

Bauen +

Energie, Brandschutz, Bauakustik, Gebäudetechnik



Edith Antonatus

**+ Brandschutztechnische Risiken von Flachdächern mit
PV-Aufdachelementen**

Stand der Technik

April 2024

Fraunhofer IRB | Verlag

Edith Antonatus

Brandschutztechnische Risiken von Flachdächern mit PV-Aufdachelementen

1. Hintergrund und Ziele der Studie	3
1.1 Problemstellung	3
1.2 Ziel der Studie	5
2. Informationen zu Brandfällen	5
2.1 Literatur zu Brandfällen	5
2.2 Zusammenfassung	6
3. Bisher vorliegende Forschungsergebnisse zu Dächern mit PV-Modulen	6
3.1 Forschungsarbeiten zum Thema Rückstrahlung/Abstand zwischen PV-Modulen und Dach	6
3.2 Forschungsarbeiten zum Brandverhalten von PV-Elementen	8
3.3 Forschungsarbeiten zum Brandverhalten der Kombination aus Bedachung und aufgeständerten PV-Elementen	9
4. Bedachungen in Kombination mit PV-Modulen – bestehende und vorgesehene Vorschriften	10
4.1 Nationale Regelungen	10
4.1.1 Frankreich	10
4.1.2 Italien	10
4.1.3 Niederlande	11
4.1.4 Österreich	12
4.1.5 Deutschland	12
4.1.6 USA – Gesetzgeber und Versicherer	12
4.2 Genormte Verfahren in Europa und international	12
4.2.1 Europa	12
4.2.2 Genormte Verfahren in den USA und international	13
5. Zusammenfassung der vorliegenden Informationen	14
5.1 Statistische Daten	14
5.2 Forschungsergebnisse und eingeführte Verfahren zum Brandverhalten von PV-Modulen und von PV-Modulen in Kombination mit Dächern	15
5.3 Bewertung durch Versicherungen und verbundene Institutionen	15
5.4 Offene Fragen	15
6. Zusammenfassung der für die brandschutztechnische Beurteilung von PV-Anlagen auf Dächern relevanten Parameter	16
7. Voraussetzungen für die Prüfung und Bewertung von PV-Modulen in Kombination mit Flachdächern in Deutschland	16
8. Schlussfolgerungen	18
Literatur	18



Edith Antonatus

Brandschutztechnische Risiken von Flachdächern mit PV-Aufdachelementen

Stand der Technik

Immer mehr Solaranlagen werden auf Dächern installiert, insbesondere auf großflächigen Industriedächern. Bei diesen Installationen ist es wichtig, die Brandrisiken zu bewerten, um die Sicherheit von Menschen im Falle eines Brandes zu gewährleisten und den Sachschaden zu begrenzen. Bisher gibt es in Deutschland und Europa keine einheitlichen Regeln zur Prüfung und Bewertung der Brandsicherheit von Dächern mit darauf montierten Solaranlagen. Forschungsinstitute und Sachversicherer in verschiedenen Ländern haben sich dieses Themas angenommen. EU-Mitgliedsländer haben begonnen, Prüfverfahren und Vorschriften zu entwickeln. In den USA gibt es bereits Zulassungsprüfungen. Diese Studie bietet einen Überblick über Analysen von Brandfällen, den Stand der internationalen Forschung sowie Prüf- und Zulassungsverfahren, die in verschiedenen Ländern eingeführt oder entwickelt werden. Die Studie zeigt mögliche Perspektiven für die Entwicklung von Prüfverfahren auf, die in Deutschland angewendet werden können.

1. Hintergrund und Ziele der Studie

1.1 Problemstellung

Diese Literaturstudie bezieht sich auf die brandschutztechnischen Risiken von großflächigen Dächern mit Abdichtungen (im Folgenden vereinfachend als Flachdächer bezeichnet) mit PV-Aufdachelementen – dachintegrierte PV-Elemente und PV-Fassaden werden nicht berücksichtigt.

Die solare Nutzung von Dächern rückt unter dem Aspekt des Klimaschutzes und der Energieversorgung zunehmend in den Fokus. Seit Anfang 2023 besteht in Deutschland in fast allen Bundesländern eine Solarpflicht für gewerbliche Neubauten, ab 2024 für öffentliche Neubauten. Künftig soll die Solarpflicht auch auf bestehende Dächer ausgeweitet werden.

Wenn Photovoltaikmodule auf Dächern montiert werden, muss sichergestellt werden, dass Brände nicht entstehen, oder sich zumindest nicht ausbreiten können und dass weder Personen- noch Sachschäden verursacht werden.

Folgende Themen sind dafür relevant:

- elektrische Sicherheit von PV-Modulen und dazugehörigen Installationen,
- Brandverhalten von PV-Modulen,
- Gefahren für die Feuerwehr beim Löschen auf Dächern mit PV-Anlagen,
- Wechselwirkung von PV-Modulen mit der darunter liegenden Bedachung im Falle eines Brandes,
- Brandausbreitung auf dem Dach und in das Gebäude.

Zum Thema **elektrische Sicherheit von PV-Modulen und dazugehörigen Installationen** wurden umfangreiche Studien durchgeführt und eine Vielzahl von Normen und Vorschriften erarbeitet. Technische Spezifikationen für die verwendeten Komponenten, ebenso wie Regeln für die Installation und Instandhaltung liegen vor. In Europa ist die Basis für die Beurteilung und Kennzeichnung der PV-Anlagen die Niederspannungsrichtlinie [1].

Mit einer Vielzahl von Normen und Vorschriften soll u. a. verhindert werden, dass die PV-Installationen Brände verursachen. Anforderungen nach diesen Vorschriften sind in

den meisten europäischen Ländern gesetzlich eingeführt und werden auch in den USA und von den Sachversicherungen berücksichtigt [2-16].

Einen Überblick über Veröffentlichungen und Leitlinien zu dieser Thematik liefern Ong et. al. [17].

Kontrovers diskutiert wird die Frage, ob bei einem Brand von PV-Modulen **schädliche Stoffe freigesetzt werden**. Dieses Thema wurde in Deutschland von der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) [18] und in den Niederlanden vom Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) [19] behandelt. Auch in der Fraunhofer-ISE-Studie aus dem Jahr 2023 [20] wird darauf hingewiesen, dass bei bestimmten Modultypen giftige Stoffe im Falle eines Brands freigesetzt werden könnten; diese werden aber wegen der geringen zu erwartenden Mengen als nicht gefährdend bewertet.

Eine weitere Studie zu diesem Thema wurde in Italien durchgeführt [21] – Schlussfolgerung dieser Studie ist lediglich, dass bei PV-Bränden der Feuerwehr das Tragen von Atemschutz empfohlen wird.

Derzeit gibt es zu dieser Fragestellung in Europa weder von Gesetzgebern noch von Versicherern Anforderungen. Unabhängig davon, ob PV-Module involviert sind, ist sicherzustellen dass die Feuerwehren mit Atemschutz arbeiten und dass gasförmige Emissionen und die Freisetzung schädlicher Partikel (dazu gehören auch z. B. Glassplitter von PV-Modulen) überprüft werden.

Dieses Thema wird in der Studie nicht weiter behandelt.

Zum Thema **konstruktive Maßnahmen gegen Brandausbreitung** gibt es bereits heute in vielen Ländern gesetzliche Regelungen. In Deutschland gibt es z. B. Regelungen für den zulässigen Abstand von PV-Installationen auf einem Dach zum Dachrand, zu Brandwänden und zu Durchdringungen wie z. B. Lichtkuppeln (siehe z. B. Musterbauordnung 2022, § 32 und Landesbauordnungen in Deutschland). In Österreich werden derzeit zu diesem Thema weitere Studien durchgeführt und in der Schweiz gibt es dazu bereits offizielle Regelungen.

Dieses Thema wird ebenfalls in der Studie nicht weiter berücksichtigt.

Die Entzündlichkeit, der Beitrag zur Flammenausbreitung und die Wärmefreisetzung bestimmen das **Brandverhalten von PV-Modulen**. Mit diesen Parametern wird beschrieben, wie leicht sich die PV-Module entzünden, ob sie

schnell abbrennen, den Brand auf angrenzende oder benachbarte PV-Module weiterleiten und wie stark die Wärmebeanspruchung der darunterliegenden Bedachung durch den Abbrand der PV-Module selbst ist.

Aus Sicht der **Feuerwehr** sind die folgenden Faktoren von Bedeutung:

- Aufdachmodule müssen so montiert sein, dass der Zugang zum Dach selbst und zu den PV-Modulen möglich ist.
- Brandbekämpfung und technische Hilfeleistung sind an PV-Anlagen möglich, wenn die üblichen Einsatzgrundsätze und die Regeln für Einsätze an elektrischen Anlagen beachtet werden. Grundlage hierfür ist die GUV-I 8677 und die DIN VDE 0132 Brandbekämpfung und Hilfeleistung im Bereich elektrischer Anlagen [22, 23].
- Wichtig ist die Möglichkeit, die PV-Anlage elektrisch abzuschalten zu können.
- Zusätzlich sind Sicherheitsabstände beim Löschen einzuhalten und geeignete Löschmittel zu verwenden.

Die Thematik ist bereits ausführlich untersucht. Eine Reihe von Merkblättern für die Feuerwehr wurde dazu veröffentlicht, z. B. vom deutschen Feuerwehrverband [24].

Die Bewertung der **Risiken im Falle eines Brands**, was das **Schadensausmaß** betrifft, ist vor allem aus Sicht der Sachversicherer von Bedeutung.

- Bei **Massivdachkonstruktionen** ist bei einem Brand der darüber liegenden PV-Module nicht mit einer Brandausbreitung in das Gebäude hinein zu rechnen, wenn sichergestellt ist, dass ein Branddurchtritt durch Öffnungen, Durchführungen, Lichtbänder etc. in das Gebäude hinein verhindert wird.
- Bei **Dächern, die mit Ziegeln, Blechen oder anderen nichtbrennbaren Schichten geschützt** sind, ist nicht zu erwarten, dass eine Brandweiterleitung auf dem Dach oder in das Gebäude hinein durch einen Brand der darüber montierten PV-Installation induziert wird, außer es sind nicht geschützte Dachöffnungen/Durchdringungen vorhanden.
- Auf **großen Flachdächern**, die vor allem im gewerblichen Bau/Industriebau anzutreffen sind, werden PV-Module in der Regel großflächig über der Bedachung montiert. Meist handelt es sich dabei um Leichtdächer (tragende Konstruktion aus Stahl). Unter den PV-Modulen werden auf solchen Dächern in der Regel brennbare Dachabdichtungen (Kunststofffolien oder bituminöse Produkte) und darunter unterschiedliche Dämmstoffe verwendet. Derartige Dächer unterliegen in Deutschland ohne Berücksichtigung von darüber liegenden PV-Modulen bereits strengen Brandschutzanforderungen. Mit der grundsätzlich geltenden Anforderung an harte Bedachung (Widerstand gegen Flugfeuer und strahlende Wärme) nach CEN/TS 1187 (t1) [26] wird sichergestellt, dass bei einer Brandbeanspruchung von außen die Brandausbreitung auf dem Dach begrenzt bleibt und ein Brand sich nicht nach unten durch die Bedachung in das Gebäude ausbreitet. Zusätzlich gelten in Deutschland für großflächige Industriedächer, die nicht auf einer massiven Decke z. B. aus Beton aufgebaut sind, die Anforderungen der DIN 18234 [27]. Damit wird sichergestellt, dass bei einer massiven Brandbeanspruchung im Inneren des Gebäudes kein Durchbrand und nachfolgende Brandweiterleitung auf das Dach erfolgt.

KERNAUSSAGEN

- Brände auf Flachdächern mit darüber installierten Solaranlagen können zu erheblichem Sachschaden führen.
- Für die komplexe Wechselwirkung zwischen PV-Anlagen und der darunter liegenden Bedachung gibt es viele offene Fragen.
- Weltweit arbeiten Forscher, Versicherer und Behörden daran, dieses Thema besser zu verstehen und geeignete Maßnahmen zur Risikominderung festzulegen.
- Diese Studie gibt einen Überblick über den Stand der Technik und mögliche Lösungsansätze für Deutschland.

Vor allem von Versicherern, aber auch in Normungsgremien wird dennoch die Frage gestellt, ob diese Sicherheitsanforderungen ausreichen, wenn über einem solchen Dach PV-Module angebracht werden.

Dächer mit PV-Anlagen erfordern eine komplexe Bewertung des Brandschutzes. PV-Anlagen können zu einer Zündquelle oder durch externe Zündquellen entzündet werden. Durch die zusätzliche Brandlast der PV-Elemente selbst und die Rückstrahlung durch PV-Elemente auf die darunter liegende Bedachung, kann diese einer hohen Brandbelastung ausgesetzt sein. Um das Risiko einer Brandausbreitung auf solchen Dächern und in das Innere von Gebäuden zu minimieren, wird häufig vorgeschlagen, unter PV-Anlagen ausschließlich nichtbrennbare Dämmung zu verwenden. Vergleichsversuche haben jedoch gezeigt, dass durch Verwenden einer nicht brennbaren Dämmung bei gleichem Brand-szenario nicht grundsätzlich ein höheres Sicherheitsniveau erreicht wird.

1.2 Ziel der Studie

Ziel dieser Studie ist es, den Stand der Technik bezüglich der Bewertung der Brandsicherheit von Flachdächern mit darüber aufgeständerten PV-Anlagen zusammenzustellen und zu analysieren. Im Fokus steht die Frage, wie sich auf großen Flachdächern im Falle eines Brands Kombinationen aus Bedachung und PV-Modulen verhalten. Vorgestellt werden Forschungsergebnisse, bisher angewandte Bewertungsverfahren und die zugrunde liegenden Brandszenarien und Versuchsaufbauten sowie vorliegende gesetzliche Regelungen und Anforderungen von Sachversicherern. Auf dieser Basis soll analysiert werden, wie in Deutschland Regeln für sichere Kombinationen aus PV-Installationen und Bedachungen definiert werden können.

2. Informationen zu Brandfällen

2.1 Literatur zu Brandfällen

- Für Italien wurde im Jahr 2017 auf Basis von Feuerwehrinformationen von 2500 Brandfällen bei etwa 550 000 installierten PV-Systemen berichtet [28, 29]. Es wird festgestellt [30], dass zwischen 2012 und 2014 die Anzahl derartiger Brände wieder abgenommen hat, vermutlich wegen strengerer Vorschriften und einem verbesserten Kenntnisstand der Installationsfirmen bezüglich der elektrischen Sicherheit dieser Anlagen. Gleichzeitig wird jedoch darauf hingewiesen, dass vollständig nichtbrennbare Dächer unter PV-Modulen empfehlenswert sind [31].
- In Großbritannien wurde 2017 eine Zusammenfassung der Ergebnisse umfangreicher Untersuchungen vorgestellt und bewertet [31, 32]. Diese Studien wurden von BRE (Building Research Establishment) im Auftrag des Department of Energy and Climate Change erstellt. Untersucht wurden 80 Brandfälle von Dächern mit PV-Modulen, von denen 16 nicht von den PV-Systemen verursacht wurden. Bei sechs Fällen waren die Ursachen nicht bekannt. In 27 Fällen wurden die Brände als schwerwiegend eingestuft, d. h., sie waren schwer zu löschen und breiteten sich über die PV-Elemente hinaus aus. Die Un-

tersuchungen und Empfehlungen des BRE National Solar Centre waren auf die Vermeidung von Bränden fokussiert, die durch PV-Anlagen verursacht wurden. Der Einfluss der Bedachung unter den PV-Modulen auf die Brandrisiken bei Bränden von PV-Modulen wurde nicht näher untersucht und bewertet.

- Die Veröffentlichung von Aram et al. [30] enthält eine Sammlung von Beispielen für dokumentierte relevante große Brandfälle bis zum Jahr 2018 in verschiedenen Ländern. Auch hier wird zwar das Schadensausmaß angegeben, aber der Beitrag der Bedachung zur Brandausbreitung auf dem Dach oder in das Gebäude hinein wird nicht spezifiziert.
- In einem Bericht für die NFPA Research Foundation (USA) [33] werden beispielhaft sechs große Brandfälle in den Jahren 2009 bis 2013 genannt. Auch hier sind die Informationen bezüglich der Ursachen für die Brandausbreitung unvollständig und der Einfluss der Bedachungsmaterialien ist nicht klar.
- In einer vom TÜV in Deutschland mit verschiedenen Projektpartnern (u. a. Currenta GmbH & Co. OHG) durchgeführten Studie [34] wurden bis 2014 bekannt gewordene Schadensfälle ausgewertet. Der Schwerpunkt lag auf der Analyse der Schadensursachen. Es wurde auch das Schadensausmaß analysiert. Bei 210 ausgewerteten Brandfällen kam es in 67 Fällen zu einer Beschädigung des Gebäudes und in 12 Fällen brannte das gesamte Gebäude ab. Die Studie zeigt, dass die Anzahl der gefundenen Schäden pro Jahr von 2011 bis 2012 stark anstieg. Die Zunahme der Schadensfälle lässt sich mit der zunehmenden Anzahl von installierten PV-Anlagen in den Jahren 2010 bis 2012 begründen. Die TÜV-Studie kommt zu der Schlussfolgerung, dass man eine Häufigkeit von potenziell brandauslösenden Fehlern von 0,3 Prozent pro MWp (Megawatt Peak, maximale erwartete elektrische Leistung einer Solaranlage) und Jahr grob abschätzen kann.
- In den Niederlanden wurde von Efectis eine systematische Analyse der bekanntgewordenen Brände von Industriebauten mit Flachdächern und darüber installierten PV-Modulen über einen Zeitraum von 2016 bis 2018 durchgeführt [35]. Es zeigte sich, dass auf Dachkonstruktionen aus geschlossenem (nicht perforierten) Stahl in der Regel, unabhängig davon, ob brennbare Dämmstoffe verwendet wurden, die Brandausbreitung auf dem Dach über die PV-Installation hinaus begrenzt war, und ein Branddurchtritt in das Gebäude hinein nur erfolgte, wenn kein ausreichender Abstand zwischen den Solarmodulen und Durchdringungen wie z. B. Lichtkuppeln eingehalten wurde.
- Große Unternehmen (z. B. IKEA) und Versicherungen stellen häufig eine Verbindung zwischen brennbaren Bedachungen und Schäden durch Brände mit PV-Modulen her [36-42]. Swiss RE Corporate Solutions berichtet z. B. [41]: »Ein bedeutender Vorfall war die Zerstörung einer 30 000 m² großen Lagerhalle in New Jersey im Jahr 2013, als Feuerwehrleute beschlossen, nicht auf dem Dach einzugreifen. Japanische Behörden meldeten 127 Vorfälle mit PV-Anlagen (nicht alles Brände) über einen Zeitraum von zehn Jahren bis 2017. Bei 7 davon konnte beobachtet werden, dass sich der Brand auf das Gebäudedach ausbreitete. Das deutsche Fraunhofer-Institut ISI verzeichnete 350 PV-be-



Abb. 1: Rückstrahlung bei einem Brand unter einem simulierten PV Modul – PMMA-Platte simuliert ein brennendes Dach [46]

dingte Brände über 20 Jahre bis 2019. In 10 Fällen führten die Brände zu einem Totalverlust des Gebäudes.« FM Global Group präsentierte bei einem europäischen Normungsworkshop [43], dass zwischen 2007 und 2022 16 Brände auf Dächern mit PV-Elementen von FM-versicherten Kunden stattfanden, die zu einem Sachschaden von 73 Mio. US-Dollar und Kosten für Geschäftsausfall in Höhe von 42 Mio. US-Dollar führten. Es wird auf die von FM in den letzten 10 Jahren eingeführten Sicherheitsleitlinien zurückgeführt, dass die Verluste der FM-Kunden geringer waren als die Verluste von nicht oder anderweitig versicherten Gebäudeeigentümern.

Bei den meisten der in der Präsentation von FM genannten Brände war die Brandausbreitung auf den Bereich der Solarpaneele beschränkt oder der Brand breitete sich (in einem Fall) nur vier Meter über diesen Bereich hinaus aus (Dachaufbau mit EPS-Dämmung und einer Bitumenabdichtungsbahn). Ein Branddurchtritt in das Gebäude hinein erfolgte nur in einem Fall (Denekamp, 5. Juli 2016) – hier bestand die Tragschale aus perforierten Dachblechen und die Dämmung aus EPS.

Dennoch wird in vielen der o. g. Publikationen aus den bekannten Brandfällen abgeleitet, dass unter PV-Modulen auf Industrieleichtdächern vorzugsweise nichtbrennbare Dämmung verwendet werden soll.

2.2 Zusammenfassung

Eine Vielzahl von Bränden im Zusammenhang mit PV-Modulen auf Flachdächern sind publiziert. In den meisten Fällen waren die Brandursachen elektrische Fehler, die durch die PV-Module oder die mit den PV-Modulen verbundenen elektrischen Anlagen verursacht wurden.

Bei einer Reihe von Bränden breitete sich der Brand über eine große Fläche auf dem Dach aus, wobei in den meisten Fällen die gesamte Dachfläche mit PV-Modulen belegt war. In einigen Fällen kam es zu einer Brandausbreitung in das Gebäude hinein oder sogar zu einem Kollaps des gesamten Gebäudes. Diese Brände werden häufig als Argument dafür benutzt (insbesondere von Sachversicherern), dass unter aufgeständerten PV-Modulen möglichst Dachungen verwendet werden sollen, die aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen (insbesondere aus nichtbrennbaren Dämmstoffen), oder dass die Bedachung durch eine zusätzliche Abdeckung, z. B. Bekiesung oder nicht brennbare Abdeckplatten, geschützt werden soll.

Die vorliegenden Berichte enthalten meist keine Aussage über das Brandverhalten der PV-Module und deren Montagesysteme. Welchen Beitrag die Dachdämmung und Abdichtung zur Brandausbreitung geleistet hat, ist in der Regel nicht dokumentiert. Auf diese Thematik geht lediglich die von Efectis durchgeführte Studie zu Bränden in den Niederlanden ein. Diese Untersuchung kam zu dem Schluss, dass die verwendete Dämmung in den meisten der begutachteten Fälle keinen Einfluss auf die Brandausbreitung hatte. Bei fast allen Fällen blieb die Brandausbreitung auf den Bereich der PV-Module begrenzt.

Im Seminar der FIEP (European Fire Exchange Platform) im April 2023 zum Thema »PV panels and fire safety« bestand Einigkeit zwischen Forschern und Behördenvertretern, dass genauere und aussagekräftigere statistische Daten zu diesem Thema erforderlich sind.

3. Bisher vorliegende Forschungsergebnisse zu Dächern mit PV-Modulen

3.1 Forschungsarbeiten zum Thema Rückstrahlung/Abstand zwischen PV-Modulen und Dach

Untersuchungen haben gezeigt, dass die thermische Beanspruchung einer Bedachung mit darüber installierten PV-Elementen im Falle eines Brands durch Umlenkung von Flammen und Rückstrahlung deutlich höher ist als die Beanspruchung bei einem Brand von außen auf der Bedachung, verursacht durch Flugfeuer und strahlende Wärme, ohne darüber installierte PV-Anlage. Dies führt zu der Frage, ob bisher geprüfte und zugelassene Dächer im Falle eines Brands weiterhin die angestrebten Schutzziele erfüllen. Wesentliche Forschungsarbeiten zu diesem Thema wurden in Skandinavien von Jomaas, Kristensen et al. durchgeführt [44-46].

In diesen Forschungsarbeiten wurden die Auswirkungen der Umlenkung der Flammen und der Reflexion der Wärmerückentwicklung eines Gasbrenners (max. 14 kW) durch drüber liegende simulierte PV-Elemente experimentell untersucht, um Erkenntnisse über die Wechselwirkung zwischen PV-Paneelen und einem Brand auf Flachdächern zu gewinnen.

Erste Versuche mit einem Gasbrenner mit und ohne PV-Paneel mit Folienrückseite in Süd-Konfiguration [44] wurden folgendermaßen bewertet: PV-Module können bei einem Brand die Brandausbreitung über das Dach, auf dem sie stehen, fördern. Sowohl der Abstand der PV-Module



Abb. 2: Versuche nach CEN/TS 1187 (t2) mit simuliertem PV Modul [49]

vom darunter liegenden Dach als auch der Neigungswinkel der Module sind für die Branddynamik auf dem Dach von Bedeutung. Darauf aufbauend wurden in einer Masterarbeit in Edinburgh [45], deren Ergebnisse mit Kristensen publiziert wurden [46], weitere Versuche mit PMMA als simulierter brennbarer Bedachung und mit und ohne Stahlplatten, die PV-Module simulierten, durchgeführt (s. Abb. 1). Die Versuche wurden an 700 mm langen und 300 mm breiten PMMA Platten (simulierte Bedachung) durchgeführt, über denen in verschiedenen Abständen Stahlplatten montiert wurden. Abschließend wurden noch drei Versuche mit PV-Modulen mit Folienrückseite durchgeführt. (Abstände 20, 17 und 15 cm). Die PMMA-Platte wurde entzündet und als Zündquelle verwendet. Versuche wurden mit und ohne simulierte PV-Elemente durchgeführt. Die PV-Elemente wurden in Ost-West-Konfiguration und in weiteren Versuchen parallel zum Dach montiert. Ein Gasbrenner wurde unterhalb des PV-Panels in der Mitte installiert.

Auf Basis dieser Versuche wurde ein kritischer Abstand zwischen Bedachung und PV-Elementen von 17 bis 20 cm postuliert. In der Veröffentlichung dazu [45] wird darauf hingewiesen, dass alleine durch das Einhalten eines ausreichenden Abstands zwischen den PV-Modulen und der Bedachung eine Installation derartiger Module, insbesondere über Bestandsdächern, kein Sicherheitsrisiko darstellt.

In der Bewertung dieser Ergebnisse wird angenommen, dass das Brandverhalten (die Wärmefreisetzung) der PV-Module keine wesentliche Rolle spielt im Vergleich zum Einfluss der Rückstrahlung einer Zündquelle auf die darunter liegende Bedachung aufgrund der geometrischen Anordnung und dass der Wärmefluss, der beim Abbrennen des brennbaren Teils des PV-Moduls entsteht, nur einen unbedeutenden Teil des gesamten auf die Dachfläche zurückge-

strahlten Wärmestroms darstellt. Brennendes Abtropfen wird nicht berücksichtigt.

Auf Basis weiterer Versuche stellten Kristensen und Joomas [47, 48] fest, dass nicht nur der Abstand, sondern auch der Neigungswinkel der PV-Elemente relativ zur Bedachung die Beanspruchung der Bedachung im Brandfall beeinflussen. Es wurde auch gezeigt [48], dass sowohl PIR, als auch Mineralwolle als Schutzschicht über einer EPS-Dämmung effektiv eingesetzt werden können.

Bei RI.SE in Norwegen (Rise Fire Research AS) [49, 51] wurde ein Versuchsprogramm durchgeführt, in dem mit dem in Skandinavien vorgeschriebenen Test für harte Bedachung nach CEN TS 1187 Teil 2 (mit verschiedenen Windgeschwindigkeiten) Bedachungen mit einem darüber liegenden simulierten PV-Modul geprüft wurden (s. Abb. 2). Eine Bedachung, die ohne PV-Modul sehr sicher die Kriterien für $B_{\text{roof}}(t_2)$ erfüllt, erfüllte diese Kriterien nicht mehr, wenn ein simuliertes PV-Modul 6 cm darüber installiert war. Bei 9 cm Abstand wurden die Kriterien erfüllt.

Es wurden zusätzlich simulierte PV-Module aus Stahl über einer Bitumen-Dachbahn in einem großen Versuch geprüft (siehe Abb. 3). Die Abmessungen des Dachs betrugen 1,2 m x 2,4 m. Das simulierte Solarzellenmodul bestand aus einer Stahlplatte mit den Abmessungen 1700 mm x 1000 mm x 2 mm. Als Zündquelle wurden ein, zwei und drei der für die $B_{\text{roof}}(t_2)$ -Prüfung vorgesehenen Holzkippen und (als größte Brandlast) die Holzkrippe nach UL 790 für die Bestimmung der Klasse B verwendet.

Weitere Versuche (siehe Abb. 4) wurden mit einer Dachfläche von 4,2 m Breite x 5,4 m Länge und 30° Dachneigung durchgeführt. Sechs simulierte Solarmodule aus Stahl wurden 12 cm über der Dachoberfläche montiert. Bei beiden Versuchen zeigte sich eine nicht akzeptable Brandausbreitung



Abb. 3: Versuchsaufbau mittelgroß, Dachbahn unter simuliertem PV Modul, RISE Norwegen [50]

auf dem simulierten Dach (Spanplatte mit darüber liegender Bitumen-Dachbahn, aber ohne Dämmung).

UL (Underwriters Laboratories) hat zu diesem Thema ebenfalls Untersuchungen durchgeführt [63]. Diese kamen zu dem Ergebnis, dass die Beanspruchung des Daches mit »Dummy«-Proben aus Stahl sich nur wenig von der mit echten PV-Modulen (Klasse C) unterscheidet. Geprüft wurde mit dem Spread-of-flame-Test in Anlehnung an UL 790, mit aufgeständerten Modulen, die alternativ von der Seite mit dem geringsten Abstand und von der Seite mit dem größten Abstand zum Dach beflammt wurden.[64]

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die vorhandenen Studien zwar den Effekt von Flammenumlenkung und Rückstrahlung wissenschaftlich untersuchen und bewerten, dass aber der Beitrag zur Brandbeanspruchung des Dachs durch das Brandverhalten der PV-Module selbst kaum berücksichtigt wird.

3.2 Forschungsarbeiten zum Brandverhalten von PV-Elementen

In dem Forschungsvorhaben der BAM [18] wurde das Brandverhalten von PV-Elementen mit den gängigen Baustoffprüfungen nach DIN EN ISO 11925-2 [83] (Kleinbrenner)

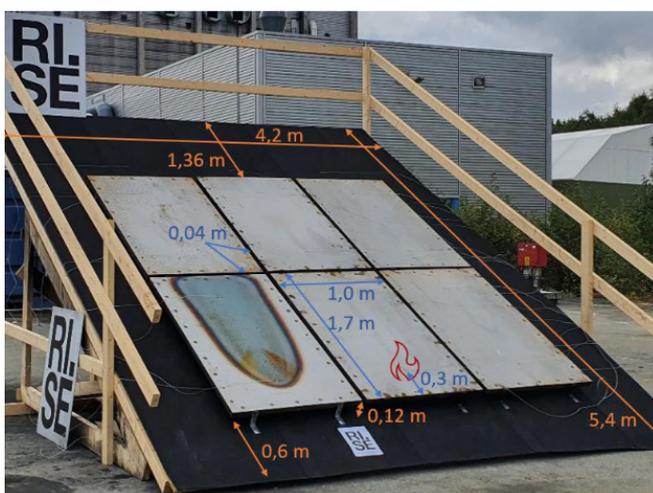


Abb. 4: Versuchsaufbau groß, RISE Norwegen [50]

und DIN EN 13823 [84] (SBI) sowie im Cone Calorimeter (ISO 5660) und in der Rauchkammer (ISO 5659-2) untersucht. Gezeigt wurde hier, dass sich in der Regel Glas-Folien-Module deutlich kritischer verhalten als Glas/Glas-Module.

Im Rahmen des BMU-Forschungsprojekts »Bewertung des Brandrisikos in Photovoltaik-Anlagen und Erstellung von Sicherheitskonzepten zur Risikominimierung« [34] erfolgten im Brandversuchshaus der Currenta GmbH im Juni 2014 experimentelle Untersuchungen mit dem Ziel, die Schadstofffreisetzung von PV-Modulen im Brandfall zu charakterisieren. Das Untersuchungsprogramm umfasste drei verschiedene Modultypen (Glas/Glas-Module mit und ohne Aluminiumrahmen und Glas/Folien-Module). Die Module wurden in geneigter Anordnung an der Rückseite mit einem Gasbrenner beflammt, um ein mögliches Brandentstehungsszenario bei dachadditiven PV-Anwendungen zu simulieren. Schadstoffanalysen erfolgten an Rauchgas-, Brandrückstands- und Löschwasserproben.

Neben der Wärmefreisetzung wurden auch Emissionen gemessen (Raucherzeugung und Brandgaskomponenten). Es zeigte sich, dass große Unterschiede in der Wärmefreisetzung und Raucherzeugungsrate der verschiedenen Modultypen/Rückseitenbeschichtungen auftraten. Nur in unmittelbarer Nähe zu den Modulen wurden die Grenzwerte für CO und CO₂ überschritten – für die Allgemeinheit gefährliche Emissionen (z. B. Schwermetalle) wurden nicht gemessen. Allerdings wird empfohlen, wie bei allen Bränden, Löschwasser und Bodenrückstände zu untersuchen und ggf. fachgerecht zu entsorgen.

In Italien wurde 2014 untersucht, wie sich das Brandverhalten von PV-Modulen mit verschiedenen Rückseitenbeschichtungen unterscheidet. Zunächst wurden Brandprüfungen mit dem italienischen »radiant panel test« (UNI 9174) durchgeführt [51]. In diesen Versuchen konnte gezeigt werden, dass Unterschiede bei den Rückseitenbeschichtungen auch zu unterschiedlichen Flammenausbreitungsgeschwindigkeiten führen.

Da die Prüfung im »radiant panel test« in der Zwischenzeit für Bauprodukte in Italien nicht mehr angewandt wird, wurden weitere Prüfungen mit modifizierten europäischen Prüfverfahren (EN ISO 11925-2 und EN 13823) durchgeführt [52]. Es wurde festgestellt, dass die für Bauprodukte

festgelegten Verfahren für die Prüfung von PV-Modulen angepasst werden müssen, um aussagekräftige Ergebnisse zu bekommen. Auf dieser Basis wurden (s. Abs. 4) in Italien neue Vorschriften erlassen.

3.3 Forschungsarbeiten zum Brandverhalten der Kombination aus Bedachung und aufgeständerten PV-Elementen

In den oben aufgeführten Untersuchungen wurden häufig simulierte Bedachungen (in der Regel inerte Platten) verwendet. In dem von der BAM durchgeführten Forschungsvorhaben [18] wurden auch Versuche an PV-Modulen in Kombination mit einer darunter liegenden bituminösen Dachbahn durchgeführt. Vergleichend wurden Versuche durchgeführt mit Brandsätzen nach UL 790 und CEN TS 1187 (t1) und mit einem Gasbrenner, der mit unterschiedlichen Beanspruchungsniveaus benutzt wurde. Es wurde vorgeschlagen, den Holzwollekorb durch einen Brenner mit einer Leistung von 41 kW zu substituieren.

In einem Forschungsvorhaben, das 2014 von TÜV Rheinland, Currenta GmbH & Co. OHG und der Bergischen Universität Wuppertal durchgeführt wurde [53, 54], wurde eine Prüfmethode entwickelt, mit der eine qualifizierte Aussage zur Brandweiterleitung unter Beeinflussung einer Bedachung und der darüber liegenden PV-Module getroffen werden kann. Es wurden vergleichende Versuche mit einem Gasbrenner und einem Holzwollekorb durchgeführt. Ein Gasbrenner mit einer Leistung von 15 kW über zehn Minuten wurde als äquivalent zur Holzkrippe nach CEN TS 1187 Teil 1 beurteilt. Diese Ergebnisse wurden bei der Entwicklung des europäischen Technical Report CLC TR 50670 [55] berücksichtigt.

Großversuche an Flachdachaufbauten mit darüber aufgeständerten PV-Modulen wurden im Auftrag von PU Europe [56, 57] in Auftrag gegeben. Diese Versuche wurden auf Stahltrapezprofildächern mit einer Größe von 6 m x 6 m durchgeführt, auf denen eine komplette Bedachung (Dampfsperre, Dämmstoff und Abdichtungsbahn) aufgebracht war. Darüber wurden PV-Module in Ost/West-Konfiguration installiert, die in die Klasse C nach IEC 61730-2 eingestuft waren (Glas/Folien-Module). Als Zündquelle wurde ein Gasbrenner entsprechend CLC TR 50670 (15 kW, Brenndauer 10 min) verwendet. Es wurde im Freien geprüft – die Brandausbreitung auf dem Dach und nach unten wurde beobachtet und die Temperaturen in und unter der Dämmschicht wurden mit Thermoelementen gemessen.

Die Versuche zeigten, dass bei einem Brand mit PV-Modulen bei ansonsten gleichem Dachaufbau, die Brandausbreitung über die Dachfläche und nach unten nicht notwendigerweise verringert wird, wenn statt einer PIR-Dämmung eine nichtbrennbare (Klasse A1) Mineralwolldämmung verwendet wird.

Ähnliche Versuche für NEN (Koninklijk Nederlandse Normalisatie Instituut) wurden im Rahmen der Vorbereitung von Normen für die Niederlande [58] bei Efectis in einer Halle durchgeführt, und die Wärmefreisetzung wurde gemessen. Zusätzlich wurden auch nach CLC TR 50670 (15 kW, Brenndauer 10 min) kleinere Versuche mit demselben Brenner durchgeführt. Die Ergebnisse wurden jedoch bisher noch nicht publiziert.

Ein weiterer Großversuch mit ähnlichem Aufbau wurde im Auftrag des niederländischen EPS Verbandes (Stybenex) an einem mit EPS gedämmten Dach durchgeführt. In diesem Falle wurden Glas/Glas-Module verwendet (Klasse A nach IEC 61730-2) [59].

In Italien wurden Forschungsarbeiten durchgeführt [60], bei denen verschiedene Prüfmethode für die Prüfung von Bedachungen in Kombination mit PV-Modulen verglichen wurden. Schwerpunkt der Untersuchungen war der Vergleich der Wärmefreisetzung der Dachabdichtungsbahnen und der PV-Module alleine mit den Ergebnissen von kombinierten Prüfungen (entwickelte Prüfverfahren s. Abs. 4.1.2).

In den USA wurden neben der Entwicklung von Methoden in Anlehnung an die Normen der Underwriters Laboratories UL 790 und UL 1703 (s. USA, Abs. 4.1.6) [61-65] auch einige Großversuche an Dächern durchgeführt [66]. Der Bericht von Solar ABC [62] verweist unter anderem auf die Arbeiten von Backstrom und Sherwood [61, 62] und zeigt Grundlagen, die zur Weiterentwicklung der US-Prüfmethode führten (s. Abs. 4.2.2). Eine Übersicht über die Prüfungen und Entwicklung von Zulassungsverfahren bis 2014 gibt auch ein Bericht für die fire protection research foundation [65]. Für die NFPA Research foundation wurden die Ergebnisse der in den USA durchgeführten Prüfungen bis 2016 und weitere Vorschläge für Prüfungen zusammengefasst [66], die auch mögliche Maßnahmen zur Risikominimierung untersuchen sollen.

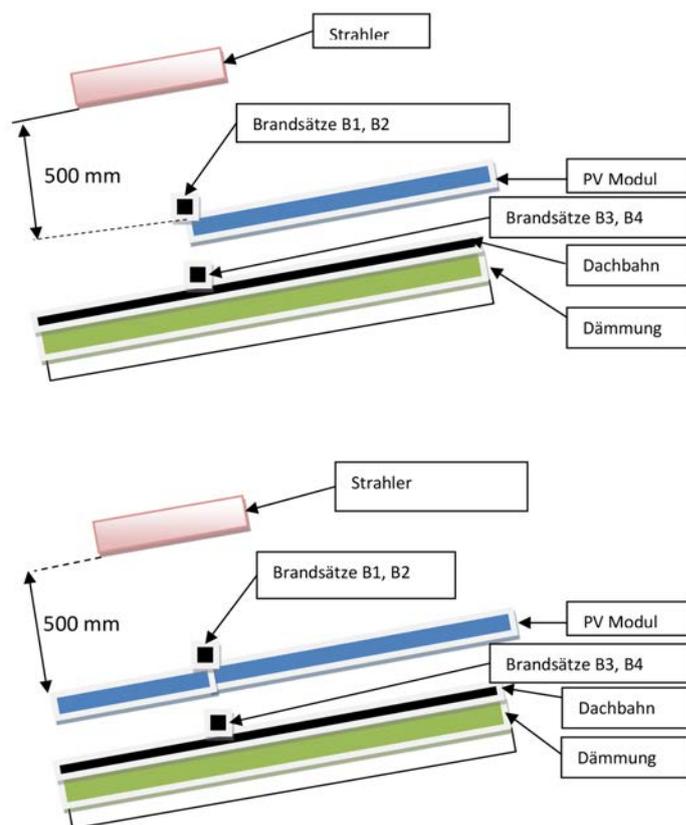


Abb. 5: Prüfung von Bedachungen mit PV-Modulen in Frankreich in Anlehnung an CEN TS 1187 (t3) [68]



Abb. 6: Prüfungen in Anlehnung an CEN TS 1187 (t3) [68]

4. Bedachungen in Kombination mit PV-Modulen – bestehende und vorgesehene Vorschriften

4.1 Nationale Regelungen

4.1.1 Frankreich

In Frankreich wurden nationale Verfahren entwickelt, die eine Modifikation des europäischen Brandtests nach CEN TS 1187 (t3). [68, 69]. Die Bedachung wird zusammen mit den darüber installierten PV-Modulen geprüft. Dieser Test kann nur bestanden werden, wenn die Bedachung auch ohne PV-Module die Anforderung B_{roof} (t3) erfüllt (s. Abb. 5 und 6).

4.1.2 Italien

Grundlegende Regelungen zu PV-Modulen wurden in Italien bereits 2012 veröffentlicht [62].

In den letzten Jahren wurden verschiedene Forschungsprojekte durchgeführt, in denen Versuchsmethoden weiterentwickelt und bewertet wurden, da die früheren Baustoffprüfmethoden (radiant panel test) zurückgezogen und durch

europäisch harmonisierte Prüfverfahren ersetzt worden waren [51, 60]. Die Norm CEI TR 82-89 [70] wurde revidiert, und die Neufassung wurde 2023 als CEI – TS 82-89 veröffentlicht [71] (siehe Präsentationen bei FIEP [72] und bei CEN TC 127 WG 5 [73]). Die gesetzlichen Regelungen wurden angepasst [75].

Die CEI – TS 82-89 sieht die Verwendung des Prüfstands nach EN 13823 (Single Burning Item) als Kalorimeter vor. Die Prüfkörper und der Brenner werden analog zu CLC TR 50670 angeordnet. Die Brennerleistung des Gasbrenners beträgt allerdings 30 kW.

Die Prüfung der Proben, die aus den PV-Modulen und den obersten 50 mm der Bedachung bestehen, wird im SBI-Prüfstand durchgeführt, und als Klassifizierungskriterien sind ähnliche Kriterien vorgesehen, wie sie für die Baustoffprüfungen im SBI (EN 13823) verwendet werden:

- Wärmefreisetzung (FIGRA und THR) – wichtigstes Kriterium,
- Rauchentwicklung (SMOGR und TSP) – weniger wichtig,
- brennendes Abtropfen – weniger wichtig.

Die obersten 50 mm der Bedachung werden zusätzlich im Cone Calorimeter bei einer Beanspruchung von 50 kW/m² geprüft.

Tab. 1: Klassifizierungskriterien nach CEI TS 82-89

	Klasse B _{FV(a, b, c)}	Klasse C _{FV(a, b, c)}	Klasse D _{FV(a, b, c)}	Klasse E _{FV(a, b, c)}
FIGRA _{0,4MJ} [W/s]	≤ 180	≤ 450	≤ 550	> 550
THR _{500 s} [MJ]	≤ 10	≤ 25	≤ 35	> 35

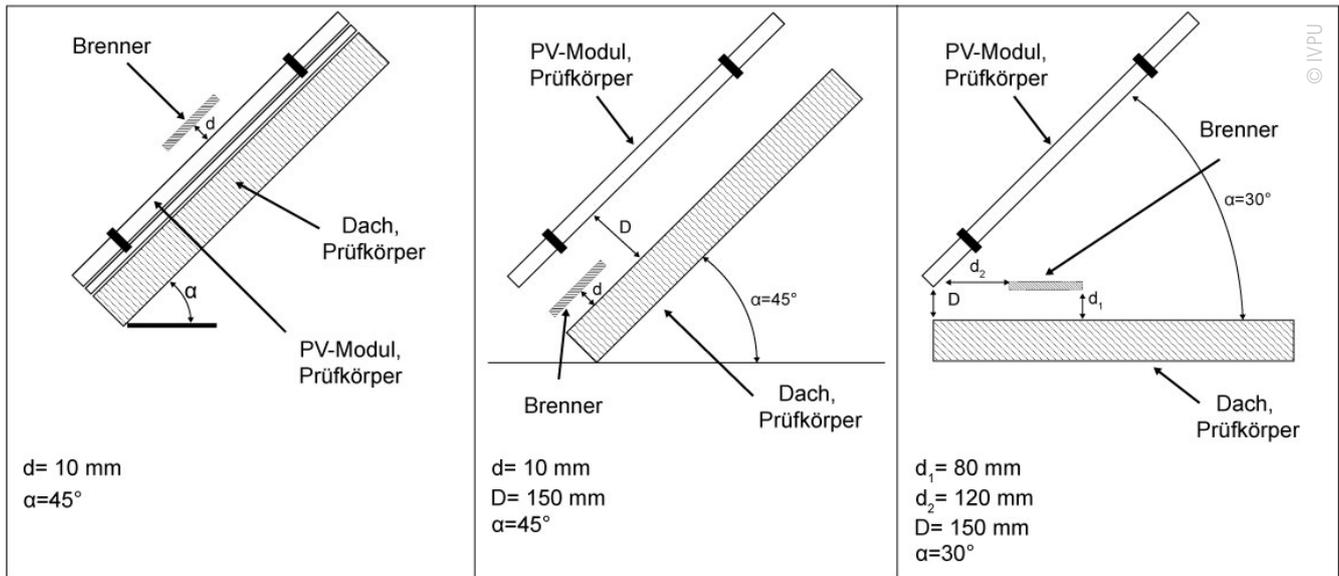


Abb. 7: Prüfaufbau Italien. Brenner entsprechend CLC TR 50670, aber mit einer Leistung von 30 kW

Für eine erweiterte Anwendung der Prüfergebnisse dürfen bei gleichem Modul die geprüften Dachaufbauten durch solche mit einer gleichen oder geringeren THR (Total Heat Release – gesamte Wärmefreisetzung) im Cone Calorimeter ersetzt werden. Weitere Regeln für die erweiterte Anwendung der Prüfergebnisse wurden in Hinblick auf die Konfiguration der Prüfkörper entwickelt.

Die Klassifizierungen erfolgen nach Tabelle 1.

Die Prüfung dient der Einstufung der PV-Module für die Verwendung auf den jeweils geprüften Bedachungen. Die PV-Module werden nicht als Bauprodukte eingestuft, sondern es wird nur eine alternative Methode zur Bewertung des Risikos definiert. (Damit wird vermieden, dass die PV-Module nach EN 13823 geprüft und nach EN 13501-1 [74] klassifiziert werden müssen).

4.1.3 Niederlande

Derzeit werden Prüfverfahren und Anforderungen definiert [58]. In einem ersten Schritt werden Flachdächer behandelt. Weitere Arbeitspakete für Steildächer und Fassaden sind vorgesehen. Die Basis für diese Arbeiten bilden Versuche im Labormaßstab und im Großversuch an Dachaufbauten mit darüber liegenden PV-Modulen. Für die Beurteilung des Brandverhaltens von Dachaufbauten mit PV-Modulen wird der in der CLC TR 50 670 beschriebene Brenner benutzt. Zur Simulation der Beanspruchung durch einen Lichtbogen wurde vorgeschlagen, für die Beanspruchung unter den PV Modulen den Brenner zu verkleinern und die Brennerleistung von 15 auf 6 kW zu reduzieren. Die Begründung ist das Ergebnis einer Studie, in der untersucht wurde, wie die



Abb. 8: Prüfung im SBI mit 30-kW-Brenner nach CEI TS 82-89 [71]



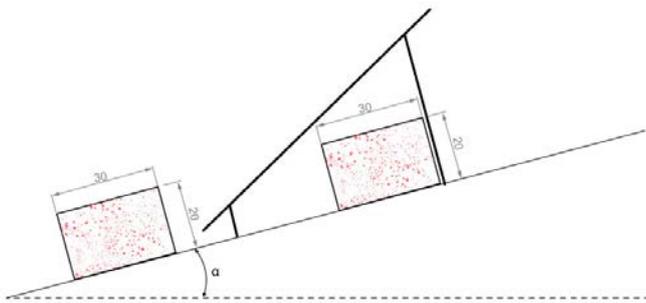


Abb. 9: Für Deutschland vorgeschlagene Anordnung der Brandkörbe bei aufgeständerten Systemen über einem Bitumendach [69]

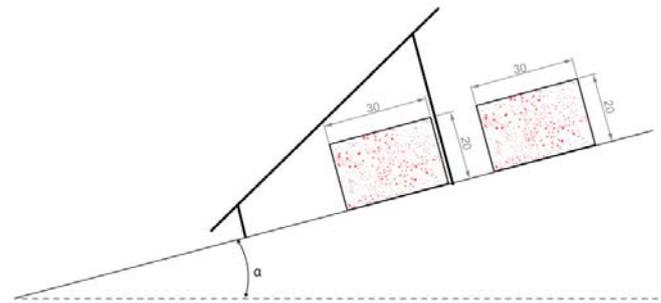


Abb. 10: Für Deutschland vorgeschlagene Anordnung der Brandkörbe bei aufgeständerten Systemen über einem Foliendach [69]

Entzündung durch einen Lichtbogen in Brandversuchen simuliert werden kann [76].

Zusätzlich wird eine Prüfung mit einer Brennerleistung von 15 kW gefordert, die einen angrenzend an das PV-Modul durch eine externe Zündquelle verursachten Brand nachstellen soll.

4.1.4 Österreich

2022 wurden für Oberösterreich Bestimmungen für PV-Anlagen auf großen Hallendächern veröffentlicht. Diese enthalten Vorgaben zur elektrischen Sicherheit. Verschiedene Abstandsregelungen in Abhängigkeit von der Art der Bedachung und der baulichen Gegebenheiten sind festgelegt. Versuchsverfahren für Zulassungen sind nicht vorgesehen und die Art der PV-Module (bzw. die brandschutztechnische Einstufung der Module) wird nicht berücksichtigt [77].

Im Mai 2023 wurde die OIB-Richtlinie 2 OIB-320.2-029/23 veröffentlicht [78]. Es werden keine besonderen Versuche gefordert – es werden jedoch teilweise Glas/Glas-Module vorgeschrieben und die Mindestabstände zum Gebäuderand bzw. zu Lichtkuppeln sind festgelegt. Weitere Untersuchungen zum Thema »Abstand der PV-Anlagen von Durchdringungen und mögliche Schutzmaßnahmen« werden derzeit von der Brandverhütungsstelle Oberösterreich durchgeführt.

4.1.5 Deutschland

In Deutschland wird für PV-Module auf Dächern grundsätzlich eine Einstufung in die Brandklasse E nach EN 13501-1 gefordert (normalentflammbar) [79]. Im DIN Normungsausschuss NA 005-52-07AA wird diskutiert, ob die Schutzziele für harte Bedachung ($B_{\text{roof}}(t_1)$ nach DIN EN 13501-5 [85]) bei bisher geprüften und zugelassenen Bedachungen auch weiterhin erreicht werden, wenn darüber PV-Module installiert sind. In diesem Zusammenhang wurde bereits 2012 ein Prüfprogramm vorgeschlagen, unter Verwendung des für die Prüfung der harten Bedachung vorgesehenen Holzwollekorbs [80].

Dieses Vorhaben wurde bisher nicht realisiert, da es von der deutschen Bauaufsicht nicht unterstützt wurde. Die Bauaufsicht fordert in Deutschland bisher nur, dass die Module mindestens normalentflammbar sind (Klasse E nach DIN EN 13501-1 [74]), und gibt vor, welche Abstände zu Durch-

dringungen, Brandwänden und zum Gebäuderand einzuhalten sind.

4.1.6 USA – Gesetzgeber und Versicherer

In den USA wurden auf Basis von Untersuchungen durch die Versicherungsgesellschaften UL (Underwriters Laboratories) und FM Global Group Vorschriften entwickelt. Die von FM und UL entwickelten Verfahren wurden weitgehend in die Building Codes der USA übernommen [79, 81].

Mit FM 4478 [81] und UL 1703 [2] wurden modifizierte Prüfbedingungen nach ASTM E108 [83] für Klasse A festgelegt [72]:

- Wenn das Dach Klasse A nach ASTM E108 erfüllt und eine nichtbrennbare Tragkonstruktion angenommen wird, wird nur der Spread-of-Flame-Test (Gasflamme) benötigt (2x).
- Probenabmessungen: mindestens 2,4 m lang, max. 4,9 m breit.
- Über der Probe müssen mindestens zwei oder drei PV-Panele angebracht werden können.

Bei der Brandprüfung handelt es sich um die Einstufung der Systembrandklasse eines Moduls oder Panels mit Montagesystemen in Kombination mit Dacheindeckungen. Die zwei Arten von Dachneigungen sind: steil geneigt (> 2 Zoll/Fuß Neigung) und wenig geneigt (< 2 Zoll/Fuß Neigung) und können in einer symmetrischen oder asymmetrischen Konfiguration der Dachneigung konfiguriert werden. Für Steildächer sind sowohl die Tests »flame spread« als auch »burning brand« erforderlich. Es werden verschiedene Orientierungen der PV-Module geprüft.

Für die Einstufung der Bedachung selbst wird zusätzlich zu den genannten Kombinationsprüfungen die Standardprüfung für die Module nach ASTM E108 bzw. UL 790 gefordert.

4.2 Genormte Verfahren in Europa und international

4.2.1 Europa

Mit dem in CLC TR 50670 definierten Prüfverfahren für »external fire exposure to roofs in combination with photovoltaic (PV) arrays« [55] ist eine Methode zur Prüfung des Brandverhaltens von PV-Modulen über einer simulierten Bedachung beschrieben. Als Zündquelle wird ein Gasbrenner verwendet, der zu einer Beanspruchung des Dachs unter einer darüber liegenden PV-Anlage führt, die mit der

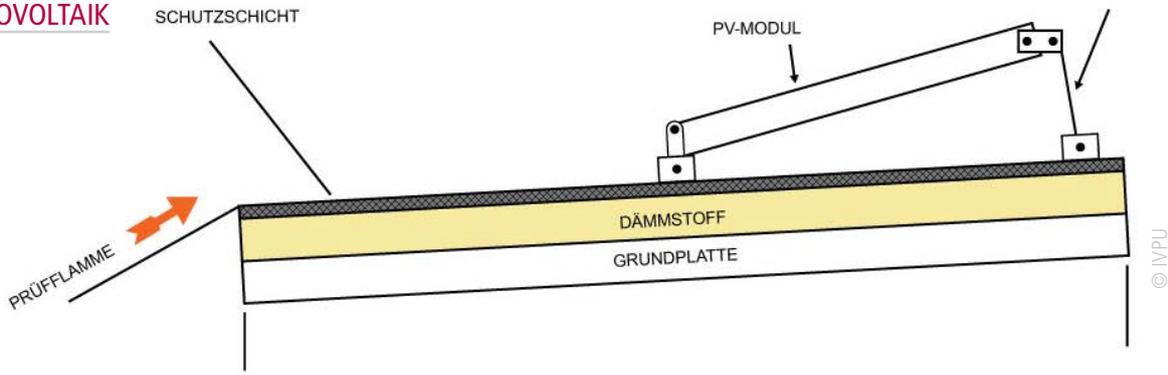


Abb. 11: Beispiel für eine Prüfung von PV-Modulen auf Flachdächern nach UL 1703 (Flachdach mit PV-Modul in Süd-Konfiguration montiert)

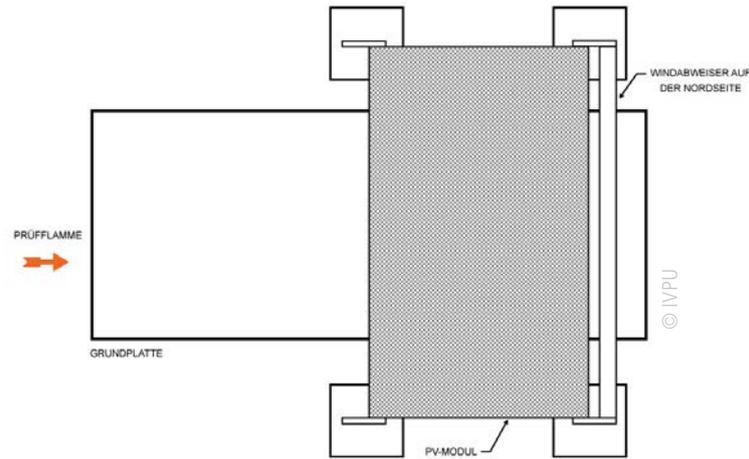


Abb. 12: UL 1703: PV-Modul zurückgesetzt – prinzipielle Anordnung

- seitliche Flammenausbreitung bis zu einem Rand der Module,
- Durchbrennen der Module (es darf keine Öffnung entstehen),
- brennende Tropfen (brennen > 10 Sekunden),
- anhaltendes Brennen nach der Prüfung.

Klassifizierungskriterien/Grenzwerte sind nicht ausdrücklich angegeben.

4.2.2 Genormte Verfahren in den USA und international

Einen guten Überblick über die Entwicklung der relevanten Vorschriften in den USA gibt ein Bericht der NFPA [66].

PV-Module müssen der IEC 61730-2 entsprechen [4]. Nach dieser Norm wird der Brandtest MTS 23 jedoch nur durchgeführt, wenn der Hersteller der PV-Module dies verlangt (informativer Anhang zur Norm). Der MTS-23-Test wird gemäß der Norm ANSI/UL 790 durchgeführt und die Brandverhaltensklassifizierung von PV-Modulen reicht von Klasse C »grundlegende Brandschutzklasse« bis Klasse B oder Klasse A »höchste Brandschutzklasse«. Die Norm verlangt außerdem eine Mindestklassifizierung C für alle am Gebäude montierten Module (s. Abb. 14).

Geprüft wird mit verschiedenen Holzkrippen von oben und mit dem Spread-of-Flame-Test wird die Flam-

Beanspruchung durch den Holzwollekorb nach CEN TS 1187, Teil 1 (Holzwollekorb) vergleichbar ist. Dieser Brenner wurde in Deutschland entwickelt [53, 54].

Bei diesem Versuch ist das simulierte Prüfdach so groß wie die Projektionsfläche des darüber liegenden PV-Moduls. Der Brenner liefert 10 Minuten lang eine Leistung von 15 kW. Zu beobachtende Kriterien sind:

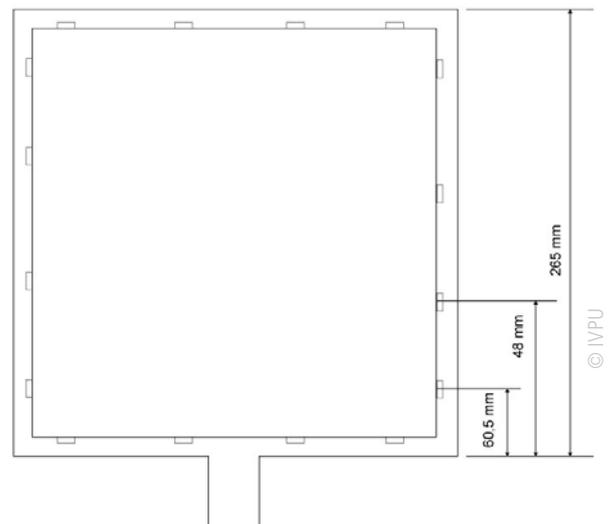
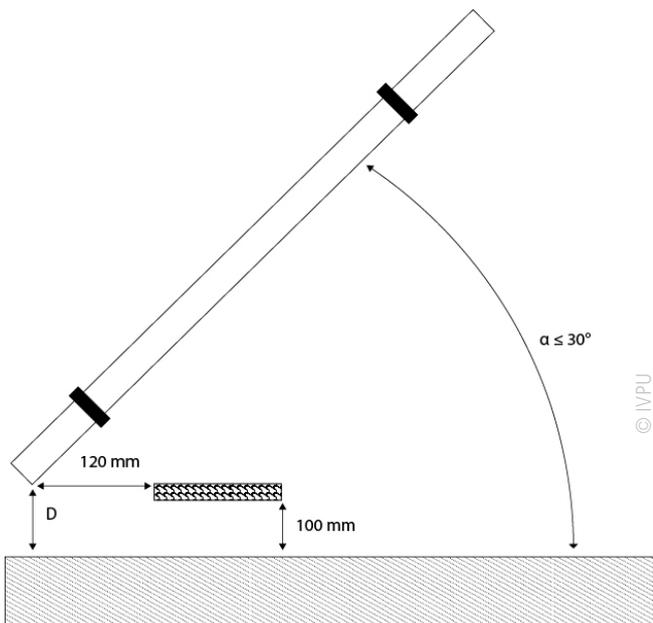


Abb. 13: Prüfaufbau für PV-Module über einem simulierten Flachdach und Brenner nach CLC TR 50670

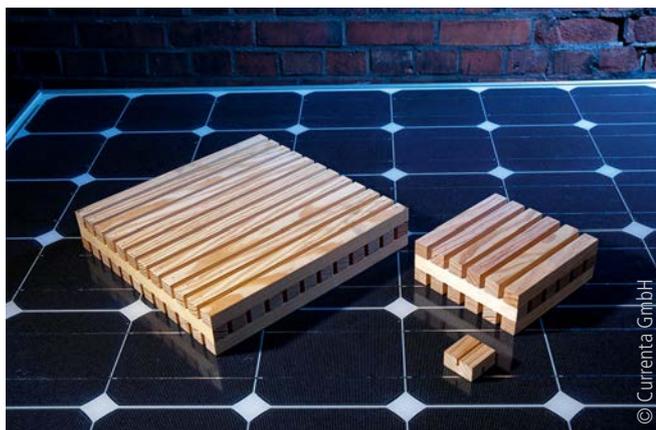


Abb. 14: Prüfverfahren nach IEC 61730-2: Holzrippen für Burning-brand-Test und Durchführung der Spread-of-Flame-Prüfung

menausbreitung auf der Oberseite der Module getestet, mit Beanspruchung durch eine Gasflamme und durch zusätzlichen Wind (5,3 m/s). Beflammungsdauer und Brennerleistung sind entsprechend den Anforderungen der Klassen A, B und C abgestuft. Es wird einmal ein einzelnes Modul und einmal ein Paar von zwei Modulen geprüft. Im 2022 veröffentlichten Neuentwurf dieser Norm wurden mit dem Verfahren MST 24 auch Festlegungen veröffentlicht, wie zur Bewertung der Entzündbarkeit Prüfungen in Anlehnung an ISO 11925-2 durchzuführen sind. Die Prüfung kann an ganzen PV-Modulen in Einsatzgröße durchgeführt werden und alle Modulgrößen eines Typs von Modulen sind durch die Prüfung einer Größe abgedeckt. Geprüft werden die Außenseiten der Module, wenn sie brennbar sind, und auch die mittlere Schicht (embedding layer). Wenn die Kanten aus nichtbrennbarem Werkstoff bestehen, müssen diese nicht geprüft werden. Die Flächenbeflammung wird nur an brennbaren Außenschichten durchgeführt. Beflammt wird 15 Sekunden lang. Brennendes Abtropfen wird nicht bewertet.

Für die Prüfung von PV-Modulen in Verbindung mit Bedachung wurde das Verfahren nach ASTM E 108 modifiziert. Die Probe wurde auf mindestens 4,9 m verlängert, sodass mindestens zwei PV-Elemente montiert werden können.

Tab. 2: Beanspruchung beim Spread-of-Flame-Test nach IEC/EN 61730-2

Klasse	Brennerleistung	Zeit
A/B	ca. 378 kW	10 min
C	ca. 325 kW	4 min

Tab. 3: Kriterien beim Spread-of-Flame-Test nach IEC/EN 61730-2

Klasse	Maximal zulässige Flammenausbreitung
A	1,82 m
B	2,40 m
C	3,90 m

Beim Burning-Brand-Test wird ein Feuer von außen durch einen Brandsatz (Holzkrippe) und zusätzlichem Wind (5,3 m/s) nachgestellt. Die Massen der Holzrippen betragen zwischen 10 g und 2000 g in Abhängigkeit der zu prüfenden Klasse. Protokolliert werden die Auswirkungen auf das PV-Modul.

Tab. 4: Beanspruchung beim Burning-Brand-Test nach IEC/EN 61730-2

Klasse	Brandsatz	Anzahl Brandsätze
A	12 Zoll Holzrippe	1
B	6 Zoll Holzrippe	2
C	1,5 Zoll Holzrippe	20

Für die Einstufung der Bedachungen wird zusätzlich zu den genannten Prüfungen noch der Intermittent-Flame-Test gefordert mit wiederholter Beflammung des Prüfdachs mit Gasflamme und Windbeanspruchung. Für die kombinierte Prüfung mit PV-Elementen und Bedachung wird diese Prüfung nur gefordert, wenn die Bedachung alleine Class A nicht erreicht. Die Bedachung darf nicht mehr als 152 mm über das PV-Element hinaus beschädigt sein.

Tab. 5: Beanspruchung beim Intermittent-Flame-Test

Klasse	Flamme an (min)	Flamme an (min)	Wiederholungen
A	2	2	15
B	2	2	8
C	1	2	3

Zusätzlich wurde noch für die Montagesysteme (Racking systems) das Bewertungssystem nach UL 1703 eingeführt.

In dem 2022 veröffentlichten Neuentwurf der Norm IEC 61730-2 wird auch darauf hingewiesen, in der ANSI/UL 61730-2:2017 die kombinierte Prüfung von Bedachungen und PV Modulen festgelegt ist (s. Abs. 4.1.6).

5. Zusammenfassung der vorliegenden Informationen

5.1 Statistische Daten

Die Statistiken zu Brandfällen mit PV-Modulen auf Dächern sind unvollständig und nicht aussagekräftig genug. Es wird zwar häufig berichtet, dass die PV-Module selbst oder die dazu gehörigen elektrischen Installationen die Ursache eines Brands waren. In den meisten Fällen ist jedoch nicht bekannt, ob die Brandausbreitung und die Schadenshöhe durch den Abbrand der PV-Module, die Beteiligung der Bedachung am Brand oder durch eine Kombination verschiedener Einflussfaktoren verursacht wurde.

Zu großen Bränden auf Flachdächern mit PV-Anlagen wurde lediglich eine aussagefähige Analyse erstellt: Brän-

de in den Niederlanden wurden von Efectis im Jahr 2022 untersucht [35]. In dieser Studie wurde auch die Beteiligung der PV-Anlagen bzw. der Bedachungen unter den Modulen an der Brandausbreitung untersucht.

5.2 Forschungsergebnisse und eingeführte Verfahren zum Brandverhalten von PV-Modulen und von PV-Modulen in Kombination mit Dächern

Es wurden eine Reihe von Forschungsprogrammen zur Prüfung, Bewertung und Verbesserung der Brandsicherheit auf Dächern mit PV-Modulen durchgeführt und darauf basiert Normen erstellt.

Folgende Parameter wurden untersucht und bewertet:

- **Brandverhalten der PV-Module selbst:**
Am weitesten verbreitet ist das Verfahren, das mit der ANSI/UL 790 beschrieben und in die internationale Norm IEC/EN 61730-2 übernommen wurde. Dieses resultiert aus Forschungsarbeiten, die hauptsächlich in den USA durchgeführt wurden. Zusätzlich wurde die Prüfung der Entzündlichkeit in Anlehnung an ISO 11925-2 in die IEC/EN 61730 aufgenommen. Prüfungen im SBI nach EN 13823 (vertikale Anordnung der PV-Module) werden für PV-Module auf Dächern nicht angewendet.
- **Kritischer Abstand zwischen Bedachung und PV-Modulen:**
Zu diesem Thema wurden vor allem in Skandinavien Forschungsarbeiten durchgeführt, die sich zum großen Teil auf Rückstrahlung und Flammenumlenkung konzentrierten, die unter simulierten PV-Modulen auf das Dach einwirken. Ermittelt wurden unter verschiedenen Versuchsbedingungen sogenannte »kritische Abstände« zwischen Bedachung und PV Modul. Das Brandverhalten der PV-Module selbst wurde nur in wenigen Versuchen mitberücksichtigt.
- **Brandverhalten von PV-Elementen in Kombination mit Bedachungen:**
 - In Frankreich und Skandinavien wurden Versuche in Anlehnung an das jeweilige Prüfverfahren nach CEN/TS 1187 durchgeführt. In Frankreich wurde ein Verfahren in die Gesetzgebung übernommen, das auf der bisherigen Prüfung für Bedachungen ($B_{\text{roof}}(t_3)$) basiert.
 - In den USA wurde ein Verfahren zur Prüfung von Bedachungen in Kombination mit darüber liegenden PV-Elementen in Anlehnung an die UL 790 und an ASTM E 108 entwickelt. Die resultierenden Klassifizierungen für PV-Elemente gelten dann jeweils für den geprüften oder für einen genauso oder besser klassifizierten Dachaufbau in Kombination mit dem geprüften PV-Element. Die beste Klassifizierung ist hier nur mit Klasse A Bedachungen zu erreichen.
 - In Italien wurde ein neues Verfahren entwickelt – PV-Module werden im SBI-Prüfgerät über den obersten 50 mm einer Bedachung aufgestellt und mit einem 30-kW-Brenner beflammt. Das wesentliche Kriterium ist die Wärmefreisetzung durch die Kombination aus Modul und Dachmaterial.

5.3 Bewertung durch Versicherungen und verbundene Institutionen

Aus Sicht der Versicherungen ist vor allem von Bedeutung, dass es auf Flachdächern mit darüber liegenden PV-Instal-

lationen in den letzten Jahren einige Brände gegeben hat, die einen erheblichen Sachschaden verursachten. In einigen Fällen kam es auch zu einem Durchbrand ins Gebäude oder zu einem vollständigen Abbrand oder Einsturz des betroffenen Gebäudes.

Oftmals wurde nicht genau untersucht, welche Faktoren für den Brand relevant waren. Hinzu kommt, dass Informationen, die den Sachversicherern vorliegen, nicht öffentlich zugänglich sind. Deshalb gibt es keine ausreichenden Erkenntnisse, welchen Beitrag das Brandverhalten der Bedachungen zu den bekannten großen Schadensfällen geleistet hat. Dennoch wird insbesondere von Versicherungen häufig gefordert, PV-Module auf großen Flachdächern ausschließlich über nichtbrennbaren Bedachungen/Konstruktionen zu montieren oder zumindest nichtbrennbare Dämmstoffe zu verwenden. Alternativ wird auf die Notwendigkeit von Schutzschichten (z. B. Bekiesung) verwiesen oder es werden pauschale Risikoeinstufungen für verschiedene Dämmstoffe und Systeme gegeben [42], ohne dass experimentelle Daten bzw. aussagefähige Unfalluntersuchungen vorliegen.

Die beiden großen Sachversicherer UL und FM haben bereits Prüfverfahren eingeführt, mit denen das Brandverhalten von Bedachungen, das Brandverhalten von PV-Modulen und das Brandverhalten von Kombinationen aus Bedachungen und PV-Modulen bewertet werden. Mit diesen Verfahren erreichen ausschließlich Dachaufbauten, die für sich alleine die Anforderungen für die Klasse A nach ASTM E 108 erfüllen, die beste Einstufung. Dachaufbauten für Industrieleichtdächer, die die deutschen baurechtlichen Anforderungen erfüllen, können ohne zusätzliche Schutzschichten diese Anforderung meist nicht erfüllen.

5.4 Offene Fragen

Die bisher vorliegenden Forschungsergebnisse berücksichtigen in der Regel nicht das Brandverhalten und die Konstruktionsdetails der Montagesysteme, mit denen die PV-Module auf dem Dach installiert werden. Es liegen keine Berichte vor, in denen folgende Faktoren systematisch untersucht werden:

- Einfluss des Brandverhaltens der PV-Module auf die Beanspruchung des darunter liegenden Dachs,
- kritischste Anordnung von PV-Modulen (Ost/West-Anordnung, schräg aufgeständerte PV-Module oder Dachparallel angeordnete PV-Module),
- Einfluss von vertikal zum Dach angeordneten Schutzblechen an den Enden von PV-Modul-Reihen auf die Brandausbreitung (als Möglichkeit erwähnt in [66]).

Die Tendenz geht dahin, die ohnehin schon bestehenden Anforderungen an Flachdächer bei der Entwicklung nationaler Regeln für die Kombination von Dächern mit PV-Anlagen zugrunde zu legen. Damit ist die Vergleichbarkeit der in verschiedenen Ländern angewendeten Verfahren nicht direkt möglich.

6. Zusammenfassung der für die brandschutztechnische Beurteilung von PV-Anlagen auf Dächern relevanten Parameter

Für die brandschutztechnische Bewertung von Dachaufbauten mit darüber angeordneten PV-Modulen sind folgende Parameter von Bedeutung:

1. Elektrische Sicherheit der PV-Module und der angeschlossenen elektrischen Komponenten
2. Brandverhalten der PV-Module und des Montagesystems
3. Geometrische Anordnung/Abstand zwischen PV-Elementen und Bedachung
 - 3.1. Abstand der PV-Module zur Dachfläche
 - 3.2. Neigungswinkel
 - 3.3. Ost/West- oder Süd-Ausrichtung
4. Montagevorgaben
 - 4.1. Abtrennungen
 - 4.2. Abstände zu benachbarten Gebäuden
 - 4.3. Abstände zu Durchdringungen wie Lichtschächten u. a.
5. Brandverhalten der Bedachung
 - 5.1. Dachabdichtung
 - 5.2. Ggf. Schutzlage (z. B. Bekiesung)
 - 5.3. Dämmstoff
6. Tragkonstruktion (Massivdach, Leichtdach)
7. Zündquelle, die bei Versuchen und Entwicklung von Vorschriften simuliert werden soll
 - 7.1. Elektrische Zündquelle (Lichtbogen) für Brandentstehung durch die PV-Anlage
 - 7.2. Flugfeuer und strahlende Wärme für Brände unter den PV-Modulen oder auf der Bedachung durch Einflüsse von außen (dargestellt durch Holzwolkekorb für Deutschland).

7. Voraussetzungen für die Prüfung und Bewertung von PV-Modulen in Kombination mit Flachdächern in Deutschland

Fragestellung	Verfügbare Informationen	Stand der Technik	Konsequenz	Handlungsempfehlung
Elektrische Sicherheit der PV-Module und der angeschlossenen elektrischen Komponenten	Es liegt eine Vielzahl von Untersuchungen und Vorschriften vor.	Maßnahmen und Einrichtungen wurden entwickelt und in vielen Ländern verpflichtend eingeführt. Diese vermindern das Risiko für eine Brandentstehung deutlich.	Bisher aufgetretene Brandfälle sind in Zukunft bei Durchsetzung dieser Maßnahmen weniger häufig zu erwarten.	Es muss sichergestellt werden, dass diese Sicherheitsvorschriften eingehalten werden, die PV-Anlagen ordnungsgemäß installiert und gewartet werden und dass die Regeln gesetzlich vorgeschrieben sowie überwacht werden.
Brandverhalten von PV-Modulen für die Verwendung auf Bedachungen	Am weitesten verbreitet ist die Klassifizierung der PV-Module nach dem in IEC 61730-2 beschriebenen freiwilligen Verfahren, das auf dem Verfahren nach UL 790 basiert.	Das Verfahren nach UL bzw. ISO/IEC konzentriert sich auf die Klassifizierung der Module.	Diese Klassifizierung ist in vielen Ländern vor allem von Versicherern anerkannt. Es ist noch nachzuweisen, ob durch diesen Parameter ein erheblicher Einfluss auch auf die Bedachung entsteht. Eine Beanspruchung von unten fehlt.	Es kann unterstützt werden, dass diese Klassifizierung verpflichtend wird und bei der Risikobewertung berücksichtigt wird. Zusätzlich sollte aber auch das Verhalten der Module bei Beanspruchung von unten untersucht werden.
	In einer Reihe von europäischen Ländern wird die Prüfung der Entzündbarkeit nach EN ISO 11925 -2 gefordert. Diese wurde in den neuesten Normentwurf der IEC 61730 aufgenommen.	Die Prüfung ist z. B. in den deutschen Bauordnungen eingeführt.	Nachteil: Die Beanspruchung durch diese Prüfung ist nicht ausreichend, um härtere Szenarien zu simulieren. Sie stellt aber zumindest eine sinnvolle Basisanforderung dar, mit der sichergestellt wird, dass die Module nicht bereits durch eine kleine Zündquelle entzündet werden.	Diese Prüfung für sich allein reicht nicht aus für die Beurteilung. Diese Basisanforderung sollte unterstützt werden, aber weitergehende Anforderungen können sinnvoll sein.
	Es wird gelegentlich nach EN 13823 (SBI) geprüft. Diese Prüfung wird jedoch vor allem für Fassaden angewandt.	Diese Prüfung ist für Bedachungen nicht relevant.		Diese Prüfung, die für vertikale Bauteile vorgesehen ist, kann für Bedachungen nicht empfohlen werden.
	Es gibt weitere Verfahren wie z. B. Cone Calorimeter oder andere nationale Verfahren.	Diese Verfahren werden einzeln für Forschungszwecke eingesetzt. In Italien wird das Cone Calorimeter als Grundlage für die erweiterte Anwendung der Prüfergebnisse für die Bewertung der Bedachung eingesetzt.	Diese Verfahren sind für Baustoffe in Deutschland nicht eingeführt und bei den Sachversichern meist nicht bekannt.	Für Forschungsarbeiten können derartige Versuche eingesetzt werden, sind aber für die Entwicklung von Vorschriften in Deutschland nicht relevant.

Fragestellung	Verfügbare Informationen	Stand der Technik	Konsequenz	Handlungsempfehlung
Brandverhalten von Bedachungen in Kombination mit PV-Modulen Genormte und eingeführte Verfahren	Das von UL und FM entwickelte und modifizierte Verfahren ist in vielen US Building Codes eingeführt und wird von den meisten großen Sachversicherern anerkannt.	Das Verfahren dient der Klassifizierung bestimmter Module in Verbindung mit einem bestimmten Typ von Bedachung.	Nachteil: Eine Klasse A (beste Klasse) kann nur in Verbindung mit einem Klasse A Dach nach FM 1703 bzw. ANSI/UL 790 erreicht werden. Bei deutschen Bestandsdächern (ohne Bekiesung oder sonstige Schutzschicht) ist dies in den seltensten Fällen zu erwarten.	Alternativen müssen gefunden werden, um die aktuell zugelassenen Dächer in Deutschland mit PV-Modulen auch bei großen Flachdächern (Industriebauten) weiter anwenden zu können.
	Französischer Test $B_{roof}(t3)$ ist ein modifiziertes Verfahren mit PV-Modulen über dem Dach.	Module werden zusammen mit der Bedachung klassifiziert.	Nachteil: Die Anforderung kann nur in Verbindung mit einem $B_{roof}(t3)$ Dach nach EN 13501-5 erreicht werden. Die Akzeptanz in Deutschland bei Bauaufsichten und bei Versicherern ist fraglich.	Für Deutschland ist das Verfahren eher nicht empfehlenswert, da zugelassene Bedachungen in Deutschland nicht nach CEN TS 1187(t3) geprüft sind.
	Italienisches Verfahren PV-Module werden über der Bedachung geprüft (die obersten 50 mm der Bedachung werden berücksichtigt). Der Versuchsaufbau wurde neu definiert, das Messinstrument für die Wärmefreisetzung ist der SBI-Prüfstand. Für die Bedachung selbst wird zusätzlich das Cone Calorimeter verwendet.	Verfahren ist in Italien eingeführt.	Neues Verfahren, mit neuen Kriterien. Beschränkung auf die obersten 50 mm der Bedachung. Erste Regeln für die erweiterte Anwendung sind entwickelt. Nachteile: Ein Durchbrand ist nicht berücksichtigt. Es liegen international keine Erfahrungen vor.	Es ist nicht zu erwarten, dass diese (völlig neu entwickelten) Regeln von den Sachversicherern und/oder den deutschen Behörden akzeptiert werden. Vorteil ist ein nicht zu großer Versuchsaufbau.
Brandverhalten von Bedachungen in Kombination mit PV-Modulen Genormte und eingeführte Verfahren	NL – Matrix Ansatz wird eingeführt. Vorgesehen sind Laborversuche entsprechend CLC TR 50670 und Großversuche, ähnlich wie auch von PU Europe durchgeführt (mit Heat-Release-Messung anstelle von Brandausbreitungs- und Temperaturmessungen). Es wird eine Brennerleistung von 6 kW für die Simulation einer elektrischen Zündquelle und eine Brennerleistung von 15 kW für die Simulation eines extern verursachten Brands angestrebt.	Untersuchungen sind noch nicht abgeschlossen.	Nachteil: Die Brennerleistung von 6 kW wird in anderen Ländern außer NL vermutlich nicht akzeptiert. Es wird zwar die Zündung durch einen Lichtbogen simuliert, aber nicht Flugfeuer und strahlende Wärme. Es bleibt abzuwarten, ob und in welcher Anordnung auch der Brenner mit einer Leistung von 15 kW eingeführt wird. Das Verfahren ist noch nicht vollständig entwickelt und eingeführt.	Der prinzipielle Ansatz (Matrix-Ansatz) passt gut zu den internationalen Regeln. Bisher liegen jedoch noch keine vollständigen Informationen vor. Es kann voraussichtlich unterstützend verwendet werden, wenn ein Prüfverfahren für Deutschland eingeführt wird.
Bedachungen in Kombination mit PV-Modulen Forschungsarbeiten zur Beurteilung des »kritischen Abstandes« zwischen PV-Modul und Bedachung	Arbeiten von Kristensen et al. und RISE Norwegen und anderen.	Der Fokus liegt auf dem Einfluss des Abstands zwischen Dach und PV-Modul – angewendet wurden $B_{roof}[t3]$ und andere Versuchsverfahren.	Nachteil: Die ermittelten kritischen Abstände berücksichtigen in der Regel den Beitrag der PV-Module nicht. Die meisten Ergebnisse liegen für Dachparallele simulierte PV-Module vor. Der Beitrag der PV-Module selbst ist nicht berücksichtigt. Der Einfluss der darunter liegenden Bedachung wird nur teilweise erwähnt.	Die Ergebnisse können als Zusatzinformation bei der Parameterdefinition für mögliche Versuche berücksichtigt werden.
Bedachungen in Kombination mit PV-Modulen Versuchsansatz PU Europe und Efectis (Für NL)	Berichte von PU Europe und Basisinformationen aus den Versuchen für die Normung in NL	Es wird ein realistischer Dachaufbau (6 m x 6 m) mit einem Brenner mit 15 kW Leistung verwendet.	Vorteil: Realistischer Versuch. Nachteil: Großer aufwendiger Versuch, der nur für exemplarische Untersuchungen und nicht für regelmäßige Zulassungsversuche eingesetzt werden kann.	Überzeugender realistischer Versuch, der gut für die Diskussion mit Versicherern und als Basis für geeignete Leitlinien oder Normen verwendet werden kann.
Bedachungen in Verbindung mit PV-Modulen – Vorschlag DIN Deutschland	Vorschlag aus dem deutschen Normungsausschuss NA 005-52-07 AA Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Bedachungen	Aufgeständerte PV-Module sollen in vorgegebenen Anordnungen mit dem Holzwollekorb geprüft werden.	Nachteil: Es wurde bisher noch nicht erprobt, ob dieser Ansatz umgesetzt werden kann. Er ist für bestimmte Aufbauten mit wenig Abstand zwischen PV und Dach nicht realisierbar. Vorteil: Es wurde vorgeschlagen, die Prüfung mit einigen Referenzdächern für Zulassungen zu nutzen.	Es kann versucht werden, diesen Vorschlag mit dem Brenner nach CLC TR 50670 zu modifizieren. Der Ansatz, Referenzdächer zu spezifizieren, kann von Vorteil sein.

8. Schlussfolgerungen

Systematische statistische Aussagen zu Brandgefahren bei Dächern mit darüber installierten PV-Anlagen liegen nicht vor. Während eine Reihe von Veröffentlichungen in Deutschland die Risiken als gering bewerten [77 u. a.], wird vor allem von Versicherern national und international geraten, unter PV-Modulen nichtbrennbare Baustoffe bzw. nur bestimmte Dämmstoffe [76] zu verwenden. Diese Vorgaben beruhen auf Schadensfällen, bei denen ganze Dächer bzw. Gebäude abgebrannt sind. Es liegt jedoch in den meisten Fällen keine Analyse vor, welchen Beitrag die Bedachung zum Schadensausmaß geleistet hat.

In vielen Fällen wird nicht differenziert, wie das Brandverhalten der beteiligten PV-Module war (in Europa ist in der Regel die Einstufung nach IEC EN 61730-2 nicht verpflichtend).

Um zu erreichen, dass im Falle eines Brands die Schutzziele für Menschen und für Sachwerte erreicht werden, sollten Vorschriften entwickelt werden, mit denen sichergestellt wird, dass PV-Installationen nicht zur Zündquelle werden und dass im Falle eines Brands weder durch die PV-Module selbst, noch durch die Kombination mit der darunter liegenden Bedachung eine kritische Brandausbreitung über das Dach, auf andere Brandabschnitte, auf andere Gebäude oder in das betroffene Gebäude hinein stattfinden kann.

Dies kann nicht mit Klassifizierungen der PV-Module oder der verwendeten Werkstoffe für die Bedachung alleine erreicht werden. Nur ein ganzheitlicher Ansatz, bei dem alle relevanten Faktoren und das Zusammenwirken der einzelnen Bauteile berücksichtigt wird, ermöglicht eine sicherheitstechnisch korrekte Bewertung von Dachaufbauten mit darüber aufgeständerten PV-Modulen.

Literatur

- [1] Niederspannungsrichtlinie. Richtlinie 2014/35/EU
- [2] UL 1703, ANSI 1703:2002-03-15 (revision 3) Flat-plate photovoltaic modules and panels, revised November 2019
- [3] IEC 61730-1 Photovoltaik (PV)-Module – Sicherheitsqualifikation – Teil 1: Anforderungen an den Aufbau
- [4] IEC 61730-2 Photovoltaik (PV)-Module – Sicherheitsqualifikation – Teil 2: Anforderungen an die Prüfung
- [5] DIN VDE 0100-560 (VDE 0100-560):2022-10 Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 5-56: Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel – Einrichtungen für Sicherheitszwecke
- [6] DIN EN 61646 VDE 0126-32:2009-03 Terrestrische Dünnschicht-Photovoltaik (PV)-Module – Bauarteignung und Bauartzulassung
- [7] DIN EN 62108 VDE 0126-33 Konzentratoren-Photovoltaik (CPV)-Module und -Anordnungen – Bauarteignung und Bauartzulassung
- [8] DIN EN 61730-1 VDE 0126-30-1:2018-10 Photovoltaik (PV)-Module – Sicherheitsqualifikation – Teil 1: Anforderungen an den Aufbau
- [9] DIN EN IEC 61730-2:2022-05; VDE 0126-30-2:2022-05 Photovoltaik (PV)-Module – Sicherheitsqualifikation – Teil 2: Anforderungen an die Prüfung (IEC 82/1814/CDV:2020). Entwurf
- [10] DIN EN IEC 62446-1 VDE 0126-23-1:2019-04 Photovoltaik (PV) Systeme – Anforderungen an Prüfung, Dokumentation und Instandhaltung – Teil 1: Netzgekoppelte Systeme – Dokumentation, Inbetriebnahmeprüfung und Prüfungsanforderungen
- [11] DIN EN 50618 VDE 0283-618:2015-11 Kabel und Leitungen – Leitungen für Photovoltaik Systeme
- [12] DIN EN 50272-1 VDE 0510-1:2011-10 Sicherheitsanforderungen an Batterien und Batterieanlagen – Teil 1: Allgemeine Sicherheitsinformationen
- [13] DIN EN 50272-2 VDE 0510-2:2001-12 Sicherheitsanforderungen an Batterien und Batterieanlagen – Teil 2: Stationäre Batterien

- [14] DIN EN 61439-1 VDE 0660-600-1:2021-10 Niederspannungs-Schaltgeräte-kombinationen – Teil 1: Allgemeine Festlegungen
- [15] DIN EN 61439-2 VDE 0660-600-2:2021-10 Niederspannungs-Schaltgeräte-kombinationen – Teil 2: Energie-Schaltgeräte-kombinationen
- [16] DIN EN IEC 63027:2024-03 (VDE 0126-27):2024-03 Gleichstrom-Lichtbogenfassung und -Unterbrechung in photovoltaischen Energiesystemen (IEC 63027:2023)
- [17] Ong, Nur Aliah Fatin Mohd Nizam et al.: Development of fire safety best practices for rooftops grid-connected photovoltaic (PV) systems installation using systematic review methodology. Sustainable Cities and Society 78 (2022)
- [18] Krüger, Simone et al.: 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. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2014
- [19] van Veen, Niels W. et al.: Schadelijke stoffen bij branden met zonnepanelen, RIVM-rapport 2022-0103. Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, 2022
- [20] Wirth, Harry: Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland. Fraunhofer ISE. URL: www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/studien/aktuelle-fakten-zur-photovoltaik-in-deutschland.html [Abruf: 01.03.2023]
- [21] Liciotti, Claudio: Analysis of the Combustion Fumes and Gases Released during the Burning of Some C-SI PV Modules. 29th European Photovoltaic Solar Energy Conference. Amsterdam, 2014
- [22] GUV-I 8677 DGVU Information 203-053:2012-03 Elektrische Gefahren an der Einsatzstelle – Gefahren des elektrischen Stromes – Auswirkungen des elektrischen Stromes auf den menschlichen Körper
- [23] DIN VDE 0132:2018-07 Brandbekämpfung und technische Hilfeleistung im Bereich elektrischer Anlagen
- [24] Deutscher Feuerwehrverband (Hrs.): Einsatz an Photovoltaikanlagen. URL: www.feuerwehrverband.de/app/uploads/2020/05/BSW_Feuerwehrbroschuere_2010.pdf [Abruf: 24.04.2024]
- [25] Hegemann, Jan-Erik: Löschen von Bränden mit PV-Anlagen. Feuerwehrmagazin. URL: www.feuerwehrmagazin.de/nachrichten/news/loeschen-von-braenden-mit-pv-anlagen-104657 [Abruf: 29.04.2024]
- [26] DIN CEN/TS 1187 DIN SPEC 91187:2012-03, Prüfverfahren zur Beanspruchung von Bedachungen durch Feuer von außen
- [27] DIN 18234 Baulicher Brandschutz großflächiger Dächer – Brandbeanspruchung von unten – Teil 1-4
- [28] Cancelliere, Piergacomo; Manzini, Giovanni; Mazzro, M: A review of the photovoltaic module and panel fire tests. ID n 165. Presentation IFireSS 2017
- [29] Aram, Monireh et al.: A state-of-the-art review of fire safety of photovoltaic systems in buildings. Journal of Cleaner Production 308 (2021)
- [30] Fiorentinia, Luca et al.: Fire Risk Assessment of Photovoltaic Plants. A Case Study Moving from two Large Fires: from Accident Investigation and Forensic Engineering to Fire Risk Assessment for Reconstruction and Permitting Purposes. Chemical engineering transactions 48 (2016)
- [31] Coonick, Chris: Fire Incidents involving Solar Power. URL: www.gov.uk/government/publications/fire-incidents-involving-solar-panels [Abruf: 24.04.2024]
- [32] Pester, Steve: Fire and Solar PV Systems – Recommendations for the Photovoltaic Industry. URL: <https://files.bregroup.com/bre-co-uk-file-library-copy/filelibrary/nsc/Documents%20Library/fireproject/P100874-1006-D6->

DIE AUTORIN



Dipl. Phys. Edith Antonatus

Seit vielen Jahren ist Edith Antonatus in den Bereichen Prüfung und Zulassung des Brandverhaltens von Produkten für das Bauwesen, den Schienenverkehr und die Luftfahrt tätig. Sie ist Mitglied in relevanten nationalen und internationalen Normungsgremien und berät nationale und internationale Verbände der Polyurethan-Industrie.
edith.antonatus@gmail.com

- Interim-Report---Recommendations-for-PV-Ind-Feb-2017-Issue-2.5.pdf [Abruf: 24.04.2024]
- [33] Sipe, Joel: Development of Fire Mitigation Solutions for Photovoltaic (PV) Systems Installed on Building Roofs – Ph. 1. Quincy: Fire Protection Research Foundation, 2016
- [34] Prume, Klaus; Viehweg, Jochen: Bewertung des Brandrisikos in Photovoltaik-Anlagen und Erstellung von Sicherheitskonzepten zur Risikominimierung. Leit-faden. Abschlussbericht. Köln: TÜV Rheinland Energie und Umwelt GmbH, 2015
- [35] Efectis: Research on fire safety of industrial flat roofs with PV installations. Zusammenfassung unter URL: <https://efectis.com/en/what-we-can-learn-from-fires-on-industrial-flat-roofs-with-solar-panels/> [Abruf: 24.04.2024]
- [36] RSA insurance: Risk Control Guide, photovoltaic panels URL: <https://static.rsagroup.com/rsa/commercial-insurance-products/property/e-photovoltaic-panel-risk-control-guide-v3.pdf> [Abruf: 24.04.2024]
- [37] AXA: Property Risk Consulting Guidelines, PRC.2.1.8, Photovoltaik Systems. 2021
- [38] Allianz: Fire Hazards of photovoltaic (PV) systems. Allianz Risk Consulting. Tech Talk 8 (2019)
- [39] Ström Bernad, Sofia: IKEA: Managing fire risks of solar panels. if's risk management journal (2016), Nr. 2. S. 4-7
- [40] Fire Protection Association: RC62: Recommendations for fire safety with PV panel installations. The Joint Code of Practice for fire safety with photovoltaic panel installations, with focus on commercial rooftop mounted systems. Version 2 (2023)
- [41] Swiss Re: Roof-mounted photovoltaic systems – fire risks. Risk Engineering Services (2020)
- [42] VdS 6023:2023-02 Photovoltaik-Anlagen auf Dächern mit brennbaren Baustoffen
- [43] Zamitt, Richard: FM Global, FM approvals, Präsentation für Workshop Normungsgremium CEN TC 127 WG 5. Verteilt an die Teilnehmenden, weiter nicht veröffentlicht. 2023
- [44] Kristensen, Jens Steemann; Merc, Bart; Jomaas, Grunde: Fire-induced reradiation underneath photovoltaic arrays on flat roofs. Fire and Materials 42 (2018), Dr. 3, S. 316-323.
- [45] Faudzi, Farah Binte Mohd; Jomaas, Grunde: Flame Propagation between flat roofing and photovoltaic installations. Master Thesis. University of Edinburg: 2018-2019
- [46] Kristensen, Jens Steemann; Faudzi, Farah Binte Mohd; Jomaas, Grunde: Experimental study of flame spread underneath photovoltaic (PV) modules. Fire Safety Journal. 120 (2021)
- [47] Kristensen, Jens Steemann; Jomaas, Grunde: Experimental Study of the Fire Behaviour on Flat Roof Constructions with Multiple Photovoltaic (PV) Panels. Fire Technology 54 (2018), S. 1807-1828
- [48] Kristensen, Jens Steemann: Photovoltaic installations on warehouse buildings – an experimental study of the propagation of fire. Nordic Fire Safety Days, 2017
- [49] Mikalsen, Ragni Fjellgaard et al.: RISE RAPPORT 2022:82: Solar cell installations on buildings. Fire spread and safety for fire services (2022)
- [50] Stole: Rise Fire Research, the Norwegian Fire Research Laboratory. Präsentation für das Normengremium CEN TC 127 WG 5 workshop. Verteilt an die Teilnehmenden. Mai 2023
- [51] Cancelliere, Piergiacomo; Liciotti, Claudio: Fire Behaviour and Performance of Photovoltaic Module Backsheets. Fire Technology 52 (2016), S. 333-348
- [52] Manzini, Giovanni et al.: The fire risk in photovoltaic installations – Test protocols for fire behavior of PV-Modules. Energy Procedia 82 (2015), S. 752-758
- [53] Reill, Florian et al.: Untersuchungen zum Brandverhalten von Photovoltaik-Modulen bei externen Brandeinwirkungen, sowohl bei additiven als auch integrierten Systemen, mit der Zielsetzung einer harmonisierten europäischen normativen Prüf- und Beurteilungsmethode. Abschlussbericht. TÜV Rheinland: 2014
- [54] Niederwieser, Bela Constantin: Entwicklung einer Prüfmethode zur Beurteilung des Brandverhaltens von dachadditiven und Dach integrierten Photovoltaik-Anlage. Bachelor Arbeit. Hochschule Bonn – Rhein – Sieg: 2013
- [55] CLC/TR 50670:2016-12 Externe Feuereinwirkung auf Dächer in Kombination mit Photovoltaik (PV)-Arrays – Testmethode(n)
- [56] PU Europe: Fire performance of thermal insulation products in end-use conditions. Factsheet n° 24E, 2022
- [57] IVPU Industrieverband Polyurethan-Hartschaum e. V. (Hrsg.): Photovoltaik auf Flachdächern – Vergleichende Brandversuche an Dachaufbauten. Themen-broschüre 22/01, Stuttgart: 2022
- [58] Weghorst, Roy (für NEN). Präsentation für Normengremium CEN TC 127, WG 5. Verteilt an die Teilnehmenden, weiter nicht veröffentlicht. Januar 2023
- [59] de Feijter, René: Brandtesten op industriële daken mit zonnepanelen. Bouw total, 2023
- [60] Manzini, Giovanni; Cancelliere, Piergiacomo; Traina, Giombattista: Fire behaviour of PV modules, Test protocols and ratings: state of the experimental program and main results CENELEC. Brüssel: 2018
- [61] Backstrom, Bob; Tabaddor, Mahmood: Effect of Rack Mounted Photovoltaic Modules on the Fire Classification Rating of Roofing Assemblies. 2010
- [62] Sherwood, Larry et al.: Fire Classification Rating Testing of Stand-Off Mounted Photovoltaic Modules and Systems. Solar ABC: 2013
- [63] Backstrom, Bob: Validation of Roof Configuration 2 Experiments – Project 9. Northbrook: Underwriters' Laboratories: 2012
- [64] UL 790:2022-02-18 Standard Test Methods for Fire Tests of Roof Coverings
- [65] Wills, Rosalie et al.: Commercial Roof-Mounted Photovoltaic System. Installation Best Practices Review and all Hazard Assessment. Final report. The fire protection research foundation: 2014
- [66] Sipe, Joel E.: Development of Fire Mitigation Solutions for Photovoltaic (PV) Systems Installed on Building Roofs. Final Report. Quincy: 2016
- [67] Arrêté du 25 mai 2014 modifiant l'arrêté du 4 Octobre 2010 relatif à la prevention des risques accidentels au sein des installations classes pour la protection de l'environnement soumises à l'autorisation
- [68] Séance CECMI du 6 mars 2012 (extrait CR): Justification des produits photovoltaïques installés en toiture vis-à-vis du feu extérieur, protocole d'essai, projet
- [69] Guillaume, Eric: Photovoltaic systems in building Regulation and testing (Europe). fire safety week/Fire resistance in plastics 2021. URL: www.researchgate.net/publication/359159268_Photovoltaic_systems_in_building_Regulation_and_testing_Europe_fire_safety_week_Fire_resistance_in_plastics_2021. [Abruf: 29.04.2024]
- [70] CEI TR 82-89:2021-04 Rischio d'incendio nei sistemi fotovoltaici – Comportamento all'incendio dei moduli fotovoltaici installati su coperture di edifici: protocolli di prova e criteri di classificazione
- [71] CEI - TS 82-89:2023-05 Fire Risk of Photovoltaic Systems – Fire behavior of Photovoltaic Modules installed on building roofs: test protocols and rating criteria
- [72] Cancelliere, Piergiacomo: Requirements of PV systems according to Italian Regulations. Presentation for FIEP. 2023
- [73] Traina, Giombattista: Fire behaviour of PV modules when mounted on different types of roof coverings – the Italian experiences. Präsentation für Normenausschuss CEN TC 127 WG 5. Nicht weiter veröffentlicht. 2023
- [74] DIN EN 13501-1:2019-05 Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten – Teil 1: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten
- [75] Ministero dell'Interno, Dipartimento dei Vigili del Fuoco, del Soccorso Pubblico e della Difesa Civile, Direzione Centrale per la Prevenzione e la Sicurezza Tecnica: Testo coordinato della, Nota 07 febbraio 2012, Guida per l'installazione degli impianti FV – Edizione anno 2012 mit Änderungen bis 2022. URL: www.vigilfuoco.it/allegati/PI/DisposizioniGeneraliPI/COORD_NOTA_07_02_2012_n_1324_Imp_Fotovoltaici.pdf [Abruf: 29.04.2024]
- [76] van de Leur, Peter: Ignition sources in incident scenarios and tests, NEN Phase 2, fire safety PV panels building envelope. Nicht veröffentlicht. Mai 2023
- [77] Brandverhütungsstelle Oberösterreich: Brandschutztechnische Anforderungen bei Anbringung von PV-Anlagen auf Hallendächern mit Flächen größer 1.800m² oder bei Objekten mit automatischen Löschanlagen oder mit Sauerstoffreduktionsanlagen. Linz: 2022
- [78] Österreichisches Institut für Bautechnik: OIB-Richtlinie 2 Brandschutz. OIB-320.2-029/23 und erläuternde Bemerkungen zu dieser Richtlinie: URL: www.oib.or.at/de/oib-richtlinien/richtlinien/2023/oib-richtlinie-2 [Abruf: 24.04.2024]
- [79] Deutsches Institut für Bautechnik: Hinweise für die Herstellung, Planung und Ausführung von Solaranlagen. Stand: Juli 2012 in Verbindung mit der Aktualisierung 2023
- [80] Waibel, Frank: Harte Bedachung und Solaranlagen. Präsentation, 23.08.2012, DIN NA 005-52-07AA
- [81] FM Approvals: Examination Standard for Roof-Mounted Rigid Photovoltaic Module Systems, Class Number 4478. 2021
- [82] ASTM E 108:2020-04 Standard Test Methods for Fire Tests of Roof Coverings
- [83] DIN EN ISO 11925-2:2020-07 Prüfungen zum Brandverhalten – Entzündbarkeit von Produkten bei direkter Flammeneinwirkung – Teil 2: Einzelflammentest
- [84] DIN EN 13823:2023-04 Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten – Thermische Beanspruchung durch einen einzelnen brennenden Gegenstand für Bauprodukte mit Ausnahme von Bodenbelägen
- [85] DIN EN 13501-5:2016-12 Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten – Teil 5: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus Prüfungen von Bedachungen bei Beanspruchung durch Feuer von außen

Bauen +

interdisziplinär
kompetent
praxisnah

Jetzt regelmäßig
lesen!



Ihre Vorteile als Abonnent:

- + Keine Ausgabe mehr verpassen
- + Praktisches allroundo® All-in-One-Ladekabel gratis

Hier abonnieren &
Geschenk sichern!

