

Potenziale der energetischen Dachsanierung - Hebelwirkung durch PV-Anlagen erhöhen

Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München

Prof. Dr.-Ing. Andreas H. Holm
Carolin Kokolsky
Benedikt Empl
Christoph Sprengard

Im Auftrag von:
Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e.V.
Reinhardtstraße 12-16, 10117 Berlin

und
Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerks
Fritz-Reuter-Str. 1, 50968 Köln



 **FIW München**

Forschungsbericht: FO 2020-08

FO 2020-08

Potenziale der energetischen Dachsanierung - Hebelwirkung durch PV-Anlagen erhöhen

Im Auftrag von:

Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e.V.
Reinhardtstraße 12-16, 10117 Berlin

und

Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerks
Fritz-Reuter-Str. 1, 50968 Köln

Der Bericht umfasst

27 Seiten
10 Abbildungen
3 Tabellen

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt bei den Autoren.

Eine auszugsweise Veröffentlichung ist nur mit vorheriger schriftlicher Genehmigung des FIW München zulässig.

Gräfelfing, den 23. Juni 2021

Institutsleiter



Prof. Dr.-Ing. Andreas H. Holm

Abteilungsleiter



Christoph Sprengard

Bearbeiter



Carolin Kokolsky

Inhaltsverzeichnis

1	Hintergrund	2
2	Grundlagen	4
3	Randbedingungen	7
3.1	Ermittlung der PV-Flächen	7
3.2	Verteilung der PV-Flächen auf die energetischen Standards	8
3.3	Preisentwicklungen	10
4	Ergebnisse Dachflächen mit PV im Überblick	13
4.1	Verteilung der PV-Flächen auf die energetischen Standards	13
4.2	Transmissionswärmeverluste	14
4.3	CO ₂ -Emissionen	15
4.4	Kosten	15
4.4.1	PV-Anlagen	16
4.4.2	Dachsanierung	17
4.4.3	Förderbeispiel	18
5	Ausblick und Fazit	20
6	Forderungen an die Politik	22
7	Literatur	24

1 Hintergrund

Dem Bauteil Dach kommt im Zuge der Energiewende im Gebäudebereich eine wichtige Doppelfunktion zu: So muss es, insbesondere durch eine flächendeckende Sanierung energetisch unzureichender Bestandsflächen, maßgeblich zur Senkung der Transmissionswärmeverluste durch die Gebäudehülle und damit zur Reduzierung der CO₂-Emissionen im Gebäudesektor beitragen. Auf der anderen Seite kommt dem Dach auch die Funktion als flächenneutrale Energienutzfläche zur Erzeugung von klimaneutralem PV-Strom zu.

Im Rahmen der Studie „Das wirtschaftliche und energetische Potenzial der Dachsanierung zur Erreichung der Klimaschutzziele 2030/2050“ [1] hat das Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München im Auftrag des Bundesverbands Ziegel e.V. bereits das wirtschaftliche und klimapolitische Potenzial von Dachsanierungen differenziert nach Baualtersklassen in Modellrechnungen untersucht.

In der Studie aus dem Jahr 2018 wird deutlich, dass auf deutschen Häusern ein sehr hoher Dachflächenanteil liegt, der den heutigen Anforderungen an Energieeffizienz bei Weitem noch nicht gerecht wird. So erfüllen etwa 600 Mio. m² Dachfläche (das entspricht rund 4 Mio. Dächern), insbesondere auf Ein- und Zweifamilienhäusern, lediglich die Anforderungen an den Mindestwärmeschutz. Weitere 1,0 Milliarden m² Dachfläche (was rund 6,5 Mio. Dächern entspricht) sind nur gering modernisiert und entsprechen gerade mal den Anforderungen der Wärmeschutzverordnung 1977 bzw. 1984. Würde es gelingen, die vorhandenen Dachflächen bis 2050 vollständig zu sanieren (das entspräche einer Sanierungsrate von 2,5 – 3,0 %), ließen sich die CO₂-Emissionen im Gebäudebereich allein durch das Bauteil Dach um bis zu 25 % gegenüber den heutigen Emissionen senken.

Vor dem Hintergrund der klimapolitischen Zielsetzungen ist es demnach notwendig, die Sanierungsaktivitäten gegenüber der bauteilbezogenen Sanierungsquote im Dach von derzeit ca. 1,3 % [2] deutlich auszuweiten. Ein „Eine-Million-Dächer-Sanierungsprogramm“ im Zeitraum von 2022-2025 beispielsweise würde eine Sanierungsrate von 1,6 % erfordern. Mit Blick auf das jüngst verabschiedete Klimaschutzgesetz und das damit verbundene beschleunigte Ziel der Bundesregierung bereits 2045 klimaneutral zu sein, wäre eine Sanierungsrate von 2,0 % zwingend erforderlich. Dazu müsste das „Eine-Million-Dächer-Sanierungsprogramm“ innerhalb von drei statt vier Jahren umgesetzt werden und die Sanierungsrate von 2,0 % anschließend bis 2045 aufrechterhalten werden.

Gleichzeitig wurden in den letzten Jahren für die Seite der Energieerzeugung Beschlüsse zur Besteuerung fossiler Brennstoffe gefasst und der Übergang zu einer klimaneutralen Erzeugung von Strom und Fernwärme neu geregelt. Alle Entwicklungen deuten darauf hin, dass es in den nächsten Jahren zu einem deutlich erhöhten Strombedarf kommen wird. Das ist einerseits durch die Elektrifizierung des Individualverkehrs bedingt, andererseits aber auch dem vermehrten Einsatz von Wärmepumpen geschuldet, die für Gebäudebeheizung im Winter sowie zur Kühlung im

Sommer genutzt werden. Eine gleichzeitige Verringerung der CO₂-Emissionen bei gesteigertem Strombedarf ist also nur dann möglich, wenn die Stromerzeugung schnellstens vollständig dekarbonisiert wird. Hierfür ist der weitere Ausbau der PV-Anlagen, idealerweise auf bereits vorhandenen Wohngebäuden mit gedämmten Dächern, dringend notwendig [3].

An dieser Stelle ergibt sich aus gesamtwirtschaftlicher Sicht der Energiewende die unbedingte Notwendigkeit, diejenigen Dachflächen, die für die Stromerzeugung durch zusätzliche PV-Anlagen eingesetzt werden sollen, auch in energetischer Hinsicht zukunftssicher zu modernisieren. Denn ist die PV-Anlage erst einmal installiert, fällt das Dach für die Erschließung des Energieeinsparpotenzials im Gebäudebestand für die nächsten 25 bis 30 Jahre aus.

Um dieses Potenzial für die Wärmewende im Gebäudebestand nicht zu verlieren, sollte eine kombinierte Maßnahme der Dachsanierung zzgl. der Installation von PV-Modulen forciert und entsprechend angereizt werden. Hierfür sind speziell angepasste Förderprogramme notwendig, welche die in gesamtwirtschaftlicher Sicht 2-fach positiven Auswirkungen (Reduzierung der CO₂-Emissionen im Gebäudebereich und gleichzeitige Erhöhung des Anteils der erneuerbaren Stromerzeugung) angemessen würdigen. Die vorliegende Studie quantifiziert die ökologischen und ökonomischen Auswirkungen bei der Berücksichtigung dieses Potenzials.

2 Grundlagen

Die vorliegende Arbeit baut auf Forschungsergebnissen aus dem Jahr 2018 auf, die im Rahmen der Studie „Das wirtschaftliche und energetische Potenzial der Dachsanierung zur Erreichung der Klimaschutzziele 2030/2050“ [1] veröffentlicht wurden. In dieser Studie wurde der Bestand an Dachflächen in Deutschland mithilfe eines am FIW München entwickelten Gebäude- und Bauteilmodells analysiert. Anschließend wurde die Entwicklung der Dachflächen bei unterschiedlichen Sanierungsszenarien auf Bauteilebene bis ins Jahr 2050 prognostiziert. Auf dieser Basis wird die Wirksamkeit der Szenarien bewertet. Dafür werden Energie, Emissionen und Kosten untersucht.

Für die wichtigsten Randbedingungen wurden verschiedene Studien und Quellen ausgewertet: Neben Angaben des Statistischen Bundesamtes zur Entwicklung von Anzahl und Flächen des Gebäude- und Wohnungsbestandes flossen die Studien der Deutschen Energie-Agentur (dena) [4], der Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e.V. ARGE (ARGE) [5, 6], des Instituts Wohnung und Umwelt (IWU) [7] und des Statistischen Bundesamtes [8–11] mit unterschiedlichen thematischen Schwerpunkten und Detailierungsgraden, wie dem energetischen Zustand, der Typologisierung des Gebäudebestands sowie Energie- und Versorgungsszenarien, ein.

Auf dieser Grundlage war es möglich, eine differenzierte Betrachtung des energetischen Zustands des oberen Gebäudeabschlusses anzustellen: Daraus resultiert eine Unterscheidung der Dachflächen nach deren Baualtersklasse (BAK) sowie ihrem Sanierungszustand. Abbildung 1 zeigt diese Unterscheidung für Gebäude mit einer bzw. zwei Wohneinheiten. Dabei stellte sich heraus, dass die bisherige durchschnittliche „Dämmquote“ im Dach zwar höher als bei anderen Außenbauteilen ist, aufgrund des insgesamt schlechten energetischen Standards jedoch weiterhin ein hohes Sanierungspotenzial besteht.

Insbesondere die Bauteile, die in den Bereich des Mindestwärmeschutzes oder der Wärmeschutzverordnungen (WSchV) 1977/1984 fallen, sind für Sanierungsmaßnahmen relevant, da das Ende der technischen Lebensdauer in den Betrachtungszeitraum bis 2050 fällt. Für die Dachkonstruktionen, die nach WSchV 1995 und später errichtet wurden, galten bereits höhere Anforderungen, sodass eine zusätzliche energetische Sanierung geringe Effekte bewirkt.

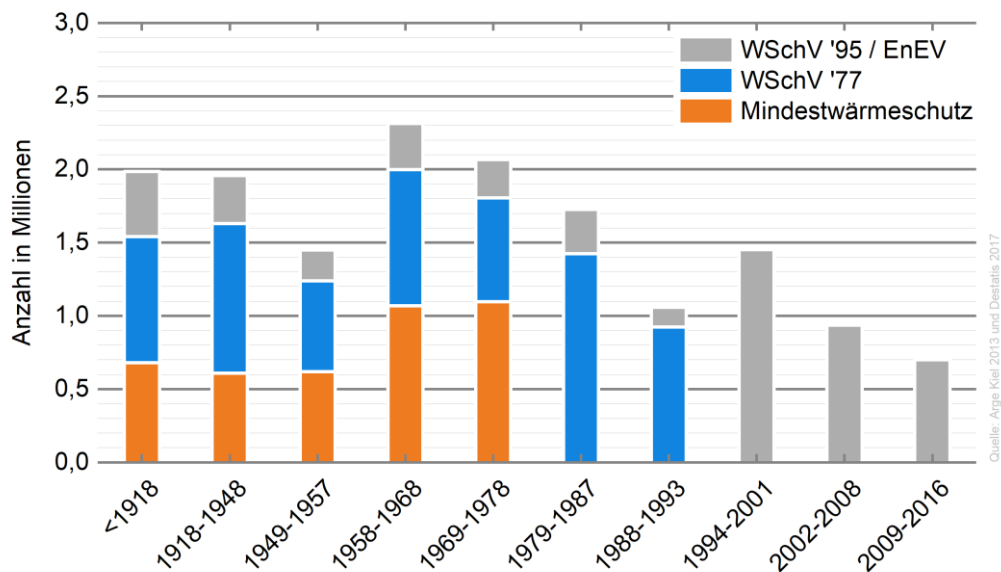


Abbildung 1: Verteilung der Dächer nach Baualtersklasse und energetischem Zustand der Dachflächen für Gebäude mit einer bzw. zwei Wohnungen [11, 12]

Um das Potenzial der energetischen Sanierung zu quantifizieren, wurde über die Entwicklung der Dachflächen eine langfristige Prognose bis ins Jahr 2050 angestellt. Diese Prognose ist in Abbildung 2 dargestellt. Als Ausgangsjahr für die aktuell vorliegende Studie wurde das Jahr 2020 gewählt. Alle Gebäude, die zwischen 2010 und 2020 gebaut (blau) oder saniert (grau) wurden, gelten als energetisch auf dem aktuellen Stand. Der für die Berechnung der Dachflächen zugrundeliegende Gebäudebestand wurde gegenüber der Studie von 2018 [1] mit Zahlen des Statistischen Bundesamtes [13] aktualisiert. Ab dem Jahr 2020 wird die Sanierungsrate variiert: Dabei entsprechen 1,3 % einer Fortführung der derzeitigen bauteilbezogenen Sanierungsrate im Dach [2]. Eine Sanierungsrate von 1,6 % wäre für die Umsetzung eines „Eine-Million-Dächer-Sanierungsprogramms“ in einem vierjährigen Zeitraum notwendig. Eine weitere Erhöhung der Sanierungsrate auf 2,0 % wird als notwendig erachtet, um die ehrgeizigen Ziele der jüngsten Klimaschutzgesetzgebung zu erreichen.

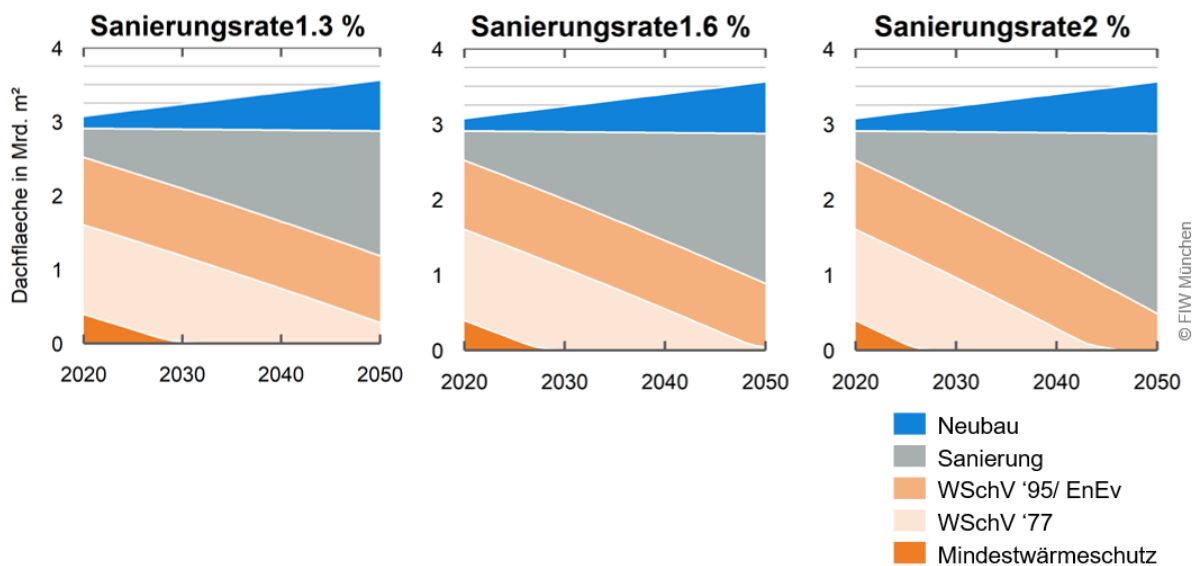


Abbildung 2: Veränderung des Bestands an Dachflächen in Abhängigkeit von der energetischen Qualität und der Sanierungsrate; Datengrundlage Gebäudebestand aus Vorgängerstudie aus dem Jahr 2018 [1], aktualisiert in der vorliegenden Studie.

Bei einer Sanierungsrate von 1,3 % pro Jahr werden die Dachflächen mit dem niedrigsten energetischen Standard (Mindestwärmeschutz) etwa bis 2030 vollständig saniert sein. Die Dachflächen gemäß WSchV '77/84 können hingegen bis 2050 nicht vollständig saniert werden. Bei einer Sanierungsrate von 2,0 % werden diese Entwicklungen deutlich beschleunigt, sodass bereits um das Jahr 2025 die Dachflächen mit Mindestwärmeschutz und bis 2045 die Dachflächen nach WSchV '77/84 vollständig saniert werden können. Zur Beibehaltung der Sanierungsquote ist es dann notwendig, auch Bauteilflächen nach WSchV '95 bzw. EnEV 2002 zu sanieren. Formal erreichen diese Konstruktionen ab 2045 die angesetzte technische Lebensdauer von 50 Jahren. Hierbei ist aber zu beachten, dass die reale Lebensdauer von Steildächern in der Regel länger ist und diese Baukonstruktionen einen angemessenen energetischen Standard aufweisen.

Eine Erhöhung der Sanierungsrate bringt Einspareffekte hinsichtlich der Transmissionswärmeverluste, des Primärenergiebedarfs und der CO₂-Emissionen mit sich. Die größten Einspareffekte am Dach werden bei der Sanierung der Flächen mit den niedrigsten energetischen Standards erreicht. Laut [1] ergab sich aus einer Erhöhung der Sanierungsrate von 1,3 % auf 2,0 % für das Bauteil Dach eine Reduktion der CO₂-Emissionen/ des Primärenergieverbrauchs von 10 bis 15 % . Die kumulierte Einsparung im Zeitraum zwischen 2020 und 2050, die allein durch eine Erhöhung der Sanierungsquote erreicht werden konnte, betrug 94 Mio. t CO_{2,eq}.

Die aktuelle Studie untersucht, welche zusätzlichen Potenziale sich durch kombinierte Maßnahmen aus Dachsanierung und gleichzeitiger Installation von PV-Modulen ergeben.

3 Randbedingungen

3.1 Ermittlung der PV-Flächen

Um das kombinierte Potenzial von Dachsanierung und Installation von PV-Modulen abzuschätzen, wurde zunächst eine Prognose über die Entwicklung der PV-Flächen bis ins Jahr 2050 getroffen. Abbildung 3 (links) zeigt in orange den jährlichen Zubau an PV-Flächen. In den Jahren 2000 – 2019 basieren die Werte auf den „Statistischen Zahlen der deutschen Solarstrombranche (Photovoltaik)“ [14] und wurden aus der tatsächlich installierten Leistung abgeleitet. Ab 2020 wird von einer linearen Steigerung der Zubau-Rate bis 2050 ausgegangen. Bis ins Jahr 2050 erhöht sich die installierte PV-Fläche um 50 % gegenüber 2020.

Eine Marktrecherche ergab stark schwankende Herstellerangaben über die Lebensdauer von PV-Anlagen, die zwischen 20 Jahren (v.a. ältere Anlagen) und 40 Jahren (v.a. neuere Anlagen) angegeben wurde. Üblich sind auch Leistungsgarantien, die nach 20-30 Jahren noch eine Modulleistung von mindestens 80 % versprechen. Zudem ist davon auszugehen, dass auch nach Ablauf der Garantie Solarmodule, die noch bis zu 80 % ihrer Ausgangsleistung einbringen, nicht sofort erneuert, sondern noch einige Jahre weiter genutzt werden. Die mittlere Nutzungsdauer wurde demnach auf 30 Jahre angesetzt. Die PV-Module werden im Modell folglich immer dann rückgebaut, wenn sie eine Lebensdauer von 30 Jahren erreicht haben (so werden im Jahr 2010 gebaute PV-Flächen im Jahr 2040 rückgebaut usw.).

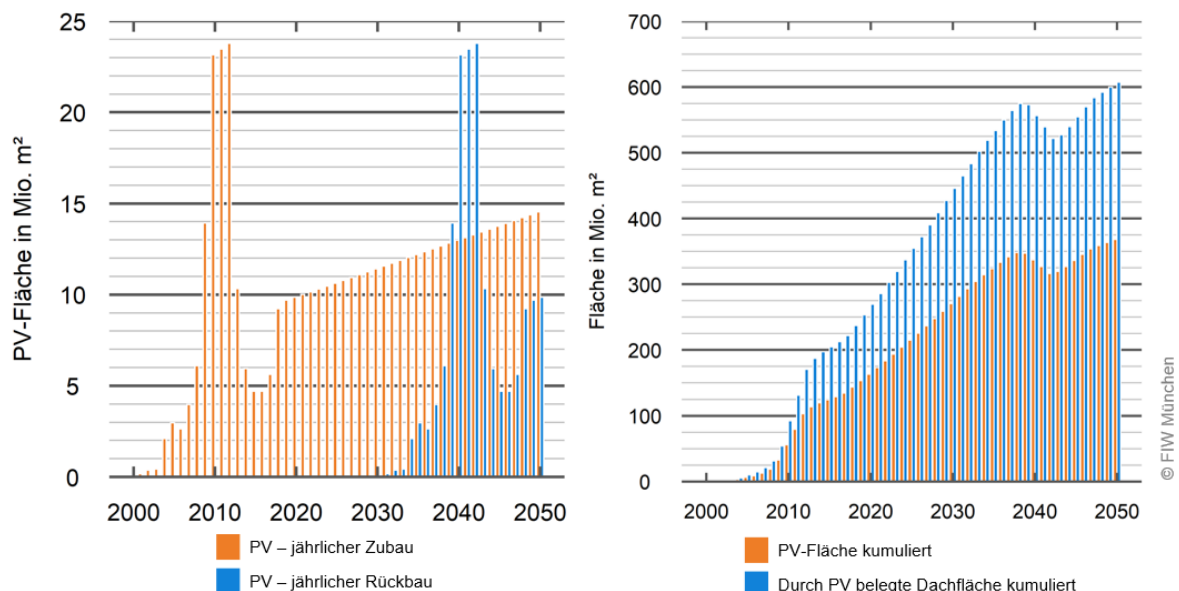


Abbildung 3: Links: Jährlicher Zubau an PV-Flächen (orange) sowie jährlicher Abbau an PV-Flächen nach einer maximalen Lebensdauer von 30 Jahren (blau). Rechts: Reine PV-Flächen (orange) im Vergleich zu den durch PV belegten Dachflächen (blau) – kumulierte Flächen aus Zubau und Rückbau im Zeitraum von 2000 bis 2050.

Für die kumulierte PV-Fläche (orange in Abbildung 3, rechts) bedeutet dies einen Zuwachs von derzeit ca. 150 Mio. m² auf gut 350 Mio. m² im Jahr 2050. Da in den Jahren um 2040 der Flächen-Rückbau größer als der Flächen-Zubau ist (Anlagen aus den „PV-Boom-Jahren“ 2009-2012 werden abgerissen), schrumpft hier die kumulierte Fläche vorübergehend.

Angenommen wird, dass die Dachfläche aufgrund von nötigen Randbereichen und Durchdringungen (Schornsteine, Fenster, etc.) zu maximal 80 % mit PV eingedeckt werden kann [15]. Hinzu kommt, dass sich bei Nord-Süd ausgerichteten Steildächern nur die Südseite, also das „halbe Dach“, für eine Installation von PV-Modulen eignet. Dennoch entfällt das „ganze Dach“ als potenzielle Fläche für die energetische Sanierung, da eine Teilsanierung nur der Nordseite als nicht praktikabel eingeschätzt wird. Die durch PV belegte und damit nicht mehr für die energetische Sanierung erschließbare Dachfläche (ab nun „PV-Dachfläche“) übersteigt also die reine PV-Fläche. Sie ist kumuliert in blau in Abbildung 3 (rechts) dargestellt und liegt derzeit bei rund 250 Mio. m². Bis ins Jahr 2050 steigt dieser Anteil auf 600 Mio. m².

3.2 Verteilung der PV-Flächen auf die energetischen Standards

Wird eine PV-Anlage neu auf einer Dachfläche installiert, ist diese Dachfläche für die Lebenszeit der PV-Anlage nicht mehr für die energetische Sanierung des Gebäudebestands erschließbar. Folglich ist es wünschenswert, PV-Anlagen nur auf solchen Dächern zu errichten, die bereits den heutigen Anforderungen an den Wärmeschutz entsprechen bzw. die im selben Zuge energetisch saniert werden.

Für die Prognose der PV-Fläche wird angenommen, dass 15 % aller Neubauten (Wohngebäude) jährlich mit PV-Anlagen errichtet werden. Dies entspricht dem aktuellen Niveau. Die PV-Fläche, die auf Neubauten installiert wird, ergibt sich somit als Anteil der jährlichen Neubaurate. Im Basisjahr 2020 ergab sich hierbei beispielsweise aus rund 17,4 Mio. m² Zubau an Dachfläche im gesamten Wohngebäudebereich ein Anteil von 2,6 Mio. m² Dachfläche, die durch die Installation von PV-Modulen belegt wird (entspricht der PV-Dachfläche).

Alle übrigen PV-Flächen verteilen sich somit auf sanierte oder unsanierte Bestandsdächer. Dieser Anteil ergibt sich, indem man vom gesamten jährlichen Zubau an PV-Dachflächen (siehe Abbildung 3) den Anteil der PV-Dachflächen auf Neubauten subtrahiert. Im Jahr 2020 ergeben sich aus einer insgesamt neu installierten PV-Dachfläche von 16,3 Mio. m² abzüglich des Neubau-Anteils von 2,6 Mio. m² folglich 13,7 Mio. m², die sich entweder auf sanierte oder unsanierte Bestandsdächer verteilen.

Wird eine PV-Anlage auf ein Bestandsdach installiert, wird in nur ca. 20 % der Fälle auch gleichzeitig das Dach energetisch saniert (im Jahr 2020 rund 2,8 Mio. m²). Folglich wird ein großer Anteil von 80 % auf Dächern installiert, die nicht dem energetisch aktuellen Standard entsprechen (im Jahr 2020 11,1 Mio. m²). Diese verteilen

sich flächenanteilig auf die drei „Bestandskategorien“, die in Abbildung 2 dargestellt sind: Der größere Anteil wird auf Dächern installiert, die entweder der WSchV '77/85 oder bereits dem besseren energetischen Standard der WSchV '95 bzw. der EnEV entsprechen. Der Flächenanteil an Dachflächen, die nur dem Mindestwärmeschutz entsprechen, ist bereits im Basisjahr 2020 gering. Aus diesem Grund wird nur ein geringer Anteil der PV-Anlagen auf solche Dächer installiert. Der Anteil verringert sich mit fortschreitender Sanierung, bis er schließlich ganz wegfällt.

Aus energiepolitischer Sicht ist es unbedingt erforderlich, den Anteil der Installation von PV-Anlagen mit gleichzeitiger energetischer Sanierung des Daches zu erhöhen. Dies kann entweder durch gezielte Förderung der kombinierten Maßnahme geschehen oder durch gesetzliche Forderungen, die es grundsätzlich verbieten, PV-Anlagen auf Wohngebäude-Dächern in schlechtem energetischem Zustand zu errichten. Um zu verhindern, dass durch eine solche Maßnahme insgesamt weniger PV-Anlagen installiert werden, sollte die Errichtung von PV-Anlagen auf Dächern in energetisch ausreichendem Zustand bzw. die kombinierte Maßnahme (Dachsanierung und PV-Installation gleichzeitig) entsprechend gefördert werden. Dabei ist zu beachten, dass eine Forderung oder Förderung nur zielführend ist, wenn das Dach die thermische Hülle eines Gebäudes darstellt. Dies ist der Fall, wenn das Dach an einen beheizten Raum angrenzt. Ziel dieser Studie ist es, das ökologische und ökonomische Potenzial solcher Maßnahmen zu quantifizieren.

Neben dem oben beschriebenen „Weiter So“ Szenario wurden noch zwei weitere Szenarien für die zukünftige Verteilung der PV-Flächen untersucht: Im Szenario „Fördern“ wird angenommen, dass durch gezielte Förderprogramme der Anteil von gleichzeitiger energetischer Sanierung und Errichtung der PV-Anlage auf 60 % verdreifacht wird. In diesem Fall werden nur noch 40 % der PV-Anlagen auf unsanierten Bestandsdächern errichtet.

Im dritten Szenario „Fordern“ werden PV-Anlagen ausschließlich auf Bestandsdächern errichtet, die entweder im selben Zuge einer energetischen Sanierung unterzogen wurden oder bereits energetisch saniert sind. Dies kann beispielsweise durch eine gesetzliche Vorgabe erreicht werden.

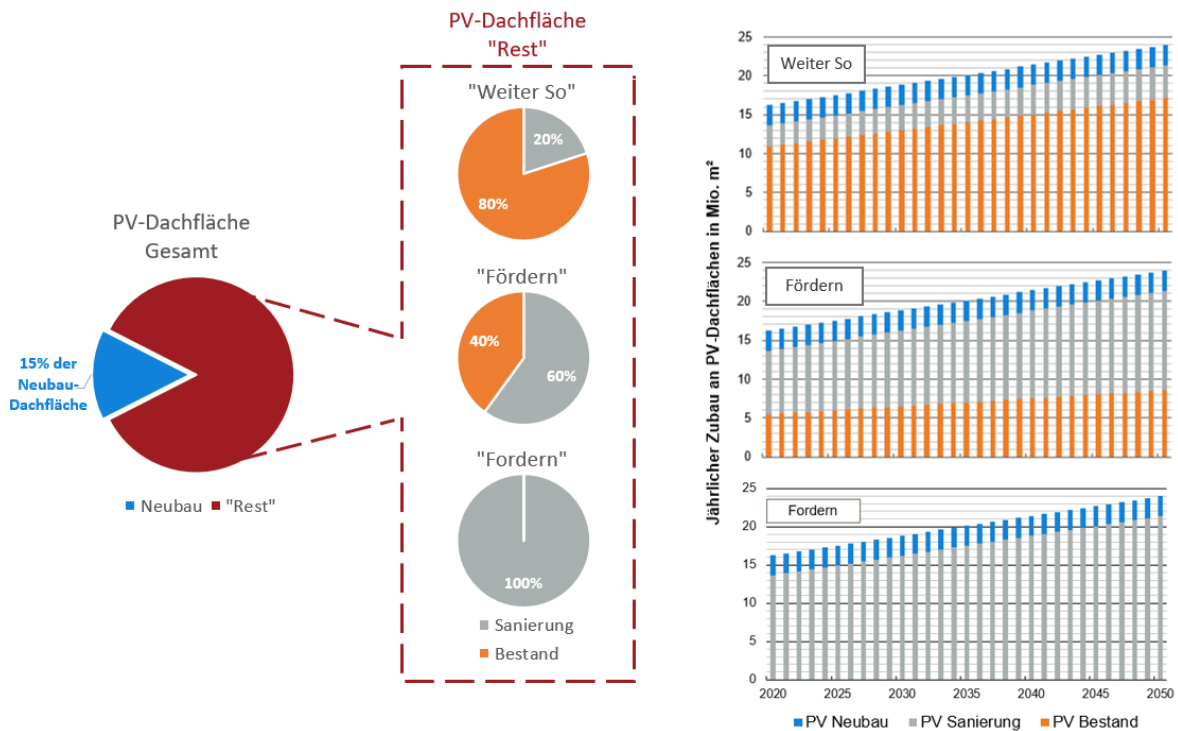


Abbildung 4: Untersuchte Szenarien für die Verteilung der PV-Dachflächen auf die Sanierungszustände.

3.3 Preisentwicklungen

Für die ökonomischen Auswirkungen der betrachteten Szenarien werden folgende Annahmen und Werte als Basis genutzt. Diese Grundlage wird in der Kalkulation der Dachaufbauten und der PV-Anlagen verwendet. Die Kosten für die zukünftigen Ausgaben werden mit der Barwertmethode ermittelt. Dabei ist ein kalkulatorischer Zinssatz von 2 % zugrunde gelegt. Die jeweils angesetzten Preisänderungen beinhalten eine mögliche Inflationsrate von 1,5 %. Diese bleibt über den Zeitraum der Betrachtung konstant.

Die Nutzungsdauer wird für die ökonomische Betrachtung auf 50 Jahre festgesetzt. Kosten für die Sanierung des Dachaufbaus sind in Tabelle 1 festgelegt und für das Basisjahr 2020 dem „BKI - Baukosten Altbau“ entnommen [16]. Aus den genannten Positionen ergeben sich Gesamtkosten von 258 €/m², wobei sich alle Kosten auf einen Quadratmeter an zu sanierender Dachfläche beziehen (vgl. Abbildung 2). Die allgemeine Preissteigerung ist mit 3 % jährlich an den Baupreisindex des Baukosteninformationszentrums (BKI) angelehnt [17].

Seit Anfang 2021 steigen die Baukosten, unter anderem aufgrund steigender Rohstoffpreise, stark an. Dies wird in der vorliegenden Studie nicht betrachtet, da hierfür keine gesicherten Quellen vorliegen und es sich dabei um ein kurzzeitiges Phänomen handeln kann. Heizkosten werden für das Basisjahr 2020 mit einem durchschnittlichen Preis von 0,08 €/kWh angesetzt und steigen jährlich um 3 %.

Tabelle 1: Sanierungskosten Dachaufbau im Jahr 2020

Position	Kosten in €/m ² Dachfläche		
	Material	Lohn	Gesamt
Abrissarbeiten	21	15	36
Dämmung	85	21	106
sonst. Dachkonstruktion	21	10	31
Dachdeckung	39	14	53
Dachfenster / Aufbauten	8	3	11
Gerüst	13	8	21
Gesamt	187	71	258

Die Lebensdauer der PV-Anlagen von 30 Jahren wird sowohl für den Rückbau, als auch für die Kostenkalkulation angesetzt. In einer Marktrecherche wurden mittlere Kosten für die PV-Anlage und die Batterie bestimmt. Die Rechercheergebnisse, angegeben ohne Mehrwertsteuer, sind in Tabelle 2 aufgelistet und decken sich mit Ergebnissen der RWTH Aachen [18] und des Fraunhofer ISE [19]. Der Anteil des von der PV-Anlage produzierten Stroms, der ohne Speicher eigengenutzt werden kann, wird mit 25 % angenommen. Die intensivere Nutzung des Eigenstroms benötigt zusätzlich einen Speicher. Im Jahr 2020 ist eine solche zusätzliche Nutzung des Eigenstroms für 55 % des erzeugten Stroms der Fall [18].

Für die Prognose wird festgelegt, dass diese zusätzliche Nutzung des Eigenstroms bis zum Jahr 2050 auf 75 % ansteigt. Bei der Entwicklung der Preise von PV-Anlage und Batterie wird ein leichter Rückgang angenommen. Die Betriebskosten sind pauschal mit 2% der Investition angesetzt und beinhalten Kosten für den laufenden Betrieb der Anlage. Dazu zählen die Wartung, Versicherungen und Reinigung. Die Systemkosten der Batterie werden ohne eine Unterteilung in Lohn- und Materialkosten angegeben.

Tabelle 2: Übersicht der Berechnungsbasis PV-Anlagen

PV-Anlage		Einheit
Materialkosten	194	€/m ²
Lohnkosten	27	€/m ²
Betriebskosten	2	% der Investition
Preisänderung	-1	%/a
Batterie		
Systemkosten	893	€/kWh
Preisänderung	-1	%/a
Strompreis		
Haushaltsstrom	0,3205	€/kWh
Preisänderung	3	%/a

Für heute installierte PV-Dachanlagen wird die Einspeisevergütung für 20 Jahre auf 7,81 ct/kWh festgesetzt [19]. Eine Tendenz zu mehr Eigenstromnutzung ist bereits jetzt erkennbar [18]. Aus diesem Grund und aufgrund der in der vorliegenden Studie angenommenen Förderung der Installation der PV-Anlagen entfällt die Einspeisevergütung für PV-Dachanlagen. Dies würde sich in der Ausgestaltung der zukünftigen Gesetzgebung (Erneuerbare-Energien-Gesetz - EEG) und Förderung widerspiegeln. Aufgrund der aktuellen Diskussion um das Klimaschutzgesetz und dessen Umsetzung, ist es möglich, dass hier bereits kurzfristig Änderungen vorgenommen werden. Über den langen Betrachtungszeitraum wird es zwangsläufig weitere Änderungen und Anpassungen geben.

4 Ergebnisse Dachflächen mit PV im Überblick

Die in diesem Kapitel dargestellten Ergebnisse beziehen sich auf die in der aktuellen Studie angestellten Untersuchungen. Die Dachflächen mit PV-Anlagen werden hierbei separat vom gesamten Wohngebäudebestand betrachtet und sind unabhängig von der Sanierungsrate.

4.1 Verteilung der PV-Flächen auf die energetischen Standards

In Abbildung 5 sind die für den Zeitraum 2020-2050 kumulierten Dachflächen dargestellt, die durch PV-Anlagen belegt werden. Wie bereits in Abbildung 3 (rechts) gezeigt, wachsen diese Flächen unabhängig vom betrachteten Szenario von rund 250 Mio. m² Dachfläche in 2020 auf rund 600 Mio. m² Dachfläche bis 2050 an.

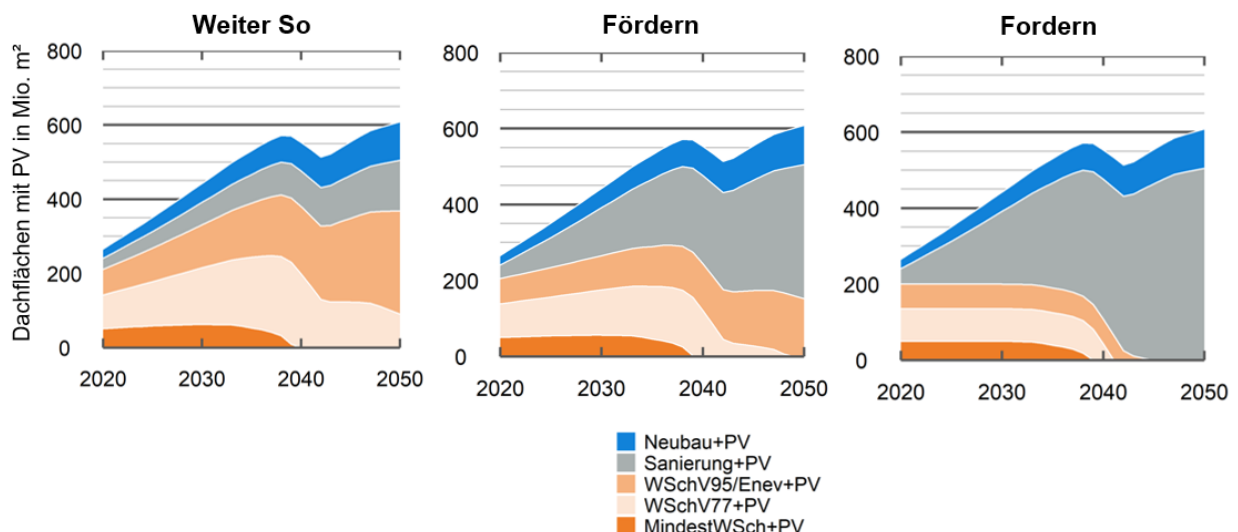


Abbildung 5: Verteilung der Dachflächen mit PV-Anlagen auf die verschiedenen energetischen Standards für die Szenarien „Weiter So“, „Fördern“ und „Fordern“ im Betrachtungszeitraum zwischen 2020-2050

Der Ausgangszustand im Jahr 2020 stellt sich für alle drei Szenarien gleich dar. Rund 200 Mio. m² unsanierte Dachfläche ist mit PV-Anlagen belegt. Im „Weiter So“ Szenario wachsen diese Flächen bis ins Jahr 2040 auf rund 400 Mio. m² an, im Szenario „Fördern“ auf nur rund 300 Mio. m². Da ein weiterer Ausbau von PV-Flächen auf unsanierten Dächern im Szenario „Fordern“ nicht mehr erlaubt ist, steigt dieser Anteil nicht mehr weiter an.

Um das Jahr 2040 herum werden die „PV-Boom“ Anlagen aus den frühen 2010er Jahren rückgebaut. Es wird angenommen, dass die PV-Anlagen auf den Dächern im schlechtesten energetischen Zustand (hier Mindestwärmeschutz) zuerst rückgebaut werden. Anschließend werden zunächst Anlagen auf Dächern, die der Wärmeschutzverordnung 1977-1984 entsprechen, rückgebaut und zuletzt PV-Anlagen auf Dächern nach Wärmeschutzverordnung 95 – EnEV 2009.

Auf diese Weise werden Anlagen auf Dächern mit Mindestwärmeschutz in allen drei Szenarien noch vor 2040 vollständig rückgebaut und stehen somit potenziell wieder für die energetische Sanierung zur Verfügung. Im „Weiter So“ Szenario verbleiben jedoch bis zum Ende des Betrachtungszeitraums im Jahr 2050 noch mehr als 300 Mio. m² PV-Fläche auf energetisch ungenügenden Dächern, beim „Fördern“ Szenario sind es nur noch rund 100 Mio. m². Im Szenario „Fordern“ werden alle PV-Flächen, die nicht auf sanierten oder Neubau-Dächern errichtet wurden, noch vor 2050 vollständig rückgebaut.

4.2 Transmissionswärmeverluste

Für die in Abbildung 5 dargestellten kumulierten Dachflächen mit PV-Anlagen wurden die bauteilbezogenen Transmissionswärmeverluste für die drei unterschiedlichen Szenarien bestimmt. In Abbildung 6 sind die kumulierten Einsparungen an Transmissionswärmeverlusten dargestellt, die sich beim Szenario „Fördern“ (orange) bzw. „Fordern“ (blau) gegenüber dem „Weiter So“ Szenario ergeben.

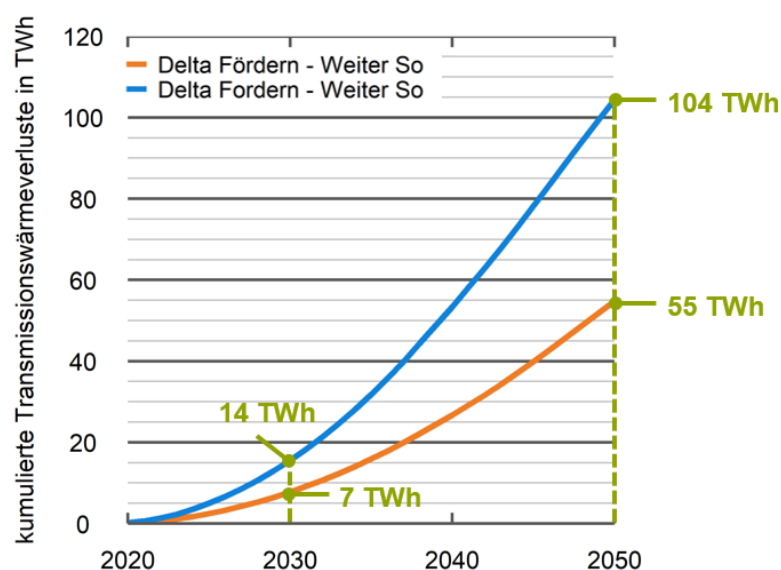


Abbildung 6: Darstellung der kumulierten Einsparungen an Transmissionswärmeverlusten der Szenarien „Fördern“ (orange) und „Fordern“ (blau) gegenüber dem „Weiter So“ Szenario im Betrachtungszeitraum zwischen 2020-2050

Betrachtet man das Szenario „Fördern“ im Vergleich zum „Weiter So“ Szenario, kann bis ins Jahr 2030 eine kumulierte Einsparung (Abbildung 6, rechts) von 7 TWh (6 %) erreicht werden. Bis ins Jahr 2050 erhöhen sich die Einsparungen auf 55 TWh (14 %). Das Szenario „Fordern“ erzielt gegenüber dem „Weiter So“ Szenario noch einmal höhere kumulierte Einsparungen, die bei 14TWh (12 %) im Jahr 2030 bzw. bei 104 TWh (27 %) im Jahr 2050 liegen.

4.3 CO₂-Emissionen

Um die bauteilspezifischen CO₂-Emissionen des Daches zu ermitteln, ist zunächst die Ermittlung des Endenergiebedarfs notwendig. Dieser ergibt sich aus den hier bereits erörterten bauteilbezogenen Transmissionswärmeverlusten und über die durchschnittliche Anlageneffizienz der Wohngebäude. Daraus lassen sich dann der Primärenergiebedarf und schlussendlich die CO₂-Emissionen errechnen. Der indirekte Energiebedarf bzw. „graue Energie“ der Dachkonstruktion und der PV-Anlage werden in dieser Studie nicht betrachtet. Aktuelle Studien geben die energetische Amortisation von PV-Anlagen mit etwa einem Jahr an [19].

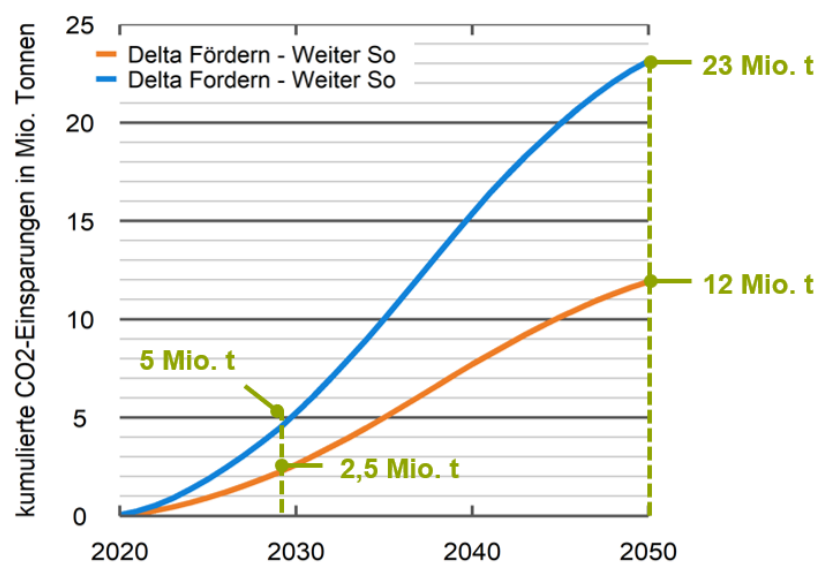


Abbildung 7: Kumulierte CO₂-Emissionseinsparungen in Mio. t CO_{2,eq} aufgrund von reduzierten Wärmeverlusten durch die Dachfläche mit PV-Anlagen für die Szenarien „Fördern“ und „Fordern“ dargestellt als Differenz (Delta) zum „Weiter So“ Szenario im Betrachtungszeitraum zwischen 2020-2050

Die kumulierten CO₂-Emissioneneinsparungen aufgrund von Transmissionswärmeverlusten durch die Dachfläche mit PV sind in Abbildung 7 für die Szenarien „Fördern“ bzw. „Fordern“ gegenüber dem „Weiter So“ Szenario dargestellt. Vergleicht man das „Fördern“ mit dem „Weiter So“ Szenario, lassen sich bis 2030 rund 2,5 Mio. t CO₂-eq (5 %) bzw. bis 2050 12 Mio. t CO₂-eq (11 %) zusätzlich einsparen. Beim „Fordern“ Szenario sind es gegenüber dem „Weiter So“ Szenario sogar 5 Mio. t CO₂-eq (11 %) bis 2030 und 23 Mio. t CO₂-eq (22 %) bis 2050.

4.4 Kosten

Die Ergebnisse für die Kosten und Erlöse basieren auf den Annahmen zu den Preisen und deren Entwicklung in Kapitel 3.3. Die Barwertmethode erlaubt eine kumulierte Betrachtung der Kosten über den Betrachtungszeitraum von 2020 bis 2050.

4.4.1 PV-Anlagen

Abbildung 8 zeigt die kumulierten Kosten und Erlöse der PV-Anlagen auf Wohngebäuden im Zeitraum von 2020 bis 2050. Die Kosten und Erlöse sind für die drei betrachteten Szenarien (Weiter So, Fördern und Fordern) gleich, da die insgesamt auf Wohngebäuden installierte PV-Fläche dargestellt ist. Diese Fläche enthält die insgesamt auf Neubauten sowie sanierten und unsanierten Bestandsdächern installierten PV-Flächen. Die Verteilung auf sanierte bzw. unsanierte Dächer wird entsprechend Abbildung 5 in Kapitel 4.1 in den entsprechenden Szenarien verändert.

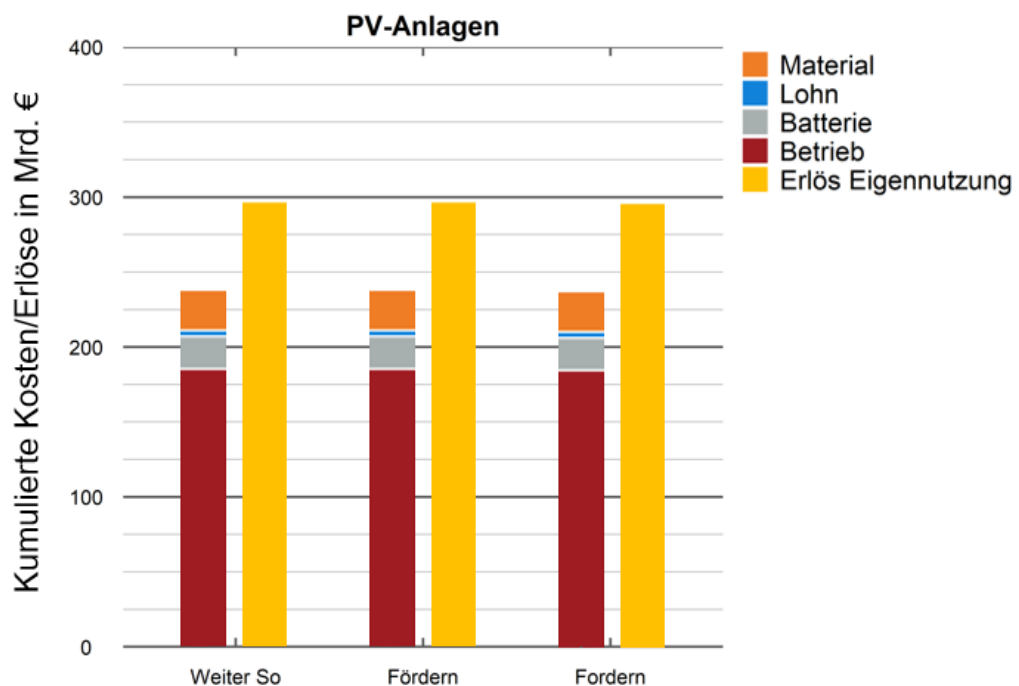


Abbildung 8: Kumulierte Kosten und Erlöse für die Installation und den Betrieb der PV-Anlagen auf Wohngebäuden

Unter den angenommenen Rahmenbedingungen werden die Kosten aus der Investition und dem Betrieb der PV-Anlagen durch die Erlöse aus der Eigenstromnutzung kompensiert. Dies entspricht den Aussagen von Anlagenbetreibern und deckt sich mit dem Ziel, den Ausbau von PV-Anlagen auf Dächern von Wohngebäuden in Deutschland weiter auszubauen [19]. Dabei ist zu beachten, dass hierbei keine formal rechtlichen und steuerlichen Aspekte in die Betrachtung einfließen.

Auf der Kostenseite überwiegen kumuliert betrachtet die Betriebskosten (Versicherung, Wartung, Reinigung etc.) im Betrachtungszeitraum von 2020-2050 mit rund 180 Mrd. Euro deutlich die für Material, Lohn und Batteriespeicher anfallenden Investitionskosten von rund 50 Mrd. Euro. Die Gesamtkosten für die PV-Anlagen belaufen sich somit auf rund 230 Mrd. Euro. Der Erlös durch Eigenstromnutzung liegt bei rund 295 Mrd. €. Dies spiegelt den Trend wider, dass immer mehr PV-Anlagen mit Batteriespeicher zur Eigenstromnutzung erbaut (und gefördert) werden und immer weniger auf die (sinkende und hier nicht mit betrachtete) Einspeisevergütung

gesetzt wird. In der Modellrechnung wurde angenommen, dass sich dieser Trend bis 2050 weiter fortsetzt und verstärkt, sodass bis ins Jahr 2050 immer mehr PV-Anlagen ausschließlich auf Eigenstromnutzung setzen werden.

4.4.2 Dachsanierung

Abbildung 9 zeigt die ermittelten Kosten, welche für die Sanierung der Dächer über den Betrachtungszeitraum (2020-2050) anfallen. Darin sind auch die Heizkosten enthalten, welche aus den Transmissionswärmeverlusten durch alle Dachflächen entstehen, auf den PV-Anlagen installiert sind (gesamte Fläche in Abbildung 5 in Kapitel 4.1). Die aufgezeigten Investitionskosten für Material und Lohn bei der Sanierung basieren auf all jenen Dachflächen, die zugleich saniert werden und eine PV-Anlage erhalten. Dies entspricht den grau hinterlegten Flächen in Abbildung 5 in Kapitel 4.1.

Für das „Weiter So“ Szenario fallen knapp unter 60 Mrd. Euro an Gesamtkosten an, für das „Fördern“ Szenario rund 63,5 Mrd. Euro und für das „Fordern“ Szenario rund 67 Mrd. Euro. Somit ergeben sich im Szenario „Fordern“ rund 7 Mrd. Euro an Mehrkosten gegenüber dem „Weiter So“ Szenario, im „Fördern“ Szenario sind es rund 3,5 Mrd. Euro Mehrkosten. Die höheren Investitionskosten der Dachsanierung, für Material und Lohn, ergeben sich aus der größeren energetisch sanierten Dachfläche (siehe Abbildung 5).

Die erhöhte Sanierungsaktivität führt zu einer deutlichen Senkung der Heizkosten über den Betrachtungszeitraum. Die Heizkosten betragen 30 Mrd. Euro im „Fordern“ Szenario, 35 Mrd. Euro im „Fördern“ Szenario und 41 Mrd. Euro im „Weiter So“ Szenario. Entsprechend reduzieren sich die Kosten um 11 Mrd. Euro („Fordern“) und 6 Mrd. Euro („Fördern“) im Vergleich zum „Weiter So“ Szenario. Diese Reduzierung der Heizkosten reicht jedoch nicht aus, um die erhöhten Investitionskosten für die Szenarien „Fordern“ und „Fördern“ vollständig zu kompensieren.

Mit den in Kapitel 4.3 ermittelten CO₂-Emissionen ergeben sich daraus CO₂-Vermeidungskosten von 290 €/Mio. t CO₂ für das „Fördern“ Szenario bzw. von 304 €/Mio. t CO₂ für das „Fordern“ Szenario.

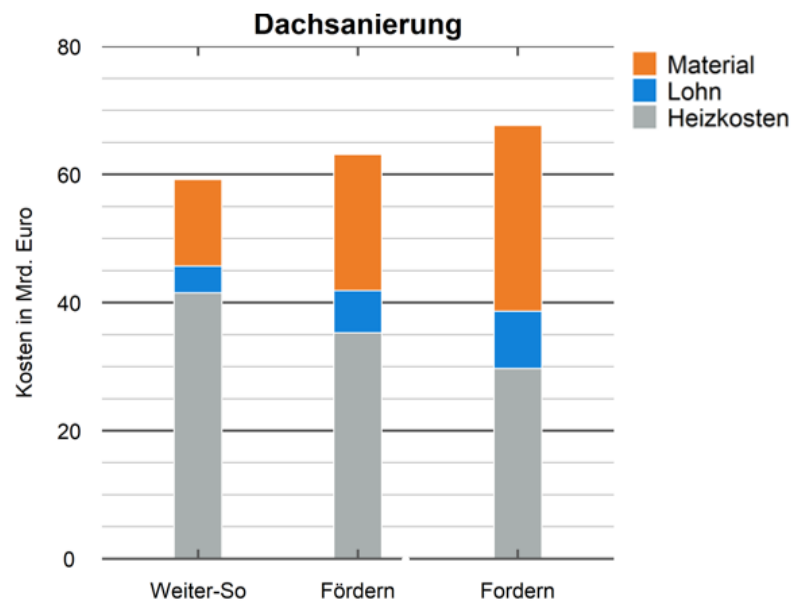


Abbildung 9: Kumulierte Kosten (inkl. Heizkosten) für die Dachsanierungen in den Szenarien für die Szenarien „Weiter So“, „Fördern“ und „Fordern“

Die individuelle Wirtschaftlichkeit einer energetischen Dachsanierungsmaßnahme lässt sich jedoch rein über die Betrachtung der Gesamtinvestitionskosten nicht hinreichend abbilden. Hier spielt eine Vielzahl von gebäudespezifischen Faktoren eine Rolle: So kommt beim Vorhandensein von „Sowieso-Kosten“ (sowieso notwendige Instandsetzungsarbeiten wie Erneuerung der Dacheindeckung, Beseitigung von Schäden an der Dachhaut, notwendiger Austausch der Dachfenster) das sogenannte Kopplungsprinzip zum Tragen. In diesem Fall können die „Sowieso-Kosten“ von den Gesamtkosten der energetischen Sanierung abgezogen werden, um so die rein energiebedingten Mehrkosten für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zu ermitteln.

Die entscheidende Frage bei der Betrachtung der Wirtschaftlichkeit einer Dämmmaßnahme ist nun, ob die energiebedingten Mehrkosten zum Investitionszeitpunkt über den Nutzungszeitraum des Bauteils/Gebäudes durch Heizkostensparnisse wieder kompensiert werden. Auch hier spielen eine Vielzahl an Randbedingungen, unter anderem das Außen- und Innenklima, Art und Dauer der Gebäudenutzung sowie der Zustand der Bauteile vor und nach der Sanierung eine Rolle. Hinzu kommen Kosten und Laufzeit der Kredite und die Entwicklung der Energiepreise und der Zinsen, sowie weitere Randbedingungen wie z.B. die CO₂-Bepreisung.

4.4.3 Förderbeispiel

Nicht zuletzt können auch gezielte Förderungen bzw. eine durch Förderungen unterstützte gesetzliche Forderung der entscheidende Anreiz für Gebäudeeigentümer sein, eine wirtschaftlich attraktive Dachsanierung mit gleichzeitiger Installation einer PV-Anlage durchzuführen.

In einer Beispielrechnung soll ein Einfamilienhaus mit 140 m² Dachfläche in Nord-Süd-Ausrichtung betrachtet werden. Das Dach findet sich energetisch auf einem nicht ausreichenden Niveau. Der Eigentümer möchte eine PV-Anlage installieren, weil er von der Wirtschaftlichkeit dieser Maßnahme überzeugt ist.

Von insgesamt 140 m² Dachfläche kann nur die Südseite zu ca. 80 % mit PV-Modulen eingedeckt werden (50-60 m²). Die anfallenden Investitionskosten für diese Maßnahme liegen bei rund 15.000 € (derzeit keine BEG-Förderung als Einzelmaßnahme). Der Eigentümer informiert sich außerdem, welche Kosten und Fördermöglichkeiten es für eine gleichzeitige Dachsanierung gibt. Die Kosten belaufen sich für 140 m² Dachfläche auf rund 36.000 €. Die Einzelmaßnahme kann laut BEG zu 20 % (bzw. maximal 12.000 €), also im Beispiel mit 7.200 € bezuschusst werden. Insgesamt fallen für den Eigentümer für die kombinierte Maßnahme als 43.800 € an (Tabelle 3, Förderbeispiel 1). Aufgrund der für ihn zu hohen Investitionskosten entscheidet sich der Eigentümer, nur die Installation der PV-Module durchzuführen. Das Dach verbleibt für die gesamte Lebensdauer der PV-Anlage (rund 25-30 Jahre) in einem energetisch nicht ausreichenden Zustand.

Eine Möglichkeit, die „Fördern“ und „Fordern“ Szenarien aus dieser Studie umzusetzen und damit die Maßnahmen-Kombination von Dachsanierung und PV-Installation attraktiver zu machen, kann durch eine Anpassung der Fördermöglichkeiten erzielt werden. Würde eine „2045-ready“ Kombi-Förderung von 45 % gezielt für die gleichzeitige Dachsanierung und PV-Installation eingeführt werden, würden für den Hauseigentümer im Rechenbeispiel nur noch rund 28.000 € an Investitionskosten anfallen (Tabelle 3, Förderbeispiel 2). Wählt der Eigentümer diese Maßnahmen-Kombination, so wird das Potenzial seines Daches für die nächsten 25-30 Jahre optimal ausgenutzt. Durch eine Reduzierung der Transmissionswärmeverluste trägt sein Dach sowohl zur Senkung der Treibhausgas-Emissionen als auch zur Produktion von klimaneutralem PV-Strom bei.

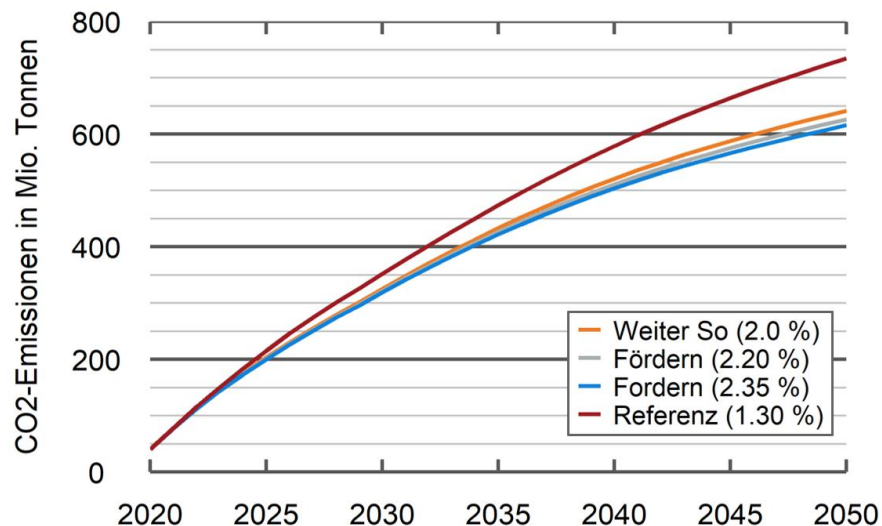
Tabelle 3: Mögliche Förderfälle für eine kombinierte Dachsanierung und PV-Installation (Beispielrechnung für ein Einfamilienhaus mit 140 m² Dachfläche in Nord-Süd-Ausrichtung)

Maßnahme	Kosten
PV-Anlage	15.000 €
Dachsanierung	36.000 €
Gesamtkosten	51.000 €
Förderbeispiel 1: 20 % Förderung der Dachsanierung als BEG Einzelmaßnahme, keine Förderung der PV-Anlage	
Höhe des Zuschusses	7.200 €
Kosten für den Eigentümer	43.800 €
Förderbeispiel 2: 45 % Kombi-Förderung für gleichzeitige Dachsanierung und PV-Installation („2045-ready“)	
Höhe des Zuschusses	22.950 €
Kosten für den Eigentümer	28.050 €

5 Ausblick und Fazit

Bei den in Abbildung 5 dargestellten Flächenverteilungen werden beim Szenario „Fördern“ über den gesamten Betrachtungszeitraum rund 217 Mio. m² Dachfläche mehr saniert, als beim „Weiter So“ Szenario. Beim „Fördern“ Szenario sind es rund 370 Mio. m² mehr sanierte Dachfläche im Zeitraum von 2020 bis 2050.

Im Kontext des gesamten deutschen Dachflächen-Bestandes (siehe Abbildung 2) bedeutet dies, dass die jährliche Sanierungsrate durch das „Fördern“ Szenario durch die zusätzliche Sanierung von Dächern bei der Installation von PV-Anlagen um rund 0,20 % angehoben werden kann, für das „Fördern“ Szenario sogar um 0,35 %. Diese Erhöhung der Sanierungsrate erzielt auch auf den gesamten Gebäudebestand betrachtet die in Kapitel 3.2 und 3.3. beschriebenen Einsparungen bei den Transmissionswärmeverlusten und Treibhausgasemissionen.



Kumulierte Einsparung im Jahr 2050 gegenüber dem Referenz-Szenario

Weiter So	93 Mio. t CO ₂ -eq
Fördern	105 Mio. t CO ₂ -eq
Fordern	116 Mio. t CO ₂ -eq

Abbildung 10: Vergleich der kumulierten CO₂-Emissionen aufgrund von Wärmeverlusten durch Wohngebäudedächer in Deutschland bis ins Jahr 2050.

In Abbildung 10 sind die kumulierten CO₂-Emissionen durch Transmissionswärmeverluste durch Dachflächen auf Wohngebäuden in Deutschland bis 2050 in verschiedenen Szenarien dargestellt. Wird die bauteilspezifische Sanierungsrate im Dach von derzeit 1,3 % (Referenz Szenario) auf 2,0 % angehoben, ohne eine gleichzeitige Sanierung des Daches bei der Installation von PV-Anlagen weiter zu forcieren („Weiter So“ Szenario), so können bis 2050 rund 93 Mio. t CO₂-eq

eingespart werden. Dies entspricht dem Ergebnis der in Kapitel 2 zusammengefassten Vorgänger-Studie aus dem Jahr 2018 [1]. Leichte Abweichungen im Gesamtergebnis (die damals ermittelten Einsparungen lagen bei 94 Mio. t CO₂-eq) ergeben sich aus leichten Anpassungen hinsichtlich der Eingabeparameter in den seither vergangenen Jahren 2018 bis 2021.

Wie in Abbildung 10 zu erkennen lassen sich durch gezielte Förderung von gleichzeitiger Sanierung und Installation von PV-Anlagen auf Bestandsdächern („Fördern“ Szenario) die kumulierten Einsparungen auf bis zu 105 Mio. t CO₂-eq erhöhen. Gegenüber dem Referenz-Szenario ergeben sich hierbei also 12 Mio. t CO₂-eq an zusätzlichen Einsparungen.

Die Einsparungen lassen sich noch einmal erhöhen, indem die Installation von PV-Anlagen nur noch auf Dächern von Wohngebäuden erlaubt wird, die den heutigen Anforderungen an den Wärmeschutz bereits entsprechen oder mit Installation der PV-Anlage dementsprechend energetisch ertüchtigt werden („Fordern“ Szenario). Bei dieser Maßnahme muss bedacht werden, dass die energetische Sanierung von Dächern nur sinnvoll ist, wenn das Dach Teil der thermischen Hülle ist. Auf diese Weise lassen sich bis 2050 insgesamt 116 Mio. t CO₂-eq, also 23 Mio. t CO₂-eq zusätzlich, einsparen.

6 Forderungen an die Politik

Im kürzlich veröffentlichten Entwurf eines Klimapakts „Klimaschutz Sofortprogramm 2022 der Bundesregierung“ ist es angedacht, eine PV- bzw. Solarthermie-Installationspflicht für alle Neubauten bzw. bei größeren Dachsanierungen einzuführen. Im Umkehrschluss wird hierbei jedoch **keine** Sanierungspflicht von Dächern in unzureichendem energetischem Zustand bei der Installation von PV-Anlagen berücksichtigt. Die vorliegende Studie stellt jedoch fest, dass die gezielte Förderung/Forderung einer solchen Maßnahme ein sehr wirksames Mittel zur Reduzierung der THG Emissionen im Bestand bei gleichzeitiger Erhöhung der Stromproduktion aus erneuerbaren Quellen ist.

Die gezielte, kombinierte Förderung sollte sich zusammensetzen aus 20 % Förderung für die Gebäudehülle (analog zur BEG Einzelmaßnahme) zuzüglich weiterer 25 % für die gleichzeitige Installation der PV-Anlage. In Summe erscheint also eine **Förderung von 45 % für die Kombi-Maßnahme** als angemessen, um den deutlich größeren Hebel für die Einsparung von CO₂-Emissionen bei gleichzeitiger Erzeugung von klimaneutralem Strom bestmöglich auszunutzen.

Durch eine solche kombinierte Förderung – in dieser Studie durch das „Fördern“ Szenario abgebildet - lassen sich Sanierungen und PV-Installationen auslösen, die im Zeitraum von 2020 bis 2050 kumuliert zu zusätzlich 12 Mio. t CO₂-eq Einsparungen führen. Zusammen mit einer Erhöhung der bauteilbezogenen Sanierungsrate von derzeit 1,3 % auf 2,0 %, was eine Einsparung von 93 Mio. t CO₂-eq auslöst, kann das Bauteil Dach im Wohngebäudebereich mit Einsparungen von **105 Mio. t CO₂-eq** einen deutlichen Beitrag zur Klimaneutralität leisten.

Als verschärfende Maßnahme bei unzureichender Sanierungstätigkeit und stagnierenden Ausbauraten von PV kommt auch eine ordnungsrechtliche Maßnahme in Betracht, bei der die Installation von PV-Anlagen grundsätzlich nur auf Dächern mit ausreichendem energetischem Standard zulässig ist. Durch diese weitreichende Maßnahme, in dieser Arbeit durch das „Fordern“ Szenario abgebildet, sind noch deutlich höhere zusätzliche Einsparungen von 23 Mio. t CO₂-eq bis 2050 möglich. Daraus ergeben sich zusammen mit einer möglichen Steigerung der Sanierungsrate von 1,3 % auf 2,0 % insgesamt **116 Mio. t CO₂-eq** an Einsparpotenzial für das Bauteil Dach im Wohngebäudebereich bis 2050. Hierfür ist neben den Anpassungen an den entsprechenden Regelwerken auch eine parallele Förderung des Ausbaus der PV-Anlagen bei gleichzeitiger Sanierung der Dächer notwendig.

Das „Fordern“ Szenario stellt somit eine Umkehrung der Maßnahme dar, die bereits im Entwurf des o.g. „Sofortprogramms“ enthalten ist: Statt „PV auf allen neuen/sanierten Dächern“ zu fordern, wird in diesem Fall „kein PV auf unsanierten Dächern“ gefordert. Auf diese Weise lässt sich ein größerer Druck auf die Sanierungen aufbauen und damit höhere Einsparungen bei den THG Emissionen erreichen, weil die Wirtschaftlichkeit der PV Installation ohnehin gegeben ist. Damit wird die wirtschaftlichere Maßnahme als Druckmittel für die etwas unwirtschaftlichere Maßnahme

eingesetzt – bei gleichzeitiger Förderung der Wirtschaftlichkeitslücke. Die Ausgestaltung der Forderung kollidiert hier aus Sicht der Bearbeiter auch nicht mit dem förderpolitischen Grundsatz, dass nur gefördert werden kann was über den ordnungsrechtlichen Forderungen liegt.

7 Literatur

- [1] A. H. Holm und F. Kagerer, „Das wirtschaftliche und energetische Potenzial der Dachsanierung zur Erreichung der Klimaschutzziele 2030/2050“, FIW München, 2018. [Online]. Verfügbar unter: https://ziegel.de/sites/default/files/2018-10/Das%20wirtschaftliche%20und%20energetische%20Potenzial%20der%20Dachsanierung_FIW-Studie%202018.pdf.
- [2] K. Bettgenhäuser *et al.*, „Kommunale Wertschöpfungseffekte durch energetische Gebäudesanierung (KoWeG)“, Institut für Ökologische Wirtschaftsforschung, 2014. [Online]. Verfügbar unter: https://www.klimaschutz.de/sites/default/files/Endbericht_KoWeG_final%20f%C3%BCr%20ver%C3%B6ffentlichung%20mit%20logo.pdf. Zugriff am: 12. Mai 2021.
- [3] Philip Sterchele *et al.*, „Wege zu einem klimaneutralen Energiesystem - Die deutsche Energiewende im Kontext gesellschaftlicher Verhaltensweisen“, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg, 2020. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Fraunhofer-ISE-Studie-Wege-zu-einem-klimaneutralen-Energiesystem.pdf>.
- [4] H. Hecking, B. Oschatz und A. Holm, „Szenarien für eine marktwirtschaftliche Klima- und Ressourcenschutzpolitik 2050 im Gebäudesektor“, Berlin, 2017.
- [5] D. Walberg und T. Gniechwitz, „Bestandsersatz 2.0 – Potenziale und Chancen – Studie zur aktuellen Bewertung des Wohngebäudezustandes in Deutschland unter Berücksichtigung von Neubau, Sanierung und Bestandsersatz“, Kiel, 2016.
- [6] D. Walberg, A. Holz, T. Gniechwitz und T. Schulze, „Wohnungsbau in Deutschland 2011 – Modernisierung oder Bestandsersatz“, Kiel, 2011.
- [7] N. Driefenbach, H. Cischinsky, M. Rodenfels und K.-D. Clausnitzer, „Datenbasis Gebäudebestand – Datenerhebung zur energetische Qualität und zu den Modernisierungstrends im deutschen Wohngebäudebestand“, Darmstadt, 2010.
- [8] Statistisches Bundesamt, Hg., „Bauen und Wohnen, Mikrozensus – Zusatzerhebung 2010, Bestand und Struktur der Wohneinheiten, Wohnsituation der Haushalte – 2010“, Wiesbaden, 2012.
- [9] Statistisches Bundesamt, Hg., „Gebäude und Wohnungen in der Bundesrepublik Deutschland am 9. Mai 2011“, Wiesbaden, 2013.
- [10] Statistisches Bundesamt, „Gebäude und Wohnungen; Bestand an Wohnungen und Wohngebäuden, Bauabgang von Wohnungen und Wohngebäuden; Lange Reihen ab 1969-2016“, Wiesbaden, 2016.
- [11] Statistisches Bundesamt, Hg., „Bautätigkeit und Wohnungen, Bestand an Wohnungen – 2016“, Wiesbaden, 2017.
- [12] Statistisches Bundesamt, Hg., „Bauen und Wohnen, Baugenehmigungen/Baufertigstellungen u.a. nach der Gebäudeart – 2016“, Wiesbaden, 2017.
- [13] Statistisches Bundesamt, „Fortschreibung des Wohngebäude- und Wohnungsbestandes: Lange Reihen von 1969 bis 2019“, Wiesbaden, 2020.
- [14] Bundesverband Solarwirtschaft e.V., *Statistische Zahlen der deutschen Solarstrombranche (Photovoltaik)*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.solarwirtschaft.de/>.
- [15] C. Hoffmann, G. Kerber, M. Lödl, M. Metzger und R. Witzmann, „Abschätzung des Photovoltaik-Potentials auf Dachflächen in Deutschland“, 2010.

- [16] *BKI-Baukosten Altbau: Statistische Kostenkennwerte*. Stuttgart: Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern GmbH, 2020.
- [17] Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern GmbH, *Aktueller Baupreisindex & Daten aus vorherigen Jahren*. [Online]. Verfügbar unter: <https://bki.de/baupreisindex.html> (Zugriff am: 10. Juni 2021).
- [18] J. Figgener, D. Haberschusz, Kai-Philipp Kairies, O. Wessels, B. Tepe und D. U. Sauer, „Wissenschaftliches Mess-und Evaluierungsprogramm Solarstromspeicher 2.0. Jahresbericht 2018“, RWTH-Aachen, 2018.
- [19] H. Wirth, „Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland“, Fraunhofer ISE, 2021.



Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München
Lochhamer Schlag 4 | DE-82166 Gräfelfing
Institutsleiter:

Seit 1918 - Energieeffizienz zuerst

Prüfung-, Überwachung und Zertifizierung
von Baustoffen und Bauteilen.

Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet des
Wärme- und Feuchteschutzes

T+49 89 85800-0 | F +49 89 85800-40
info@fiw-muenchen.de | www.fiw-muenchen.de
Prof. Dr.-Ing. Andreas H. Holm