

F 3000

Matthias Zöller, Ralf Spilker
Géraldine Liebert, Martin Oswald

Solaranlagen auf Flachdächern im Gebäudebestand

F 3000

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlussberichtes einer vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung -BMVBS- im Rahmen der Forschungsinitiative »Zukunft Bau« geförderten Forschungsarbeit. Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2016

ISBN 978-3-8167-9822-4

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon 07 11 9 70 - 25 00

Telefax 07 11 9 70 - 25 08

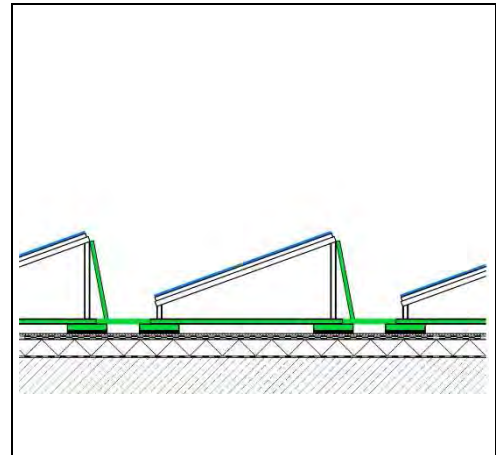
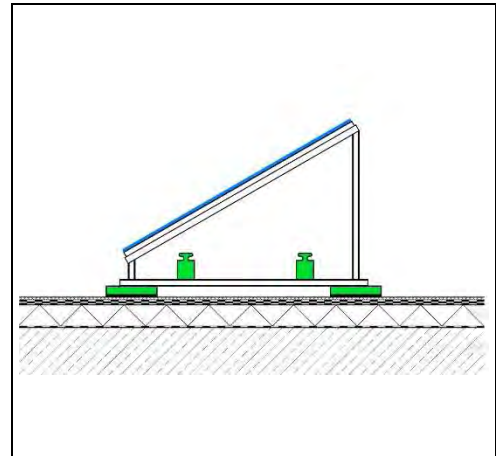
E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

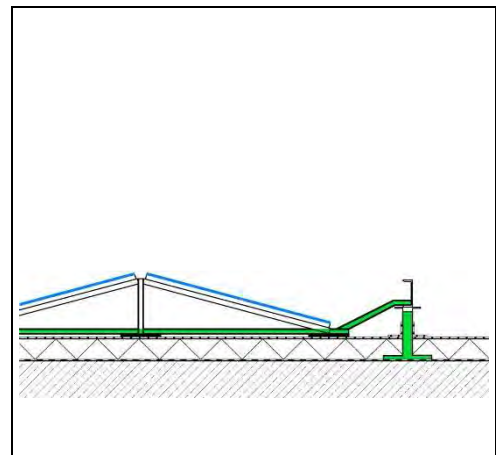
www.irb.fraunhofer.de/bauforschung



Solaranlagen auf Flachdächern im Gebäudebestand

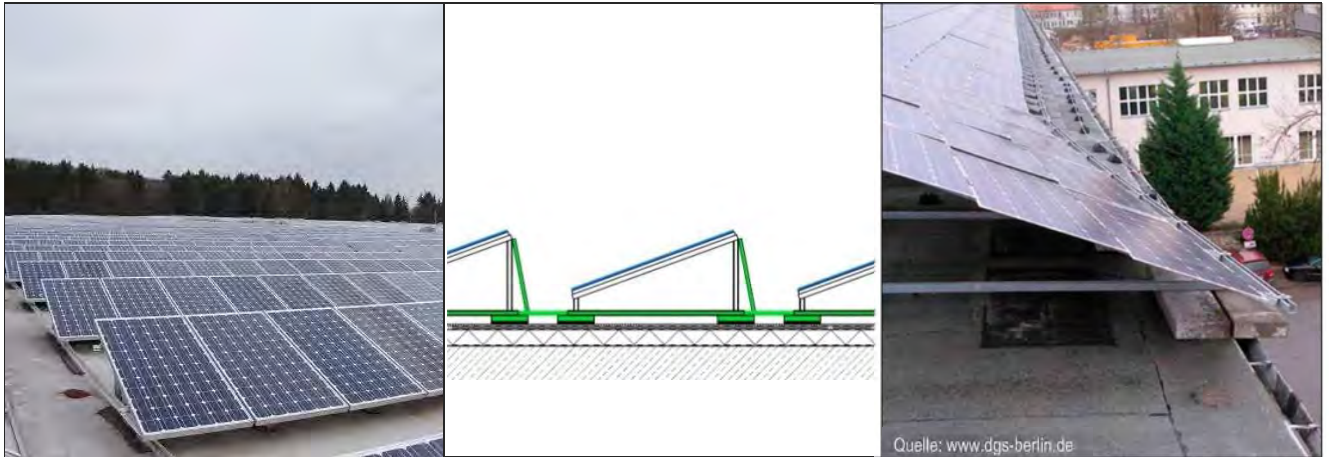


Quelle: www.dgs-berlin.de



Solaranlagen auf Flachdächern im Gebäudebestand

Abschlussbericht



Gefördert

mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR), Bonn

Aktenzeichen:

SWD – 10.08.18.7-13.31

Bearbeitet durch:

AIBAU
Aachener Institut für Bauschadensforschung
und angewandte Bauphysik, gGmbH, Aachen

Projektleiter:

Prof. Dipl.-Ing. Matthias Zöller

Bearbeiter/Autoren:

Dipl.-Ing. Ralf Spilker
Dipl.-Ing. Géraldine Liebert
Prof. Dipl.-Ing. Matthias Zöller
Dipl.-Ing. Martin Oswald, M.Eng.

Aachen, im April 2016

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt des Berichts liegt bei den Autoren.

INHALT

1.	Einleitung und Zielsetzung.....	11
2.	Begriffe.....	15
2.1	Parallel-Aufstellung.....	15
2.2	Aufgeständerte Anlagen	15
2.3	Direkte Befestigung	15
2.4	Indirekte Befestigung	15
2.5	Direkte Lagesicherung	15
2.6	Fixierstützen	15
2.7	Ballastierte Systeme	16
2.8	Ballastoptimierte Systeme, Aerodynamische Systeme	16
2.9	Wannensysteme	16
2.10	Adhäsive Systeme	16
2.11	Montagesystem	16
2.12	Gebäudeintegrierte Photovoltaik.....	16
2.13	Additive Photovoltaik	16
2.14	Photovoltaik (PV)-Module	16
2.15	Solarkollektoren	16
2.16	Temperaturwanderung	16
2.17	Einbauarten von Solaranlagen auf Flachdächern	17
3.	Umfrageergebnisse	19
3.1	Umfrage unter Bausachverständigen für Schäden an Gebäuden und Sachverständigen des Dachdeckerhandwerks	19
3.2	Umfrage unter Mitgliedsfirmen des Bundesverbandes der Solarwirtschaft.....	22
4.	Schadenstypen.....	25
4.1	Bahnenförmige Abdichtungen.....	25
4.1.1	Unzureichende Prüfung des Untergrundes	25
4.1.2	Funktionsuntüchtiger Dachaufbau.....	26
4.1.3	Aufbau einer PV-Anlage auf Dachbahnen mit geringer Restlebensdauer.....	26

4.1.4	Neue Abdichtungslage nicht fachgerecht aufgebracht.....	26
4.1.5	Beschädigung einer vorhandenen Abdichtung während der Montage.....	27
4.1.6	Aufbau bei vorhandener, großflächiger Pfützenbildung	28
4.1.7	Durchdringung der Dachhaut	28
4.1.8	Flüssigkunststoffabdichtung löst sich von Kunststoffabdichtung.....	33
4.1.9	Mangelhafte eingedichtete Durchführungen	34
4.1.10	Unsaubere Eindichtung mit Manschetten.....	35
4.1.11	Unverträglichkeiten von Baustoffen mit der Dachabdichtung.....	35
4.1.12	Einsenkungen der Mineralwolledämmung	36
4.1.13	Kontrollierbarkeit der Ballastierung	38
4.1.14	Horizontalverschiebung der PV-Anlage	39
4.1.15	Öffnung verklebter Nähte durch Bewegung des Untergestells der Solaranlage	41
4.1.16	(Unzulässige) Windsogsicherung über adhäsive Verklebung mit der Dachbahn	43
4.1.17	Nichtbeachtung von Herstellerangaben – Lastannahmen zur Windsogsicherung	43
4.1.18	Unzureichende Windsogsicherung der Solarelemente	43
4.1.19	Begrünung vernässt.....	45
4.1.20	Zu geringer Abstand zu Dachaufbauten und Dachrändern	46
4.2	Blecheindeckungen	47
4.2.1	Vorschädigung der Blecheindeckung.....	47
4.2.2	Beschädigung der Blecheindeckung durch die Montage	47
4.2.3	Nichtbeachtung von Herstellervorgaben	47
4.3	Wellplatten.....	48
4.3.1	Befestigung in wasserführenden Bereichen.....	48
5.	Beispiele ohne Schadensfolgen	49
5.1	Direkte Befestigung	49
5.1.1	Durchdringung mit Befestigung.....	49
5.1.2	Durchdringung mit Hochpunkten der Dachabdichtung.....	50
5.2	Aerodynamische Systeme	51
5.2.1	Kunststoffauflager	51
5.2.2	EPDM-Auflager	52
5.3	Ballastierung - Punktlasten	53

5.3.1	Betonfertigteilwangen	53
5.3.2	Stahlrahmenkonstruktion mit Grundplatten	54
5.4	Befestigung mit streifenförmiger Auflast	54
5.5	Umkehrdach („Plusdach“)	55
6.	Anforderungen in Regelwerken	57
6.1	Baurechtliche und statische Anforderungen	57
6.1.1	Bauregelliste	57
6.1.2	Hinweise des Deutschen Institutes für Bautechnik (DIBt)	57
6.1.3	Fachkommission Bautechnik der Bauministerkonferenz (ARGEBAU)	57
6.1.4	VDI 6012: Regenerative und dezentrale Energiesysteme für Gebäude	58
6.2	Wärmeschutz	61
6.2.1	Energieeinsparverordnung	61
6.2.2	DIN 4108-10: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Anforderungen an Wärmedämmstoffe ...	61
6.3	Abdichtungen	62
6.3.1	Abdichtungsnormen DIN 18195 und DIN 18531	62
6.3.2	Entwurf DIN 18531	62
6.3.3	Flachdachrichtlinie 2008	63
6.3.4	Fachregel für Abdichtungen – Flachdachrichtlinie, Entwurfsfassung 2015-07	65
6.3.5	ZVDH Merkblatt: Solaranlagen auf Dächern	66
6.3.6	Abc der Bitumenbahnen	68
6.3.7	Merkblatt Solar – Technisches Merkblatt für Dachabdichtungen mit Bitumenbahnen bei Beanspruchung durch Solaranlagen	68
6.3.8	DUD Fachinformation Photovoltaik	69
6.4	Metalldächer	70
6.4.1	IFBS-Metallbau	70
6.5	Sonstiges	70
6.5.1	RAL Solarenergieanlagen	70
6.5.2	DGV Information zur Montage und Instandhaltung von Photovoltaik-Anlagen, 2015	71
6.5.3	DIN 4426: Einrichtungen zur Instandhaltung baulicher Anlagen	72
6.5.4	Brandschutzgerechte Planung von PV-Anlagen [BSW-Solar, BFSB, DGS, ZVEH 2011]	72
6.5.5	Anforderungen an den Blitzschutz	74
6.5.6	Asbest – Gefahrstoffverordnung (GefStoffV)	74

7.	Empfehlungen und Hinweise: Aufstellsysteme	75
7.1	Ballastiert, aufgeständert (indirekte Befestigung)	75
7.2	Ballastiertes System – Wannenförmig (indirekte Befestigung)	76
7.3	Ballastminimiert – „Aerodynamische Systeme“ (indirekte Befestigung oder direkte Lagesicherung)...	77
7.4	Lastaufnahme mittels Dachbahn (indirekte Befestigung).....	79
7.5	Lastaufnahme mittels Dachkonstruktion (Direkte Befestigung).....	80
7.6	Lastaufnahme mittels Blecheindeckung (indirekte Befestigung).....	81
7.7	Lastaufnahme durch Unterkonstruktion eines Metaldachs (direkte Befestigung).....	82
7.8	Dünnschichtmodule – „Gebäudeintegrierte Photovoltaik“	82
8.	Empfehlungen und Hinweise: Dachkonstruktionen	83
8.1	Nicht belüftetes Dach auf Beton/Trapezblech/Holz.....	83
8.2	Belüftetes Dach auf Beton/Holz	84
8.3	Umkehrdach auf Beton	85
8.4	Unbelüftetes Holzdach.....	86
8.5	Tragfähigkeit.....	86
8.6	Feuchtigkeitsempfindliche Bauteile innerhalb des Dachquerschnitts.....	87
9.	Empfehlungen und Hinweise – Dachabdichtungsstoffe	89
9.1	Nutzungsdauer von Dachabdichtungsmaterialien.....	89
9.2	Anschlüsse	89
9.3	Bitumendachbahnen	89
9.4	Kunststoff- und Elastomerbahnen.....	90
9.5	Flüssigkunststoffe	92
9.6	Grundsätze der Instandhaltung.....	92
9.7	Überprüfung der Dachabdichtung	94
10.	Empfehlungen und Hinweise: Verlegeart.....	95
10.1	Lose verlegt mit Auflast	95
10.2	Voll verklebte Systeme	95
10.3	Mechanisch befestigte Dachbahnen, mit starren oder flexiblen Dübeln.....	95
11.	Empfehlungen und Hinweise: Wärmedämmstoffe	97
11.1	Druckbelastbarkeit von Dämmstoffen	97

11.2	Feuchtegehalt von Dämmstoffen	98
11.3	Energieeinsparung.....	100
12.	Empfehlungen und Hinweise: Gefällegebung.....	101
13.	Empfehlungen und Hinweise: Checkliste	103
13.1	Bestandsaufnahme und vorbereitende Arbeiten	103
13.2	Planung der Solaranlage	104
13.3	Ausführung der Montagearbeiten	105
13.4	Instandhaltung der Dachfläche	106
13.5	Graphische Hinweise	106
14.	Zusammenfassung.....	109
14.1	Erfahrungen mit Solaranlagen auf Bestandsflachdächern	109
14.2	Vorhandene Regelwerke	110
14.3	Hinweise und Empfehlungen	110
15.	Fazit.....	113
16.	Literaturverzeichnis	115
16.1	Normen und Regelwerke	115
16.2	Fachbücher, Fachaufsätze und sonstige Veröffentlichungen	116

1. Einleitung und Zielsetzung

Der Bedarf regenerativ gewonnener Energien wird aufgrund der politisch gewollten und unter Umweltaspekten notwendigen Abkehr von fossilen Rohstoffen in Zukunft stark steigen. Allerdings werden Solaranlagen in nennenswertem Umfang nur errichtet, wenn sie sich insbesondere ökonomisch lohnen. Um weitere Steuerungselemente zur verpflichtenden Aufstellung (z. B. Kontingentierung von fossiler Energie, fiskalische Umlagen von fossilen auf regenerative Energieträger etc.) zu vermeiden, muss die Wirtschaftlichkeit der Aufstellung vorrangiges Ziel bleiben.

Da viele Gebäude ungenutzte Dachflächen aufweisen, lassen sich diese bislang nicht ausgeschöpften Ressourcen zur Installation von Photovoltaikanlagen nutzen. Bestehende Dächer einschließlich Tragwerk, Dämmung und Dachabdichtung sind jedoch i. d. R. nicht für die Errichtung von Solaranlagen konzipiert.

Die Autoren dieses Berichts beschäftigen sich mit der Vermeidung von Schäden an Gebäuden und beraten Konstruktionen unter Zuverlässigkeitsaspekten, aber auch zu kostengünstigem Bauen. Letzteres zielt aber nicht ausschließlich auf die Entstehungsphase, sondern auch auf die Nutzungsphase ab sowie auf die Vermeidung von Stoffen, die sich schädigend auf die Umwelt auswirken. Solange keine gravierenden Schäden zu erwarten sind, kommt es häufig auf die Abwägung der einzelnen Eigenschaften ab. So stellt auch dieser Bericht nicht ausschließlich auf die technisch sichersten Varianten ab, die gewöhnlich mit insgesamt hohen Kosten für eine unmittelbare Verbindung der Solaranlagen mit dem Dachtragwerk und Durchführung durch den Dachaufbau verbunden sind. Es ist zur Kenntnis zu nehmen, dass mittlerweile, wegen der geringsten Installationskosten, überwiegend Anlagen auf Dächer aufgestellt werden, die nicht unmittelbar mit der Dachkonstruktion verbunden sind. Sie stehen auf der Abdichtung. Eine grundsätzliche Forderung nach anderen Systemen würde eine erhebliche Hemmung für das Aufstellen von Solaranlagen auf Dächern bedeuten. Genauso würde die grundsätzliche Forderung, dass Solaranlagen auf bestehende Dächer nur dann errichtet werden dürfen, wenn aufgrund der häufig gleich langen zu erwartenden Nutzungsdauern von Abdichtungen und Solaranlagen auch die Abdichtung gleich mit ausgetauscht wird, verhindern, dass auf bestehenden Dächern überhaupt Solaranlagen errichtet werden.

Die Problemstellungen bei geneigten Dächern und Flachdächern sind verschieden. In der Regel sind geneigte Dächer mit Deckungen versehen, Flachdächer mit Abdichtungen. Die vorliegende Forschungsarbeit behandelt in einem ersten Teil den Themenkreis der Flachdächer, da diese sich für die Nachrüstung von Photovoltaik-Anlagen (PV-Anlagen) besonders gut eignen und deswegen dort der Handlungsbedarf am größten ist.

Wie Praxiserfahrungen zeigen, ergeben sich bei Flachdächern zwei Hauptproblemkreise:

1. Durch unsachgemäße Vorprüfung der Untergründe und fehlerhafte Montage entstehen Schäden, deren Beseitigung einen großen Aufwand erfordern.
2. Abdichtungen weisen bei der Montage solcher Anlagen häufig bereits deutliche Alterungserscheinungen auf und der Konstruktionsaufbau erfüllt darüber hinaus nicht die heute erwünschten Wärmeschutzeigenschaften.

Nach Montage der Solarmodule können Maßnahmen an der Dachkonstruktion nachträglich nur mit hohem Aufwand durchgeführt werden.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens sollen die für eine schadensfreie Montage erforderlichen Voruntersuchungen festgelegt, Hinweise für die Erstellung von geeigneten Planungsunterlagen gegeben und die ggf. notwendigen Instandhaltungsmaßnahmen an der vorhandenen Konstruktion beschrieben werden. Des Weiteren sollen Konstruktionshinweise für die Baupraxis erarbeitet und zusammengestellt sowie sinnvolle Einsatzbereiche für die unterschiedlichen Montagesysteme aufgezeigt werden.

Ein Schwerpunkt der Untersuchung stellt dabei die Befragung von öffentlich bestellten und vereidigten Bausachverständigen und Sachverständigen des Dachdeckerhandwerks dar. Eine weitere Umfrage wird mithilfe der Deutschen Gesellschaft für Solarenergie (DGS) unter den Mitgliedsunternehmen des Bundesverbandes der Solarwirtschaft (BSW-Solar) durchgeführt. Diese beiden Umfragen haben die Ermittlung von Untersuchungsobjekten und von Schadenserfahrungen bzw. Ausführungsempfehlungen an bereits ausgeführten Objekten zum Ziel. Des Weiteren werden eigene Gutachten und bauphysikalische Beratungen ausgewertet, die sich mit dem Thema der Forschungsarbeit befassen. Parallel zu diesen Erhebungen wird untersucht, welche Schlüsse sich aus Fachveröffentlichungen in Bezug auf die dargestellte Problematik ziehen lassen.

Dank

Für die fachliche Beratung sei insbesondere den Mitgliedern der begleitenden Arbeitsgruppe

- Frau Bettina Hemme, Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin
- Herrn Ralf Haselhuhn, Deutsche Gesellschaft für Solarenergie, Berlin und
- Herrn Ludwig Held, Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerks, Köln

gedankt.

Die konstruktiven Vorschläge und die engagierten Diskussionen waren uns wertvolle Hilfe bei der Erarbeitung des Berichts.

Eine wichtige Grundlage der vorliegenden Arbeit stellt außerdem die durchgeführte Umfrage unter Sachverständigen dar. Die Befragten haben daran unentgeltlich teilgenommen, teilweise ihre persönlichen Erfahrungen und Erkenntnisse sowie umfangreiche Informationen zur Verfügung gestellt und geholfen, geeignete Untersuchungsobjekte zu finden. Ihnen gilt daher ein besonderer Dank. Insbesondere möchten wir folgenden Personen für Ihre aktive Unterstützung danken

- Frau Leidinger, Herr Schröter, Gebäudemanagement der Stadt Aachen
- Frau Riffer, Schermbeck
- Herr Bade, Bad Bevensen
- Herr Becker, Fa. Wikora, Hermaringen
- Herr Bürk, Karlsruhe
- Herr Dr. Kray, Aachen
- Herr Fischer, Winnenden
- Herr Frank, Ober-Mörlen
- Herr Füg, Lauf an der Pegnitz

- Herr Gärtner, Rüscheld
- Herr Gibis, Leonberg
- Herr Golling, Fa. Citrin Solar, Moosburg
- Herr Gutsch, Herr Steinheiser, Herr Gutensohn, Fa. Goldbeck Solar
- Herr Henzler, Boppard
- Herr Hoffstadt, Overath
- Herr Hoft, Neu-Anspach
- Herr Hüdepohl, Rieste
- Herr Jung, Fa. Ilzosurf, Wetzlar
- Herr Jung, Fa. Berleburger Schaumstoffwerke
- Herr Malzer, Marktredwitz
- Herr Moll, Korschenbroich
- Herr Peter, Erfurt
- Herr Rossow, Eutin
- Herr Schäfer, Fa. BayWa r.e., Tübingen
- Herr Schellenberger, Industrieverband Polyurethan-Hartschaum e.V.
- Herr Schaumlöffel, Enkenbach
- Herr Storch, Leipzig
- Herr Supiran, Karlsruhe

2. Begriffe

In Bezug auf die Aufständigung von Solaranlagen auf Flachdächern werden in Diskussionen und Veröffentlichungen bestimmten Begriffen teilweise unterschiedliche Bedeutungen zugewiesen. Im vorliegenden Bericht werden typische Bezeichnungen wie folgt verwendet:

2.1 Parallel-Aufstellung

Anlagen, deren Module parallel zur Dachhaut bzw. Dachdeckung angeordnet sind. Sie haben in der Regel keine Erhöhung der Gesamteinwirkungen durch Schnee und Wind für das Gebäude zur Folge.

2.2 Aufgeständerte Anlagen

Anlagen, die nicht parallel zur Dachhaut angeordnet sind und deswegen eine Erhöhung der Gesamteinwirkungen durch Wind zur Folge haben und durch abrutschenden Schnee zu Lastkonzentrationen in den Dachfeldern zwischen den Modulen führen.

2.3 Direkte Befestigung

Anlagen, deren Montagesysteme mit der tragenden Konstruktion des Daches über Befestigungsmittel verbunden sind. Die Befestigungsmittel durchstoßen dabei Dichtungsbahnen, Dämmschichten und Dampfsper- bzw. Luftdichtungsbahnen und müssen entsprechend den Fachregeln des Dachdeckerhandwerks eingedichtet werden.

2.4 Indirekte Befestigung

Anlagen, die auf den obersten Schichten des Daches (Abdichtung, Bekiesung, Begrünung) aufgelegt sind. Sowohl Vertikal- als auch Horizontallasten werden über die Schichten des Dachaufbaus (Schutzschichten, Abdichtungen/Metaldeckungen, Wärmedämmung, Dampfspernbahnen) in die tragende Unterkonstruktion abgeleitet. Die Schichten des Dachaufbaus werden nicht durchstoßen.

2.5 Direkte Lagesicherung

Anlagen, die auf den obersten Schichten des Daches (Abdichtung, Bekiesung) aufgelegt sind. Vertikallasten werden über die Schichten des Dachaufbaus (Schutzschichten, Abdichtungen, Wärmedämmung, Dampfspernbahnen) in die tragende Unterkonstruktion abgeleitet. Die Horizontallasten werden über Befestigungspunkte, die die Dachhaut in der Fläche oder an den Dachrändern durchstoßen, in die tragende Unterkonstruktion abgeleitet. Diese Befestigungspunkte müssen entsprechend den Fachregeln des Dachdeckerhandwerks eingedichtet werden.

2.6 Fixierstützen

Zur direkten Lagesicherung einer indirekt befestigten Solaranlage erforderliche Stützen, die mit der Unterkonstruktion fest verbunden sind und in die Dachabdichtung fachgerecht eingedichtet werden müssen. Sie können wie Anschlagpunkte für die Unfallsicherung der auf dem Dach tätigen Handwerker ausgeführt werden, müssen aber für die Dauerbelastung aus den Horizontallasten der Solaranlage ausgelegt sein.

2.7 Ballastierte Systeme

Indirekt befestigte Systeme, die gegen Abheben, Kippen und Gleiten mit Gewichten (Platten, Kies) beschwert werden.

2.8 Ballastoptimierte Systeme, Aerodynamische Systeme

Ballastierte Systeme, bei denen aufgrund der strömungstechnischen Verhältnisse Windlasten reduziert und daher die aufgelegten Gewichte reduziert werden können.

2.9 Wannensysteme

Ballastierte Systeme, bei denen die Gewichte auf einer Wanne aufgebracht werden, sodass die Schichten des Dachaufbaus nicht durch Punktlasten, sondern durch Flächenlasten beansprucht werden.

2.10 Adhäsive Systeme

Solaranlagen, deren horizontale Lasten durch eine mit der Dachhaut verklebte oder verschweißte Verbindung abgetragen werden.

2.11 Montagesystem

Unterkonstruktion für PV-Modul bzw. Solarkollektor, die die Eigenlasten, die Wind- und Schneelasten und ggf. vorhandene Nutzlasten, die auf das PV-Modul bzw. den Solarkollektor einwirken, sicher und dauerhaft aufnehmen und in das Gebäude, andere baulichen Anlagen oder den Baugrund weiterleiten.

2.12 Gebäudeintegrierte Photovoltaik

Solaranlagen, die außer der Stromerzeugung noch andere Funktionen übernehmen, z. B. die Abdichtung oder Deckung.

2.13 Additive Photovoltaik

Solaranlagen, die neben der Funktion der Stromerzeugung keine zusätzlichen Funktionen eines Bauteils übernehmen.

2.14 Photovoltaik (PV)-Module

Elemente, die Sonnenenergie in elektrische umwandeln.

2.15 Solarkollektoren

Elemente, die Sonnenenergie zur Erwärmung von Wasser nutzen.

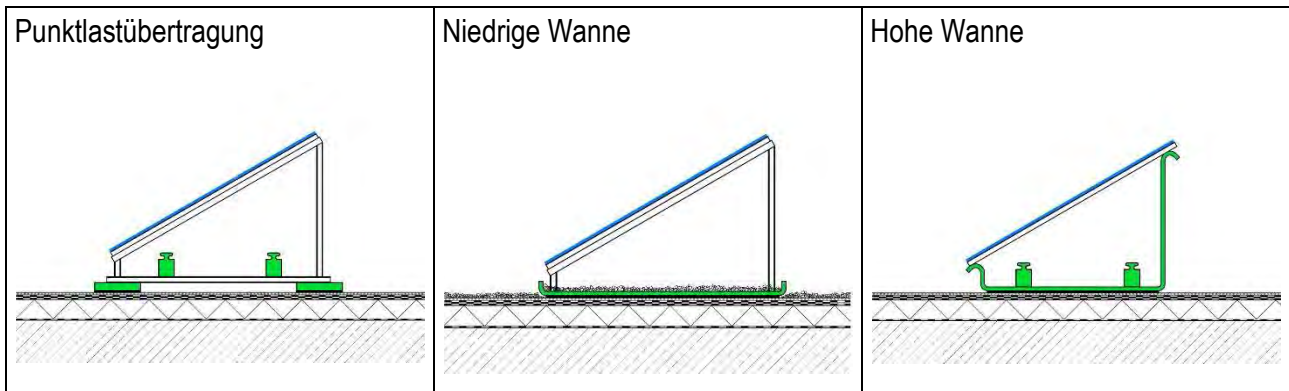
2.16 Temperaturwanderung

Bewegungen großflächiger Solarsysteme, die aufgrund von thermischen Längenänderungen entstehen und zu einer Verschiebung der Anlage führen.

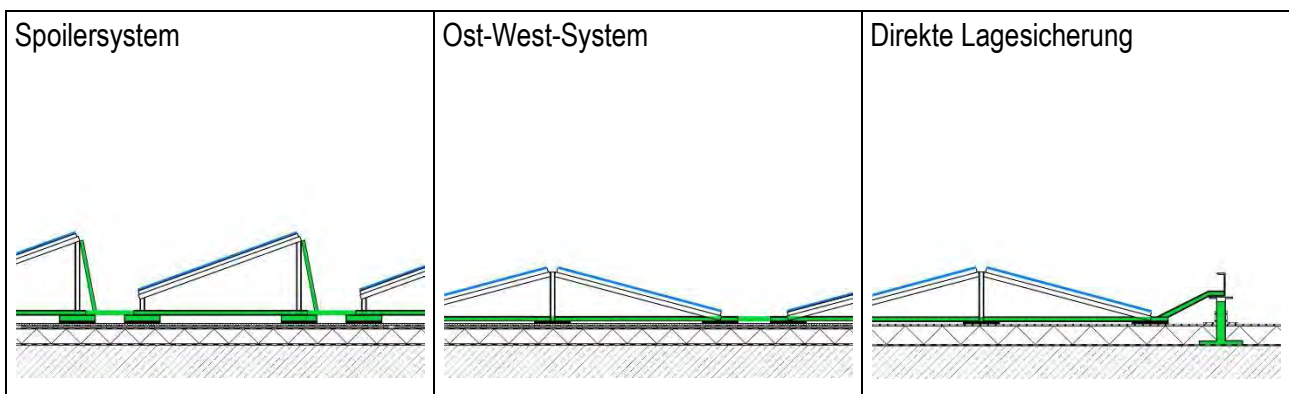
2.17 Einbauarten von Solaranlagen auf Flachdächern

Auf die verschiedenen Einbauarten von Solaranlagen auf Flachdächern wird in Kap. 7 gesondert eingegangen. Die folgenden Grafiken geben eine Übersicht über die unterschiedlichen Systeme. Mischformen sind möglich.

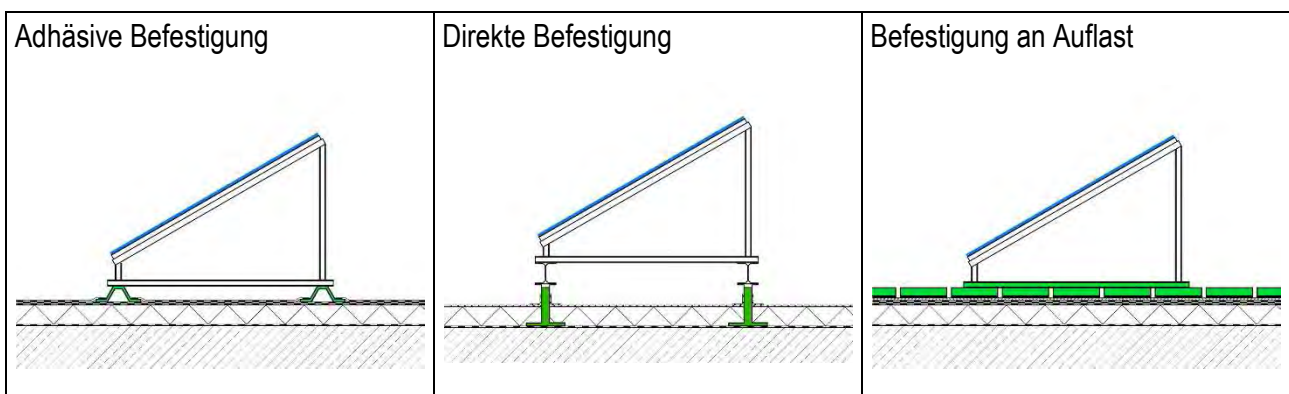
Ballastierte Systeme



Ballastoptimierte Systeme

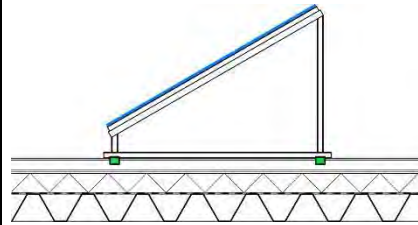


Weitere Systeme

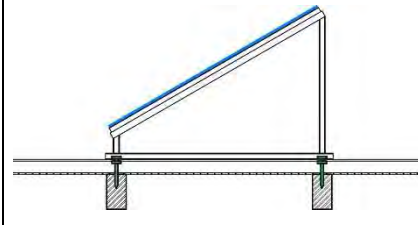


Metalldachsysteme

Indirekte Befestigung

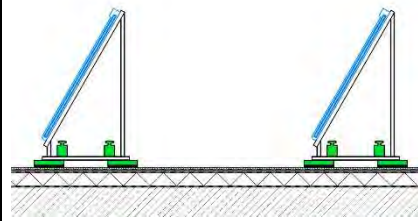


Direkte Befestigung

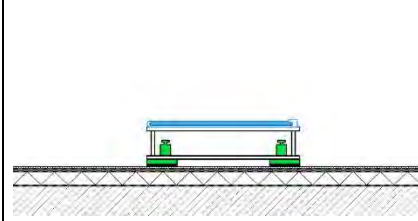


Thermische Solaranlagen

Aufgeständertes System



Dachparalleles System



Sonderformen

Gebäudeintegriertes System



3. Umfrageergebnisse

3.1 **Umfrage unter Bausachverständigen für Schäden an Gebäuden und Sachverständigen des Dachdeckerhandwerks**

Für die Sachverständigenbefragung wurden die Adressen von Sachverständigen mit dem Bestellungsgebieten „Schäden an Gebäuden“ und Sachverständigen des Dachdeckerhandwerks ermittelt und in einer Datenbank zusammengestellt. Nach Abschluss der Erstellung eines Fragebogens wurde dieser an insgesamt 1.488 Sachverständige auf postalischem Weg verschickt. 138 Kollegen haben geantwortet (etwa 9,3 %).

90 Sachverständige (etwa 65,2 % der Umfrageteilnehmer) hatten in den letzten zehn Jahren keine Gebäude zu beurteilen, bei denen auf Flachdächern nachträglich Solar-/Photovoltaikanlagen installiert wurden.

25 Sachverständige (18,1 %) konnten bei insgesamt mehr als 105 Gebäuden feststellen, dass keine Schäden an den Flachdächern durch die nachträgliche Installation der Solaranlagen verursacht wurden.

Die Standzeit der schadensfreien Dächer wurde zwischen null und 40 Jahren angegeben und verteilt sich relativ gleichmäßig auf folgende Zeitspannen (s. Abb. 1, Mehrfachnennungen waren möglich):

0 - 5 Jahre (9 Nennungen), 5 - 10 Jahre (12 Nennungen) und mehr als 10 Jahre (7 Nennungen).

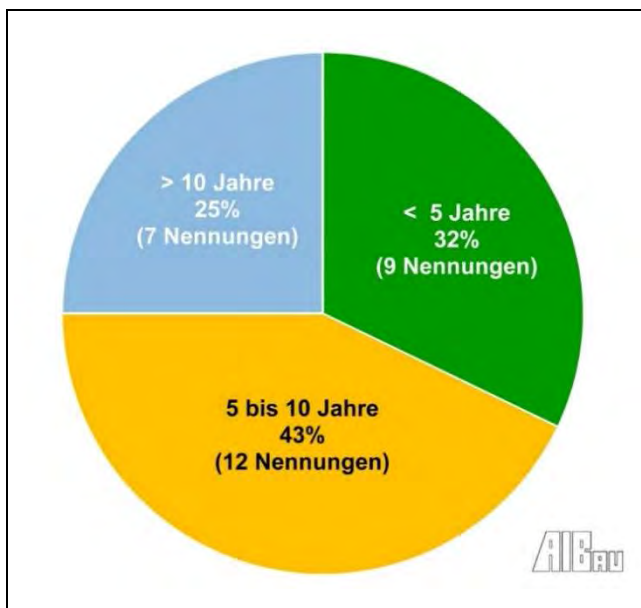


Abb. 1
Standzeiten der **schadensfrei** auf Flachdächern im Bestand montierten PV-/Solaranlagen

Von negativen Erfahrungen mit nachträglich eingebauten Solar-/Photovoltaikanlagen berichteten 40 Sachverständige (29,0 %) bei etwa 149 Gebäuden.

18 Sachverständige (13,0 %) wiesen sowohl auf positive als auch auf negative Erfahrungen hin (s. Abb. 2, Mehrfachnennungen waren möglich).

Die Anzahl der genannten Objekte liegt pro Umfrageteilnehmer zwischen einem und 20 Fällen.

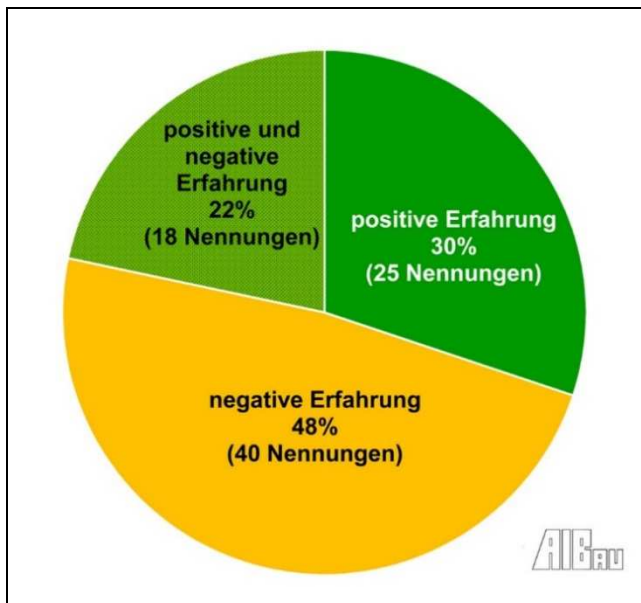


Abb. 2

Anzahl der Antworten mit positiver und negativer Erfahrung zu nachträglich auf Bestandsdächern installierten Solaranlagen

Als hauptsächliche Schadensursachen wurden die Durchdringung der Dachhaut durch Befestigungselemente (30 Nennungen) sowie die unzureichende Prüfung des Untergrundes vor der Montage (26 Nennungen) genannt. Weiterhin wurde die Vorschädigung der Abdichtung, z. B. durch Alterung (19 Nennungen), eine nicht ausreichende Dimensionierung des Tragwerks für die zusätzliche Belastung (14 Nennungen) sowie eine unzureichende Windsogsicherung der Solar-/Photovoltaikanlagen (12 Nennungen) bemängelt.

Fünf Umfrageteilnehmer wiesen darauf hin, dass die vorhandene Dachabdichtung während der Montage durch gewerkfremde Handwerker perforiert wurde (z. B. durch den Zuschnitt von Schutzmatte direkt auf der Altabdichtung). Schäden wurden zudem durch eine Langzeitdeformation der Wärmedämmung (2 Nennungen), eine unzureichende Wasserführung auf der Dachfläche nach der Montage der Solaranlage (2 Nennungen), sowie in einem Fall durch Hagelschlag nach Entfernen der Bekiesung verursacht.

Auch eine Nichtbeachtung der Herstellervorgaben (9 Nennungen) und fehlerhafte bzw. unzureichende Herstellervorgaben (11 Nennungen) haben zu Schäden an Flachdächern geführt.

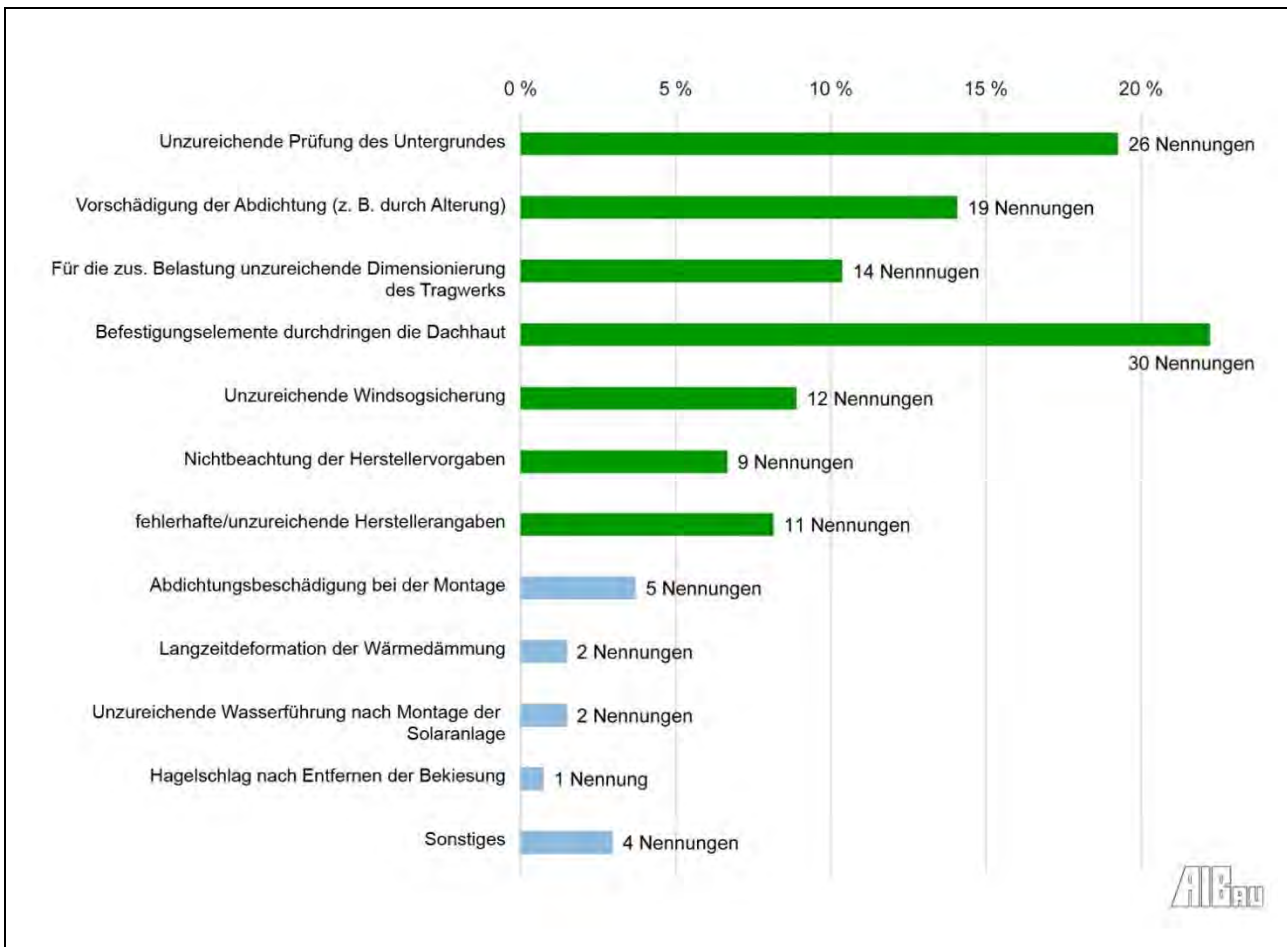


Abb. 3

Zusammenstellung der Ergebnisse zur Schadensursache

Nach Angaben der Umfrageteilnehmer traten die Schäden am häufigsten innerhalb des ersten Jahres nach der Herstellung (21 Nennungen) und nach ein bis vier Jahren Standzeit der Solar-/Photovoltaikanlage (14 Nennungen) auf. Nur vier Sachverständige berichteten von Gebäuden, bei denen Schäden erst nach mehr als vier Jahren festgestellt wurden.

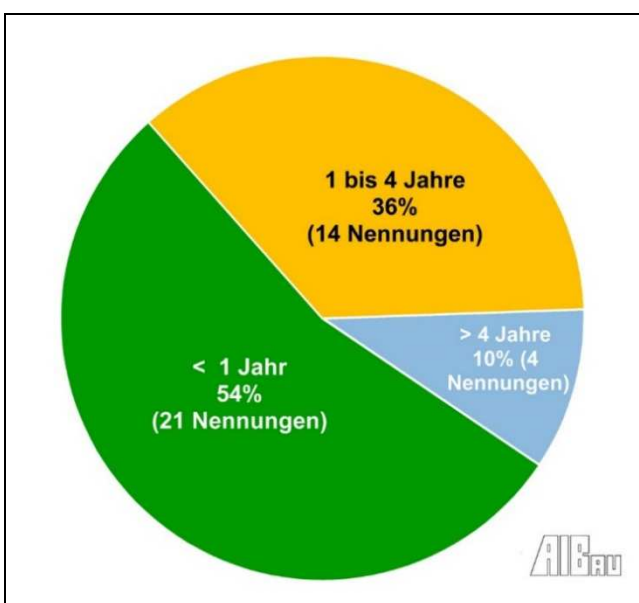


Abb. 4

Zeitpunkt des Schadenseintritts nach Montage der PV-/Solaranlage

3.2 Umfrage unter Mitgliedsfirmen des Bundesverbandes der Solarwirtschaft

Für eine zweite Umfrage wurde der Erhebungsbogen modifiziert und über die Deutsche Gesellschaft für Solar-energie (DGS) an den Bundesverband der Solarwirtschaft (BSW-Solar) weitergeleitet. Von den über 1.000 Mitgliedsfirmen – bei denen es sich allerdings nur um einen kleineren Teil um solche handelt, die Hersteller von Aufstellsystemen oder selbst Aufsteller sind – kamen leider nur acht Antwortbögen zurück.

Die Frage nach der Anzahl funktionierender Dächer mit Solaranlagen wurde von diesen Unternehmen sehr unterschiedlich beantwortet: Sie lag zwischen zwei und 1.600 Dächern. Das zeigt die große Spannweite der Unternehmen, die im Bereich der Aufstellung von Solaranlagen tätig sind. Die Spanne reicht von kleinen handwerklichen Unternehmen, die Solaranlagen aufstellen, bis zu großen Herstellern von Modulen oder Aufstellsystemen, die ihre Produkte über Aufstellbetriebe oder Subunternehmer montieren lassen.

Die Standzeit funktionierender Dächer wurde mit insgesamt bis zu 12 Jahren angegeben. Ein Betrieb, der eine Standzeit von 20 Jahren angegeben hatte, musste während der Bearbeitung des Berichts Insolvenz anmelden und stand aus diesem Grund nicht mehr für Rückfragen zur Verfügung.

Nur zwei Unternehmen haben angegeben, dass sie auch negative Erfahrungen gemacht haben. Im Verhältnis zu den positiven Erfahrungen lag die Quote nach der eigenen Einschätzung bei 10/200, also 5 %, bzw. bei 50/4.000, also rund 1,25 %.

Von den Unternehmen wurden folgende Rahmenbedingungen genannt, die zur schadensfreien Funktion in erster Linie erfüllt sein müssen:

- statische Vorprüfung der Gebäude-/Dachkonstruktion,
- Abstimmung der Anlagenstatik auf das vorhandene Dach,
- durchgängiger plausibler statischer Nachweis für alle Bauteile,
- Prüfung der Dachbahn und deren Verlegung vor Installation der PV-Anlage,
- Beachtung der Herstellervorgaben,
- ausreichende Systemstabilität der PV-Montagesysteme,
- klare Vorgaben an Installateur u. a. zur Anzahl der erforderlichen Befestiger,
- keine Durchdringung der Dachbahn,
- Fixierung der Schutzlage an der Montageschiene,
- Verlagerungssicherheit (kein Verrutschen von Schutzlagen),
- saubere Ausführung bei der Montage,
- problemloses Abfließen von Niederschlagswasser,
- Wartungsfreundlichkeit,
- Rückbaumöglichkeit,
- Bautenschutzmatte/Betonsockel/ausreichende Ballastierung.

Auch widersprüchliche Hinweise ergaben sich, da einerseits gute Erfahrungen mit ausreichend ballastierten Systemen gemacht wurden, andererseits die Vermeidung hoher Ballastierung angestrebt wird.

Als Hauptursachen von Schäden wurden von den Unternehmen genannt:

- Vorschädigung der Abdichtung,
- unzureichende Windsogsicherung,
- Nichtbeachtung der Herstellervorgaben,
- Beschädigung der Dachhaut im Rahmen der Montage.

Darüber hinaus wurden folgende Gründe genannt:

- sog. „Temperaturwanderung“ (s. Kap. 2.16 und 7.3),
- Bautenschutzmatte neben der Grundschiene durch Horizontalverschiebung der PV-Anlage (s. Kap. 4.1.14).

In persönlichen oder telefonischen Gesprächen mit Herstellern von Aufstellsystemen für Solaranlagen ergaben sich weitere Erkenntnisse aus deren Erfahrungen :

Hersteller 1:

Große, zusammenhängende, ballastoptimierte Systeme werden üblicherweise nach 15 oder 20 Metern mit Dehnungsausgleichern versehen. Je größer der Abstand, desto größer werden die Bewegungen aus thermischen Längenänderungen und somit die Bewegungen relativ zur Dachbahn. Diese müssen durch die Schutzlagen (meist Bautenschutzmatte) ausgeglichen werden. Dabei kann es zu Lageveränderungen des Systems kommen. Insbesondere bei stärkerer Gefällegebung und in Abhängigkeit vom Reibungswiderstand zwischen Anlage und Dachhaut kann es dann zu einer sog. „Temperaturwanderung“ der Anlage kommen (s.a. Kap. 7.3).

Diesem Effekt kann bei Flachdächern mit zweiseitigem, satteldachartigem Gefälle entgegengewirkt werden, indem die PV-Anlage über den „First“ hinübergebaut wird bzw. die beiden Seiten miteinander verbunden werden.

Ballastoptimierte Systeme werden als zusammenhängende Anlage oft an den Ecken zu gering ballastiert. Dann kann es durch lokale Windsogspitzen zum Abheben der Anlage an den Ecken kommen, sodass die Anlage von dort „aufgerollt“ wird.

Neuere Systeme seien schnell demontierbar, sodass Instandsetzungsmaßnahmen an der Dachhaut, z. B. aufgrund von Hagelschlag, relativ unkompliziert durchgeführt werden können.

Schäden entstehen auch durch Montagefehler, insbesondere wenn die Elemente auf der Dachhaut abgesetzt werden und diese dabei beschädigen.

Hersteller 2:

Aufgrund der unsicheren Haftreibungswerte bei Kunststoffdachbahnen verzichtet ein Hersteller von Solar Kollektoren ganz darauf, seine Anlagen auf Dächer aufzustellen, die mit Kunststoffbahnen abgedichtet sind. Dagegen seien bei der Aufstellung auf Bitumenbahnen oder auch auf begrünten Dächern bisher keine Probleme aufgetreten.

Bei Ballastierungssystemen würden reine Gehwegplatten häufig „zweckentfremdet“ – in erster Linie vermutlich entwendet.

Hersteller 3:

Ein Anbieter von schlüsselfertig erstellten Gewerbeimmobilien geht von einer Nutzungsdauer von 20 Jahren aus. Die Dachbahn, auf der die Solaranlage aufgebaut werden sollte, sollte diese Zeit überstehen. Sie sollte daher nicht älter als 3 - 5 Jahre alt sein.

Bei alten Bitumendachbahnen besteht in erster Linie das Problem, dass diese, auch wenn sie erneuert wurden, eine eher unebene Oberfläche aufweisen, sodass einige Auflager in der Luft schweben, während andere mehr Last als berechnet abtragen müssen. Die Annahmen des Windgutachtens sind dann nicht mehr zutreffend, weil für den Anpressdruck der Anlage auf die Dachfläche ein bestimmter Abstand angenommen wird. Bei größerem Abstand wird der Anpressdruck durch die Anströmung geringer. Die Ballastierung muss u. a. auch aus diesem Grund oft höher sein als berechnet.

Auch dieser Anbieter hat die Erfahrung gemacht, dass sich ballastoptimierte Anlagen verschieben. Die Ursachen seien aber bislang immer eindeutig auf Windeinwirkung zurückzuführen gewesen und nicht auf „Temperaturwanderung“ (s. Kap. 2.16 und 7.3).

Abspanneinrichtungen, die die ballastoptimierte Anlage an wenigen Anschlagpunkten in der Position auf dem Dach fixieren, seien insofern problematisch, weil die Verformungen innerhalb der Anlage schlecht prognostizierbar seien. Es könne zu Verschiebungen der Anlagenteile kommen, die nicht in der direkten Krafteinleitungsrichtung zum Anschlagpunkt liegen und daher den Windlasten keinen ausreichenden Widerstand entgegensetzen könnten. Daher wurde diese Variante bislang nicht weiter verfolgt.

Die Haft- und Gleitreibungswerte prüft dieser Anbieter immer vor Ort und legt diese seiner Berechnung zugrunde.

Hersteller 4:

Ein Hersteller von Aufstellsystemen berichtet davon, dass sie früher Wannen angeboten hätten. Der statische Nachweis sei aber fraglich, außerdem die Kontrollierbarkeit der Ballastierung schwierig. Schadensfälle seien keine bekannt.

Er weist darauf hin, dass die statische Berechnung nur auf bestimmte Höhenlagen ausgelegt sei. Bei Gebäuden, die höher als 500 oder 600 m ü. NHN liegen, gelte diese Statik aufgrund ggf. höherer Wind- und Schneelasten nicht mehr. Dennoch würden auch dort Anlagen auf der Grundlage dieser Nachweise errichtet.

4. Schadenstypen

Die von den Sachverständigen sowie von den Herstellerfirmen von Aufstellsystemen benannten Schadensfälle werden im Folgenden beschrieben. Dabei wird der Schwerpunkt auf die Schadensursachen gelegt. Die Unterteilung erfolgt nach den für Flachdächern typischen Abdichtungs- und Deckmaterialien, d. h. nach bahnenförmigen Abdichtungen, Metalldeckungen und Wellplatteneindeckungen.

4.1 Bahnenförmige Abdichtungen

4.1.1 Unzureichende Prüfung des Untergrundes

Auf Mehrfamilienhäusern – vermutlich aus den 60er Jahren – wurden im Jahr 2009 PV-Module aufgestellt. Die Flachdächer waren wie hinterlüftete Dächer (Kaltdächer) aufgebaut: Auf der Betondecke war eine gefällegebende Ebene aus Kalksandsteinen und Dachlatten sowie Holzwolleplatten errichtet und darauf die bituminöse Abdichtung in mehreren Lagen aufgebracht worden. Die Abdichtung wurde mit Kies abgedeckt. Die Dächer waren ohne geplanten Belüftungsöffnungen ausgeführt und einzelne Felder der Dachfläche wiesen Durchbiegungen mit Pfützenbildungen auf. Die Dächer waren dennoch über ca. 40 Jahre lang funktionstüchtig.

Vor der Aufstellung der Solaranlagen wurde die Dachfläche nicht erneuert. Die PV-Module wurden mittels geschlossener PVC-Wannen und darin eingefüllter Ballastierung aufgebracht (s. Abb. 5). Für diese Auflast waren die Holzwolleplatten im bestehenden Dachaufbau nicht dimensioniert. Sie haben sich weiter durchgebogen und es kam zu Undichtigkeiten der Dachabdichtung (s. Abb. 6). Zudem wurden die Abläufe überbaut (s. Abb. 7) und waren für eine Wartung nicht mehr zugänglich.



Abb. 5
Einbausystem aus hohen Wannen auf bekiessten Dächern

Abb. 6
Pfützenbildungen im Bereich erheblich durchgebogener Schalung (nach dem Entfernen der Kiesschicht)

Abb. 7
Überbauter Flachdachablauf

4.1.2 Funktionsuntüchtiger Dachaufbau

Auf dem etwa im Jahr 1998 errichteten Dach einer Schwimmhalle wurde im Jahr 2012 eine PV-Anlage installiert.

An der Dachfläche traten an verschiedenen Stellen Undichtigkeiten auf. Die Untersuchung ergab mehrere bauphysikalische und abdichtungstechnische Mängel. Zur Untersuchung bzw. Instandsetzung des Dachaufbaus musste die PV-Anlage bereits kurz nach ihrer Inbetriebnahme abgebaut werden.

Der Dachaufbau bestand aus einem ober- und unterseitig beschichteten Trapezblech, das am Anschluss Fassade/Leimbinder sowie an den Berührungspunkten mit Holzlatten, an denen die abgehängte Decke befestigt war, korrodierte. Darüber war eine Dampfsperre aus einer Bitumendachbahn mit Aluminiumeinlage aufgeklebt worden. Diese Dampfsperrbahn wies Leckagen auf und war daher nicht luftdicht.

Die Mineralwollgedämmung hatte in den Gangbereichen zwischen den PV-Modulen deutlich sichtbare Festigkeitseinbußen erlitten. Der Feuchtegehalt lag zwar deutlich unter 5 Masse-%, die Druckspannung bei 10 % Stauchung wurde aber nur mit 2 bis 3 kPa gemessen.

Die mechanischen Befestiger der Dachbahn – verzinkt und beschichtet – waren korrodiert, ebenso wie die Trapezbleche an einzelnen Durchstoßpunkten. Die mechanisch befestigte (Feldbefestigung unter der Dachbahn), nicht bitumenbeständige Dachbahn war 14 Jahre alt und konnte nach Einschätzung des Herstellers ohne die PV-Anlage weiter verwendet werden. Es wurde daher entschieden, die PV-Anlage nicht wieder aufzubauen.

4.1.3 Aufbau einer PV-Anlage auf Dachbahnen mit geringer Restlebensdauer

4.1.3.1 Instandsetzungsbedürftige Dachabdichtung

Ein Sachverständiger berichtete davon, dass eine PV-Anlage auf einer ca. 20 Jahre alten PVC-Abdichtung aufgestellt wurde. Bei den Gebäuden handelte es sich um ehemalige Fabrikgebäude, die nach Aufgabe des Betriebs in vielfältiger Weise als Lagerhallen usw. genutzt wurden. Die Dachflächen bestanden aus Bimsstegdiele, auf denen die PVC-Bahnen mechanisch befestigt waren.

Die Dachflächen sollten vom Solarbetrieb vor der Montage instandgesetzt werden, da bereits Undichtigkeiten aufgetreten waren. Dies geschah aber offenbar nicht in ausreichendem Maße. Die Abdichtung wurde auch nicht durch eine neue Abdichtung ersetzt, obwohl die technische Lebensdauer abgelaufen war. Die erforderlichen Instandsetzungsarbeiten wurden nach Aufbringen der PV-Anlage immer seltener durchgeführt, da die Zugänglichkeit der Dachhaut durch die Anlage erschwert wurde. Auch hier waren Abläufe zugebaut.

Da die Anlage zudem brandschutztechnische Mängel aufwies, wurde sie komplett stillgelegt.

4.1.3.2 Shattering

In [Meyer DDH 2011] wird von einem Schadensfall berichtet, bei dem es unmittelbar nach dem Aufstellen der Solaranlage auf der Flachdachfläche, die mit einer etwa 20 Jahren alten PVC-P-Bahn abgedichtet gewesen ist, zu einer großflächigen Rissbildung in der Dachbahn gekommen ist. Dabei handelte es sich vermutlich um einen „Shattering“-Effekt (s. Kap. 9.4). Die Anlage musste komplett abgebaut werden, damit die Dachbahn vollständig erneuert werden konnte.

4.1.4 Neue Abdichtungslage nicht fachgerecht aufgebracht

Vor der Montage einer neuen Solaranlage auf einem Hallendach, das aus Stahlträgern und Trapezblechen aufgebaut war, wurde zunächst auf der bestehenden Bitumenbahnabdichtung eine neue Abdichtungslage aus einer Polymerbitumenschweißbahn aufgebracht.

Anschließend erfolgte die Verlegung von Trapezblechstreifen zur Montage der Solaranlage. Eine weitere, beschieferte Polymerbitumenbahn wurde über die Trapezblechstreifen geführt und mit der neuen Abdichtungslage verschweißt (s. Abb. 8 + 9).

Mittels dieser Verschweißung sollten die Lasten aus Windsog- und Horizontalkräften aufgenommen werden.



Abb. 8 + 9:

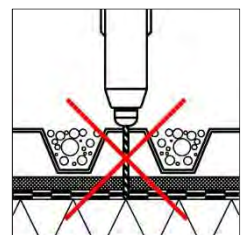
Adhäsive Verbindung des Montagesystems durch Überklebung mit Bitumenbahnen, die mit der Bitumenbahnenabdichtung verschweißt wurden.

Die neu eingebaute Abdichtungslage war mit dem Untergrund allerdings nicht vollflächig verschweißt, sodass es zu Blasenbildungen zwischen der alten Dachbahn und der neuen Abdichtungslage kam. Auch die Bitumenbahn, die zur Lastabtragung der PV-Anlage aufgebracht wurde, war nicht vollflächig verschweißt, sodass es auch zwischen dieser und der neuen Abdichtungsbahn zu Blasenbildungen kam. Zudem waren alte Blasenbildungen vor dem Aufbringen der Abdichtungslage nicht aufgeschnitten und beseitigt worden.

4.1.5 Beschädigung einer vorhandenen Abdichtung während der Montage

4.1.5.1 Versehentliches Durchbohren

Ein Sachverständiger berichtet davon, dass auf einem etwa 10 Jahre alten Flachdach mit Bitumenbahnenabdichtung eine PV-Anlage aufgestellt worden sei. Dabei wurden Trapezblechstücke als Lastverteilerplatten und mittels Bekiesung als Windsogsicherung, d. h. ein System mit niedrigen Wannen eingebaut. Bei der anschließenden Befestigung der PV-Metall-Unterkonstruktion seien die Bohrungen zwar in den ca. 5 cm hohen Hochsicken erstellt worden, aber offenbar ohne eine Tiefenbegrenzung der Bohrmaschine, sodass bei der Untersuchung 10 Löcher allein in diesem Bereich in der Abdichtung gefunden wurden.



4.1.5.2 Unkontrollierte Lagerung

Während der Montage von Solaranlagen auf Bestandsdächern werden die einzelnen Teile häufig am Rand der Dachfläche gelagert, damit sie bei der Montage nicht stören. Dabei ist unbedingt darauf zu achten, dass die Elemente die vorhandene Abdichtung oder Dachaufbauten (z. B. Lichtkuppeln oder -bänder) nicht beschädigen.



Abb. 10
Zwischenlagerung von Metallbauteilen am Dachrand.



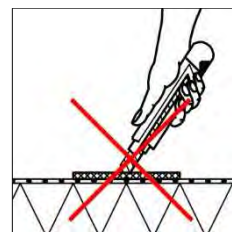
Abb. 11
Scharfkantige Metallbauteile stoßen an die nur ca. 1,5 mm dicke Kunststoffabdichtungsbahn an der Randaufkantung.

In einem Fall wurden einzelne Metallbauteile (u. a. Windableitbleche mit scharfkantigen Befestigungselementen) während der Montage so nah am Dachrand gelagert, dass sie die im Attikabereich hochgeführte Kunststoffabdichtungsbahn beschädigt und teilweise durchstoßen haben (s. Abb. 10 und Abb. 11).

4.1.5.3 Schneidearbeiten auf der Dachbahn

Ein Sachverständiger berichtet davon, dass auf dem Dach eines Bauhofs nachträglich eine PV-Anlage installiert wurde. Der Dachaufbau bestand aus einer Trapezblechschale, Mineralwolledämmung und einer einlagigen Kunststoffolie, ca. 1,5 mm dick.

Die Unterkonstruktion der PV-Anlage wurde wie üblich auf Bautenschutzmattenstreifen auf der Kunststoffolie aufgelagert. Der Arbeiter, der die Bautenschutzmatten zurecht schneiden musste, tat dies unmittelbar auf der Dachfolie und schnitt dabei auch die Folie durch. Der Schaden wurde aufgrund der Abtropfungen ins Gebäudeinnere schnell bemerkt.



4.1.6 Aufbau bei vorhandener, großflächiger Pfützenbildung

Ein Sachverständiger berichtet davon, dass eine PV-Anlage auf ein 10 - 15 Jahre altes Flachdach aufgebracht worden sei. Die Auflagerpunkte seien auch direkt in den Pfützen angeordnet worden. Dies sei ein Mangel. Schäden seien allerdings bislang nicht aufgetreten.

4.1.7 Durchdringung der Dachhaut

4.1.7.1 Schrauben mit Bitumeneindichtung

Auf den Sheddächern von Gewerbehallen des Baujahrs 1970 wurden im Jahr 2009 PV-Anlagen montiert (s. Abb. 12). Die ungedämmte Dachkonstruktion bestand aus einer Trapezblechschale, über der eine Holzschalung und darüber eine mehrlagige Bitumendachabdichtung verlegt war. Die Dachabdichtung wies teilweise Falten auf und wurde nicht erneuert (s. Abb. 13). Die Neigung der Dachfläche betrug schätzungsweise 20°/36 %.



Abb. 12
Sheddachfläche mit PV-Modulen



Abb. 13
Zustand der Dachabdichtung vor der Montage



Abb. 14
Befestigung der Aluprofile mit Schrauben durch die Dachabdichtung



Abb. 15
Durchdringungen der Befestigungsschrauben (Pfeile) durch die Dachabdichtung sind nur teilweise und nur zufällig mit Bitumen „abgedichtet“.

Die Halteprofile wurden unmittelbar auf der Dachhaut verlegt und verschraubt (s. Abb. 14). Die Schrauben durchstießen die Abdichtung, die Holzschalung und die Trapezblechschale. Die Durchdringungspunkte der Schrauben durch die Abdichtung wurden nur insofern „abgedichtet“, dass Bitumendichtungsmasse „in der Nähe“ der Bohrungen unter dem Aluprofil eingebracht wurden (s. Abb. 15).

In der Halle kam es zu Abtropfungen. Beim Öffnen des Daches wurde festgestellt, dass die Holzschalung durchfeuchtet war und dass Wasser in den Tiefsicken der Trapezblechschale stand. Eine Abgrenzung zu Vorschäden war aufgrund der fehlenden Dokumentation des Dachzustands vor der Montage nicht möglich.

4.1.7.2 Schraubenabdichtung mit Schaumstoffstreifen

Die Dachfläche eines Betonfertigteilverks besteht aus einer Stahlträgerkonstruktion mit einer Tragschale aus Stahltrapezblechen und darüber angeordnetem Dachaufbau (80 mm Wärmedämmung, wahrscheinlich Polystyrol) mit einer Folienabdichtung, offenbar aus ECB (Ethylencopolymerisat). Auf dieser Dachfläche wurde nachträglich eine aufgeständerte PV-Anlage installiert (s. Abb. 18 und Abb. 19).

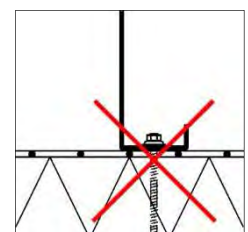




Abb. 16

Tragschiene über Bautenschutzmatte unmittelbar auf der Dachabdichtung aufgelegt und mit der Unterkonstruktion verschraubt



Abb. 17

wie vor



Abb. 18

Übersichten zur Flachdachfläche des Betonfertigteilwerks mit PV-Anlage



Abb. 19

wie vor

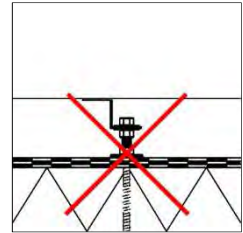
Die Halteschienen der PV-Anlage wurden über Schaumstoffstreifen unmittelbar auf die Dachhaut aufgelegt und mit den Hochsicken der Trapezbleche verschraubt (s. Abb. 16). Die Schraublöcher sollten offenbar durch die Schaumstoffstreifen abgedichtet werden. Außerdem wurden die Halteschienen noch mit einem Bitumendachlack beschichtet (s. Abb. 17).

Der Sachverständige wies außerdem darauf hin, dass der minimale Abstand der Solarelemente von der Dachbahn (ca. 2 cm) im Winter bei Eisbildung zu einer Verminderung des Wasserablaufs führen kann.

Das Befestigungssystem war für die Befestigung auf Trapezblechdeckungen vorgesehen.

4.1.7.3 Abdichtung durch Dichtgummi

Die geneigte Dachfläche eines Werkstattgebäudes war mit auf Holzschalung verlegten Bitumenbahnen abgedichtet. Im Jahr 2005 erfolgte die Montage einer Solaranlage in der Form, dass die Unterkonstruktion der Anlage mittels Stockschrauben durch die Bitumenbahnen an der Holzunterkonstruktion befestigt wurde (s. Abb. 20).



Die Durchstoßpunkte durch die Dachabdichtung sollten durch einen Dichtgummi erfolgen, der durch eine Kontermutter samt Unterlegscheibe angepresst wurde (s. Abb. 21). Bei der Montage trafen die Bohrungen nicht in jedem Fall die Sparren. Diese Fehlbohrungen konnten für die Befestigung nicht genutzt werden. Die Löcher dieser Fehlbohrungen wurden mit einer Dichtungsmasse gefüllt.



Abb. 20

Direkte Befestigung einer PV-Anlage über einer Abdichtung aus Bitumenbahnen



Abb. 21

Die Befestigung erfolgt nicht fachgerecht über Stockschrauben, die durch die Dachabdichtung geschraubt wurden.

Weder die Abdichtung der Fehlbohrungen noch die Abdichtung im Bereich der Befestiger der PV-Anlage entsprechen den Handwerksregeln der Dachdecker. Löcher müssen mit Abdichtungsbahnen überklebt werden. Durchdringungen müssen nach den Fachregeln mit Anschweiß- oder Klebeflanschen, Dichtungsmanschetten, Klemmflanschen oder Flüssigabdichtungen abgedichtet werden. Bei stabförmigen Verankerungen durch Abdichtungsbahnen hindurch sind diese Dichtprinzipien nicht anwendbar und entsprechende Verankerungen damit nicht fachgerecht.

Das hier für die Dachabdichtung genutzte Befestigungssystem war für Wellplattendächer konzipiert worden.

4.1.7.4 Schraubenabdichtung mit Flüssigkunststoff

Auf die nicht gedämmten Flachdächer von mehreren Produktionshallen mit ca. 40 Jahre alten Dachabdichtungsbahnen wurden im Jahr 2011 nicht hintereinander gebaute Reihen, sondern große, geschlossene Flächen mit PV-Elementen errichtet (s. Abb. 22). Die Aluminium-Schwellen-Profile der PV-Fläche wurden über Bautenschutzmatte auf die Dachhaut aufgelegt (s. Abb. 23). Die Befestigung erfolgte mit Winkelprofilen und Maschinenschrauben direkt durch die Abdichtung (s. Abb. 24 und Abb. 25). Die Schraublöcher wurden mit Flüssigkunststoff eingedichtet.



Abb. 22
Großflächige PV-Anlage über dem Flachdach einer Produktionshalle



Abb. 23
Die „Lastverteilung“ des Montagesystems erfolgte mittels Aluminium-Rechteckprofilen.



Abb. 24
Die Lagesicherung der Rechteckprofile erfolgte durch Winkel- laschen und Verschraubung mit dem Untergrund.



Abb. 25
Die „Abdichtung“ der Durchstoßpunkte erfolgte nicht fachge- recht mittels Flüssigkunststoff.

4.1.7.5 Pultdach

Auf dem flachgeneigten Pultdach eines Sportheims wurde nachträglich eine PV-Anlage installiert. Die Konstruktion war als hinterlüftete Konstruktion (Kaltdach) errichtet worden. Auf der Brettschalung war eine Abdichtung aus Bitumenschindeln verlegt worden. Auf der Holzbalkendecke waren Dämmplatten lose aufgelegt.

Die Aluminium-Tragprofile wurden unmittelbar auf die Bitumenschindeln aufgelegt. Die Befestigungsschrauben wurden durch die Abdichtung und die Brettschalung hindurch geschraubt (s. Abb. 26 bis Abb. 28). Offenbar sollten Unterlegstücke von Bitumenschindeln eine Abdichtung der Durchstoßpunkte verhindern.

Kurz nach Montage der PV-Elemente tropfte es durch die gedämmte Holzbalkendecke in den darunter liegenden Wohnraum. Außerdem gab es Durchfeuchtungen an der Traufe (s. Abb. 29) und Wasser lief hinter das Wärmedämmverbundsystem.



Abb. 26
Auflagerung der dachparallelen PV-Anlage unmittelbar auf der Abdichtung aus Bitumenschindeln



Abb. 27
Direkte Befestigung mittels nicht fachgerechter Verschraubung durch die Abdichtung



Abb. 28
Holzschrauben durchdringen die Schalung über dem Hinterlüftungsraum und führen zu Abtropfungen in die Dachkonstruktion.



Abb. 29
Durchfeuchtete Verschalung des Traufbereichs

4.1.8 Flüssigkunststoffabdichtung löst sich von Kunststoffabdichtung

Auf einem flachgeneigten Dach wurde nachträglich eine PV-Anlage installiert. Die direkte Befestigung am Tragsystem erfolgte durch das Dachpaket.

Die Dachfläche war mit einer Kunststoffbahn abgedichtet. Die Durchstoßpunkte wurden mit Flüssigkunststoff angedichtet. Dieser löste sich nach knapp vier Jahren Standzeit der PV-Anlage von der Dachabdichtung. Die Durchfeuchtungsschäden wurden vom Nutzer relativ frühzeitig bemerkt.

Die Dämmung konnte im Dachaufbau belassen werden, da zum Besichtigungszeitpunkt nur vereinzelte Durchfeuchtungen vorhanden waren. Die restlichen Durchstoßpunkte waren noch dicht, wobei die Verbindung der zwei Abdichtungsmaterialien auch hier als nicht dauerhaft beurteilt wurde.

Es wurde empfohlen, die Flüssigkunststoffabdichtung durch mit dem Material der Abdichtungsbahn systemkonforme Manschetten zu ersetzen.

Der Betreiber der Anlage wollte dies abschnittsweise durchführen. Die Anlage sollte in Abschnitten abgebaut, zwischengelagert und nach der Instandsetzung wieder installiert werden.

4.1.9 Mangelhafte eingedichtete Durchführungen

Auf dem extensiv begrünten Dach einer in Stahlbetonskelettbauweise errichteten Logistikhalle wurde eine ballastoptimierte PV-Anlage in Südausrichtung ausgeführt (s. Abb. 30). Das Warmdach wurde auf einer Trapezblechschale erstellt und mit einer einlagigen Kunststoffdachabdichtung (FPO) abgedichtet. In der Logistikhalle tropften an mehreren Stellen größere Mengen Wasser aus der Dachkonstruktion in das Gebäudeinnere. Die Mineralwolledämmung war bereichsweise stark durchfeuchtet. Es war streitig, ob die Feuchteschäden durch die Montage der PV-Anlage verursacht oder bauseits bereits vorhanden waren. Bei einem Ortstermin wurde u. a. festgestellt, dass mehrere Zentimeter hoch Wasser auf der Dachfläche stand (s. Abb. 31).



Abb. 30

Übersicht zur extensiv begrünten Dachfläche mit ballastoptimierter PV-Anlage in Südausrichtung



Abb. 31

Stehendes Wasser auf der Dachfläche neben einer Blitzfangstange

Die Blitzschutzfangstangen waren unterschiedlich eingedichtet. Teilweise waren zum Dachabdichtungssystem gehörende Formteile mit Kunststoffkappen am oberen Rand zum Einsatz gekommen (s. Abb. 33), an anderer Stelle war der obere Rand der hochgeführten Abdichtung mit Metallringen an den Fangstangen befestigt worden (s. Abb. 31). An einigen dieser Stangen war zusätzlich der obere Rand mit Dichtstoff gefüllt worden. Nach dem Entfernen der Kiesschicht und des darunter verlegten Vlieses neben den Fangstangen wurde festgestellt, dass einige der Manschetten nicht dicht an der Flächenabdichtung verschweißt waren. An einer Stelle im Attikabereich war der Dichtrand der Manschette nur wenige Millimeter an der Abdichtung der Fangstange hochgeführt worden (s. Abb. 32).



Abb. 32

Die Dichtmanschette ist nur wenige Millimeter an die Abdichtung der Fangstange hochgeführt worden.



Abb. 33

Oberer, offener Abschluss der Schutzhülle einer Blitzfangstange mit verschobener Dichtkappe

4.1.10 Unsaubere Eindichtung mit Manschetten

Ein Sachverständiger berichtet von einem als Molkerei genutzten Gebäude, bei dem die PV-Anlage durch die Dachabdichtung hindurch mit der Unterkonstruktion verbunden wurde. Die Abdichtung der Befestigungspunkte erfolgte zwar mit Manschetten. Diese waren jedoch unsauber angearbeitet, sodass es zu Durchfeuchtungen des Dachaufbaus kam.

4.1.11 Unverträglichkeiten von Baustoffen mit der Dachabdichtung

Zwischen den Tragelementen der Module und der Dachabdichtung werden häufig Bautenschutzmatte eingebaut, d. h. aus Gummigranulat mit Polyurethan-Klebern hergestellte Matte von ca. 3 bis 20 mm Dicke.

Der Hersteller von Kunststoffdachbahnen aus Polyisobutylen (PIB) fordert, zwischen seiner Dachbahn und Bautenschutzmatte ein Trennvlies einzulegen, da sonst Verblockungen stattfinden können mit der Folge von Rissbildungen in der Dachhaut. (Ein Trennvlies muss bei dieser Dachbahn auch unter einer PE-Folie angeordnet werden!)

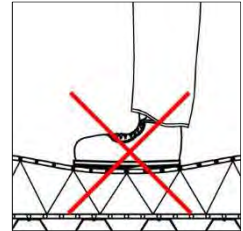
Bei anderen Kunststoffdachbahnen finden sich kaum Herstellerangaben, die auf Unverträglichkeiten zwischen dem Material der Dachhaut und Bautenschutzmatte hinweisen. Da jedoch die Identifizierbarkeit des Dachbahnmaterials ohne Probeentnahme nicht in jedem Fall eindeutig ist, wird häufig grundsätzlich ein Trennvlies oder eine Alukaschierung zwischen Kunststoffabdichtung und Bautenschutzmatte angeordnet.

Schadensfälle, bei denen die Unverträglichkeit zwischen Bautenschutzmatte und PIB- oder anderen Kunststoffdachbahnen in Zusammenhang mit Solaranlagen entstanden sind, wurden im Rahmen der vorliegenden Untersuchung nicht bekannt.

4.1.12 Einsenkungen der Mineralwolledämmung

4.1.12.1 Starre Befestiger

Auf die Dachflächen einer sehr großen Logistikhalle, die mit einer PVC-Kunststoffbahn über einer Mineralwolledämmung eingedichtet waren, wurde im Jahr 2011 eine PV-Anlage aufgebracht (s. Abb. 34). Die Aluminiumprofile wurden über Bautenschutzmat-ten direkt auf der Folie aufgelegt und mit Brettern und Betonsteinen ballastiert (s. Abb. 35). Die PVC-Abdichtungsbahn war mit starren Befestigern (Schlossschrauben mit Blechtellern) mechanisch verankert.



Bei der Aufstellung der Module wurden für den Transport der Module und Ballaststeine Laufwege genutzt, bei denen keine Lastverteilung auf der Abdichtung eingerichtet wurde. Die Folge waren Einsenkungen der Dachhaut über weichgetretenen Stellen der Mineralwolledämmung und entsprechende mechanische Belastungen der Abdichtungsbahn an den Kanten der starren Befestiger.

Im folgenden Winter hat extremer Schneefall mit Tauwetterperioden und Schneematschbildung dazu geführt, dass auf der Dachfläche langanhaltend sehr viel Wasser gestanden hat. Es wurde veranlasst, den Schnee wegzuschaukeln. Beim Wegschaukeln des Schnees sind die Schneeschaufeln vor die herausstehenden Befestiger gestoßen worden, sodass zusätzliche mechanische Belastungen an den Kanten der Blechteller aufgetreten sind (s. Abb. 36).

In der Halle kam es zu Abtropfungen aus der Dachfläche. Die Schraubköpfe und Blechteller waren aufgrund der im Dachpaket eingeschlossenen Feuchtigkeit korrodiert (s. Abb. 37).

Über die unstreitig vorhandenen Durchfeuchtungsschäden kam es zu Auseinandersetzungen über die erforderliche Festigkeit der Mineralwolle und die Nahtverbindung der Dampfsperre.



Abb. 34
Aufgeständerte, ballastierte PV-Anlage über Kunststoffdachbahn



Abb. 35
Absenkungen der punktförmigen Auflager mit Wasseransammlungen



Abb. 36

Absenkungen der Mineralwollgedämmung in den als „Laufwegen“ genutzten Bereichen der Dachfläche, die Blechteller der starren mechanischen Befestiger ragen über die Dämmebene hinaus.



Abb. 37

Korrosion der mechanischen Befestiger durch Feuchteinschluss im Dachaufbau

4.1.12.2 Durchfeuchtung

Auf die Dachflächen eines Gewerbebetriebs von ca. 18.000 m² ist etwa drei Jahre nach Erstellung der neuen Abdichtung eine PV-Anlage montiert worden. Die Abdichtung bestand aus einer 1,8 mm dicken FPO-Bahn auf 120 mm Wärmedämmung aus Mineralwolle.

Nach Errichtung wurde die PV-Anlage untersucht und es wurden Mängel im Hinblick auf die Elektrotechnik und auf die Verarbeitung der Elemente festgestellt sowie Einsenkungen der Dachhaut und Durchfeuchtungen der Dämmung. Die Anlage wurde daraufhin komplett demontiert (Dachübersichten s. Abb. 38 und Abb. 39).



Abb. 38

Dachfläche nach Abräumen der Solaranlage:
Übersicht zu den Kehlbereichen



Abb. 39

Dachfläche nach Abräumen der Solaranlage:
Übersicht zu den Bereichen zwischen den Lichtbändern



Abb. 40
Messung der Einsinktiefe



Abb. 41
Durchfeuchtete und dickenverminderte Mineralwollgedämmung

Im Hinblick auf die Einsenkung der Dachhaut wurde darüber gestritten, inwiefern die Absenkungen als Mangel zu bezeichnen waren und zu den Durchfeuchtungen beigetragen haben. Der Zustand des Dachaufbaus wurde anhand mehrerer Öffnungsstellen untersucht (s. Abb. 41). Die Dämmstoffe wurden im Labor geprüft, die Einsenkungen gemessen (s. Abb. 40) und kartiert und mit den Laborwerten der Druckspannung bei 10 % Stauchung verglichen. So konnte die Festigkeit auch durch die Begehung von der Oberseite objektiv bestimmt werden.

Nur beim Hauptzugang der Dachfläche wurde eine deutliche, bleibende Absenkung der Mineralwolle um ca. 2 cm festgestellt. In den übrigen Bereichen war die Druckfestigkeit zwar vermindert, allerdings nur in geringfügigem Umfang, der weder eine Einschränkung des Wärmeschutzes noch eine Schädigung der Dachhaut erwarten ließ.

Da der Feuchtegehalt der Dämmung vor Aufbringen der Anlage nicht dokumentiert wurde, konnte kein eindeutiger Zusammenhang zwischen Durchfeuchtung und der Aufstellung der PV-Anlage als Verursacher hergestellt werden. Des Weiteren war nicht auszuschließen, dass der Festigkeitsverlust der Dämmung am Hauptzugang der Dachfläche nicht auch durch die Arbeiten an der Dachfläche vor der Solaranlagenmontage (Dachabdichtung, Lichtbänder, Blitzschutz) verursacht wurde.

4.1.12.3 Freizeitbad

Bei einem Freizeitbad wurde auf der 14 Jahre alten Abdichtung eine PV-Anlage errichtet. Nachdem Schäden im Dachaufbau aufgetreten waren, wurde die Anlage wieder zurückgebaut. Im Rahmen der Ermittlung der Schadensursache wurden neben diversen Mängeln im Dachaufbau auch eine stark deformierte Mineralwollgedämmung in den Gangbereichen zwischen den Photovoltaik-Elementen festgestellt.

4.1.13 Kontrollierbarkeit der Ballastierung

Ein Hersteller berichtete davon, dass sie Wannen-Lösungen für die PV-Montage angeboten hätten. Diese haben sie jedoch mittlerweile aus ihrem Sortiment genommen, da die Ballastierung der Wannen kaum kontrollierbar, damit zu unsicher und statisch nicht eindeutig sei. Schadensfälle seien ihnen in dieser Hinsicht aber nicht bekannt.

4.1.14 Horizontalverschiebung der PV-Anlage

Von verschobenen Anlagen wurde in vielen Gesprächen berichtet. Leider ist es nicht gelungen, entsprechende Dokumentationen über einzelne Fallbeispiele zu erhalten.

Bereits in [Haselhuhn 2012] wurde das in Abb. 42 dargestellte Bild einer verschobenen PV-Anlage an einem freien Dachrand veröffentlicht.

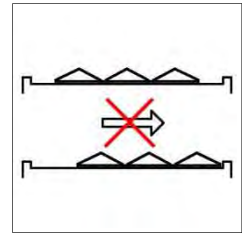


Abb. 42

Verschobene PV-Anlage an freiem Dachrand [Quelle: www.dgs-berlin.de]

Ein Hersteller von Aufstellsystemen hat das nachfolgende Bild einer aufgrund von Windeinwirkung verschobenen Anlage (s. Abb. 43) eines Mitbewerbers zur Verfügung gestellt.



Abb. 43

Verschobene PV-Anlage auf einem Flachdach

Ein weiterer Produzent von Anlagen berichtet davon, dass eine ballastoptimierte Anlage nach vier Jahren Standzeit auf Grund von „Temperaturwanderung“ (s. Kap. 7.3) langsam in Richtung Traufe gewandert sei und dort die Aufkantung der Dachhaut zerstört habe. Die Anlage war auf einer Kunststoffdachbahn mit größerer Gefällegebung aufgelegt.

Vom Verschieben auf Bautenschutzmatte aufgestellter Anlagen berichtete ein anderer Hersteller. Kurz bevor die scharfkantigen Teile der Unterkonstruktion der PV-Anlage die Dachhaut zerstört hätten, wurde die Verschiebung bemerkt.

Ein vierter Hersteller berichtet davon, dass Anlagen aufgrund von Windlasten verschoben wurden, obwohl diese nach Normangaben ausgelegt waren. Vor Ort gemessen wurden jedoch deutlich höhere Windgeschwindigkeiten. Er hält die Angaben in den Normen (aktuell: Eurocode 1, DIN EN 1991-1-4) für überarbeitungsbedürftig.

Bei einem weiteren Fallbeispiel, von dem ein Sachverständigenkollege berichtete, ist die PV-Anlage ebenfalls bei einem stärkeren Windereignis auf der Dachabdichtung verschoben worden (s. Abb. 45). Als Ursache wurde angenommen, dass die zu Wartungszwecken entfernten und nicht wieder montierten Windableitbleche (s. Abb. 44) das Windsogverhalten der Anlage derart verändert haben, dass der Anpressdruck für die Haftreibung nicht mehr ausreichend vorhanden war.



Abb. 44
Entfernte Windableitbleche haben das Windsogverhalten der PV-Anlagen verändert. [Quelle: www.dgs-berlin.de]



Abb. 45
Verschiebung der PV-Anlage auf der Abdichtung bzw. auf den Bautenschutzmatte [Quelle: www.dgs-berlin.de]

Bei einer weiteren PV-Anlage waren die Streifen der Bautenschutzmatte unter den Aluminium-Montageprofilen so schmal, dass bereits eine geringe Verschiebung der PV-Anlage zu einem Abrutschen von den Bautenschutzmatte führt (s. Abb. 46 und Abb. 47).



Abb. 46
Sehr geringe Breite der Bautenschutzmatte [Quelle: www.dgs-berlin.de]



Abb. 47
Abrutschen des Alu-Profils von der Bautenschutzmatte [Quelle: www.dgs-berlin.de]

Bei derselben Anlage konnte auch beobachtet werden, wie eine Auflagerung unmittelbar auf der Abdichtung sich in den Randbereich einer Bitumendachbahn eindrückt (s. Abb. 48).



Abb. 48

Unmittelbar auf der Bitumenabdichtung aufliegendes Aluminium-Tragprofil drückt sich in die Dachabdichtung hinein [Quelle: www.dgs-berlin.de]



Abb. 49

Die Verschiebung der Anlage hat zu einer Umlagerung der Blitzschutzelemente geführt [Quelle: www.dgs-berlin.de]

4.1.15 Öffnung verklebter Nähte durch Bewegung des Untergestells der Solaranlage

Das Dach eines Nebengebäudes, das u. a. als Carport genutzt wird, war im Jahr 2007 mit Kunststoffbahnen aus Polyisobutylen (PIB) abgedichtet worden. Es wurde in Holzbauweise errichtet, geschlossene Wandteile sind mit einer Holzschalung bekleidet, die Dachkonstruktion selbst besteht aus Massivholzträgern mit oberseitiger Holzbrettverschalung (s. Abb. 53). Die unmittelbar darauf verlegte PIB Kunststoff-Dachabdichtung ist an den Nähten systembedingt mit vorkonfektionierten Butylklebestreifen gefügt.



Abb. 50

Übersicht zur Dachfläche mit Solaranlage



Abb. 51

Die Träger auf der Dachfläche sind senkrecht zu den Kunststoffbahnen verlegt, die Solarmodule sind rückseitig mit Betonplatten ballastiert.

Die Solarmodule sind als ballastoptimiertes System ausgeführt worden. Die einzelnen Module sind an durchlaufenden Trägerprofilen befestigt (s. Abb. 50 und Abb. 51), die mit Trennlagenstücken aus Gummigranulatmatten mit unterseitiger Aluminiumkaschierung unterlegt wurden (s. Abb. 52). Durch diese Trennstücke soll der unmittelbare Kontakt zwischen den Metallschienen und der Dachabdichtung vermieden werden. Das Gefälle der Dachabdichtung verläuft senkrecht zu den auf der Abdichtung aufliegenden Trägerprofilen.



Abb. 52

Unter den Aluminiumtragschienen der PV-Anlage sind Trennlagenstücke aus Gummigranulatmatten mit unterseitiger Aluminiumkaschierung eingebaut.



Abb. 53

Untersicht der Dachkonstruktion

In der Informationsschrift zur Solaranlage steht hierzu Folgendes: „Als Bautenschutzelement empfehlen wir [...] eine Bautenschutzmatte mit Alukaschierung (Fließrichtung quer): Voraussetzung: Fließrichtung des Niederschlagswassers ist quer (senkrecht) zum Durchlaufträger. ... Bautenschutzmatte-Zuschnitt 300 x 110 x 20 mm mit Alukaschierung, einseitig selbstklebend als Montagehilfe am Durchlaufträger. Die Zuschnitte werden mittig unter jedem Auflagerpunkt/Befestigungspunkt angebracht. In Abhängigkeit der Niederschlagsmenge und der partiellen Belastbarkeit des Flachdaches kann die Menge und der Abstand auch verändert werden.“

Der unmittelbare Kontakt zwischen Bautenschutzmatten aus Gummigranulat und Dachbahnen aus Polyisobutyl (PIB) kann zu sogenannten Migrationseffekten der Weichmacher aus der Bahn in die Gummigranulatmatten führen, was eine Versprödung der Bahn zur Folge hat. Auf diese Effekte weist die o. g. Herstellerangabe hin. Die Anordnung der Bautenschutzmatten unterhalb der Aluminiumtragschienen entspricht der o. g. Herstellervorgabe.

Da die Hauptdachrichtung und damit die Entwässerung der Dachfläche quer zu den Aluminiumtragschienen verlaufen, sind die Auflager aus Bautenschutzmatten punktförmig angeordnet, damit das Oberflächenwasser auf den Dachbahnen unter den Schienen hindurch laufen kann.

Die Regelwerksvorgaben behandeln jedoch nicht die Problematik der Überlagerung von Horizontalkräften und Lasteinleitung in geklebten Nähten der verwendeten PIB Bahnen. Zwischen den beiden mittleren Solarmodulreihen gab es mehrere durch Verschiebungen und Abscheren der oberen Bahn an Nahtfügungen entstandene Fehlstellen.



Abb. 54

Die Bahnennähte unmittelbar vor den Trägerschienen haben sich neben den Gummischrotstücken geöffnet (s. Pfeil).



Abb. 55

Detailaufnahme zur geöffneten Bahnennaht neben der Tragschiene der Solaranlage

Diese sind auf die Überlagerung folgender Umstände zurückzuführen:

Die Modulreihen der ballastoptimierten PV-Anlage sind an quer dazu verlaufenden Metalltragschienen befestigt, die auf kleineren Stücken aus Gummigranulatmatten auf der Dachabdichtung aufliegen. Die Tragschienen aus Aluminium unterliegen hohen Temperaturschwankungen. Die Solarmodule bewegen sich und übertragen die thermisch bedingten Längenänderungen auf die vorgenannten Aluminiumschienen. An den Stellen, an denen die lastableitenden, unterseitig mit Aluminiumstreifen kaschierten Gummigranulatmatten auf Bahnennähten aufliegen, entstehen durch Horizontalkräfte Scherspannungen, die den bei höheren Außentemperaturen viskosen Kaltkleber der Bahnennähte an einigen Stellen abscheren lassen (s. Abb. 54 und Abb. 55).

Die Klebekräfte an den Bahnennähten können die Horizontalkräfte, die an den Auflagerpunkten der Metallschienen in die Dachhaut eingeleitet werden, nicht aufnehmen.

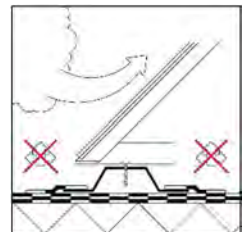
Die Kombination der Übertragung von Horizontalkräften aus der Solarmodulanlage und der Auflage der lastverteilenden Aluminiummetallschienen unmittelbar über kalt verklebten Bahnennähten, ist ursächlich für die entstandenen Fehlstellen der Dachabdichtung an Nähten.

Die Nahtöffnungen wären auch vermeidbar gewesen, wenn die Auflagepunkte nicht unmittelbar über den Nähten gelegen hätten, sondern seitlich daneben. Eine andere Anordnung der unterseitig mit Aluminiumstreifen kaschierten Gummigranulatmatten hätte ausgereicht, auch wenn für neu zu verlegende Dachbahnen, die für das Aufstellen von Solarmodulen konzipiert werden, eine andere Nahtfügetechnik zu empfehlen ist.

4.1.16 (Unzulässige) Windsogsicherung über adhäsive Verklebung mit der Dachbahn

Auf ein ca. 20 Jahre altes Flachdach einer unbeheizten Gewerbehalle mit Bitumenbahnenabdichtung und 6 cm dicker EPS-Dämmschicht wurde eine neue Oberlage der Abdichtung aufgebracht. Dann wurde eine PV-Anlage in der Weise aufgestellt, dass gekantete Blechformteile (Trapezblechstücke) auf die Dachhaut aufgelegt und mit Bitumenbahnen überklebt wurden. Diese „Befestigungsbahnen“ wurden anschließend mit der neuen Oberlage verschweißt, sodass die Lage- und Windsogsicherung über die Bitumenschweißverbindungen erfolgt.

Nach Fertigstellung wurden Durchfeuchtungen festgestellt. Die neue Abdichtungsbahn hatte Blasen geworfen, weil sowohl die alten Abdichtungsbahnen nicht vollständig miteinander verklebt waren und auch die neue nicht vollständig verklebt aufgebracht wurde.



Inwieweit die Einklebung der PV-Module schadensursächlich war, wurde im Gutachtenauftrag nicht abgefragt. Das Schadensbeispiel ist auch deswegen bemerkenswert, weil es für diese Art der Befestigung weder technische Regeln noch ausreichend gesicherte Materialkennwerte gibt, die für einen rechnerischen Nachweis der Tragsicherheit herangezogen werden können. Für den beschriebenen Fall wäre eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ) beim DIBt zu beantragen gewesen.

4.1.17 Nichtbeachtung von Herstellerangaben – Lastannahmen zur Windsogsicherung

Ein Hersteller wies darauf hin, dass der statische Nachweis von PV-Anlagen auf Gebäuden, die höher als 500 oder 600 m über NHN liegen, schwierig wird. Die entsprechende Einschränkung im statischen Nachweis werde von den Aufstellern nicht immer beachtet, sodass auch in windreicheren Gegenden Anlagen auf der Grundlage statischer Berechnungen angeordnet werden, die für den Standort keine Gültigkeit aufweisen.

4.1.18 Unzureichende Windsogsicherung der Solarelemente

Auf dem Dach einer Gewerbehalle, bestehend aus einem Trapezblech mit Dampfsperre, Mineralwollgedämmung und PVC-Abdichtungsbahn wurde im Jahr 2011 eine PV-Anlage aufgelegt.

Die Anlage bestand aus einem ballastoptimierten System, bei dem mehrere PV-Module durch Aluminium-Tragprofile zu größeren Feldeinheiten zusammengefasst wurden. Die erforderliche Ballastierung erfolgte durch lose in die Rückenbleche aufgelegte Betonplatten (s. Abb. 59).

Im Rahmen der Wartung wurde im Jahr 2014 festgestellt, dass die unter den Aluminium-Tragprofilen angeordneten, alukaschierten Bautenschutzmatte verrutscht waren (s. Abb. 60). Sie wurden zum Teil wieder unter die Tragprofile gelegt. Andere Bautenschutzmatte waren mit Kabelbindern an den Tragprofilen befestigt.

Im Frühjahr 2015 ist bei einem größeren Sturmereignis ein Teil der Anlage abgehoben und auf der Dachfläche „aufgewickelt“ worden (s. Abb. 56 und Abb. 58). Die PV-Anlage war in einem schmalen Bereich aufgerollt worden, der aufgrund von Lichtkuppeln in der Dachfläche nicht in Verbindung mit dem großen Feld der Anlage stand.

Inwieweit die Ballastierung ausreichend war, wird noch untersucht. Bei den verbliebenen Elementen wurde festgestellt, dass einzelne Ballaststeine fehlten. Möglicherweise war das auch bei den geschädigten Teilen der Fall, sodass die unzureichende Sicherung der Ballastierung zum Abheben geführt hat.

Auch bei den Elementen, an denen die Bautenschutzmatte mit Kabelbindern befestigt waren, ist es zu Verschiebungen der Anlage gekommen (s. Abb. 61). Offenbar war die Haftreibung zwischen den alukaschierten Bautenschutzmatte und der PVC-Bahn nicht ausreichend für die auftretenden Belastungen dimensioniert.



Abb. 56

Nach einem Sturmereignis in Teilbereichen abgehobene ballastoptimierte PV-Anlage



Abb. 57

Die Ballastierung erfolgt durch hochkant verlegte Platten auf den Spoilerblechen.



Abb. 58

Teilbereiche der Anlage waren offenbar für das Sturmereignis ausreichend ballastiert.



Abb. 59

Unterschiedliche Ballastierung in Rand- und Feldbereichen



Abb. 60
Verrutschte Bautenschutzmatte



Abb. 61
Sicherung der Bautenschutzmatte an anderen Stellen durch Kabelbinder

Solarelemente, die nicht mit der Unterkonstruktion des Gebäudes verbunden sind, müssen Windsoglasten durch ihr Eigengewicht bzw. eine Ballastierung abbauen. Die Elemente haben in der Regel kein hohes Eigengewicht. Daher müssen sie durch Betonplatten oder -steine, durch Kies o. ä. in ihrer Position gehalten werden, auch bei starken Sturmereignissen. Andererseits sind hohe zusätzliche Lasten bei bestehenden Objekten oft problematisch, da nicht genutzte Dächer nur für Regen und Schnee als Verkehrslasten ausgelegt wurden.

Nicht nur bei Neubauten, sondern besonders bei bestehenden Dächern besteht daher die Tendenz, die Solarelemente möglichst leicht zu bauen und die Ballastierung zu minimieren. Die größten Lasten aus Windsog sind an den Ecken und Dachrändern zu erwarten.

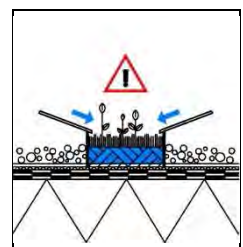
Eine Möglichkeit der Gewichtsreduktion besteht darin, die einzelnen Solarelemente zusammenzufassen und die Windsoglasten am Rand damit auf eine größere Fläche zu verteilen. Dazu muss allerdings die Unterkonstruktion mit der entsprechenden Steifigkeit ausgeführt werden. Ist das nicht der Fall, können die ECKELEMENTE abheben und die übrigen Elemente von der Ecke aus „Aufrollen“. Über entsprechende Schadensfälle wird in [Photovoltaik 10/2015] berichtet. Die Tragprofile sollten mit Dehnungsausgleichern versehen werden, damit sich die thermischen Längenänderungen nicht über das gesamte Feld auswirken und addieren. Sind die Bewegungen zu groß und ist die Dachfläche geneigt, können die Solarfelder durch die kleinen Bewegungen auf den Bautenschutzmatte bzw. auf der Dachfläche „wandern“ („Temperaturwanderung“) (s. a. Kap. 7.3).

Ein Hersteller berichtet davon, dass eine Anlage abgehoben sei und dabei die Dachhaut zerstört habe, weil die Ballastierung aufgrund eines Fehlers in dem Windgutachten unterdimensioniert gewesen sei.

4.1.19 Begrünung vernässt

Von einem Neubau, der mit extensiver Begrünung geplant war, berichtet ein Sachverständiger. Noch vor Fertigstellung des Gebäudes sollte zusätzlich eine PV-Anlage montiert werden.

Die PV-Anlage besteht aus flachen Elementen, die mit Betonsteinen ballastiert und über Bautenschutzmatte auf der Abdichtung aufgelagert sind. Sie ist inmitten der extensiven Begrünung aufgestellt worden. Durch das Überbauen der Fläche mit geneigten Solarmodulen wird das Niederschlagswasser konzentriert in die Felder zwischen den Modulreihen auf die Dachfläche abgeleitet. Die Begrünung wird dadurch bereichsweise konzentriert bewässert. Die Bepflanzung war dafür nicht ausgelegt, daher siedelte sich in den stärker bewässerten Zonen der Dachfläche verstärkt Fremdbewuchs an.



4.1.20 Zu geringer Abstand zu Dachaufbauten und Dachrändern

Die Flachdachfläche eines dreigeschossigen Mehrfamilienhauses mit ausgebautem Dachgeschoss wurde oberseitig mit Kunststoffdachbahnen aus Ethylen-Vinylacetat (EVA) abgedichtet. Es war als Warmdach auf einer Stahlbetondecke errichtet und mit einer Gefälledämmung aus Polystyrol versehen worden.

Das Gefälle ist zu den Dachrändern hin gerichtet, die ohne Attikaaufkantung ausgeführt sind. An einem Rand der verwinkelten Dachfläche sind Solarthermie-Elemente aufgebaut.



Abb. 62
Übersicht zur Einbausituation der Solarthermie-Elemente auf der Dachfläche eines Mehrfamilienhauses



Abb. 63
Der Abstand zu aufgehenden Bauteilen (hier einer Lichtkuppel) ist sehr gering.

Auf der Abdichtung sind unterhalb der Solarkollektoren Bautenschutzmatte ausgelegt worden, auf denen die Elemente aufgestellt und mit Gewichten beschwert sind. Auf den Fotos ist gut zu erkennen, dass der Abstand zu den freien Dachrändern (s. Abb. 64 und Abb. 65) sowie zu den aufgehenden Bauteilen der Dachfläche, wie u. a. zu einer Lichtkuppel (s. Abb. 63) sehr gering ist. Eine gefahrfreie Wartung und Inspektion der Anlage auf der Dachfläche ist ohne zusätzliche Sicherungsmaßnahmen (Gerüst, Fanggeschirr) nicht möglich.



Abb. 64
Die Solarkollektoren stehen sehr nah am freien Dachrand des viergeschossigen Mehrfamilienhauses.



Abb. 65
Kein Abstand der Solarkollektoren zum freien Dachrand im Bereich einer innenliegenden Gebäudeecke

Anforderungen für ein gefahrfreies und sicheres Arbeiten auf Dächern beschreiben u. a. [DIN 4426:2015-12] sowie [DGV Information 203-080: 2015]. Die beiden Schriften werden in den Kapiteln 6.5.2 und 6.5.3 „Anforderungen in Regelwerken“ detaillierter beschrieben.

4.2 Blecheindeckungen

4.2.1 Vorschädigung der Blecheindeckung

Auf ein älteres Dach mit Metalleindeckung und sehr geringer Neigung wurde im Jahr 2011 eine PV-Anlage montiert. Durch die Montage der Solarpaneele wurden die Bleche durchbohrt und beschädigt. Angabegemäß waren vorher keine Durchfeuchtungen aufgetreten, obwohl die geringe Neigung und die Ausführung der Quernähte dies vermuten ließen. Die Durchfeuchtungsschäden wurden daher auf die Montage der Solaranlage zurückgeführt.

4.2.2 Beschädigung der Blecheindeckung durch die Montage

Ein Sachverständiger des Dachdeckerhandwerks berichtete von Korrosionsschäden an einer Trapezblecheindeckung. Die Beschichtung habe schon vor der Montage Beschädigungen aufgewiesen, diese hätten jedoch durch die häufige Begehung durch die Solateure während der Montage der PV-Anlage deutlich zugenommen. Außerdem seien bei der Montage Bohrspäne nicht entfernt worden, was zu weiteren Korrosionsschäden geführt habe.

4.2.3 Nichtbeachtung von Herstellervorgaben

Bei der Montage auf den Dächern von Gewerbehallen, die mit Trapezblech eingedeckt waren, wurden die Solarelemente mit Blindnieten in den Hochsicken der Trapezbleche befestigt. Das entsprach zwar grundsätzlich den Herstellervorgaben, jedoch nur für den Fall, dass die Elemente unmittelbar auf die Dachschale und dachparallel, d. h. in der gleichen Neigung wie die Dachschale, aufgebaut werden (s. Abb. 66).

Die Elemente wurden jedoch zur optimierten Ausrichtung quer zur Dachneigung und auf einer speziellen, dreiecksförmigen Unterkonstruktion montiert (s. Abb. 67).

Anstelle eines dachparallelen Aufbaus wurde die Solaranlagen somit entgegen der Herstellervorgaben aufgeständert errichtet. Damit entsprachen die Krafteinwirkungen v. a. der Horizontallasten nicht mehr denen der Zulassung. Die Statische Berechnung hätte also erweitert werden müssen und die Anordnung des Elementes hätte, auch aufgrund des ausdrücklichen Herstellerhinweises, gesondert nachgewiesen werden müssen.

In dem beschriebenen Fall konnte kein Nachweis der Eignung der Dachkonstruktion für eine Aufständering und kein Nachweis über die statische Überprüfung der Unterkonstruktion der PV-Anlage vorgelegt werden.

Die Solarpaneele sind noch im Montagezeitraum bei einem starkem Sturm von der Trapezblechschale abgerissen worden. Die Nietverbindungen, mit denen die Anlage an der Dachfläche befestigt wurde, waren überlastet.

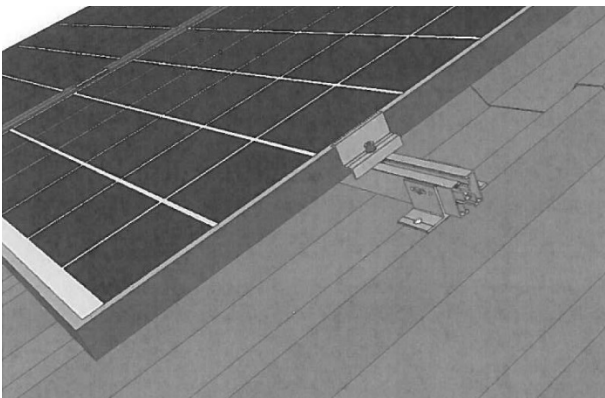


Abb. 66

Herstellervorgabe: Parallel-Aufstellung der PV-Module – Beispielbild [Quelle: IBC SOLAR AG, Bad Staffelstein, 06-2008]

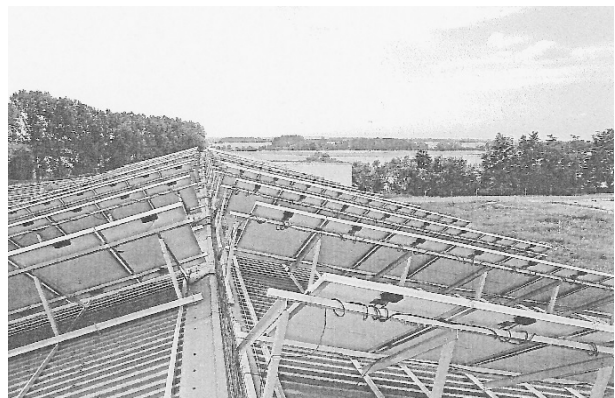


Abb. 67

Ausführung: quer zur Dachneigung und mit Unterkonstruktion eingebaute PV-Module (aufgeständerte Anlage)

4.3 Wellplatten

4.3.1 Befestigung in wasserführenden Bereichen

Auf dem Dach einer Bootshalle, die mit Faserzementwellplatten eingedeckt war, wurde nachträglich eine PV-Anlage installiert. Die Unterkonstruktion der Solarmodule wurde mit der Holzkonstruktion des Daches verschraubt. Die Schraubverbindungen wurden aber nicht durch die Wellenberge, sondern durch die Wellentäler geführt (s. Abb. 68). Es kam zu Abtropfungen in der Halle (s. Abb. 69). Die Empfehlung des Sachverständigen war, die Solarelemente zu demontieren und die Dachdeckung zu erneuern.



Abb. 68
Schraubverbindung durch die Wellplatteneindeckung in den Wellentälern



Abb. 69
Feuchtespuren an den Holzträgern des Bootshallendaches

Bei diesem Fallbeispiel muss darauf hingewiesen werden, dass eine nachträgliche Bearbeitung von zementgebundenen Asbestplatten gemäß Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) verboten ist (s. Kapitel 6.5.6). Schon bei der Bestandsaufnahme des Daches ist zu klären, ob das verbaute Material asbesthaltig ist. Sollte dies der Fall sein, muss von der Montage einer Solaranlage abgesehen werden.

5. Beispiele ohne Schadensfolgen

Die überwiegende Zahl von nachträglich auf Flachdächern installierten Solaranlagen führt zu keinen Schäden am Gebäude. Sie tragen somit zu einer energiepolitisch gewünschten und ökologisch/ökonomisch sinnvollen Steigerung der Nutzung regenerativer Energien bei. Dies zeigen exemplarisch folgende Beispiele.

5.1 Direkte Befestigung

5.1.1 Durchdringung mit Befestigung

Auf dem wärmedämmten Flachdach eines Parkhauses wurde eine Solaranlage mit direkter Befestigung mit der Unterkonstruktion errichtet (s. Abb. 70 und Abb. 71). Stahlrohre von ca. 10 cm Durchmesser wurden mit unterseitig angeschweißten Stahlplatten auf die Unterkonstruktion aufgestellt.

Die Stahlrohre wurden mit Manschetten des Dachbahnenherstellers eingedichtet. Die Aufkantungshöhe von 15 cm über Oberkante Abdichtungsebene bzw. Belag im Bereich der Durchdringungen entspricht dem Regelwerk.

Auf diesem Stahlrohr wurde ca. 10 cm oberhalb der Aufkantung eine weitere Stahlplatte aufgeschweißt, die zur Aufnahme der Tragunterkonstruktion der Solarelemente diente. Der Abstand zwischen den Solarelementen und der Dachhaut beträgt damit ca. 50 cm, sodass die Dachhaut gewartet und ggf. instandgesetzt werden kann.

Die Tragkonstruktion liegt etwa 20 cm über der Dachhaut und ist relativ schmal, sodass auch dort die Dachhaut gewartet werden kann. Der Abstand der Stützenfüße untereinander liegt je nach Unterkonstruktion bei ca. 6 m. Die Tragkonstruktion besteht aus entsprechend hohen Stahlrohr-Rechteckquerschnitten (s. Abb. 72 und Abb. 73).

Auf Nachfrage berichtete der Hersteller, dass das System nicht nur bei Neubauten, sondern auch bei nachträglichen Aufständern angewendet wurde. Eine Beeinträchtigung der Dachabdichtung sei ihm nicht bekannt.

Die Vorteile direkter Befestigung in der oben beschriebenen Art liegen auf der Hand: Die Ebene der Solarmodule liegt weit oberhalb der Abdichtung, sodass diese für Kontrollen und Instandhaltungsmaßnahmen frei zugänglich ist. Da die Lastabtragung nicht über die Dachhaut und die Dämmung erfolgt, werden beide nicht durch die Solaranlage zusätzlich belastet – abgesehen vom Montagezeitraum.

Allerdings erfordert die direkte Verbindung mit der Unterkonstruktion einen erhöhten Planungsaufwand. Die Unterkonstruktion muss für die Aufnahme der zusätzlichen Lasten auf dem Dach (u. a. durch die schweren Stahlprofile) geeignet sein. Die höheren Investitionskosten müssen vom Bauherrn getragen werden. Dafür erhält er aber ein System, das die Standzeit (technische Lebensdauer) der Dachabdichtung ohne zwischenzeitliche Demontage der Solaranlage überdauern kann. Instandhaltungs- oder Modernisierungsarbeiten an der Dachabdichtung sind jederzeit möglich, da diese an allen Stellen zugänglich ist.



Abb. 70
Direkt befestigte Solaranlage auf einem extensiv begrünten Dach



Abb. 71
Befestigungsstützen wurden mit Manschetten des Dachabdichtungswerkstoffes fachgerecht eingedichtet.



Abb. 72
Modell der direkten Befestigung in der Ausstellungshalle des Montagesystem-Herstellers



Abb. 73
Fachgerechte Eindichtung des Stützenfußes mit Kunststoffmanschette

5.1.2 Durchdringung mit Hochpunkten der Dachabdichtung

Eine Weiterentwicklung des zuvor beschriebenen Systems besteht darin, die Stahlfüße auf die Höhe des Warmdachaufbaus zu kürzen und darauf eine abgerundete PVC-Haube aufzulegen, dessen Oberkante etwa 2 cm oberhalb der Dachhaut liegt (s. Abb. 74 und Abb. 75). Die Dachhaut wurde anschließend über diese Haube verlegt und mit einer massiven Stahlplatte eingeklemmt. Oberhalb davon wurden dann Stahlplatten für die Unterkonstruktion der Tragkonstruktion montiert. Die Abdichtung wurde damit zwar perforiert, aber auch aus der wasserführenden Ebene herausgehoben und um die Durchdringungsstelle herum dicht eingeklemmt. Durch dieses Abdichtungsprinzip wurde die Einklebung mit Manschetten eingespart. Auch dieses System ist schadensfrei geblieben (s. Abb. 76 und Abb. 77).

Der Vorteil dieser Konstruktion besteht darin, dass die Abdichtung in der Fläche frei zugänglich ist und während der Standzeit des Gebäudes inspiziert und gewartet werden kann. Allerdings eignen sich die Durchdringungspunkte schlecht für eine spätere Anarbeitung beim Austausch der Dachbahn nach dem Ende ihrer Lebensdauer.



Abb. 74
Solaranlage mit direkter Befestigung über eingeklemmter Dachbahn



Abb. 75
Die Tragprofile der direkt befestigten Solaranlage weisen einen geringen Abstand zur Dachhaut auf. Ansonsten ist die Dachhaut frei zugänglich und wartbar.

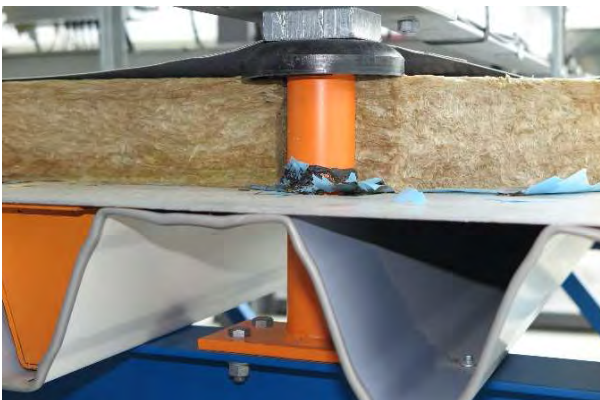


Abb. 76
Modell der direkten Befestigung in der Ausstellungshalle des Montagesystem-Herstellers



Abb. 77
Lastabtragung auf die tragende Konstruktion durch einen Wechsel aus Stahlprofilen über die Trapezblechschale

5.2 Aerodynamische Systeme

5.2.1 Kunststoffauflager

In den Jahren 2011/2012 wurde für ballastoptimierte Systeme ein Stützenfuß aus einem Spritzguss-Formteil entwickelt (s. Abb. 80 und Abb. 81). Als Kunststoff, der der thermischen und UV-Belastung auf Dachflächen Stand halten muss, wurde der von BASF entwickelte Kunststoff „Ultramid“ – auf Basis von Polyamid - verwendet. Das Formteil besitzt unterseitig eine relativ raue Oberfläche, die für die direkte Auflagerung auf Kunststoffdachbahnen konzipiert wurde.

Nach diversen Erfahrungen des Montagesystemherstellers mit aufgrund von Windangriffen verschobenen Systemen erfolgt die Ballastierung mittlerweile mit höheren Gewichten, um die Sicherheit gegenüber unvorhergesehenen Sturmereignissen oder Unwägbarkeiten der Lastableitung in die Unterkonstruktion auszugleichen (s. Abb. 78 und Abb. 79). Die Gewichte werden inzwischen vorgeformt für die Auflage auf den Aluminium-Tragprofilen hergestellt.

Die Stützenfüße können bei Bedarf auch mit Bautenschutzmatte unterlegt werden, die zur Fixierung eingeschnitten und mit den eingeschnittenen Laschen über die Formteile geklemmt werden.



Abb. 78
Ballastoptimiertes System mit Auflagerfüßen aus „Ultramid“



Abb. 79
Ballastierung durch vorgeformte Betonelemente



Abb. 80
Detailaufnahme des Stützenfußes



Abb. 81
Profilierte Unterseite des Stützenfußes

5.2.2 EPDM-Auflager

Ein Hersteller von Auflagersystemen hat zur besseren Lagesicherung des Bautenschutzelementes mit der Modulunterkonstruktion und zur besseren Haftreibung auf glatten Untergründen einen EPDM-Bautenschutzfuß entwickelt. Das aus einem Strangpressprofil hergestellte Element wird durch seine Profilierung lagestabil in die Aluminium-Tragschienen geklemmt (s. Abb. 83 und Abb. 84). Die glatte Außenoberfläche soll die Haftreibung insbesondere zu Kunststoffbahnen erhöhen. Die im Vergleich zu Bautenschutzmatte größere Dicke sorgt für einen besseren Wasserabfluss bei Anordnungen quer zur Gefällegebung, was zudem eine geringere Verschmutzungsanfälligkeit zwischen den Schienen und der Dachhaut zur Folge hat.

Die aktuelle Profilierung des Bautenschutzfußes ist seit etwa 2013 auf dem Markt, der U-förmige Vorgänger seit etwa 2010.



Abb. 82

Durch Schienensystem verbundene ballastarme PV-Anlage mit Zugänglichkeit von Dachlüftern und Ablauf



Abb. 83

Isometrie des EPDM-Strangpressprofils



Abb. 84

Querschnitt durch den EPDM-Bautenschutzfuß

5.3 Ballastierung - Punktlasten

5.3.1 Betonfertigteilwangen

Auf dem Dach einer Schule wurde im Jahr 1998 eine Solaranlage errichtet. Dazu wurden Betonwangen hergestellt, auf die die Elemente aufgelegt wurden (s. Abb. 85 und Abb. 86). Diese eher ungewöhnliche Art der Aufstellung hat sowohl den schweren Stürmen der Vergangenheit standgehalten als auch die Funktionstüchtigkeit der Dachabdichtung nicht beeinträchtigt. Der Dachaufbau besteht aus einer Betonschale, einer Dämmung aus einem Hartschaumstoff und einer hellen Kunststoffbahn, vermutlich aus EVA. Die Betonelemente sind auf Bautenschutzmatte aufgestellt worden. Die Verkabelung wird regelmäßig kontrolliert. Es sind keine Schäden aufgetreten.



Abb. 85
PV-Anlage mit langer Standzeit und Betonauflagern



Abb. 86
Betonaufleger auf Bautenschutzmatte über Kunststoffdachbahn mit starker Vermoosung, aber schadensfreier Standzeit

5.3.2 Stahlrahmenkonstruktion mit Grundplatten

Ein Systemhersteller von Solarkollektoren hat ein Befestigungssystem entwickelt, bei dem vorgefertigte Betonelemente mit Mittelloch und Griffmulden auf Aluminium-Elementen aufgesteckt werden. Die Aluminium-Elemente weisen eine Grundplatte und ein senkrecht aufgestelltes quadratisches Metallhohlprofil auf (s. Abb. 87 und Abb. 88). Unter die Grundplatte wird die Bautenschutzmatte gelegt. Bei dem auf den Fotos abgebildeten Fallbeispiel ist die Dachhaut großflächig mit Bautenschutzmatte abgedeckt worden, damit die Dachhaut auch während der Montagearbeiten geschützt ist.



Abb. 87
Traggestell wird auf vorgefertigte Stützenfüße montiert



Abb. 88
Die Kollektoren liegen parallel zur Dachebene und wurden mit deutlichem Abstand von der Dachhaut angeordnet.

Bei Systemen, die auf Bitumenbahnen aufliegen, sind den Verfassern des Forschungsberichtes bislang keine Schäden bekannt. Auf Dächern mit Bahnen aus Kunststoff- oder Elastomerbahnen wird dieses System nicht angewendet, um Schäden aus temperatur- oder windbedingten Verschiebungen der Elemente zu vermeiden.

5.4 Befestigung mit streifenförmiger Auflast

Das Dach einer Sporthalle war mit Bitumenbahnen ohne schweren Oberflächenschutz abgedichtet und wurde etwa im Jahr 2009 erneuert. Im Rahmen einer energetischen Modernisierung im Jahr 2012 wurde eine PV-Anlage auf der Dachfläche aufgestellt. Hierfür wurden unterhalb der Modulreihen Streifen von Bautenschutzmatte auf die Dachfläche gelegt. Rechtwinklig zu den Modulreihen wurden 30 cm breite Betonfertigteile im Abstand der Modulbreite verlegt. In den Bereichen zwischen den Modulreihen sind keine Bautenschutzmatte unterhalb der Betonfertigteile ausgelegt worden, um den Wasserfluss auf der Oberfläche zu ermöglichen. An

den Betonstreifen sind die PV-Elemente des aerodynamischen Systems befestigt worden. Abb. 89 und Abb. 90 sind nach etwa zwei Jahren Standzeit der Anlage aufgenommen worden.

An wenigen Stellen der Dachfläche gab es Undichtigkeiten, die jedoch nicht im Zusammenhang mit der nachträglichen Installation der PV-Anlage standen. Lageänderungen des Systems wurden nicht festgestellt, was vermutlich auf das relativ hohe Eigengewicht der Betonfertigteile zurückzuführen ist.



Abb. 89
Übersicht zu der auf Betonfertigteilstreifen montierten PV-Anlage



Abb. 90
Zwischen den Modulreihen wurden keine Bautenschutzmatte ausgeführt, um einen Wasserablauf zu ermöglichen.

5.5 Umkehrdach („Plusdach“)

Die Dächer zweier aneinandergebauter Mehrfamilienhäuser wurden im Jahr 2009 modernisiert. Dabei wurde der alte Dachaufbau beibehalten, eine neue Abdichtungsbahn aufgebracht und ein zusätzlicher Wärmeschutz und Schutz der neuen Dachbahn mit einer aufgelegten Umkehrdachdämmplatte hergestellt.

Auf der Umkehrdämmung wurde ein diffusionsoffenes Vlies verlegt und darüber eine Kiesschüttung aufgebracht. Darauf wurden zwei solarthermische Anlagen gestellt (s. Abb. 91). Die Unterkonstruktion bestand aus Aluminium-Profilen. Unterhalb der relativ steil stehenden Solarthermie Elemente wurden die Tragprofile mit Querriegeln verbunden. Auf diesen Querriegeln wurden die Beschwerungselemente aus Betonplatten aufgelegt (s. Abb. 92). Zwischen Aluminium-Tragprofilen und UK-Dämmplatten wurden Bautenschutzmatte gelegt. Unter den Querriegeln mit den Ballastierungssteinen entstand somit ein Luftraum von ca. 1 cm Höhe (s. Abb. 94).

Es wird davon ausgegangen, dass dieser Luftraum ausreicht, um die notwendige Feuchteabgabe der UK-Dachdämmplatten nach oben zu ermöglichen. Besser wäre natürlich ein größerer Abstand. Im Bereich der Bautenschutzmatte ist die Funktionstüchtigkeit der UK-Dämmplatten auf Dauer eingeschränkt, da der Wärmeschutz durch die Auffeuchtung verschlechtert wird. Auf die gesamte Dachfläche bezogen ist diese Verschlechterung des Dämmwertes allerdings vernachlässigbar.



Abb. 91
Solarthermische Anlage auf bekiestem Umkehrdach



Abb. 92
Die Ballastierungselemente sind zwischen den Tragprofilen angeordnet.



Abb. 93
Unter den Tragprofilen sind Bautenschutzmatte verlegt.



Abb. 94
Unter den Querprofilen mit den Ballastierungselementen ist ein geringer Luftspalt vorhanden.

6. Anforderungen in Regelwerken

Die Regelwerke zu Solaranlagen beziehen sich in erster Linie auf die Aufstellsysteme und die elektrotechnischen Belange. In Bezug auf die Verbindung der Solaranlage mit geneigten oder flachen Dächern gibt es bislang nur einzelne und begrenzte Regelungen. Auf die letzteren wird im Folgenden kurz eingegangen.

6.1 Baurechtliche und statische Anforderungen

6.1.1 Bauregelliste

Photovoltaische Module sind in der Bauregelliste B Teil 2 unter der Nummer 1.5.4 aufgeführt. Wenn im Bezug auf den Brandschutz eine Schwerentflammbarkeit oder eine Nicht-Brennbarkeit gefordert wird, müssen die Module zusätzlich zur CE-Kennzeichnung den Anforderungen laut Bauregelliste A Teil 2 Nr. 2.10.1.1 bzw. 2.10.2 entsprechen und mit einer Übereinstimmungserklärung des Herstellers (ÜH) und einem Übereinstimmungszertifikat durch eine amtlich anerkannte Zertifizierungsstelle (ÜZ) ausgestattet sein. Damit ist der Nachweis zu erbringen, dass die Module den entsprechenden Anforderungen (schwer entflammbar oder nicht brennbar) entsprechen, wie sie in der DIN 4102-1:1998-05 beschrieben sind.

Aufgrund eines Urteils des Europäischen Gerichtshofes wird diese Regelung im Zuge der Umstellung des bauaufsichtlichen Regelungssystems vermutlich in Kürze überarbeitet werden.

Wenn keine Anforderungen an die Schwerentflammbarkeit oder Nicht-Brennbarkeit gestellt werden (was in der Regel der Fall sein dürfte), sind darüber hinaus keine Regelungen in der Bauregelliste, insbesondere nicht in Bezug auf die statische Dimensionierung der Bauteile, enthalten.

Die Bauregelliste B Teil 2 verweist ansonsten auf die Richtlinie „2006/95/EG“, bei der es sich um die europäische Richtlinie über „Elektrische Betriebsmittel zur Verwendung innerhalb bestimmter Spannungsgrenzen“ handelt.

In Bezug auf den Inhalt des vorliegenden Berichts bzw. die Aufstellung einer Solaranlage auf eine bestehenden Dachfläche sind in der Bauregelliste keine weiteren relevanten Hinweise enthalten.

6.1.2 Hinweise des Deutschen Institutes für Bautechnik (DIBt)

Das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) hat in [DIBt 2012] u. a. folgende Hinweise formuliert, die bei der Befestigung von Solaranlagen aus bauordnungsrechtlicher Sicht eingehalten werden müssen.

PV-Module auf Dachflächen, die größer als 2 m² und nicht gebäudeintegriert sind, bedürfen laut Bauregelliste B Teil 2 lfd. Nr. 1.5.4.3 in der Regel eines Verwendbarkeitsnachweises durch eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung.

Solarkollektoren auf Dachflächen, die größer als 3 m² sind, bedürfen laut Bauregelliste B Teil 2 lfd. Nr. 1.5.2.2 in der Regel eines Verwendbarkeitsnachweises durch eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung.

Bei adhäsiven Systemen muss die Verwendbarkeit durch eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung nachgewiesen werden. Die einzuleitenden Zug- und Schubkräfte müssen durch alle Schichten des Dachaufbaus hindurch dauerhaft in die tragende Konstruktion des Gebäudes weitergeleitet werden.

Für die nachträgliche Aufstellung auf bestehenden Gebäuden wird auf [ARGEBAU 2008] verwiesen.

6.1.3 Fachkommission Bautechnik der Bauministerkonferenz (ARGEBAU)

In [ARGEBAU 2008] werden bauaufsichtliche Regelungen in Bezug auf den Bestandsschutz und auf Änderungen bestehender baulicher Anlagen von der Fachkommission Bautechnik der Bauministerkonferenz formuliert. Speziell in Bezug auf Solaranlagen wird darin gefordert:

„Nur unter Ansatz der alten Lastnormen statisch nachweisbare Belegung einer Dachhaut mit Photovoltaikmodulen:

Durch die Montage der Photovoltaikmodule wird die aufnehmbare Schneelast um das Gewicht der Module reduziert. Die Standsicherheit des Gebäudes wird also gegenüber dem bestandsgeschützten Zustand verändert. Von einer Ertüchtigung des Tragwerks kann dann abgesehen werden, wenn das vorhandene Tragwerk für die Zusatzlasten aus den Modulen immer noch ausreichend dimensioniert ist.“

6.1.4 VDI 6012: Regenerative und dezentrale Energiesysteme für Gebäude

In der aktuell erschienenen Technischen Regel VDI 6012 zu regenerativen und dezentralen Energiesystemen für Gebäude werden im Teil 1.4 ([VDI 6012-1.4:2016-01]) ausführliche und deutlich bebilderte Hinweise zur Bemessung von Elementen zur Verankerung von Solaranlagen formuliert. Der Schwerpunkt liegt insgesamt auf geneigten Dächern.

Die speziell für Flachdächer wesentlichen Inhalte der Richtlinie werden im Folgenden genannt.

In Kapitel 6.2 von [VDI 6012-1.4:2016-01] wird zwischen direkter und indirekter Lastabtragung unterschieden, allerdings in erster Linie bezogen auf die Befestigung bei Metalldeckungen:

Mit „direkter“ Lastabtragung wird die unmittelbare Befestigung an der tragenden Dachkonstruktion bezeichnet. Unter „indirekter“ Lastabtragung wird die Lastabtragung über die Dachdeckung bzw. die Dachabdichtung verstanden. Diese Definition wurde im vorliegenden Forschungsbericht übernommen (s. Kapitel 2.3 und 2.4).

In Kapitel 6.3.2.1 von [VDI 6012-1.4:2016-01] wird bezüglich einer direkten Befestigung bei Flachdächern darauf verwiesen, dass diese fachgerecht mit Manschetten o. ä. eingedichtet werden müssen. Das abgebildete Detail stellt sehr abstrakt einen Fuß mit Los- und Festflansch auf einer massiven Unterkonstruktion dar, also eine nach Erfahrung der Verfasser des vorliegenden Forschungsberichtes eher selten ausgeführte Situation.

Etwas differenzierter ist eine „Flachdachstütze“ in Bild 35 von [VDI 6012-1.4:2016-01] dargestellt. Sie zeigt eine Bolzenverbindung zwischen zwei Flanschelementen, von der eines in der Dampfsperreebene und eines in der Abdichtungsebene angeordnet ist.

Ausführliche Hinweise sind im Kapitel 7.3.6 „Befestigung mit Stockschrauben“ der [VDI 6012-1.4:2016-01] zur Lastabtragung bei einer Befestigung über Trapezblechen und Sandwichelementen enthalten. Angaben zur Abdichtung sind wie folgt ausgeführt:

„Eine fachgerechte Dichtung der Dachdurchdringung kann nur durch Dichtelemente erfolgen, die über eine ausreichende Witterungsbeständigkeit verfügen. Bewährt haben sich Dichtscheiben aus EPDM oder Neoprene, die mit ausreichender Anpresskraft die erforderliche Dichtwirkung an der Dachdurchdringungsstelle dauerhaft gewährleisten. Insbesondere bei großformatigen Dachdeckungen aus Sandwichelementen oder Trapezprofiltafeln kann die Gefahr einer Dellenbildung im Obergurt durch die Verwendung von Kalotten vermindert werden.“

Zur Abdichtung der Durchstoßpunkte durch Unterdeckbahnen, Dampfsperren, Luftdichtungsschichten sowie die Innenschalen von Sandwichelementen wird in [VDI 6012-1.4:2016-01] nichts ausgeführt.

Im Kapitel 7.5 „Tragkonstruktionen für die Flachdachmontage“ werden zwei unterschiedliche Einbausysteme beschrieben:

- Die Fixierung ohne Dachdurchdringung (mittels Ballastierung)
- Die Fixierung mit Dachdurchdringung

Zur Kombination der beiden Systeme, d. h., zur ausschließlichen Sicherung eines Systems ohne Dachdurchdringung gegenüber Verschieben mittels eingedichteter Fixierstützen, die den Dachaufbau durchdringen – im vorliegenden Bericht als „direkte Lagesicherung“ bezeichnet –, ist noch kein eigenes Kapitel erarbeitet worden.

Zur Fixierung ohne Dachdurchdringung werden in Kapitel 7.5.2 von [VDI 6012-1.4:2016-01] ausführliche Hinweise gegeben:

*„Lösungen, die die erforderlichen Ballastierungskräfte mit **gestapelten Beschwerungselementen** realisieren (z. B. mit lose aufeinander gelegten Gehwegplatten), müssen dabei durch geeignete Maßnahmen sicherstellen, dass die Beschwerungselemente lagesicher sind.*

*Zwischen den Beschwerungselementen und der Dachabdichtung ist in der Regel eine geeignete **Schutzlage** anzuordnen (chemische Verträglichkeit zwischen Dachbahn und Schutzlage). Die Schutzlage hat die Aufgabe, eine Beschädigung der Dachbahnen durch das Montagesystem zu verhindern. Infolge von Temperaturwechseln treten Relativverschiebungen zwischen Montagesystemen und der Dachhaut auf. Durch diese wiederholte Verschiebung besteht die Gefahr der Verletzung der Dachabdichtung, insbesondere bei scharfen Kanten der Profile, Sägegrat am Profilende oder Schmirgeleffekt bei Sand/Dreck. Sicherzustellen ist, dass die Schutzlage mit der Dachabdichtung verträglich ist (z. B. Problematik Weichmacherwanderung bei PVC). Gegebenenfalls ist zusätzlich eine geeignete Trennlage (z. B. Trennvlies) anzuordnen.“*

Bei der Auslegung und Bemessung der aufgeständerten Solaranlage sind zusätzlich zu den in Abschnitt 7.3.3 aufgelisteten Einzelnachweisen bezüglich der Tragfähigkeit des Dreieckschienensystems – folgende weitere Nachweise erforderlich: Nachweise bezüglich Abheben, Kippen und Gleiten.“

Es folgt ein wichtiger Hinweis, der die Lagesicherung von ballastoptimierten Systemen betrifft, der für die statische Bemessung relevant ist, aber durch die Gefahr des Verschiebens auch die Dachabdichtung sowie Dachaufbauten auf Dauer beeinträchtigen kann. Deshalb wird die entsprechende Textpassage im Folgenden vollständig wiedergegeben:

„Wichtiger Hinweis

Bei sogenannten ballastarmen Systemen werden die, z. B. mittels Windkanalversuchen, individuell am System ermittelten aerodynamischen Beiwerte c_p nur unter bestimmten Randbedingungen erreicht. Hierfür sind gesonderte Hinweise in die Montageanleitung zu übernehmen und/oder gesonderte Dimensionierungen zur Verfügung zu stellen. Die individuell ermittelten c_p -Beiwerte müssen die Böigkeit des Winds berücksichtigen. Es treten lokal an einem einzelnen Modul in der Regel relativ hohe Sogbeiwerte auf. Falls für die Ballastermittlung mit den geringeren Windsogbeiwerten einer gesamten Modulgruppe gerechnet wird, so ist nachzuweisen, dass die lokalen Spitzensogkräfte auf die Module dieser Modulgruppe verteilt werden können. Aus der Lastweiterleitung an benachbarte Module oder Module in benachbarten Reihen ergeben sich Biegemomente und Verformungen des Montagesystems. Die Kraftweiterleitung ist nachzuweisen. Die aus der Lastweiterleitung herrührenden Verformungen können gegebenenfalls die Aerodynamik des Montagesystems und damit auch den Windsogbeiwert beeinflussen. Die auftretenden Verformungen sind bei der Windkanalsimulation zu berücksichtigen. Dies gilt gleichermaßen für Kollektoren.

Der Gleitnachweis als Tragsicherheitsnachweis gemäß DIN EN 1990 ist zu führen (Lastsicherheitsbeiwert 1,5 für Windsog). Der rechnerische Ballast (Bemessungswert) muss entsprechend um den Sicherheitsbeiwert 0,9 verringert werden.

Es gibt für den Gleitnachweis keine universell ansetzbaren Reibbeiwerte μ . Die Reibbeiwerte hängen stark von der vorhandenen Dachabdichtungsbahn ab. Beim Gleitnachweis sollte der Reibbeiwert μ aus

Versuchen ermittelt werden, z. B. unter Berücksichtigung von Nässe. Maßgebend ist der geringste Reibbeiwert der beteiligten Reibpartner:

- Grundschiene/Auflagerplatte auf Schutzlage
- Schutzlage auf Trennvlies (sofern vorhanden)
- Trennvlies oder Schutzlage auf Dachabdichtungsbahn“

Des Weiteren werden in [VDI 6012-1.4:2016-01] folgende Nachweise gefordert:

„Nachweis der Dachunterkonstruktion aufgrund der Zusatzbelastung auf die Solaranlage sowie gegebenenfalls erhöhter Windlasten einschließlich Ballast.

Bei Folien- oder Bitumen-Dachabdichtung:

- *Nachweis der zulässigen Druckbelastung bei gedämmten Dächern inklusive Schneelast auf Modul“*

Auch an dieser Stelle des Regelwerkes folgt noch ein wichtiger Hinweis bezüglich der Belastbarkeit der Dämmung:

„Wichtiger Hinweis

Für den Nachweis der zulässigen Flächenpressung auf dem gedämmten Flachdach ist die Wärmedämmung der Schwachpunkt und damit maßgebend. Die zulässige Belastbarkeit der Wärmedämmung ist für wechselnde Dauerbelastung wesentlich geringer als der Normwert Druckspannung bei 10 % Stauchung (DIN EN 826). Im Datenblatt ist häufig nur der Normwert angegeben. Die maßgebende zulässige Belastung ist beim Dämmstoffhersteller zu erfragen. Beim Nachweis der Flächenpressung unter der Grundschiene/Auflagerplatte des Montagesystems ist – neben der zusätzlich erforderlichen Auflast – auch die Schneelast zu berücksichtigen. Bei Überschreitung der Auflagerpressung sind gegebenenfalls zusätzliche oder breitere Grundschiene/Auflagerplatten auf die Dachabdichtung zu verlegen, sodass die zulässige Flächenpressung eingehalten wird.“

Dieser Abschnitt aus [VDI 6012-1.4:2016-01] bezieht sich im Wesentlichen auf Dämmstoffe aus Mineralwolle, deren Festigkeit bei häufiger Begehung deutlich nachlässt. Insbesondere bei der Montage der Anlage muss dabei auf entsprechende – ggf. temporär zu verlegende – Lastverteilung geachtet werden. Bestehende Dachflächen weisen in der Regel keine unterschiedlich widerstandsfähigen Dämmplatten auf. Bei neu geplanten Dächern können im Bereich von Montagewegen auch Dämmplatten eingebaut werden, die eine höhere Widerstandskraft gegen wechselnde Druckbeanspruchung aufweisen. Gegebenenfalls sollten diese Bereiche auf der Dachhaut dauerhaft gekennzeichnet werden. Inwieweit eine Dauerbelastung von ballastarmen Systemen durch erhöhte Punktbelastungen bei Schneelagen zu einer Festigkeitsminderung führen kann, ist bei den Herstellern zu erfragen, soweit das eingebaute Material bekannt ist.

Das Kap. 7.5.2 „Fixierung mit Dachdurchdringung“ der VDI 6012-1.4 widmet sich der direkten Befestigung wie folgt:

„Die Durchdringung der Dachhaut mit Stützfüßen, Flachdachstützen (siehe Abschnitt 6.2) oder ähnlichen Verankerungselementen kann eine Gefährdung der Dichtigkeit der Dachhaut sowie eine Gefährdung der statischen Tragfähigkeit beinhalten. Die Lebensdauer von Dächern mit Bitumenbahnen liegt in der gleichen Größenordnung wie die der Solaranlage, das heißt, im Rahmen der Installation der Solaranlage muss in der Regel auch eine Erneuerung oder Sanierung der Dachhaut erfolgen.“

Hierbei ist darauf hinzuweisen, dass die Befestigungselemente ebenfalls statisch bemessen werden müssen und die Eindichtung durch Dachdecker erfolgen muss. Dann kann davon ausgegangen werden, dass die Gefährdung der Funktionstüchtigkeit des Dachaufbaus nicht größer ist, als wenn die Anlagen ohne die Mitwirkung von Statikern oder Dachdeckern auf der Dachhaut aufgestellt werden. Gerade bei direkt befestigten Systemen kann ein deutlicher Abstand der Anlagen von der Dachhaut erreicht und die Wartbarkeit der Dachhaut sichergestellt werden.

6.2 Wärmeschutz

6.2.1 Energieeinsparverordnung

Gemäß [EnEV 2014] ist, wie auch in den vorangegangenen Verordnungen, bei einer Erneuerung der Dachabdichtung, sofern die neu aufgetragenen Schichten alleine als vollständige Dachabdichtung gelten können, ein bestimmter Wärmeschutzstandard herzustellen. Aktuell ist der Wärmedurchgangskoeffizient U auf einen Wert von $0,20 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ (bei Wohngebäuden und Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von mindestens $19 \text{ }^\circ\text{C}$) bzw. $0,35 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ (bei Wohngebäuden und Zonen von Nichtwohngebäuden von $12 \text{ }^\circ\text{C}$ - $19 \text{ }^\circ\text{C}$) zu begrenzen. Ausnahmen beziehen sich auf Gebäude, die nach dem 31. Dezember 1983 bereits nach energiesparrechtlichen Regelungen gedämmt wurden. Ist eine entsprechende Erneuerung vor Aufstellung der Solaranlage erforderlich, sind also ggf. weitere Dämmschichten einzubauen.

6.2.2 DIN 4108-10: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Anforderungen an Wärmedämmstoffe

In der aktuellen Neufassung von [DIN 4108-10:2015-12] wurde im Kapitel „4.1. Anforderungen – Allgemeines“ Folgendes aufgenommen:

„Bei dynamischer und/oder ruhender kurzzeitiger Belastung der Dachhaut (z. B. im Zuge von Wartungsarbeiten oder bei der Installation von Anlagen zur solaren Energieerzeugung) ist die Dickenverminderung der Dämmschicht zu begrenzen. Ist aus konstruktiven- oder wärmeschutztechnischen Gründen z. B. eine Dickenverminderung von maximal 2 % zulässig, ist abweichend von den Mindestanforderungen die Druckspannung des Dämmstoffs bei 2 % Stauchung nach DIN EN 826 für die Bemessung heranzuziehen.“

In Tabelle 2 der Norm werden bei den „Differenzierungen von bestimmten Produkteigenschaften“ als Beispiel für die Anwendung eines Dämmstoffs mit hoher Druckbelastbarkeit (Kurzzeichen dh) die Fälle „Genutzte Dachflächen, Terrassen, Flachdächer mit Solaranlagen“ aufgezählt.

Ob sich aus diesen Formulierungen ein Zwang ableiten lässt, für die Aufstellung von Solaranlagen auf nicht genutzten Dachflächen grundsätzlich Dämmstoffe zu verwenden, die hoch druckbelastbar sind, wird die Diskussion zeigen. Insbesondere aufgrund der aktuellen Entwicklung, dass Solaranlagen vermehrt als ballastoptimierte Systeme aufgestellt werden, scheint die Anforderung übertrieben zu sein. Die Anforderung, hohen und häufigen Druckbelastungen entgegenwirken zu können, ist in erster Linie bei der Montage (wie allerdings auch der De- und Remontage) gefragt. Für diesen Zeitraum können auch lastverteilende Schichten auf der Abdichtung eingebaut werden, die gleichzeitig auch einen mechanischen Schutz der Abdichtung bieten. Insbesondere gilt dies für Bestandsdächer. Ein Austausch von ganzen Schichtpaketen aufgrund einer geringen Druckfestigkeit ist nicht sinnvoll, wenn die Belastung aus der Solaranlage so gering ist, dass auch die übliche Druckfestigkeit die zu erwartenden Lasten auf Dauer aufnehmen kann.

6.3 Abdichtungen

6.3.1 Abdichtungsnormen DIN 18195 und DIN 18531

Flachdächer wurden in den Abdichtungsnormen bislang in genutzte Dächer und nicht genutzte Dächer unterteilt. In der [DIN 18195] wurden Regelungen bezogen auf genutzte Dächer und in [DIN 18531] Regelungen für nicht genutzte Dächer formuliert. Die Aufstellung von Solaranlagen wurde in keinem der beiden Regelwerke explizit benannt. Ein Grund dafür war auch, dass die Zuordnung, ob Dächer mit Solaranlagen zu genutzten oder nicht genutzten Dächern zu zählen sind, nicht in allgemeiner Übereinstimmung festgelegt werden konnte.

Die Neugliederung der Abdichtungsnormen wird dazu führen, dass Dächer mit Solaranlagen eindeutig in der neuen DIN 18531 geregelt werden, die zukünftig sowohl für genutzte als auch nicht genutzte Dächer gelten soll.

6.3.2 Entwurf DIN 18531

Die Entwurfsfassung der neuen DIN 18531 war zum Abschlusszeitpunkt des vorliegenden Berichts noch nicht veröffentlicht.

In der Diskussion im Normenausschuss lautet die Zielrichtung, Solaranlagen als Sondernutzung zu definieren. Es wird von einer hohen mechanischen Belastung der Dachhaut ausgegangen. Dachflächen mit Solaranlagen sollten der höheren Zuverlässigkeitskategorie (K2) zugeordnet werden.

Es wird ein eigenständiges Kapitel zu Solaranlagen geben. Darin ist zurzeit der Passus enthalten, dass

„die Abdichtung ... nicht zur lastabtragenden Befestigung, z. B. durch adhäsive Verbindungen wie Kleben oder Schweißen von Solaranlagen, genutzt werden“ darf.

Vom Planer ist

„eine Bewertung der Funktionstüchtigkeit der Dachkonstruktion/des Dachaufbaus bzw. Abdichtung im Hinblick auf die geplante Nutzungsdauer der Anlage vorzunehmen, ggf. ist die Abdichtung bei Dächern im Bestand zu erneuern.“

Zurzeit sind folgende Formulierungen für die Planung von Solaranlagen vorgesehen:

„Für die Planung sind neben der Lagesicherung insbesondere folgende konstruktive Voraussetzungen zu prüfen bzw. zu beachten.

- Die Tragfähigkeit der Unterkonstruktion ist im Hinblick auf die systembedingten Zusatzlasten zu prüfen.*
- Bei aufgelegten und mit Auflast gesicherten Solaranlagen ist die Druckbelastbarkeit des Dachaufbaus, insbesondere der Wärmedämmschicht, und ein geeigneter Kantenschutz der Anlagenunterkonstruktion zur Abdichtung zu beachten.*
- Bei aufgelegten Solaranlagen mit punkt- oder linienförmiger Druckbelastung auf die Abdichtung ist dafür Sorge zu tragen, dass die Druckkräfte durch den Schichtenaufbau in die tragenden Bauteile abgeleitet werden können und die Abdichtung nicht beschädigt wird.*
- Der Planer muss festlegen, welche Schutzschichten, Schutzlagen oder Schutzmaßnahmen zum Schutz der Abdichtung, z. B. während der Montage und zur späteren Wartung und Instandhaltung, vorzusehen sind.*

- Um ein Anstauen von Niederschlagswasser, z. B. bei auf der Dachfläche aufgebrachten Schienensystemen und Kabelführungen zu vermeiden, sind konstruktive Voraussetzungen für eine funktionierende Entwässerung zu planen.
- Werkstoffe einer Solaranlage, die im direkten Kontakt mit der Abdichtung sind, müssen mit der Abdichtung verträglich sein.
- Bewegungsfugen, Lichtkuppeln, RWA-Anlagen, Sicherheitseinrichtungen und Dachabläufe dürfen nicht mit Solaranlagen überbaut und in ihrer Funktion eingeschränkt werden.
- Bei aufgeständerten Anlagen ist ein Abstand der Solaranlage zur Abdichtungsoberfläche so zu wählen, dass die Abdichtung zu Wartungs- und Instandhaltungszwecken zugänglich ist, alternativ ist auf eine einfache Demontierbarkeit der Solaranlage zu achten.
- Stützen, Kabel, Rohrleitungen und sonstige systembedingte Durchdringungen müssen mit entsprechenden Einbauteilen oder Flanschkonstruktionen so ausgestattet sein, dass die Abdichtung nach DIN 18531-3 angeschlossen werden kann.
- Befestigungen, die der Bewitterung ausgesetzt sind, müssen korrosionsbeständig sein.“

6.3.3 Flachdachrichtlinie 2008

In den aktuellen Flachdachrichtlinie [ZVDH Flachdachrichtlinie 2008] sind speziell zur Aufständigung von Solaranlagen keine Kapitel vorhanden. Die Erfahrungen mit anderen, auf der fertiggestellten Dachfläche noch zu errichtenden technischen Anlagen – wobei es sich meist um Lüftungs- und Klimatechnik handelt – sind allerdings in einige Kapitel eingeflossen, die auch auf Solaranlagen bezogen werden können. Die Flachdachrichtlinie unterscheidet wie die Abdichtungsnormen zwischen genutzten und nicht genutzten Dachflächen. Eine Festlegung, wie ein Dach mit Solaranlage einzuordnen ist, ist in dieser Ausgabe der Richtlinie noch nicht vorhanden.

In Bezug auf die Problematik von indirekt befestigten Solaranlagen können folgende Absätze herangezogen werden:

Kap. 1.4. Gestaltungs- und Planungshinweise

„Auf der Dachabdichtung aufgestellte Aggregate und Anlagen sind so anzuordnen, dass ein ausreichender Abstand für Ausführung, Wartung und Pflege zwischen Anlage und Abdichtung vorhanden ist. Dabei sollte der Mindesthöhenabstand über Oberfläche Belag 0,50 m betragen.“

Dieser Anforderung entsprechen nur relativ wenige Solaranlagen, die direkt befestigt sind, also mit der Unterkonstruktion über eingedichtete Stützen und Verbindungsträger verbunden sind und so die erforderliche Höhe von 50 cm erreichen.

„Um Pflege, Wartung und Instandsetzungsarbeiten vornehmen zu können, sollen bei Dächern mit Abdichtung bereits bei der Planung Maßnahmen zur Absturzsicherung, z. B. Anschlagpunkte, vorgesehen werden. Dabei sind die bauaufsichtlichen Anforderungen der Länder zu berücksichtigen.“

Auch diese Vorgabe wird bei Solaranlagen sehr häufig nicht beachtet: Anschlagpunkte sind häufig nicht vorhanden, obwohl auf den Dächern mehr Pflege-, Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten, noch dazu von Personen, die nicht dem Dachdeckergewerk angehören, erfolgen müssen.

In Kap. 2.1 – Beanspruchung von Dachabdichtungen – wird zwischen einer hohen und einer mäßigen mechanischen Beanspruchung unterschieden. Eine hohe Beanspruchung ist u. a. dann gegeben, wenn

„Beanspruchungen durch Arbeiten auf der Dachabdichtung z. B. bei Extensivbegrünung sowie häufig zu Inspektion oder Wartung von technischen Anlagen begangenen Dachflächen oder -bereichen“

zu erwarten sind.

Die Anordnung einer Solaranlage erfordert also eine Dachabdichtung, die auf eine hohe mechanische Beanspruchung ausgelegt ist.

Außerdem wird im gleichen Kapitel der Flachdachrichtlinie zwischen hoher und mäßiger thermische Beanspruchung unterschieden. Diese ist in erster Linie abhängig vom Oberflächenschutz über der Dachabdichtung:

„Als thermisch hoch beansprucht (Stufe A) gelten Dachabdichtungen ohne Oberflächenschutz oder mit leichtem Oberflächenschutz, die infolgedessen witterungsbedingt starken thermischen Wechselbeanspruchungen ausgesetzt sind.

Als thermisch mäßig beansprucht (Stufe B) gelten Dachabdichtungen unter einer Kiesschüttung, Umkehrdächer und extensiv begrünte Dächer bei denen keine starken Aufheizungen, schnelle Temperaturänderungen oder direkte Witterungsbeanspruchungen auftreten.“

Aus diesen Unterscheidungen ergeben sich Beanspruchungsklassen, für die die verwendeten Bahnen zugelassen sein müssen. Eine nachträgliche Veränderung – z. B. das Weglassen von Kies – kann also zu einer Veränderung des Funktionsaufbaus der Dachabdichtung führen und die eingebaute Dachbahn überlasten.

Grundsätzlich dürfen von der Abdichtung keine horizontalen Kräfte aufgenommen werden. Geringe horizontale Kräfte treten allerdings aus verschiedenen Gründen auf, die benannt werden und denen mit entsprechenden Maßnahmen, die im Folgenden aufgelistet werden, begegnet wird:

In Kapitel 2.6.1 der [ZVDH Flachdachrichtlinie 2008] „Sicherungsmaßnahmen – Maßnahmen zur Aufnahme von horizontalen Kräften“ werden die bereits ohne Kräfte von aufliegenden Anlagen vorhandenen Situationen mit horizontalen Kräften in der Abdichtungsebene genannt:

„bei lose verlegten einlagigen Abdichtungen,

bei Unterkonstruktionen aus Stahltrapezprofilen (außer bei vollflächig verklebtem Schichtenaufbau mit Schaumglas) sowie

bei Dachaufbauten mit leichtem Oberflächenschutz und Wärmedämmstoffen aus Hartschaum, die mit Kaltkleber mit Nachklebeeffekt verklebt sind.“

In diesen Fällen sind – unabhängig von der Gebäudehöhe – folgende Maßnahmen erforderlich:

„In den in (2) genannten Fällen ist die Dachabdichtung an Dachrändern, Anschlüssen an aufgehenden Bauteilen, Bewegungsfugen, Lichtbändern, Lichtkuppeln etc. mechanisch zu befestigen. Diese Befestigungen sind nur dann voll wirksam, wenn sie in oder unmittelbar über der Abdichtungsebene, am Übergang zu senkrechten oder geneigten Flächen, angeordnet und ausgeführt werden. Einbinden oder Einklemmen in höher liegende Randprofile oder unter Randabdeckungen sowie Verklebungen sind keine Befestigungen in diesem Sinne.“

Bei der indirekten Befestigung von Solaranlagen werden die durch die Haftreibung verursachten Horizontalabdichtungen in der Regel nicht planmäßig über entsprechende mechanische Sicherungen der Dachbahn an deren Randanschlüssen abgetragen, sondern durch die Schubfestigkeit der Schichten des Dachaufbaus untereinander. Diese wird je nach Verlegeart der Dachabdichtung unterschiedlich sein: die Schichten sind entweder vollflächig miteinander verklebt oder die Dachabdichtung wird durch mechanische Verankerungen in der Fläche fixiert oder, bei lose aufgelegten Dachbahnen, durch die aufgrund der Auflast bestehende Haftreibung zwischen den Schichten.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Aufstellung von Solaranlagen im Bestand nur in wenigen Fällen den Anforderungen der Flachdachrichtlinie entspricht. Das liegt einerseits daran, dass die Aufstellung häufig ohne Hinzuziehung von Planern oder Dachdeckern erfolgt, und andererseits die Flachdachrichtlinie erst bei der aktuell laufenden Überarbeitung auf die „neue“ Nutzungsart eingehen wird.

6.3.4 Fachregel für Abdichtungen – Flachdachrichtlinie, Entwurfsfassung 2015-07

Die Entwurfsfassung der überarbeiteten Flachdachrichtlinie [ZVDH Flachdachrichtlinie Entwurf 2015] wurde im Juli 2015 vorgelegt. Einsprüche wurden bis Oktober 2015 angenommen. Die Einsprüche werden zurzeit bearbeitet. Daher werden hier nur einige Abschnitte zitiert, die sich aber im Lauf der Diskussion bis zur endgültigen Ausgabe der Flachdachrichtlinie noch ändern können.

Bei den Begriffsdefinitionen erfolgt eine Zuordnung der Solaranlage:

„(1.2.17) Genutzte Fläche

Für den Aufenthalt von Personen oder die Aufstellung von Anlagen vorgesehene Fläche, z. B. Dach mit Solaranlage, Terrasse, Balkon, Laubengang, Loggia“

Unter 1.4 *Gestaltungs- und Planungshinweise* wird auf die Beachtung der Gefällegebung bei der Aufstellung von Solaranlagen hingewiesen:

„(4) Die Gefällegebung ist unter Berücksichtigung von Durchdringungen, Einbauteilen, aufgehenden Bauteilen und Anlagen zu planen. Beim nachträglichen Einbau von Einbauteilen (z. B. Lichtkuppeln) sowie das nachträgliche Aufstellen/Auflegen von Anlagen, insbesondere Solaranlagen, muss dieser Einfluss auf die Entwässerung aller Flächen in die Planung einbezogen werden.“

Außerdem wird der sinnvolle Abstand von Anlagen über der Dachabdichtung wie in der zurzeit gültigen Fassung beschrieben:

„(11) Auf der Abdichtung aufgestellte Aggregate und Anlagen sind so anzuordnen, dass ein ausreichender Abstand für Ausführung, Wartung und Pflege zwischen Anlage und Abdichtung vorhanden ist. Dabei sollte der Mindesthöhenabstand über Oberfläche Belag 0,50 m betragen.“

Hierbei ist darauf hinzuweisen, dass sich diese Forderung nicht explizit auf Solaranlagen bezieht, sondern in erster Linie aus der Erfahrung mit der Aufstellung gebäudetechnischer Anlagen auf Flachdächern beruht, die üblicherweise unabdingbar zur Funktion des Gebäudes beitragen und nicht ohne weiteres wieder abgebaut werden können.

Es wird in diesem Zusammenhang auch auf die Horizontalbelastung der Abdichtung hingewiesen:

„(13) Auf der Abdichtung aufgestellte Anlagen und Aggregate dürfen keine horizontalen Kräfte (Schub- oder Scherkräfte) in die Abdichtung einleiten.“

Dieser Absatz bezieht sich zumindest auch auf Solaranlagen, insbesondere auf indirekt befestigte Systeme, und steht damit eindeutig im Widerspruch zu dieser häufigsten Einbauart.

Im Kapitel 2.4. „Oberfläche der Abdichtung“ wird auf Nutzschichten eingegangen:

„(4) Nutzschichten dürfen nicht im Verbund mit der Abdichtung stehen. Dies gilt nicht für Abdichtungen von Balkonen, Loggien und Laubengängen mit Flüssigkunststoffen.“

Diese Forderung ergibt sich entsprechend aus dem vorherigen Zitat und zeigt, dass die für die Funktionstüchtigkeit der Abdichtung verantwortlichen Hersteller und Verarbeiter von Dachbahnen sehr darauf achten, dass die Kräfte, die auf die Abdichtung einwirken, kontrollierbar und beherrschbar bleiben. Das ist aus der Erfahrung der Dachdecker offenbar nicht der Fall, wenn Schichten oberhalb der Abdichtung mit dieser verklebt werden.

Diese Forderung steht damit eindeutig im Widerspruch zu Systemen, die zur Lagesicherung mit der Dachhaut verklebt werden.

Im Kapitel 3.4 Wärmedämmung wird auf Folgendes hingewiesen:

„(7) Wärmedämmstoffe aus Mineralwolle nach DIN EN 13162 mit einer Druckfestigkeit/-spannung von mindestens 70 kPa bei 10 % Stauchung sind bei genutzten Dachflächen zur Wärmedämmung geeignet, bei denen die Nutzung ausschließlich aus Solaranlagen oder anderweitigen technischen Anlagen besteht. Oberhalb der Wärmedämmung/Abdichtung muss eine lastverteilende Schicht angeordnet werden. Lastverteilende Schichten oberhalb der Wärmedämmung sind bereits bei der Montage der Solaranlage bzw. technischen Anlage erforderlich.“

Die Anforderung an die Druckstabilität des Dämmstoffs wird also erhöht. Bislang ist die Verwendung von Mineralwollgedämmschichten mit einer Druckspannung bei 10 % Stauchung von 60 kPa die Regel gewesen. Bei der nachträglichen Aufstellung auf Bestandsdächern wird von diesem Wert, der bei der Anlieferung vorliegen muss, und einer entsprechenden Reduzierung durch die mechanische und ggf. durch Feuchtebelastung auszugehen sein. Mit der Erhöhung der Druckstabilität bei geplant mit Solaranlagen zu versehenen Dächern wird die Gebrauchstauglichkeit der Dachflächen sicherlich erhöht werden.

Im Kapitel 3.6 Abdichtung wird deutlich, dass, obwohl die Solaranlagen zukünftig den genutzten Dächern zugeordnet werden sollen, die Belastungen an Abdichtung und Wärmedämmung immer noch deutlich geringer sein werden als bei bislang darunter fallende Nutzungsarten:

„(6) Bei intensiv begrüntem, befahrenen und genutzten Flächen, mit Ausnahme von Dachflächen mit Solaranlage, müssen alle An- und Abschlüsse und Durchdringungen der Abdichtung gegen mechanische Beschädigung z. B. mit Abdeck- oder Schutzblechen geschützt werden.“

Gleichwohl muss natürlich auch bei der Montage einer Solaranlage darauf geachtet werden, dass die Anschlüsse der Abdichtung nicht beschädigt werden. Daher ist bei der Abnahme der Solaranlage auch die Unversehrtheit der Anschlüsse zu überprüfen, ggf. in Zusammenarbeit mit dem Dachdecker.

Im Übrigen sieht auch der aktuelle Entwurf der Flachdachrichtlinie keinen Hinweis auf besondere Vorkehrungen im Hinblick auf die Aufstellung von Solaranlagen vor.

6.3.5 ZVDH Merkblatt: Solaranlagen auf Dächern

Zur neuen Dachnutzung der Aufstellung von Solaranlagen hat der Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerks (ZVDH) erstmalig 2001 das Merkblatt [ZVDH Merkblatt Solartechnik 2001] herausgebracht. Es wurde im Jahr 2011 überarbeitet und als Merkblatt [ZVDH Merkblatt Solartechnik 2011] herausgegeben.

Die Erfahrungen mit „Fremdgewerken“ führten zur Empfehlung, die Montagearbeiten vom Dachdeckergewerk ausführen zu lassen. Unter Punkt 1.4 – *Planungshinweise* – wird gefordert:

„(2) Im Rahmen der Gewährleistung für die Funktionsfähigkeit des Daches und aller seiner Funktionsschichten sollten die Montagearbeiten von einem für Dacharbeiten im Sinne der Handwerksordnung zugelassenen Fachbetrieb ausgeführt werden.“

Diese Forderung kommt häufig nicht zur Anwendung. Die Aufsteller haben offenbar häufig nur geringe Kenntnisse über Aufbau, Wirkungsweise und die Beeinträchtigungen des Dachaufbaus. Kommt es infolgedessen zu Schäden, sehen sie sich möglicherweise mit umfangreichen Gewährleistungsansprüchen konfrontiert. Die Abgrenzung der Mängel oder Schäden von ggf. bereits vor der Montage vorliegenden Zuständen ist oft schwierig, da die dachfremden Aufsteller den ursprünglichen Zustand nicht beurteilen können und eine entsprechende Untersuchung des Ist-Zustands vor ihren Arbeiten nicht vorliegt.

Dazu kommt, dass auch Herstellerhinweise, die Bezug zum speziellen Dachaufbau nehmen, nicht umgesetzt werden. Daher wurde die Forderung aufgestellt:

„(4) Die Montagevorschriften des Solaranlagenherstellers müssen beachtet werden.“

Wie einige Schadensfälle zeigen, von denen oben berichtet wurde, wird auch dagegen häufig verstoßen.

„(7) Bei nachträglichem Ein- bzw. Aufbau einer Solaranlage in, über oder vor die bestehende Dach- bzw. Wandfläche sind die Anforderungen der Dachdeckung, Dachabdichtung oder Außenwandbekleidung nach dem Regelwerk des Deutschen Dachdeckerhandwerks zu beachten. Insbesondere müssen der Wärmeschutz und die Tragfähigkeit geprüft werden.“

Der Zustand der vorhandenen Dachdeckung, Dachabdichtung oder Außenwandbekleidung soll berücksichtigt werden.“

Damit ist gemeint, dass die aufgelagerten Aggregate weder zu einer Zusammenpressung der vorhandenen Wärmedämmung noch zur Überlastung der Dachabdichtung führen dürfen. Die Zustandsüberprüfung des vorhandenen Untergrunds ist nicht nur im Hinblick auf Gewährleistungsverpflichtungen des Aufstellers, sondern auch im Sinne der Wirtschaftlichkeit der Anlage und der Vermeidung der Demontage der Solaranlage zum Zwecke von Instandsetzungsarbeiten dringend angeraten. Dies wird auch in Absatz 2.4 – *Bestehende Deckung* – zum Ausdruck gebracht:

„Bestehende Dachdeckungen, Dachabdichtungen und Außenwandbekleidungen sind auf Funktionalität, Beständigkeit und Eignung bzgl. der zu erwartenden Lebensdauer bei aufgeständerten Solaranlagen zu überprüfen.“

Die unterschiedliche Einbauarten auf Flachdächern werden in Kap. 3.3 beschrieben. Dort ist ausgeführt:

„(1) Die Energiegewinnungsflächen können auf bauseits vorhandenen und in die Dachabdichtung eingebundenen Sockel oder Stützen angebracht werden.“

(2) Außerdem können sie auch freistehend auf lastverteilende Unterlagen aufgestellt werden. Diese Unterlagen können z. B. Wannen sein, die mit Auflast (z. B. Kies oder Plattenbelag) beschwert werden. Generell sind erforderliche Schutzlagen für Dachabdichtungen (s. „Fachregel für Abdichtungen“) unter den Solaranlagen vorzusehen. Die statische Belastbarkeit der Tragkonstruktion und des Dachaufbaus (Druckfestigkeit der Wärmedämmung u. a.) ist zu beachten.“

(3) Die Aufständering dient der Aufnahme, Ausrichtung und Neigungsgebung der Solaranlage. Somit können diese auch optimiert nachgeführt werden.“

(4) Bei aufgeständerten Energiegewinnungsflächen muss die Funktionsfähigkeit der darunter liegenden Dachabdichtung gewährleistet sein. Ein Anstauen von Niederschlagswasser ist zu vermeiden.“

Mit dem Begriff der „Aufständering“ ist hier die indirekte Befestigung gemeint. Neben der in (1) beschriebenen direkten Befestigung ist nach dem Merkblatt auch die in (2) beschriebene indirekte Befestigung möglich. Probleme mit dem Aufbringen von horizontalen Lasten in die Dachabdichtung werden hier noch nicht thematisiert, weil offenbar davon ausgegangen wurde, dass die ballastierten Systeme keine nennenswerten Horizontallasten auf die Dachabdichtung übertragen.

Wichtig ist der Hinweis in (4), dass das Anstauen von Niederschlagswasser zu vermeiden ist. Das kann sich sowohl auf lokale Pfützenbildung durch das Einsinken von Auflagern, als auch auf den Aufbau von Anlagenteilen quer zur Fließrichtung des Niederschlagswassers beziehen.

Im Merkblatt wird auch auf Metaldächer eingegangen. Im Kap. 3.5 „Solaranlagen auf Metaldächern“ ist aufgeführt:

- „(1) Die berechnete Anzahl Haffe pro m² berücksichtigt die bei Metalldeckungen auftretenden Lasten ohne die durch Solaranlagen zusätzlich auftretenden Lasten. Sind weitere einwirkende Kräfte zu berücksichtigen, z. B. nachträglicher Einbau von Solaranlagen, ist ein Nachweis zu führen.
- (2) Die Befestigung von Solaranlagen an Metalldeckungen muss statisch geprüft und der Kraftverlauf bis in die Tragkonstruktion nachgewiesen werden.
- (3) Der Mindestabstand begründet sich durch die anlagenspezifisch erforderliche Hinterlüftung.
- (4) Bei Metalldeckungen in Stehfalztechnik ist als Bezugsebene die Wasser führende Ebene anzusehen. Zu unterscheiden sind:
- selbsttragende Metalldeckungen
 - nicht selbsttragende Metalldeckungen“

Wichtig sind die Hinweise zur Lastabtragung, die nachgewiesen werden muss und sich nicht auf die vorhandenen Befestigungselemente beschränken darf. Der Mindestabstand zwischen Anlagenteilen und Deckmaterial bezieht sich offensichtlich nicht auf Anforderungen an die Dachdeckung, sondern auf die Effektivität der Solaranlagen, die bei geringer Hinterlüftung abnimmt. Der geforderte Abstand von 60 mm sollte aber auch allein deswegen eingehalten werden, um den Zwischenraum inspizieren zu können, um Fremdkörper und Verschmutzungen erkennen und entfernen sowie die Oberfläche des Deckungsmaterials wenigstens grundsätzlich inspizieren zu können, wenn auch mit hohem Aufwand.

6.3.6 Abc der Bitumenbahnen

Auch in den technischen Regeln der Bitumenbahnhersteller [vdd 2012] wird explizit auf das Verbot der Übertragung von Horizontallasten auf die Dachbahn hingewiesen. In Kap. 3.1.1 (13) wird dazu ausgeführt:

„Der Abdichtung darf keine Übertragung von planmäßigen Kräften parallel zu ihrer Ebene zugewiesen werden. Dies gilt auch für den Nachweis der Standsicherheit, z. B. von aufgeständerten Solaranlagen.“

6.3.7 Merkblatt Solar – Technisches Merkblatt für Dachabdichtungen mit Bitumenbahnen bei Beanspruchung durch Solaranlagen

Das Merkblatt [vdd 2013] legt seinen Schwerpunkt auf die Funktionstüchtigkeit der Dachabdichtung bei der Montage von Solaranlagen auf Flachdächern.

Vor der Montage einer Solaranlage sollte demnach die Dachabdichtung überprüft werden. Es wird empfohlen, dass eine zu erwartende Restnutzungsdauer der vorh. Abdichtung von mind. 20 Jahren gegeben ist, damit diese der Standzeit der Solaranlage entspricht. Es wird darauf hingewiesen, dass bei der Bewertung der Abdichtung berücksichtigt werden muss, dass diese im Rahmen der Montagearbeiten zusätzlich z. B. durch Begehen beansprucht wird.

Im Kapitel „Planungsgrundsätze“ werden u. a. folgende Hinweise formuliert:

- „(9) Dachabdichtungen dürfen nicht zu Befestigung (z. B. durch Verkleben) von aufgeständerten oder aufgestellten Solaranlagen genutzt werden. [...] Sofern horizontale Kräfte abgetragen werden müssen, ist durch Anordnung von Widerlagern, Ankern, Bewehrung oder durch andere konstruktive Maßnahmen dafür zu sorgen, dass Bauteile auf der Dachabdichtung nicht gleiten oder ausknicken.
- (11) Der Anschluss der Dachabdichtung an Durchdringungen und Befestigungen ist stets aus der wasserführenden Ebene herauszuführen. Dies gilt auch für Verkabelungen und Verrohrungen. Dabei sind die im Regelwerk definierten Anschlusshöhen einzuhalten. Bei Anschlüssen an Klebe- oder Klemmflansche müssen diese ausreichend dimensioniert sein.
- (18) Alle Teile einer Solaranlage müssen aufeinander abgestimmt und die Werkstoffe untereinander und

mit der Dachabdichtung bzw. dem Dachaufbau verträglich sein. Dies gilt nicht nur während der Montage sondern auch in der Betriebsphase, z. B. beim Reinigen der Module.“

Ein weiteres Kapitel behandelt „*Besondere Hinweise beim Bauen im Bestand*“. Dort wird u. a. aufgezählt, dass der Dachaufbau inkl. der Abdichtung vor der Installation fachkundig geprüft werden soll, dass im Falle einer erforderlichen Instandsetzung die Maßnahmen, die im Rahmen der Solaranlagen-Montage erforderlich werden mit der Sanierung abgestimmt sein müssen und dass der Einbau einer neuen Dämmung auch über die Vorgaben der gültigen EnEV hinaus empfehlenswert ist.

6.3.8 DUD Fachinformation Photovoltaik

In [DUD-Fachinformation Photovoltaik, 2012] sind wesentliche Aspekte und Voraussetzungen für die Errichtung von Solaranlagen auf Flachdächern veröffentlicht worden. Die Fachinformation richtet sich an die sog. „*Ausführenden*“, also Bauherren/Investoren und Betreiber, Planer/Architekten sowie Hersteller von Produkten für Solaranlagen und an die Errichter von Solaranlagen auf Dächern mit Abdichtungen. Nach einer Übersicht zu den Montagearten auf Flachdächern wird die Planung, Errichtung und der Betrieb behandelt.

Vor der Montage sollte der Zustand der Dachfläche zusammen mit einem Dachdecker in einem Begehungsprotokoll festgehalten werden. Nach Fertigstellung der Solaranlage wird eine weitere Begehung empfohlen, wobei evtl. notwendige Reparaturen und der Zustand nach der Montage protokolliert werden sollen.

Zur Optimierung der Montage der Solaranlage wird empfohlen, geeignete Abladepunkte für die Materialanlieferung/Lagerung und die Montagefolge schon in der Planungsphase festzulegen.

Besonders ist auf die Checkliste hinzuweisen, die die Verantwortlichkeiten der Beteiligten festlegen soll. Mit dieser sollen vor Planung und Ausführung folgende Fragen geklärt werden:

- „- Wer ist für die Planung der Standsicherheit der Solaranlage und die Beurteilung der Aufnahme der zusätzlichen Lasten im Gebäude verantwortlich?*
- Wer stellt die Solaranlage auf dem Dach auf?*
- Wer schließt die Solaranlage an die Gebäudetechnik an?*
- Wer benennt die zu beachtenden Punkte für die Dachabdichtung und begleitet deren Umsetzung?*
- Wer dokumentiert die Begehungen/Abnahmen?*
- Die zeitliche Koordination der einzelnen Beteiligten auf dem Dach, insbesondere der ausführenden Gewerke, ist durchzuführen (Abnahme der Dachfläche vor Beginn der Dacharbeiten, Materialanlieferungen auf die Dachfläche, Montage/Aufstellung/Anschluss der Solaranlage, Abnahme der Dachfläche nach Errichtung der Solaranlage).“*

Diese Punkte wurden in die Empfehlungen in Kapitel 13 des vorliegenden Forschungsberichts aufgenommen.

In der Fachinformation der Hersteller von Kunststoff- und Elastomerbahnen findet sich kein Hinweis auf typische Unverträglichkeiten zwischen den üblichen Schutzlagen und den verschiedenen Dachbahnmaterialien. Es wäre wünschenswert, dass diese dringend notwendigen Hinweise in einer Überarbeitung sind.

6.4 Metaldächer

6.4.1 IFBS-Metallbau

Im Merkblatt [IFBS 2012] werden Hinweise in Bezug auf Gewährleistung, Prüfung und Bestandsaufnahmen, Lastannahmen, Befestigungssysteme, zum Korrosionsschutz und zu Materialverträglichkeiten, zu Reparaturmaßnahmen und zur Veränderung der Dachbelastung durch Schnee- und Eismassen aufgeführt.

In Bezug auf die Auflagerung von Solaranlagen auf Metaldächern sind dort z. Z. die umfangreichsten Regeln aufgestellt.

Im Rahmen des vorliegenden Berichts wird hierauf nicht weiter eingegangen, weil Schadensfälle bei Blechdächern in der Umfrage deutlich seltener thematisiert wurden.

6.5 Sonstiges

6.5.1 RAL Solarenergieanlagen

In [RAL GZ 966 Solarenergieanlagen 2008] wird unter Punkt 2.1.4 darauf hingewiesen, dass bereits im Erstkundengespräch nach dem Alter und der Gebrauchstauglichkeit der Dachhaut gefragt werden muss. Es wird empfohlen,

„eine Dachdeckerfirma hinzuzuziehen, die das bestehende Dach auf seine Gebrauchstauglichkeit hin überprüft.“

Unter „Sonstiges“ in Kap. 2.1.9 der Veröffentlichung wird als erster Auflistungspunkt *„Aussagen zur Tragfähigkeit der Dachkonstruktion“* aufgeführt.

Im Rahmen der Ausführungsplanung sollen gemäß 2.2.3 Dachpläne gezeichnet werden, die auch *„Abmessungen und Lage von Dachaufbauten, Fenstern, Schornsteinen etc.“* beinhalten. Nach 2.2.4 ist die Tragfähigkeit der Dachkonstruktion nachzuweisen. Dabei sei

„nicht nur die Eigenlast des PV-Generators (bestehend aus Modulen und Montagesystemen) zu berücksichtigen, sondern auch die Einleitung von Schnee und Windlasten in die Dachkonstruktion (z. B. erhöhte Belastung der zur Befestigung genutzten Sparren und Pfetten, wenn die Dachhaken nur auf jedem/jeder zweiten montiert werden).“

Für Dachdurchdringungen wird in 2.2.13 und 2.2.14 auf das Regelwerk des Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerks – Fachverband Dach-, Wand- und Abdichtungstechnik (ZVDH) verwiesen:

„Für die Montagearbeiten auf dem Dach empfiehlt es sich, eine Dachdeckerfirma hinzuziehen.“

Im Abschnitt *„Besondere Güte- und Prüfbestimmungen für die Ausführung photovoltaischer Anlagen RAL GZ 966 (P3)“* ist unter 2.1.1. *„Vorbereitung von Installations- und Ausführungsmaßnahmen“* aufgeführt: a) Im Dachplan seien mindestens aufzunehmen: *„Lage, Anordnung und Maße der Dachflächen(n), der Anlage(n) und der Dachaufbauten (Gauben, Erker, Fenster, Schornsteine, Antennen); f): „Die Statik des Daches und die Standsicherheit des PV-Generators müssen gewährleistet sein.“ g): „Eine Prüfung der Bausubstanz, des Daches auf Sanierungsbedarf hat vor Baubeginn zu erfolgen. Die Ergebnisse der Prüfung sind zu dokumentieren.“*

Im Kapitel 2.1.16 *„Regensicherheit und Dachdichtigkeit“* wird u. a. ausgeführt:

„a) Dachdurchdringungen, z. B. bei der Verankerung des Montagesystems oder bei Leitungsdurchführungen, müssen fachgerecht abgedichtet werden. Dies gilt sowohl für Unterspannbahnen, Unterdeckungen oder Unterdächer bei Schrägdächern als auch für die Dachhaut bei Flachdächern. Der Eingriff in die Wärmedämmung ist auf ein Minimum zu reduzieren.“

- c) Leitungsdurchführungen (Lüfterziegel, Ziegelzuschnitt), wie Durchführung Wärmedämmung, Flachdach, sind fachgerecht auszuführen.“

Im Teil 4 zum Betrieb photovoltaischer Anlagen werden keine Forderungen zur Kontrolle der Dachhaut aufgestellt

6.5.2 DGV Information zur Montage und Instandhaltung von Photovoltaik-Anlagen, 2015

Die Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V. (DGUV) hat eine Informationsschrift zum Thema „Montage und Instandhaltung von Photovoltaik-Anlagen“ herausgegeben [DGV Information 203-080 2015], die bei der Errichtung und Montage/Demontage sowie bei Betrieb, Wartung und Prüfung von Photovoltaik-Anlagen Anwendung findet. Die werkseitige Herstellung von Teilen und Komponenten, der Transport dieser Teile und Komponenten zum Anlagenaufbauort sowie Nebenarbeiten, wie z. B. der Gerüstbau, werden nicht behandelt.

Zum Thema der Gefährdungsbeurteilung findet man folgenden Hinweis:

„Grundlegend muss für diese Tätigkeiten eine Gefährdungsbeurteilung erstellt und dokumentiert werden. Weitergehend ist eine Unterweisung der Beschäftigten notwendig. Häufig werden Arbeiten in Zusammenarbeit mehrerer Unternehmen durchgeführt bzw. werden Fremdunternehmen beauftragt. In diesen Fällen obliegt die Verantwortung für die Durchführung der Gefährdungsbeurteilung und Unterweisung in erster Linie demjenigen Unternehmen, welches die Tätigkeiten ausführt. (...) Bei Auftragserteilung durch eine Privatperson obliegt der wesentliche Teil der Organisationsaufgaben beim Auftragnehmer. Dieses entbindet den Auftraggeber nicht von seiner eingeschränkten Mitwirkungspflicht, z. B. bei Besonderheiten in der Dachkonstruktion, Alter der Dacheindeckung usw.“

Das Merkblatt beschreibt Maßnahmen, die in den Verantwortungsbereich der Auftraggeber bzw. des Auftragnehmers/Montagebetriebes fallen. Hierzu gehören neben organisatorischen auch Maßnahmen zur Verkehrssicherung, zur Sicherung für elektrotechnische Arbeiten sowie zur Wirksamkeitskontrolle der Schutzmaßnahmen.

Im Abschnitt „Gefährdungen und Schutzmaßnahmen“ werden u. a. Anforderungen beschrieben, damit sicheres Arbeiten auf Dächern möglich ist. Es wird auf die Vorschriften 38 und 39 der DGUV verwiesen, demnach sind ab einer Gebäudehöhe von 2,00 m Absturzsicherungen (Geländer, Abdeckungen von Lichtkuppeln, etc.) erforderlich. Falls diese nicht umgesetzt werden können, müssen stattdessen Auffangeinrichtungen (Schutznetz, Schutzwand, Fanggerüst, etc.) vorgesehen werden. Erst als Mittel letzter Wahl werden Anschlagseinrichtungen (Anseilschutz an Anschlagpunkten, PSAgA) beschrieben.

Auf diese Sicherungsmaßnahmen darf nur verzichtet werden, wenn die Dachfläche weniger als 20° Neigung aufweist und in mind. 2,00 m Abstand zu den Absturzkanten feste Absperrungen vorhanden sind. Besteht die Gefahr, dass man durch Bauteile (z. B. Lichtkuppeln, Lichtbänder, Glasdächer, Wellplatten aus Faserzement, etc.) ins Gebäudeinnere stürzen kann, werden zusätzliche Maßnahmen erforderlich. Wurden durchsturzsichere Wellplatten eingebaut, erkennt man dies an der oberseitigen Prägung „DS“; das Kürzel „AF“ weist auf eine asbestfreie Platte hin.

Auch der Zugang zur Dachfläche und der Materialtransport auf die Dachfläche werden detailliert behandelt, ebenso wie elektrische Gefährdungen.

Weiterhin ist im Merkblatt ein Hinweis darauf enthalten, dass Abbrucharbeiten an asbesthaltigen Produkten gemäß Gefahrstoffverordnung zu erfolgen haben und dass weder auf der Unterkonstruktion befestigte noch auf die Dachfläche aufgestellte Solaranlagen auf asbesthaltigen Dächern zulässig sind.

Zum Thema der Schneeräumung findet man folgenden Hinweis:

„Müssen PV-Anlagen von Schnee geräumt werden, dürfen diese Konstruktionen nur dann betreten werden, wenn sichergestellt ist, dass die Tragfähigkeit der gesamten baulichen Anlage gewährleistet ist. Bei

der Schneeräumung besteht die besondere Gefahr des Durchsturzes, da nicht trittsichere Bereiche [...] nur schwer erkannt werden können, wenn sie schneebedeckt sind.“

6.5.3 DIN 4426: Einrichtungen zur Instandhaltung baulicher Anlagen

Die Norm DIN 4426 ist im Dezember 2015 als überarbeiteter Entwurf erschienen [E DIN 4426:2015-12] und enthält sicherheitstechnische Festlegungen und *„ist eine Grundlage für eine auf dem Stand der Technik basierenden Planung projektbezogener Sicherungssysteme für die Instandhaltung baulicher Anlagen und für die Ausschreibung und Vergabe von Bauleistungen“*. Gegenüber der Norm mit Erscheinungsdatum von Dezember 2013 wurde ein neuer Abschnitt zu *„Einrichtungen zum Schutz gegen Absturz bei Tätigkeiten auf Dächern mit Festlegungen zu Solaranlagen und Dachbegrünungen“* eingefügt.

Es wird in [E DIN 4426:2015-12] u. a. beschrieben, welche Anforderungen grundsätzlich an Dächer gestellt werden. So sind z. B. auf nicht durchtrittsicheren Dächern Verkehrswege im Arbeitsbereich vorzusehen. Neben grundsätzlichen Anforderungen findet man in der Norm auch Anforderungen an Flachdächer und Dächer mit einer Neigung bis 10°, betretbare Glasflächen, Gründächer, Dachlatten sowie Photovoltaik- und Solarthermieanlagen.

Für Photovoltaik- und Solarthermieanlagen gelten die sicherheitstechnischen Anforderungen an Arbeitsplätze und Verkehrswege der Norm. Hier steht u. a. Folgendes:

„Die Erreichbarkeit von Bauteilen ist im Regelfall gegeben, wenn die zu bearbeitenden Flächen vertikal nach oben in 2,50 m, horizontal in 1,00 m Reichweite von Arbeitsplatz zu erreichen sind. (...) Verkehrswege müssen ein nutzbares Lichtraumprofil von mindestens 0,5 m x 2,00 m haben. (...) Steigleitern (...) dürfen als Verkehrswege zur Überbrückung von Höhenunterschieden verwendet werden.“

Weiterhin steht im Normentwurf zu DIN 4426:

„Werden an Photovoltaikanlagen und Solarthermieanlagen und Teilen davon, die nicht von allgemein zugänglichen Flächen erreichbar sind, Wartungs- und Inspektionsarbeiten durchgeführt, müssen Arbeitsplätze eingerichtet werden. Dies kann erfolgen durch beispielsweise:

- dauerhaft auf dem Dach oder vor der Fassade installierte Arbeitsplätze;*
- Dach- oder Fassadenbefahranlagen, Fassadenaufzüge nach DIN EN 1808 oder Arbeitsbühnen;*
- Arbeitsgerüste nach DIN EN 12811-1;*
- seilunterstützte Zugangs- und Positionierungsverfahren.“*

6.5.4 Brandschutzgerechte Planung von PV-Anlagen [BSW-Solar, BFSB, DGS, ZVEH 2011]

Durch die Solaranlagen können zusätzliche Anforderungen an den Brand- und an den Blitzschutz entstehen. Daher sollten die vorhandenen Brandlasten unter Berücksichtigung der Gebäudeklassen und der zusätzlichen Nutzung auf der Dachfläche geprüft werden.

Die Broschüre *„Brandschutzgerechte Planung, Errichtung und Instandhaltung von PV-Anlagen“* von Februar 2011 wird vom Bundesverband der Solarwirtschaft e. V. (BSW-Solar), der Bundesvereinigung der Fachplaner und Sachverständigen im vorbeugenden Brandschutz e. V. (BFSB), der Berufsfeuerwehr München, der Deutschen Gesellschaft für Sonnenenergie e. V. (DGS) und dem Zentralverband der Deutschen Elektro- und Informationstechnischen Handwerke (ZVEH) herausgegeben [BSW-Solar, BFSB, DGS, ZVEH 2011].

Die Hinweise und Empfehlungen basieren auf den in Deutschland gegebenen Installationssituationen und rechtlichen Rahmenbedingungen. Sie sind mit der Arbeitsgemeinschaft der Leiter der Berufsfeuerwehren in Deutschland (AGBF Bund) abgestimmt. Die Broschüre fasst die wichtigen Informationen für Installateure und Planer zusammen.

Bei der Errichtung von PV-Anlagen ist das Brandschutzkonzept des jeweiligen Gebäudes zu berücksichtigen. Die Bauordnungen der Bundesländer formulieren keine ausdrücklichen Anforderungen an PV-Anlagen. Durch fachgerechte Planung, Installation und Instandhaltung werden die Risiken für Brandentstehung und -weiterleitung minimiert. Bei bestehenden Gebäuden können die Brandschutzanforderungen der Baugenehmigung entnommen werden.

Der bauliche Brandschutz wird durch die Einhaltung baurechtlicher Regelungen gewährleistet, insbesondere durch die Wahl von Art und Installationsort der einzelnen Komponenten.

Die Funktion von Brand- und Gebäudetrennwänden darf durch die Errichtung von PV-Anlagen nicht gemindert werden. Sie dürfen nicht durch brennbare PV-Module oder Bauelemente überbaut werden und es ist ein ausreichender Abstand einzuhalten. Kabeldurchführungen durch feuerwiderstandsfähige Wände sind nach Muster-Leitungsanlagen-Richtlinie (MLAR) zu schotten.

So wird für aufgeständerte und dachparallele Module auf einem Flachdach, die selbst nicht als „harte Bedachung“ eingestuft werden können, in [BSW-Solar, BFSB, DGS, ZVEH 2011] empfohlen, diese gem. §32 Musterbauordnung (MBO) als Dachaufbauten zu betrachten. Dann ist ein Abstand von 1,25 m zwischen Modul und Mitte der Brandwand einzuhalten.

Dachintegrierte Anlagen, die den Anforderungen an harte Bedachungen entsprechen, können bis an die Auskragung der Brandwand herangeführt werden.

Können die empfohlenen Abstände zu Brand- bzw. Gebäudetrennwänden nicht eingehalten werden, ist eine gesonderte brandschutztechnische Bewertung erforderlich, die die Begrenzung der Gefahren durch Brandweiterleitung belegt.

Durch Freistreifen auf der Dachfläche von Flach- und Pultdächern lässt sich die Zugangsmöglichkeit der Dachfläche für die Feuerwehr sicherstellen (s. Abb. 95).

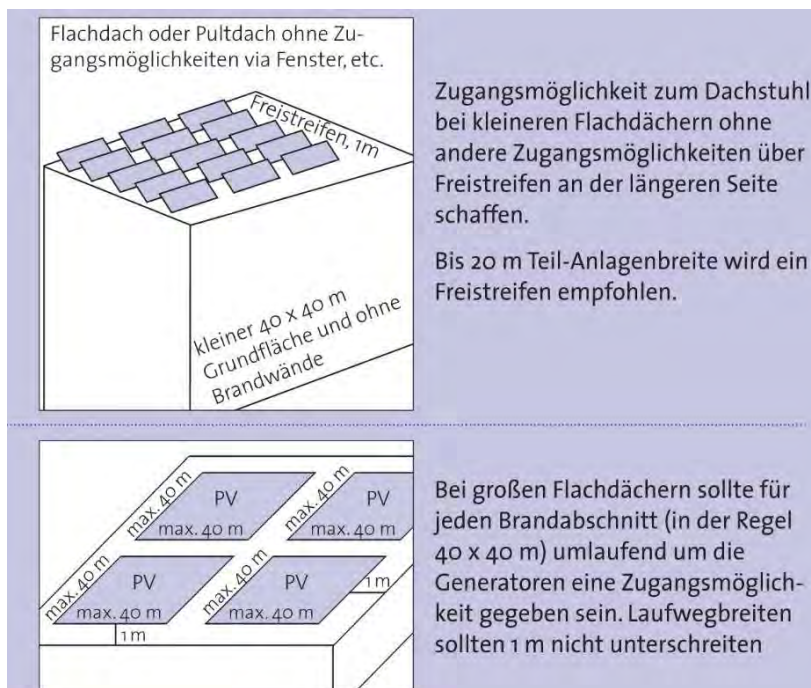


Abb. 95
Zugangsmöglichkeit zur Dachfläche kleinerer Flachdächer und Brandabschnitte bei großen Flachdächern
(aus [BSW-Solar, BFSB, DGS, ZVEH 2011])

Die Broschüre [BSW-Solar, BFSB, DGS, ZVEH 2011] enthält auch Angaben zu Brandabschnitten von großen PV-Anlagen:

„Bei großen PV-Anlagen sollte für jeden Brandabschnitt (in der Regel 40x40 m) umlaufend eine Schneise vorhanden sein, damit beim Löschen ein Mindest-Sicherheitsabstand von 1 m zur PV-Anlage (VDE 0132) eingehalten werden kann. Bei Sonderbauten und Sonderdachformen (...) ist ein Brandschutzsachverständiger hinzuzuziehen.“

Zur Übergabe der PV-Anlage findet man folgenden Hinweis in der Broschüre:

„Nach §633 BGB, §12 VOB ist der Fachbetrieb, der eine PV-Anlage installiert, dazu verpflichtet, diese fehlerfrei zu übergeben. Laut Produkthaftungsgesetz muss er den Betreiber der Anlage mündlich in den Betrieb einweisen und ihm eine ausführliche schriftliche Anlagendokumentation übergeben.“

6.5.5 Anforderungen an den Blitzschutz

Bei Blitzschutzanlagen wird zwischen innerem und äußerem Blitzschutz unterschieden. Das Blitzschutzsystem (innerer und äußerer Blitzschutz) stellt einen wesentlichen Bestandteil des Gebäudebrandschutzsystems dar. Gemäß VDE 0100-712 sind alle Bauteile einer PV-Anlage in den bauseitigen Potentialausgleich einzubeziehen. Zu diesem inneren Blitzschutz zählen sämtliche Maßnahmen gegen Auswirkungen des Blitzstromes und der Blitzspannung auf Installationen sowie elektrische Teile der baulichen Anlage (z. B. Überspannungsschutzgeräte). Der äußere Blitzschutz besteht aus Blitzfang- und Ableiteeinrichtungen sowie der Erdungsanlage. Auch die Einhaltung von Trennungs- bzw. Sicherheitsabständen zählt zum äußeren Blitzschutz.

Durch die Installation einer Solaranlage wird in der Regel das Gefährdungspotential für direkte Blitzeinschläge nicht erhöht, wenn die Teile der Anlage nicht deutlich über das Gebäude hinausragen. Wenn auf einem Bestandsdach kein äußerer Blitzschutz erforderlich ist/war, kann eine PV-Anlage häufig ebenfalls ohne zusätzlichen äußeren Blitzschutz ausgeführt werden. Dies ist bei der Planung zu klären, ebenso wie die Anforderungen der Versicherer bezüglich des Blitz- und Überspannungsschutzes. Vom Verband der Sachversicherer wird beispielsweise in seiner Richtlinie zur Schadensverhütung (VdS 2010) ein Blitz- und Überspannungsschutz für PV-Anlagen mit einer Größe von mehr als 10 kWp verlangt. In den Landesbauordnungen wird für öffentliche Gebäude häufig ein Blitzschutz vorgeschrieben.

Ist auf einem Dach bereits eine Blitzschutzanlage installiert bzw. muss eine realisiert werden, muss diese bei Planung und Ausführung der PV-Anlage zwingend berücksichtigt werden. Die neue PV-Anlage ist dann in das Blitzschutzkonzept einzubeziehen. Dies kann z. B. eine Modifikation u. a. bei der Höhe der Fangstangen bedeuten. In keinem Fall darf der vorhandene Blitzschutz durch den Aufbau einer PV-Anlage beeinträchtigt werden.

Sicherheitsabstände der PV-Anlage zur Blitzschutzanlage (u. a. gemäß VDE 0185-305-3-Bbl.5) sind zu berücksichtigen. Die Einhaltung des erforderlichen Trennungsabstandes der PV-Anlage zum äußeren Blitzschutz sollte angestrebt werden, da sonst aufwändige Sondermaßnahmen erforderlich sind. In den entsprechenden VDE-Veröffentlichungen wird Näheres zum Thema geregelt (s. dazu u. a. VDE-AR-E 2100-712:2013-05, VDE-AR-E 2283-4:2011-10, VDE-AR-N 4101:2011-08 und VDE-AR-N 4105:2011-08) und auch in den Merkblättern [ZVDH-Merkblatt Solartechnik, 2011-04] sowie [ZVDH-Merkblatt Blitzschutz 2011] findet man weitere Informationen. Bei komplexen Anlagen empfiehlt es sich, einen speziell ausgebildeten Fachplaner hinzuzuziehen.

6.5.6 Asbest – Gefahrstoffverordnung (GefStoffV)

Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen vom 26.11.2010, Anhang II (zu § 16 Absatz 2)

Besondere Herstellungs- und Verwendungsbeschränkungen für bestimmte Stoffe, Zubereitungen und Erzeugnisse – Nummer 1: Asbest

„(1) Arbeiten an asbesthaltigen Teilen von Gebäuden, (...) und sonstigen Erzeugnissen sind verboten. (...) Zu den nach Satz 1 verbotenen Arbeiten zählen auch Überdeckungs-, Überbauungs- und Aufständearbeiten an Asbestzementdächern und -wandverkleidungen sowie Reinigungs- und Beschichtungsarbeiten an unbeschichteten Asbestzementdächern und -wandverkleidungen.“

Die Montage einer PV-Anlage bzw. von Solarkollektoren auf einem Bestandsdach mit asbesthaltiger Dacheindeckung ist demnach nicht mehr erlaubt.

7. Empfehlungen und Hinweise: Aufstellsysteme

Beim Aufbau von Solaranlagen auf Flachdächern kommen verschiedene Systeme zum Einsatz. In [VDI 6012-1.4:2016-01] wird in Bezug auf die Lagesicherung unterschieden zwischen:

- Fixierung der Solaranlage durch Auflast ohne Dachdurchdringung (indirekte Befestigung)
- Befestigung der Solaranlage an der Dachunterkonstruktion mit Dachdurchdringung (direkte Befestigung)
- Kombination aus Ballastierung und einer Fixierung (direkte Lagesicherung)

Darüber hinaus sind auch bei flach geneigten Dächern Halterungen auf Blecheindeckungen und gebäudeintegrierte Systeme möglich, d. h. Systeme, bei denen die Solarmodule direkt in die Abdichtung eingearbeitet sind.

Innerhalb der o. g. Aufzählung sind unterschiedliche Varianten möglich, die im Folgenden schematisch dargestellt werden.

7.1 Ballastiert, aufgeständert (indirekte Befestigung)

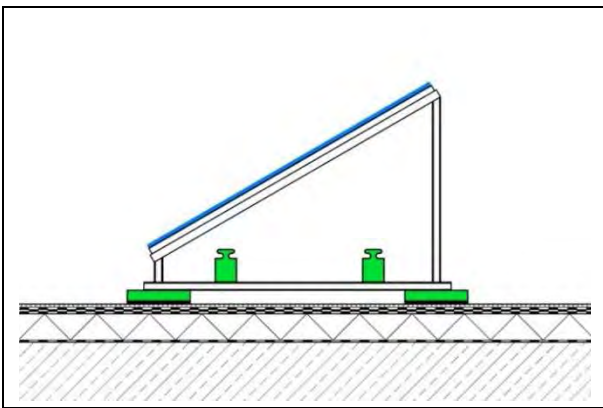


Abb. 96
Aufgeständertes, ballastiertes System

Dieses System ist das nach Erfahrung der Verfasser des vorliegenden Berichtes bisher am häufigsten ausgeführte System. Die PV-Elemente werden möglichst in Südrichtung ausgerichtet und sind entsprechend steil geneigt (ca. 30°), um einen optimalen Ertrag zu erzielen. Die Unterkonstruktion besteht zumeist aus Aluminiumprofilen. Als Auflager dienen z. B. Lastverteilerplatten aus Betonwerksteinen, die auf einer Bautenschutzmatte auf der Abdichtung verlegt werden.

Aufgrund der relativ hohen Punktbelastung, insbesondere auch bei thermischen Solaranlagen, ist ein druckstabiler Untergrund erforderlich. Dies betrifft sowohl die Abdichtung (s. Kap. 9: Dachabdichtungsstoffe) als auch die Dämmung (s. Kap. 11: Empfehlungen und Hinweise: Wärmedämmstoffe).

Die Verbindung zwischen der Schutzlage und der Dachabdichtung muss auch Horizontallasten übertragen, die aber in der Regel aufgrund der relativ hohen Auflast durch die Haftreibung problemlos in den Dachaufbau eingeleitet werden. Dies steht zwar im Widerspruch zu den Regeln des Dachdeckerhandwerks und der Dachabdichtungshersteller, hat aber offenbar bislang nicht zu Schäden geführt.

7.2 Ballastiertes System – Wannenförmig (indirekte Befestigung)

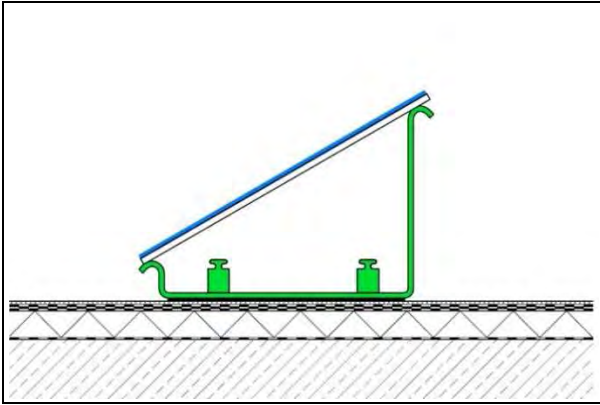


Abb. 97
Aufgeständertes, ballastiertes, hohes Wannensystem



Abb. 98
Foto eines hohen Wannensystems

Wannensysteme verteilen die zur Windsogsicherung erforderlichen Auflasten auf eine große Fläche des Dachaufbaus, sodass dessen Druckbelastung minimiert werden kann. Die Kontrolle der in die hohe Wanne eingebrachten Last – meist Kies oder auch Gehwegplatten – ist nach der Montage der Solarelemente allerdings nur bedingt möglich.

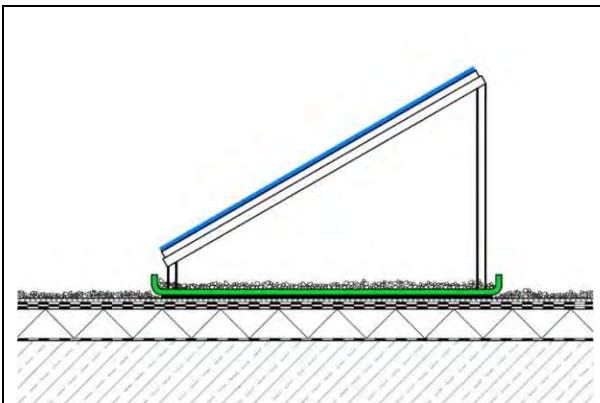


Abb. 99
Aufgeständertes, ballastiertes, niedriges Wannensystem

Auch niedrige Wannen oder Trapezbleche, die mit Kies oder mit Dränschicht und Substrat einer extensiven Begrünung überschüttet werden, verteilen die Auflast in meist unproblematischer Weise auf der Dachhaut. Insbesondere bei Dämmstoffen aus Mineralwolle, bei denen die Punktbelastung zu einer Überlastung der Druckbeanspruchbarkeit führen kann, empfiehlt sich der Einsatz von (niedrigen) Wannensystemen.

Bei der Befestigung der Elemente an/auf der Wanne muss unbedingt dafür Sorge getragen werden, dass die Dachhaut nicht geschädigt wird (z. B. infolge Durchbohren der Dachhaut).

Die Entwässerung der Wannen muss geplant und über den gesamten Nutzungszeitraum sichergestellt sein.

Ein vorhandener, schwerer Oberflächenschutz der Dachabdichtung (meist Kies oder Betongehwegplatten) kann ebenfalls zur Windsogsicherung genutzt werden, wenn er für die abhebenden Kräfte ausreichend dimensioniert ist. Da er in den meisten Fällen auch zur Windsogsicherung der Dachbahn dient, darf diese während der Montage der Solaranlage nicht über einen längeren Zeitraum entfernt werden.

7.3 Ballastminimiert – „Aerodynamische Systeme“ (indirekte Befestigung oder direkte Lage-sicherung)

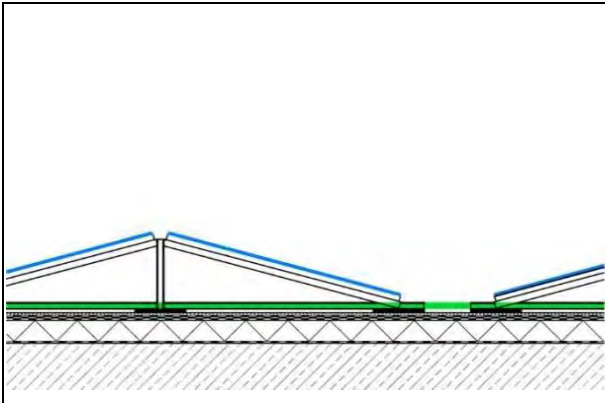


Abb. 100
Aufgeständertes, ballastminimiertes Ost-West-System

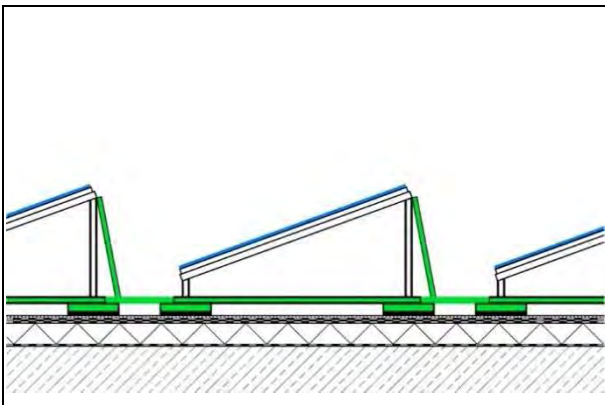


Abb. 101
Aufgeständertes, ballastminimiertes Spoilersystem

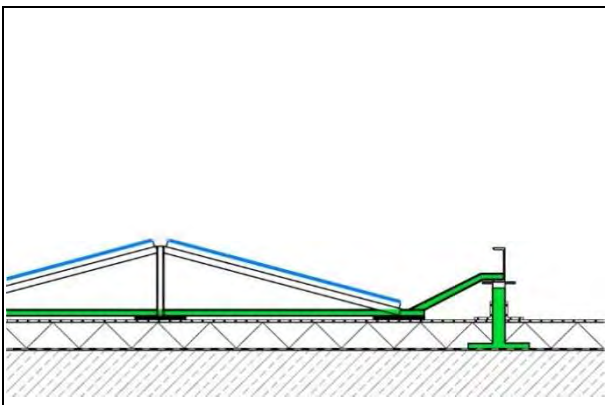


Abb. 102
Aufgeständertes, ballastminimiertes System mit direkter Lage-sicherung

Flach geneigte Systeme erzeugen weniger Spitzenleistung bei der Energiegewinnung, stellen dafür aber eine gleichmäßigere Leistung über den gesamten Tag zur Verfügung, sodass sie besonders für die direkte Nutzung im Gebäude geeignet sind. Die flache Neigung vermindert die Windbelastung deutlich. Bei Süd-orientierten Systemen erfolgt dies durch Windableitbleche, bei Ost-West-Systemen durch die unmittelbare Nähe der beiden unterschiedlich orientierten Module. Damit können Ballastierungselemente eingespart und die Druckbelastung des Dachaufbaus minimiert werden. Zudem werden durch die Kopplung der Module zu größeren Feldern die Windsogspitzen an den Rändern auch von den Modulen der Feldmitte mit aufgenommen. Die Verbindungselemente müssen dafür allerdings ausreichend steif dimensioniert werden, damit sich die Anlage bei extremen Sturmereignissen nicht „aufrollt“.

Der Zusammenschluss der einzelnen Elemente zu größeren Anlagenfeldern bewirkt allerdings auch, dass temperaturbedingte Längenänderungen eine Rolle spielen. Der Längenausdehnungskoeffizient α von Aluminium

beträgt beispielsweise $24 \times 10^{-6}/K$. Bei bis zu einer Länge von 20 m zusammengebauten Modulen ist daher bei einem Temperaturunterschied von -10 °C bis 50 °C mit einer Längenänderung von $20.000\text{ mm} \times 60\text{ K} \times 23 \times 10^{-6} = 28,8\text{ mm}$ zu rechnen, d. h., zu jeder Seite etwa 1,5 cm. Bei extremeren Temperaturunterschieden erhöht sich das Ergebnis entsprechend. Bei behinderter Verformung entstehen Zwängungen und in der Folge geringere Ausdehnungen. Durch die Ausdehnungen kommt es zu einer Bewegung der Auflagerpunkte insbesondere an den Rändern der Anlage, d. h. zu einer Überwindung der Haftreibung und einer Verschiebung entweder gegenüber den Schutzmatte oder zusammen mit den Schutzmatte gegenüber der Dachabdichtung. Je nach Gefälle und Gleitreibungsbeiwerten kann es dann zu einer Verschiebung („Wandern“) der Anlage in Richtung Tiefpunkt kommen. Diese thermischen Längenänderungen müssen entweder durch Dehnungsausgleicher oder durch die Planung kleinerer Felder begrenzt werden. Alternativ kann eine direkte Lagesicherung der Anlage das „Wandern“ auf der Dachoberfläche verhindern. Die „Temperaturwanderung“ ist ausführlich in [Zapfe: Temperatur 2014] beschrieben.

Auch Horizontallasten aus Wind können eine Verschiebung der Anlage auf der Dachfläche bewirken, wenn die Haftreibung der – ballastoptimierten, leichten – Solaranlage gegenüber der Dachabdichtung überschritten wird. Solaranlagen, die nicht mit dem Dach-Untergrund kraftschlüssig verbunden werden, leiten die auf sie einwirkenden horizontalen Kräfte über die Haftreibung mit der Dachhaut ab. Dies geschieht nach Erfahrungswerten und nur eingeschränkt aufgrund statischer Nachweise, da die Reibungskoeffizienten zwischen den Stoffen, die aufeinander liegen, auf einzelne Laborwerten oder im besten Fall auf Versuchen vor Ort beruhen. Sie sind nicht normiert und auch die Schubkraftübertragung innerhalb von Dämmstoffen oder den Verbindungen der Schichten im Dachaufbau untereinander beruht auf Annahmen.

Auf einer rauen, besplitteten Bitumenbahn, auf der eine Bautenschutzmatte aufliegt, werden gute Haftreibungsbeiwerte erzielt. Demgegenüber sind diese Werte bei Kunststoffbahnen in der Regel geringer und auch zwischen den Kunststoffbahnen gibt es je nach Material deutliche Unterschiede (s. Kap. 9.4: Kunststoff- und Elastomerbahnen). Bei Frost besteht zudem die Gefahr von Eisbildung zwischen Dachhaut und Bautenschutzmatte oder zwischen Bautenschutzmatte und Aluminiumunterkonstruktion, sodass kaum verlässliche Reibungsbeiwerte für die statischen Lastannahmen ermittelt werden können.

Ein Hersteller von Bautenschutzmatte hat in [BSW: Prüfungsübersicht 2014] Laborwerte für Haft- und Gleitreibungskoeffizienten für die Verbindung seiner Matte mit bestimmten Dachbahnen zusammengestellt, die auf Anfrage den Herstellern von Aufstellsystemen für die Berechnung zur Verfügung gestellt werden. Er weist aber darauf hin, dass eine verlässliche Aussage nur durch eine Messung vor Ort erfolgen kann, weil Schmutzablagerungen und Witterungseinflüsse die Werte beeinträchtigen. Entsprechende Sicherheitsabschläge seien erforderlich.

Eine Verschiebung der Anlage kann dazu führen, dass die scharfkantigen Montagesysteme von den Schutzmatte rutschen und die Abdichtung perforieren. Außerdem können Lichtkuppeln, Lüfterrohren und andere, aus der Dachfläche herausragende Bauteile geschädigt werden. Auch die Anlage selbst kann durch das Auseinanderreißen von Teilen des Montagesystems oder durch Abreißen von Kabelverbindungen Schaden nehmen. Schließlich kann es im Extremfall zum Absturz der Anlage vom Dach führen.

Daher sollten die Systeme möglichst an Festpunkten verankert werden (direkte Lagesicherung), was die Planung eines zusätzlichen Tragelementes sowie die fachgerechte Montage und Eindichtung der Stützenfüße erfordert, aber eine Unverschieblichkeit der Anlage über die gesamte Standzeit der Anlage sicherstellt.

Wenn aus statischen Gründen keine Befestigung am Dachrand möglich ist, können auch zusätzlich eingebaute Anschlagpunkte zur Fixierung dienen. Ihr Einbau setzt neben einer Planung (Statik, Wärmebrücke, Abstände von anderen Einbauteilen und Dachrändern) auch die fachgerechte Eindichtung durch einen Dachdecker voraus, der die Anschlagpunkte sowohl in der Ebene der Abdichtung als auch in der Dampfsperrebene sorgfältig mit den vorhandenen Bahnen und Folien verbinden muss.

Leider wird diese Lösung bislang nur selten eingesetzt.

Bei Flachdachflächen, die einen First aufweisen, kann zumindest die Temperaturwanderung durch Verbindung von den beidseits des Firstes aufgebauten Solaranlagen vermieden werden.

Ohne eine Fixierung an Festpunkten bzw. die Verbindung über den First muss ein Gleitnachweis geführt werden. In der [VDI 6012-1.4:2016-01] wird empfohlen, die dafür erforderlichen Reibungsbeiwerte μ durch Versuche unter Berücksichtigung von Nässe zu ermitteln. In [Grass 2015] wird beschrieben, dass dieser Versuch mithilfe eines mit Bautenschutzmatte versehenen Zugschlittens und einem Federzugkraftmesser erfolgen kann.

Solaranlagen ohne direkte Lagesicherung auf der Dachfläche sollten nur auf Dachflächen errichtet werden, die eine massive Attikakonstruktion aufweisen. Damit wird verhindert, dass die Solaranlage über den Dachrand abstürzt, wenn sie sich auf der Dachfläche horizontal verschoben hat. Entsprechende bauaufsichtliche Regelungen sind in Vorbereitung.

7.4 Lastaufnahme mittels Dachbahn (indirekte Befestigung)

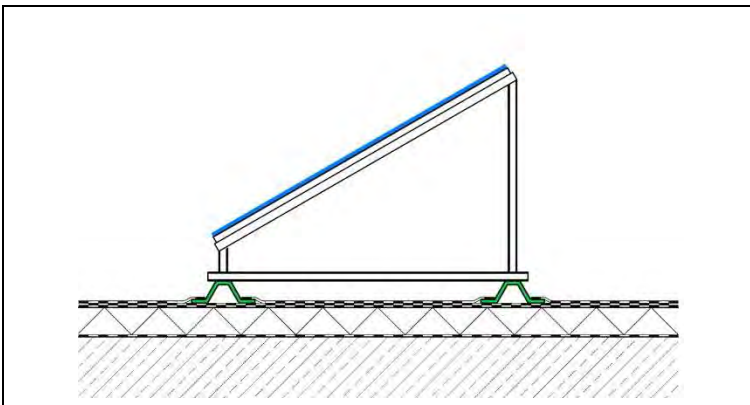


Abb. 103

Aufgeständertes, mit der Dachbahn durch Verklebung bzw. Verschweißung verbundenes System



Abb. 104

Großflächige Verschweißungen mit der Bitumendachbahn

In einigen Fällen wird versucht, die Windsogsicherung und Lagestabilisierung der PV-Elemente durch die Abdichtung selbst sicherzustellen.

In [Zapfe: Verklebung 2014] wird auf entsprechende Schadensfälle eingegangen. Die Problematik der unzureichenden Erfahrungen mit der Kraftübertragung von Klebe- und Schweißverbindungen bzw. die Überlastung von Schälwiderständen wird dort dargestellt. Insbesondere wird auf das zeit- und temperaturabhängige Lastverformungsverhalten von Kunststoffen wie auch auf die altersbedingte Versprödung von Klebverbindungen und Bitumenverschweißungen hingewiesen. Dr. Zapfe weist darauf hin, dass über die Ermüdungsfestigkeit von Klebungen und Verschweißungen keine ausreichenden Erkenntnisse vorliegen.

Für die Ableitung der abhebenden Kräfte muss auch die Verbindung der Dachbahn mit dem Untergrund gesichert sein. Bei mechanisch verankerten Dachbahnen ist die Anzahl der Befestiger in Rand- und Eckbereichen aufgrund der dort größeren Windsogkräfte höher. Bei vollflächig mit dem Untergrund verklebten Dachbahnen kann die Klebefläche ungleichmäßig dicht sein. Die berücksichtigten Krafteinleitungen durch Windsog liegen bei bestehenden Dachflächen deutlich unter den Kräften, die durch aufgeständerte Solaranlagen entstehen.

Für mit Dachbahnen verklebten/verschweißten Konstruktionen sind bisher keine technischen Regelwerke oder gesicherte Materialkennwerte, die für einen rechnerischen Nachweis erforderlich sind, vorhanden. Daher sind diese Einbauarten nur zulässig, wenn eine vom DIBt zu erstellende allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ)

des Deutschen Institutes für Bautechnik (DIBt) vorliegt. In [DIBt 2012] wird in Bezug auf die adhäsive Verbindung Folgendes ausgeführt:

„Die Verwendbarkeit von Befestigungen durch eine adhäsive Verbindung (Verklebung, Verschweißung) mit der Dachhaut muss durch eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung nachgewiesen werden. Bei dieser Befestigungsvariante müssen die einzuleitenden Zug- und Schubkräfte durch alle Schichten der Gebäudehülle hindurch dauerhaft in die tragende Konstruktion des Gebäudes weitergeleitet werden.“

Einige Dachbahnenhersteller bieten inzwischen solche Systeme entsprechend dieser Regelung an. Die Zulassungen vom DIBt sind zurzeit in Bearbeitung. Dafür muss natürlich auch die Lastübertragung in die Schichten unterhalb der Dachbahn berücksichtigt werden. Bei bestehenden Dächern dürfte dieser Nachweis in der Regel nur mit einem hohen Aufwand zu führen sein.

Vom DIBt wird darauf hingewiesen, dass Dachbahnen grundsätzlich zwar eine gewisse mechanische Stabilität aufweisen, diese jedoch an neuen Produkten ermittelt wird. Die entsprechenden Kennwerte können nicht als Bemessungsgrundlage für einen Standsicherheitsnachweis bei bestehenden, alten Dachbahnen herangezogen werden, da die Standsicherheit einer Anlage für alle Umgebungszustände und alle Bemessungslasten dauerhaft gewährleistet sein muss. In den Bemessungswerten müssten das Alterungsverhalten der Dachbahnen, die tatsächlichen Umgebungsbedingungen (z. B. sehr hohe/niedrige Temperaturen) sowie Materialsicherheitsfaktoren berücksichtigt sein, was jedoch praktisch nicht möglich ist. Die Lastaufnahme von Windsogkräften mittels Dachbahnen sollte bei Bestandsdächern daher möglichst nicht in Erwägung gezogen werden, wenn nicht eine Zulassung im Einzelfall durch das DIBt möglich erscheint.

Solaranlagen, die in dieser Weise bereits befestigt sind, sollten regelmäßig, insbesondere aber nach Einwirkung von größeren Sturmereignissen daraufhin überprüft werden, ob Veränderungen der adhäsiven Verbindung oder gar Ablösungen festzustellen sind.

Auch wenn nur die Sicherung gegen Verschieben adhäsiv hergestellt werden soll, ist im Einzelfall zu prüfen, ob die adhäsive Verbindung mit der bestehenden Dachbahn auf Dauer sichergestellt werden kann. Auch in diesem Fall empfiehlt sich die im vorigen Abschnitt beschriebene regelmäßige Überprüfung.

7.5 Lastaufnahme mittels Dachkonstruktion (Direkte Befestigung)

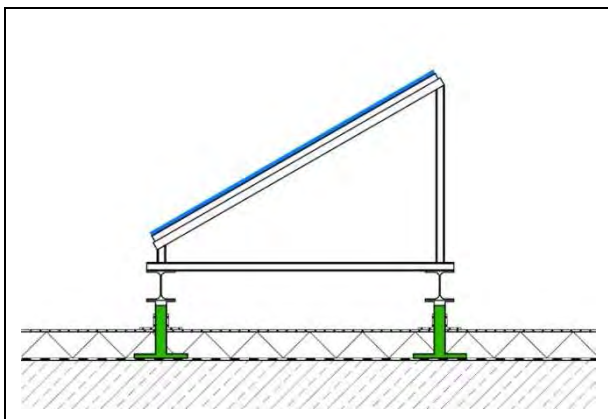


Abb. 105

Aufgeständertes, direkt befestigtes System



Abb. 106

Schnitt durch ein Modell zum vorgenannten System

Das statisch sicherste und für die Wartung der Dachabdichtung am besten geeignete System ist die Befestigung an der Unterkonstruktion, wenn die Befestigungselemente so konzipiert sind, dass sie mit bewährten Eindichtungssystemen, z. B. Manschetten oder Flüssigkunststoff, in die Abdichtungsebene fachgerecht eingebunden werden

können (Stiftförmige Durchdringungen wie Schrauben oder Elektroleitungen gehören nicht dazu!). Dazu gehört auch ein fachgerechter Anschluss an Luftdichtheitsschichten im Dachaufbau.

Die Tragstruktur für die Montagesysteme kann dann entsprechend der [ZVDH Flachdachrichtlinie 2008] 50 cm hoch über der Dachabdichtung angeordnet werden, damit diese ohne Demontage der Solaranlage gewartet und ggf. erneuert werden kann.

Bei diesem System muss berücksichtigt werden, dass es bei der statischen Verbindung der Solaranlage durch die Dämmebene hindurch zu Wärmebrücken kommt, an denen neben Wärmeverlusten ggf. auch Tauwasserprobleme im Innenraum auftreten können. Dies trifft insbesondere für Leichtdächer zu. Bei Decken aus Stahlbeton sind aufgrund der großen Masse auf der warmen Innenseite in der Regel keine Tauwasserprobleme zu erwarten.

Auf direkte Befestigungen wird zurzeit offenbar in erster Linie deswegen verzichtet, weil die Kosten für Planung und Eindichtung der Befestigungselemente nicht wirtschaftlich erscheinen. Dabei sollte aber berücksichtigt werden, dass diese Befestigungen nicht nur die relativ kurz Nutzungsdauer der PV-Anlage von 20 Jahren überdauern, sondern der gesamten Standzeit des Gebäudes entsprechen können.

7.6 Lastaufnahme mittels Blecheindeckung (indirekte Befestigung)

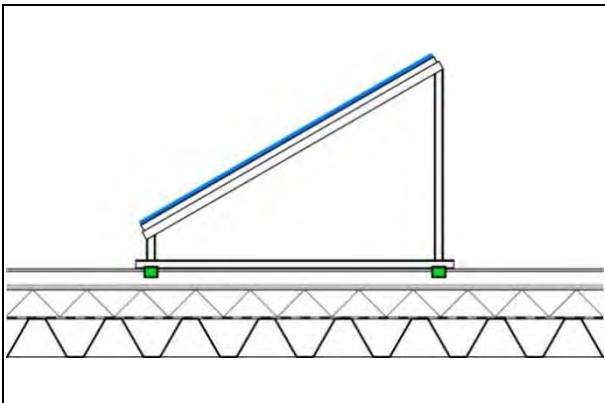


Abb. 107

Aufgeständertes, indirekt an der Metalldachdeckung befestigtes System

Für die Befestigung an Metallblecheindeckungen stehen unterschiedliche Systeme zur Verfügung, die sowohl eine sichere Verbindung gewährleisten als auch die temperaturbedingten Längenänderungen berücksichtigen. Die Herstellerangaben müssen hierbei genau beachtet und die Randbedingungen vor Ort geprüft werden. Kleine Leckagen, die ggf. durch die Befestigung entstehen, sind meist unproblematisch, wenn es eine funktionstüchtige, zweite Entwässerungsebene in Form einer Unterdeckbahn auf der Wärmedämmung gibt. Insbesondere dürfen die Befestigungssysteme nicht für die Befestigung auf Dächern mit Bahnenabdichtungen verwendet werden, da dort keine zweite Entwässerungsebene existiert.

Die Befestigung an Sandwichelementen muss in der Regel mit dem Hersteller der Elemente abgestimmt werden und durch eine bauaufsichtliche Zulassung oder durch eine Zulassung im Einzelfall nachgewiesen werden. Die Vorgehensweise dazu ist in [Zapfe: ZiE 2014] beschrieben.

Bei Dächern im Bestand sind ggf. Nachweise des Tragverhaltens auf dem Dach selbst vorzunehmen, also getroffenen Annahmen vor Ort zu überprüfen.

7.7 Lastaufnahme durch Unterkonstruktion eines Metalldachs (direkte Befestigung)

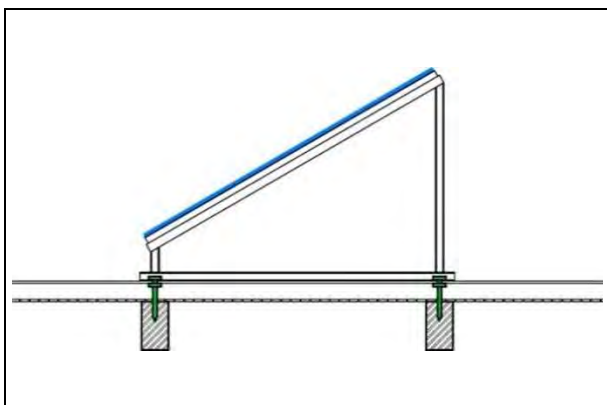


Abb. 108

Aufgeständertes, über Metalleindeckung direkt an der Unterkonstruktion befestigtes System

Die direkte Befestigung an der Unterkonstruktion von Metalldächern ist nur bei Gebäuden mit untergeordneter Nutzung möglich. Unter der Metalleindeckung muss mindestens eine Unterspannbahn zur Ableitung von Tauwasser angeordnet sein, bei gedämmten Dächern zusätzlich noch eine innenseitige Dampfsper- bzw. Luftdichtungsschicht. Die Dichtigkeit dieser zusätzlichen Schichten kann bei einer nachträglichen Montage von Solaranlagen an den Durchstoßpunkten der Befestigungselemente nicht wiederhergestellt werden. Daher kommt diese Verankerung bei nachträglicher Montage nur bei Gebäuden in Betracht, bei denen Abtropfungen von oben vom Eigentümer hingenommen werden.

7.8 Dünnschichtmodule – „Gebäudeintegrierte Photovoltaik“

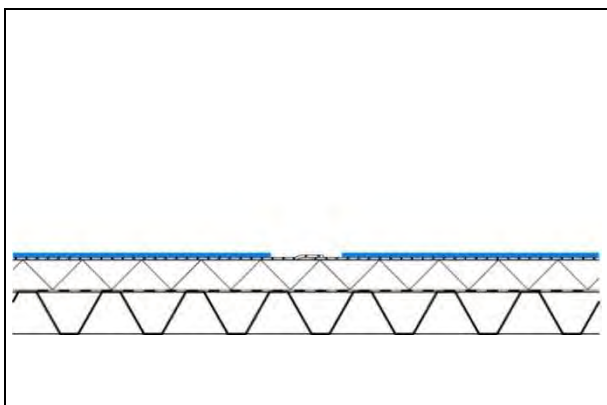


Abb. 109

In die Dachabdichtung eingearbeitetes PV-System

Dünnschichtmodule, die werkseitig in die Dachhaut integriert sind, stellen eine Alternative für die nachträgliche Nutzung der Dachfläche mit PV-Modulen dar. Die Produktion derartiger Module wurde allerdings aufgrund der Insolvenz des amerikanischen Herstellers eingestellt. Die Herstellung der Bahnen wird zurzeit nicht fortgesetzt.

In dem vorliegenden Forschungsbericht wird aus diesem Grund auf diese Sonderform der Photovoltaiksysteme nicht weiter eingegangen.

8. Empfehlungen und Hinweise: Dachkonstruktionen

Bei der Aufstellung von Solaranlagen muss zunächst geprüft werden, um welche Dachkonstruktion es sich handelt und welche Aufstellsysteme dafür geeignet sind. Im Folgenden werden daher verschiedene, typische Dachschichtenfolgen dargestellt und im Hinblick auf die Aufstellung von Solaranlagen bewertet.

8.1 Nicht belüftetes Dach auf Beton/Trapezblech/Holz

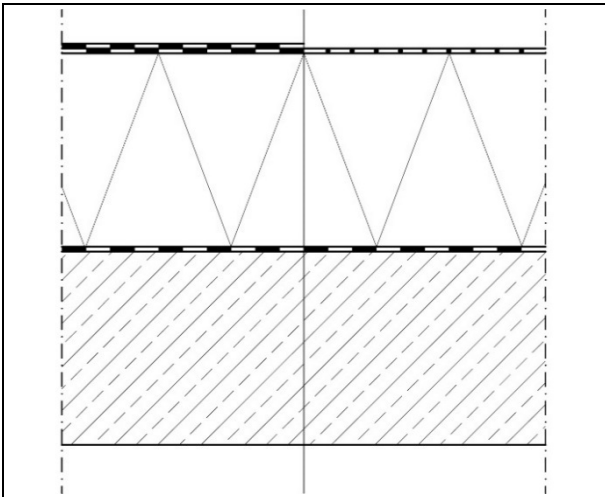


Abb. 110

Dachaufbau ohne Luftschicht auf massivem Untergrund

Dachschichtenfolgen mit unbelüfteter Wärmedämmung zwischen zwei Bahnen mit hohem Diffusionswiderstand sind die wohl häufigste Form des Dachaufbaus von Flachdächern.

Die Abdichtung besteht meist aus dickeren, mehrlagigen Bitumenbahnen von ca. 8 - 15 mm Dicke (oder mehr, falls die Dächer schon häufiger überklebt wurden) – in Abb. 110 links dargestellt – oder aus dünnen, einlagigen, nur ca. 1,2 - 2 mm dicken Kunststoff- oder Elastomerbahnen – in Abb. 110 rechts dargestellt. Bei den dünnen Bahnen ist das Risiko, dass mechanische Beschädigungen die gesamte Dachabdichtung durchstoßen, höher.

Die Dämmschichten bestehen in der Regel aus harten Schaumkunststoffen oder relativ weicher Mineralwolle. Bei Mineralwolle sollten für die Montage Lastverteilungsplatten verlegt werden, da der Dämmstoff bei häufiger Druckbelastung an Festigkeit verliert (s. [AlBau 2012]). Das Gefälle wird entweder durch gefällegebende Dämmplatten oder unterhalb der Dampfsperrebene mit der Neigung der Rohdecke oder ggf. mit einem Gefälleestrich hergestellt.

Eine Befestigung mit der Unterkonstruktion ist in der Regel in Bezug auf die Abdichtung unproblematisch, wenn die Durchdringungen fachgerecht durch einen Dachdecker eingedichtet werden. Sie ist kritisch in Bezug auf den Wärmeschutz, da die Wärmebrückenwirkung der Befestigungselemente berücksichtigt werden muss.

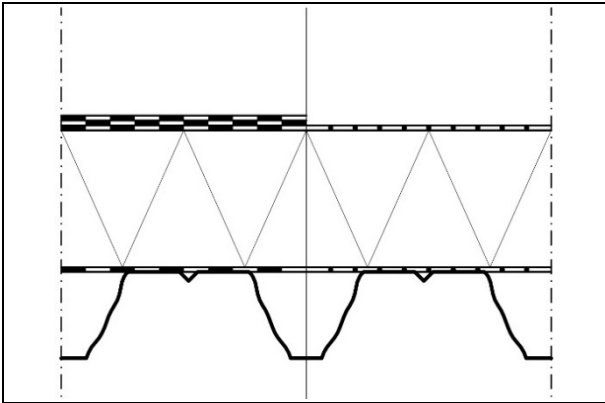


Abb. 111
Dachaufbau ohne Luftschicht auf Stahltrapezblechkonstruktion

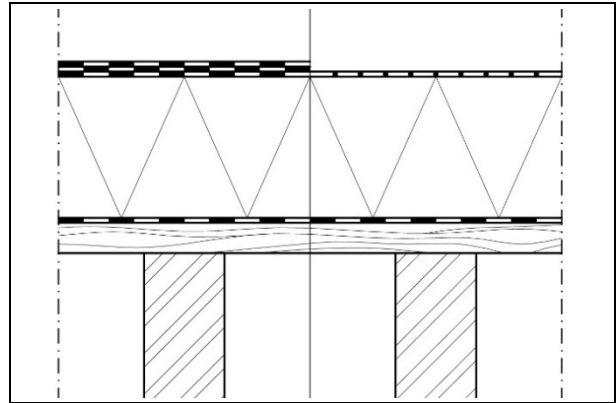


Abb. 112
Dachaufbau ohne Luftschicht auf Holzunterkonstruktion

Insbesondere bei leichten Dachunterkonstruktionen aus Trapezblech oder Holz ist zu überprüfen, ob die Tragkonstruktion für die Aufnahme von zusätzlichen Lasten für die Solaranlage ausgelegt ist.

Es ist außerdem zu beachten, dass auf der Unterseite der Dämmung in der Regel eine Dampfsperr- oder Luftdichtheitsfolie eingebaut ist, deren Durchstoßpunkte bei einer Befestigung mit der Unterkonstruktion ebenfalls abgedichtet und fachgerecht angeschlossen werden müssen. Diese Schicht besteht entweder aus ca. 3 - 4 mm dicken Bitumenbahnen, meist mit Aluminiemeinlage, oder auch – insbesondere bei Trapezblechdächern – aus ca. 0,5 mm dünnen PE-Folien. Wichtig ist beim Durchbohren im Wesentlichen die (Wieder-)Herstellung der Luftdichtheitsfunktion dieser Schicht. Allerdings kann es bei eingeschlossener Feuchtigkeit im Dachaufbau durch Umkehrdiffusion auch zu Tauwasserbildung auf der Ebene der Dampfsperre kommen, sodass es bei Undichtigkeiten an den Durchstoßpunkten auch Abtropfungen geben kann.

Beim Einbau von Befestigungselementen für die direkte Befestigung sollte insbesondere bei Stahltrapezblechdächern überprüft werden, ob eine thermische Trennung erforderlich ist.

Bei dem sogenannten „Kompaktdach“ sind Wärmedämmung und Dachabdichtung (ggf. auch die Dampfsperre) vollständig miteinander und mit der Unterkonstruktion verklebt. Für sie gilt das Vorgenannte entsprechend. Bei der Aufständigung der Solaranlage sollte zudem überprüft werden, inwieweit die Verklebung der einzelnen Schichten noch funktionstüchtig ist.

8.2 Belüftetes Dach auf Beton/Holz

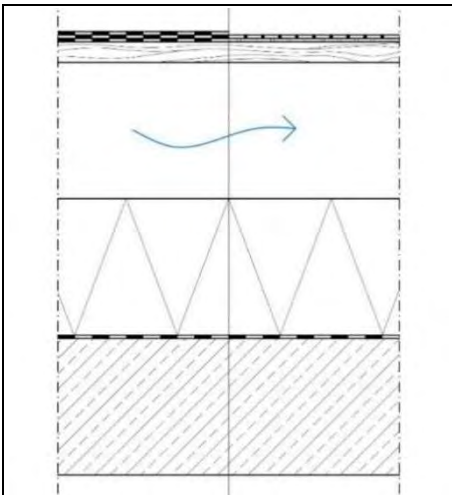


Abb. 113
Belüfteter Dachaufbau auf Massivdecke

Bei belüfteten Dächern ist im Dachaufbau eine Belüftungsebene zwischen Wärmedämmung und Abdichtung bzw. deren Tragschalung vorhanden. Die Schalung ist in der Regel nicht für eine zusätzliche Auflast dimensioniert. Für die Aufstellung von Solaranlagen muss daher entweder die darunterliegende Tragkonstruktion gesucht und die Lastabtragung genau darauf abgestimmt werden, oder es muss ein leichtes, ballastoptimiertes System aufgelegt werden.

Ältere belüftete Dächer weisen oftmals keine zweite Entwässerungsebene, wie eine Unterdeckbahn oder ein Unterdach, auf. Leckagen in der Dachabdichtung führen daher zur Durchfeuchtung der Wärmedämmung und ggf. zum Feuchteintritt in den Innenraum. Wenn eine zweite Entwässerungsebene vorhanden ist, sind Durchdringungen zwar theoretisch weniger problematisch. Die Funktionstüchtigkeit der zweiten Entwässerungsebene kann aber bei bestehenden Dächern schlecht überprüft werden. Daher sollten auch in diesen Fällen Befestigungen der Solaranlagen an der obersten Dachschale vermieden bzw. weitgehend minimiert werden.

Direkte Befestigungen mit der Unterkonstruktion müssen fachgerechte, d. h. von einem Dachdecker hergestellte Abdichtungsanschlüsse aufweisen. Stifförmige Durchdringungen wie Schrauben können in der Regel nicht fachgerecht eingedichtet werden. Auch die ggf. vorhandene Unterspann- bzw. Unterdeckbahn sowie die Dampfsper- und Luftdichtbahn unter der Wärmedämmung müssen abgedichtet werden.

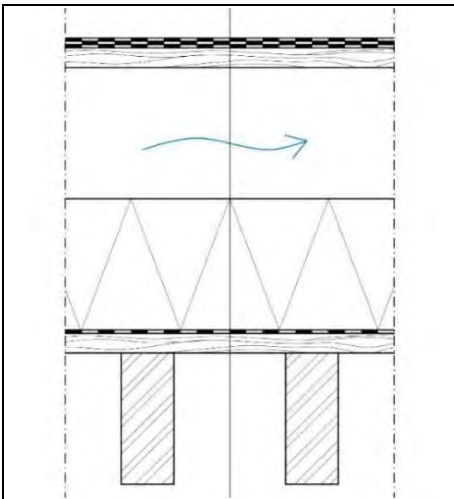


Abb. 114

Belüfteter Dachaufbau auf Holzunterkonstruktion

8.3 Umkehrdach auf Beton

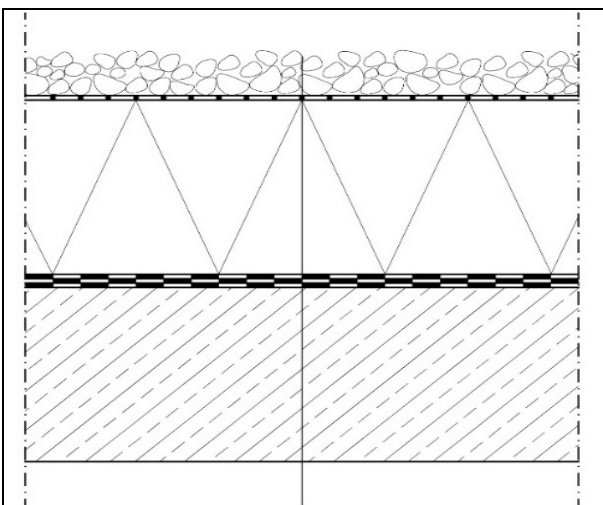


Abb. 115

Umkehrdachkonstruktion auf Massivdecke

Bei Umkehrdächern liegt die Wärmedämmung oberhalb der Abdichtung, d. h. sie ist den Niederschlägen ausgesetzt. Die durch die – bei den zugelassenen Dämmstoffen nur geringe – Feuchteaufnahme gegebene Verringerung des Wärmeschutzes ist bei den Nennwerten der Wärmeleitfähigkeit bereits berücksichtigt. Das setzt

allerdings voraus, dass die Dämmstoffe nach oben genügend austrocknen können. Daher dürfen Umkehrdachdämmplatten nicht vollflächig, z. B. mit Wannensystemen, abgedeckt werden. Bei punktförmigen Auflagern ist die Verringerung des Wärmeschutzes in Bezug auf den Gesamtwärmeschutz in der Regel vernachlässigbar. Allerdings sollten die dampfdicht abgedeckten Flächen so klein wie möglich gehalten werden.

Das Gleiche gilt für das sogenannte „Plusdach“, bei dem auf einem bestehenden Warmdachaufbau eine neue (Umkehrdach-) Dämmplattenlage mit Beschwerung aufgebracht wird, die alte Abdichtungsebene aber beibehalten wird.

8.4 Unbelüftetes Holzdach

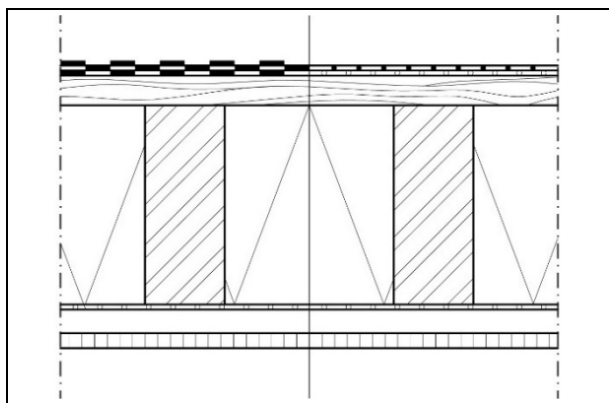


Abb. 116

Holzflachdach ohne Unterlüftung der Abdichtungs- oder Decklage

Holzdächer, bei denen die Wärmedämmung zwischen den Sparren angeordnet ist und deren Abdichtungs- oder Decklage keine Unterlüftung aufweist, sind empfindliche Baukonstruktionen, weil unplanmäßig eingedrungene Feuchtigkeit spät entdeckt wird und zum Wachstum von holzerstörenden Pilzen mit der Folge des Verlustes der Tragfähigkeit der Konstruktion führen kann.

Auch die Verwendung von feuchtevariablen Dampfsperren mindert dieses Risiko nur in geringem Umfang (s. [AlBau 2014]). Solche Konstruktionen müssen regelmäßig begangen werden, um vorhandene Leckstellen oder Durchfeuchtungen frühzeitig feststellen zu können. Daher sollte bei diesen Konstruktionen auf den Aufbau von Solaranlagen verzichtet werden.

Sollen dennoch Solaranlagen errichtet werden, so sind in Bezug auf die Tragfähigkeit die Hinweise in Kap. 8.2 für belüftete Dächer zu beachten. Ist die Konstruktion mit einer feuchtevariablen Dampfsperre auf der Innenseite versehen, muss aufgrund der Verschattung der Oberseite ein entsprechender Nachweis der Tauwasserfreiheit nach DIN EN 15026 geführt werden. Nach Untersuchungen des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik [Bludau, Kölsch 2014] ist es aufgrund der Verschattung durch die PV-Module empfehlenswert, die Dachfläche mit einer Überdämmung von etwa 8 cm auszustatten. Die diffusionstechnische Funktionstüchtigkeit des Dachaufbaus muss rechnerisch mit einem instationären Simulationsprogramm nachgewiesen werden.

8.5 Tragfähigkeit

Das Dachtragwerk muss die zusätzlichen Lasten aus den Solarmodulen mit ausreichender Sicherheit aufnehmen können. Leichte Dachkonstruktionen aus Stahltrapezblechen, deren Lastreserven bereits bei der Erstellung aus Wirtschaftlichkeitsgründen an der Grenze des Machbaren bemessen wurden, sind häufig problematisch.

Im Rahmen von Voruntersuchungen muss festgestellt werden, ob die einzelnen Bauteilschichten funktionsfähig sind, sich zumindest nicht schädigend auswirken, ob sie positionsstabil und lagesicher mit der Tragkonstruktion verbunden sind.

Bei Untersuchungen des Tragwerks sollen nicht nur die Materialien und deren Dicke festgestellt werden, sondern auch eventuelle Schäden durch Korrosion oder bereits vorhandene Überlastung. Dies gilt insbesondere für nicht einsehbare Teile, wozu gegebenenfalls Bauteilöffnungen erforderlich werden. Bis vor einigen Jahren war es z. B. üblich, durch Verzinkung korrosionsgeschützte Stahltrapezbleche einzusetzen. Nachdem in wenigen Fällen die Obergurte der Bleche, von der Raumseite aus unbemerkt, von oben aufgrund unzureichenden Kontakt mit CO₂ korrodierten und deswegen nicht mehr ausreichend tragfähig waren, wurde der Korrosionsschutz durch eine zusätzliche Kunststoffbeschichtung ergänzt. Dies ist vor Ort zu überprüfen. Ebenso können Träger innerhalb von Wandquerschnitten durch Korrosion stark geschädigt sein, ohne dass dies von der Raumseite aus sichtbar ist.

Leider wurden in der Vergangenheit Tragwerke nicht nur nicht ausreichend bemessen, sondern auch mit zu geringen Dimensionen errichtet. In einigen Fällen fehlten Wind- oder Torsionsaussteifungen von Trägern. Auch wenn solche Gebäude teilweise über Jahrzehnte schadensfrei stehen, genießen Sie auch bei unveränderter Nutzung keinen Bestandsschutz, wenn die Standsicherheit gefährdet ist. Dies gilt umso mehr beim Aufbringen von zusätzlichen Lasten, z. B. durch Solarmodule.

Bei der Planung ist zu berücksichtigen, dass sich Schneelasten zwischen Modulreihen konzentrieren können, die die Dachlast dadurch bereichsweise erhöhen. Durch die Solarmodule können insbesondere Horizontallasten aufgrund der höheren Angriffsfläche größer werden als bei der ursprünglichen Konstruktion. Dies betrifft v. a. aufgeständerte Anlagen.

Zur Ermittlung der Windlasten sind u. a. die Windzone, die Geländekategorie (insbes. das objektspezifische Mikroklima – z. B. Lage des Gebäudes inner-/außerhalb der Stadt, Nachbarbebauung), die Gebäudehöhe sowie die Höhe über dem Meeresspiegel (NHN) zu berücksichtigen.

8.6 Feuchtigkeitsempfindliche Bauteile innerhalb des Dachquerschnitts

In früheren Jahren war es üblich, in Flachdachaufbauten feuchtigkeitsempfindliche Stoffe zu verwenden. Dazu zählen Korkdämmstoffe, Holzbauteile, Alueinlagen auf Beton, nicht korrosionsbeständige Befestigungsmittel oder Dachbahnen mit Rohfilz-/Jutegewebeeinlagen.

Zwar sind Dächer mit feuchtigkeitsempfindlichen Bauteilen grundsätzlich weniger fehlertolerant gegenüber in den Dachaufbau eingedrungener Feuchtigkeit als solche aus feuchtigkeitsunempfindlichen Materialien, dennoch ist im Einzelfall zu entscheiden, ob solche Bauteile eine weitere risikoarme Nutzung des Dachs zulassen. Wenn z. B. die bei Dachdeckern beliebten Randbohlen aus Holz durch Fäulnis geschädigt oder zerstört sind, kann ein Teilaustausch sinnvoll sein, ohne den gesamten Dachquerschnitt zu modernisieren.

9. Empfehlungen und Hinweise – Dachabdichtungsstoffe

9.1 Nutzungsdauer von Dachabdichtungsmaterialien

Die Nutzungsdauer von Bitumen- und Kunststoffdachabdichtungsbahnen werden in vielen Veröffentlichungen weitgehend übereinstimmend mit der gleichen Größenordnung angegeben. Aktuell wird z. B. in [BMUB 2015] auf die Zusammenstellung von Nutzungsdauerdaten in [BBSR 2011] verwiesen. In dieser umfassenden Auflistung von Baustoffen wird für

„*Abdichtungsbahnen: Bitumenbahnen, Elastomerbahnen, Kunststoffbahnen oberhalb Dämmung mit leichter Schutzschicht*“ eine Nutzungsdauer von 20 Jahren bzw. ein zweimalig notwendiger Ersatz in 50 Jahren angegeben.

Für die gleichen Materialien, aber „*mit schwerer Schutzschicht*“ wird eine Nutzungsdauer von 30 Jahren bzw. ein einmalig notwendiger Ersatz in 50 Jahren angegeben.

Wenn bereits ein wesentlicher Teil der zur erwartenden Nutzungsdauer einer Dachbahn weit überschritten sein sollte, ist im Einzelfall zu entscheiden, ob vor Montage der Solarmodule die Dachabdichtung vollständig erneuert oder durch das Aufbringen einer zusätzlichen oberen Lage so instandgesetzt werden kann, dass eine auf die Nutzungsdauer der Solaranlagen abgestimmte weitere Nutzungsdauer der Dachabdichtung von etwa 20 Jahren erreicht werden kann. Alternativ sollte geklärt werden, ob eine Instandsetzung innerhalb der Standzeit der Solaranlage evtl. wirtschaftlicher ist.

9.2 Anschlüsse

Bei den Randanschlüssen ist darauf zu achten, ob sie ebenfalls einen ausreichenden UV-Schutz aufweisen, ob die Aufkantungshöhen einen ausreichenden Schlagregenschutz sowie einen ausreichenden Schutz gegen Hinterlaufen des Dachrands bieten. Die Anschlüsse müssen auf Dauer regensicher ausgebildet sein, d. h. durch Abdeckbleche oder Fassadenbauteile überdeckt sein. Wird die Regensicherheit durch elastische Dichtstoffe zwischen Klemmleiste und Untergrund erbracht, so sollte deren Zustand überprüft und regelmäßig instand gehalten werden. Gleiches gilt für Randabschlüsse, bei denen die Dachbahnen eingeklebt sind.

Dachbahnen werden an Durchdringungen mit Klebe- oder Anschweißflanschen, Klemmflanschen, Dichtungsmanschetten oder mit Flüssigabdichtungen angeschlossen. Anschlüsse mit FLK Abdichtungen sollten hinsichtlich Dicke, Vlieseinlage und Hinterlaufsicherheit überprüft werden.

9.3 Bitumendachbahnen

Bitumendachbahnen werden in der Regel in zwei bis drei vollflächig miteinander verklebten Lagen aufgebracht. Die einzelnen Bahnen weisen üblicherweise eine Schichtdicke von mindestens 3 mm auf. Dazu kommen noch die Schichtdicken der Verschweißung untereinander mit ca. 1 mm, sodass mit einer Gesamtschichtdicke von ca. 10 bis 15 mm zu rechnen ist. Wurde die bestehende Abdichtung bereits mit zusätzlichen Bahnen überarbeitet, kann die Schichtdicke entsprechend größer sein.

Bitumendachbahnen sind bei nicht genutzten Dächern meist mit einer Besplittung auf der Oberseite, d. h. mit einem sogenannten „leichten Oberflächenschutz“ versehen, der das Bahnenmaterial vor UV-Einstrahlung schützt. In anderen Fällen liegt eine Bekiesung auf der Dachhaut (sog. „schwerer Oberflächenschutz“), die durch eine Trennlage aus PE-Folie von der Dachhaut getrennt ist, damit sich die einzelnen Kieskörner nicht in die durch hohe Sonneneinstrahlung aufgeweichte Dachhaut einsenken können. Die Bekiesung sorgt in diesem Fall für den UV-Schutz und hat in der Regel auch die Aufgabe, die ansonsten lose verlegte Dachabdichtung gegen Windsog zu sichern.

Bei einer Einschätzung der Qualität einer vorhandenen Bitumendachabdichtung sind neben der Oberflächenbeschaffenheit die Funktionstüchtigkeit von Nahtverbindungen und die der Randanschlüsse zu überprüfen. Die Oberfläche der Bitumenbahnen sollte weder eine Krakelee-Rissbildung als Zeichen fortgeschrittenen Alters (Versprödung) aufweisen noch Rissbildungen über Fugen und Stößen im Untergrund. Faltenbildungen sind Zeichen von Bewegungen des Abdichtungsuntergrunds. Die Ursachen sollten ermittelt werden, damit entschieden werden kann, ob die Bewegungen abgeschlossen sind. Blasenbildungen sind Zeichen fehlender oder ungeeigneter Verklebung der Bahnen untereinander.

Ist die Verklebung der Dachbahnen untereinander unvollständig, wird der Lufteinschluss in den Zwischenräumen infolge von zyklischen Temperatur- und Feuchteänderungen zu Blasenbildungen führen, wenn das nicht durch einen schweren Oberflächenschutz verhindert wird. Im Rahmen einer Instandsetzung müssen die Blasen durch einen Dachdecker fachgerecht beseitigt, d. h. aufgeschnitten, getrocknet, neu verklebt und überklebt werden.

Bei Blasenbildungen wird allerdings auch nach vereinzelter Beseitigung davon auszugehen sein, dass die Dachhaut noch an anderen Stellen eine unzureichende Verklebung aufweist und daher einen größeren Instandhaltungsaufwand erwarten lässt. In diesem Fall ist eine Erneuerung der Dachabdichtung vor dem Aufstellen einer Solaranlage zu empfehlen.

Ab einem Alter der bestehenden Bitumendachabdichtung von fünf Jahre sollte ein Sachverständigen entscheiden, welche Instandsetzungs- oder Modernisierungsmaßnahmen erforderlich sind.

9.4 Kunststoff- und Elastomerbahnen

Kunststoff- und Elastomerabdichtungsbahnen werden einlagig verlegt. Sie weisen lediglich Dicken von 1,2 bis knapp über 2 mm auf. Mechanische Beschädigungen durch scharfkantige Gegenstände wie bei Graten und Kanten von Aluminiumprofilen können daher bei dünneren Bahnen leicht zu einem vollständigen Durchstoß durch die Abdichtungslage führen. Dies ist allerdings neben der Schichtdicke auch davon abhängig, ob die Bahn eine Verstärkungseinlage innerhalb der Bahn oder unterseitig aufweist. Vorsicht ist insbesondere an Dachrändern geboten, wenn die Kunststoffdachbahn aufgrund von Kontraktionsprozessen und einer nicht fachgerechten Verankerung am senkrecht aufgehenden Bauteil schräg gespannt ist (s. Abb. 117).



Abb. 117

Aufgrund von Kontraktionsprozessen am aufgehenden Bauteil schräg gespannte Kunststoffdachbahn unmittelbar unter einer fest montierten Leiter

Bei Kunststoffdachbahnen besteht häufig das Problem, dass das Material nicht eindeutig erkennbar ist. Manche Hersteller prägen die Oberfläche oder drucken Fabrikatskennzeichnungen im Nahtbereich an der Unter- oder Oberseite der Bahn ein, bei vielen Dachbahnen ist das aber nicht der Fall. Eine im Teil 3 der zurzeit noch gültigen [DIN 18531] aufgeführte Anforderung, das Material der Dachbahn an gut wieder auffindbarer Stelle am Gebäude durch ein entsprechendes Schild zu kennzeichnen, soll leider in der Neufassung der Norm nicht wieder enthalten sein.

Zeigt die Kunststoffdachbahn Anzeichen chemischer Veränderungen, sollte vor der Aufstellung einer Solaranlage die Dachabdichtung erneuert werden. Anzeichen einer Materialveränderung sind z. B. ein Faltenwurf an Randanschlüssen bei ansonsten glatter Dachbahn in der Fläche, was auf Schrumpfprozesse hinweist. Zeigt die Bahn wellenförmige Auffaltungen in der Fläche, ist sie möglicherweise gequollen. Eine Materialveränderung liegt auch vor, wenn die Bahn gegenüber abgedeckten oder überklebten Teilbereichen der Bahn eine andere Oberfläche, insbesondere z. B. eine Art „Orangenhaut“, zeigt. Bei Kunststoffbahnen ohne Einlagen und/oder Verstärkungen besteht ein Risiko, dass es bei extremen Witterungsbedingungen (langanhaltende Kälteperiode) zum sogenannten „Shattering“-Effekt kommt. Damit ist das glasartige Zersplittern großer Dachflächenbereiche bzw. eine instabile Rissausbreitung gemeint. Da die Ursachen für diesen Effekt bislang nicht eindeutig bestimmbar sind, kann auch durch eine Materialuntersuchung keine Aussage über die Wahrscheinlichkeit des Eintretens getroffen werden. In diesen Fällen sollte vor der Aufstellung einer Solaranlage eine neue Abdichtungsbahn eingebaut werden.

Kunststoffbahnen sollten eine Mindestdicke von 1,5 mm aufweisen. Dünnere Bahnen weisen eine geringere mechanische Belastbarkeit, u. a. gegen Hagelschäden, auf. Die mechanische Belastbarkeit ist auch abhängig davon, ob die Bahn homogen oder mit innenliegenden Einlagen oder Verstärkungen ausgerüstet ist oder ob sie eine unterseitige Kaschierung aus einem Polyestervlies aufweist.

Die Nahtverbindungen sollten homogen verschweißt sein. Bei Dachbahnen aus Polyisobutyl (PIB), die mit angearbeiteten Butyl-Dichtbändern untereinander verklebt werden, wurde beobachtet, dass eine horizontale Lasteinleitung auf die Bahnenstöße zu einem Versagen der Klebeverbindung führt. Dies kann durch die Verschiebung der Solaranlage aufgrund von Wind oder „Temperaturwanderung“ (s. Kap. 7.3) geschehen. Bei dieser Art der Nahtverbindung kann es auch insbesondere in Bereichen von stehendem Wasser zu einem „Aufstellen“ der Bahnränder und zu einer Funktionseinschränkung der Klebeverbindung kommen. Ist die Nahtabdichtung mit Selbstklebebändern ausgeführt, sollte darauf geachtet werden, dass keine mechanische Beanspruchung, z. B. durch Horizontalverschiebung der Anlage, auf die Nähte einwirken kann.

Die Reparierbarkeit von Dachbahnen sollte bei der Auswahl ebenfalls eine Rolle spielen: Elastomerdachbahnen aus EPDM oder anderen Materialien lassen sich häufig nicht nachträglich verschweißen, sondern können an Reparaturstellen nur bedingt verklebt oder mit Fremdmaterialien überarbeitet werden. Eine Weiterentwicklung stellen thermoplastische Elastomerdachbahnen dar, deren Nahtverbindungen verschweißt werden. Reine Elastomerdachbahnen sind meist schwarz, thermoplastische Elastomerdachbahnen meistens grau oder weiß. Vor der Entscheidung über die Aufstellung von Solaranlagen sollte das Material eindeutig bestimmt und entsprechende Empfehlungen des Bahnenherstellers zur Notwendigkeit und Möglichkeit der Instandsetzung eingeholt werden.

Bei älteren Kunststoffdachbahnen wird die Verschweißung aufgrund der jahrelangen Einwirkung von Schmutzablagerungen schwieriger. Es ist eine intensive Reinigung der Oberfläche erforderlich, um eine funktionsfähige Verbindung mit neuen Bahnen herzustellen. Die Reinigung erfolgt in der Regel mit lösemittelhaltigen Stoffen, die auch das Material der Dachbahn selbst auflösen. Daher ist die Reinigungsmöglichkeit eingeschränkt, insbesondere bei nicht bitumenbeständigen Dachbahnen aus PVC, die mit monomeren Weichmachern hergestellt werden. Polymer vernetzte Dachbahnen aus bitumenverträglichen PVC-P-Dachbahnen sind lösungsmittelresistenter; Reinigungsmittel können daher unbesorgt angewendet werden. Bei älteren Dachbahnen und schlechten Reinigungsmöglichkeiten werden Reparaturstellen auch durch eine Verschweißung mit der sauberen Unterseite der alten Dachbahn wieder angedichtet, sofern die Bahnen nicht unterseitig vlieskaschiert sind.

Bei Dachbahnen aus Ethylen-Copolymerisat-Bitumen (ECB) müssen die Oberflächen durch mechanische Aufrauung für neue Verschweißungen an Reparaturstellen vorbereitet werden. Die Dachbahnen weisen eine größere Schichtdicke (mindestens 1,8 oder 2,0 mm) und damit auch eine höhere mechanische Belastbarkeit auf.

Die Verarbeitung von Kunststoffdachbahnen setzt auch handwerkliche Sorgfalt und Erfahrung voraus: Insbesondere hochwertige Kunststoffdachbahnen aus flexiblen Polyolefinen (FPO) weisen nur ein schmales

Schweißfenster auf, d. h. die Temperaturen, bei denen die Bahnen zum Verschweißen angelöst werden müssen, liegen in relativ engen Grenzen. Ältere Dachbahnen aus FPO aus den Jahren vor 1997 konnten teilweise mit neueren Dachbahnen aus dem gleichen Werkstoff nicht mehr verbunden werden, da zwischenzeitliche Rezepturänderungen stattgefunden haben. Bahnen aus FPO sind verträglich mit Bitumen und Polystyrol, nicht aber mit PVC-P, können also nicht mit solchen Bahnen repariert werden.

Ältere Kunststoffdachbahnen aus PVC-P sind teilweise nicht mikrobebeständig. Sie dürfen daher nicht unter Kiesschichten verlegt werden und sind gefährdet bei in Pfützenbildungen langanhaltend stehendem Wasser. Bei Auflagerungen von Solaranlagen ist mindestens an den Auflagerstellen mit erhöhter Mikrobenbelastung zu rechnen. Die Mikrobenbeständigkeit sollte daher von dem Hersteller der Dachbahn bestätigt werden.

Bei Kunststoffbahnen sind mögliche Unverträglichkeiten zu beachten. Die Mehrzahl der PVC-Bahnen ist nicht bitumenverträglich. Bei Kontakt mit Bitumen verändert sich die Molekularstruktur des Kunststoffs, die Weichmacher wandern aus, die Bahnen werden spröde. Bautenschutzmatte, die üblicherweise als Schutzlage zwischen PV-Elementen und Abdichtungsbahnen verwendet werden, bestehen nicht aus Bitumen, sondern aus Gummischnitzeln, die mit Polyurethan-Klebstoffen miteinander verbunden werden. Bekannte Unverträglichkeiten mit Bautenschutzmatte gibt es insbesondere bei Kunststoffbahnen aus Polyisobutyl (PIB), die auch nur von einem Hersteller angeboten werden. Bei diesen Bahnen muss ein Vlies (alternativ eine Aluminiumfolie) zwischen Bautenschutzmatte und Abdichtungsbahn verlegt werden.

(Auch der Kontakt zwischen PIB-Bahnen und PE-Folien muss bei dieser Kunststoffbahn unterbunden werden!)

Wenn Hinweise auf Materialveränderungen vorliegen, sollte auf die Aufstellung von Solaranlagen verzichtet werden, bzw. eine entsprechende Materialuntersuchung – am besten vom Bahnenhersteller – eingeholt werden, aus der die Unbedenklichkeit der Aufstellung hervorgeht und die eine weitere Lebensdauer von etwa 20 Jahren erwarten lässt. Diese wird allerdings nur in Ausnahmefällen zu erhalten sein.

Eine Zusammenstellung der Eigenschaften von Kunststoff- und Elastomerdachbahnen sowie Praxiserfahrungen wurden von den Verfassern im Bericht [AlBau 2008] vorgelegt. Aktuelle Informationen über Unverträglichkeiten der aktuellen und alten Bahnenrezepturen mit Bautenschutzmatte oder EPDM-Auflagerelementen sind bei den Dachbahnenherstellern zu erhalten. Zum Teil sind entsprechend erforderliche Maßnahmen je nach Dachbahnmaterial auch von den Herstellern von Aufstellsystemen zusammengestellt worden (s. z. B. [Schletter Alugrid 2015]) oder von Herstellern der Bautenschutzmatte (s. [BSW Prüfungsübersicht 2014]). Da Unverträglichkeiten oft nicht eindeutig auszuschließen sind, werden häufig grundsätzlich Vliese oder Aluminiumkaschierungen zwischen Schutzlagen und Dachbahn eingebaut.

9.5 Flüssigkunststoffe

Flächig aus faserverstärkten Flüssigkunststoffen hergestellte Dachabdichtungen der Gruppe FLK, sind bislang noch relativ selten ausgeführt worden. Dies liegt auch daran, dass sie bislang in den entsprechenden Regelwerken noch nicht durchgängig aufgenommen wurden. Hinreichend verlässliche Nutzungsdauerangaben solcher Abdichtungen liegen nicht vor. Ohne Absprache mit Hersteller und Verarbeiter der Flüssigabdichtung sollten darauf keine Solaranlagen aufgestellt werden.

9.6 Grundsätze der Instandhaltung

[DIN 18531] *Dachabdichtungen – Abdichtungen für nicht genutzte Dächer* formuliert die Grundsätze an Instandhaltungsmaßnahmen in Abgrenzung zu Modernisierungen (s. Abb. 118).

Instandhaltung	Inspektion	Feststellung des Ist-Zustands
	Wartung	Bewahrung des Soll-Zustands
	Instandsetzung	Wiederherstellung des Soll-Zustands, differenziert nach kleineren und größeren Maßnahmen (ggfls. sind dazu vertiefende Untersuchungen erforderlich).
	Modernisierung	Vollständiger Ersatz eines nicht (mehr) funktionstüchtigen oder eines verbesserungsbedürftigen Bauteilschichtenaufbaus – einschließlich aller An- und Abschlüsse unter Beachtung von Neubauregeln.

Abb. 118

Tabellarische Auflistung von Instandhaltungsmaßnahmen in Abgrenzung zur Modernisierung (nach DIN 18531)

Vor Beginn aller Maßnahmen an Dächern ist der Zustand der Dachabdichtung, der An- und Abschlüsse sowie der Durchdringungen festzustellen. Gegebenenfalls sind Bauteilöffnungen erforderlich, wenn nicht durch andere Erkenntnisquellen der Zustand des Dachquerschnitts in Erfahrung gebracht werden kann. Die Ergebnisse der **Inspektion** sind Grundlage für die Festlegung eventuell erforderlicher Wartungs-, Instandsetzungs- oder Dacherneuerungsmaßnahmen.

Bei der **Wartung** werden Maßnahmen zur Bewahrung des Sollzustands ergriffen, also z. B. unerwünschte Ablagerungen und Fremdbewuchs entfernt sowie Entwässerungsanlagen gereinigt.

Bei **Instandsetzungen** wird zwischen **kleineren** und **größeren** Maßnahmen differenziert.

Zu den kleinen Maßnahmen zählt das Abdichten von Anschlussprofilen, das Aufbringen von Schutzanstrichen auf korrosionsgefährdeten Metallteilen oder die Ausbesserung kleinerer Schadstellen in der Abdichtung.

Größere Instandsetzungsmaßnahmen beinhalten die Ausbesserung größerer Schadstellen bzw. das Aufbringen einer neuen Deckbeschichtung bzw. Besplittung.

In dieselbe Kategorie fällt prinzipiell auch die Erneuerung der Abdichtungsdecklage, entweder als Dachbahn oder als Beschichtung mit einer flüssig zu verarbeitenden, faserverstärkten Flüssigabdichtung der Gruppe FLK. Bei einer neuen Abdichtungsdecklage wird weiterhin unterschieden, ob die vorhandene Dachabdichtung verbleibt, eine Zusatzdämmung oder eine solche als Gefälledämmung aufgebracht wird.

Modernisierungen verstehen sich als vollständiger Austausch aller Bauteilschichten eines nicht (mehr) gebrauchstauglichen oder verbesserungsbedürftigen Dachaufbaus über dem Tragwerk einschließlich aller An- und Abschlüsse.

Wenn die Solaranlage durch aufwändigere, aber zuverlässigere direkte Befestigungen mit der Unterkonstruktion und Einbindung der Stützenfüße in die Abdichtung so weit oberhalb der Abdichtung montiert werden, dass eine Instandhaltung der Abdichtung möglich ist, können Instandsetzungen auch ohne nachträglichen Rückbau der Solarmodule mit vergleichsweise geringem Aufwand durchgeführt werden.

9.7 Überprüfung der Dachabdichtung

Bei einem Zustand, der eine nur kurze Restnutzungsdauer der Dachabdichtung erwarten lässt, ist es regelmäßig sinnvoll, die Dachabdichtung entweder zu erneuern oder zumindest so zu überarbeiten, dass die weitere Nutzung des Dachaufbaus auf die zu erwartende Nutzungsdauer von Solaranlagen von ebenfalls üblicherweise 20 Jahren abgestimmt wird. Bei vergleichsweise neuen Abdichtungen von z. B. weniger als fünf Jahren bzw. in Abhängigkeit des tatsächlichen Zustands kann es sinnvoll sein, die Anlage so zu konzipieren, dass sie für eine spätere Instandsetzung der Dachabdichtung verschoben oder abgenommen werden kann. In solchen Fällen kann der Dachaufbau einschließlich der Solarmodule insgesamt länger nutzbar sein als bei einer Instandsetzung vor Aufbau der Solaranlage. Der zu erwartende Mehraufwand für das einmalige Umsetzen der Solarmodule sollte verglichen werden mit dem für die sofortige Instandsetzung der Dachabdichtung vor Installation der Solaranlagen.

Kunststoffdachbahnen werden auf Dächern einlagig verlegt. Dachabdichtungen aus Bitumenbahnen werden i. d. R. in mehreren Lagen verarbeitet. Seit Erscheinen der Norm für Dachabdichtung nicht genutzter Dächer, DIN 18531, im November 2005 können Dächer aus Bitumenbahnen bei üblichem Standard und bei Einhaltung eines ausreichenden Gefälles zur Dachentwässerung (gefordert wird eine Neigung von mindestens 2 %) sowie mit Bahnen der höchsten Eigenschaftsklasse E1 Dachabdichtungen auch einlagig hergestellt werden.

Häufige Ursachen von Durchfeuchtungen in Dachquerschnitten sind Fehlstellen an den Dachan- und -abschlüssen. Bei Dachflächen mit schwerem Oberflächenschutz, z. B. aus Kies, werden häufig die Abdichtungsbahnen im Bereich der Randaufkantung nicht gegen Sonneneinstrahlung und freie Bewitterung geschützt. Auch sind diese Bereiche von Abdichtungen besonders anfällig gegen Perforationen.

Im Rahmen ihrer Sachverständigentätigkeit haben die Autoren bei Untersuchungen von Bestandsdächern mehrfach festgestellt, dass regelmäßig ältere Dachaufbauten instandgesetzt wurden, indem einmalig oder mehrfach weitere Abdichtungslagen aufgebracht wurden. Teilweise wurden zusätzliche Wärmedämmungen eingebracht (sogenannte Duo-Dächer). An vielen Dächern genügte jedoch die Instandsetzung der Bereiche, die nicht unter dickeren Schichten liegend nicht gegen die freie Bewitterung und die UV-Belastung geschützt sind. An den Dächern haben zusätzliche Abdichtungslagen regelmäßig die Nutzungsdauer der Dachaufbauten deutlich erhöht, ohne dass der gesamte Dachaufbau ausgetauscht werden musste.

Die Beibehaltung vorhandener Abdichtungen hat neben den ersparten Abrissaufwendungen den erheblichen Vorteil, dass während den Maßnahmen ein deutlich geringeres Risiko von Durchfeuchtungsschäden in den oft während der Instandsetzung weiter genutzten Gebäude besteht. Grenzen liegen dann vor, wenn der alte Dachaufbau sich schädigend auf den neuen bzw. die neue Abdichtungslage auswirken kann, wenn z. B. Wasser aus dem bestehenden Dachquerschnitt in einen neuen, feuchteempfindlichen eindringen kann oder wenn Rissbildungen so stark sind, dass neue Bahnen perforiert werden können. In solchen Fällen sollte geprüft werden, ob gegebenenfalls durch abschnittsweises Austauschen der Dachbahn Risiken von schweren Durchfeuchtungsschäden im Gebäude klein gehalten werden können.

Bei Kunststoffdachbahnen, aber auch bei Bitumenbahnen, ist die Materialverträglichkeit von neuen Decklagen mit den vorhandenen zu prüfen. So manche alte Bitumenbahn stellte sich nachträglich als Teer bzw. Pechbahn heraus, die untereinander materialunverträglich sind und sich gegenseitig schädigen. Gleiches gilt selbstverständlich für Kunststoffbahnen, bei denen Migrationseffekte von Bestandteilen zu Auflösungserscheinungen oder starken Versprödungen führen können.

Zur Vermeidung von Problemen der Dauerhaftigkeit und Materialunverträglichkeiten sowie für die Auswahl der Fügetechnik bzw. von flüssig zu verarbeitenden Abdichtungssystemen der Gruppe FLK ist im Regelfall das Material der Dachbahn zu bestimmen. Als Kunststoff- oder Elastomerbahnen sind z. B. PVC-P, nicht bitumenbeständig (nb) oder bitumenverträglich (bv), aus EVA, PIB, FPO, TPE, EPDM häufiger anzutreffen. Falls kein Aufdruck auf der Dachbahn erkennbar ist, kann die Bahn durch Liefernachweise oder durch eine Analyse nach Probennahme und Bestätigung des Herstellers ermittelt werden.

10. Empfehlungen und Hinweise: Verlegeart

10.1 Lose verlegt mit Auflast

Viele Flachdächer werden mit Schichten abgedichtet und gedämmt, die nur lose verlegt werden und deren Windsogsicherung dadurch gewährleistet ist, dass die Bahnen mit Kies oder in größeren Höhen auch mit Betonplatten beschwert werden. Diese Beschwerung stellt gleichzeitig auch den schweren Oberflächenschutz dar, sodass keine weiteren mechanischen Belastungen und keine UV-Beanspruchung auf die Dachbahnen einwirken. Dieser schwere Oberflächenschutz erhöht in der Regel die technische Lebensdauer der Dachbahnen.



Abb. 119

Kiesschüttung auf einer alten Kunststoffbahn-Abdichtung aus ECB

Die Auflast kann bei entsprechend vorhandener Schichtdicke auch für die Windsogsicherung von Solarelementen verwendet werden, z. B. bei Wannensystemen. Wichtig ist aber, dass die Dachbahnen auch nach der Aufstellung von Solaranlagen vollflächig mit Kies bzw. Platten oder dem unmittelbar flächig aufliegenden Solarelement bedeckt sind.

10.2 Voll verklebte Systeme

Sind die Dachsichten vollständig miteinander verklebt, ist damit planmäßig nur die Windsogsicherheit des Dachaufbaus selbst gewährleistet. Zusätzliche Windsoglasten und auch Horizontallasten können die Verklebungen überlasten. Bei durchfeuchteten Schichtenfolgen besteht die hohe Wahrscheinlichkeit, dass Klebeschichten nicht mehr voll funktionstüchtig sind. Insbesondere bei Mineralwolle muss damit gerechnet werden, dass die Zugfestigkeit der obersten Schicht nicht mehr gegeben ist.

Indirekt befestigte Solaranlagen ohne mechanische Lagesicherung sollten auf solchen Dachaufbauten nur dann montiert werden, wenn die Befestigung auf der Voraussetzung beruht, dass die Schichten nicht miteinander verklebt sind.

10.3 Mechanisch befestigte Dachbahnen, mit starren oder flexiblen Dübeln

Insbesondere bei Leichtdächern werden häufig mechanisch verankerte Dachabdichtungsbahnen – in der Regel Kunststoff- oder Elastomerbahnen – eingesetzt, weil auf einen schweren Oberflächenschutz verzichtet werden soll, um Kosten und Lasten zu minimieren.

Bei mechanisch verankerten Dachbahnen ist zu kontrollieren, ob an den Befestigern Korrosionsschäden vorhanden sind. Dazu sind einzelne Befestiger an Stellen mit ggf. hohem Durchfeuchtungsgrad des Dachpakets auszubauen und zu überprüfen.



Abb. 120

Mechanische Verankerung mit gegenüber der Verschraubung verschieblichen Dübeltellern aus Kunststoff

Dübelteller, die gegenüber der Verschraubung verschieblich sind, geben beim Betreten nach. Starre Dübel sollten nicht betreten werden, weil an den Rändern der Dübelteller die Dachbahnen mechanisch hoch beansprucht werden und reißen können. Bei der Montage von Solaranlagen sollten insbesondere auf solchen Dachbahnen temporär Schutzmatten verlegt werden (zusätzlich zu den lastverteilenden Platten bei den hauptsächlich genutzten Verkehrswegen!), damit die Kantenbelastung an den Dübeltellern verringert wird.

11. Empfehlungen und Hinweise: Wärmedämmstoffe

11.1 Druckbelastbarkeit von Dämmstoffen

Wärmedämmstoffe müssen die Druckbelastung aus der Auflast des PV-Systems übertragen. Bei Hartschaumstoffen aus expandiertem Polystyrol (EPS), extrudiertem Polystyrol (XPS), Polyurethan (PUR) bzw. Polyisocyanurat (PIR) ist das üblicherweise unkritisch.

Wärmedämmstoffe aus druckfester Mineralwolle in Warmdächern (meist aus Steinwolle) können in der Regel ebenfalls die Lasten einer PV-Anlage abtragen. Sie verlieren allerdings bei häufig wechselnder Druckbelastung deutlich an Druckfestigkeit. Insbesondere besteht diese Gefahr bei der Montage oder Wartung der Solaranlage. Daher sollten Montage- und Wartungswege bei diesen Dämmstoffen mit lastverteilenden Platten ausgelegt werden. Darüber hinaus empfiehlt sich eine zumindest stichprobenartige Überprüfung und Dokumentation der vorhandenen Druckfestigkeit (und ggf. des Feuchtegehalts der Dämmung) vor der Montage, um Streit über evtl. Folgeschäden der Montage zu vermeiden.

Die Lastannahmen, die für die Belastung der Dämmschichten anzusetzen sind, beziehen sich nicht nur auf das Eigengewicht der Module, sondern auch auf veränderliche Lasten aus Winddruck auf die geneigten Flächen der Module wie auch auf die Schneelasten, die über die Auflagerpunkte der Solaranlage auf die Dachhaut und die Dämmung einwirken, während sie die Abdichtung ohne Solaranlage flächig belasten. Werden die Auflager minimiert, kommt es zu einer hohen Druckbelastung auf den Dämmstoff. Bei Mineralwolledämmschichten empfiehlt es sich daher, die Auflagerflächen möglichst groß zu gestalten, wie das etwa bei Wannensystemen der Fall ist. Inwieweit eine wiederholte Druckbelastung aus Windböen zum Festigkeitsverlust von Mineralwolledämmschichten führt, wurde offenbar noch nicht systematisch untersucht.

Bei Dämmschichten aus Mineralwolle sollte deren Druckspannung anhand von Probenahmen und Messungen der Einsinktiefen bei 10 % Stauchung dokumentiert werden. Es ist im Einzelfall zu überprüfen, ob die vorhandene Druckbelastbarkeit bei dem gewählten Montagesystem eine Auflagerung ohne deutliche Absenkung der Dachbahn erlaubt oder in welchen Bereichen Dämmstoffe ggf. ausgewechselt werden müssen.

Bei gering druckfesten Dämmplatten sind für den Montagezeitraum und für die Wartung Lastverteilungsplatten auf der Abdichtung im Bereich der Zuwegungen und den häufig begangenen Instandhaltungswegen um die Anlagen zu empfehlen. Durch eine häufige Punktblastung, wie sie beispielsweise beim regelmäßigen Begehen der Dachfläche entsteht, wird die Stabilität der Dämmplatten sonst reduziert.

Die tatsächliche Druckfestigkeit der vorhandenen Dämmplatten ist ein wesentlicher Aspekt, der bei der Planung berücksichtigt werden sollte. Eine verringerte Druckfestigkeit muss nicht zwangsläufig zum Austausch der Dämmplatten führen, wenn durch lastverteilende Maßnahmen eine auf Dauer hinreichende Formstabilität gewährleistet werden kann. Alternativ können Solarmodule durch den Dachaufbau hindurch direkt mit der Unterkonstruktion verbunden werden, wodurch keine zusätzlichen Einwirkungen auf Dämmung und Abdichtung entstehen.

Die in belüfteten Dächern und Holzdächern eingebauten Mineralwolledämmschichten bestehen in der Regel aus Glaswolle und können keine Lasten übertragen.

Darüber hinaus leiten Dämmstoffe auch Schubkräfte aus Horizontallasten in den Untergrund ab, obwohl sie dafür nicht ausgelegt sind. Für einen Nachweis dieser Form der Lastabtragung fehlen bislang entsprechende Rechenwerte.

Anforderungen an Dämmstoffe unter Solaranlagen werden neuerdings auch in DIN 4108-10 (s. Kap. 6.2.2) beschrieben.

11.2 Feuchtegehalt von Dämmstoffen

Bei vorhandener Feuchtigkeit im Dämmstoff ist zu untersuchen, ob sich dieser Feuchtegehalt schädigend auf die Funktionstüchtigkeit des Dachaufbaus auswirken kann. In vielen Fällen ist ein leicht erhöhter Feuchtegehalt im Dämmstoff vorhanden, der aber nicht zwangsläufig den Austausch der Dämmung erforderlich macht. Die Verfasser des vorliegenden Forschungsberichtes haben zu diesem Problemkreis in der Vergangenheit mehrere Untersuchungen durchgeführt (s. [AIBau 2003], [AIBau 2012]).

Bei der Quantifizierung des Feuchtegehalts reicht es nicht aus, nur die Hand auf die Oberfläche des Dämmstoffs zu legen oder eine Probe zu komprimieren, um zu schauen, ob Wasser herausläuft. Je nach Tageszeit, Temperaturunterschieden zwischen innen und außen sowie der Sonneneinstrahlung zum Zeitpunkt der Dachöffnung kann sich die Feuchte an der Dämmstoffoberseite oder der -unterseite konzentrieren, da die unterschiedlichen Temperaturgefälle innerhalb der Dämmschicht eine permanente Feuchteumlagerung bewirken. Auch eine Messung mit kapazitiven oder elektrischen Messverfahren vor Ort kann nur einen ersten Anhaltspunkt für die Feuchtebelastung des Dämmstoffs liefern. Zu einer genauen Quantifizierung muss eine Dämmstoffprobe über die gesamte Höhe des Querschnitts entnommen und im Labor der Feuchtegehalt durch Darrmessung (wiegen, trocknen, wiegen bis zur Gewichtskonstanz gemäß [DIN EN ISO 12570:2013-09]) bestimmt werden. Nur mit solchen Messungen sind Aussagen über die Verringerung der Leistungsfähigkeit des Dämmstoffs möglich und lassen einen Vergleich mit ggf. nach der Aufstellung der Solaranlage auftretenden Durchfeuchtungen zu.

Durch Untersuchungen an zahlreichen Objekten, die auch im Rahmen der o. g. Forschungsarbeiten des AIBau ([AIBau 2003], [AIBau 2012]) durchgeführt wurden, war festzustellen, dass in vielen Dachdämmungen ein gewisser Feuchtegehalt üblich ist.

In einer bislang unveröffentlichten Studie der Verfasser wurden folgende Werte (s. Abb. 121) für praktische Feuchtegehalte im Regelfall und maximal angetroffene Feuchtegehalte im Schadensfall zusammengestellt:

		„trockene“ Dämmstoffe		„Feuchte“ Dämmstoffe	
Dämmstoffart		Anzahl der Flachdachflächen	Praktische Feuchtegehalte	Anzahl der Flachdachflächen	Maximale Feuchtegehalte
Expandiertes Polystyrol (EPS)		7	0,01 - 0,07 Vol.-%	5	7 - 22 Vol.-%
Extrudiertes Polystyrol (XPS)		1	0,14 Vol.-%	2	1 - 4 Vol.-%
Polyurethan (PUR)		2	0,09 - 0,13 Vol.-%	5	21 - 49 Vol.-%
Glaswolle		4	0,015 - 0,026 Vol.-%	4	0,02 - 0,45 Vol.-%
Steinwolle		3	0,03 - 0,65 Vol.-%	3	20 - 28 Vol.-%

Abb. 121

Zusammenstellung von üblichen und maximalen Feuchtegehalten von Dämmstoffen bei verschiedenen Dämmstoffproben in Praxisfällen (AIBau)

Die Wärmeleitfähigkeit von vielen Dämmstoffen ist in baupraktisch festgestellten Feuchtigkeitsgehalten häufig noch akzeptabel. In den 1980er Jahren wurden dazu Untersuchungen am Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. in München (FIW) durchgeführt ([Achtziger, Cammerer 1984]). Abb. 122 zeigt die Zunahme der Wärmeleitfähigkeit bei steigendem Feuchtigkeitsgehalt am Beispiel von EPS in Volumenprozent:

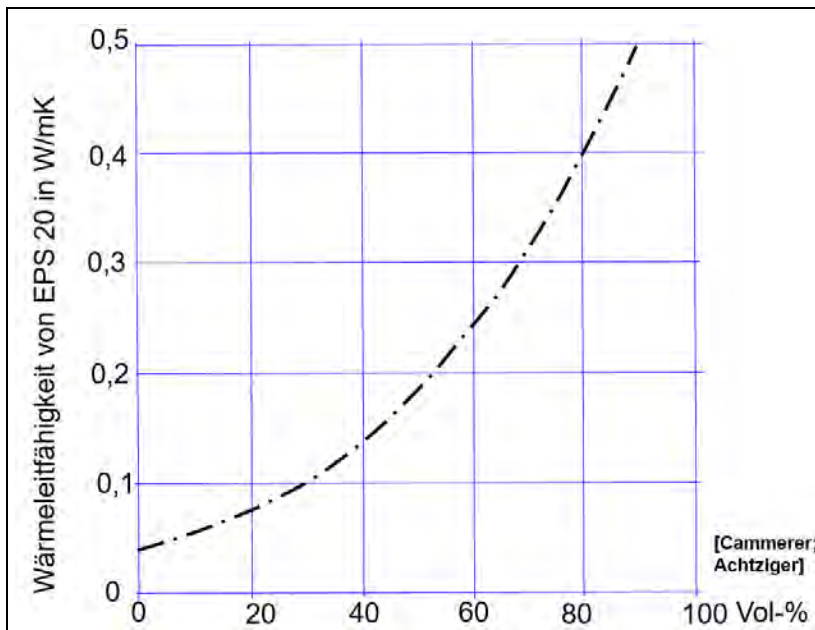


Abb. 122

Ergebnisse der Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit am Beispiel von expandiertem Polystyrol am Forschungsinstitut für Wärmeschutz nach [Achtziger, Cammerer 1984]

Zwar wurden diese Messungen an zum damaligen Zeitpunkt verfügbaren Wärmedämmstoffen durchgeführt, diese sind aber heute noch in vielen Dächern vorhanden und bei Bauteiluntersuchungen daher noch immer relevant.

In vielen Fällen sind feuchte Dämmungen als völlig durchnässt eingestuft und der Abriss empfohlen worden, weil sie angeblich überhaupt keine wärmeschutztechnischen Eigenschaften mehr aufwiesen. Die Grafik in Abb. 122 zeigt jedoch, dass selbst ein Feuchtegehalt von 20 Volumen-% bei EPS (bei einem solchen Wassergehalt läuft beim Komprimieren der Probe Wasser heraus!) eine Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit von etwa 0,04 W/(mK) auf etwa 0,08 W/(mK) bewirkt. Ein sehr stark durchnässter Dämmstoff weist also immer noch einen brauchbaren Wärmeschutz auf, selbst wenn der um die Hälfte reduziert ist. Ein 16 cm dicker, erheblich durchfeuchteter Dämmstoff hat dann immer noch die Dämmeigenschaften eines 8 cm dicken, trockenen Dämmstoffs. In den meisten Fällen sind zudem die Feuchtegehalte je nach Schadensursache und Ebenheit des Untergrunds sehr heterogen verteilt, sodass sich der Gesamtwärmeverlust über die Dachfläche häufig in Grenzen hält.

Ein erhöhter Feuchtegehalt bewirkt bei Schaumkunststoffen auch keine nennenswerten Verluste an Druckbelastbarkeit, die Feuchtigkeit die Zellstrukturen in der Regel nicht beeinträchtigt. Im Gegensatz dazu bewirkt ein erhöhter Feuchtegehalt in Mineralwolledämmschichten allerdings, dass die Bindungskräfte der Fasern zwischen den Fasern reduziert werden. Die Druckbelastbarkeit (gemessen wird die Druckspannung bei 10 % Stauchung) nimmt daher ab. Bei Steinwollendämmschichten wurde bei Versuchen im Rahmen der Forschungsarbeit [AlBau 2012] gegenüber dem Auslieferungswert von rund 80 kPa bzw. dem damals geforderten Mindestwert von 60 kPa eine Reduzierung auf etwa 50 kPa – allerdings nahezu unabhängig von der Höhe des Feuchtegehalts – festgestellt. Eine deutlich höhere Verminderung der Druckspannung bei 10 % Stauchung ergab sich allerdings bei mehrfach wechselnder Druckbelastung. Erst dadurch findet also eine spürbare Dickenverminderung des Dämmstoffs und damit auch eine Verringerung des Wärmedurchlasswiderstandes statt. Daher ist für die Beibehaltung des Dachaufbaus bei Mineralwollendämmschichten mehr Augenmerk auf die Verminderung der Druckbelastung – vor allem der wiederholten Druckbelastung – zu legen als auf den Feuchtegehalt in der Dämmschicht.

Bei einem hohen Feuchtegehalt in der Dämmschicht sollten ungeachtet der vorigen Ausführungen aber einige Maßnahmen durchgeführt werden, um die Funktionstüchtigkeit des Dachaufbaus zu erhalten. Insbesondere sollte auf der Dampfsperre stehendes Wasser grundsätzlich entfernt werden, um den Feuchtegehalt im Quer-

schnitt zu verringern. Außerdem wird dadurch vermieden, dass das eingeschlossene Wasser zu weiteren Schäden im Querschnitt führt, wenn es z. B. bei Auflaständerungen an neuen Stellen den tragenden Querschnitt durchfeuchtet. Das Wasser ist an den Tiefpunkten der Dachdecke – meist in Feldmitte – abzusaugen. Dies kann z. B. an eingeklebten Rohrstützen erfolgen, die bis zur Dampfsperre-Ebene reichen, da dort das Wasser dann über einen längeren Zeitpunkt abgesaugt und der Wasserstand beobachtet werden kann. Die Rohre sind mit demontablen Deckeln abzudecken und mit einem entfernbaren Hartschaumstück zu dämmen. Sie bieten auch während der Standzeit noch gute Revisionsmöglichkeiten und sollten daher verbleiben.

Kommt es auch nach mehrmaligem Absaugen noch zu nachsickerndem Wasser, müssen die Ursachen der Durchfeuchtungen gesucht und abgestellt werden. Falls keine eindeutigen Leckstellen gefunden werden, ist die Dachfläche ggf. vollständig neu abzudichten und auch der Wärmeschutz zu überprüfen.

Im Rahmen einer Modernisierung kann auch eine durchfeuchtete Dämmschicht im Dachaufbau verbleiben, wenn darüber eine weitere Dämmschicht und eine neue Dachabdichtung eingebaut wird. In diesem Fall sind die Zielsetzungen der aktuellen Energieeinsparverordnung zu erfüllen (s. Kap. 6.2.1). Beispiele über die langjährige Bewährung solcher Maßnahmen sind in [AlBau 2003] untersucht worden.

Ob ein durchfeuchteter Dachaufbau ausgetauscht werden muss oder verbleiben und ggf. ergänzt werden kann, ist daher eine (verantwortungsvolle) Entscheidung im Einzelfall, die unter Berücksichtigung der finanziellen Möglichkeiten und der Prognose der weiteren Nutzungsdauer getroffen werden muss. Weiterhin ist zu beachten, dass unter der Rahmenbedingung, dass unter einer neu errichteten Solaranlage Maßnahmen nur mit erhöhtem Aufwand durchgeführt werden können. Entscheidet man sich für die Beibehaltung eines Dachaufbaus mit durchfeuchteten Dämmschichten, ist unter Berücksichtigung eines vertretbaren Aufwands die Feuchteverteilung und der -umfang zu ermitteln (meist sind vergleichsweise klar begrenzte Teilbereiche betroffen). Diese Feststellungen sind zu dokumentieren, um durch einen Vergleich bei späteren Untersuchungen die Entwicklung des Zustands des Daches bestimmen zu können. Steht flüssiges Wasser im Dachaufbau, sollten Maßnahmen zum wiederholten Wasserabsaugen ergriffen werden. Außerdem ist zu überlegen, ob der Wärmeschutz verbessert werden muss oder kann.

11.3 Energieeinsparung

Wenn die Abdichtung durch Aufbringen einer einzelnen Abdichtungslage überarbeitet wird, kann eine energetische Modernisierung des Dachaufbaus nach den Vorgaben der Energieeinsparverordnung (EnEV) notwendig werden, sofern die Dachabdichtung über einer Zusatzdämmung die alleinige Schutzfunktion übernehmen kann. In diesem Fall sind die Forderungen der jeweils geltenden Energieeinsparverordnung für Maßnahmen im Bestand zu erfüllen. Der gesamte Dachaufbau darf dann gegenwärtig nach [EnEV 2014] einen Wärmedurchgangskoeffizienten U von $0,20 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ bei normal beheizten Gebäuden und $0,35 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ bei niedrig beheizten Gebäuden nicht überschreiten. Energetische Modernisierungen sind nach der Energieeinsparverordnung aber nicht erforderlich, wenn der bereits vorhandene Wärmedurchgangskoeffizient einen bestimmten Grenzwert nicht überschreitet oder die Maßnahmen sich ökonomisch nicht amortisieren.

12. Empfehlungen und Hinweise: Gefällegebung

Flachdachflächen sollten mindestens ein Gefälle von 2 % aufweisen. Viele Bestandsdächer wurden vollständig ohne Gefällegebung geplant, sodass sich eine Gefällegebung nur ungeplant und in erster Linie aufgrund von Deckendurchbiegungen ergibt. Aber auch bei Gefällegebungen bis zu 5 % können Pfützenbildungen auftreten. Dies ist in der Regel kein bautechnischer Fehler, da die Abdichtungsmasse für einen entsprechenden Wasseranstau ausgelegt sind. Allerdings steigt das Schadensrisiko (wenn durch im Bereich von Pfützen liegenden, kleinsten Fehlstellen Wasser in den Dachaufbau eindringt) mit der Größe und Anzahl der Pfützenbildungen. Es entsteht auch eine zusätzliche biologische Belastung. Die thermische Wechselbeanspruchung an den Pfützenrändern steigt.

Die Aufstellung von Solaranlagen sollte daher nicht in Bereichen großer Pfützen erfolgen. Auch sollte vermieden werden, dass es zu einer zusätzlichen Pfützenbildung aufgrund der Aufstellung kommt. Bei der Auflagerung ist daher zu überprüfen, ob es durch die Zusatzlasten der Solaranlage zu einer entsprechenden Durchbiegung der Unterkonstruktion kommen kann. Es sollten auch keine Sperren in Fließrichtung entstehen, d. h. Auflager sollten nicht durchgehend linienförmig quer zur Gefällegebung verlegt werden. Ist dies unumgänglich, sollten die Schutzlagen in kleinen Abständen unterbrochen und dafür gesorgt werden, dass Niederschlagswasser dauerhaft zwischen den Schutzlagen abfließen kann. Durch eine regelmäßige Wartung sollte vermieden werden, dass sich die Zwischenräume mit Schmutz zusetzen.

13. Empfehlungen und Hinweise: Checkliste

Die in den Kapiteln 8 -12 genannten Empfehlungen und Hinweisen werden wie folgt als Checkliste zusammengefasst. Dabei erhebt die Liste keinen Anspruch auf Vollständigkeit, im Einzelfall sind ggf. weitere Punkte hinzuzufügen.

13.1 Bestandsaufnahme und vorbereitende Arbeiten

Zunächst müssen alle verfügbaren Informationen über die Bestandsdachfläche zusammengetragen werden, um eindeutig feststellen zu können, ob der Aufbau einer Solaranlage möglich ist und diese auf einer belastbaren Grundlage geplant werden kann. Die Dokumentation des Ist-Zustands ist auch im Interesse des Aufstellers, um Gewährleistungsansprüche von bereits vorhandenen Schäden trennen zu können.

- Zunächst ist grundsätzlich zu überprüfen, ob die Tragkonstruktion Lastreserven aufweist, die eine Aufstellung von Solaranlagen ermöglicht. Eine vorhandene Schädigung durch Korrosion oder Überlastung muss ausgeschlossen werden.
- Auch die Anforderungen an den Brand- und Blitzschutz müssen daraufhin überprüft werden, ob diese dem Aufbau einer Solaranlage grundsätzlich entgegenstehen bzw. welche Konsequenzen sich in Bezug auf die Flächenausnutzung bzw. die Ausstattung der Solaranlage daraus ergeben (s. Kap. 6.5.4 bzw. Kap. 6.5.5).
- Der Dachaufbau oberhalb der Tragkonstruktion sollte an charakteristischen Stellen geöffnet werden, um Material und Zustand von Abdichtung, Dämmung und Dampfsperre festzustellen und zu dokumentieren. Ist die Art des Materials insbesondere von Kunststoffdachbahnen nicht eindeutig vor Ort festzustellen, sollte dieses durch eine chemische Analyse eindeutig bestimmt werden. Konsequenzen für die weitere Bearbeitung sind in Bezug auf das Material der Dachabdichtung (s. Kap. 9), der Verlegeart (s. Kap. 10), der Wärmedämmung (s. Kap. 11) festzulegen.
- Schäden des Dachaufbaus – Schädigungen der Oberfläche, der Nähte, der Verklebung, der Randaanschlüsse sowie großflächige Pfützenbildungen, Blasenbildungen, Durchfeuchtung der Dämmschichten, Festigkeitsverlust von Dämmschichten etc. – sollten vor dem Aufbau einer Solaranlage, soweit möglich, beseitigt werden (s. Kap. 9). Schädigungen, die nicht beseitigt werden können, z. B. ein gewisser Durchfeuchtungsgrad der Dämmung (s. Kap. 11), sollten dokumentiert werden. Der Feuchtegehalt der Dämmschicht sollte durch eine Darr-Messung (s. Kap. 11.2) ermittelt werden.
- Bei feuchtigkeitsempfindlichen Bauteilen innerhalb des Dachquerschnitts muss im Einzelfall entschieden werden, ob sich diese Stoffe in Zukunft schädigend auswirken können (s. Kap. 8.6).
- Ein Dachaufsichtsplan sollte neben den Hauptabmessungen der Dachfläche auch die Lage von Abläufen, die Gefällegebung, die Lage von Lüftern, Lichtkuppeln, RWA-Anlagen, Blitzschutzeinrichtungen und Aufbauten dokumentieren.
- Auf der Grundlage dieser Bestandsaufnahme muss entschieden werden, in welchem Umfang eine Instandsetzung oder Modernisierung des Dachaufbaus (s. Kap. 9.6) vor der Planung und Errichtung einer Solaranlage erforderlich bzw. sinnvoll ist.
- Ggf. ist der Wärmeschutz gemäß aktueller Energieeinsparverordnung (EnEV) zu erhöhen (s. Kap. 11.3).
- Es muss festgelegt werden, ob
 1. eine direkte Befestigung mit deutlichem Abstand der Solaranlage von der Dachhaut (≥ 50 cm) erfolgen soll, um spätere Erneuerungen der Dachabdichtung zu ermöglichen, oder ob
 2. eine indirekte Befestigung erfolgen soll mit einer ggf. während der Standzeit der Solaranlage erforderlichen Demontage für eine Instandsetzung bzw. Modernisierung der Dachhaut.

13.2 Planung der Solaranlage

Die Aufstellung der Solaranlage ist zu planen. In [vdd 2013] wurde dazu folgende Checkliste in Bezug auf die Verantwortlichkeiten aufgestellt:

1. Wer ist für die Planung der Standsicherheit der Solaranlage und die statische Beurteilung der Aufnahme der zusätzlichen Lasten im Gebäude verantwortlich?
2. Wer stellt die Solaranlage auf dem Dach auf?
3. Wer schließt die Solaranlage an die Gebäudetechnik an?
4. Wer benennt die zu beachtenden Punkte für die Dachabdichtung und begleitet deren Umsetzung?
5. Wer plant und überwacht die Unfallschutzmaßnahmen?
6. Wer dokumentiert die Begehungen/Abnahmen?
7. Die zeitliche Koordination der einzelnen Beteiligten auf dem Dach, insbesondere der ausführenden Gewerke, ist durchzuführen (Abnahme der Dachfläche vor Beginn der Dacharbeiten, Materialanlieferungen auf die Dachfläche, Montage/Aufstellung/Anschluss der Solaranlage, Abnahme der Dachfläche nach Errichtung der Solaranlage).

Bei der Planung sind darüber hinaus folgende Hinweise zu beachten:

- Bei der Planung müssen neben dem Eigengewicht der Anlage auch die Schneelastkonzentrationen zwischen den Modulreihen und größere Horizontallasten durch aufgeständerte Module bei den Lastannahmen berücksichtigt werden. In die Windlastberechnung müssen u. a. die Windzone, die Geländekategorie, das Mikroklima, die Gebäudehöhe und ggf. die NHN-Höhe eingehen.
- Bei der flächenmäßigen Ausnutzung des Daches ist zu berücksichtigen, dass Abläufe, Lüfter, Lichtkuppeln und RWA-Anlagen nicht überbaut werden dürfen. Abläufe müssen regelmäßig gewartet werden. Lüfter und sonstige Dachdurchdringungen, wie z. B. Lichtkuppeln, sowie die Abdichtung über Dehnfugen müssen ebenfalls gewartet werden können und daher zugänglich bleiben. Insbesondere darf die Funktion von Rauch- und Wärmeabzugsanlagen nicht beeinträchtigt werden.
- Gemäß den Unfallverhütungsvorschriften müssen ausreichende Abstände zum Dachrand und zu Lichtkuppeln und Lichtbändern eingehalten werden (s. Kap. 6.5.2). Eine regelmäßige und gefahrlose Wartung der Solaranlage und der Dachabdichtung muss möglich sein. Daher müssen Sicherheitsabstände zu Dachrändern und zu Lichtkuppeln eingehalten werden und Anschlagpunkte als Absturzsicherung eingebaut und fachgerecht eindichtet werden, um die Bewegungen des Wartungspersonals rund um die Elemente zu ermöglichen.
- Die Befestigung der Solaranlage sollte nur bei untergeordneter Nutzung mit stabförmiger Durchbohrung der Dachhaut bzw. der Deckung erfolgen, d. h. nur dort, wo Abtropfungen in das Gebäude bzw. in die Dachkonstruktion zulässig sind (s. Kap. 9.1).
- Die Windsogsicherung der Solaranlage sollte nicht mittels Verklebung mit Bitumen oder Kunststoffbahnen erfolgen, ohne dass dafür ein bauaufsichtlicher Nachweis eingeholt wird bzw. vorliegt (s. Kap. 7.4).
- Bei großflächigen, ballastarmen, indirekt befestigten Systemen sollten Haftreibungsbeiwerte auf der bestehenden Dachhaut gemessen werden. Gegebenenfalls sind Dehnungsausgleicher vorzusehen. Gegebenenfalls ist die Solaranlage durch direkte Lagesicherung sowie deren fachgerechte Eindichtung zu fixieren, um damit Schäden an der Abdichtung, den Aufbauten oder der Anlage selbst zu vermeiden (s. Kap. 7.3).

- Ballastoptimierte Systeme ohne direkte Lagesicherung sollten nur auf Dächern mit massivem Dachrand aufgelegt werden, um einen Absturz nach Verschieben der Anlage sicher auszuschließen (s. Kap. 7.3). Entsprechende bauaufsichtliche Regelungen sind in Vorbereitung.
- Der Abfluss von Niederschlagswasser zu den Abläufen darf nicht behindert werden (s. Kap. 12). Daher sollten keine länglichen Profile quer zur Gefällerrichtung eingebaut werden. Ist das nicht zu vermeiden, sollten die Profile nicht durchgängig auf der Abdichtung aufliegen, sondern durch punktuelle Auflager von der Dachhaut mit möglichst großem Abstand getrennt werden.
- Bei geringem Gefälle der Dachabdichtung müssen Maßnahmen geplant werden, damit die Lage der Tiefpunkte bei den Abläufen erhalten bleibt und keine neuen Tiefpunkte durch die Auflast der Solaranlage entstehen (s. Kap. 12).
- Die Auflagerung von Solaranlagen in Bereichen, in denen die Wärmedämmung bereits deutliche Festigkeitseinbußen erfahren hat, ist zu vermeiden (s. Kap. 11.1). Die zu erwartende Punktbelastung durch die Solaranlage muss auf die Festigkeitseigenschaften der vorhandenen Dämmung abgestimmt werden, damit keine Einsenkungen der Dachhaut an den Auflagerungen zustande kommen, die dort zu stehendem Wasser führen.
- Alle Durchdringungen der Abdichtungen, z. B. von Stützenfüßen, Anschlagpunkten, Kabeldurchführungen usw., sind zu planen und von einem Dachdecker fachgerecht einzudichten.
- Unverträglichkeiten von Dachabdichtungsmaterialien mit Schutzlagen und Hilfsmaterialien bei der Montage sind durch geeignete Trennschichten zu vermeiden (s. Kap. 9, insbesondere Kap. 9.4). Es empfiehlt sich, eine entsprechende Liste, bezogen auf das vorhandene Material der Dachabdichtung, an die Ausführenden zu übergeben.
- Die Vorgaben des Brand- und Blitzschutzes sind zu erfüllen (s. Kap. 6.5.4 bzw. 6.5.5).

13.3 Ausführung der Montagearbeiten

Im Rahmen der Ausführung sollten folgende Aspekte Berücksichtigung finden:

- Eine üblicherweise nicht genutzte Dachfläche ist nicht dazu ausgelegt, dass die Dachabdichtung nach der Fertigstellung häufig begangen wird oder Lasten transportiert werden. Daher sind zur Montage von Solaranlagen, insbesondere bei einlagigen, dünneren Kunststoffabdichtungen, aber möglichst auch bei Bitumendachbahnen, Laufwege festzulegen und stabile, nicht zu weiche, aber auch nicht zu starre Schutzmatte auszulegen, die die Dachhaut vor Beschädigungen schützen (s. Kap. 9, Kap. 10 und Kap. 11.1). Dies empfiehlt sich insbesondere bei Dachabdichtungsbahnen, die mit starren Tellerdübeln mechanisch befestigt wurden. Die Schutzmatte können nach der Montage wieder entfernt werden.
- Insbesondere bei Mineralwollgedämmungen müssen auf häufig begangenen Laufwegen Lastverteilungsschichten – z. B. OSB-Platten auf Bautenschutzmatte – eingebaut werden, um wiederholte Punktbelastungen der Dämmstoffe zu vermeiden (s. Kap. 11.1).
- Die Lagerung und der Transport von Materialien auf der Dachfläche ist möglichst zu vermeiden oder so weit wie möglich zu minimieren. Transportwagen mit Rollen dürfen nur auf entsprechend gekennzeichneten Transportwegen mit Lastverteilungsplatten benutzt werden.
- Die Lagerung von scharfkantigen Gegenständen, insbesondere z. B. Tragprofile aus Aluminium und Ableitbleche, unmittelbar auf der Dachbahn ist zu vermeiden. Bei notwendigen Bohr- und Schneidarbeiten sind

Vorkehrungen zu treffen, die eine Beschädigung der Dachhaut verhindern. Späne, die bei den Montagearbeiten der Solaranlage entstehen, sind möglichst direkt abzusaugen bzw. unmittelbar von der Dachhaut aufzunehmen.

- Beschädigungen der Dachbahnen sind unmittelbar vom Verursacher farblich zu kennzeichnen und möglichst umgehend durch einen Dachdecker zu reparieren.

Bei der Abnahme der Montagearbeiten sollten alle An- und Abschlüsse und Durchdringungen der Abdichtung auf evtl. Beschädigungen überprüft werden. Dies sollte möglichst in Zusammenarbeit mit dem Dachdeckerunternehmen, das die Abdichtung vorher erstellt, überprüft oder überarbeitet hat, erfolgen.

13.4 Instandhaltung der Dachfläche

Solaranlagen bedürfen, wie alle Bauteile eines Gebäudes, einer regelmäßigen Wartung im Rahmen der Instandhaltung. Dabei sollte Folgendes beachtet werden:

- Nach außergewöhnlichen Starkwindereignissen ist umgehend eine Sichtkontrolle durchzuführen. Neben der Überprüfung der Solaranlage auf Beschädigungen, gelöste Metallverbindungen oder beschädigte Elektroverbindungen ist die Anlage auf eine evtl. Lageveränderung zu prüfen. Lose und verrutschte Schutzlagen sollten in ihre ursprüngliche Lage gebracht und dort möglichst gesichert werden.
- Darüber hinaus sollte die Dachfläche regelmäßig durch einen Dachdecker begangen und die Abdichtung inspiziert werden.
- Insbesondere ist auch regelmäßig vom Aufsteller zu überprüfen, ob ggf. lose aufgelegte Ballaststeine noch vollzählig sind und die Anlage auch in Bezug auf Module und Windleitbleche etc. noch vollständig ist.

13.5 Graphische Hinweise

Auf den folgenden beiden Seiten werden einige Hinweise und Empfehlungen nochmals in Grafiken verdeutlicht.

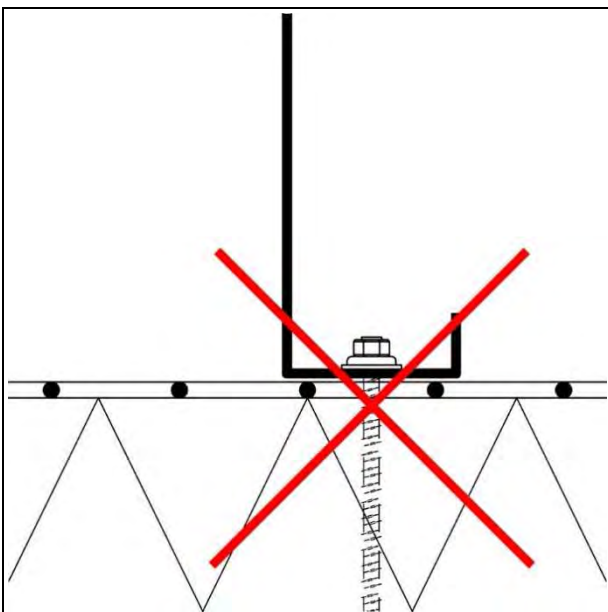


Abb. 123
Keine Befestigungssysteme für Blecheindeckungen bei Abdichtungen verwenden!

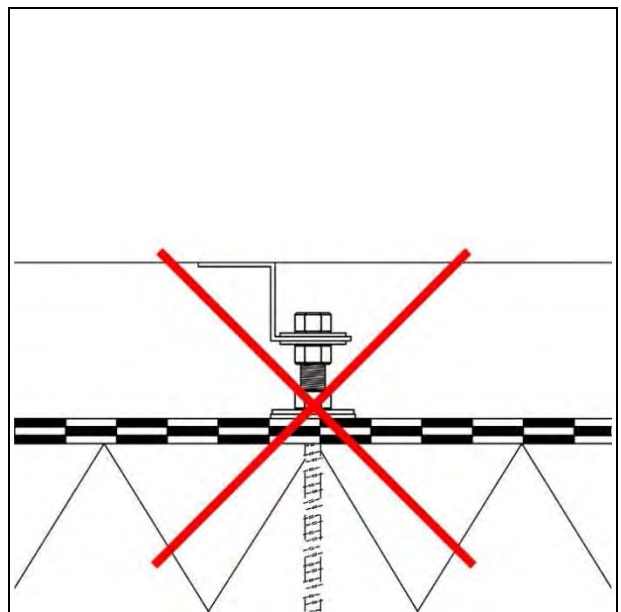


Abb. 124
Keine Befestigungen durch die Dachhaut, die nicht den Fachregeln des Dachdeckerhandwerks entsprechen!

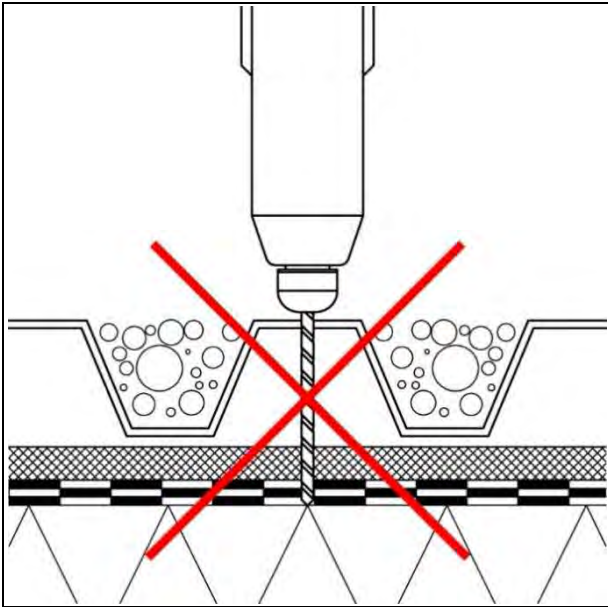


Abb. 125
Keine Bohrarbeiten ohne Anschlag unmittelbar über der Abdichtung (z. B. bei Befestigung an Wannensystemen)!

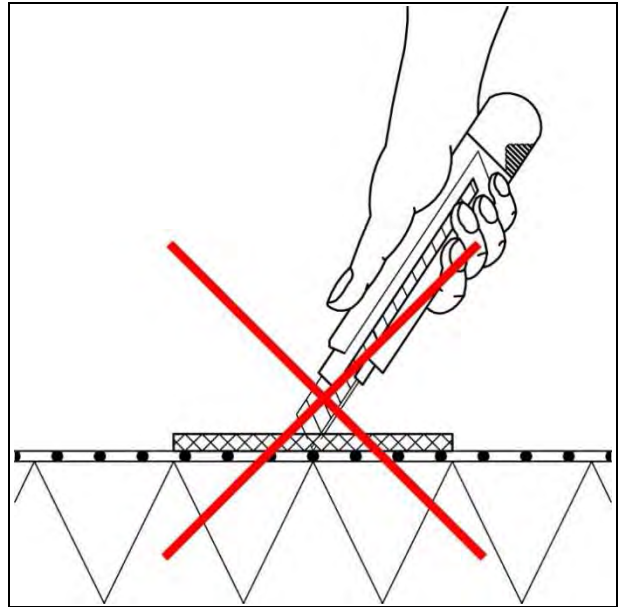


Abb. 126
Keine Schneidearbeiten auf der Abdichtung!

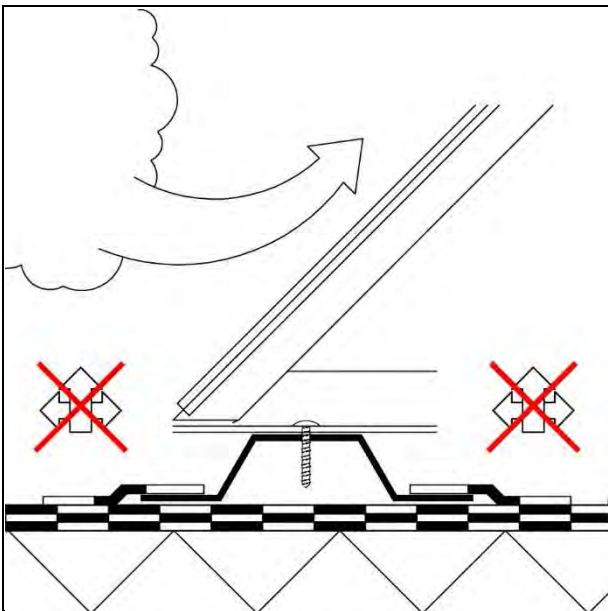


Abb. 127
Keine Befestigung durch Klebeverbindung mit Dachabdichtung ohne entsprechende Zulassung!

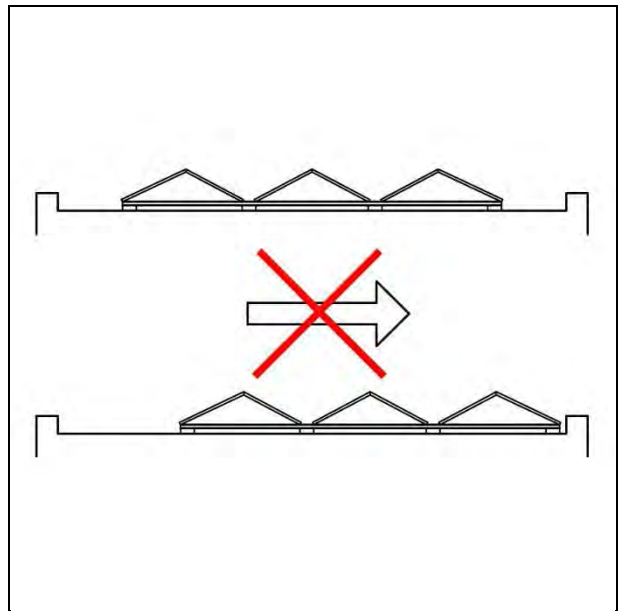


Abb. 128
Wanderung/Verschiebung ballastoptimierter Systeme vermeiden!

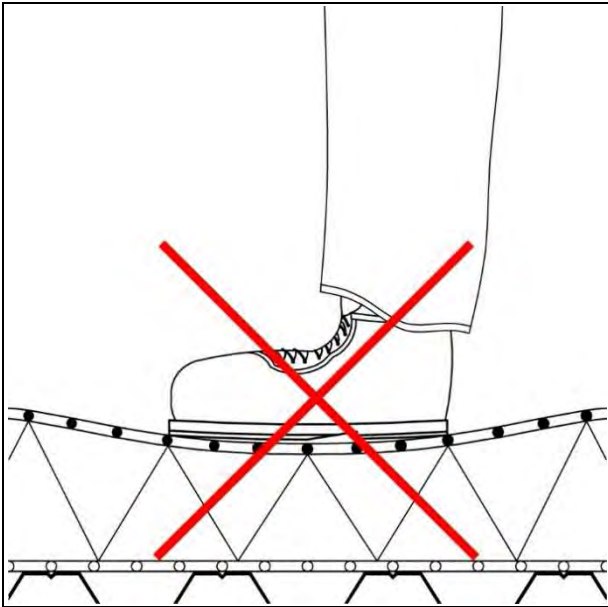


Abb. 129
Auf Mineralwolledämmplatten nicht ohne Lastverteilungsschichten arbeiten!

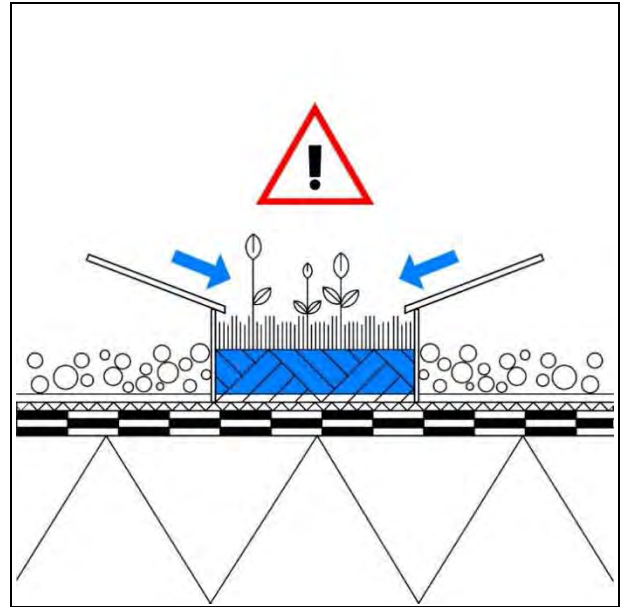


Abb. 130
Vorsicht bei Vernässung mit extensiven Begrünungen!

14. Zusammenfassung

In den vergangenen zwei Jahrzehnten wurden vielfach Solaranlagen auf Flachdächer im Bestand montiert. Dabei sind teilweise umfangreiche Schäden entstanden, weil einerseits die Dachflächen in der Regel nicht für eine solche Nutzung konzipiert waren und andererseits die Aufsteller die Funktionsweise von Dachabdichtungen und Dachaufbauten nicht in ihre Planung und Ausführung einbezogen haben.

Die Regelwerke zur Flachdachabdichtung und Dachdeckung sind auf diese relativ neue Nutzung bis heute nicht im erforderlichen Maße eingegangen. Daher war eine Erfassung und Dokumentation typischer Schadensvorgänge erforderlich, um daraus Hinweise und Empfehlungen zur Schadensvermeidung im Hinblick auf die Flachdachaufbauten ableiten zu können.

14.1 **Erfahrungen mit Solaranlagen auf Bestandsflachdächern**

Es wurden insgesamt 1.488 öffentlich bestellte und vereidigte Sachverständige für Schäden an Gebäuden und des Dachdeckerhandwerks zu ihren Erfahrungen befragt. 138 davon haben geantwortet. Es wurde von insgesamt 105 Gebäuden berichtet, bei denen keine Schäden an den Flachdächern durch die nachträgliche Montage entstanden sind. Dagegen wurde über Schäden bei insgesamt 149 Gebäuden berichtet. Außerdem wurden Mitgliedsunternehmen des Bundesverbands der Solarwirtschaft befragt, von denen acht geantwortet haben.

Die negativen Erfahrungen lassen sich grob gefasst in vier Gruppen unterteilen:

1. Schäden durch mangelhafte Berücksichtigung des Untergrunds
2. Schäden durch unzureichende Planung
3. Schäden durch Missachtung der Fachregeln der Abdichtungstechnik
4. Schäden durch unzureichende Fixierung auf der Dachfläche

Zur ersten Gruppe gehört die unzureichende Prüfung des Untergrunds in Bezug auf die Tragfähigkeit und den Dachaufbau, die Vorschädigung der Abdichtung (z. B. durch Alterung) oder des Aufbaus (z. B. durch Mängel in den Bauteilschichten) und der vorhandenen Gefällegebung. Wenn Solaranlagen kurz nach der Montage wieder abgebaut werden müssen, um Schäden am Dachaufbau untersuchen und von evtl. Vorschäden abgrenzen zu müssen, entstehen zusätzliche Investitionskosten für Demontage und Neu-Montage. Ist der Zustand der Dachfläche vor der Montage nicht dokumentiert, ergeben sich hohe Haftungsrisiken für die Aufsteller.

Als Schadensursachen der zweiten Gruppe sind die unzureichende Windsogsicherung, die Unzulänglichkeit oder die Missachtung der Vorgaben von Herstellern der Aufstellsysteme, das Fehlen von Abständen zu Dachrändern, Lichtkuppeln etc., die adhäsive Befestigung auf der Dachbahn ohne bauaufsichtlichen Nachweis zu nennen. Das Abheben von indirekt befestigten Solaranlagen ist sicherlich die größte Gefahr für die Öffentlichkeit. Geplante Ballastierungen werden nicht ausgeführt oder zweckentfremdet, Herstellerangaben nicht eingehalten oder auf Untergründen angewendet, für die sie nicht konzipiert wurden, oder es sollen Windsogkräfte von dem Abdichtungsmaterial selbst aufgenommen werden, obwohl dafür weder hinreichende technische noch bauaufsichtliche Nachweise vorliegen.

Zur dritten Gruppe gehören Befestigungsvarianten der Solarelemente, die erkennen lassen, dass die Kompetenz für die Abdichtungstechnik fehlt, z. B. stabförmige Befestigungselemente, die die Abdichtung durchdringen und laienhafte Versuche, diese Leckagestellen abzudichten, sowie Beschädigungen der Abdichtung während der Montage. Undichtigkeiten des Dachaufbaus, die durch die Montage der Solaranlage entstehen, lassen sich ggf. nicht auf einzelne Punkte zurückverfolgen und haben daher nicht selten ebenfalls den Abbau der kompletten Solaranlage zur Folge.

Zur vierten Gruppe ist eine unzureichende Sicherung gegen Horizontalverschiebung bei ballastoptimierten Anlagen zu nennen. Der Trend zu immer leichteren Anlagen, deren Ballastierung aufgrund von aerodynamischen

Versuchen minimiert werden kann, erhöht aufgrund der größeren Modulfelder die Gefahr von sogenannten „Temperaturwanderungen“ (s. Kap. 7.3) und aufgrund der nicht vollständig sicher vorhersagbaren Haftreibungseigenschaften zwischen Dachbahn und Auflagerfläche die Gefahr der Horizontalverschiebung bei Sturmböen. Bei Dächern ohne stabile Attikaaufkantung droht deshalb der Absturz der Anlagen vom Dach.

Die positiven Erfahrungen mit Solaranlagen auf Flachdächern im Bestand sind offenbar in erster Linie darauf zurückzuführen, dass vor der Entscheidung über die Aufstellung einer Solaranlage eine gründliche Beurteilung des vorhandenen Daches stattgefunden hat, dass die Anlage auf einem druckstabilen Dachaufbau mit ausreichender Ballastierung errichtet oder dass eine direkte Befestigung der Solaranlage mit fachgerechter Eindichtung der Stützen durchgeführt wurde. Auch aufgrund einer regelmäßigen Wartung (z. B. Kontrolle der Schutzmatte, Freimachen des Wasserabflusses) konnten offenbar (größere) Schäden vermieden werden. Neue Arten von Auflagertypen auf der Dachhaut (aus Kunststoff oder EPDM) wurden entwickelt, um die Haftreibung auch auf glatten Kunststoffbahnen zu erhöhen und die Gefahr von Horizontalverschiebungen zu vermindern. Direkte Lagesicherungen mithilfe von fachgerecht eingedichteten Fixierstützen lassen eine stabile Funktionsfähigkeit von Dachaufbau und Solaranlage erwarten.

14.2 Vorhandene Regelwerke

Die Regelwerke zur Abdichtung von Flachdächern – in erster Linie die Flachdachrichtlinie des Zentralverbands des deutschen Dachdeckerhandwerks sowie die DIN 18531 (bisher schon für nicht genutzte Dächer gültig und als Nachfolgenorm eines Teils der DIN 18195 auch für genutzte) – werden zum Zeitpunkt der Fertigstellung des vorliegenden Berichts gerade überarbeitet. Bisher sind in den alten Fassungen nur wenige Kriterien für die Aufstellung von Solaranlagen enthalten, insbesondere nicht zur Auflagerung auf Bestandsdächern. Es gibt aber von einzelnen Verbänden der Dachbahnhersteller sowie der Metallindustrie gut brauchbare Hinweise im Hinblick auf die erforderlichen Voraussetzungen für die Aufstellung von Solaranlagen, sodass sich abzeichnet, dass auch die Neufassung der o.g. Regelwerke entsprechende Mindestanforderungen enthalten.

Auch das im Januar 2016 neu erschienene Blatt 1.4 der VDI 6012 enthält im Hinblick auf die Dimensionierung der Anlagen wertvolle Vorgaben.

Anforderungen an den Brand- und Blitzschutz sind auch nach den bestehenden Richtlinien, die für die Bestandsgebäude gelten, einzuhalten. Anforderungen an den Unfallschutz bei Arbeiten an Solaranlagen im Hinblick auf Absturzsicherungen der Monteure und des Wartungspersonals wurden kürzlich von den Unfallversicherern zusammengefasst.

14.3 Hinweise und Empfehlungen

Die aus den Umfragen und den bestehenden Regelwerken sowie den eigenen Erfahrungen mit Schadensfällen und Forschungsarbeiten zu ziehenden Schlussfolgerungen werden im Bericht als Hinweise und Empfehlungen jeweils auf die Aufstellsysteme, auf die Dachkonstruktion, auf die Dachabdichtungsstoffe, auf die Verlegeart, auf die Wärmedämmstoffe und die Gefällegebung bezogen und in einer Art Checkliste auch in Verbindung mit allgemeinen Anforderungen zusammengefasst.

Zu empfehlen ist im Wesentlichen:

1. Eine gründliche Bestandsaufnahme der Tragkonstruktion, des Dachaufbaus, der Anforderungen an das Bestandsgebäude, deren Dokumentation und die daraus abgeleitete Festlegung vorbereitender Instandsetzungs- oder Modernisierungsarbeiten. Es empfiehlt sich, entsprechend fachkundige Bauplaner (Architekten, Statiker) und Dachdecker hinzuziehen.

2. Eine umfassende Planung der Solaranlage mit Festlegung der Verantwortlichkeiten, ausführlicher statischer Berechnung unter Einbeziehung der Lasteinleitung durch den Dachaufbau, Festlegung von Maßnahmen zum Brand- und Blitzschutz sowie zur Absturzsicherung.
3. Eine sorgfältige Montage unter Berücksichtigung der Herstellervorgaben und unter Einbeziehung von Schutzmaßnahmen für den Dachaufbau während der Montage.
4. Eine regelmäßige Wartung der Anlage sowie eine Sichtung nach außergewöhnlichen Witterungsereignissen.

15. Fazit

Grundsätzlich sind die wesentlichen Schäden an Dächern im Gebäudebestand, auf die nachträglich Solaranlagen aufgestellt wurden, auf die Unwissenheit der Monteure zurückzuführen, die sich mit Dachabdichtungen offensichtlich nur sehr unzureichend auskennen. Aber gerade diese Schadensbilder zeigen, dass die Schnittstelle zwischen Solaranlagen und Dachfläche in vielen Fällen nicht ausreichend erkannt und beachtet wird, wenn ausschließlich Solarmodule montiert werden sollen und eine Gewerke übergreifende Planung sowie Koordination fehlen.

Die teilweise als grotesk zu bezeichnenden und für Bauschaffende unverständlichen Fehler sind aber glücklicherweise in Bezug zur Gesamtfläche der Solarmodule offensichtliche vereinzelte Missstände. Sie sollen nicht dazu führen, von einer nachträglichen Installation von Solaranlagen auf bestehende Dächer grundsätzlich abzuraten.

Flachdächer, auf denen Solarmodule aufgestellt werden, zählen normativ zukünftig berechtigterweise als genutzte Dächer mit einer Sondernutzung für haustechnische Einrichtungen. Zunächst sind für die Installation von Solarmodulen auf bestehenden Dächern die gleichen Anforderungen zu stellen wie an die Errichtung auf neuen Dächern. Da aber bestehende Dächer in der Regel zum Errichtungszeitpunkt nicht für die spätere Montage von Solarmodulen konzipiert wurden, hätte eine strenge Prüfung nach den gleichen Standards zur Folge, dass regelmäßig auf bestehende Dächer keine Solarmodule aufgestellt werden können. Wenn z. B. die Druckfestigkeit der Wärmedämmung nicht den aktuellen Anforderungen entspricht, stellt sich die Frage, ob dennoch die Dachfläche für das Aufstellen geeignet ist. Wenn die obere Abdichtungslage beginnende Korrosionserscheinungen aufzeigt, ist festzulegen, ob die Abdichtung ohne weitere Bearbeitung, mit einer zusätzlichen Decklage genutzt werden kann oder insgesamt modernisiert werden muss. Dabei ist die Nutzungsphase des Dachs im Vergleich zu der üblichen Nutzungsdauer der Solaranlage im Auge zu behalten, um die ökonomische Rentabilität nicht zu gefährden. Hingegen sollen überzogene Anforderungen an den Gebäudebestand nicht die Nutzung von Sonnenenergie verhindern, indem in Grenzfällen die Wirtschaftlichkeit wegen zusätzlich erforderlicher Maßnahmen an einer Dachfläche infrage gestellt wird.

Der Zustand der Dachfläche muss vorher genau untersucht werden und daraus Konsequenzen gezogen werden, ob die Dachfläche ohne weitere Maßnahmen mit einer Solaranlage belegt werden kann oder ob Instandsetzungs- oder Modernisierungsmaßnahmen erforderlich sind. Bei Dachflächen, die eine weitere Nutzungsdauer in der Größenordnung der Nutzungsdauer der Solaranlage – man geht zurzeit von ca. 20 Jahren aus – erwarten lassen, können Solaranlagen aufgestellt werden und sinnvoll zur regenerativen Deckung des Energiebedarfs beitragen.

16. Literaturverzeichnis

16.1 Normen und Regelwerke

[DGV Information 203-080 2015]

DGV Information 203-080: Montage und Instandhaltung von Photovoltaik-Anlagen. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV), April 2015

[DIBt 2012]

Hinweise für die Herstellung, Planung und Ausführung von Solaranlagen. Hrsg.: Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin, Mai 2012

[DIN 4108-10:2015-12]

DIN 4108-10:2015-12 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 10: Anwendungsbezogene Anforderungen an Wärmedämmstoffe - Werkmäßig hergestellte Wärmedämmstoffe

[E DIN 4426:2015-12]

DIN 4426:2015-12 Einrichtungen zur Instandhaltung baulicher Anlagen, Entwurfsfassung

[DIN 18195]

DIN 18195 Bauwerksabdichtungen, Teil 5 Abdichtung gegen nichtdrückendes Wasser auf Deckenflächen und in Nassräumen; Bemessung und Ausführung, Ausgabe Dezember 2011

[DIN 18531]

DIN 18531 Dachabdichtungen – Abdichtungen für nicht genutzte Dächer, Teil 1: Begriffe, Anforderungen, Planungsgrundsätze, Teil 2: Stoffe, Teil 3: Bemessung, Verarbeitung der Stoffe, Ausführung der Dachabdichtungen, Teil 4: Instandhaltung, aktuelle Ausgaben: Mai 2010

[DIN EN ISO 12570:2013-09]

DIN EN ISO 12570:2013-09 Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten - Bestimmung des Feuchtegehaltes durch Trocknen bei erhöhter Temperatur

[DIN VDE 0100-410: 2007-06]

DIN VDE 0100-410 Errichten von Niederspannungsanlagen - Teil 4-410: Schutzmaßnahmen - Schutz gegen elektrischen Schlag

[DIN VDE 0100-712: 2015-08]

DIN VDE 0100-712 Errichten von Niederspannungsanlagen - Teil 7-712: Anforderungen für Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art – Photovoltaik-(PV)-Stromversorgungssysteme

[EnEV 2014]

Verordnung über energieeffizienten Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden – Energieeffizienzverordnung (EnEV) - Zweite Verordnung zur Änderung der Energieeffizienzverordnung vom 18. November 2013

[IFBS 2012]

IFBS Solartechnik im Metallleichtbau. Hinweise für die Planung und Ausführung – Qualitätsmerkblatt. Hrsg.: IFBS, Düsseldorf, in Kooperation mit dem Qualitätsverband Solar- und Dachtechnik, München, August 2012

[VDI 6012-1.1:2014-04]

VDI 6012 Regenerative und dezentrale Energiesysteme für Gebäude. Grundlagen - Blatt 1.1: Projektplanung und -durchführung. Hrsg.: Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf, Januar 2016

[VDI 6012-1.2:2016-01]

VDI 6012 Regenerative und dezentrale Energiesysteme für Gebäude. Grundlagen - Blatt 1.2: Systemauswahl. Hrsg.: Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf, Januar 2016

[E VDI 6012-1.4:2014-01]

VDI 6012 Regenerative und dezentrale Energiesysteme für Gebäude. Grundlagen - Blatt 1.4: Befestigung von Solarmodulen und -kollektoren auf Gebäuden, Entwurfsfassung. Hrsg.: Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf, Januar 2014

[VDI 6012-1.4:2016-01]

VDI 6012 Regenerative und dezentrale Energiesysteme für Gebäude. Grundlagen - Blatt 1.4: Befestigung von Solarmodulen und -kollektoren auf Gebäuden. Hrsg.: Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf, Januar 2016

[ZVDH Flachdachrichtlinie 2008]

Fachregel für Abdichtungen. Regel für Abdichtungen nicht genutzter Dächer. Regel für Abdichtungen genutzter Dächer und Flächen. Hrsg.: Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerks, Hauptverband der Deutschen Bauindustrie, Oktober 2008 (mit Änderungen von Mai 2009 und Dezember 2011)

[ZVDH Flachdachrichtlinie Entwurf 2015]

Fachregel für Abdichtungen – Flachdachrichtlinie. Hrsg.: Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerks, Fachverband Dach-, Wand- und Abdichtungstechnik e.V. (ZVDH), Köln; Hauptverband der Deutschen Bauindustrie – Bundesfachabteilung Bauwerksabdichtung, Gelbdruck Juli 2015

[ZVDH Merkblatt Blitzschutz 2011]

Merkblatt Äußerer Blitzschutz auf Dach und Wand. Hrsg.: Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerks – Fachverband Dach-, Wand- und Abdichtungstechnik – e.V. (ZVDH), Köln; VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V. (VDE) Ausschuss Blitzschutz und Blitzforschung (ABB), April 2011

[ZVDH Merkblatt Solartechnik 2001]

Merkblatt Solartechnik für Dach und Wand. Hrsg.: Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerks – Fachverband Dach-, Wand- und Abdichtungstechnik – e.V. (ZVDH), Köln, Juni 2001

[ZVDH Merkblatt Solartechnik 2011]

Merkblatt Solartechnik für Dach und Wand. Hrsg.: Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerks – Fachverband Dach-, Wand- und Abdichtungstechnik – e.V. (ZVDH), Köln, April 2011

16.2 Fachbücher, Fachaufsätze und sonstige Veröffentlichungen

[Achtziger, Cammerer 1984]

Achtziger, J.; Cammerer, J.: Einfluss des Feuchtegehalts auf die Wärmeleitfähigkeit von Bau- und Dämmstoffen, Forschungsbericht im Auftrag des Bundesministeriums für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau; Gräfelfing 1984, IRB-Verlag Nr. F 1988

[AlBau 2003]

Oswald, Rainer; Spilker, Ralf: Sanierung nicht genutzter Flachdächer unter Beibehaltung durchfeuchteter Dämmschichten und durch Aufbau einer zusätzlichen Dämmschicht aus expandiertem Polystyrol-Hartschaum mit oberseitiger bahnenförmiger Abdichtung; Kurztitel: Flachdachsanieierung über durchfeuchteter Dämmschicht; Forschungsvorhaben Nr. 12088 der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AIF) „Otto von Guericke“, Fraunhofer IRB Verlag Stuttgart, 2003

[AlBau 2008]

Oswald, Rainer; Spilker, Ralf; Liebert, Géraldine; Sous, Silke; Zöller, Matthias: Zuverlässigkeit von Flachdachabdichtungen aus Kunststoff- und Elastomerbahnen; Forschungsbericht des Aachener Instituts für Bauschadensforschung und angewandte Bauphysik gemeinnützige GmbH (AlBau), gefördert vom Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Bonn, Bauforschung für die Praxis, Band 83, Fraunhofer Verlag Stuttgart, 2008

[AlBau 2012]

Oswald, Rainer; Spilker, Ralf; Abel, Ruth; Wilmes, Klaus: Zustandsänderungen von Mineralwollgedämmstoffen in Warmdachaufbauten bei Flachdächern infolge Feuchteintritt; Forschungsbericht des Aachener Instituts für Bauschadensforschung und angewandte Bauphysik gemeinnützige GmbH (AlBau) in Kooperation mit dem Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München (FIW), gefördert vom Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung mit Mitteln der Zukunftsinitiative Bau und der Deutschen Rockwool GmbH & Co. OHG, Forschungsbericht Nr. F 2824, IRB-Verlag, Stuttgart, 2012

[AlBau 2014]

Spilker, Ralf; Sous, Silke: Zuverlässigkeit von Holzdachkonstruktionen ohne Unterlüftung der Abdichtungs- oder Decklage; Forschungsbericht des Aachener Instituts für Bauschadensforschung und angewandte Bauphysik gemeinnützige GmbH (AlBau), gefördert vom Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Bonn, Bauforschung für die Praxis, Band 115, Fraunhofer Verlag Stuttgart, 2015

[ARGEBAU 2008]

Hinweise und Beispiele zum Vorgehen beim Nachweis der Standsicherheit beim Bauen im Bestand. Stand 07.04.08. Hrsg.: Fachkommission Bautechnik der Bauministerkonferenz (ARGEBAU), www.dibt.de

[BBSR 2011]

Nutzungsdauern von Bauteilen für Lebenszyklusanalysen nach Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB). Stand: 03.11.2011. Hrsg.: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR), Bonn, www.nachhaltigesbauen.de

[BINE Informationsdienst 2011]

Tragkonstruktion für Solarkollektoren auf Flachdächern, Ausgabe 01/2011, Fachinformationszentrum Karlsruhe, Gesellschaft für wissenschaftlich-technische Information mbH, Eggenstein-Leopoldshafen

[Bludau, Kölsch 2014]

Bludau, Christian; Kölsch, Philipp: Verschattung von Holzflachdächern. Neue Forschungsergebnisse zu Dachterrassen und Verschattung durch PV-Module. In: Holzbau die neue quadriga, Ausgabe 06/2014, Verlag Kastner, Wolnzach, S.19-24

[BMUB 2015]

Leitfaden Nachhaltiges Bauen. Hrsg.: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, Februar 2015

[Bruch 2012]

Bruch, Hans-Jörg: Photovoltaik - eine Zusammenstellung von allgemeinen Informationen, sowie festgestellter Mängel und Schäden an Photovoltaikanlagen, auf Dächern. Hrsg.: Regulierungscenter NRW GmbH, Fachbereich Bauwesen, Bergisch Gladbach, März 2012

[BSW-Solar, BFSB, DGS, ZVEH 2011]

Brandschutzgerechte Planung, Errichtung und Instandhaltung von PV-Anlagen. Hrsg.: Bundesverband der Solarwirtschaft e.V. (BSW-Solar), Bundesvereinigung der Fachplaner und Sachverständigen im vorbeugenden Brandschutz e.V. (BFSB), Berufsfeuerwehr München, Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie e.V. (DGS) und Zentralverband der Deutschen Elektro- und Informationstechnischen Handwerke (ZVEH), Februar 2011

[BSW: Prüfungsübersicht 2014]

Prüfungsübersicht: Messung des Haft- und Gleitreibungskoeffizienten. Stand: 15.07.2014. Fa. BSW, Berleburger Schaumstoffwerke, Bad Berleburg, www.berleburger.com

[Croissant 2012]

Croissant, André: Alles eitel Sonnenschein?! - Schäden vermeiden (3): Photovoltaikanlagen. In: EnEV im Bestand, Ausgabe 09/2012, Forum Verlag Herkert GmbH, Merching, S.44-48

[Dösc 2011]

Dösc, Elvira.: Flüssige Kleinkunst: Starke Dichtung. Ausführung und Montage. In: dach+holzbau, Ausgabe 02/2011, Bauverlag BV GmbH, Gütersloh, S.32-34

[DUD-Fachinformation Brandschutz Flachdach, 2012]

Brandschutz mit Abdichtungsbahnen aus Kunststoff. Vorbeugender baulicher Brandschutz auf Flachdächern. Fachinformation. Hrsg.: Industrieverband Kunststoff-Dach- und Abdichtungsbahnen e.V. (DUD), Darmstadt, August 2012

[DUD-Fachinformation Photovoltaik, 2012]

Fachinformation Photovoltaik: Photovoltaik-/Solaranlagen in Verbindung mit Flachdächern. Hrsg.: DUD Industrieverband Kunststoff-Dach- und Dichtungsbahnen e.V., Darmstadt, November 2012

[Effelsberg 2012]

Effelsberg, Heinz: Solaranlagen an Dach und Fassade, Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co. KG, Köln, 2012, S.74-82

[Feulner 2013]

Feulner, Corina: Nachhaltige Energiezukunft. Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland. In: Sonnenenergie, Ausgabe 3/2013 Mai-Juni, Präsidium der Deutschen Gesellschaft für Sonnenenergie (DGS), Berlin, S. 38-39

[Flebbe 2011]

Flebbe, Alexander: Das Geschäft mit der Sonne. Solartechnik. In: DDH, Ausgabe 21/2011, Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co. KG, Köln, S. 18-21

[Frey 2013]

Frey, Martin: Bauwerkintegrierte Photovoltaik – Teil 4: Kosten & Wirtschaftlichkeit. In: Sonnenenergie, Ausgabe 03/2013 Mai-Juni, Präsidium der Deutschen Gesellschaft für Sonnenenergie (DGS), Berlin S. 26-29

[Gärtner 2013]

Gärtner, Herbert: „Erneuerbare“ Energie? In: Das Dachdeckerhandwerk, (DDH), Ausgabe 04/2013, Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln

[Geier 2013]

Geier, Sebastian: Solardach - Keine Angst vor PV. In: dachbau magazin, Ausgabe 5-6/2013, WEKA MEDIA GmbH & Co. KG, Kissing, S.24-27

[Grass 2015]

Grass, Peter: Das Risiko trägt der Installateur. Interview von Heiko Schwarzbürger mit Peter Grass. Premium Mountain Technologies (PMT) GmbH & Co. KG. In: Photovoltaik, Ausgabe 10/2015

[Haselhuhn 2010]

Haselhuhn, Ralf: Photovoltaik - Gebäude liefern Strom, BINE Informationsdienst, FIZ Karlsruhe, 6. Auflage, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2010

[Haselhuhn 2012]

Haselhuhn, Ralf: Bauregeln für die Solartechnik – DIBT veröffentlicht Hinweisblatt und Bauregellisten. In: Sonnenenergie, Ausgabe 4/2012 Juli-August, Präsidium der Deutschen Gesellschaft für Sonnenenergie (DGS), Berlin, S. 36-38

[Haselhuhn 2013]

Haselhuhn, Ralf: Photovoltaik - Gebäude liefern Strom, BINE-Fachbuch, 7. vollst. überarb. Aufl. FIZ Karlsruhe BINE Informationsdienst Bonn, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2013

[Hecker 2012]

Hecker, Gerd: Aufdach-Anlage. Gute Kombination. In: dachbau magazin, Ausgabe 5-6/2012, WEKA MEDIA GmbH & Co. KG, Kissing, S.26-30

[Hemme 2013]

Hemme, Bettina (DIBt): Bauaufsichtliche normative Regelungen für die Bauwerks- und Dachabdichtung – aktueller Stand. Befestigung von Anlagen und Elementen auf Dachabdichtungen. In: 8. Leipziger Abdichtungsseminar, 29. Januar 2013

[Henseleit 2010]

Henseleit, Rainer: Sicher Energie gewinnen. Planung und Ausführung von PV-Anlagen auf Flachdächern, in: DBZ, Ausgabe 11/2010, Bauverlag BV GmbH, Gütersloh, S.74-76

[Henseleit 2013]

Henseleit, Rainer: Solaraufbauten auf Flachdächern. Planung und Ausführung von PV-Anlagen auf Flachdächern. In: DBZ, Ausgabe 1/2013, Bauverlag BV GmbH, Gütersloh, S.96-98

[Holzapfel 2011]

Holzapfel, Walter: Solardächer. In: Moderne Dächer – richtig planen, ausführen und Schäden vermeiden, 84. Gießener BDB-Baufachseminar am 23. September 2011, Tagungsband, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, S.55-62

[Holzapfel 2013]

Holzapfel, Walter: Solardachkonstruktionen In: Dächer, Erweitertes Fachwissen für Sachverständige und Baufachleute, 2. aktual. Auflage, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2013

[Holzapfel 2015]

Holzapfel, Walter: Kompendium der Schadensursachen. Fehleranalyse und Ursachenvermeidung. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2015

[Huber 2012]

Huber, Tobias: Der Mehrfachnutzen gebäudeintegrierter Photovoltaik (GIPV). Das Gebäude als Stromlieferant. In: EnEV im Bestand, Ausgabe 03/2012, Forum Verlag Herkert GmbH, Merching, S. 40-45

[Jakobi 2011]

Jakobi, Manuela: Sonnenstrom vom flachgeneigten Dach. In: dach+holzbau, Ausgabe 02/2011, Bauverlag BV GmbH, Gütersloh, S.30-31

[Klauß, Dobelmann 2013]

Klauß, Matthias; Dobelmann, Jan Kai: Mängel an PV-Anlagen als Wirtschaftsfaktor. Licht und Schatten. In: Gebäude Energie Berater, Ausgabe 02/2013, Alfons W. Gentner Verlag GmbH und Co KG, Stuttgart, S. 30-35

[Knapp 2012]

Knapp, Stefan: Solardach. Photovoltaik zum Stecken. In: dachbau magazin, Ausgabe 5-6/2012, WEKA MEDIA GmbH & Co. KG, Kissing, S.42-45

[Knapp 2013]

Knapp, Stefan: Solardach. Alles aus Dachdeckerhand. In: dachbau magazin, Ausgabe 5-6/2013, WEKA MEDIA GmbH & Co. KG, Kissing, S.20-23

[Knittel 2011]

Knittel, Andreas: Photovoltaikanlagen: Bauplanung und Mängel! In: INGservice, Ausgabe 06/2011, HDI Versicherung AG, Hannover, S.5-7

[Koppmann 2014]

Koppmann, Werner: Mängel an einer Photovoltaikanlage: Gewährleistungsfrist zwei oder fünf Jahre? In: IBR, Ausgabe 07/2014, id Verlags GmbH, Mannheim, S. 440

[Kreft 2013]

Kreft, Uta: Solardach. Größe beweisen. In: dachbau magazin, Ausgabe 5-6/2013, WEKA MEDIA GmbH & Co. KG, Kissing, S.16-23

[Krüger, Knapp 2014]

Krüger, Holger; Knapp, Stefan: Solardach. Alles aus einer Hand. In: dachbau magazin, Ausgabe 11/2014, WEKA MEDIA GmbH & Co. KG, Kissing, S.24-27

[Krüger, Teichmann, Despinasse, Klaffke 2014]

Krüger, Simone; Teichmann, Bernd; Despinasse, Marie; Klaffke, Benjamin: Systematische Untersuchung des Brandverhaltens und des Feuerwiderstandes von PV-Modulen einschließlich der Emissionen im Brandfall und Entwicklung eines Prüfverfahrens zum Einfluss von PV-Modulen auf die harte Bedachung. IRB-Verlag, Stuttgart, Januar 2014 (Forschungsarbeit mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau gefördert)

[Lagrasta 2013]

Lagrasta, Daniela. Solardach - Sanft verschweißt. In: dachbau magazin, Ausgabe 11/2013, WEKA MEDIA GmbH & Co. KG, Kissing, S.30-31

[Landesfeuerwehrschule Schleswig Holstein 2011]

Leitfaden Photovoltaik: Hinweise im Umgang mit Photovoltaikanlagen im Feuerwehreinsatz. Hrsg.: Innenministerium des Landes Schleswig Holstein, Landesfeuerwehrschule, Harrislee, Januar 2011

[Mann 2014]

Mann, Gunter: Lebensraum Zukunft – das multifunktional genutzte Dach - Leben, begegnen, spielen, ernten. In: Dach + Grün, Ausgabe 01/2014, Verlags-Marketing Stuttgart GmbH, S.10-15

[Metz 2013]

Metz, Markus: Die EU-BAUPVO: Was ändert sich für Hersteller von Solarkollektoren, PV-Modulen und Montagegestellen? In: Sonnenenergie - Zeitschrift für Erneuerbare Energien und Energieeffizienz, Ausgabe 6/2013 November-Dezember, Präsidium der Deutschen Gesellschaft für Sonnenenergie (DGS), Berlin, S. 42-44

[Meyer DDH 2011]

Meyer, Martin: Solar und Dach vom Fach; in: DDH – Das Dachdeckerhandwerk, 1-2, 2011

[Meyer 2011]

Meyer, Martin: Photovoltaik für flachgeneigte Dächer. In: dach+holzbau, Ausgabe 02/2011, Bauverlag BV GmbH, Gütersloh, S.27-29

[Mohr 2013]

Mohr, Hellmuth: Fotovoltaik und Baurecht. Nicht immer herrscht nur eitel Sonnenschein. In: Dach + Grün, Ausgabe 03/2013, Verlags-Marketing Stuttgart GmbH, S. 40-41

[Mohr 2014]

Mohr, Hellmuth: Fotovoltaik im Spiegel der Rechtsprechung. Was ist zulässig, was nicht? In: Dach + Grün, Ausgabe 01/2014, Verlags-Marketing Stuttgart GmbH, S. 27-29

[Moré 2014]

Moré, Wolfgang: Solaranlage für jeden. Photovoltaik für den Hausgebrauch – Konstruktiv betrachtet. In: Sonnenenergie, Ausgabe 1/2014 Februar-März, Präsidium der Deutschen Gesellschaft für Sonnenenergie (DGS), Berlin, S. 47-49

[Nagl, Nusser 2011]

Nagl, Stefan; Nusser, Bernd: Viel Licht und wenig Schatten. Verschattungsanalyse für Flachdächer und PV-Anlagen. In: Holzforschung Austria, Ausgabe 02/2011, Österreichische Gesellschaft für Holzforschung, Wien, S.8-9

[Neumann 2013]

Neumann, Thomas: PV-Anlagen im Brandfall - Abschalten oder abbrennen lassen? In: BS Brandschutz, Ausgabe 01/2013, Bauverlag BV GmbH, Gütersloh, S. 62-64

[Rosenberger, Welter 2012]

Rosenberg, Andreas; Welter, Philippe: Nicht wie ein Ei dem anderen. In: Photon, Ausgabe 02/2012, PHOTON Publishing GmbH, Aachen, S.10-14

[Photovoltaik 10/2015]

Photovoltaik. Solartechnik für Installateure, Planer, Architekten. Ausgabe 10/2015. Hrsg.: Alfons W. Gentner Verlag, Stuttgart,

[RAL GZ 966 Solarenergieanlagen 2008]

RAL GZ 966 – Solarenergieanlagen. Hrsg.: Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V., Sankt Augustin, August 2008

[Reichert 2014]

Reichert, Stefan: Mängel an Dach-Photovoltaikanlagen verjähren in zwei Jahren! In: IBR, Ausgabe 2+4/2014, id Verlags GmbH, Mannheim, S. 110

[Rodemann 2014]

Rodemann, Tobias: Vertrag über die Lieferung und Montage von Photovoltaikanlage ist Kaufvertrag! In: IBR, Ausgabe Juli 2014, id Verlags GmbH, Mannheim, S. 441

[Ruhrländer 2014]

Ruhrländer, Susanne: Arbeitssicherheit - Hinter Gittern. In: dachbau magazin, Ausgabe 11/2014, WEKA MEDIA GmbH & Co. KG, Kissing, S.22-23

[Schellenberger 2012]

Schellenberger, Tobias: Dämmung und Solarnutzung bei Flachdächern. Polyurethan-Hartschaum als „Problemlöser“ bei statisch ausgereizten Tragwerken. In: BauPlaner, Ausgabe 12/2012, Fachverlag Schiele & Schön GmbH, Bundesingenieurkammer, Berlin, S.12-13

[Schletter Alugrid 2015]

Schletter Solar Montage-Systeme: AluGrid Flachdachsystem, Prospekt V12, www.schletter.eu, 2015

[Schröder 2011]

Schröder, Wolfgang: Qualitätsmängel bei Photovoltaik-Dachanlagen. In: Der Bausachverständige, Teil 1 Ausgabe 06/2011, S.19-22, Teil 2 Ausgabe 01/2012, S.24-26, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart

[Schröder 2013]

Schröder, Wolfgang: Planung und Installation von PV-Anlagen auf Flachdächern. In: Der Bausachverständige, Ausgabe 5+6/2013, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, S.28-34

[Schröder 2015]

Schröder, Wolfgang: Inspektion, Prüfung und Instandhaltung von Photovoltaikanlagen. Analyse, Bewertung und Instandsetzung. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2015

[Seltmann 2014]

Seltmann, Thomas: Die vernachlässigten Paragraphen. Haftung, Gewährleistung und Garantie bei Photovoltaikanlagen. In: Sonnenenergie, Ausgabe 1/2014 Februar-März, Präsidium der Deutschen Gesellschaft für Sonnenenergie (DGS), Berlin, S. 32-33

[Stangl 2015]

Stangl, Franz: Auf Nummer sicher, Interview von Heiko Schwarzburger mit Franz Stangl. Ambivolt Energietechnik. In: Photovoltaik, Ausgabe 12/2015, Alfons W. Gentner Verlag, Stuttgart

[Stelling 2011]

Stelling, Harm: Aufgeständerte Anlage. Flexibel abgedichtet. In: dachbau magazin, Ausgabe 1-2/2011, WEKA MEDIA GmbH & Co. KG, Kissing, S.30-31

[Stelling 2012]

Stelling, Harm: Resistent auch gegen Sturm und Frost. In: dach+holzbau, Ausgabe 01/2012, Bauverlag BV GmbH, Gütersloh, S.20-22

[vdd 2012]

Technische Regeln für die Planung und Ausführung von Abdichtungen mit Polymerbitumen- und Bitumenbahnen, abc der Bitumenbahnen. Hrsg.: vdd Industrieverband Bitumen-Dach- und Dichtungsbahnen e. V., Frankfurt/Main, 5. Aufl. 2012

[vdd 2013]

Merkblatt Solar: Technisches Merkblatt für Dachabdichtungen mit Bitumenbahnen bei Beanspruchung durch Solaranlagen. Hrsg.: vdd Industrieverband Bitumen-Dach- und Dichtungsbahnen e. V., Frankfurt/Main, Mai 2013

[Zapfe: Windlasten 2012]

Zapfe, Cedrik: Fachliche Stellungnahme: Windlasten bei unterströmten Solarmodulen mit verschiedenen Neigungen. www.ing-zapfe.de, April 2012

[Zapfe: Stock-/Stahlschrauben 2014]

Zapfe, Cedrik: Fachliche Stellungnahme: Durchdringende Befestigung von Solaranlagen mit Stockschraben bzw. Stahlschrauben. www.ing-zapfe.de, April 2014

[Zapfe: Verklebung 2014]

Zapfe, Cedrik: Fachliche Stellungnahme: Befestigung von Solargeneratoren auf Foliendächern und Bitumendächern durch Verklebung bzw. Verschweißung. www.ing-zapfe.de, Juni 2014

[Zapfe: ZIE 2014]

Zapfe, Cedrik: Fachliche Stellungnahme: Zustimmung im Einzelfall. www.ing-zapfe.de, Juli 2014

[Zapfe: Temperatur 2014]

Zapfe, Cedrik: Fachliche Stellungnahme: Einfluss klimatischer Temperaturschwankungen auf Solaranlagen. www.ing-zapfe.de, September 2014

[Zebe 2010]

Zebe, Hanns-Christoph: Gründach und Solar. Eine Partnerschaft die sich rechnet. In: Dach + Grün, Ausgabe 03/2010, Verlags-Marketing Stuttgart GmbH, S. 28-29

[Zebe 2012]

Zebe, Hanns-Christoph: Gründach und PV: Eine sinnvolle Ergänzung. In: dach+holzbau, Ausgabe 01/2012, Bauverlag BV GmbH, Gütersloh, S. 28-30

[Zöller 2015]

Zöller, Matthias: Thermische Solaranlagen – tickende Zeitbomben? In: IBR, Ausgabe 03/2015, id Verlags GmbH, Mannheim, S. 111