MW im Jahr 2023 [6].

Neben der Zielsetzung der Nutzung des PV-Potenzials auf öffentlichen Gebäuden hat sich das Land Berlin nach § 8 Absatz 1 EWG Berlin das Ziel gesetzt, „den Kohlendioxid-ausstoß der Landesverwaltung [...] bis zum Jahr 2030 weitgehend auszugleichen und diese somit CO₂-neutral zu organisieren. Beide Zielsetzungen sind starke Treiber des PV-Zubaus. Gleichzeitig sind starke Hemmnisse bei der Zielerreichung zu verzeichnen, wie

fehlende Investitionsmittel, hoher Sanierungsstau und Personalmangel in der Verwaltung und bei den Installationsunternehmen [27].

Da das Ziel der Nutzung aller PV-Potenziale auf öffentlichen Gebäuden bis Ende 2024 nicht mehr zu erreichen ist, wird im Folgenden davon ausgegangen, dass die Zielerreichung nun bis Ende 2030 verfolgt wird, dem Zieljahr der CO₂-neutralen Verwaltung. Doch auch die Streckung dieses Ziels führt zu einer großen Dominanz dieses Marktsegments im PV-Ausbau von Berlin in dieser Dekade, weshalb im Folgenden zwei Szenarien für das Marktsegment öffentliche Gebäude betrachtet werden: die Erschließung des Potenzials auf öffentlichen Gebäuden bis Ende 2030 (Pfadvariante 2) und eine Verteilung des Marktausbaus bis 2045 (Pfadvarianten 1 und 3).

3.2.1.2

Gewerblich genutzte Gebäude

PV-Anlagen auf Gewerbebauten stellen bisher ein eher gehemmtetes PV-Marktsegment dar. Durch niedrigere Strompreise im Gewerbe im Vergleich zu Haushalten ist für den Fall der Eigenstromnutzung die Installation von PV-Anlagen im Gewerbe meist weniger rentabel. Weitere Hemmnisse sind die verpflichtende Direktvermarktung ab 100 kW, die Bereitstellung von Netzverknüpfungspunkten im Mittelspannungsnetz ab 135 kW und eine aufwändige Zertifizierung. Bei vermieteten Gewerbebauten ist die ökonomisch attraktive Eigenstromnutzung entweder nicht oder nur mit zusätzlichem Aufwand möglich.

Die Gewerbestrompreise steigen jedoch, während gleichzeitig die Preise für PV-Anlagen sinken, was die Attraktivität der Eigenstromversorgung erhöht. Außerdem sind nach der EU-Richtlinie „Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD)“ künftig größere Unternehmen zur Nachhaltigkeitsberichterstattung verpflichtet, was mittelbar auch auf kleine und mittlere Unternehmen ausstrahlt. Die Bundesregierung hat im August 2024 den Entwurf eines Gesetzes zur Umsetzung der Richtlinie (EU) 2022/2464 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 14. Dezember 2022 hinsichtlich der Nachhaltigkeitsberichterstattung von Unternehmen in den Bundestag eingebracht, der Entwurf befindet sich noch in der Beratung [28]. Die Regelungen werden Gewerbebetriebe zusätzlich motivieren, PV-Anlagen zu installieren.

3.2.1.3

Ein- und Zweifamilienhäuser

Ökonomisch am attraktivsten sind PV-Anlagen auf Ein- und Zweifamilienhäusern (EZFH) dann, wenn sie einen Teil ihres Solarstroms direkt selbst verbrauchen, denn beim Eigenverbrauch spart jede erzeugte kWh Solarstrom den Stromzugspreis ein, der im Mittel im ersten Halbjahr 2024 etwa 41 ct/kWh betrug. Dies ist wesentlich mehr als die Vergütung von 12,87 ct/kWh, die man bei Volleinspeisung des Solarstroms erhält, wenn die Inbetriebnahme im ersten Halbjahr 2024 lag [29]. Die Haushaltsstrompreise sind von durchschnittlich 32,16 ct/kWh im Jahr 2021 auf 45,73 ct/kWh im Jahr 2023 angestiegen und im ersten Halbjahr wieder auf 41,35 ct/kWh gesunken [30]. Auch wenn sich die Lage bei den Energiepreisen weiter entspannt, wird nicht damit gerechnet, dass sich die Preise wieder auf das Niveau vor dem Krieg in der Ukraine absenken, u.a. da im Rahmen der Energiewende die Investitionskosten in die Stromnetzinfrasturktur künftig steigen werden [31]. Die seit 2023 erhöhte Einspeisevergütung für voll einspeisende PV-Anlagen

verbessert die Wirtschaftlichkeit auch für die EZFH, die von ihren Eigentümer:innen nicht selbstgenutzt werden [29].

Die Kombination von PV-Anlagen mit Batteriespeichern erfreut sich zunehmender Beliebtheit, da diese den Anteil des selbstgenutzten Solarstroms einer PV-Anlage erhöhen und durch den verminderten Netzbezug und die verminderte Solarstromeinspeisung das Stromnetz entlasten, wenn der Batteriespeicher netzdienlich betrieben wird. Der Berliner Senat fördert mit seinem Förderprogramm SolarPLUS die Installation von Batteriespeichern mit einem Zuschuss [32]. Im Juli 2024 waren in Berlin 14.100 Lithium-Batterien im Marktstammdatenregister registriert, die Mehrzahl davon dürfte in Ein- und Zweifamilienhäusern installiert sein [20].

3.2.1.4

Mehrfamilienhäuser

Etwa 90% der Wohnungen in Berlin befinden sich in Mehrfamilienhäusern (MFH) [33]. Die Installation von PV-Anlagen auf Mehrfamilienhäusern hat gegenüber EZFH jedoch mit zusätzlichen Hemmnissen zu kämpfen, da eine Direktversorgung der Haushalte im Gebäude mit dem Solarstrom vom eigenen Dach aufwändiger und der ökonomische Vorteil einer Eigenstromnutzung geringer ist. Hierfür lässt sich die Mieterstromregelung nutzen, die allerdings in der Vergangenheit vielfach unattraktiv war [34, 35]. Im April 2024 wurde das Solarpaket I beschlossen mit Vereinfachungen bei den Mieterstrom-Regelungen durch die Einführung der „Gemeinschaftlichen Gebäudeversorgung“ im § 42 b EnWG (Energiewirtschaftsgesetz), durch vereinfachte Abrechnungsregeln sowie durch Verbesserungen beim Mieterstrom auf Gewerbegebäuden [36][37]. Ob dies ausreicht, einen Nachfrageschub bei Mieterstromanlagen auszulösen, wird sich in den kommenden Jahren zeigen.

Bislang sind Mehrfamilienhäuser noch das am stärksten gehemmte Marktsegment, das mit 34,1 % den größten Anteil des Dach-PV-Potenzials in Berlins aufweist, weshalb intensive Bemühungen zum Abbau von Hemmnissen sinnvoll und notwendig sind, um die Zielsetzungen zu erreichen (siehe Tabelle 7).

3.2.1.5

Denkmalgeschützte Gebäude

Auf denkmalgeschützten Gebäuden ist die Installation konventioneller PV-Anlagen oftmals nicht zulässig, für eine Installation sind denkmalrechtliche Genehmigungen der unteren Denkmalschutzbehörde erforderlich, wobei es sich dabei um Einzelfallentscheidungen handelt. Teilweise sind Speziallösungen wie dachintegrierte oder farbige Lösungen akzeptiert. Diese sind jedoch meist teurer und verfügen je nach Technologie über eine geringe Effizienz. In dieser Studie wurden die Potenziale auf denkmalgeschützten Gebäuden deshalb nur im Ausbauszenario mit maximaler Ausnutzung des Potenzials betrachtet. Allerdings gibt es Bemühungen des Berliner Senats in Zusammenarbeit mit dem Denkmalamt, die Installation von PV-Anlagen auf Denkmälern zu steigern, so wurde im März 2023 der Leitfaden „Denkmale und & Solaranlagen“ veröffentlicht [38].

3.2.1.6

Neubauten

Für Neubauten gilt seit Januar 2023 nach § 3 Solargesetz Berlin die Verpflichtung, eine PV-Anlage zu installieren und zu betreiben. Die Solarpflicht gilt auch bei Bestandsgebäuden, wenn wesentliche Umbauten des Daches vorgenommen werden. § 4 Solargesetz Berlin schreibt die Installation von PV-Anlagen auf mindestens 30% der vorhandenen Bruttodachfläche vor. Dies ist ein wichtiger Treiber für den PV-Ausbau auf Neubauten. Da die Modulpreise sinken und die spezifischen Installationskosten pro kW für PV-Anlagen mit der Größe in der Regel abnehmen, ist von einer steigenden Ausnutzung der Dachflächen auszugehen, so dass angenommen wird, dass im Schnitt mehr als 30% der Bruttodachfläche für die Belegung durch PV-Module genutzt wird.

3.2.1.7

Parkplätze

Die Überdachung von Parkplätzen mit PV-Anlagen wird zunehmend in Betracht gezogen und wurde mittlerweile von acht Bundesländern in ihre Solarpflicht aufgenommen, wie z.B. in Baden-Württemberg, Hamburg oder Brandenburg, allerdings nicht in Berlin [39]. In der Regel bezieht sich die PV-Überdachung auf die Überdachung von Pkw-Stellplätzen. Die Kosten für PV-Installationen über Parkplätzen sind höher als für PV-Anlagen auf Dachflächen, da die notwendige Unterkonstruktion aufwändiger ist. Gleichzeitig bieten PV-Stellplatzüberdachungen auch zusätzliche Vorteile wie den Wetterschutz der abgestellten Fahrzeuge und auch die Möglichkeit des Direktsolarstrombezugs zur E-Mobil-Ladung der abgestellten E-Fahrzeuge. Bisher ist das Marktsegment kaum erschlossen, künftig wird aber mit einer steigenden Nachfrage gerechnet.

3.2.1.8

Balkonsolaranlagen

Balkonsolaranlagen oder Steckersolargeräte sind steckerfertige PV-Anlagen mit einem oder mehreren PV-Modulen mit einer maximalen Leistung von 2.000 Watt und einem Wechselrichter von maximal 800 Watt Leistung zum direkten Anschluss an eine 230 Volt Haushaltsstromnetz (siehe § 8 Absatz 5a EEG 2023). Die Anlage kann mit einem haushaltsüblichen Schutzkontaktstecker (Schuko) direkt ans Haushaltsstromnetz angeschlossen werden, wobei hierzu die Elektro- und Produktnormen noch nicht verabschiedet sind [40, 41]. Die Anlagen sind im Einzelhandel verfügbar und können von den Gebäudeeigentümer:innen oder Mieter:innen selbst montiert und angeschlossen werden. Der niederschwellige Zugang macht ihre Nutzung sehr attraktiv. Der erzeugte Solarstrom reduziert den Strombezug aus dem Netz der allgemeinen Versorgung. Die Leistung der Einzelanlage beträgt typischerweise 400 bis 800 Watt, bei einer starken Verbreitung kann sich die Vielzahl der Anlagen jedoch zu einem nennenswerten Potenzial aufaddieren (siehe Potenzialanalyse Balkonsolaranlagen Kapitel 2.3.2).

Der Bundestag hat das Gesetz zur [...] Erleichterung des Einsatzes von Steckersolargeräten [...] am 04.07.2024 verabschiedet. Damit wurde in § 554 Absatz 1 BGB Satz 1 erweitert wie folgt: „Der Mieter kann verlangen, dass ihm der Vermieter bauliche Veränderungen der Mietsache erlaubt, die dem Gebrauch durch Menschen mit Behinderungen, dem Laden elektrisch betriebener Fahrzeuge, dem Einbruchsschutz oder der Stromerzeugung durch Steckersolaranlagen dienen“ [42]. Durch die Privilegierung wird

erwartet, dass die bisherigen Barrieren aufgrund fehlender Zustimmung von Vermietern oder Wohneigentümergeinschaften überwunden sind, inwieweit dies der Fall ist, muss nun die Praxis zeigen. Es ist allerdings zu erwarten, dass durch die Privilegierung der Steckersolaranlagen der aktuelle dynamische Ausbautrend weiter Bestand haben wird.

3.2.2

Ermittlung des Anteile der Marktsegmente im Startjahr und im Zieljahr

Die Anteile der Marktsegmente in den Pfadvarianten werden abgeleitet aus ihren heutigen Marktanteilen, der erwarteten Marktdynamik, die sich aus bereits beschlossenen Veränderungen der Regulatorik und der Abschätzung künftiger möglicher Änderungen ergibt, sowie aus spezifischen Zielsetzungen. Im Folgenden werden zuerst die Anteile im Startjahr auf Basis der bisherigen Marktanteile sowie die zu erreichenden Marktanteile im Zieljahr ermittelt.

3.2.2.1

Bisherige Anteile der Marktsegmente

Unterschieden werden die Marktsegmente Neubauten, öffentliche Gebäude, Balkon-PV und sonstige Kleinanlagen, Ein- und Zweifamilienhäuser (EZFH), Mehrfamilienhäuser (MFH), gewerblich genutzte Gebäude, Parkplätze und denkmalgeschützte Gebäude.

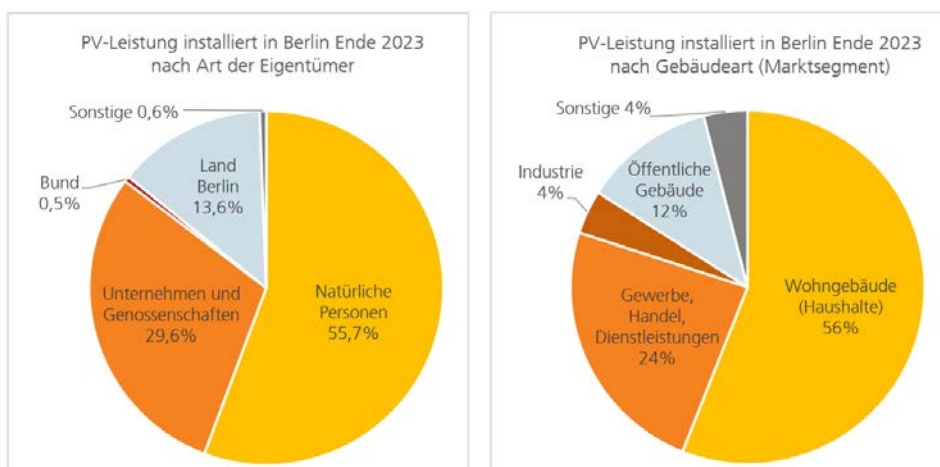


Abbildung 13: Marktanteile der bis Ende 2023 installierten PV-Leistung im Land Berlin bezogen auf die Eigentümer (links) und die Marktsegmente (rechts) [6]

Der bisherige PV-Zubau in Berlin findet hauptsächlich auf Gebäudedächern statt. Den größten Anteil haben daran bislang die Wohngebäude, auf denen 56 % der PV-Leistung installiert ist, gefolgt von 24 % auf Gebäuden von Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und 4 % auf Industriegebäuden, 12 % auf öffentlichen Gebäuden und 4 % auf sonstigen Gebäuden. Als Eigentümer:innen dominieren natürliche Personen mit 55,7 %, gefolgt von Unternehmen und Genossenschaften mit 29,6 % und dem Land Berlin mit 13,6 %. Der Bund ist Eigentümer von 0,5 % und sonstige Eigentümer machen 0,6 % aus [6] (siehe Abbildung 13). Da sich PV-Anlagen auf GHD- und Industrie-Gebäuden (28 %) fast ausschließlich im Eigentum von Unternehmen und Genossenschaften befinden dürften (29,6 %), ist der größte Teil der PV-Anlagen auf Wohngebäuden (56 %) im

Eigentum von natürlichen Personen (55,7 %). Dabei wird noch ein Teil der PV-Anlagen auf Wohngebäude von Wohnbaugenossenschaften betrieben.

Festzustellen ist allerdings, dass im Vergleich zur gesamt installierten PV-Leistung der Zubau im Jahr 2023 sich weiter von GHD, Industrie und öffentlichen Gebäuden in Richtung Haushalte verschoben hat, deren Anteil auf 75 % angestiegen ist, wie Abbildung 14 zeigt. Offensichtlich sind die Privathaushalte, die vor allem in Kleinanlagensegment aktiv sind, wesentlich agiler in der Anpassung an die neuen, verbesserten Rahmenbedingungen als die anderen Investorentypen. Ob sich dies in den nächsten Jahren von alleine wieder ausgleicht, ist aktuell nicht abschätzbar.

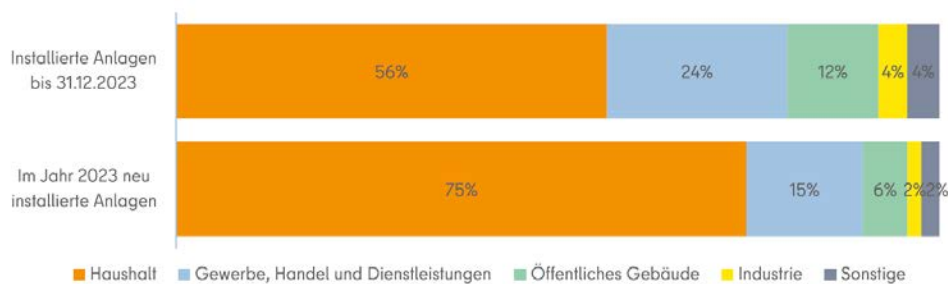


Abbildung 14: Anteil der Gebäudenutzungsarten, auf denen PV-Anlagen in Berlin installiert sind in Bezug auf die installierte PV-Leistung, Vergleich aller Anlagen bis 31.12.2023 mit den im Jahr 2023 neu installierten Anlagen (Quelle: [6])

3.2.2.2

Anteile der Marktsegmente im Zieljahr 2045

Ausgehend von ihren bisherigen Marktanteilen wurde für jedes Marktsegment die künftige mögliche Entwicklung abgeschätzt. Eine Sonderrolle nehmen dabei die Neubauten ein. Durch die seit Januar 2023 gültige Solarpflicht muss künftig auf allen geeigneten Neubauten eine PV-Anlage installiert werden (siehe Kapitel 3.2.1.6). Der Umfang der PV-Anlagen auf Neubauten ergibt sich somit vor allem aus den Annahmen zur Neubautenentwicklung. Für das 4,4 GW Ausbauziel wird davon ausgegangen, dass zwischen 40 % und 60 % des PV-Potenzials erschlossen wird, was z.B. der Fall ist, wenn viele Neubauten nur die Pflicht in minimalem Umfang erfüllen. Für das 8,8 GW Ausbauziel wird dagegen davon ausgegangen, dass das Potenzial auf Neubauten zu 90 % erschlossen wird.

Bezüglich der öffentlichen Gebäude wird in der Pfadvariante 1 und 3 davon ausgegangen, dass ihr Marktanteil nicht wesentlich steigt und damit ihr Potenzial nur zu 40 % bis 60 % ausgeschöpft wird. In Pfadvariante 2, das den beschleunigten Ausbau auf öffentlichen Gebäuden vorsieht, wird dagegen das Potenzial auf öffentlichen Gebäuden für das 4,4 GW und 8,8 GW Ausbauziel jeweils zu 94 % erschlossen. In diesen Fällen wird davon ausgegangen, dass das Ziel, auf allen geeigneten Gebäudedächern PV-Anlagen zu installieren, bis Ende 2030 erreicht wird als Maßnahme zur Zielerreichung einer klimaneutralen Verwaltung nach § 8 Absatz 1 EWG Berlin (siehe Kapitel 3.2.1.1).

Für die weiteren Marktsegmente wurde zuerst von einer Fortsetzung der bisherigen Marktanteile ausgegangen. Für das größte Marktsegment auf Wohngebäuden bedeutet dies, dass in der Pfadvariante 1 der größte Ausbau erwartet wird, mit 55 % Potenzialausschöpfung für das Ausbauziel 4,4 GW und 85 % für das Ausbauziel 8,8 GW. Für die Pfadvarianten 2 und 3 reduziert sich dann der Marktanteil auf Wohngebäuden, da in

Pfadvariante 2 die öffentlichen Gebäude und in Pfadvariante 3 die gewerblichen Gebäude ein stärkeres Wachstum verzeichnen. In Tabelle 8 ist aufgelistet, wie stark die PV-Potenziale der einzelnen Marktsegmente im Zieljahr 2045 für die drei Pfadvarianten und die 3 Ausbauziele ausgeschöpft werden. Für das Ausbauziel 13,9 GW ergeben sich für alle drei Pfadvarianten dieselben Zielwerte der Marktsegmente, da per Definition alle Potenziale weitgehend ausgeschöpft werden.

Tabelle 8: Anteile der Potenzialausnutzung der einzelnen Marktsegmente im Zieljahr 2045 für die drei Pfadvarianten und die drei Ausbauziele

Ausbauziel	4,4 GW			8,8 GW			13,9 GW		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Neubau	60%	55%	40%	90%	90%	90%	100%	100%	100%
Öffentlich	60%	94%	40%	68%	94%	55%	94%	94%	94%
Balkonsolar	90%	85%	35%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Wohnen EZFH	55%	50%	30%	85%	83%	70%	95%	95%	95%
Gewerbe	25%	24%	40%	75%	73%	78%	97%	97%	97%
Parkplätze	25%	24%	30%	75%	73%	78%	100%	100%	100%
Wohnen MFH	5%	4%	30%	45%	42%	57%	100%	100%	100%
Denkmal	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%	100%

Die absoluten PV-Leistungen der einzelnen Marktsegmente im Zieljahr, differenziert nach Ausbauziel und Pfadvariante, sind in Abbildung 15 dargestellt. Sie ergeben sich aus der Multiplikation der Potentiale der einzelnen Marktsegmente mit der Höhe der Potenzialausschöpfung wie in Tabelle 8 dargestellt ergeben. Für das Ausbauziel von 13,9 GW unterscheiden sich die Pfadvarianten nicht im Endausbau, da dann alle Potenziale weitgehend genutzt werden müssen. Deutlich wird in der Abbildung, dass die Verteilung der Marktsegmente beim 4,4 GW Ausbauziel am stärksten variieren kann, wenn z.B. die PV-Anlagen auf Gewerbebauten und MFH gegenüber heute deutlich zunehmen sollten (Pfadvariante 3). Im 8,8 GW Ausbauziel unterscheiden sich die Pfadvarianten dagegen deutlich weniger, da die Potenziale schon in stärkerem Umfang genutzt werden und weniger Spielraum für Änderungen zulassen.

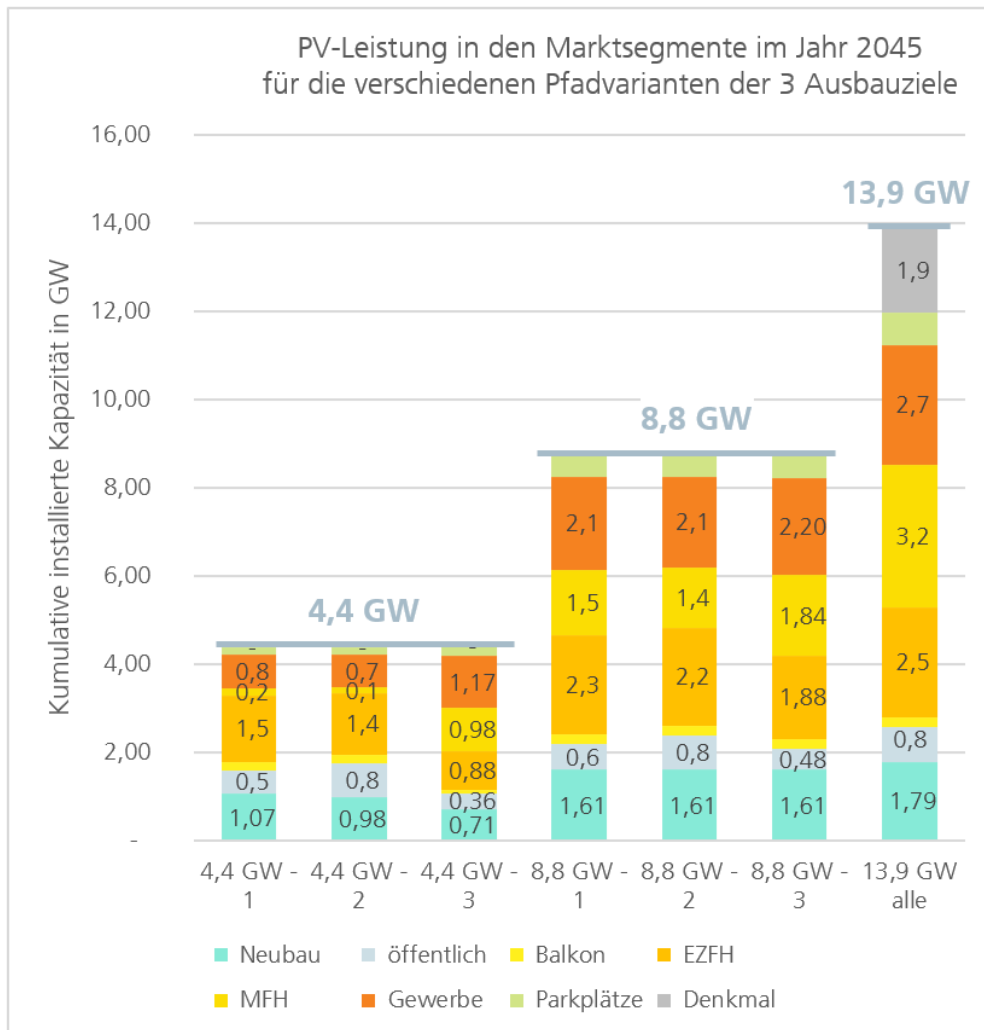


Abbildung 15: Installierte PV-Leistung in GW der Marktsegmente im Zieljahr 2045 für die drei Ausbauziele und die Pfadvarianten 1) Business as usual, 2) Beschleuniger Ausbau auf öffentlichen Gebäuden und 3) Erhöhte Marktanteile auf MFH und Gewerbe. Für das Ausbauziel 13,9 GW sind die 3 Pfadvarianten identisch.

3.2.3

Entwicklung der Marktsegmente im zeitlichen Verlauf von 2024 bis 2045

Im Folgenden werden für die drei Pfadvarianten die möglichen zeitlichen Verläufe der Marktsegmente vom Startjahr 2024 bis zum Zieljahr 2045 beschrieben für die drei Ausbauziele im Jahr 2045. Die Ausbauziele der Marktsegmente wurden im vorherigen Kapitel vorgestellt.

Als Hüllkurve, sprich die jährlich installierte PV-Leistung in Berlin (Summe aller Marktsegmente) ist dabei für die drei Ausbauziele vorgegeben wie in Kapitel 3.1.3 beschrieben. Variiert werden je Ausbauziel in den Pfadvarianten nur die Verteilung der Marktanteile, die zusammen jeweils dieselbe PV-Leistung ergeben (siehe Abbildung 10). Die entwickelten Ausbaupfade orientieren sich dabei an der Ausbauplanung des Bundes, die in Zweijahresschritten erfolgt, deshalb ändern sich auch hier die Werte in Zweijahresschritten (siehe Abbildung 9).

3.2.3.1

Pfadvariante 1: Business as usual (Basis)

PV-Ausbaupfade von 2024 bis 2045

In der ersten Pfadvariante wird im Wesentlichen davon ausgegangen, dass der weitere PV-Ausbau bis zum Jahr 2045 für alle Marktsegmente mit denselben Wachstumsraten verläuft, d.h. dass die Marktanteile sich in Zukunft nicht ändern. Eine Ausnahme bildet dabei nur der Neubau, der aufgrund des Solargesetzes kontinuierlich ausgebaut wird, im 4,4 GW Ausbauziel mit dem verpflichteten Minimalausbau, im 8,8 GW und 13,9 GW Ausbauziel mit der Erschließung des vollständigen Potenzials.

Abbildung 16 zeigt die zeitliche Entwicklung der Pfadvariante 1 für das Ausbauziel 4,4 GW, Abbildung 17 für das Ausbauziel 8,8 GW und Abbildung 18 für das Ausbauziel 13,9 GW.

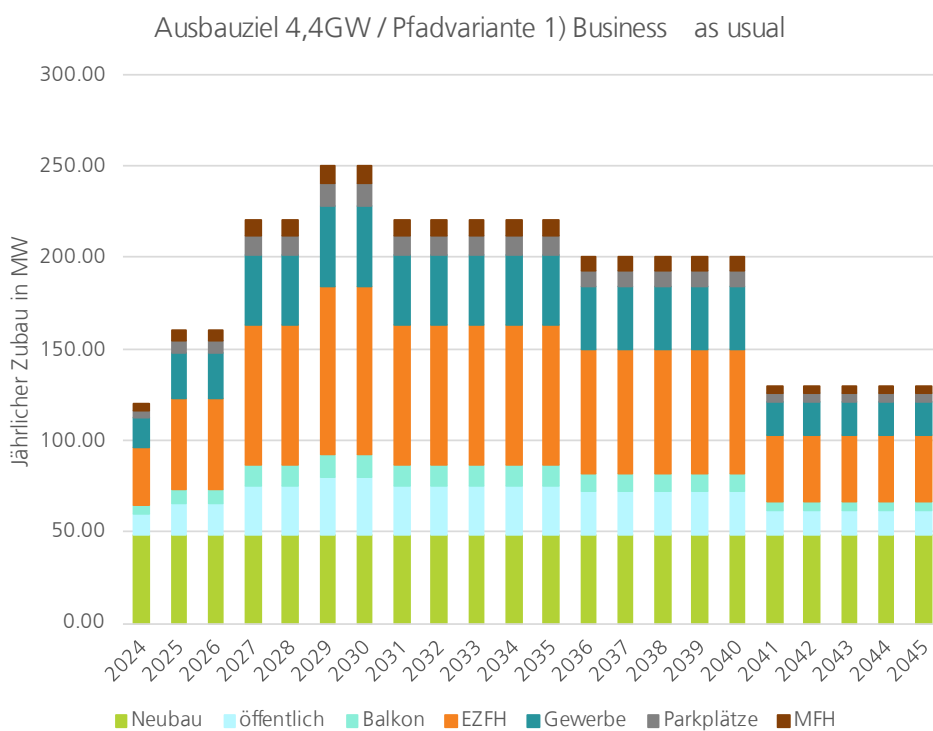


Abbildung 16: Entwicklung des PV-Zubaus nach Marktsegmenten in der Pfadvariante 1 zur Erreichung des 4,4 GW Ausbauziels

In der Pfadvariante 1 weist das Marktsegment EZFH wie bisher einen relativ hohen Anteil auf ebenso wie Neubauten. Allerdings nehmen die Anteile von MFH und Gewerbe für die Ausbauziele 8,8 GW und 13,9 GW deutlich zu, da die EZFH sonst an Potenzialgrenzen stoßen würden (siehe auch Tabelle 8 und Abbildung 15).

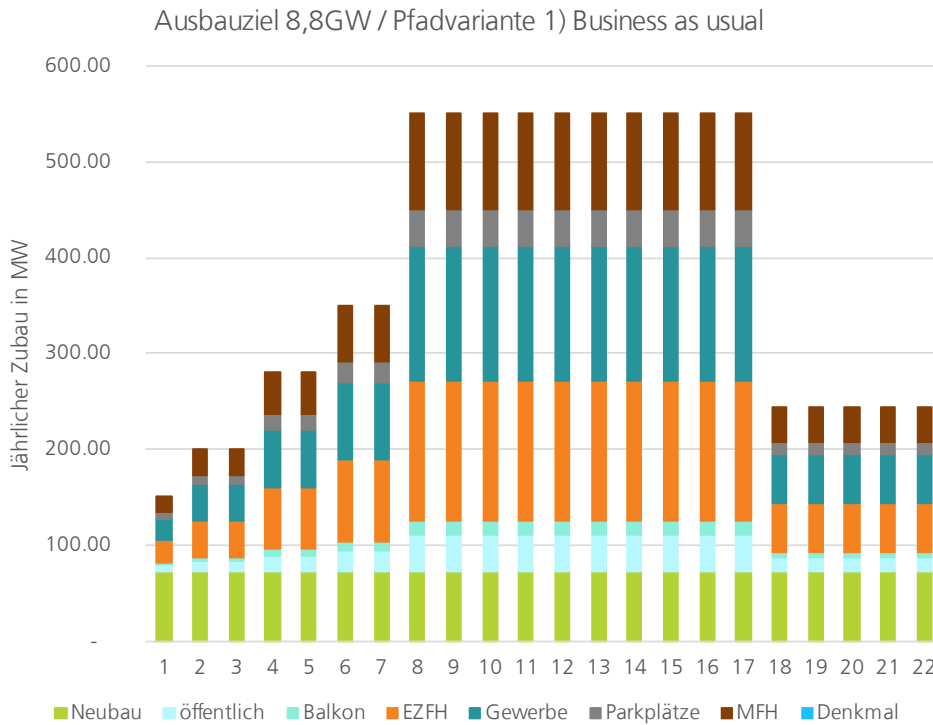


Abbildung 17: Entwicklung des PV-Zubaus nach Marktsegmenten in der Pfadvariante 1 zur Erreichung des 8,8 GW Ausbauziels

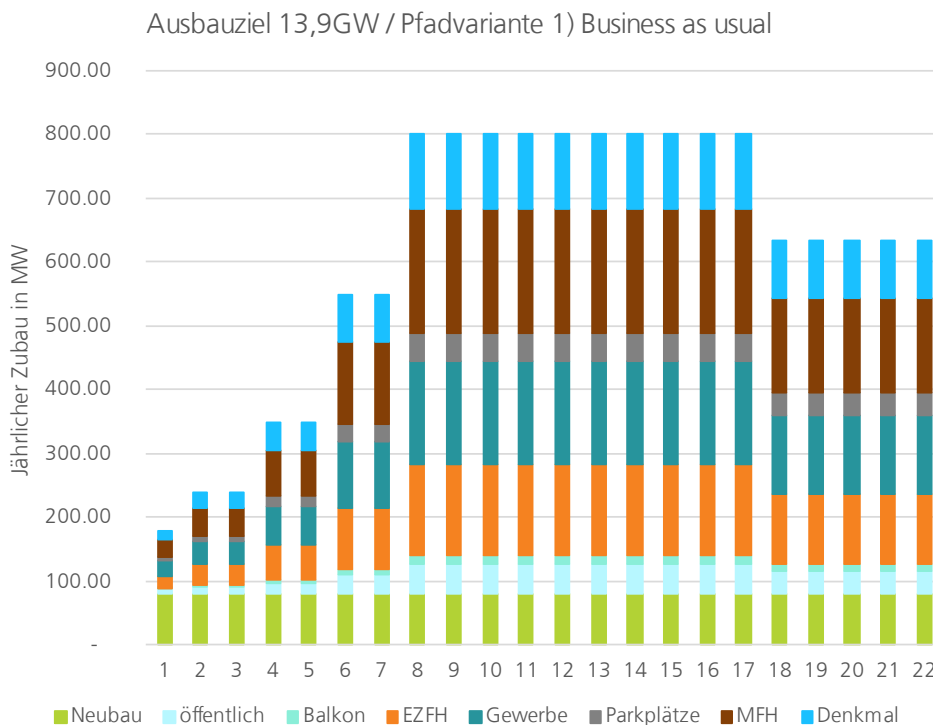


Abbildung 18: Entwicklung des PV-Zubaus nach Marktsegmenten in der Pfadvariante 1 zur Erreichung des 13,9 GW Ausbauziels

3.2.3.2

Pfadvariante 2: Beschleunigter Ausbau auf öffentlichen Gebäuden

Variante 2 basiert auf der Annahme, dass das insgesamt zu erschließende PV-Potenzial auf öffentlichen Gebäuden bereits bis zum Jahr 2031 erschlossen wird. Das ermittelte PV-Potenzial auf nicht-denkmalgeschützten öffentlichen Gebäuden beträgt 790 MW, was fast dem 3-fachen der bis Ende 2023 insgesamt installierten PV-Leistung in ganz Berlin entspricht. Mit 37 MW PV-Leistung im Eigentum des Landes Berlin und 1,4 MW im Eigentum des Bundes [6], sind bislang erst knapp 5 % des Potenzials von 790 MW auf öffentlichen Gebäuden bislang genutzt.

Abbildung 19 zeigt für die Pfadvariante 2 im Ausbauziel 4,4 GW die Anteile der jährlich installierten PV-Anlagen auf öffentlichen Gebäuden, die sich auf die Jahre 2024 bis 2031 konzentrieren. Um diese Installationen zu erreichen, haben die Neubauten und die öffentlichen Gebäude im Ausbauziel 4,4 GW bis zum Jahr 2028 einen Marktanteil von 80 % oder mehr. In Abbildung 20 sind die Anteile für das Ausbauziel 8,8 GW, in Abbildung 21 für das Ausbauziel 13,9 GW dargestellt. Durch das stärkere Gesamtwachstum des Marktes nimmt der Anteil der öffentlichen Gebäude am Gesamtmarkt etwas schneller ab als beim 4,4 GW Ausbauziel, er bleibt aber weiterhin dominierend.

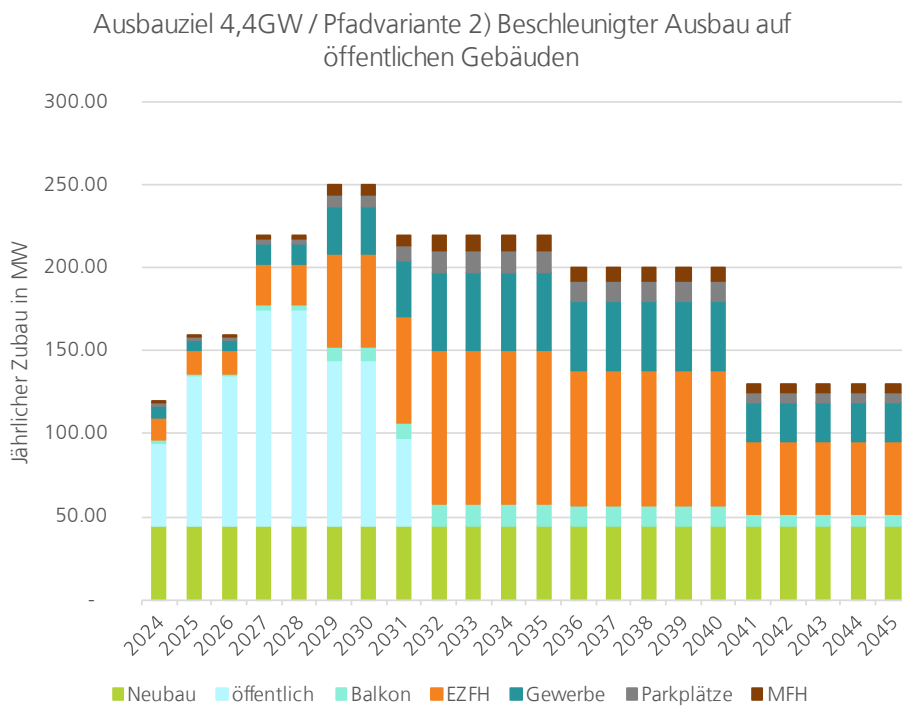


Abbildung 19: Entwicklung des PV-Zubaus nach Marktsegmenten in der Pfadvariante 2 zur Erreichung des 4,4 GW Ausbauziels

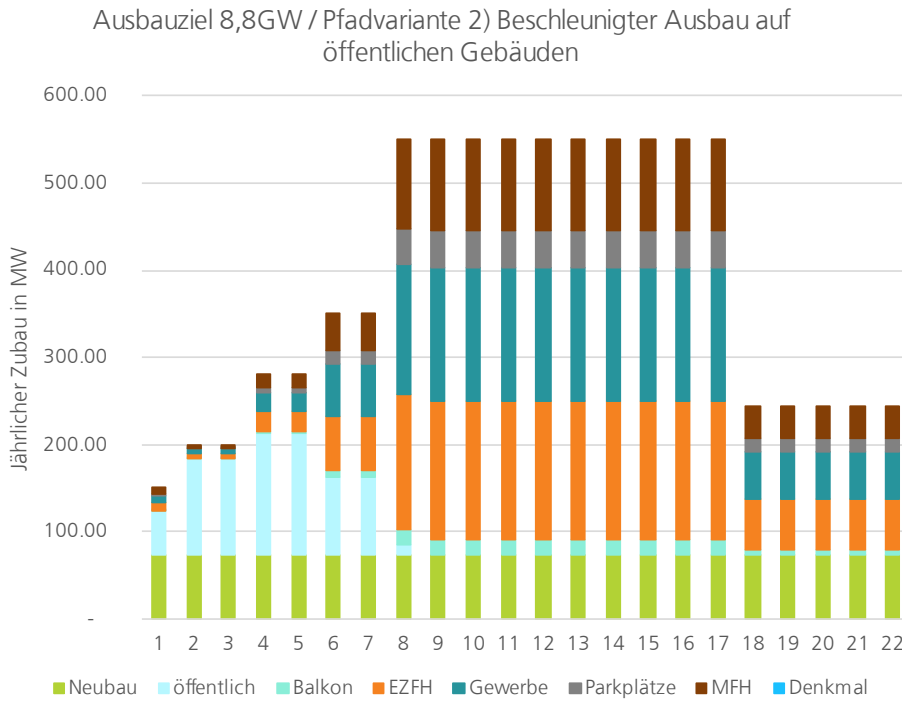


Abbildung 20: Entwicklung des PV-Zubaus nach Marktsegmenten in der Pfadvariante 2 zur Erreichung des 8,8 GW Ausbauziels

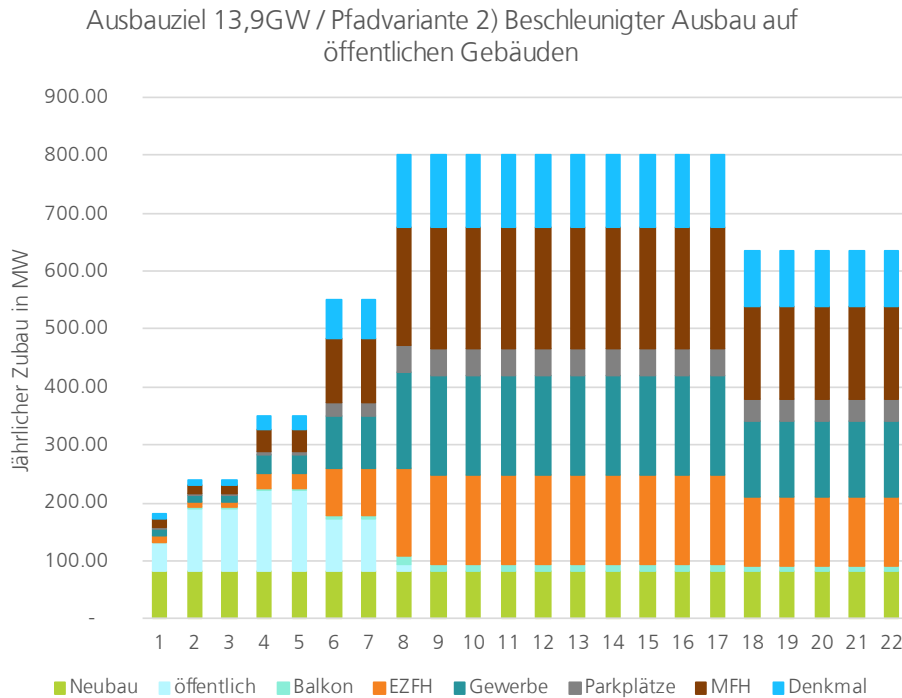


Abbildung 21: Entwicklung des PV-Zubaus nach Marktsegmenten in der Pfadvariante 2 zur Erreichung des 13,9 GW Ausbauziels

Da die Aktivierung des privaten und gewerblichen Sektors aufwändig ist und einen zeitlichen Vorlauf erfordert, ist der forcierte PV-Ausbau auf öffentlichen Gebäuden in den kommenden Jahren aus markttechnischer Sicht durchaus sinnvoll. Allerdings ist die Marktdominanz der öffentlichen Gebäude sehr groß, was auch einige Marktgefahren mit sich bringt, wenn sich z.B. Investitionsentscheidungen der öffentlichen Hand verzögern oder politische Rahmenbedingungen verschieben. Es ist auch festzustellen, dass der Marktanteil auf öffentlichen Gebäuden im Jahr 2023 mit 6 % nur die Hälfte ausmachte wie an der gesamt installierten Leistung bis Ende 2023 mit 12 % (siehe Abbildung 14). Dies bedeutet, dass die bisher getroffenen Maßnahmen der öffentlichen Hand nicht ausreichen, um die Zielsetzung, alle geeigneten öffentlichen Gebäude bis 2030 mit PV-Anlagen auszustatten, zu erreichen. Daraus folgt, dass einerseits die Maßnahmen zum PV-Ausbau auf öffentlichen Gebäuden deutlich ausgebaut werden sollten, aber trotzdem damit gerechnet werden sollte, dass die Zielerreichung nicht bis 2030 möglich ist, sondern vermutlich noch ein paar Jahre mehr in Anspruch nehmen wird. Gleichzeitig müssen alle anderen Marktsegmente weiterhin stimuliert werden, um die Gesamtentwicklung nicht zu gefährden.

Der Unterschied von Variante 2 zu Variante 1 und 3 zeigt sich in der zeitlichen Entwicklung und der kumulierten installierten PV-Leistung auf öffentlichen Gebäuden. Für das Ausbauziel 4,4 GW zeigt Abbildung 22 im Vergleich die bis zum jeweiligen Jahr erreichte kumulierte PV-Leistung auf öffentlichen Gebäuden im Vergleich der Varianten 1 bis 3. In Pfadvariante wird das Ausbauziel bereits im Jahr 2031 erreicht, in den Pfadvarianten 2 und 3 erst im Jahr 2045, wobei die Zielwerte in den Varianten 2 und 3 niedriger liegen als in Pfadvariante 2.

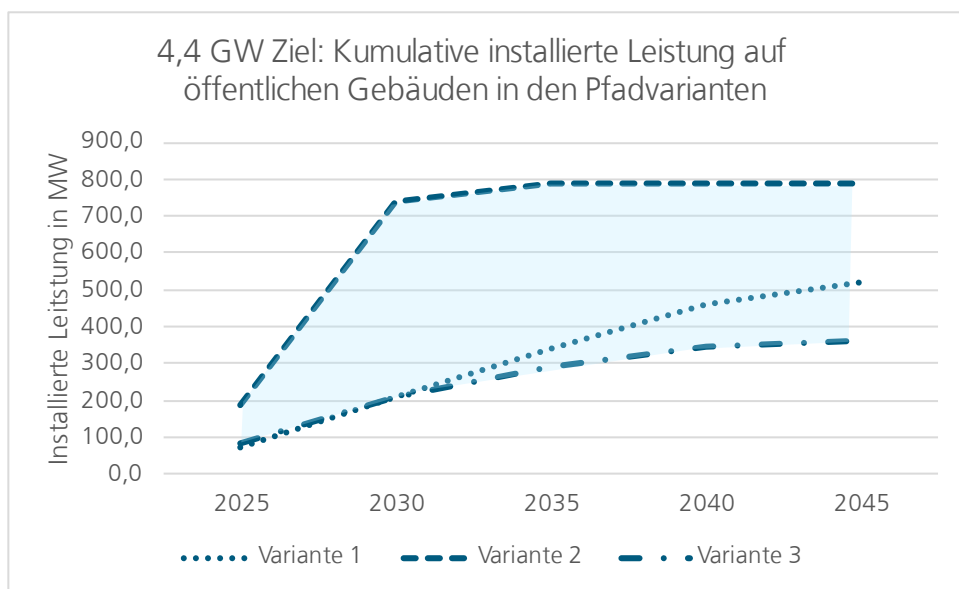


Abbildung 22: Vergleich der Entwicklung der kumulierten PV-Leistung auf öffentlichen Gebäuden im Ausbauziel 4,4 GW für die drei Pfadvarianten in 5 Jahres-Schritten

3.2.3.3

Pfadvariante 3: Erhöhte Marktanteile von MFH und Gewerbe

Derzeit ist der PV-Ausbau auf MFH und Gewerbedächern im Verhältnis zu den jeweiligen Potenzialen dieser Marktsegmente relativ gering, die Gründe sind in Kapitel 3.2.1.4 und 3.2.1.2 erläutert. Deshalb ist auch die Potenzialausschöpfung in diesen Marktsegmenten in Pfadvariante 1 und 2 weiterhin relativ gering, da diese im Wesentlichen den bisherigen Trend fortsetzen (siehe Tabelle 8). Die Pfadvariante 3 beschreibt dagegen ein Szenario, in dem die Rahmenbedingungen für PV-Anlagen auf MFH und Gewerbebauten deutlich verbessert werden und sich dadurch die Marktsegmente MFH und Gewerbebauten überproportional wachsen und sich somit Marktanteile von EZFH und öffentlichen Gebäuden hin zu MFH und Gewerbebauten verschieben. Da sich die Wirkung auf den Markt vermutlich nur langsam einstellen wird, dominiert in dieser Pfadvariante in den Anfangsjahren weiter der Zubau auf EZFH, Neubauten und öffentlichen Gebäuden, bevor der Zubau auf MFH und Gewerbedächern in einer zweiten Phase größere Marktanteile annimmt.

Die Marktentwicklung für das Ausbauziel 4,4 GW für Variante 3 ist in Abbildung 23 dargestellt, für das Ausbauziel 8,8 GW in Abbildung 24 und für das Ausbauziel 13,9 GW in Abbildung 25.

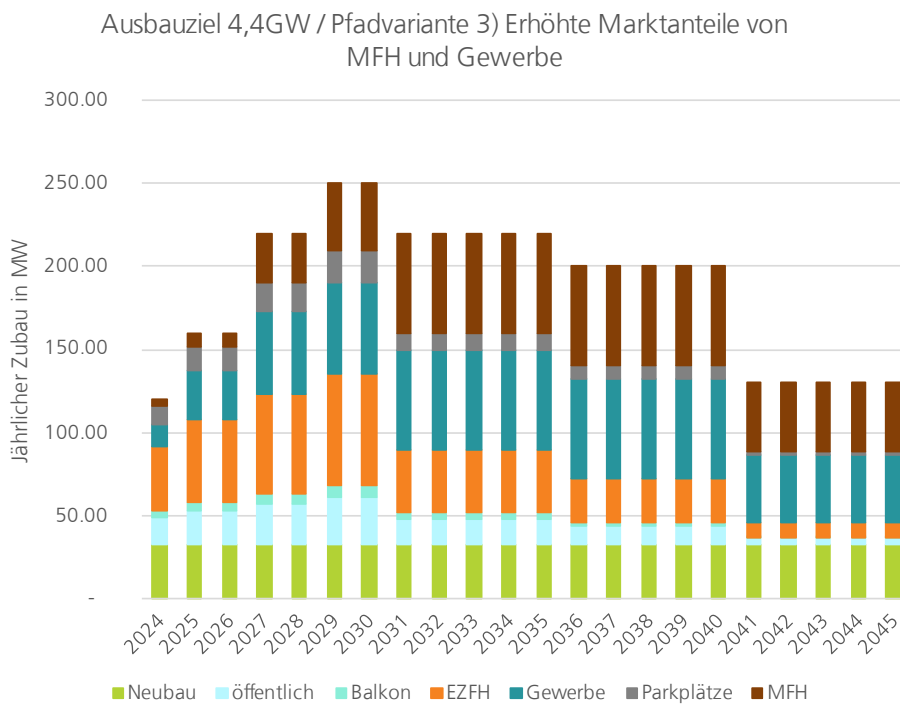


Abbildung 23: Entwicklung des PV-Zubaus nach Marktsegmenten in der Pfadvariante 3 zur Erreichung des 4,4 GW Ausbauziels

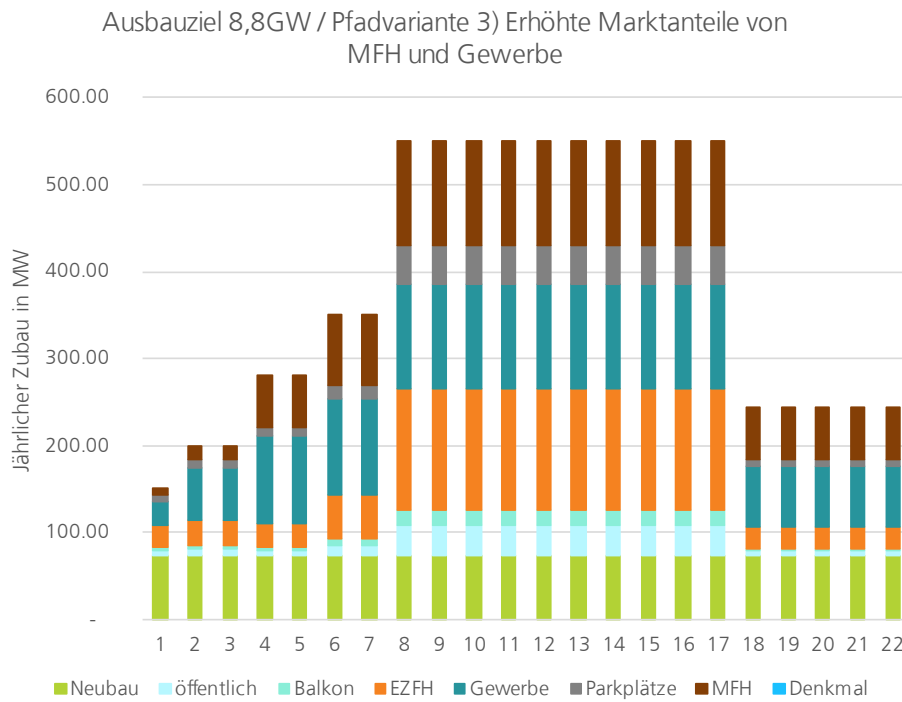


Abbildung 24: Entwicklung des PV-Zubaus nach Marktsegmenten in der Pfadvariante 3 zur Erreichung des 8,8 GW Ausbauziels

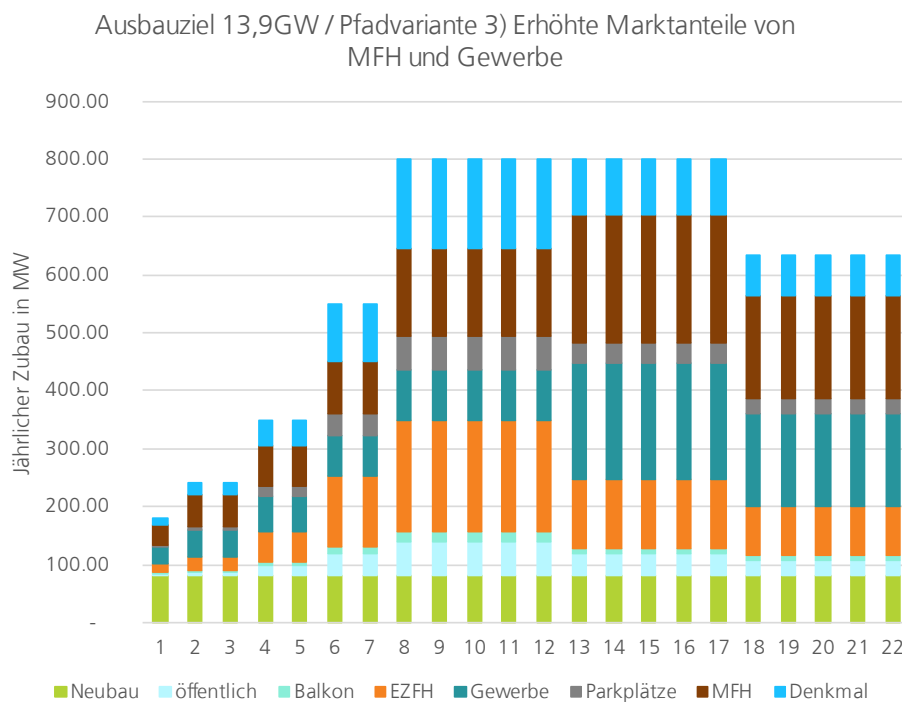


Abbildung 25: Entwicklung des PV-Zubaus nach Marktsegmenten in der Pfadvariante 3 zur Erreichung des 13,9 GW Ausbauziels

Die Abbildungen zeigen, dass der Anstieg der Marktanteile auf MFH und Gewerbebauten besonders den Anteil der EZFH in der mittleren und späteren Phase reduziert, da ja

die Anteile auf Neubauten und auf öffentlichen Gebäuden gesetzt sind. Dabei sei bemerkt, dass MFH und Gewerbebauten dadurch nur nachholen, was im EZFH Segment bereits in den ersten Jahren schon umgesetzt wurde. Denn wie in Tabelle 8 dargestellt wird auch in Pfadvariante 3 im Ausbauziel 4,4 GW das PV-Potenzial auf EZFH mit 30 % gegenüber 40 % auf Gewerbebauten und 30 % auf MFH und im 8,8 GW Ausbauziel mit 70 % gegenüber 78 % auf Gewerbebauten und 57 % auf MFH ähnlich stark ausgeschöpft.

3.3 Zusammenfassung Ausbaupfade

Die in Kapitel 2 durchgeführte Neuberechnung des PV-Potenzials in Berlin sollte ein Anlass sein, das bisherige PV-Ausbauziel von 4,4 GW zu überdenken. Wenn sich wie von der Bundesregierung angestrebt die installierte PV-Leistung in Deutschland bis 2030 und 2040 signifikant erhöhen wird, ist in Berlin ein höherer Beitrag zur Zielerreichung möglich und wahrscheinlich, als das derzeitige Ziel ausweist.

Unabhängig von der konkreten Zielsetzung stellt sich jedoch die Frage, wie konkret die einzelnen Marktsegmente zur Zielerreichung beitragen können und wie der zeitliche Verlauf der Marktentwicklung sein könnte bzw. müsste, um bestimmte Ziele zu erreichen. Denn dies hat Auswirkungen auf die Planung und Umsetzung von Maßnahmen, die zur Stimulation von Marktsegmenten erforderlich sind, als auch auf die räumliche Verteilung der PV-Anlagen, da die Gebäude der verschiedenen Marktsegmente in Berlin unterschiedlich räumlich verteilt sind. Die mögliche Gesamtentwicklung der installierten Leistung ist eine wichtige Größe für die Planung des notwendigen Ausbaus der Verteilnetze. Dabei kann durch die Differenzierung nach Marktsegmenten und deren räumliche Zuordnung auch die Bedarfe nach dem Verteilnetzausbau räumlich aufgelöst ermittelt werden.

Die Ermittlung möglicher Ausbauziele der Marktsegmente in Abhängigkeit der Pfadvarianten hat gezeigt, dass die verschiedenen Marktsegmente heute im Verhältnis zu ihren Marktpotenzialen sehr unterschiedliche Beiträge erbringen. PV-Anlagen auf öffentlichen Gebäuden sind heute am Gesamtmarkt unterrepräsentiert, öffentliche Gebäude sollen jedoch Vorreiter werden und systematisch mit PV-Anlagen belegt werden. Dies ist ein richtiger Ansatz, um den Markt anzukurbeln und eine Vorbildwirkung zu erzielen, allerdings wurde mit der Pfadvariante 2 gezeigt, dass die aktuelle Entwicklung weit hinter den Zielen liegt und die Zielerreichung bis zum Jahr 2030 nur möglich ist, wenn das Marktsegment öffentliche Gebäude in den kommenden Jahren den Markt dominiert (Kapitel 3.2.3.2). Da es nicht sinnvoll ist, dass die Nachfrage nach PV-Anlagen auf öffentlichen Gebäuden zu anderen Segmenten in starke Konkurrenz tritt, empfiehlt es sich, das Ziel etwas zu strecken. Trotzdem ist eine Intensivierung der Anstrengungen zur Erschließung auf öffentlichen Gebäuden unerlässlich, um wenigstens die reduzierten Ziele zu erreichen.

Eine weitere wesentliche Erkenntnis ist die bisherige Dominanz von EZFH am Berliner PV-Markt und die Notwendigkeit, die PV-Potenziale auf MFH und Gewerbebauten gezielter zu erschließen und deren Marktanteile anzuheben, insbesondere wenn das Gesamtausbauziel erhöht wird. Da ansonsten das EZFH Segment an seine Grenzen stoßen würde,

besteht die Gefahr, das Ziel nicht zu erreichen. Die Pfadvariante 3 mit verstärktem Ausbau von MFH und Gewerbe mit Ausbauziel 8,8 GW kann hier als Orientierung dienen, bei der die Marktsegmente EZFH, MFH und Gewerbe jeweils etwa dieselbe Marktgröße aufweisen (Siehe Abbildung 24).

PV-Ausbaupfade von 2024 bis
2045

Tabelle 9: Historischer Zubau der PV-Leistung in Berlin von 2001 - 2023 [6]

Installierte PV-Leistung in Berlin in den Jahren 2000 bis 2023		
Jahr	Jährliche Zubauleistung	Kumuliert installierte Leistung
	MW/a	MW
2001		2,4
2002	0,5	2,9
2003	0,2	3,2
2004	0,6	3,8
2005	0,8	4,5
2006	1,2	5,7
2007	1,6	7,3
2008	4,0	11,4
2009	11,1	22,4
2010	13,6	36,1
2011	12,4	48,4
2012	12,2	60,7
2013	5,9	66,5
2014	10,2	76,7
2015	5,8	82,6
2016	3,1	85,7
2017	10,4	96,1
2018	7,5	103,6
2019	11,5	115,1
2020	18,7	133,8
2021	26,1	160,0
2022	34,6	194,6
2023	77,3	271,8

 Tabelle 10: Jährlicher Zubau und kumulative Leistung in den verschiedenen Zielszenarien pro Jahr

Installierte PV-Leistung in Berlin: Szenarien für den Ausbau bis zum Jahr 2045						
Jahr	Jährlich zugebaute PV-Leistung			Kumulativ installierte PV-Leistung		
	4,4 GW Ziel	8,8 GW Ziel	13,9 GW Ziel	4,4 GW Ziel	8,8 GW Ziel	13,9 GW Ziel
	MW/a	MW/a	MW/a	MW	MW	MW
2024	120	150	180	390	420	450
2025	160	200	240	550	620	690
2026	160	200	240	710	820	930
2027	220	280	350	930	1.100	1.280
2028	220	280	350	1.150	1.380	1.630
2029	250	350	550	1.400	1.730	2.180
2030	250	350	550	1.650	2.080	2.730
2031	220	550	800	1.870	2.630	3.530
2032	220	550	800	2.090	3.180	4.330
2033	220	550	800	2.310	3.730	5.130
2034	220	550	800	2.530	4.280	5.930
2035	220	550	800	2.750	4.830	6.730
2036	200	550	800	2.950	5.380	7.530
2037	200	550	800	3.150	5.930	8.330
2038	200	550	800	3.350	6.480	9.130
2039	200	550	800	3.550	7.030	9.930
2040	200	550	800	3.750	7.580	10.730
2041	130	244	634	3.880	7.824	11.364
2042	130	244	634	4.010	8.068	11.998
2043	130	244	634	4.140	8.312	12.632
2044	130	244	634	4.270	8.556	13.266
2045	130	244	634	4.400	8.800	13.900

Tabelle 11: Hemmnisse für den Ausbau von PV-Anlagen im Überblick (Hemmnisse identifiziert auf Basis von [5, 27, 34, 43–45])

Kategorie	Hemmnis	Beschreibung	Bewertung
Rechtlich	EEG Vergütung zu niedrig	EEG Vergütungssätze wurden in EEG-Novelle kaum angepasst und sind zu niedrig um Investitionen zu aktivieren	hoch
	Regularien Mieterstrom /Direktstromlieferung	Komplexität des Strommarkts (Meldepflichten und andere zu beachtende Regelungen), rechtliche Risiken und steuerliche Behandlung erschweren Direktstromlieferung und Mieterstrommodelle. Außerdem verursachen Vertragspraxis und Fördervoraussetzungen für den Mieterstromzuschlag hohe administrative Kosten	hoch
	Steuerinfizierung	Vermietung von Wohnräumen ist steuerlich begünstigt. Sind Einnahmen durch PV-Strom höher als ein bestimmter Anteil der Mieteinnahmen verfallen steuerliche Privilegien.	hoch
	Verpflichtende Direktvermarktung / Ausschreibung	Verpflichtende Direktvermarktung ab 100 kW, verpflichtende Ausschreibung ab 750 kW 1MW. Dies führt nicht zur Ausnutzung des gesamten Potenzials.	mittel
	Zählerkosten und steuerliche Behandlung von Kleinanlagen	Kosten für geeichte Zähler sind hoch. Smart Meter Rollout könnte auch die Wirtschaftlichkeit kleiner Anlagen behindern.	hoch
	Denkmalschutz, Brandschutz etc.	Unsicherheiten bezüglich der Zulässigkeit von PV-Anlagen führen oft zum pauschalen Ausschluss der Installation.	mittel bis hoch
Technisch	Dachstatik	Die Dachstrukturen von einigen Hallen und teilweise im Altbau können PV-Anlagen nicht tragen	gering
	Verschattung	Verschattung führt zur Verringerung des Ertrags und der Wirtschaftlichkeit.	gering
	Netzverträglichkeit / Netzanschluss	Durch PV-Dachanlagen kann es zu einer lokal höheren Belastung der Netze kommen. In manchen Fällen sind erhöhte Investitionen für den Netzanschluss benötigt. Die Netzverträglichkeitsprüfung ist oft der Teil mit der längsten Dauer bei der Installation / Inbetriebnahme von PV-Anlagen	gering bis mittel

Sozioökonomisch	Anreiz Eigenversorgung vs. Quartierskonzepte	Renditeoptimierung führt nicht zu optimaler Ausnutzung der Dachfläche, sondern zur Eigenverbauchsoptimierung	hoch	
	Konkurrenz mit Gründach	Gründächer zum Regenwassermanagement sind ein wichtiges Element in den Städten der Zukunft. PV-Anlagen stehen in Flächenkonkurrenz. Außerdem stellen sich neue Fragestellungen bzgl. Verantwortlichkeiten.	mittel	
	Geringe Wirtschaftlichkeit der Dachpacht	Durch geringe EEG-Vergütung ist die Verpachtung von Dachflächen nicht einträglich	gering	
	Investitionskonkurrenz	Die Anschaffung einer PV-Anlage bedeutet hohe Investitionskosten und konkurriert häufig mit anderen Investitionen ins Gebäude, wie z.B. Sanierung, Heizungstausch	gering	
	Informationsdefizit	Die gesetzlichen Rahmenbedingungen sind kompliziert und das Wissen um konkrete Handlungsmöglichkeiten fehlt. Außerdem gibt es persönliche Vorbehalte gegenüber PV und mangelnde Erfahrung auch auf Seiten der Fachplanung	hoch	
	Altersstruktur	Hauseigentümer:innen in gehobenem Alter haben kein Interesse an der langfristigen Investition in eine PV-Anlage.	mittel bis hoch	
	Mieter-Vermieter Dilemma	Vermieter:innen tragen die Kosten der PV-Anlage, aber die Mieter:innen haben den größeren Nutzen	mittel bis hoch	
	Personalmangel in der Verwaltung	Bauvorhaben und Genehmigung werden verzögert durch Personalmangel in der öffentlichen Verwaltung	mittel	
	Markt	Fachkräftemangel	Es fehlt an Fachkräften für die Installation sowie für die Planung; insbesondere für größere Anlagen fehlen die Fachkräfte, da die entsprechenden Schaltanlagen, AC-Anbindung etc. erweitertes Know-How verlangen. In Berlin gibt es dafür nicht ausreichend Installationsunternehmen.	hoch
		Materialverfügbarkeit und Kosten	Erhöhte Kosten und Wartezeiten von PV-Anlagen hemmen den Ausbau, teilweise bedingt durch erhöhte Nachfrage. Vor allem betroffen sind Wechselrichter und Schutzeinrichtungen	mittel bis hoch

Tabelle 12: Entwicklung von wichtigen Kennwerten in Berlin in Abhängigkeit der Szenarien. Jahresstrombedarf und Spitzenlast ergeben sich aus Bedarfsschätzungen, die im zweiten Teil der Studie durchgeführt wurden und nicht Teil dieses Berichts sind. Sie beziehen sich auf [13, 46]. Jahresertrag Solarstrom und resultierende Spitzenlast der Erzeugung wurden aus Erzeugungsprofilen unter Berücksichtigung der Ausrichtung und Neigungen einzelner Dachflächen aus dem Energieatlas [14] berechnet.

Kennwert	Szenario	Entwicklung wichtiger Kennwerte in Berlin in Abhängigkeit der Szenarien						
			2023	2025	2030	2035	2040	2045
Jahresstrombedarf	2045_LD	<i>TWh/a</i>	11,7	13	14,5	16	17,5	19,1
	2045_HD	<i>TWh/a</i>	11,7	14	16,9	19,8	22,6	25,5
Spitzenlast	2045_LD	<i>GW</i>	2	2,6	3,4	4,2	5	5,8
	2045_HD	<i>GW</i>	2	2,8	3,9	5	6,1	7,2
Installierte PV-Leistung	4,4 GW	<i>GW</i>	0,3	0,55	1,65	2,75	3,75	4,4
	8,8 GW	<i>GW</i>	0,3	0,62	2,08	4,83	7,58	8,8
	13,9 GW	<i>GW</i>	0,3	0,69	2,73	6,73	10,7	13,9
Jahresertrag Solarstrom	4,4 GW	<i>TWh/a</i>	0,23	0,47	1,40	2,32	3,15	3,69
	8,8 GW	<i>TWh/a</i>	0,23	0,53	1,76	4,07	5,61	7,40
	13,9 GW	<i>TWh/a</i>	0,23	0,59	2,36	5,85	9,35	12,12
Spitzenerzeugung	4,4 GW	<i>GW</i>	0,18	0,37	1,11	1,83	2,49	2,91
	8,8 GW	<i>GW</i>	0,18	0,42	1,40	3,22	5,05	5,85
	13,9 GW	<i>GW</i>	0,18	0,47	1,88	4,65	7,43	9,64

5 Literaturverzeichnis

- [1] BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND KLIMASCHUTZ: *Photovoltaik: Klimafreundlich & kostengünstig : Erneuerbare Energien, Solarenergie.* URL <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Dossier/erneuerbare-energien.html> – Überprüfungsdatum 2024-06-20
- [2] UMWELTBUNDESAMT: *Indikator: Anteil Erneuerbare Energien am Bruttostromverbrauch.* URL <https://www.umweltbundesamt.de/indikator-anteil-erneuerbare-am> – Überprüfungsdatum 2024-10-15
- [3] BUNDESNETZAGENTUR: *Zubau Erneuerbarer Energien 2023 : Erscheinungsdatum 05.01.2024.* URL https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2024/20240105_EEGZubau.html – Überprüfungsdatum 2024-10-20
- [4] SENATSV ERWALTUNG FÜR UMWELT, VERKEHR UND KLIMASCHUTZ BERLIN (Hrsg.): *Berliner Energie- und Klimaschutzprogramm 2030 (BEK 2030) Umsetzungszeitraum 2017 bis 2021 : Konsolidierte Fassung, Änderungen gem. AH Drucksache 18/0423 und AH Drucksache 18/0780.* 2018
- [5] STRYI-HIPP, Gerhard ; GÖLZ, Sebastian ; BÄR, Christian ; WIELAND, Stefan ; XU-SIGURDSSON, Bin ; FREUDENMACHER, Till ; TAANI, Rania: *Expertenempfehlung zum Masterplan Solarcity Berlin : Masterplanstudie und Maßnahmenkatalog.* 2019
- [6] SENATSV ERWALTUNG FÜR WIRTSCHAFT, ENERGIE UND BETRIEBE (Hrsg.): *Monitoringbericht 2023 : Solarcity Berlin.* Berlin, 2024
- [7] STAEGER, Tim: *"Noch nie so nah an der 1,5-Grad-Schwelle" : Weltorganisation für Meteorologie.* URL <https://www.tagesschau.de/wissen/khttps://www.tagesschau.de/wissen/klima/wmo-klima-bericht-rekordjahr-100.html>. – Aktualisierungsdatum: 2024-03-19 – Überprüfungsdatum 2024-07-01
- [8] *Immer häufiger Starkregen - und das Dürreproblem bleibt.* URL <https://www.rbb24.de/panorama/beitrag/2023/04/mehr-starkregen-berlin-brandenburg-duerre.html>. – Aktualisierungsdatum: 2024-06-07 – Überprüfungsdatum 2024-06-07
- [9] ABGEORDNETENHAUS BERLIN: *Berliner Klimaschutz- und Energiewendegesetz (EWG Bln)* (idF v. 27. 8. 2021). URL <https://gesetze.berlin.de/bsbe/document/jlr-EWendG-BEV2IVZ> – Überprüfungsdatum 2024-06-10
- [10] IP SYSCON GMBH (Hrsg.): *Solarpotenzialanalyse Berlin : Dokumentation der Solarpotenzialanalyse.* 21.03.2022
- [11] BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND KLIMASCHUTZ: *Neuer Schwung für erneuerbare Energien : Das EEG 2023 soll den Ausbau der Erneuerbaren massiv beschleunigen.* URL <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Schlaglichter-der-Wirtschaftspolitik/2022/10/05-neuer-schwung-fuer-erneuerbare-energien.html>. – Aktualisierungsdatum: 2022-09-23 – Überprüfungsdatum 2024-06-10
- [12] ABGEORDNETENHAUS BERLIN: *Plenarprotokoll 21. Sitzung 18. Wahlperiode : Donnerstag, 25. Januar 2018.* 2018

- [13] REUSSWIG, Fritz ; HIRSCHL, Bernd ; LASS, Wiebke ; BERCKER, Carlo ; BÖLLING, Lars ; CLAUSEN, Wulf ; HAAG, Leilah ; HAHMANN, Henrike ; HEIDUK, Phillip ; HENDZLIK, Manuel ; HENZE, Anna ; HLLANDT, Frank ; HUNSICKER, Frank ; LANGE, Christoph ; MEYER-OHLENDORF, Lutz ; NEUMANN, Anna ; RUPP, Johannes ; SCHIEFELBEIN, Sebastian ; SCHWARZ, Uwe ; WEYER, Gregor ; WIELER, Ullrich: *Machbarkeitsstudie Klimaneutrales Berlin 2050 : Hauptbericht*. Potsdam und Berlin, 2014
- [14] SENATSVERWALTUNG FÜR WIRTSCHAFT, ENERGIE UND BETRIEBE: *Energieatlas Berlin : Photovoltaik Potenzial*. URL <https://energieatlas.berlin.de/> – Überprüfungsdatum 2023-07-28
- [15] PÜSCHEL, Annett ; WINZIG, WIEBKE, THEEL, MANFRED: *Entwicklung der Globalstrahlung 1983 - 2020 in Deutschland*. 2023
- [16] ARRUEBO, Antonio ; MÜLLER, Stefan ; SCHMELA, Michael ; STRYI-HIPP, Gerhard: *Fotovoltaik wird tragende Säule der Stromversorgung : VDI Statusreport November 2023*. 2023
- [17] TOPIČ, Marko (Hrsg.); DROZDOWSKI-STREHL, Roch (Hrsg.); SINKE, Wim (Hrsg.); ARROWSMITH, Greg (Hrsg.); SPODEN, Anna (Hrsg.): *Strategic Research and Innovation Agenda on Photovoltaics* : ETIP-PV, 2022
- [18] PHILIPPS, Simon ; WARMUTH, Werner ; BETT, Andreas ; BURGER, Bruno ; FRIEDRICH, Lorenz ; KOST, Christoph ; NOLD, Sebastian ; PREU, Ralf ; RENTSCH, Jochen ; STRYI-HIPP, Gerhard ; REUTER, Tobias ; WIRTH, Harry: *Photovoltaics Report : Updated: 17 May 2024*. 2024
- [19] FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SOLARE ENERGIESYSTEME ISE: *Rekordwirkungsgrad für beidseitig kontaktierte Solarzelle: Fraunhofer ISE erzielt 26 Prozent : Presseinformation 15. April 2021*. URL <https://www.ise.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/presseinformationen/2021/rekordwirkungsgrad-fuer-beidseitig-kontaktierte-solarzelle-fraunhofer-ise-erzielt-26-prozent.html> – Überprüfungsdatum 2024-06-10
- [20] BUNDESNETZAGENTUR: *MaStR Marktstammdatenregister : Aktuelle Einheitenübersicht*. URL <https://www.marktstammdatenregister.de/MaStR/Einheit/Einheiten/OeffentlicheEinheitenuebersicht> – Überprüfungsdatum 2024-07-10
- [21] AMT FÜR STATISTIK BERLIN-BRANDENBURG: *Fortschreibung des Wohngebäude- und Wohnungsbestandes : 31. Dezember 2023, jährlich*. URL <https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/f-i-1-j> – Überprüfungsdatum 2024-06-20
- [22] ENERGY, DG JOINT RESEARCH CENTRE /: *JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission*. URL https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/de/#PVP. – Aktualisierungsdatum: 2023-07-28 – Überprüfungsdatum 2023-07-28
- [23] STROMNETZ BERLIN (Hrsg.): *Stromnetz Berlin GmbH : Faktenblatt*. 2022
- [24] BADENOVAWÄRMEPLUS: *Deutschlands erste Solar-Radwegüberdachung*. URL <https://www.badenovawaermeplus.de/erneuerbare-energien/sonne/anlagen/solar-radwegueberdachung/> – Überprüfungsdatum 2024-06-20
- [25] NAME=, "meta: *OpenStreetMap Deutschland - Die freie Wiki-Weltkarte*. URL <https://www.openstreetmap.de/>. – Aktualisierungsdatum: 2023-12-15 – Überprüfungsdatum 2023-12-19

- [26] DOP – *Digitale Orthophotos - Berlin.de*. URL <https://www.berlin.de/sen/sbw/stadt-daten/geoportal/landesvermessung/geotopographie-atkis/dop-digitale-orthophotos/>. – Aktualisierungsdatum: 2023-08-29 – Überprüfungsdatum 2023-12-19
- [27] STRYI-HIPP, Gerhard ; FRÖHLICH, Erik: *Hemnisse beim Ausbau von PV Anlagen auf öffentlichen Dächern in Berlin*. Interview mit Alexander Schitkowsky. 10.2.2023
- [28] DEUTSCHER BUNDESTAG: *Gesetz zur Umsetzung der Richtlinie (EU) 2022/2464 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 14. Dezember 2022 zur Änderung der Verordnung (EU) Nr. 537/2014 und der Richtlinien 2004/109/EG, 2006/43/EG und 2013/34/EU hinsichtlich der Nachhaltigkeitsberichterstattung von Unternehmen : Vorgang - Gesetzgebung*. URL <https://dip.bundestag.de/vorgang/gesetz-zur-umsetzung-der-richtlinie-eu-2022-2464-des-europ%C3%A4ischen/314977> – Überprüfungsdatum 2024-10-12
- [29] BUNDESNETZAGENTUR: *EEG-Förderung und Fördersätze : Fördersätze für Solaranlagen*. URL https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/ErneuerbareEnergien/EEG_Foerderung/start.html – Überprüfungsdatum 2024-07-10
- [30] BUNDESVERBAND DER ENERGIE- UND WASSERWIRTSCHAFT E.V. (BDEW) (Hrsg.): *BDEW-Strompreisanalyse Juli 2024 : Haushalte und Industrie, 03.07.2024*. 2024
- [31] ZFK ZEITUNG FÜR KOMMUNALE WIRTSCHAFT: *Strompreise: Habeck-Ministerium legt Prognose bis 2042 vor*. URL <https://www.zfk.de/politik/deutschland/strompreis-prognose-2042-habeck-ministerium>. – Aktualisierungsdatum: 2023-06-20 – Überprüfungsdatum 2024-07-10
- [32] IBB BUSINESS TEAM: *SolarPLUS – die Photovoltaik-Förderung für die Berliner Solarwende*. URL <https://www.ibb-business-team.de/solarplus/> – Überprüfungsdatum 2024-07-14
- [33] FEILBACH, Jörg: *Ergebnisse des Mikrozensus 2018 zur Wohnsituation*. In: *Zeitschrift für amtliche Statistik Berlin Brandenburg* 2019, Nr. 4, S. 36–41
- [34] PROPERTY=, "meta: *pv magazine Podcast: Lena Tamborini, wie kommt mehr Photovoltaik auf Gewerbedächer?* 2023-11-07
- [35] PROPERTY=, "meta: *Referentenentwurf zum „Solarpaket 1“: An welchen Stellen im Sinne der Photovoltaik noch nachgebessert werden muss* (2023-07-07)
- [36] GESETZ ZUR ÄNDERUNG DES ERNEUERBARE-ENERGIEN-GESETZES UND WEITERER ENERGIEWIRTSCHAFTSRECHTLICHER VORSCHRIFTEN ZUR STEIGERUNG DES AUSBAUS PHOTOVOLTAISCHER ENERGIEERZEUGUNG (Solarpaket I): *Vom 8. Mai 2024* (2024). URL <https://www.recht.bund.de/bgbl/1/2024/151/VO.html> – Überprüfungsdatum 2024-06-10
- [37] PRESSE- UND INFORMATIONSAMT DER BUNDESREGIERUNG: *Mehr Solarstrom, weniger Bürokratie : Solarpaket*. URL <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/tipps-fuer-verbraucher/solarpaket-photovoltaik-balkonkraftwerke-2213726>. – Aktualisierungsdatum: 2024-07-05 – Überprüfungsdatum 2024-07-10
- [38] SENATSVERWALTUNG FÜR KULTUR UND EUROPA: *Denkmalschutz in Berlin ermöglicht mehr Solaranlagen : Leitfaden zu Denkmalschutz und Solarenergie erschienen*. URL <https://www.berlin.de/landesdenkmalamt/aktivaeten/kurzmeldungen/2023/denk-malschutz-in-berlin-ermoeglicht-mehr-solaranlagen-1304187.php>. – Aktualisierungsdatum: 2023-03-13 – Überprüfungsdatum 2024-07-10

- [39] BSW - BUNDESVERBAND SOLARWIRTSCHAFT E.V. (Hrsg.): *Solarpflichten in den deutschen Bundesländern : 1. Auflage Mai 2024*. 2024
- [40] VERBRAUCHERZENTRALE NRW E.V.: *Gesetze und Normen für Steckersolar: Was gilt, was gilt (noch) nicht?* URL <https://www.verbraucherzentrale.nrw/aktuelle-meldungen/energie/gesetze-und-normen-fuer-steckersolar-was-gilt-was-gilt-noch-nicht-90740>. – Aktualisierungsdatum: 2024-10-16 – Überprüfungsdatum 2024-10-20
- [41] VERBRAUCHERZENTRALE NRW E.V.: *Steckersolar: Solarstrom vom Balkon direkt in die Steckdose*. URL <https://www.verbraucherzentrale.de/wissen/energie/erneuerbare-energien/steckersolar-solarstrom-vom-balkon-direkt-in-die-steckdose-44715>. – Aktualisierungsdatum: 2024-10-16 – Überprüfungsdatum 2024-10-20
- [42] DEUTSCHER BUNDESTAG: *Gesetz zur Zulassung virtueller Wohnungseigentümersammlungen, zur Erleichterung des Einsatzes von Steckersolargeräten und zur Übertragbarkeit beschränkter persönlicher Dienstbarkeiten für Erneuerbare-Energien-Anlagen : Vorgang - Gesetzgebung*. URL <https://dip.bundestag.de/vorgang/gesetz-zur-zulassung-virtueller-wohnungseigent%C3%BCmerversammlungen-zur-erleichterung-des-einsatzes-von/304775>. – Aktualisierungsdatum: 2024-07-04 – Überprüfungsdatum 2024-07-10
- [43] MARQUARDT-KILIAN, Nike: *Stellungnahme des Bundesverbandes Solarwirtschaft e. V. (BSW-Solar) zum Gesetzentwurf des EEG 2023*. 03.04.2022
- [44] BERLIN, H. T.W.: *Hemmnisse und Hürden für die Photovoltaik*
- [45] STRYI-HIPP, Gerhard ; BERNEISER, Jessica ; XU-SIGURDSSON, Bin ; STRECKER, Jana: *Solar City Bremen (Gewerbe) : Grundlagenermittlung für den Ausbau der Solarenergie im gewerblichen Bereich in der Stadt Bremen (2022)*
- [46] SENATSVERWALTUNG FÜR UMWELT, MOBILITÄT, VERBRAUCHER- UND KLIMASCHUTZ: *Entwicklung einer Wärmestrategie für das Land Berlin*. 2021