

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Bachelorthesis

Jan Pierre Mothes

Planung, Errichtung und Betrieb von
Photovoltaikanlagen auf öffentlichen Gebäuden
unter Aspekten des Baurechts

*Fakultät Technik und Informatik
Department Informations- und
Elektrotechnik*

*Faculty of Engineering and Computer Science
Department of Information and
Electrical Engineering*

Jan Pierre Mothes

Planung, Errichtung und Betrieb von
Photovoltaikanlagen auf öffentlichen Gebäuden
unter Aspekten des Baurechts

Bachelorthesis eingereicht im Rahmen der Bachelorprüfung

im Studiengang Informations- und Elektrotechnik
am Department Informations- und Elektrotechnik
der Fakultät Technik und Informatik
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Betreuender Prüfer : Prof. Dr.-Ing. Jochen Maaß, HAW
Zweitgutachter : Dipl.-Ing. Carsten Steiling, Dekra

Abgegeben am 13. November 2014

Jan Pierre Mothes

Thema der Bachelorthesis

Planung, Errichtung und Betrieb von Photovoltaikanlagen auf öffentlichen Gebäuden unter Aspekten des Baurechts

Stichworte

Photovoltaikanlage, Personenschutz, Brandschutz, Sachschutz, Baurecht, Technische Baubestimmungen, Normen, Gefahrenvorbeugung, Prüfung

Kurzzusammenfassung

Photovoltaikanlagen besitzen die weltweit höchste Wachstumsrate im Bereich der erneuerbaren Energien. Die Technologie ist verhältnismäßig neu, wodurch rechtliche und normative Anforderungen oftmals unklar sind. Um die Schwierigkeiten beim Umgang mit diesen Anlagen bei den Projektbeteiligten zu verdeutlichen, werden in dieser Arbeit schwerpunktmäßig die baurechtlichen und normativen Grundlagen untersucht, die wesentlich für die Planung, Errichtung und den Betrieb von Photovoltaikanlagen sind. Die Ermittlung potentieller Gefahrenquellen und Möglichkeiten zu deren Vorbeugung spielen hierbei eine tragende Rolle.

Jan Pierre Mothes

Title of the paper

Planning, construction and operation of photovoltaic systems on public buildings under aspects of construction law

Keywords

Photovoltaic system, personal protection, fire protection, property protection, construction law, technical building regulations, norms, risk prevention, technical inspection

Abstract

Photovoltaic systems have the world's highest growth rate in the field of renewable energies. Legal and normative requirements are often unclear due to the fact that the technology is relatively new. To explain the difficulties in dealing with these systems at the project participants, this work focus on the building regulations and normative bases which are crucial for the planning, construction and operation of photovoltaic system's. Furthermore the identification of potential hazards and possibilities for their prevention play an important role.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	III
Abkürzungsverzeichnis	IV
1 Einleitung.....	1
1.1 Zielsetzung.....	6
1.2 Hintergrund	7
1.3 Gliederung der Arbeit	8
2 Grundlagen	9
2.1 Entwicklungshistorie der Photovoltaik	9
2.2 Entwicklung der Photovoltaik in Deutschland	10
2.3 Wirkungsweise einer Solarzelle.....	12
2.4 Aufbau einer Photovoltaikanlage.....	16
2.5 Planung, Errichtung und Betrieb einer Photovoltaikanlage	19
3 Problemanalyse.....	21
3.1 Rahmenbedingungen.....	21
3.2 Gefährdungspotential und Vorbeugung.....	23
3.2.1 Gefahrenanalyse.....	23
3.2.2 Vorbeugung	32
3.3 Recherche aktueller Gesetze, Normen und Richtlinien.....	37
3.3.1 Baurecht und Prüfverordnung	37
3.3.2 Technische Baubestimmungen, Normen und Richtlinien.....	48
3.3.3 Rechercheergebnis	63
3.4 Fazit	65
4 Realisierung.....	66
4.1 Lösungsvorschlag	66
5 Schluss	72

5.1	Zusammenfassung.....	72
5.2	Erfahrungen	73
5.3	Ausblick.....	73
	Literaturverzeichnis	74
	Anhang.....	80

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1: Entwicklung des Weltenergieverbrauchs.....	1
Abbildung 1.2: Beitrag und Ziele der erneuerbaren Energien in Deutschland	2
Abbildung 1.3: Brutto-Stromerzeugung nach Energieträgern in Deutschland, Jahr 2013.....	3
Abbildung 1.4: Entwicklung der installierten Leistung aus EE in Deutschland seit 1998	3
Abbildung 1.5: Projektstruktur Betreibermodell.....	4
Abbildung 2.1: Fuller, Chapin und Pearson präsentieren die erste Silizium-Solarzelle	9
Abbildung 2.2: Entwicklung installierter PV-Leistung in Deutschland bis zum Jahr 2006	11
Abbildung 2.3: Aufbau und Funktion einer Solarzelle	12
Abbildung 2.4: Spektrale Empfindlichkeit einer Si-Solarzelle und einer Hocheffizienz zelle ...	13
Abbildung 2.5: Temperaturabhängigkeit einer Solarzelle.....	13
Abbildung 2.6: Kennlinien einer Solarzelle mit vereinfachtem Ersatzschaltbild (ESB).....	14
Abbildung 2.7: Wirkungsgrade verschiedener Photovoltaik-Technologien	15
Abbildung 2.8: Aufbau einer Photovoltaikanlage	16
Abbildung 2.9: Modul mit teilverschatteter Zelle und 3 Bypass-Dioden.....	17
Abbildung 2.10: Solargenerator mit mehreren Strings	17
Abbildung 2.11: Aufbau einer typischen netzgekoppelten Photovoltaikanlage.....	18
Abbildung 2.12: Typischer moderner Generatoranschlusskasten	18
Abbildung 2.13: Netzgekoppelte Anlage (links) und Inselanlage (rechts).....	19
Abbildung 3.1: Gefahren für und durch eine Photovoltaikanlage	24
Abbildung 3.2: Schadensursache an Photovoltaikanlagen	25
Abbildung 3.3: Typischer Wirkungspfad Brand	26
Abbildung 3.4: Installationsmängel (Isolierung DC-Stecker, Leitungsverlegung)	27
Abbildung 3.5: Wechselrichter auf brennbarer Dachkonstruktion.....	28
Abbildung 3.6: Blitzschäden in Wechselrichtern	29
Abbildung 3.7: Mangelhafter Trennungsabstand	30
Abbildung 3.8: Gefährdung durch elektrische Dauerströme (IEC 60479-1).....	31
Abbildung 3.9: Trennungsabstand notwendig i.d.R. $s > 0,5-1$ m.....	33
Abbildung 3.10: Überspannungsableiter Typ 2 PV in Y-Schaltung	33
Abbildung 3.11: Brandschutzbandage (links) und Brandschutzkanal (rechts).....	34
Abbildung 3.12: Brand- und Komplextrennwände auf dem Dach.....	35
Abbildung 3.13: Rechtliche Anforderungen beim Bau einer Photovoltaikanlage	39
Abbildung 3.14: Schutz gegen elektromagnetische Beeinflussung	56

Abkürzungsverzeichnis

BauGB	Baugesetzbuch
BDEW	Bundesverband der Deutschen Energie- und Wasserwirtschaft
BetrSichV	Betriebssicherheitsverordnung
BFSB	Bundesvereinigung Fachplaner und Sachverständige für den vorbeugenden Brandschutz e.V.
BIPV	Building-integrated Photovoltaic (Gebäudeintegrierte Photovoltaik)
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
BRL	Bauregelliste
BSW	Bundesverband Solarwirtschaft
DGS	Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie e.V.
DIBt	Deutsches Institut für Bautechnik
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
DKE	Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik
DSchG	Denkmalschutzgesetz
EE	Erneuerbare Energien
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EnWG	Energiewirtschaftsgesetz
EVU	Energieversorgungsunternehmen
Fraunhofer ISE	Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme
GAK	Generatoranschlusskasten
HBauO	Hamburgische Bauordnung
HmbGVBl.	Hamburgisches Gesetz- und Verordnungsblatt
kWp	Kilowatt-Peak
LAR	Leitungsanlagen-Richtlinie
LBO SH	Landesbauordnung für das Land Schleswig-Holstein
MBO	Musterbauordnung
MLAR	Muster-Leitungsanlagen-Richtlinie
MPrüfVO	Muster-Prüfverordnung
MWp	Megawatt-Peak
NBauO	Niedersächsische Bauordnung
NEC	National Electric Code
PV	Photovoltaik
PVA	Photovoltaikanlage
PVO	Prüfverordnung
SPD	Surge Protection Device (Überspannungsschutzgerät)
TRBS	Technische Regeln der Betriebssicherheit
ÜSE	Überspannungsschutzeinrichtung
VDE	Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V.

1 Einleitung

Ständig verfügbare Energie und eine konstante Energieversorgung ist für die Menschen der westlichen Welt im zwanzigsten Jahrhundert selbstverständlich. Eine kontinuierlich verfügbare Energiegrundversorgung ist zu einem der zentralsten und elementarsten Grundbedürfnisse geworden. Allerdings bringt dieses Grundbedürfnis viele Probleme mit sich. Durch die wachsende Weltbevölkerung hat sich der Energiebedarf in den letzten 40 Jahren mehr als verdoppelt. Bis zum Jahr 2030 wird mit einem Anstieg von derzeit knapp 7 Mrd. auf über 8 Mrd. Menschen gerechnet [United Nations, 2009], was bei gleichzeitig steigendem Lebensstandard zu einem wesentlich erhöhten Primärenergiebedarf führen wird. Diesem wachsenden Energiebedarf stehen die Verknappung der Ressourcen wie Erdöl, Erdgas und Kohle, der Klimawandel, sowie die Gefahren und Probleme mit der Kernenergie gegenüber. (Abbildung 1.1)

Mittel- bis langfristig muss daher, zur Ablösung der fossilen Energieträger und zur Reduzierung der CO₂-Emission, auf erneuerbare Energien gesetzt werden.

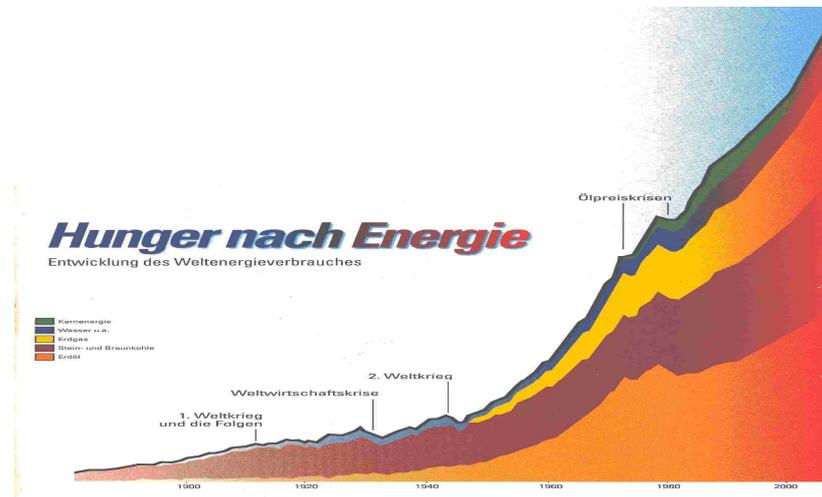


Abbildung 1.1: Entwicklung des Weltenergieverbrauches

Quelle: Energiedepesche, 1/1999

Im Jahr 2012 deckten erneuerbaren Energien (EE), dank des massiven Zubaus der vorangegangenen Jahre, bereits fast ein Fünftel des weltweiten Energiebedarfs. Mit einem weltweiten Zubau von 115 GW, der Hälfte der gesamten neu installierten Stromerzeugungskapazitäten, stellt das Jahr 2012 bisher das Rekordjahr für die erneuerbaren Energien dar. Hierbei stieg in den Jahren 2011 und 2012 insbesondere der Anteil installierter Photovoltaik. [Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit BMUB, 12. Juni 2013]

Für Deutschland stellt bislang das Jahr 2013 das Rekordjahr für die erneuerbaren Energien dar, wobei ihr Anteil am Stromverbrauch nach Schätzungen des Bundesverbandes der Deutschen Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) knapp 25 Prozent betrug. Insbesondere

der Photovoltaik ist es zu verdanken, dass die Mindestziele der Bundesregierung, bezogen auf die Stromversorgung aus EE, für 2020 erreichbar bleiben. (Abbildung 1.2)

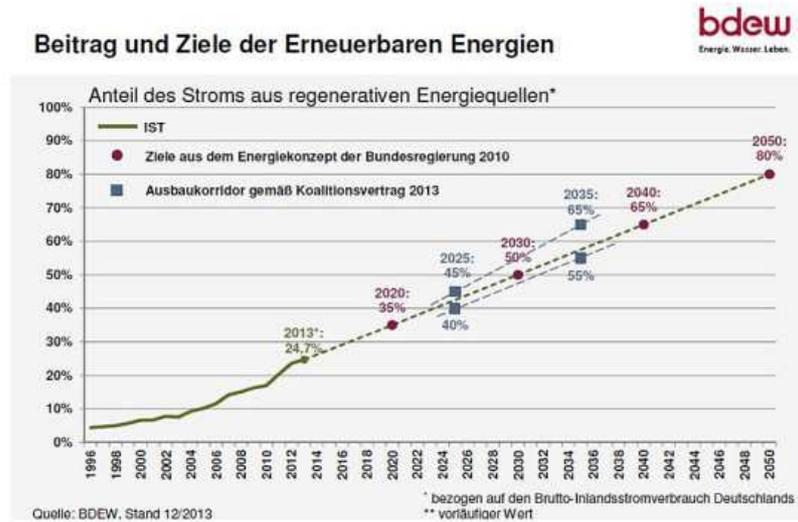


Abbildung 1.2: Beitrag und Ziele der erneuerbaren Energien in Deutschland

Quelle: BDEW, 12/2013

Den größten Aufschwung erhielten die erneuerbaren Energien in Deutschland mit der Einführung des erneuerbare-Energien-Gesetz¹ (EEG) im Jahr 2000, welche die garantierte Abnahme und feste Vergütungssätze für den eingespeisten Strom regelt. Sonne und Wind sind nahezu überall vorhanden, weshalb Photovoltaik (PV) und Windkraft die vielversprechendsten Technologien im Bereich der erneuerbaren Energien darstellen und die höchsten Wachstumsraten besitzen.

Für urbane Gebiete mit relativ dichter Bebauung ist hierbei vor allem die Photovoltaik hervorragend geeignet. Windkraftanlagen (WKA) werden aufgrund ihrer Größe, des gewünschten Wirkungsgrades und ihrer Lautstärke oftmals in Deutschlands Nordseeregion oder in Binnenland-Windparks im Inland installiert, was allerdings zusätzliche Stromtrassen zur Versorgung der gewünschten Regionen erforderlich macht. Der durch die Photovoltaikanlagen (PVA) produzierte Strom kann, durch die kurze Distanz zum Verbraucher, meist direkt vor Ort verbraucht werden. Ein weiterer Vorteil liegt in der Möglichkeit sie verhältnismäßig einfach auf vorhandene Dachflächen installieren oder in Fassaden integrieren zu können, wodurch sie keine zusätzlichen Flächen auf Grundstücken verbrauchen. Das Forschungsprojekt „*Untersuchungen von Photovoltaik in Städten*“ des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme (Fraunhofer ISE) stellte fest, dass die Kapazität des vorhandenen Stromnetzes ohne Investition gesteigert werden kann. Somit kann der durch Photovoltaikanlagen produzierte Strom in Städten problemlos aufgenommen werden. [Heidler, 15. Juli 2008]

¹ Das EEG ersetzte im Jahr 2000 das bis dahin geltende Stromeinspeisungsgesetz von 1991 und regelt die Einspeisung und Vergütung des Stroms aus Erneuerbaren Energiequellen ins Stromnetz.

Aufgrund des starken Zubaus wurde im Juni 2012 das EEG durch die Photovoltaik-Novelle ergänzt, durch die große Änderungen an der Einspeisevergütung für Photovoltaik beschlossen wurden. Eine der größten Änderungen ist der „atmende Deckel“, der die Einspeisevergütung durch Degression seitdem zubauabhängig nach einem geplanten Ausbaukorridor regelt. Trotz dieser Anpassung steigt der Anteil an der Brutto-Stromerzeugung durch Photovoltaik in Deutschland kontinuierlich weiter an. So lag der Anteil nach den letzten Schätzungen des BDEW im Jahr 2013 bereits bei 4,5 Prozent, mit einer installierten Leistung von 32,6 GW. (Abbildung 1.3 und Abbildung 1.4)

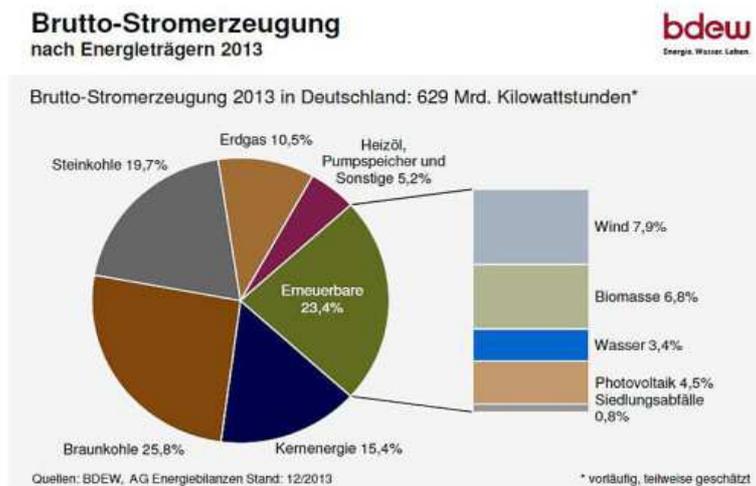


Abbildung 1.3: Brutto-Stromerzeugung nach Energieträgern in Deutschland, Jahr 2013
Quelle: BDEW, 12/2013

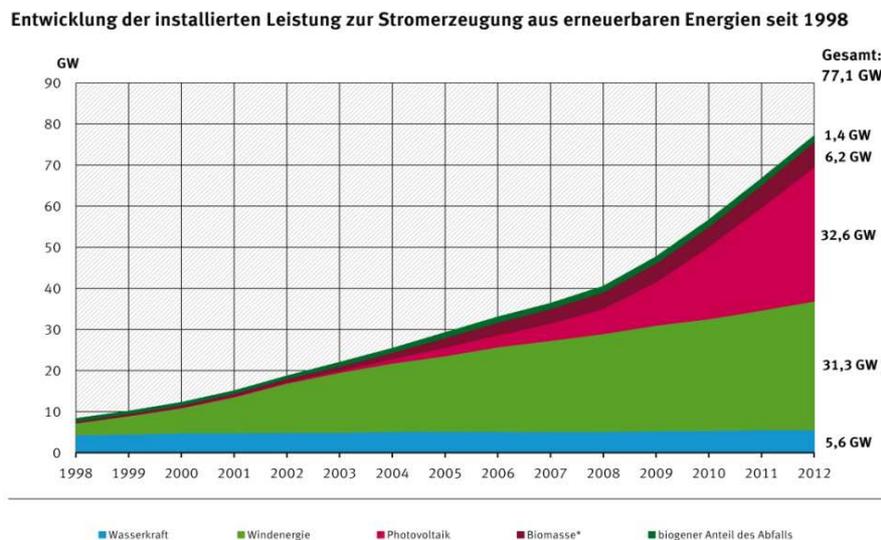


Abbildung 1.4: Entwicklung der installierten Leistung aus EE in Deutschland seit 1998
Quelle: BMUB, 07/2013

Die Beweggründe für den Bau einer Photovoltaikanlage liegen bei privaten Hausbesitzern, Gewerbebetrieben und öffentlichen Verwaltungen immer häufiger beim Eigenverbrauch des produzierten Stroms und der damit verbundenen Unabhängigkeit gegenüber den Energieversorgungsunternehmen (EVU), sowie der Einsparung an Kohlendioxid (CO₂), um den Klimaschutz zu unterstützen und dem Prestige in der Öffentlichkeit. In den letzten Jahren hat eine ständig gestiegene Zahl von Städten, Gemeinden und Kommunen die Dachflächen ihrer öffentlichen Gebäude wie Schulen, Versammlungsstätten und Verwaltungsgebäude zur Bebauung und ggf. Verpachtung für Photovoltaikanlagen zur Verfügung gestellt. Diese Entwicklung ist größtenteils auf die „Richtlinie zur Förderung von Klimaschutzprojekten in sozialen, kulturellen und öffentlichen Einrichtungen im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative“ („Kommunalrichtlinie“) des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) zurückzuführen. Hierdurch wird den Kommunen die Erstellung von Klimaschutzkonzepten und Teilkonzepten mit einem sehr geringen finanziellen Eigenanteil ermöglicht. Darüber hinaus stellt die Kommunalrichtlinie auch Förderungen bei der Umsetzung dieser Konzepte in Aussicht. Seit Einführung dieser Richtlinie im Jahr 2008 wurden bereits ca. 6.000 Projekte in 3.000 Kommunen gefördert.

Beispielhaft anzuführen ist hier die Stadt Berlin, wo sich im Jahr 2008 der Berliner Senat und der regierende Bürgermeister Klaus Wowereit persönlich verpflichtet haben die Anstrengungen für den Klimaschutz und die Energieeinsparung deutlich zu verstärken. Die Hauptstadt versucht damit, die Klimaschutzziele der Bundesregierung, bis 2020 im Vergleich zu 1990 40 Prozent CO₂ einzusparen, noch zu übertreffen. Ein Forscherkonsortium des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung (PIK) entwickelte im Auftrag der Berliner Senatsverwaltung „Szenarien für ein klimaneutrales Berlin“. Die daraus entstandene Machbarkeitsstudie „Klimaneutrales Berlin 2050“ enthält u.a. das Leitprojekt „Masterplan Solarhauptstadt Berlin“, das aufzeigt dass die zentrale erneuerbare Energiequelle für Berlin künftig Solarenergie sein wird. [Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, 17. März 2014] Im Rahmen der Klimaschutzziele Berlins hat daher die Berliner Immobilienmanagement GmbH, welche die etwa 1.600 landeseigenen Gebäude der Stadt Berlin bewirtschaftet, im Jahr 2013 begonnen sämtliche Gebäude für die Bebauung mit Photovoltaikanlagen auszuschreiben. [Berliner Immobilienmanagement GmbH, 2013]

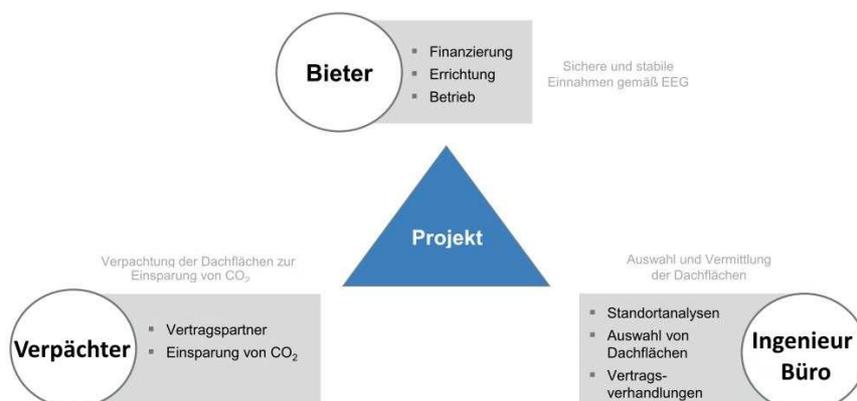


Abbildung 1.5: Projektstruktur Betreibermodell

Photovoltaikanlagen auf öffentlichen Gebäuden werden sehr häufig über die Projektstruktur „Betreibermodell“ mit mehreren Projektbeteiligten umgesetzt. (Abbildung 1.5)

Bei diesem Modell werden die zur Verfügung stehenden Gebäude eines Betreibers oder Inhabers mittels Standortanalysen auf ihre Eignung für Photovoltaik untersucht. In der Regel wird dies von unabhängigen, meist durch den Betreiber beauftragten Ingenieurbüros durchgeführt, welche die Gebäude bzw. deren Dachflächen hinsichtlich Verschattung², Statik und Montagemöglichkeiten beurteilen. Anschließend wird aus den gewählten Objekten ein Portfolio zusammengestellt und öffentlich zur Bebauung ausgeschrieben. Nach Prüfung der Angebote der Bieter führt oftmals das Ingenieurbüro die Vertragsverhandlungen zwischen Bieter und Inhaber. Bei Zustandekommen eines Vertrages verpachtet der Inhaber seine Dachflächen für eine vertraglich geregelte Laufzeit, meist 20 bis 25 Jahre und wird damit zum Verpächter. Das Ingenieurbüro erhält eine zusätzliche Provision für die vermittelten Flächen, die sich an der zu verbauenden Leistung in Kilowatt-Peak³ (kWp) orientiert.

Bei guter Umsetzung dieses Konzepts ziehen alle Projektbeteiligte ihre Vorteile daraus. Der Verpächter erhält über Jahre hinweg gesicherte Pachteinnahmen und eine einfache Möglichkeit zur CO₂-Einsparung. Der Bieter hat durch den garantierten Erlös aus der Stromspeisung eine gute Kapitalanlage und das Ingenieurbüro bestenfalls noch weitere Aufträge für den Bau und die künftige Betreuung der Photovoltaikanlage. Leider birgt dieses Konzept auch Nachteile, aus denen Probleme und sogar Gefahren entstehen können.

Zum einen profitieren die Projektbeteiligten nur bei erfolgreicher Umsetzung des Projektes und umso mehr, je höher die installierte Leistung ist. Dabei werden die Investitionskosten so gering wie möglich gehalten, um höhere Gewinnaussichten zu ermöglichen. Dies hat in der Vergangenheit oftmals dazu geführt, dass sich Schäden durch Montagefehler, mangelhafte Planung oder unseriöse Anbieter häuften. Das Fraunhofer Institut stellte 2006 fest, dass jede dritte Photovoltaikanlage unzureichend geplant oder mangelhaft montiert wurde. Auch wenn das eigentliche Ziel der Studie die Untersuchung der Anlagen hinsichtlich ihrer Effizienz und Qualität beinhaltete, stellte es sehr deutlich die mangelhafte handwerkliche Qualität der Montage dar. [Energieagentur Regio Freiburg, 2006]

Zum anderen sind über die Laufzeit einer Photovoltaikanlage von bis zu 25 Jahren teilweise sehr viele Projektbeteiligte zuständig. Dies betrifft hauptsächlich die Betreiber der Anlagen, oftmals Fonds, Aktien- oder Kapitalgesellschaften, die mit den Anlagen als Wertanlage handeln. Solche Gesellschaften investieren oft nur wenig in die Betrieb, Wartung, Verwaltung und Versicherungen, um beim Verkauf die größtmögliche Wertschöpfung zu erhalten. Dies führt bei Übertreibung zwangsläufig zu mangelhaften Anlagen, da elektrische Anlagen immer einer fachgerechten Wartung bedürfen. Der Umstand, dass Photovoltaikanlagen während ihrer Betriebszeit oft mehrfach den Besitzer wechseln und dass der Betreiber des Gebäudes selten derjenige ist, der die PV-Anlage betreibt, macht das Geflecht aus Zuständigkeit, Gewährleistung und Haftung nicht leichter. Hier geraten Prüfsachverständige mit ihrer Prüfpflicht, falls sie denn gilt, oft an bürokratische Grenzen. Dies hat direkte Auswirkungen

² Großflächige Schatten durch umliegende Gebäude, Bäume oder sonstige Verursacher.

³ Von Solarmodulen abgegebene elektrische Leistung unter Standard-Testbedingungen (STC): Zelltemperatur = 25° C, Bestrahlungsstärke = 1.000 W/m², Sonnenlichtspektrum gem. AM = 1,5

auf die Prüfung und somit auf den Zustand einer Anlage, da ohne klare Zuständigkeit auch kein Auftrag zur Prüfung erteilt wird.

Eine Hauptursache dieser Probleme liegt in der selten vorhandenen Genehmigungspflicht sowie der fehlenden Prüfpflicht für Photovoltaikanlagen. Hieraus erwächst der Vorteil einer kostengünstigen Installationsmöglichkeit durch Person oder Firmen ohne Fachkompetenz. Die Betreiber verlangen oftmals Funktions- und Ertragsprüfungen, sowie die Zusage der Installateure die Anlage fachgerecht errichtet zu haben. Diese benötigen sie, um die evtl. vorhandenen versicherungstechnischen Vorgaben oder Sicherheiten gegenüber der Bank erfüllen bzw. geben zu können. In einigen Fällen ziehen Betreiber unabhängige Gutachter hinzu, wodurch Mängel rechtzeitig festgestellt werden können. Dies wird allerdings ist in der Praxis recht selten umgesetzt. Die fachgerechte Installation der elektrischen Komponenten sowie der Blitz- und Überspannungsschutz sind standardmäßig durch Normen und Richtlinien geregelt. Die Umsetzung wird vom Betreiber aufgrund fehlender Fachkompetenz allerdings selten geprüft. Durch die fehlende Genehmigungspflicht erhält das Bauamt keine Kenntnis von der Anlage und verlangt somit auch keine Abnahme durch einen nach Prüfverordnung (PVO) anerkannten Prüfsachverständigen (PVO-Sachverständiger).

Durch den vermehrten Zuwachs von Photovoltaikanlagen in Städten gewinnt das Qualitäts- und Sicherheitsproblem immer mehr an Bedeutung. Dies betrifft in erster Linie öffentlich zugängliche Gebäude sowie Sonderbauten, da hier im Gefahrenfall für die vielen nicht ortskundigen Besucher ein erhöhtes Risiko besteht. Im Falle eines Neubaus mit einer im Bauantrag aufgeführten Photovoltaikanlage stehen die Projektbeteiligten oft vor dem Problem der Umsetzung der Anlage, wodurch dann Brandschutzgutachter, Baubehörden und Feuerwehren mit großem Aufwand versuchen die Gefahr einzuschätzen und ein Schutzziel zu definieren. Nach der Definition und Umsetzung eines erarbeiteten Konzepts, kann dann ein PVO-Sachverständiger die gesamte elektrotechnische Anlage des Neubaus prüfen. Dies bedeutet neben der Erstabnahme aller elektrischen Anlagen inklusive der Photovoltaikanlage auch in bestimmten Intervallen wiederkehrende Prüfungen, wodurch der Personenschutz gewährleistet ist.

Den wesentlich schwierigeren und häufig anzutreffenden Fall stellt die nachträgliche Installation einer Photovoltaikanlage auf bereits bestehenden Gebäuden dar. Aufgrund der fehlenden Genehmigungspflicht müssen die Anlagen bei Netzeinspeisung nur beim Energieversorger angemeldet werden. Wenn in einem solchen Fall weder der Errichter noch der Betreiber eine Prüfung durch einen Sachverständigen anstreben, könnte ein einfacher technischer Mangel bereits ein hohes Risiko für Unbeteiligte darstellen.

1.1 Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist es, durch Betrachtung unterschiedlicher externer und interner Risikofaktoren mögliche Gefahrenpotentiale von Photovoltaikanlagen auf öffentlichen Gebäuden einzuschätzen und technische Möglichkeiten zur Gefahrenvorbeugung zu finden. Erweiternd wird eine Untersuchung der baurechtlichen Anforderungen, Prüfverordnungen und aktuell gültigen Normen und Richtlinien vorgenommen.

Im Idealfall führt die Problemanalyse zu einer anwendbaren Regelung, die seitens der Dekra oder vergleichbarer Prüfinstitutionen in Übereinkunft mit der Baubehörde verwendet werden kann. Dies könnte bei künftigen und aktuellen Bauprojekten den Projektbeteiligten einen realisierbaren Weg, unter Berücksichtigung des Personenschutzes im Sinne des Baurechts bieten. Bereits bestehende Photovoltaikanlagen müssen hierbei aufgrund eines gegebenenfalls existierenden Bestandsschutzes wahrscheinlich gesondert betrachtet werden.

Aus Sicht des Verfassers besteht der Handlungsbedarf zur Untersuchung des Gefahrenpotentials und dem Aufzeigen möglicher Lösungen, damit nicht erst ein größeres Schadensereignis gegebenenfalls mit Personenschaden den Ausschlag hierzu gibt. Die Anwendbarkeit auf öffentlichen Gebäuden, in denen sich über längere Zeit viele ortunkundige Personen oder Kinder aufhalten, steht dabei im Fokus dieser Arbeit.

Im Rahmen von gesetzlich vorgeschriebenen elektrotechnischen Prüfungen nach Prüfverordnung stehen die Sachverständigen und Bauämter oft vor dem Problem der Gefahrenbeurteilung. Zur Erfüllung des Schutzziels Personenschutz im Sinne des Baurechts, muss im ersten Schritt eine Gefahrenanalyse mit Vorbeugungsmöglichkeiten erarbeitet werden. Anschließend muss beurteilt werden, wie die Photovoltaikanlage im Sinne des Baurechts eingeordnet werden kann und welche Normen und Verordnungen sinnvoll angewendet werden können.

1.2 Hintergrund

Das Thema der Bachelorarbeit wurde nach gründlicher Untersuchung zusammen mit der Dekra Automobil GmbH festgelegt. Im Rahmen von wiederkehrenden PVO-Prüfungen oder baubegleitenden Tätigkeiten durch Prüfsachverständige tritt die Problematik des Brand-, Sach- und Personenschutzes im Zusammenhang mit Photovoltaikanlagen immer wieder auf und kann nur schwer oder gar nicht geklärt werden.

Zum Beispiel müssen nach der Hamburger Landesbauordnung die Elektroanlagen alle drei Jahre wiederkehrend bei Errichtung durch einen PVO-Sachverständigen geprüft bzw. abgenommen werden. Photovoltaikanlagen zählen ebenfalls zu den elektrischen Anlagen, unterliegen aufgrund der fehlenden Erwähnung in der LBO anscheinend jedoch nicht der Verpflichtung zur Erstabnahme. Eine, auf einem bereits abgenommenen Gebäude nachträglich installierte Photovoltaikanlage, wäre somit bei wiederkehrenden Prüfungen zwar prüfpflichtig, ist im Prüfumfang aber nur enthalten, wenn der Betreiber dies eigenständig beauftragt hat. Dem Regelfall entspricht allerdings eher, dass der Sachverständige erst im Zuge einer wiederkehrenden Prüfung die Wechselrichter oder Verkabelung der Photovoltaikanlage entdeckt und einen Hinweis zur Prüfpflicht an den Betreiber kommuniziert. Im Idealfall würde der Betreiber daraufhin einen Photovoltaik-Sachverständigen in Zusammenarbeit mit einem PVO-Sachverständigen für die Prüfung der Photovoltaikanlage beauftragen, was aufgrund erhöhter Kosten und der fehlenden Verbindlichkeit seitens des Bauamts selten geschieht. Durch die große Prüfintervall-Spanne

kann eine risikobehaftete oder mangelhafte Photovoltaikanlage somit drei oder mehr Jahre betrieben werden, bis sie qualifiziert geprüft wird.

Im Rahmen meiner Tätigkeit bei einem Ingenieurbüro für erneuerbare Energien während meines Praxissemesters habe ich ein interessantes Prestige-Projekt der internationalen Bauausstellung (IBA) in Wilhelmsburg begleitet. Hier wurde ein Gewerbepark mit mehreren Gebäuden gebaut, die allesamt von einer freistehenden Dachkonstruktion überdeckt wurden. Diese Dachkonstruktion besteht zu Teilen aus PV-Modulen (auch Solarmodule genannt), was sowohl bei der Planung, als auch bei der Umsetzung zu erheblichen Problemen führte. Da die Photovoltaikanlage selbst nicht genehmigungspflichtig war, wurde sie vom Bauamt als Dach einer offenen Halle interpretiert und sollte daher nach Baurecht behandelt werden. Aufgrund der Konstruktionsart war dies aber nicht möglich und warf daher beim Bauamt, dem Brandschutzbeauftragten und der Feuerwehr unterschiedlichste Fragestellungen rund um den Sach- und Personenschutz und dem Brandverhalten auf. Aufgrund dieser Betrachtung wurde angefangen von Anforderungen der harten Bedachung, eines Gutachtens über das Brandverhalten von PV-Modulen, bis hin zu Einhausungen für im freien stehende Wechselrichter nahezu alles gefordert und aufgrund unmöglicher Umsetzungen anschließend wieder verworfen. Die fehlende Fachkompetenz aller Projektbeteiligten zum Umgang mit der Photovoltaikanlage brachte das Projekt mehrfach fast zum Erliegen.

Auf Basis dieser Erfahrungen und der Erfahrungen der PVO-Sachverständigen könnte eine klare Regelung künftigen Projekten große sicherheitstechnische Vorteile bringen. Eine mit dem Bauamt abgestimmte Regelung könnte als Prüfgrundlage oder Ansatz zum Umgang mit Photovoltaikanlagen dienen.

1.3 Gliederung der Arbeit

Die Arbeit besteht aus 5 Kapiteln.

Das Einleitungskapitel, gibt einen kurzen Überblick zu den erneuerbaren Energien und der Photovoltaik sowie deren Bedeutung für die Klimaschutzziele. Zusätzlich werden die Zielsetzung, der Hintergrund und die Gliederung der Arbeit erläutert.

Das Grundlagenkapitel beschreibt kurz die Entwicklung der Photovoltaik-Technologie und die allgemeine Funktionsweise der Solarzelle und einer Photovoltaikanlage.

Im dritten Kapitel, der Problemanalyse, werden die Rahmenbedingungen ermittelt, Gefahrenpotentiale sowie Möglichkeiten zu deren Vorbeugung erörtert. Darauf aufbauend wird eine Recherche der baurechtlichen und normativen Anforderungen durchgeführt.

Im Kapitel Realisierung werden mögliche Lösungen in Form von Abnahme- bzw. Prüfansätzen für den Umgang mit Photovoltaikanlagen vorgestellt.

Abschließend werden im Schlussteil eine kurze Zusammenfassung, der Überblick über die gesammelten Erfahrungen und ein möglicher Ausblick in die Zukunft gegeben.

2 Grundlagen

2.1 Entwicklungshistorie der Photovoltaik

Seit der Entdeckung des photoelektrischen Effekts durch den französischen Wissenschaftler Alexandre Edmond Becquerel im Jahr 1839, entwickelten mehrere Wissenschaftler die Nutzbarkeit dieses Effekts weiter, bis im Jahr 1883 der New Yorker Erfinder Charles Fritts ein kleines „Modul“ aus Selenzellen mit einer Fläche von 30 cm² und einem Wirkungsgrad von knapp einem Prozent baute. In den folgenden Jahren konnten die Publizierungen der *Lichtquantentheorie*⁴ (Albert Einstein, 1905) und der *Funktionsweise des pn-Übergangs* (William B. Shockley, 1950) die physikalischen Hintergründe des Photoeffekts größtenteils aufklären. Auf diesen theoretischen Grundlagen entwickelten Daryl Chapin, Calvin Fuller und Gerald Pearson in den Bell Labs die erste Silizium-Solarzelle mit einer Fläche von 2 cm² und einem Wirkungsgrad von bis zu sechs Prozent. Am 25. April 1954 wurde sie der Öffentlichkeit präsentiert und von der New York Times mit der Schlagzeile „Die Erfüllung eines der größten Wünsche der Menschheit – der Nutzung der fast unbegrenzten Energie der Sonne“ gefeiert. (Abbildung 2.1)



Abbildung 2.1: Fuller, Chapin und Pearson präsentieren die erste Silizium-Solarzelle

Quelle: www.bell-labs.com/newsroom/press/history-of-the-modern-silicon-solar-cell

Bis zum Jahr 1958 konnte der Wirkungsgrad von Solarzellen bis auf 10 Prozent gesteigert werden. Mit diesen damals sehr hochwertigen Solarzellen wurde am 17. März 1958 erstmals ein Sender des amerikanischen Satelliten *Vanguard I* ausgestattet. Aufgrund des großen Erfolgs, einer verlängerten Lebensdauer von sechs Jahren durch den Einsatz von Solarzellen, setzte sich trotz der hohen Kosten die Photovoltaik als Energiequelle für Satelliten durch.

Infolge der ersten und folgenschwersten Ölkrise im Jahr 1973 anlässlich des *Jom-Kippur-Krieges*, wo die Organisation der Erdöl exportierenden Länder (OPEC) die Fördermengen

⁴ Der Lichtquantenhypothese zufolge ist Licht ein Strom von „in Raumpunkten lokalisierten Energiequanten, welche sich bewegen, ohne sich zu teilen, und nur als Ganze absorbiert und erzeugt werden können“. [Annalen der Physik. 322, Nr. 6, 1905, S. 133]

als Druckmittel gegen die westlichen Länder um etwa 5 Prozent senkten, wurde die Abhängigkeit der Industriestaaten von fossilen Brennstoffen deutlich. Um dieser Abhängigkeit entgegenzuwirken, wurde im Jahr 1977 an den Sandia Laboratories in New Mexico ein Solarmodul mit dem Ziel entwickelt, ein kostengünstiges Massenprodukt zu fertigen. Mit der zweiten großen Ölkrise⁵ (1979/80), dem Atomunfall in Harrisburg⁶ (1979) und insbesondere der Reaktorkatastrophe in Tschernobyl (1986) wurde der Druck auf die Regierungen so stark, dass ein Umdenken hin zu neuen regenerativen Energieversorgungen erfolgte. Ab Ende der 1980er Jahre intensivierten insbesondere die USA, Japan und Deutschland ihre Anstrengungen im Bereich der Photovoltaik-Forschungsförderung.

2.2 Entwicklung der Photovoltaik in Deutschland

Im Jahr 1990 betrug die gesamte installierte Solargeneratorleistung noch nicht mal zwei Megawatt-Peak (MWp). Dies lag daran, dass es bis dahin kaum Förderungen zum Bau und Betrieb gab. Ebenfalls wurden die für damalige Zeiten „großen“ Anlagen ausschließlich im Auftrag von Energieversorgungsunternehmen zu Forschungs- und Demonstrationszwecken ebenerdig aufgeständert gebaut. Noch nicht mal ein Duzend dezentraler⁷ netzgekoppelter Photovoltaikanlagen gab es bis dahin auf den Dächern von Wohngebäuden.

Die rasche und nachhaltige Wende leitete im Jahr 1990 das Bund-Länder-1.000-Dächer-Photovoltaik-Programm (kurz 1.000-Dächer-Programm) ein. Es wurde vom damaligen Bundesministerium für Forschung und Technik (BMWT) in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer ISE „zur Bewertung des bereits erreichten Standes der Technik und zur Ableitung des noch erforderlichen Entwicklungsbedarfs bei netzgekoppelten Photovoltaikanlagen mit kleiner Leistung“ als Breitentest gestartet. Dies war der weltweit erste wissenschaftlich begleitete Feldtest für netzgekoppelte Photovoltaikanlagen. Obwohl dieses Projekt im Jahr 1992 beendet wurde, führte es in der Folgezeit dank mehrerer lokaler Förderprogramme dazu, dass von 1991 bis 1995 knapp 2.000 netzgekoppelte Photovoltaikanlagen auf den Dächern von Ein- und Mehrfamilienhäusern errichtet wurden. [Hoffmann, 2008]

Gleichzeitig wurde im Jahr 1991 das Stromeinspeisungsgesetz eingeführt, welches den Netzbetreiber zur Abnahme des Stroms aus erneuerbaren Energien verpflichtete und den Erzeugern eine Mindestvergütung zusicherte. Aufgrund des steigenden ökologischen Interesses an Klima- und Umweltschutz wurde vom Bundestag am 29. März 2000 das Stromeinspeisungsgesetz durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) abgelöst. Es regelt den Vorrang der erneuerbaren Energien, um „eine nachhaltige Entwicklung der Energieversorgung zu ermöglichen und den Beitrag erneuerbarer Energien an der Stromversorgung deutlich zu erhöhen“. [Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien

⁵ Die zweite Ölkrise (1979/80) wurde durch die Förderausfälle und Verunsicherung der *Islamischen Revolution im Iran* und dem *Ersten Golfkrieg* ausgelöst.

⁶ Am 27. März 1979 ereignete sich im Kernkraftwerk Harrisburg ein Störfall mit Kernschmelze aufgrund fehlerhafter Ventile und Sicherheitsmechanismen.

⁷ Bei einer dezentralen Stromerzeugung, wozu auch Wind- und Solarparks zählen, wird die elektrische Energie mittels Kleinkraftwerken verbrauchernah erzeugt.

sowie zur Änderung des Energiewirtschaftsgesetzes und des Mineralölsteuergesetzes in der Fassung vom 29. März 2000, 29. März 2000]

Mit der Einführung des EEG wurden auch die Vergütungssätze insbesondere für Photovoltaik stark angehoben, von umgerechnet 8,23 ct/kWh auf 50,6 ct/kWh. Im Zuge des anschließenden Aufschwungs der Photovoltaik musste das EEG mehrmals angepasst werden und führte mit der Photovoltaik-Novelle zum „atmenden Deckel“, welcher die Einspeisevergütung durch Degression nun zubauabhängig regelt.

Das im Jahr 1999 als Teil des EEG gestartete 100.000-Dächer-Programm förderte die Errichtung vieler neuer Photovoltaikanlagen und endete schon im Jahr 2003 mit Überschreiten der Grenze von 300 MW installierter Leistung. Der rasante Anstieg der Photovoltaikleistung wird besonders deutlich, wenn man das Jahr 1990 mit 2 MWp mit dem Jahr 2006 vergleicht, in dem allein der jährliche Zubau bereits 800 MWp überstieg. (Abbildung 2.2)

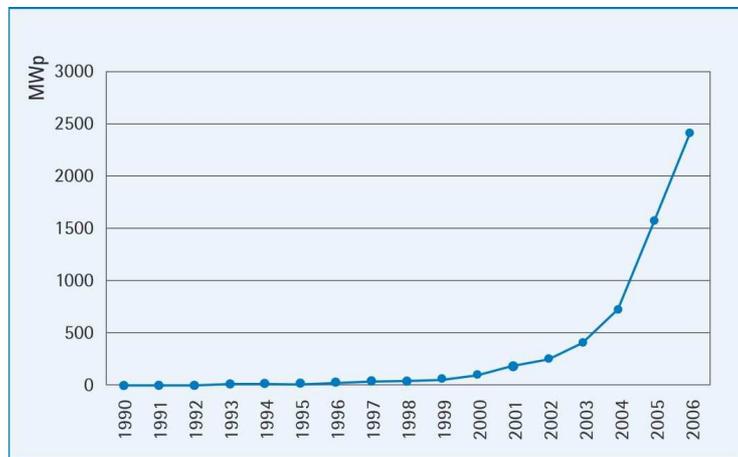


Abbildung 2.2: Entwicklung installierter PV-Leistung in Deutschland bis zum Jahr 2006

Quelle: Sonnenenergie, Ausgabe 2008/6, S.39, 11-12/2008

Der einfache Aufbau einer Photovoltaikanlage, die durch jeden Dachdecker installiert werden konnte, die hohe Förderung, durch die eine schnelle Amortisation mit anschließend hoher Rendite möglich war und die immer schneller sinkenden PV-Modul-Preise führten zu einem Aufschwung der Photovoltaik-Technologie. Dieser Aufschwung hatte einen steigenden „Baupfusch“ zum Nachteil, da große Anreize zur Renditemaximierung bestanden. Wie im Einleitungsteil bereits erwähnt, stellte das Fraunhofer Institut im Jahr 2006 infolge einer Untersuchung fest, dass jede dritte Anlage unzureichend geplant oder mangelhaft montiert wurde. Dieses Problem konnte in den letzten Jahren durch die erhöhte Aufmerksamkeit von Feuerwehren, Bauämtern und von Versicherungen eingesetzte Sachverständige etwas eingedämmt, aber noch immer nicht hinreichend beseitigt werden.

Nach der verheerenden Nuklearkatastrophe in Fukushima im Jahr 2011 hat Deutschland als erste Industrienation den vollständigen Ausstieg aus der Kernenergie bis zum Jahr 2022 beschlossen, Stichwort „Atomausstieg“. Mit diesem selbstgesteckten Ziel hat sich

Deutschland weltweit an die Spitze von Umwelt- und Klimaschutz gestellt und gilt seitdem als Vorreiter beim Klimaschutz und Pionier beim Ausbau von erneuerbaren Energien.

Ende 2013, gerade mal etwas über zwei Jahrzehnte nach Einführung des 1.000-Dächer-Programms, waren in Deutschland PV-Module mit einer Nennleistung von 35,7 GW installiert, verteilt auf ca. 1,4 Mio. Anlagen. Diese deckten mit einer Stromerzeugung von 30 TWh rund 5,7 Prozent des Netto-Stromverbrauchs ab. An sonnigen Werktagen kann PV-Strom bis zu 35 Prozent und an Sonn- und Feiertagen sogar bis zu 50 Prozent des momentanen Stromverbrauchs abdecken. [Wirth, 28. Mai 2014]

Derzeit werden bereits vielversprechende Pilotprojekte und Varianten mit Kombinationen unterschiedlicher regenerativer Technologien durchgeführt, die zusammen mit Energiespeichern in modernen Smartgrid-Systemen arbeiten und vollständig autonom und unabhängig sind.

2.3 Wirkungsweise einer Solarzelle

Die Basis einer Photovoltaikanlage stellt der Solargenerator bzw. die Solarzelle dar. Die Solarzelle besteht wie die Photodiode aus einem pn-Übergang und macht sich den photoelektrischen Effekt zunutze. Bei der Zelle ist dieser pn-Übergang unsymmetrisch dotiert, wobei sich „unten“ am Rückseitenkontakt die p-Basis und „oben“ am Frontkontakt der hoch dotierte n^+ -Emitter befinden. Oberhalb des Emitters befindet sich die Antireflexbeschichtung, die die an der Oberfläche auftretende Reflexion reduziert. Das führt dazu, dass die Solarzelle mehr Photonen absorbiert und sich der Wirkungsgrad der Zelle erhöht. Bei Bestrahlung der Emitter-Seite werden die eindringenden Photonen absorbiert und erzeugen freie Elektronen-Loch-Paare. Die Löcher und Elektronen werden dabei vom Feld der Raumladungszone getrennt und zu den entsprechenden Kontakten befördert: die Löcher zum Rückseitenkontakt und die Elektronen zum Frontkontakt. (Abbildung 2.3)

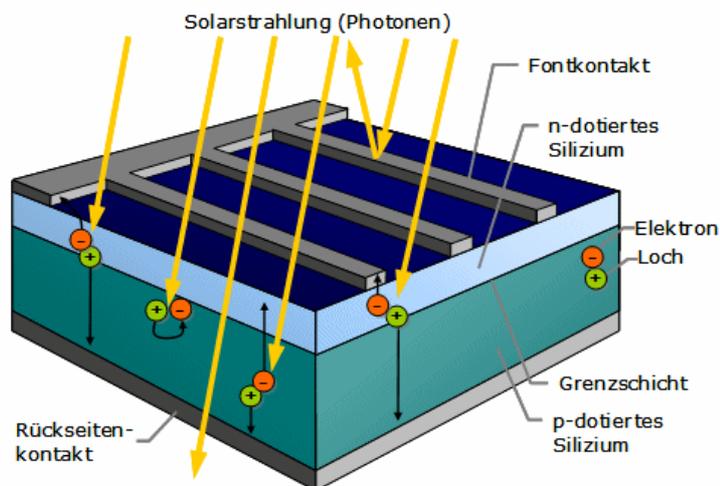


Abbildung 2.3: Aufbau und Funktion einer Solarzelle

Quelle: Volker Quaschnig, Erneuerbare Energien und Klimaschutz, 2013

Die spektrale Empfindlichkeit einer Solarzelle ist abhängig von der Bestrahlungsstärke und der spektralen Zusammensetzung des Lichts. (Abbildung 2.4) Die spektrale Empfindlichkeit $S(\lambda)$ gibt an, welcher Photonenstrom I_{ph} beim Auftreffen einer bestimmten optischen Leistung erzeugt wird. Der Photonenstrom verhält sich hierbei direkt proportional zur Bestrahlungsstärke $E(x)$. Die Bestrahlungsstärke, auch Flächenleistungsdichte, bezeichnet die Sonnenenergie pro Zeit pro Fläche (W/m^2) und ist abhängig vom Standort. Durch die Summierung der eingestrahlenen Energie über bestimmte Zeiträume ergibt sich ein Energieertrag in kWh/m^2 , der in der Solarindustrie zu einem Jahresenergieertrag in kWh/kWp umgerechnet und angegeben wird. Am Standort Hamburg liegt dieser Jahresenergieertrag bei etwa $950 kWh/kWp$, in Bayern bei etwa $1.200 kWh/kWp$ und am Äquator über $2.500 kWh/kWp$. (Quelle: Photovoltaic Geographical Information System (PVGis) Classic)

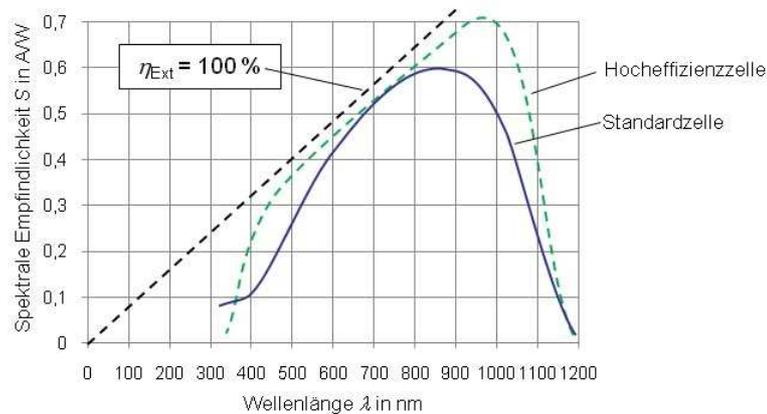


Abbildung 2.4: Spektrale Empfindlichkeit einer Si-Solarzelle und einer Hocheffizienzzelle

Quelle: Mertens, Photovoltaik Lehrbuch S.91, 2013

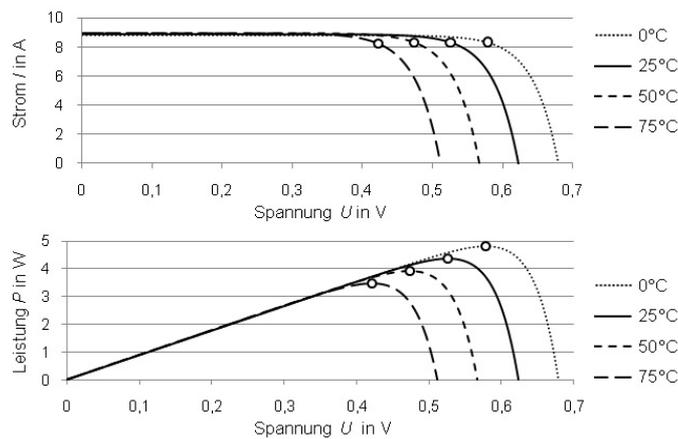


Abbildung 2.5: Temperaturabhängigkeit einer Solarzelle

Quelle: Mertens, Photovoltaik Lehrbuch S.96, 2013

Silizium ist das derzeit am häufigsten verwendete Halbleitermaterial für PV-Module, da es als zweithäufigstes Element der Erde ausreichend zur Verfügung steht und sehr preiswert ist. Allerdings ist es auch temperaturabhängig, wodurch bei Erwärmung des Moduls Spannung

und Leistung sinken, und der Strom steigt. Dieses Verhalten beschreibt der Temperaturkoeffizient, welcher im Datenblatt der PV-Module zu finden ist. (Abbildung 2.5)

Die von einer Solarzelle abgreifbare Spannung ist abhängig vom verwendeten Halbleitermaterial. Sie liegt bei einer Silizium-Solarzelle bei etwa $0,5 V_{\text{Last}}$ bzw. $0,64 V_{\text{Leerlauf}}$. Je nach Hersteller, sowie Größe und Form des PV-Moduls, meist zwischen einem und zwei Quadratmeter, werden in einem PV-Modul unterschiedliche viele Zellen in Reihe geschaltet. Um die elektrische Leistung von PV-Modulen vergleichbar zu machen, werden sie unter normierten Standard-Test-Bedingungen STC (Zellentemperatur = 25°C , Bestrahlungsstärke = 1.000 W/m^2 , Sonnenlichtspektrum gem. $\text{AM}^8 = 1,5$) gemessen. Ein einzelnes Silizium-PV-Modul erzeugt je nach Größe und Bauart zwischen 150 und 290 W elektrische Leistung. Die Spannung liegt in der Regel zwischen 18 und 36 V, und die Stromstärke zwischen 5 und 8 A.

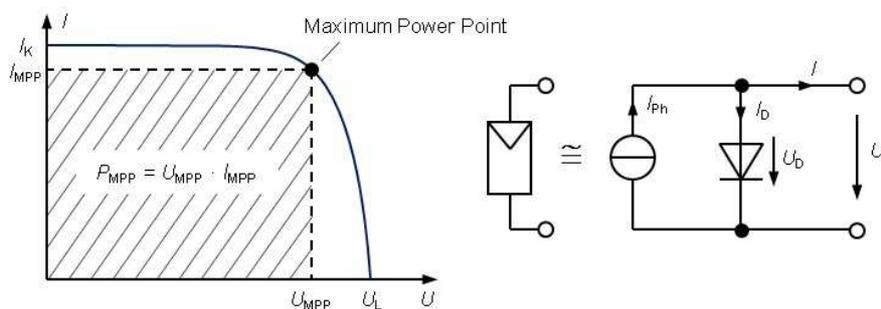


Abbildung 2.6: Kennlinien einer Solarzelle mit vereinfachtem Ersatzschaltbild (ESB)
Quelle: Mertens, Photovoltaik Lehrbuch S.92, 2013

Eine Solarzelle gibt, je nach Arbeitspunkt in dem sie betrieben wird, unterschiedlich viel Leistung ab. Den Betriebspunkt, an dem die maximale Leistung abgegeben wird, nennt man Maximum-Power-Point. Er ist nicht konstant, sondern hängt von der Bestrahlungsstärke, der Temperatur und der verwendeten Technologie ab. Die unbestrahlte Solarzelle verhält sich wie eine normale Halbleiterdiode, die einen Durchlassstrom I_D fließen lässt, wenn die Spannung von p nach n gerichtet ist. Bei einer bestrahlten Solarzelle kann im vereinfachten ESB parallel zur Diode eine Stromquelle mit dem Photostrom I_{ph} (proportional zur Bestrahlungsstärke) geschaltet werden. (Abbildung 2.6) Bei der realen Solarzelle gibt es zusätzlich durch Leckströme noch einen Parallelwiderstand i.d.R. $> 10 \Omega$ und durch den Spannungsabfall an den Kontakten einen Serienwiderstand im $\text{m}\Omega$ -Bereich.

In der Photovoltaik gibt es mittlerweile viele verschiedene Zelltechnologien. (Abbildung 2.7) Die am meisten verbreitete ist wie bereits erwähnt Silizium, da es aus nahezu unerschöpflichem Quarzsand gewonnen wird.

- Für **Monokristalline** Solarzellen werden in einem aufwendigen Verfahren einkristalline Stäbe aus Silizium gefertigt. Sie sind vergleichsweise teuer, erzielen

⁸ AM = Air Mass, beziffert die Dicke der Lufthülle. Am Äquator beträgt die Luftmasse $\text{AM} = 1$ und in Europa ca. 1,5.

aber einen recht hohen Wirkungsgrad. Etwa ein Drittel aller Solaranlagen wurden mit ihnen ausgerüstet.

- **Polykristalline** Solarzellen werden aus nicht ganz so reinem Silizium wie monokristalline Solarzellen gefertigt, wodurch sie einen etwa 15 Prozent schlechteren Wirkungsgrad aufweisen. Der Vorteil liegt hier im besten Preis-Leistungs-Verhältnis, wodurch sie bei rund der Hälfte aller Solaranlagen verbaut wurden.
- **Dünnschichtmodule** bestehen aus einer dünnen, nichtkristallinen (amorphen) Siliziumschicht und sind im Vergleich zu mono- und polykristallinen Zellen sehr dünn und leicht. Sie besitzen allerdings nur einen sehr geringen Wirkungsgrad, haben dafür aber den Vorteil, dass auch bei diffusem Licht kaum Leistungseinbußen haben und weniger Temperaturanfällig sind.
- **CIGS-Module** sind Sonderform der Dünnschichtmodule, welche 2009 auf den Markt kamen und sich durch einen höheren Wirkungsgrad auszeichnen. Sie sind aufgrund ihres schlechten Preis-Leistungs-Verhältnisses kaum vertreten, besitzen aber hohes Entwicklungspotential.
- **GaAs-Module** sind eine Form der **Mehrfachsolarzellen**, auch **Tandemzellen** genannt mit zwei oder mehr monolithisch gestapelten pn-Übergängen. Durch diesen Aufbau sind wesentlich höhere Wirkungsgrade möglich. Diese Art der Herstellung ist aufwendig und teuer, wodurch sie überwiegend in der Raumfahrt eingesetzt werden.
- **Organische** Solarzellen bestehen aus Kohlenwasserstoff-Verbindungen aus der organischen Chemie und wären daher sehr kostengünstig herzustellen. Derzeit besitzen sie einen Labor-Wirkungsgrad von maximal 12 Prozent und eine äußerst geringe Lebensdauer. Es ist allerdings eine zukunftsweisende Technologie.



Abbildung 2.7: Wirkungsgrade verschiedener Photovoltaik-Technologien

Der Wirkungsgrad gibt an, wie viel der eingestrahlten Lichtmenge in nutzbare elektrische Energie umgewandelt werden kann. Für alle verwendeten Materialien gibt es eine physikalische Begrenzung des maximal erzielbaren Wirkungsgrades. Bei einem Silizium-Halbleiter mit nur einem pn-Übergang und der festen Bandlücke von 1,38 eV liegt der theoretisch maximal mögliche Wirkungsgrad bei 30,02 Prozent.

2.4 Aufbau einer Photovoltaikanlage

Eine Photovoltaikanlage besteht im Wesentlichen aus dem Solargenerator und dem Wechselrichter. Der Solargenerator besteht normalerweise aus mehreren in Reihe geschalteten Solarmodulen, im Fachjargon Strings genannt. Oftmals werden mehrere dieser Strings parallel geschaltet, um den Leistungsabfall zu reduzieren und Wechselrichter einzusparen. Die bis zu 1.000 Volt Gleichspannung führenden Strings werden an den Wechselrichter geklemmt, welcher die Spannung zweiphasig auf 230 Volt AC oder dreiphasig auf 400 Volt Drehstrom wechsellichtet und den produzierten PV-Strom ins örtliche Stromnetz einspeist oder den Eigenbedarf des Gebäudes deckt. (Abbildung 2.8)

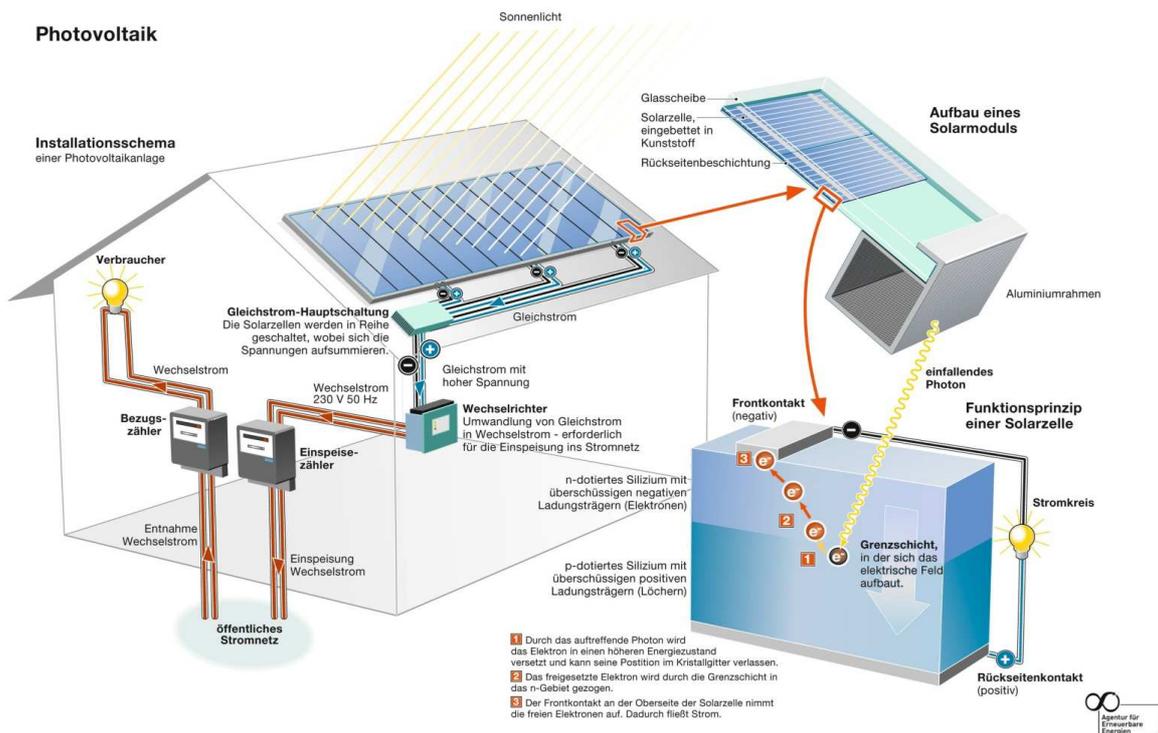


Abbildung 2.8: Aufbau einer Photovoltaikanlage

Quelle: www.unendlich-viel-energie.de/mediathek/grafiken/wie-funktioniert-eine-photovoltaikanlage

Die Solarmodule stellen das Herzstück einer Photovoltaikanlage dar. Moderne Module bestehen aus 36, 48, 60 oder 72 in Reihe geschalteten Zellen, um eine handelbare Spannung zwischen 18 und 36 Volt zu erzielen. Ein String aus bspw. 26 Modulen führt dann zu einer Stringspannung zwischen 468 oder 936 Volt. Welche Anzahl an Modulen in einem String zusammengeschaltet werden dürfen, hängt vom verwendeten Wechselrichter und dessen benötigter Eingangsspannung ab.

Ein weiterer Vorteil der Reihenschaltung aller Zellen in einem Solarmodul ist der verhältnismäßig geringe Strom von 5 bis 8 Ampere, wodurch die Verkabelung zwischen Modulen und Wechselrichtern mit geringen Querschnitten von 4 bis 10 mm² vorgenommen

werden kann. Allerdings bringt diese Reihenschaltung auch den Nachteil mit sich, dass bspw. bei Verschattung einer einzelnen Zelle ein drastischer Leistungsverlust auftritt. Die nicht verschatteten Zellen versuchen ihren Strom durch die verschattete Zelle zu pressen, wodurch an dieser eine negative Spannung auftritt. Da der Strom durch die verschattete Zelle weiterhin positiv, die Spannung aber negativ ist, ergibt sich ein Arbeitspunkt mit einer vielfach höheren umgesetzten Leistung als die normale MMP-Leistung. Dies führt zur Aufheizung der Zelle, einem sogenannten Hotspot. Umgangen wird dieses Problem mit zu den Zellen antiparallel geschalteten Bypass-Dioden. Sie können teilweise die Verschattungsverluste verringern und sollen die Entstehung von Hotspots vermeiden. Sie werden in der Anschlussdose auf der Rückseite des Moduls eingesetzt. (Abbildung 2.9)

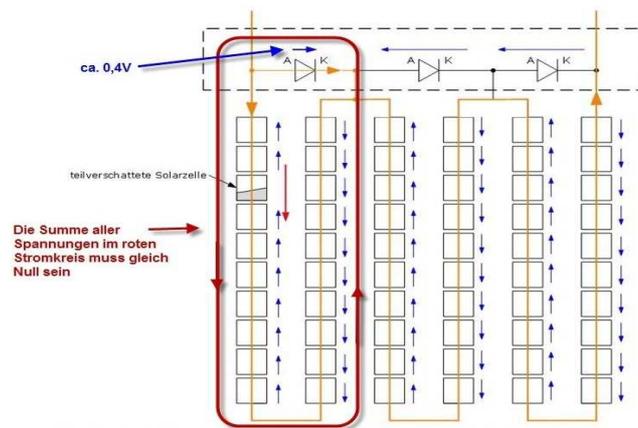


Abbildung 2.9: Modul mit teilverschatteter Zelle und 3 Bypass-Dioden

Quelle: www.photovoltaikbuero.de/pvKnowHowBlog/EntryId/182

Wie eingangs erwähnt, werden zum Aufbau eines Solargenerators mehrere Solarmodule zu Strings zusammengefasst. Diese Strings können wiederherum mit anderen Strings parallel betrieben werden. Die einzelnen Strings werden heutzutage meistens mit Stringsicherungen abgesichert, die üblicherweise mit dem doppelten Stringstrom dimensioniert sind. Die Stringdioden sollen verhindern, dass bei einem Erd- oder Kurzschluss die anderen Strings einen Rückstrom durch den defekten String leiten. Sie bewirken allerdings einen kontinuierlichen Leistungsverlust, weshalb heutzutage auf sie verzichtet wird und überwiegend nur Stringsicherungen eingesetzt werden. (Abbildung 2.10)

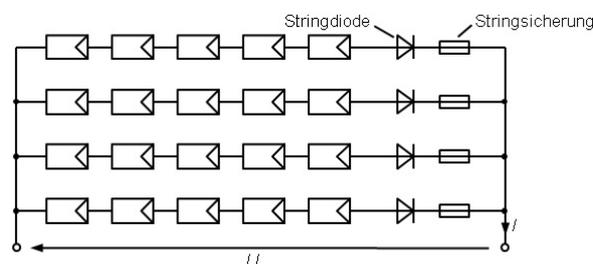


Abbildung 2.10: Solargenerator mit mehreren Strings

Quelle: Mertens, Photovoltaik Lehrbuch S.161, 2013

Abbildung 2.11 stellt den typischen Aufbau einer netzgekoppelten Photovoltaikanlage dar. Sie besteht aus den Strings, welche über Stringsicherungen und ggf. Stringdioden und DC-Trenner im Generatoranschlusskasten (GAK) (Abbildung 2.12) angeschlossen werden. In den einzelnen Strings oder an den Solarmodulen vorhandene DC-Trenner entsprechen allerdings eher der Seltenheit. Die Varistoren sorgen für den Schutz gegen Überspannung. Vom Generatoranschlusskasten führt die DC-Hauptleitung zum Wechselrichter. Seit dem 01. Juni 2006 ist ein DC-Hauptschalter (auch Lasttrennschalter oder „Feuerwehrscharter“) zur sicheren Trennung des Solargenerators vom Wechselrichter nach DIN VDE 0100-712⁹ normativ vorgeschrieben. Der Wechselrichter richtet die Gleichspannung zu Wechselspannung und speist den PV-Strom ins Stromnetz ein.

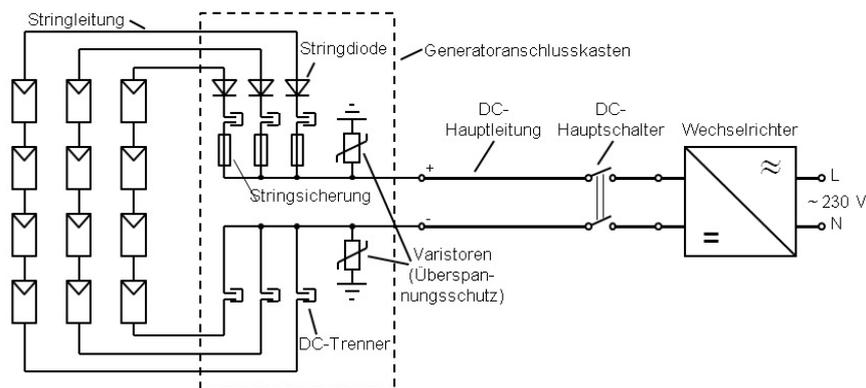


Abbildung 2.11: Aufbau einer typischen netzgekoppelten Photovoltaikanlage

Quelle: Mertens, Photovoltaik Lehrbuch S.165, 2013

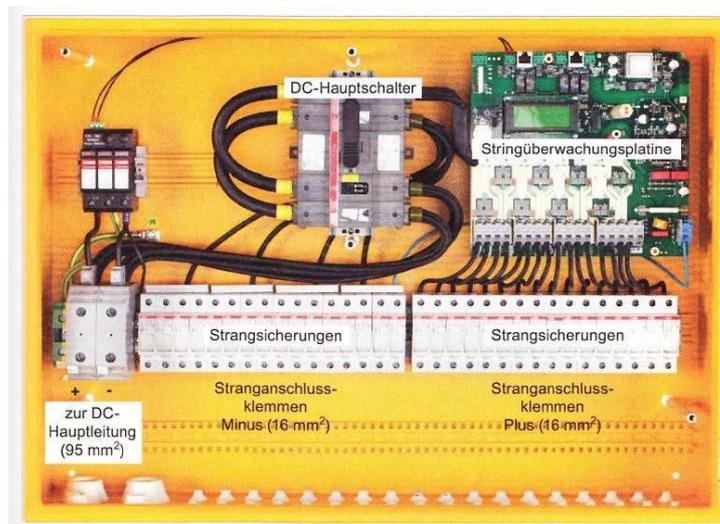


Abbildung 2.12: Typischer moderner Generatoranschlusskasten

Quelle: Mertens, Photovoltaik Lehrbuch S.165, 2013

⁹ Die DIN VDE 0100-712 wurde speziell für das Errichten von Photovoltaikanlagen entwickelt und beinhaltet u.a. Gerätenormen, Schutzmaßnahmen und Vorgaben zur Verkabelung.

Es gibt zwei Arten eine Photovoltaikanlage zu betreiben. Dies sind der netzgekoppelte Betrieb, wo der produzierte Strom auch ins örtliche Stromnetz eingespeist werden kann und der Inselbetrieb, wo der produzierte Strom ausschließlich vor Ort verbraucht wird und keine Verbindung zum örtlichen Stromnetz existiert. (Abbildung 2.13) Eine Inselanlage wird daher standardmäßig zusätzlich mit einer Batterieanlage ausgestattet, die zur Energiepufferung meist mit einer Kapazität von wenigen Stunden bis zu 3 Tagen dimensioniert wird.



Abbildung 2.13: Netzgekoppelte Anlage (links) und Inselanlage (rechts)

Quelle: www.solaik.ch/photovoltaik/grundlagen

Photovoltaikanlagen werden überwiegend als Dach- oder Freilandanlagen realisiert, wobei sie auf Schrägdächern auch die Dachhaut ersetzen können. Fassadenlösungen können ebenfalls, die je nach Bauart, die typischen Aufgaben einer Fassade übernehmen.

2.5 Planung, Errichtung und Betrieb einer Photovoltaikanlage

Im Wesentlichen kann man eine Photovoltaikanlage von der Planung bis zum Betrieb in drei Phasen unterteilen. Der erste und bedeutendste Schritt ist die Planung, welcher meist eine Art von Machbarkeitsstudie inklusive einer Wirtschaftlichkeitsberechnung vorausgeht.

Planung und Dimensionierung

Die erste Phase beginnt mit der Planung und Dimensionierung. Bei größeren Anlagen wird hierfür standardmäßig bei einem Ingenieurbüro eine Machbarkeitsstudie inklusive Grobkalkulation in Auftrag gegeben. Sie ist oftmals wie folgt aufgebaut:

(1.) Definition der Aufgabenstellung

- **Interessen des Kunden** definieren / **Anforderungen klassifizieren** (z.B. BIPV)

(2.) Rahmenbedingungen festlegen

- **Standortanalyse** zur Prüfung der jährliche Einstrahlung und Leistungen am Installationsort
- mögliche Photovoltaik-Flächen werden untersucht und ausgewählt
- Prüfung auf aktuelle oder zukünftige **Verschattungen**
- **Statik** (können Gebäude die zusätzliche Last aufnehmen?)

- Umsetzung des **Netzanschlusses** beim örtlichen Stromversorger
 - Auswahl geeigneter Photovoltaik-Technologien
- (3.) Mögliche Varianten und Planung
- Aufzeigen und Gegenüberstellen unterschiedlicher Technologien am Projekt
 - **technische Vorplanung** z.B. mit dem Simulationsprogramm PV-Sol
- (4.) Eigenverbrauchsmöglichkeiten
- Aktuelle Regelung nach EEG
 - Lastgänge des Objekts und mögliche Verbraucher
 - Bisherige und zukünftige Strompreisentwicklung
- (5.) Geschäftsmodelle
- Aufzeigen unterschiedlicher Umsetzungsmöglichkeiten (Errichter als Betreiber, externer Investor, Gemeinde als Investor)
- (6.) Wirtschaftlichkeitsbetrachtung
- **Vorkalkulation** auf Basis der technischen Vorplanung und Kosten für den Betrieb
 - Laufzeit der Anlage mit Erträgen bzw. Rendite
 - **Investitionsrechnung** (ggf. auf Basis eines Annuitätendarlehnen)
- (7.) Fazit und Empfehlung
- **Erträge und Erlöse -> Amortisation** (Erträge übersteigen die Investitionskosten)
 - Nachhaltigkeit und CO₂-Einsparung

Als Ergebnis zeigt die Machbarkeitsstudie die Wirtschaftlichkeit und ggf. die ökonomischen Gesichtspunkte der Anlage auf. (Machbarkeitsstudie, Averdung Ing., 2013)

Errichtung und Inbetriebnahme

Kommt die Machbarkeitsstudie zum Ergebnis, dass die Photovoltaikanlage wirtschaftlich und technisch realisierbar ist, wird das Projekt ausgeschrieben, eingehende Angebote geprüft, die Vorplanung abgeglichen und ein Errichter ausgewählt. Anschließend ist die Anlage beim Energieversorgungsunternehmen und gegebenenfalls der Bundesnetzagentur anzumelden.

Im Verlauf der Bauphase unterstützt das Ingenieurbüro die Bauherren und prüft durch eine Endabnahme abschließend die fachgerechte Installation und Funktionsweise der Anlage.

Betrieb, Monitoring und Instandhaltung

Die kalkulierte Lebensdauer einer modernen Photovoltaikanlage liegt normalerweise bei mindestens 20 und oftmals sogar 25 Jahren. Um den Betrieb über die gesamte Laufzeit gewährleisten zu können, muss die Anlage regelmäßig gewartet werden. Bei größeren Anlagen wird hierfür die Serviceleistung „Monitoring“ verkauft. Hierzu werden, über eine vor Ort installierte Messtechnik, regelmäßig die Stromzähler ausgelesen und mit der erwarteten Leistung der Anlage abgeglichen, so dass Diskrepanzen unmittelbar von Technikern überprüft und behoben werden können. Im Idealfall sind die einzelnen Strings und Wechselrichter überwacht, wodurch u.a. auch einzelne fehlerhafte Solarmodule zeitnah erkannt werden können. Zur Instandhaltung gehören neben Ertragsmessungen u.a. auch die Reinigung der Solarmodule von Schmutz, Schnee und Laub.

3 Problemanalyse

Zu Beginn dieses Jahrtausends hatte die unsachgemäße Montage von Photovoltaikanlagen selten personengefährdende Auswirkungen, da diese Anlagen oftmals auf privaten Dach- und Freiflächen in ländlichen Gegenden oder als Freilandanlagen installiert wurden. Im Zuge des seit 2003 jährlich um ca. 7% steigenden Strompreises, dem wachsenden ökologischen Bewusstsein und den Klimazielen der Bundesrepublik Deutschland werden Photovoltaikanlagen zunehmend auch in Städten und Kommunen installiert. Hieraus entstehen Gefahren für Unbeteiligte, die es zu minimieren gilt.

Das Gefährdungspotential bei einer Photovoltaikanlage und Gefahren für die Gebäude auf denen sie installiert werden herauszufinden, bildet die Basis für Möglichkeiten zur Gefahrenvorbeugung. Diese Möglichkeiten stellen den aktuellen Stand der Technik dar und ergänzen gesetzliche Anforderungen sowie ggf. veraltete DIN-Normen.

In diesem Kapitel werden eingangs Rahmenbedingungen geschaffen, die das Anwendungsgebiet eingrenzen. Anschließend werden die für die Betrachtung relevanten Gefahren analysiert und bewertet und soweit möglich Methoden zu deren Vorbeugung aufgezeigt. Die Recherche der aktuellen gesetzlichen Regelungen, Normen und Richtlinien sowie deren Auswertung rundet diese Analyse ab.

3.1 Rahmenbedingungen

Wie bereits unter **2.4 Aufbau einer Photovoltaikanlage** beschrieben, gibt es unterschiedliche Möglichkeiten, Photovoltaikanlagen zu realisieren. Die Problematik für Prüfsachverständige beim Umgang mit einer Photovoltaikanlage tritt allerdings erst auf, wenn sie auf spezielle Gebäude installiert oder in sie integriert werden soll.

Installiert bspw. ein Bauer oder Landwirt eine Photovoltaikanlage auf seiner Scheune oder als Freilandanlage auf seinem Feld und es entsteht ein Brand, sind die Auswirkungen recht gering. Beim Abbrennen der PV-Module könnten zwar eventuell giftige Dämpfe entstehen und schlimmstenfalls das Vieh in der Scheune verenden, aber die Feuerwehr kann diesen Brand relativ einfach handhaben. Sie grenzt das betroffene Gelände ein und versucht entweder das Feuer zu löschen oder lässt das Gebäude bzw. die Anlage kontrolliert abbrennen. Entsteht ein solches Szenario bei einem Ein- oder Mehrfamilienhaus werden die Bewohner gerettet, oder retten sich selbst und die Feuerwehr verfährt ähnlich. Personenschäden sind hier kaum zu erwarten und die Gebäude sowie Sachwerte werden von den entsprechenden Versicherungen ersetzt.

Handelt es sich bei den betroffenen Gebäuden allerdings um öffentlich zugängliche Gebäude, wie Schulen und Universitäten, Hochhäuser, Museen oder Versammlungsstätten stellt sich die Situation anders dar. In diesen Gebäuden halten sich zeitweise viele, häufig ortsunkundige Personen oder Kinder auf, wodurch der Personenschutz zwingend in den Vordergrund zu stellen ist. In Betriebsstätten, auch in Größeren ist das angestellte Personal

normalerweise ortskundig, wodurch eine geringere Gefahr für sie vorherrscht. Der Fokus der Betrachtung wird sich daher ausschließlich auf öffentlich zugängliche Gebäude mit dem Ziel des Personenschutzes beschränken.

Schwerpunktmäßig werden das Bundesland Hamburg sowie die beiden angrenzenden Bundesländern Schleswig-Holstein und Niedersachsen untersucht. Somit werden neben landesweit geltenden Gesetzen und Normen diese Bundesländer eingehender betrachtet. Als Grundlage für die Beurteilung der Gefahrenwahrscheinlichkeit bzw. Gefährdungspotentials werden soweit möglich Erfahrungswerte, Veröffentlichungen und Artikel von u.a. Sachversicherern, etablierter Institutionen, Hersteller und der Feuerwehr herangezogen bzw. recherchiert.

Zusammengefasst werden folgende Rahmenbedingungen festgelegt:

Regionale Eingrenzung mit jeweils geltenden Rechtsgrundlagen:

- Schwerpunkt ist die Hansestadt Hamburg
- Bundesländer Niedersachsen und Schleswig-Holstein werden weitestgehend einbezogen
- Untersuchung deutschlandweiter Regelungen (soweit erforderlich)
- Unfallverhütung

Untersuchung sämtliche Richtlinien und Normen, welche nach Ansicht des Verfassers und einer ausreichenden Recherche anwendbar sind. Hierzu zählen:

- Aktuell gültige DIN-Normen
- Gesetzliche sowie versicherungstechnische Richtlinien
- Vorschriften (soweit erforderlich)

Betrachtete Gebäudearten/Einrichtungen:

- Schulen, Hochschulen
- Versammlungsstätten
- Hochhäuser
- Krankenhäuser, Pflegeeinrichtungen
- Stätten ähnlicher Nutzung (Gebäude mit öffentlicher Nutzung)

Photovoltaikanlagen

- Auf oder an Dächern und Fassaden errichtete Anlagen
- gebäudeintegrierte Anlagen (BIPV)
- Energiespeichersysteme werden außen vor gelassen

3.2 Gefährdungspotential und Vorbeugung

Eine Untersuchung des Fraunhofer ISE im Jahr 2013 über die Störfälle bei Photovoltaikanlagen der vorangegangenen 20 Jahre ermittelte, dass es 350 Brände gab, an denen die PV-Anlage beteiligt war. In 120 dieser Fälle war sie der Auslöser des Brandes, verursachte dabei in 75 Fällen einen größeren Schaden und führte bei 10 Fällen zur Totalzerstörung des Gebäudes. Dies stellt statistisch noch ein überschaubares, aber nicht zu vernachlässigendes Brandrisiko dar. Bei der schnell wachsenden Anzahl und mittlerweile ca. 1,4 Mio. existierenden Photovoltaikanlagen in Deutschland, besteht somit ein zwangsläufig zunehmendes Risiko. [Wirth, 28. Mai 2014]

Des Weiteren bestätigte im Jahr 2010 der Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft (GDV) in Berlin, dass immer mehr Photovoltaikanlagen aufgrund mangelhafter Qualität ausfallen. Im Jahr 2008 haben die deutschen Versicherer rund 4.200 Schadensfälle reguliert, ein Anstieg um 40 Prozent zum Vorjahr, wobei zwei Drittel aller Beschädigungen auf Sturm, Schneelast und Feuer zurückzuführen waren. [Gesamtverband der deutschen Versicherungswirtschaft GDV, 03. August 2010]

Eine nachträglich und nicht fachgerecht installierte Photovoltaikanlage bzw. deren Leitungsanlage¹⁰, kann den vorhandenen baulichen Brandschutz¹¹ und den Personenschutz weitgehend oder vollständig aushebeln. Ein Brandschutzkonzept, das normalerweise beim Bau eines Gebäudes erarbeitet und umgesetzt wird, kann hierdurch wirkungslos gemacht werden.

3.2.1 Gefahrenanalyse

Die Gefahrenanalyse kann in zwei wesentliche Szenarien unterteilt werden. (*Abbildung 3.1*)

Das erste und wichtigste Szenario umfasst die Risiken, welche durch die Photovoltaikanlage mit ihren Komponenten wie PV-Modulen, Wechselrichter, Leitungsanlage und Montagesystem selbst vorherrschen kann. Abgesehen von der speziellen Gefahr durch Lichtbögen bei bis zu 1.500 Volt hoher DC-Spannung, existieren dieselben Gefahren wie bei anderen elektrischen Anlagen. Hierzu zählen bspw. Kurzschlüsse, die zu Schwelbränden oder Bränden führen können, sowie das Risiko des elektrischen Schlags, infolge eines mangelhaften bzw. fehlenden Berührungsschutzes. Weiterhin kann eine ungeschützte Leitungsanlage die Brandausbreitung durch ihre Brandlast beschleunigen.

Das zweite Szenario bezieht sich auf den Brand eines Gebäudes aus anderen Gründen. Hierbei ist, neben dem Brandverhalten der Elemente einer Photovoltaikanlage, vor allem ein guter und solider baulicher Brandschutz entscheidend. Aus Erfahrung wird dieser bei

¹⁰ Leitungsanlagen sind u.a. Anlagen aus elektrischen Leitungen, sowie den zugehörigen Steuer-, Regel- und Sicherheitseinrichtungen, Verteilern und Dämmstoffen für die Leitungen. Zu den Leitungen gehören auch deren Befestigungen und Beschichtungen (Isolierungen).

¹¹ Zum baulichen Brandschutz gehören bspw. das Brandverhalten sowie der Feuerwiderstand von Baustoffen, die Fluchtwegplanung und die Aufteilung des Gebäudes in Brandabschnitte durch Brandwände oder Feuerschutztüren.

nachträglichen Installationen oftmals aufgehoben bzw. nicht wieder ordnungsgemäß wiederhergestellt und kann somit eine Brandausbreitung kaum noch aufhalten.

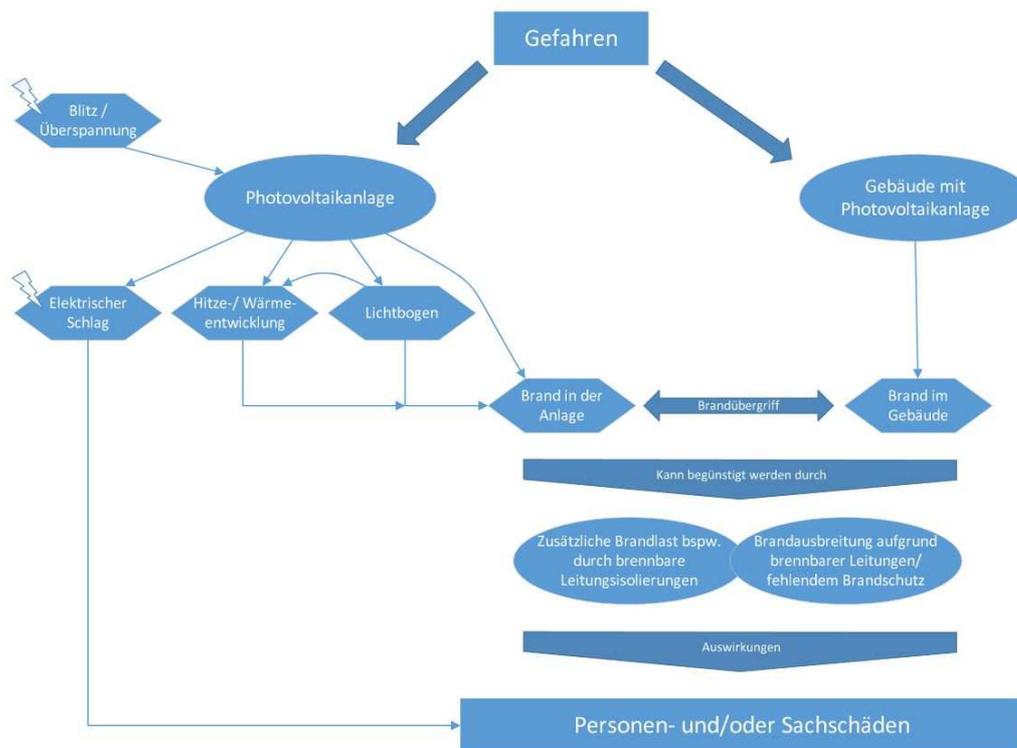


Abbildung 3.1: Gefahren für und durch eine Photovoltaikanlage

Eine Photovoltaikanlage besteht im Wesentlichen aus drei Baugruppen, dem PV-Generator, der Leitungsanlage und der aktiven Technik.

Die technischen Anlagen wie PV-Module und Wechselrichter werden durch die Hersteller geprüft und sind normalerweise nach Bauregelliste geregelt und CE zertifiziert. Hierdurch ist die Gefahr durch sie verhältnismäßig gering. Die häufigsten Fehler entstehen oft durch unerfahrene Installateure, die ihre Anlagen im Akkord installieren und dabei oftmals unpassendes Werkzeug verwenden. So werden bspw. Solarstecker mit Kombizangen statt Spezialwerkzeug angebracht und die Leitungen sehr mangelhaft und teils mit falschem Leitungstyp oder -querschnitt verlegt. Durch solche Schwachstellen sind Fehler in einer Anlage vorprogrammiert. [Wirth, 28. Mai 2014]

Der Gesamtverband der deutschen Versicherungswirtschaft (GDV) gibt in regelmäßigen Abständen eine Aufschlüsselung der Ursachen von Versicherungsfällen unterschiedlicher Versicherungsgegenstände aus. Im Jahr 2011 veröffentlichte die Zeitschrift Schadenprisma, die von den öffentlichen Versicherern getragen wird und sich der Schadenverhütung und -forschung widmet, eine Statistik, die die typischen Schadensursachen von Photovoltaikanlagen im Jahr 2011 prozentual aufschlüsselt. (Abbildung 3.2)

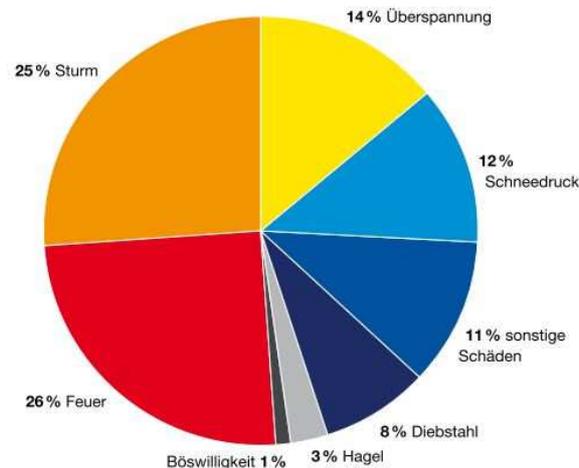


Abbildung 3.2: Schadensursache an Photovoltaikanlagen

Quelle: Schadenprisma, Typische Mängel an Photovoltaikanlagen S.15, 3/2011

Mit 26 % war Feuer die häufigste Schadensursache, gefolgt von 25 % durch Sturm, 14 % durch Überspannung, 12 % durch Schneedruck und 23 % durch sonstige Ursachen. Die Schäden durch Sturm und Schneedruck deuten auf Schäden an PV-Modulen, Montagesystemen und Dächern hin, die sich höchstwahrscheinlich auf eine Fehlplanung der Statik oder Fehlberechnung der zu erwartenden Wind- und Schneelasten zurückführen lassen. Dies hat der Verfasser im Rahmen seines Praxissemesters oftmals selbst festgestellt. Feuer und Überspannung bilden somit die größten Gefahren für den Personen- und Brandschutz.

Nach weiterer Recherche wurden folgende relativ häufig auftretende Fehler bei der Planung, Installation und dem Betrieb von Photovoltaikanlagen festgestellt:

Planungsfehler:

- Fehlende oder falsche Statik-Berechnung
- PV-Module und Montagesystem nicht aufeinander abgestimmt
- Ungenügende Sturmsicherung des Montagesystems
- Fehlender, unvollständiger oder falscher Blitz- und Überspannungsschutz
- Nichtbeachtung von Hochwassergebieten
 - Wechselrichter unterhalb Wasserlinie errichtet
 - Fehlende Feuchtesensoren zur Abschaltung der Anlage

Installationsmängel (häufigste Fehler):

- Mangelhafte Unterkonstruktion/Montagesystem
 - Systemstatik der Montagegestelle nicht beachtet (Beschwerung)
 - Schienenverbinder fehlen
- Fehler bei der Leitungsverlegung
 - Verwendung falscher oder unterschiedlicher DC-Stecker

- Spannungsfestigkeit der Komponenten nicht eingehalten (benötigt > 1.000 V)
- Leitungsbeschädigung durch zu kleine Biegeradien
- Verwendung von Alu-Kabel (falsche Dimensionierung und Verarbeitung)
- Ungeschützte und unbefestigte Kabelverlegung im Dachbereich
- Fehlende Zugentlastung (Leitungen hängen durch -> Gewichtskraft)
- Isolationsfehler durch Feuchtigkeit (Verkabelung und Steckersysteme liegen direkt auf der Dachfläche)
- Beeinträchtigungen brandschutztechnischer Einrichtungen / baulicher Brandschutz
 - Fehlerhafte Dach-, Wand- und Deckendurchdringungen
 - Brandschutzwände auf Dächern werden überbaut
 - Ungeschützte Leitungsverlegung in Gebäuden (Fluchtwege, Brandabschnitte)
- Falsche Dimensionierung von Strangsicherungen
- Fehler bei der Integration in einen vorhandenen Blitzschutz/Überspannungsschutz
 - Zu geringe Abstände zw. Fangstangen/Blitzableiter und PV-Elementen
 - Überbauung von Blitzschutzleitungen
 - Falsche Auswahl von Ableitern (AC/DC)
- Umgebungsbedingungen für Betriebsmittel wie Leitungen im Außenbereich und Wechselrichter nicht beachtet
 - Leitungen und Abzweigdosen nicht korrosionsbeständig
 - Fehlende Beachtung der Umwelt (Nagetierbiss, Hot-Spots)
- Fehlende Erstprüfung nach VDE 0100-600 und VDE 0126-23
- Fehlende oder unzureichende Dokumentation

Mängel im Betrieb:

- Fehlende Wiederholungsprüfungen nach vorhandenen VDE-Normen und BGV A3 (Prüfen der Sicherheitseinrichtungen, Auslösen der Schalter)
- Mangelhafte Pflege und Instandhaltung (Pflanzenbewuchs, Schmutzablagerungen)

Aus vielen dieser Mängel kann leicht ein kleiner Brandherd entstehen, der sich dann je nach Umfeld und Aufbau der elektrischen Anlage schnell ausbreiten kann.

Brandgefahr

Mit statistisch über einem Viertel aller Schadensursachen bei Photovoltaikanlagen, zählt Feuer zum größten Risikofaktor. *Abbildung 3.3* stellt den typischen Wirkungspfad für einen Brand dar, den Mitarbeiter des Fraunhofer ISE bei der Auswertung von ca. 210 Fällen von Brand oder Hitzeschäden durch PV und ca. 220 Fällen von Gebäudebränden mit PV ermittelt haben. [Laukamp & Schmidt, 03. April 2014]



Abbildung 3.3: Typischer Wirkungspfad Brand

Die häufigsten Schadensquellen bei dieser Auswertung waren in absteigender Reihenfolge:

- Wechselrichter
- Anschlussdosen der PV-Module
- DC-Stecker
- AC-Klemmen
- PV-Module
- Generatoranschlusskasten, DC-Leitung, DC-Schalter
- Zellverbinder, DC-Klemmen

Abgesehen von den AC-Klemmen liegen die Fehlerursachen überwiegend auf der DC-Seite, was auch den typischen Wirkungspfad für Brände durch Lichtbögen erklärt. Ebenfalls lässt es drauf schließen, dass dies größtenteils auf die bereits aufgeführten Installationsfehler zurückzuführen ist. Dies bestätigt auch die veröffentlichte Fehlerstatistik des TÜV Rheinland, welcher bei Abnahmen von 125 Großanlagen etwa 50 Prozent der festgestellten Mängel auf Installationsfehler zurückführen konnte. [Vaaßen, 07. April 2014]



Abbildung 3.4: Installationsmängel (Isolierung DC-Stecker, Leitungsverlegung)

Quelle: photovoltaik.eu, M. Sieg, Der vermeidbare Albtraum, 2010

Lichtbögen sind somit die häufigste Ursache für Brände. Als sehr heiße, sich selbst erhaltende Gasentladungen zwischen zwei Elektroden, können sie z.B. bei Kupferleitungen schon ab einer Mindestspannung von ca. 12 Volt und einem Mindeststrom von ca. 0,4 Ampere entstehen. Bei Verwendung minderwertiger bzw. ungeeigneter Materialien oder schlecht umgesetzter Verbindungen sowie nicht fachgerecht ausgeführter Verletechniken kommt es zu Kontaktproblemen und Isolationsfehlern, die wiederherum zu Lichtbögen führen können. Befindet sich brennbares Material wie Holz, Bitumen¹² oder PVC in unmittelbarer Nähe eines Lichtbogens, kann dies im schlimmsten Fall brandauslösend sein. Lichtbögen bei hohen DC-Spannungen mit großen Strömen sind besonders gefährlich, da sie aufgrund des fehlenden Phasenwechsels nicht nur nicht abreißen, sondern sogar stabilisiert werden können (Lichtbogen = Plasma = ionisiertes Gas).

Man unterscheidet Serien-Lichtbögen und parallele Lichtbögen. Ein Serien-Lichtbogen entsteht durch Kontaktprobleme wie bspw. einem Kabelbruch, wenn ein kleiner Abstand zwischen Kontakten entsteht, der aber nah genug ist, dass sie ein Lichtbogen ausbilden

¹² Bitumen ist ein sowohl natürlich vorkommendes, als auch aus Erdöl gewonnenes Gemisch aus hauptsächlich hochmolekularen Kohlenwasserstoffen. Bitumenschweißbahnen werden bspw. zur Dachabdichtung verwendet.

kann. Parallele Lichtbögen sind seltener und treten zwischen der Plus- und der Minusleitung auf, wenn sie dicht beisammen liegen und bspw. die Isolierung defekt ist.

Eine weitere Brandgefahr sind Hot-Spots. Sie entstehen wenn die Solarzelle eines PV-Moduls, durch Verschattung eines Teils oder der gesamte Zelle, einen erhöhten Innenwiderstand bildet. Dies führt zu einer starken Erhitzung der Zelle, welche sich über die Zelle hinaus bis zur Modulrückwand durchbrennen und im unmittelbaren Umfeld des Moduls befindliche Äste, Leitungen oder Dachpappe entzünden kann. Um diesen Effekt zu verringern, werden im PV-Modul Bypass-Dioden eingebaut (siehe **2.4 Aufbau einer Photovoltaikanlage**). Hot-Spots können allerdings auch mit Bypass-Dioden nicht vollständig unterbunden werden, da die Dioden defekt sein können, oder nur ein sehr kleiner Teil der Zelle verschattet und die Diode somit nicht aktiviert wird.

Wenn es zu einem Brand kommt, sind das Brandverhalten der Photovoltaikanlage, des Daches und des Gebäudes wichtige Faktoren, die bei der Planung bzw. Installation zwingend beachtet werden müssen. Hierbei muss beachtet werden, dass eine Brandausbreitung auch durch mangelhafte Installation begünstigt werden kann.

- Brandverhalten der Photovoltaikanlage (z.B. Entzündbarkeit der Module/Leitungen, Auswirkung von Temperatureinwirkung, Verformung, Feuerausbreitung, Selbstlöschung, Löschbarkeit durch Feuerwehr, Abtropfen und Absturzgefahr der Module → Aluminium verliert bereits bei ca. 300 Grad die Stabilität und der Schmelzpunkt liegt bei ca. 650 Grad)
- Brandverhalten der Dachhaut bzw. Dachkonstruktion (keine Anlagen auf oder in brennbaren Dachkonstruktionen mit bspw. brennbarer Dämmung, Bitumenbahnabdichtungen oder Holzkonstruktionen „Brandgefährdete Räume/Bereiche“ → Brandübergreif auf das Dach (*Abbildung 3.5*))
- Brandverhalten des Gebäudes (Art des Gebäudes, Montageart am Gebäude, Kabelverlegung inner- und außerhalb → Erhöhung der Brandlast, Beeinträchtigung des baulichen Brandschutzes)



Abbildung 3.5: Wechselrichter auf brennbarer Dachkonstruktion

Quelle: GDV, K. Callondann, Schadenfälle, Mängel und deren Vermeidung, 2014

Treten hohe Übergangswiderstände in Teilen der Photovoltaikanlage auf, kann dies zu Schwelbränden mit starker Rauchentwicklung führen. Die Hauptgefahr eines Brandes

insbesondere innerhalb von Gebäuden stellt der giftige Rauch dar, wodurch ein Schwelbrand mindestens genauso gefährlich wie ein offenes Feuer ist.

Ebenfalls zu erwähnen ist, dass nach Auswertung der Schadensursachen des Fraunhofer ISE gebäudeintegrierte Anlagen ein vielfach erhöhtes Schadensrisiko gegenüber normalen Aufdachanlagen besitzen. Dies liegt nach Ansicht des Verfassers wahrscheinlich an ihrer wesentlich geringeren Entfernung zur Dachkonstruktion und der somit auch kleineren Pufferzone zur Wärmeableitung.

Die Emissionen, welche bei einem Brand der PV-Module auftreten können, befinden sich normalerweise außerhalb des Gebäudes und sind somit i.d.R. für die Personen im Inneren nur bedingt gefährlich. Anders sieht es bei einem Brand der Leitungsanlage aus, welcher sich im Inneren des Gebäudes aber nicht von einem herkömmlichen Brand unterscheidet.

Überspannung / direkte und indirekte Blitzeinschläge

Mit 14 Prozent ist Überspannung die dritthäufigste Ursache für Schäden an Photovoltaikanlagen. Auch wenn sie bei ordnungsgerechter Installation die Gefahr eines direkten Blitzeinschlags nicht erhöht, ermöglicht sie der Überspannung über die Leitungsanlage den Weg in das Gebäude. Meistens sind Blitzeinschläge die Ursache für Überspannungsschäden und bewirken dauerhafte Isolationsdefekte in den elektrischen Systemen. Direkte Blitzeinschläge besitzen ausreichend Energie, um starke mechanische Zerstörungen zu bewirken sowie eine Brandentstehung zu ermöglichen.

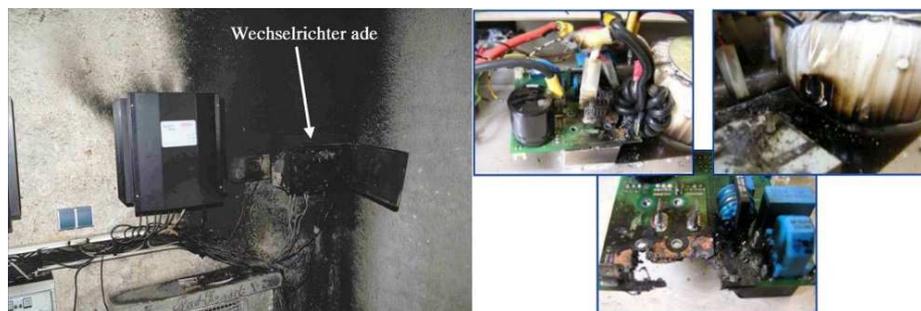


Abbildung 3.6: Blitzschäden in Wechselrichtern

Quelle: Dehn + Söhne, P. Zahlmann, Blitzschutz von PV-Anlagen, 2011

Blitzschutzanlagen sollen Schäden durch Blitzeinschlag von Gebäuden abwenden. Besondere bauliche Anlagen benötigen aufgrund behördlicher Vorgaben oftmals einen Blitzschutz als Maßnahme des vorbeugenden Brandschutzes sowie des Personenschutzes. Vorgeschrieben ist er für Sonderbauten wie z.B. Krankenhäuser und Schulen. Er wird auch benötigt, um die sensible technische Infrastruktur einer baulichen Anlage zu schützen. Die Schutzfunktion eines Blitzschutzsystems darf nicht durch die Montage eines PV-Stromversorgungssystems beeinträchtigt werden (siehe DIN EN 62305-3 Beiblatt 5). Eine Blitzschutzanlage wird in äußerem und innerem Blitzschutz unterschieden.

Der äußere Blitzschutz dient dazu, Blitzeinschläge „einzufangen“ und vom Einschlagpunkt über Blitzableiter an der Gebäudeaußenwand bis ins Erdreich abzuleiten. Das Gebäude, die

zu schützenden Anlagen und die Menschen im Inneren werden so vor den Auswirkungen eines direkten Blitzeinschlages bewahrt. Zu den Gefahren für die Menschen im Inneren zählen Verletzungen durch stromführende Teile oder die gefährliche Schrittspannung¹³. Der äußere Blitzschutz besteht aus Fangeinrichtungen, Ableitungen und der dazugehörigen Erdungsanlage.

Der innere Blitzschutz stellt einen Potenzialausgleich zwischen metallenen Installationen und Leitungen innerhalb der Anlage her. Metallene und leitfähige Anlagenteile wie z.B. Heizungs-, Wasser- und Gasleitungen oder Schutzleiter von Netz- und Telefon/Internetanschluss werden dazu, direkt an der Stelle wo sie ins Gebäude eintreten, mit der Haupterdungsschiene verbunden. Die Energie- und Datenleitungen werden ebenfalls mittels geeigneten Blitzstrom- und Überspannungsschutzgeräten beschaltet, um Blitzströme oder Überspannungen gegen Erde abzuleiten.

Der Überspannungsschutz ist ein Teil des Blitzschutz-Potentialausgleichs und dient dazu, Schäden an elektrischen und elektronischen Geräten durch Überspannungen zu verhindern. Überspannungsschutzgeräte (SPD, engl. „Surge Protection Device“) erzeugen im Belastungsfall einen Potenzialausgleich zwischen den angeschlossenen Leitern und der Potentialausgleichsschiene.

Der GDV fordert mit der VdS-Richtlinie 2010 für Gebäude mit einer Photovoltaikanlage >10 kWp Leistung oder >15 m² Fläche die Installation einer äußeren Blitzschutzanlage der Schutzklasse III und innere Überspannungsschutzmaßnahmen. Wird eine Photovoltaikanlage auf ein Gebäude mit einer bestehenden Blitzschutzanlage errichtet, ist sie ggf. anzupassen und darf wie bereits erwähnt keinesfalls ihre Funktion beeinträchtigen.



Abbildung 3.7: Mangelhafter Trennungsabstand

Quelle: GDV, K. Callondann, Schadenfälle, Mängel und deren Vermeidung, 2014

Bei der Errichtung von Photovoltaikanlagen wird der Blitzschutz oftmals nur ungenügend oder gar nicht beachtet und zählt daher zu den häufigsten Planungs- und Montagefehlern. Die Folgen können im Falle eines direkten aber auch indirekten Blitzscheinschlages gravierend sein. Oftmals werden Trennungsabstände von i.d.R. 0,5 bis 1 Meter zwischen der

¹³ Auf dem (Erd)Boden kann zwischen den Füßen eine „Schrittspannung“ auftreten, die einen Strom durch den Körper hervorruft und zu gefährlichen Folgeerscheinungen führen kann. Im Freien kann die Gefahrenzone von Blitzen mehr als 10m von Einschlagort betragen. [www.vde.de]

Blitzschutzanlage und den Komponenten der Photovoltaikanlage nicht eingehalten, wodurch ein Blitz von der Fangstange auf die Anlage überschlagen kann. (Abbildung 3.7)

Zusätzlich sind nach VDE 0100-410 alle leitfähigen Teile der Gebäudekonstruktion, sofern sie berührbar sind, zum Schutz gegen den elektrischen Schlag und zum Schutzpotentialausgleich, mit dem Potentialausgleichssystem zu verbinden. Hierzu zählen auch die metallenen Montagesysteme der Photovoltaikanlagen. Zusätzlich sind in unmittelbarer Nähe zu den DC-Leitungen Potentialausgleichsleitungen zu verlegen, um die Bildung von Leiterschleifen und elektromagnetischer Induktion gering zu halten. Die Erdung bzw. der Potentialausgleich der Komponenten der Photovoltaikanlage ist ebenfalls ein häufig vernachlässigter Faktor.

Elektrischer Schlag

Nach einer Abschaltung des Wechselrichters stehen noch Gleichspannungen von bis zu 1.500 Volt an den DC-Leitungen an. Je nach Verlegung der DC-Leitungen und den Standorten der Freischnittstelle sowie des Wechselrichters, kann somit eine Gefahr durch den elektrischen Schlag im gesamten Gebäude vorherrschen. Stromschläge können bereits ab 50 V Wechsel- und 120 V Gleichspannung lebensgefährlich sein, was in Deutschland normativ durch die maximale Berührungsspannung definiert und begrenzt ist. (Abbildung 3.8)

Grenzwerte für Gefährdung durch elektrische Dauerströme (IEC 60479-1, Strom unten → oben (Füße zu linker Hand))

	AC	DC
Bereich 1	< 0,5 mA	< 2 mA
Bereich 2	0,5 - 5 mA	2 - 25 mA
Bereich 3	5 - 35 mA	25 - 150 mA
Bereich 4	> 35 mA	> 150 mA

Bereich 1: Bemerkbarkeit bereits möglich, keine körperliche Reaktion

Bereich 2: Muskelkontraktionen möglich beim Berühren + Loslassen

Bereich 3: Starke unwillkürliche Muskelreaktionen möglich

Bereich 4: Mit steigendem Strom Herzkammerflimmern möglich

Bei umgekehrter DC-Stromrichtung etwa doppelte Werte zulässig!

Bei anderen Strompfaden auch noch höhere Ströme möglich

Abbildung 3.8: Gefährdung durch elektrische Dauerströme (IEC 60479-1)

Quelle: Berner FH, H. Häberlin, Gefährdung der Feuerwehr beim Löschangriff an PV-Anlagen, 2012

Neuere Anlagen müssen hierzu seit Juni 2006 gemäß VDE 0100-712 mit einer Gleichstrom-Freischnittstelle bzw. „Feuerwehr-Schalter“ auf der DC-Seite vor dem Wechselrichter ausgestattet sein. Bei vielen Wechselrichtern befindet sich diese Freischnittstelle auf der DC-Seite im Wechselrichter. Der Wechselrichter ist allerdings häufig im Keller installiert, so dass auch nach dem Ausschalten die PV-Module und Teile der DC-Leitungen bis zum DC-Schalter weiterhin Gleichspannung bis zu 1.500 Volt führen. Somit steht der PV-Generator auch unter Spannung wenn die Anlage nicht in Betrieb ist. Wichtig ist dies für an der Anlage arbeitende Personen und die Feuerwehr im Einsatzfall.

3.2.2 Vorbeugung

Grundsätzlich müssen bei Errichtung einer Photovoltaikanlage das ggf. vorhandene Brandschutzkonzept sowie die geltende Bauordnung beachtet werden. Neben den allgemein anerkannten Regeln der Technik und VDE-Normen, sind die Herstellerangaben bei der Errichtung zwingend einzuhalten.

Photovoltaikanlagen sind bei der Erstinbetriebnahme u.a. nach DIN VDE 0126-23 zu prüfen. Zur Prüfung gehören bspw. Isolations-, Kurzschlussstrom-, Erdungs- und Belastungsmessungen sowie ggf. Ableitströme und dies sowohl Gleichstrom- als auch Wechselstromseitig. Darauf aufbauend sind weiterhin regelmäßig wiederkehrende Prüfungen u.a. der Schutzfunktionen und Schalter sowie Sichtprüfungen, die aber teilweise auch durch Laien vorgenommen werden können, notwendig. Monitoringsysteme können durch regelmäßige Ertragskontrollen Schäden ebenfalls sehr zeitig feststellen und dadurch einen größeren Schaden oft vermeiden. Durch die fachgerechte Installation mit anschließender Erstprüfung, sowie regelmäßig wiederkehrende Prüfungen eines unabhängigen Sachverständigen oder einer qualifizierten Elektrofachkraft, lassen sich die meisten Fehler und Mängel rechtzeitig feststellen und beheben.

Die String-Verkabelung zum Verbinden der PV-Module ist der Witterung, Sonnenstrahlung und hohen Temperaturen ausgesetzt. Die verwendeten DC-Leitungen müssen daher UV-beständig, schwer entflammbar und für hohe Betriebstemperaturen geeignet sein. Für Photovoltaikanlagen sind im Außenbereich mindestens Leitungen der Schutzklasse II mit verstärkter oder doppelter Isolierung zu verwenden. Sie müssen für eine Nennspannung von bis zu 1.000 Volt bzw. der maximalen Betriebsspannung des Wechselrichters ausgelegt sein. Bei der Verwendung von Aluminium- statt Kupferkabeln muss auf die veränderten Eigenschaften, wie die geringere Leitfähigkeit (daher Querschnitt ca. 67% höher als bei Kupfer) und die höhere Temperaturanfälligkeit (Aluminiumkabel „arbeiten“ stärker) geachtet werden. Eine mechanisch geschützte Verlegung verhindert vorzeitige Schäden durch Alterung oder mechanische Beschädigung.

Des Weiteren muss die Leitungsverkabelung induktionsarm ausgeführt werden, um u.a. die Gefahr durch Blitzeinschläge zu verringern (VDE 0100-712). Auch wenn ein Blitz nicht direkt einschlägt, kann er erhebliche Schäden an einer Solaranlage verursachen. Durch den kurzen, aber kräftigen Stromstoß entsteht auch in größerer Entfernung ein elektromagnetisches Feld, das wiederum Strom in die DC-Leitungen induziert. Dies ist durch die Vermeidung von Leiterschleifen in der gesamten Verkabelung auf dem Dach erreichbar. Hierzu sind zusätzlich Potentialausgleichsleitungen in der Nähe der Leitungen zu verlegen, um die Bildung von elektromagnetischer Induktion gering zu halten.

Sobald sich durch Teile der Photovoltaikanlage die Gebäudehöhe um mehr als 1,5 m erhöht, ist eine erneute Risikoanalyse bzgl. Blitz- und Überspannungsschutz nach VDE 0185-305-2 zu empfehlen. Ansonsten muss der Errichter nachweisen, dass die bauliche Anlage kein Blitzschutzsystem benötigt. Aber auch ohne diese Vorgabe ist die Erstellung einer Risikoanalyse mittels Blitzkugel- oder Schutzwinkel-Verfahren sinnvoll, um das Risiko u.a. für die Anlage zu minimieren.

Hierbei ist dringend auf die vorgeschriebenen Trennungsabstände zwischen der Blitzschutzanlage und den Photovoltaik-Komponenten wie Module und Verkabelung zu achten, um einen Blitzüberschlag zu verhindern. (Abbildung 3.9)



Abbildung 3.9: Trennungsabstand notwendig i.d.R. $s > 0,5-1$ m

Quelle: Obo Bettermann, Leitfaden- Umfassender Schutz für Photovoltaikanlagen S.9, 2013

Wird der Trennungsabstand zwischen Photovoltaikanlage und äußerer Blitzschutzanlage nicht eingehalten, können Blitze von der Fanganlage auf die Photovoltaikanlage überschlagen. Lassen sich die benötigten Trennungsabstände aus bautechnischen oder Platzgründen nicht einhalten, sind alle stromleitfähigen Teile der Photovoltaikanlage alle 3 Meter untereinander und mit dem Blitzschutzsystem zu verbinden. Zusätzlich müssen u.a. nach VDE 0100-712, Abschnitt 413.1.2.1 alle Kabel einen Blitzstromableiter erhalten.

Bei der Auswahl der Überspannungsschutzgeräte ist, neben den üblichen Auswahlkriterien wie der max. PV-Spannung (U_{CPV}), der höchsten Dauerspannung (U_C), dem Nennableiterstrom (I_N) und dem Schutzpegel (U_P), auch zwingend der max. Kurzschlussstrom (I_{SCPV}) des Gesamtsystems zu beachten. Entscheidend für I_{SCPV} ist I_{DCmax} des Systems, nicht des GAK. Zum Schutz der DC-Verkabelung werden i.d.R. Hochleistungsvaristoren eingesetzt. Überspannungsschutzgeräte mit sogenannter Y-Schaltung haben sich im Einsatz als fehlerresistent erwiesen. (Abbildung 3.10)

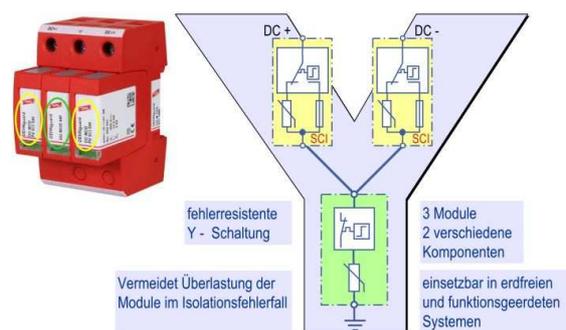


Abbildung 3.10: Überspannungsableiter Typ 2 PV in Y-Schaltung

Quelle: Dehn + Söhne, P. Zahlmann, Blitzschutz von PV-Anlagen S.41, 2011

Photovoltaikanlagen können als Dachaufbauten auch mit getrennten Fangeinrichtungen gegen direkte Blitzeinschläge geschützt werden (EN 62305-3). Dies ist sinnvoll und nach

VdS bei Anlagen ab einer gewissen Größe (>10 kWp Leistung, >15 m² Fläche) erforderlich, wenn das Gebäude keine eigene Blitzschutzanlage besitzt, aber die Gefahr durch Blitzschläge gegeben ist. Dann ist eine Blitzschutzanlage der Schutzklasse III zu errichten.

Eine Photovoltaikanlage darf eine bereits bestehende Blitzschutzanlage nicht beeinflussen. Sie muss fachgerecht auf die jeweilige Situation angepasst bzw. in die Blitzschutzanlage integriert werden. Bei der Dimensionierung des Überspannungsschutzes ist es entscheidend, ob das Gebäude eine äußere Blitzschutzanlage besitzt, oder nicht. Für ein Gebäude ohne äußere Blitzschutzanlage und ohne Freileitungseinspeisung werden in der Hauptverteilung als Basisschutz Überspannungsschutzgeräte vom Typ 2 verwendet und bei einem Gebäude mit einer äußeren Blitzschutzanlage, muss gemäß aktueller Norm DIN EN 0185-305, in oder vor der Hauptverteilung ein Überspannungsschutzgerät vom Typ 1 (Grobschutzgerät) eingesetzt werden. Wird der Trennungsabstand bei einem Gebäude mit äußerer Blitzschutzanlage nicht eingehalten, ist das PV-System direkt mit der Blitzschutzanlage zu verbinden. Wenn er eingehalten werden kann, müssen nur die induzierten Überspannungen und Schutz vor dem elektrischen Schlag beachtet werden.

Elektrische Komponenten wie Wechselrichter und Generatoranschlusskasten sollten auf feuerbeständigem Material installiert werden, um die Brandgefahr zu minimieren. Zusätzlich können die elektrischen Anlagen und Leitungswege mit Brandmeldetechnik überwacht werden. Eine flächendeckende Brandmeldeanlage oder zumindest eine Überwachung der Flure und Räume erhöhter Brandgefahr, wird bei den im Fokus stehenden Gebäuden oftmals durch die Baubehörde vorgeschrieben und wären somit häufig vorhanden.

Bei Durchdringungen von Bauteilen mit Feuerwiderstandsdauer innerhalb des Gebäudes sind fachgerechte Brandschotts zu errichten. Sinnvoll ist auch eine durchgehend gegen Feuer geschützte DC-Verkabelung im gesamten Gebäude. Feuerwiderstandsfähig sind Leitungen bspw. durch Unterputzverlegung, Brandschutzkanäle oder speziell brandhemmende Kabel. Alternativ kann auch eine Verlegung und Montage an der Außenwand des Gebäudes erfolgen, wodurch der Weg innerhalb des Gebäudes auf ein Minimum beschränkt werden kann. Grundsätzlich sind Überbauungen von Brandwänden nach Muster-Bauordnung (MBO) nicht zulässig. Falls Überbauungen von Brandwänden auf dem Dach notwendig werden, sind Brandschutzumhüllungen bzw. -kanäle zu verwenden, die auch für den Einsatz im Außenbereich geeignet sein müssen. (Abbildung 3.11)



Abbildung 3.11: Brandschutzbandage (links) und Brandschutzkanal (rechts)

Quelle: Obo Bettermann, Leitfaden- Umfassender Schutz für Photovoltaikanlagen, 2013

Eine Erdung der Unterkonstruktion und Modulrahmen ist zur Vorbeugung gegen den elektrischen Schlag vorzunehmen, sofern die Module nicht mindestens Schutzklasse II aufweisen, oder die Leerlaufspannung des Generators über 120 Volt liegt.

Ebenfalls ist bei der Errichtung von Photovoltaikanlagen, insbesondere den brennbaren PV-Modulen, der Brandschutz auf dem Dach zur Vermeidung einer Brandausbreitung bzw. Brandübertragung zu beachten. Hier gilt nach MBO und VDE 0132¹⁴, dass brennbare Dachaufbauten (PV-Anlagen) einen Mindestabstand von 2,5 m zur Brandwand einhalten müssen. Wird die Brandwand um $\geq 0,3$ m gegenüber der PV-Anlage erhöht, kann dieser Abstand auf $\geq 0,5$ m verringert werden. Des Weiteren sind Gebäude in Brandabschnitte von max. 40 x 40 m aufgeteilt, wodurch die PV-Modulreihen auf dem Dach mindestens alle 40 m eine 5 m breite Brandschneise oder Brandwand mit den aufgeführten Abständen erhalten müssen. Die Brandschneisen-Anforderung gibt es auch für andere Gebäudetypen (Giebel, kleineres Flachdach, etc.) und ergibt sich aus den Anforderungen der VDE 0132. Sie dient u.a. der Minimierung der Gefährdung der Einsatzkräfte im Brandfall. (Abbildung 3.12)

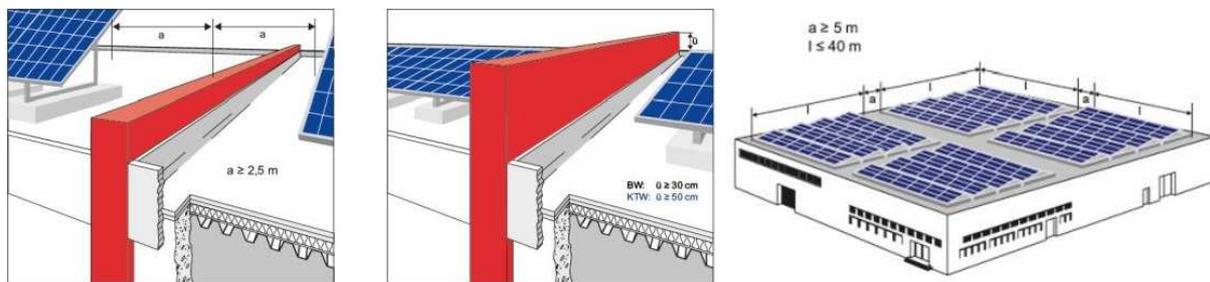


Abbildung 3.12: Brand- und Komplextrennwände auf dem Dach

Quelle: GDV, K. Callondann, Schadenfälle, Mängel und deren Vermeidung, 2014

Die aufgeführten Begrenzungen bzw. Abstände können aufgrund unterschiedlichen Bauordnungen, von Bundesland zu Bundesland verschieden sein und auch durch Sondergenehmigungen aufgehoben bzw. erhöht werden. Somit wäre dies fallabhängig zu prüfen.

Die größte Brandgefahr geht wie bereits ausgeführt von Lichtbögen aus, weshalb die Gefahr ihrer Entstehung, mittels fachgerechter Installation und ggf. Lichtbogenerkennungssensoren zwingend zu minimieren ist. In den USA ist die Lichtbogenerkennung bei Photovoltaikanlagen Vorschrift und wird vom National Electric Code (NEC) seit dem Jahr 2011 als zusätzliche Sicherheitseinrichtung vorgeschrieben. Die Technik der Lichtbogenerkennung ist noch sehr jung und anfällig, was nicht zwingend auf die Hersteller, sondern mehr auf unklare Anforderungen zurückzuführen ist. Es gibt allerdings einige Hersteller mit vielversprechenden Technologien. Der Wechselrichter-Hersteller Fonus hat im Jahr 2011 bspw. einen, in Form einer Steckkarte im Wechselrichter nachrüstbaren, Lichtbogen-Detektor zum Erkennen von Serien-Lichtbögen auf den Markt gebracht.

¹⁴ DIN VDE 0132:2012-08: Brandbekämpfung und technische Hilfeleistung im Bereich elektrischer Anlagen

Das dauerhafte Kurzschließen eines Stranges oder PV-Modules ist nicht zulässig, was darin begründet ist, dass an einer ungewollten Unterbrechung im String die Lichtbogengefahr innerhalb des kurzgeschlossenen Strings erhöht wird. Das definierte Kurzschließen von 15 s zum Löschen von Parallel-Lichtbögen ist wiederherum zulässig. Serien-Lichtbögen lassen sich recht einfach erkennen und durch Abschalten des Wechselrichters löschen, da die DC-Seite dann stromlos wird (nicht spannungsfrei), während parallele Lichtbögen nur durch einen Kurzschluss am DC-Eingang des Wechselrichters gelöscht werden können. Serien-Lichtbögen müssen vor Parallel-Lichtbögen gelöscht werden, da ein Kurzschluss einen Serien-Lichtbogen verstärken könnte. An einer Technik, die beides beherrscht und zuverlässig ist, wird derzeit geforscht.

Mit Einführung der DIN VDE 0100-712 im Juni 2006 sind Lasttrennschalter auf der DC-Seite im oder vor dem Wechselrichter und im Generatoranschlusskasten vorgeschrieben. Die Auslösung des Lasttrennschalters garantiert, dass die DC-Seite des Wechselrichters und der Wechselrichter selbst spannungslos sind. Das hohe DC-Spannungspotential liegt dann aber immer noch vom PV-Generator bis zur Freischaltstelle an. Sitzt der Wechselrichter in einem Betriebsraum im Keller, kann dieses Spannungspotential im gesamten Gebäude vorherrschen und eine Gefahr für unbeteiligte Personen und Einsatzkräfte darstellen.

Eine bessere Lösung sind eigenständige Lasttrennschalter in der Nähe der Modulfelder, wodurch das Spannungspotential noch auf einem kurzen Leitungsstück vom Dach bis zur Freischaltstelle vorherrschen kann. Solche Lasttrennschalter gibt es von unterschiedlichen Herstellern.

Die sicherste aber auch teuerste Lösung ist die Abschaltung der PV-Module direkt am Modul oder in der Anschlussdose. Hierzu hat bspw. SolarEdge im Februar 2014 einen Leistungsoptimierer herausgebracht, der an jedes Modul angeschlossen werden kann. Er regelt die Modulspannung auf 1 V pro Modul herunter und erreicht so je nach Ausführung eine sichere Stringspannung von < 48 V bis < 125 V. SolarEdge erfüllt damit nach eigenen Angaben als erster Wechselrichter-Hersteller die VDE-Anwendungsrichtlinie VDE-AR-E 2100-712¹⁵. [www.solaredge.de/groups/de/powerbox-power-optimizer]

Ebenfalls ist eine selbsttätige Freischaltstelle bzw. DC-Freischalteinrichtung vorgeschrieben. Sie löst bei einem Stromausfall aus und dient der Vermeidung von Inselbildung¹⁶. Die Anforderung umfasst auch die Sicherung gegen Wiedereinschalten. Bei Betätigung der DC-Freischalteinrichtung müssen gleichzeitig die DC-Lasttrennschalter (in der Nähe der Wechselrichter oder in sie integriert) schalten, damit keine Gefahr durch einen Entladestromstoß aus den Eingangskondensatoren der Wechselrichter entsteht.

Um die Gefahren im Einsatzfall zu minimieren hat der DGS die Erstellung von Feuerwehrlaufkarten empfohlen, sowie die aussagekräftige Kennzeichnungen an den unter Spannung stehenden Anlagenteilen.

¹⁵ VDE-AR-E 2100-712 Anwendungsregel:2013-05: Maßnahmen für den DC-Bereich einer Photovoltaikanlage zum Einhalten der elektrischen Sicherheit im Falle einer Brandbekämpfung oder technischen Hilfeleistung

¹⁶ Bei einem Stromausfall durch bspw. einen Kurzschluss speist die Photovoltaikanlage weiter unkontrolliert und unregelt ins Netz ein.

3.3 Recherche aktueller Gesetze, Normen und Richtlinien

Die Problematik des Umgangs mit Photovoltaikanlagen tritt bei Prüfsachverständigen im Rahmen von Erstabnahmen oder wiederkehrenden Prüfungen der Starkstromanlagen auf. Aufgabe der Prüfsachverständigen ist es, die Wirksamkeit und Betriebssicherheit der zu prüfenden technischen Anlagen laut Prüfverordnung festzustellen. Eine Photovoltaikanlage wäre als elektrische Anlage somit ebenfalls prüfpflichtig.

Eine Schwierigkeit für die Prüfer liegt darin, dass ihr Einsatzgebiet oftmals bundeslandübergreifend ist und in jedem Bundesland unterschiedliche Bauordnungen und Prüfverordnungen gelten. Bauordnungen und Baugenehmigungen sind Ländersache und einzelne Bundesländer haben im Laufe der Jahre Änderungen bzw. Ergänzungen für die Errichtung und den Betrieb von Photovoltaikanlagen verfasst. Im Allgemeinen ist für die Errichtung von Photovoltaikanlagen auf oder an Gebäuden nach den Bauordnungen der Länder keine Baugenehmigung notwendig. Örtliche Baubehörden haben allerdings einen Ermessensspielraum, wodurch in einigen Baugenehmigungen manchmal auch explizit die Prüfung der Photovoltaikanlage gefordert wird. Diese Problematik wird im Kapitel **3.3.1 Baurecht und Prüfverordnung** näher untersucht.

Des Weiteren sind geltende Normen und Richtlinien für technische Anlagen und Leitungsanlagen immer, auch bei genehmigungsfreien Bauvorhaben, anzuwenden. Inwieweit diese auf Photovoltaikanlagen angewendet werden können, wird im den Kapitel **3.3.2 Technische Baubestimmungen, Normen und Richtlinien** und erörtert.

Es werden ausschließlich die im Literaturverzeichnis aufgeführten Fassungen der Gesetze, Normen und Richtlinien betrachtet, soweit im Text nicht ausdrücklich auf weitere Fassungen verwiesen wird. Dies dient der Eingrenzung der Betrachtung, da Anlagen im Bestand immer gesondert, mit der zum Zeitpunkt der Errichtung geltenden Fassung, betrachtet werden müssen.

3.3.1 Baurecht und Prüfverordnung

Eine Bauordnung gilt für bauliche Anlagen¹⁷ und Bauprodukte sowie für andere Anlagen und Einrichtungen, an die in diesem Gesetz oder in Vorschriften, die auf Grund dieses Gesetzes erlassen wurden, Anforderungen gestellt werden. [§ 1 Absatz 1 MBO, Anwendungsbereich]

Sie regelt alle Bau- und Umbaumaßnahmen und enthält u.a. Bestimmungen über die Baumaßnahme, die Aufgaben der Bauaufsicht, die bautechnische Sicherheit und den Feuerschutz. Grundlage bzw. Vorlage für die Bauordnungen der Länder ist die Musterbauordnung (MBO). Die Bundesländer haben diese Vorlage durch unterschiedliche Änderungen und Ergänzungen individualisiert. In Hamburg gilt bspw. die Hamburgische Bauordnung (HBauO), in Niedersachsen die Niedersächsische Bauordnung (NBauO) und in

¹⁷ Bauliche Anlagen im Sinne der Landesbauordnungen sind mit dem Erdboden verbundene, aus Bauprodukten hergestellte Anlagen. Wenn eine Anlage eine bauliche Anlage im Sinne des Baurechts darstellt, bedarf deren Errichtung oder Änderung in der Regel einer Baugenehmigung.

Schleswig-Holstein die Landesbauordnung für das Land Schleswig-Holstein (LBO SH). Aufgrund des gesetzten Schwerpunktes werden diese drei Bundesländer betrachtet.

Die örtlich und sachlich zuständigen Behörden sind für die Überwachung, die Erlaubnis und die Einstellung der Baumaßnahmen verantwortlich und prüfen die materiell rechtlichen Voraussetzungen für die Errichtung, die Änderung und den Abbruch baulicher Anlagen. [www.bauordnungen.de]

Für die Errichtung einer baulichen Anlage stellt die Behörde eine Baugenehmigung bzw. eine Baubewilligung aus. Dort sind die Voraussetzungen, einzuhaltenden Baubedingungen und zu erbringenden Leistungen geregelt. Ebenfalls ist dort u.a. festgelegt für welche technischen Anlagen ein Prüfnachweis durch einen baurechtlich anerkannten Sachverständigen zu erbringen ist. Wie diese Prüfungen vorzunehmen sind, regeln die von der Muster-Prüfverordnung (MPrüfVO) abgeleiteten Prüfverordnungen. Aus ihnen geht hervor, in welchen Gebäuden z.B. Versammlungsstätten, Schulen oder Krankenhäusern sie Anwendung findet. Des Weiteren legt die Prüfverordnung die zu verwendenden Prüfgrundlagen wie Baugenehmigung, Bauordnung und Technische Bestimmungen sowie den Prüfumfang fest.

Photovoltaikanlagen sind im Sinne des Baurechts als „bauliche Anlagen“ zu beurteilen. Sie sind aus Bauprodukten hergestellte Einrichtungen, die mittels einer anderen baulichen Anlage mit dem Erdboden verbunden sind. Sie unterliegen somit dem öffentlichen Baurecht. [Solarenergieförderverein Bayern e. V., April 2003]

Das öffentliche Baurecht teilt sich in die formell rechtlichen und die materiellen Anforderungen auf. (*Abbildung 3.13*)

Die formell rechtlichen Anforderungen beinhalten die Baugenehmigungspflicht und die bauaufsichtliche Zulassung der Bauprodukte. Für die meisten Arten von Photovoltaikanlagen gilt die „schlichte Genehmigungsfreiheit“, welche dem Bauherrn erlaubt seine Anlage ohne Baugenehmigung bzw. behördliche Prüfung auf baurechtliche Zulassung bauen zu dürfen. Genehmigungsfreie Bauvorhaben werden in den Bauordnungen der Länder unter „Verfahrensfreie Vorhaben“ definiert. Auch bei einer Genehmigungsfreiheit muss der Bauherr das materielle Baurecht, insbesondere die baurechtlichen Vorschriften, **eigenverantwortlich** einhalten. Neben den technischen Baubestimmungen und anerkannten Regeln der Technik sind auch die zu verbauenden Produkte geregelt. Alle Bauprodukte und Bauarten müssen eine bauaufsichtliche Zulassung haben, welche durch die Bauregellisten des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) geregelt sind. Hier sind u.a. Photovoltaik-Module aufgeführt, die unter vorgegebenen Voraussetzungen ohne zusätzlichen Verwendbarkeitsnachweis eingesetzt werden dürfen. Bauprodukte die dort nicht aufgeführt sind, bedürfen einer Zustimmung im Einzelfall.

Die materiell rechtlichen Anforderungen gliedern sich in das Bauplanungsrecht, das Bauordnungsrecht sowie das Baunebenrecht. Das Bauplanungsrecht, geregelt vor allem im Baugesetzbuch (BauGB), setzt sich u.a. mit der grundsätzlichen Zulässigkeit von baulichen Anlagen auseinander. Das Bauordnungsrecht, geregelt vor allem in den Bauordnungen,

beschäftigt sich überwiegend mit sicherheitsrechtlichen Fragen und das Baunebenrecht insbesondere mit dem Denkmalschutzrecht.

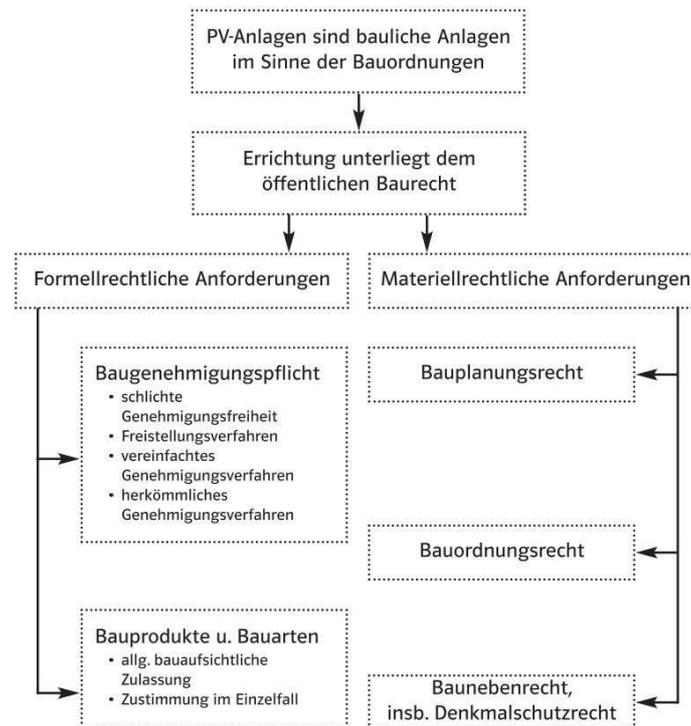


Abbildung 3.13: Rechtliche Anforderungen beim Bau einer Photovoltaikanlage

Quelle: Solarenergieförderverein Bayern, Genehmigung von Photovoltaikanlagen S.3, 04.2003

Im Folgenden werden die Gesetzesauszüge betrachtet, welche sich nach Ansicht des Verfassers auf eine Photovoltaikanlage übertragen lassen und somit Anwendung finden.

Hansestadt Hamburg (HBauO vom 14.12.2005 / PVO vom 14.02.2006)

In Hamburg gilt die HBauO in der Fassung vom 14. Dezember 2005 [eingeführt im Hamburgischen Gesetz- und Verordnungsblatt Nr. 44 (HmbGVBl.)].

- Die **Genehmigungsfreiheit** gilt für **Solarenergieanlagen und Sonnenkollektoren in und an Dach- und Außenwandflächen** sowie gebäudeunabhängig mit einer Höhe bis zu 3,0 m und einer Gesamtlänge bis zu 9,0 m. [§ 60 HBauO, Verfahrensfreie Vorhaben, Verweis auf Anlage 2, Punkt 2.2]

Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass nur Freiflächenanlagen und Solarparks mit einer Länge größer 9 m und einer Höhe bis zu 3 m einer Genehmigung durch die Baubehörde bedürfen.

Zusätzlich ist für Gebäude die unter Denkmalschutz stehen nach Denkmalschutzgesetz (§ 9 DSchG, Genehmigungsvorbehalt für Veränderungen von Denkmälern) ebenfalls immer eine Genehmigung der zuständigen Behörde einzuholen.

- *Die von der Bauaufsichtsbehörde durch öffentliche Bekanntmachung als Technische Baubestimmungen eingeführten technischen Regeln sind zu beachten. [§ 3 Absatz 3 HBauO, Allgemeine Anforderungen]*

Zu den technischen Baubestimmungen zählen sämtliche allgemein anerkannten Richtlinien, Normen und Regeln, welche u.a. beim Deutschen Institut für Bautechnik einzusehen sind. Unter **3.3.2 Technische Baubestimmungen, Normen** werden die Normen, welche speziell auf eine Photovoltaikanlage anwendbar sind, näher betrachtet. Die „*Verordnung über Prüferinnen und Prüfer, Prüfsachverständige und Technische Prüfungen (Prüfverordnung - PVO)*“, auf die später noch eingegangen wird, zählt ebenfalls zu den technischen Baubestimmungen.

- *Bauteile müssen auch im Brandfall ausreichend lange standsicher sein und dürfen die Standsicherheit anderer baulicher Anlagen [...] nicht gefährden. [§ 15 Absatz 1 HBauO, Standsicherheit]*
- *Bauliche Anlagen müssen so angeordnet, beschaffen und gebrauchstauglich sein, dass durch Wasser, Feuchtigkeit, pflanzliche und tierische Schädlinge sowie andere chemische, physikalische oder biologische Einflüsse Gefahren [...] nicht entstehen können. [§ 16 HBauO, Schutz gegen schädliche Einflüsse]*

Technische Anlagen, wozu auch eine Photovoltaikanlage gehört, müssen standsicher aufgebaut und vor äußeren Einflüssen geschützt werden. Dies impliziert u.a. die Verwendung geeigneter korrosionsfester Leitungen und Verbinder im Außenbereich, sowie den Schutz der Außenhaut des Gebäudes vor der installierten Technik.

- *Bauliche Anlagen sind so anzuordnen, zu errichten, zu ändern und instand zu halten, dass der Entstehung eines Brandes und der Ausbreitung von Feuer und Rauch (Brandausbreitung) vorgebeugt wird und bei einem Brand die Rettung von Menschen und Tieren sowie wirksame Löscharbeiten möglich sind. [§ 17 HBauO, Brandschutz]*

Hier gilt es bei der Installation von Technik die baulichen Richtlinien wie Brandabschnitte, Brandwände, Fluchtwege, Leitungsführung und Brandschotts zu beachten. Die Leitungsanlagen-Richtlinie (LAR) definiert diese Anforderungen genauer.

- *Oberflächen von Außenwänden sowie Außenwandbekleidungen müssen einschließlich der Dämmstoffe und Unterkonstruktionen schwer entflammbar sein [...]. [§ 26 Absatz 3 HBauO, Außenwände]*

Die Anforderung an Außenwände gilt nicht für Gebäude mit einer Höhe bis zu 7 Meter oder freistehende land- und forstwirtschaftlich genutzte Gebäude. Zu beachten ist dies, wenn PV-Module auf einer Fassade montiert oder als Gebäudeintegrierte Photovoltaik (BIPV) in sie integriert werden. Bei der Integration von PV-Elementen in die Fassade, müssen sie auch die Anforderung „Harte Bedachung“ erfüllen.

- *Bedachungen müssen gegen eine Brandbeanspruchung von außen durch Flugfeuer und strahlende Wärme ausreichend lange widerstandsfähig sein (harte Bedachung). [§ 30 Absatz 1 HBauO, Dächer]*

Die Anforderung gilt nicht für Gebäude mit einer Höhe bis zu 7 Meter oder freistehende land- und forstwirtschaftlich genutzte Gebäude, sofern sie die Anforderungen nach § 30 Absatz 2, 3 oder 4 HBauO erfüllen. Bedachungen müssen nach DIN 4102 oder DIN EN 13501-3 gegen Flugfeuer von außen oder strahlende Wärme ausreichend lange widerstandsfähig sein. In der DIN 4102-4 „Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile“ werden diese Anforderungen sehr detailliert aufgeführt.

Normale PV-Module können diese Anforderungen nicht erfüllen. Hierzu müssten sie bspw. aus Materialien der Baustoffklasse A bestehen oder in Verbindung mit anderen schwer entflammaren Materialien installiert werden. Allerdings bilden auf dem Dach installierte PV-Module auch keine Dachhaut, sofern sie auf der Gebäude-Dachhaut aufgestellt werden. Als zusätzlicher technischer Baukörper sind sie damit kein Bestandteil des Daches.

Anders verhält es sich, wenn die PV-Module als BIPV-Technologie ausgeführt werden. Diese wird anstelle der Dachhaut eingesetzt (integrativ) und übernimmt somit auch deren Funktion und Anforderungen. Wie BIPV-Fassadenelemente erfüllen in die Dachhaut integrierte BIPV-Elemente normalerweise die Anforderung an eine harte Bedachung.

- *Dachüberstände, Dachgesimse und Dachaufbauten [...] sind so anzuordnen und herzustellen, dass Feuer nicht auf andere Gebäudeteile und Nachbargrundstücke übertragen werden kann.
Von Brandwänden und von Wänden, die anstelle von Brandwänden zulässig sind, müssen mindestens 1,25 m entfernt sein
[...]*
 2. *Dachgauben und ähnliche Dachaufbauten aus brennbaren Baustoffen, wenn sie nicht durch diese Wände gegen Brandübertragung geschützt sind.
[§ 30 Absatz 5 Satz 1 und 2 HBauO, Dächer]*

Aus diesem Absatz geht hervor, dass die Bauteile der Photovoltaikanlage, insbesondere die PV-Module, einen Mindestabstand von 1,25 m zu Brandwänden einhalten müssen. In der MBO wurde dieser Paragraph zusätzlich um Solaranlagen erweitert.

- *Bauteile mit brennbaren Baustoffen dürfen über Brandwände nicht hinweg geführt werden. [§ 28 Absatz 7 Satz 1 HBauO, Brandwände]*

Hier ist klar geregelt, dass u.a. die String-Verkabelung (DC-Verkabelung) nicht über Brandwände geführt werden darf.

- *Leitungen dürfen durch Raum abschließende Bauteile, für die eine Feuerwiderstandsfähigkeit vorgeschrieben ist, nur hindurchgeführt werden, wenn eine Brandausbreitung ausreichend lange nicht zu befürchten ist oder Vorkehrungen hiergegen getroffen sind. [§ 39 Absatz 1 HBauO, Leitungsanlagen, Installationsschächte und -kanäle]*
- *In notwendigen Treppenträumen, in Räumen nach § 33 Absatz 3 Satz 3 und in notwendigen Fluren sind Leitungsanlagen nur zulässig, wenn eine Nutzung als*

Rettungsweg im Brandfall ausreichend lange möglich ist. [§ 39 Absatz 2 HBauO, Leitungsanlagen, Installationsschächte und –kanäle]

Diese Regelungen für Leitungsanlagen bzw. Verkabelung sind ebenfalls u.a. eingehender in der Leitungsanlagen-Richtlinie beschrieben. Hierzu zählt u.a. die Leitungsführung durch die aufgeführten Räume sowie durch/über Brandwände oder sonstige Bauteile mit Feuerwiderstandsdauer im Gebäude oder auf dem Dach.

- *Elektrische Anlagen müssen dem Zweck und der Nutzung der baulichen Anlagen entsprechend ausgeführt sowie betriebssicher und brandsicher sein. [§ 43a Absatz 1 HBauO, Elektrische Anlagen und Blitzschutzanlagen]*
- *Bauliche Anlagen, bei denen nach Lage, Bauart oder Nutzung Blitzschlag leicht eintreten oder zu schweren Folgen führen kann, sind mit dauernd wirksamen Blitzschutzanlagen zu versehen. [§ 43a Absatz 2 HBauO, Elektrische Anlagen und Blitzschutzanlagen]*

Photovoltaikanlagen erhöhen im Allgemeinen nicht die Wahrscheinlichkeit eines direkten Blitzeinschlages, sofern sie nach den Richtlinien der Hersteller installiert werden. Trotzdem muss die Anlage bei Errichtung auf einem öffentlichen Gebäude, sämtliche Blitzschutz-Normen und Normen zur elektrischen Sicherheit erfüllen. Hierzu sollte eine Blitzschutzfachkraft nach VDE 0185-305 konsultiert werden. [Expertenkommission "Brandschutzgerechte Planung, Installation und Betrieb von PV-Anlagen", Februar 2011]

- *Die Einhaltung der Anforderungen an die Standsicherheit, den Brandschutz einschließlich der hierfür bedeutsamen Anlagen der technischen Gebäudeausrüstung [...] ist für **genehmigungs- und zustimmungsbedürftige Vorhaben** nach näherer Maßgabe der Verordnung auf Grund § 81 Absatz 6 nachzuweisen (bautechnische Nachweise). Zu den für den Brandschutz bedeutsamen Anlagen der technischen Gebäudeausrüstung gehören insbesondere [...] Starkstromanlagen [...]. [§ 68 HBauO, Bautechnische Nachweise und ihre Prüfung]*
- *Zur Verwirklichung der in § 3 bezeichneten allgemeinen Anforderungen wird der Senat ermächtigt, durch Rechtsverordnung Vorschriften zu erlassen über: (6) **Erst-, Wiederholungs- und Nachprüfung von Anlagen**, die zur Verhütung erheblicher Gefahren oder Nachteile **ständig ordnungsgemäß unterhalten** werden müssen, und **die Erstreckung** dieser Nachprüfungspflicht **auf bestehende Anlagen** [...]. [§ 81 Absatz 1 HBauO, Rechtsverordnungen]*
- *Der Senat wird ermächtigt, durch Rechtsverordnung Vorschriften zu erlassen über **Prüfingenieurinnen und Prüfingenieure**, denen im Auftrag der Bauaufsichtsbehörde **bauaufsichtliche Prüfaufgaben und Aufgaben der Bauüberwachung** übertragen werden können. [§ 81 Absatz 9 HBauO, Rechtsverordnungen]*

Aus § 68 HBauO geht klar hervor, dass Photovoltaikanlagen, sofern sie einer Genehmigungspflicht bedürfen, bautechnisch zu prüfen sind. Sie haben somit bei ihrer Errichtung sämtlichen relevanten Regelungen des öffentlichen Baurechts zu genügen.

Im Falle der Neuerrichtung eines Gebäudes regelt die HBauO recht eindeutig wie mit einer Photovoltaikanlage umzugehen ist. Sie ist eine elektrische bzw. technische Anlage und wäre somit im Rahmen der Erstabnahme der Allgemeinen Starkstromanlage durch einen Prüfsachverständigen nach PVO ebenfalls zu prüfen. Wie es im Falle einer genehmigungsfreien Anlage aussieht, die ein Prüfsachverständiger im Rahmen einer wiederkehrenden Prüfung vorfindet, geht hier nur indirekt aus dem Kontext „[...] Anlagen, die zur Verhütung erheblicher Gefahren oder Nachteile ständig ordnungsgemäß unterhalten werden müssen [...]“ hervor.

In Hamburg gilt die „Verordnung über Prüfsachverständigen und Prüfingenieure, Prüfsachverständige und Technische Prüfungen (Prüfverordnung – PVO)“ vom 14. Februar 2006 mit den jeweils aktuellen Änderungen. Wie bereits festgestellt gehört sie nach § 3 Absatz 3 HBauO zu den technischen Baubestimmungen und regelt die Prüfung der technischen Anlagen nach § 81 Absatz 1 Nummer 6 sowie Absätze 8, 9 und 10 HBauO. Die PVO stellt die Basis der Prüfsachverständigen bzw. Prüfingenieure dar.

- *Zur Einhaltung der Anforderungen nach §§ 3 und 17 HBauO sind die im Folgenden genannten Anlagen durch Prüfsachverständige für technische Anlagen und Einrichtungen auf ihre Wirksamkeit und Betriebssicherheit zu prüfen:
[...]
8. Starkstromanlagen einschließlich der Sicherheitsstromversorgung.
[§ 14 Absatz 1 PVO, Prüfbereiche]*
- *Technische Anlagen und Einrichtungen gemäß Absatz 1 sind zu prüfen in*
 1. *Verkaufsstätten im Sinne des § 1 der Verkaufsstättenverordnung vom 5. August 2003 (HmbGVBl. S. 413) in der jeweils geltenden Fassung,*
 2. *Versammlungsstätten im Sinne des § 1 der Versammlungsstättenverordnung vom 5. August 2003 (HmbGVBl. S. 420) in der jeweils geltenden Fassung,*
 3. *Krankenhäusern, Pflegeheimen und Stätten mit vergleichbarer Nutzung,*
 4. *Beherbergungsstätten im Sinne des § 1 der Beherbergungsstättenverordnung vom 5. August 2003 (HmbGVBl. S. 448) in der jeweils geltenden Fassung ab 60 Betten,*
 5. *Hochhäusern im Sinne des § 2 Absatz 4 Nummer 1 HBauO, Gebäude von Anlagen des öffentlichen nicht schienengebundenen Verkehrs, die für die gleichzeitige Anwesenheit von mehr als 600 Personen bestimmt sind,*
 6. *geschlossene Großgaragen im Sinne des § 2 Absatz 3 Nummer 3 und Absatz 8 der Garagenverordnung vom 17. April 1990 (HmbGVBl. S. 75), geändert am 29. November 1994 (HmbGVBl. 1994 S. 301, 1995 S. 17), in der jeweils geltenden Fassung,*
 7. *allgemein bildenden und berufsbildenden Schulen,*
 8. *Hallenbauten mit industrieller oder gewerblicher Nutzung mit einer Geschossfläche von mehr als 2.000 m² und*
 9. *Tageseinrichtungen für Kinder,*

wenn sie bauordnungsrechtlich gefordert oder soweit an sie bauordnungsrechtliche Anforderungen hinsichtlich des Brandschutzes gestellt werden. [§ 14 Absatz 2 PVO, Prüfbereiche]

Nach § 14 PVO sind u.a. Starkstromanlagen in den unter Absatz 2 aufgeführten Einrichtungen prüfpflichtig, sofern es baurechtlich gefordert wird oder bauordnungsrechtliche Anforderungen an den Brandschutz gestellt werden.

- *Die Prüfungen nach § 14 sind vor der ersten Inbetriebnahme der baulichen Anlagen, unverzüglich nach einer wesentlichen Änderung der technischen Anlagen und Einrichtungen sowie jeweils innerhalb einer Frist von drei Jahren (wiederkehrende Prüfungen) durchführen zu lassen. [§ 15 Absatz 1 Satz 1 PVO, Verfahren der Prüfung]*
- *Die Bauherrin oder der Bauherr gemäß § 54 HBauO hat die Prüfungen in Fällen der ersten Inbetriebnahme und nach wesentlichen Änderungen vor der Wiederinbetriebnahme zu veranlassen; die Betreiberin oder der Betreiber in den übrigen Fällen. [§ 15 Absatz 2 Satz 2 PVO, Verfahren der Prüfung]*

Nach § 15 PVO ist nach einer wesentlichen Änderung der Starkstromanlage, bei den unter § 14 Absatz 2 PVO aufgeführten Einrichtungen, unverzüglich eine Prüfung durchzuführen. Eine Photovoltaikanlage ist nach Auffassung des Verfassers eine wesentliche Erweiterung der allgemeinen Starkstromanlage, welche zu erheblichen Gefahren oder Nachteilen siehe § 81 Absatz 1 HBauO führen kann.

Demnach wäre durch den Betreiber bzw. Bauherrn gemäß § 54 HBauO eine Prüfung zu veranlassen.

- *Die eingeführten Grundsätze für die Prüfung technischer Anlagen und Einrichtungen sind durch die Prüfsachverständigen zu beachten. [§ 15 Absatz 6 Satz 2 PVO, Verfahren der Prüfung]*

Die Prüfgrundsätze dienen der Prüfung technischer Anlagen mit dem Ziel die Wirksamkeit und Betriebssicherheit zur Erreichung des baurechtlich geforderten Schutzziels festzustellen. In Hamburg werden sie in den „Grundsätze[n] für die Prüfung technischer Anlagen und Einrichtungen entsprechend der Prüfverordnung - PVO durch Prüfsachverständige“ in der Fassung vom Januar 2009 detailliert aufgeführt.

Im Teil F, Elektrische Anlagen werden die für die Prüfung wichtigen Punkte hinsichtlich Sicht- und Zustandsprüfungen der Gesamtanlage und Verteiler, der Kabel- und Leitungsanlagen, Kabel- und Leitungsschottungen sowie der Betriebsmittel beschrieben. Dieser spezifizierte Teil ist allerdings nur bedingt auf eine Photovoltaikanlage anwendbar, da er sich hauptsächlich mit Anlagen und Geräte mit Wechselspannung beschäftigt. Hier kann wiederherum der Teil 1 der Grundsätze Prüfgrundlagen, Gemeinsamer Teil herangezogen werden, in welchem die Prüfgrundlagen definiert sind. Neben der HBauO und der Baugenehmigung wird dort auf die eingeführten Technischen Baubestimmungen, Sonderbauverordnungen, die allgemein anerkannten Regeln der Technik sowie die Leitungsanlagen-Richtlinie verwiesen.

Bezugnehmend auf die aufgeführten Punkte der HBauO sowie der PVO geht aus Sicht des Verfassers eindeutig hervor, dass eine Photovoltaikanlage als Teil der Starkstromanlage

prüfpflichtig ist, sofern die Starkstromanlage ebenfalls prüfpflichtig ist. Des Weiteren ist vom Betreiber bzw. Bauherrn auch ohne Genehmigungspflicht eine Prüfung der Photovoltaikanlage vor der Inbetriebnahme zu veranlassen. Dies betrifft sämtliche unter § 14 Absatz 2 PVO aufgeführten öffentlichen Einrichtungen wie Schulen, Hochschulen, Hochhäuser oder Krankenhäuser in denen baurechtlich Erst- und Wiederholungsprüfungen der Starkstromanlage gefordert sind.

Schleswig Holstein (LBO SH vom 22.01.2009 / PrüfVO vom 10.11.2009)

In Schleswig Holstein gilt die Landesbauordnung für das Land Schleswig Holstein in der Fassung vom 22. Januar 2009.

- Die **Genehmigungsfreiheit** gilt für Anlagen der technischen Gebäudeausrüstung: **Solarenergieanlagen und Sonnenkollektoren in und an Dach- und Außenwandflächen** sowie gebäudeunabhängig mit einer Höhe bis zu 2,75 m und einer Gesamtlänge bis zu 9 m, soweit sie nicht an Kulturdenkmalen oder im Umgebungsschutzbereich von Kulturdenkmalen angebracht oder aufgestellt werden. [§ 63 Absatz 2 Satz 2 LBO SH, Verfahrensfreie Bauvorhaben, Beseitigung von Anlagen]

Wie bei der HBauO kann gefolgert werden, dass nur Freiflächenanlagen und Solarparks mit einer Länge größer 9 m und einer Höhe bis zu 2,75 m sowie Photovoltaikanlagen an Kulturdenkmalen oder im Umgebungsschutzbereich von Kulturdenkmälern einer Genehmigung durch die Baubehörde bedürfen.

- Die von der obersten Bauaufsichtsbehörde durch öffentliche Bekanntmachung als **Technische Baubestimmungen eingeführten technischen Regeln sind zu beachten.** [§ 3 Absatz 3 LBO SH, Allgemeine Anforderungen]

Zu den Technischen Baubestimmungen gehören neben den allgemein gültigen Normen und anerkannten Regeln der Technik auch die in Schleswig-Holstein gültige Prüfverordnung (PrüfVO).

Die weiteren Paragraphen der LBO lehnen sich wie die HBauO größtenteils an die Musterbauordnung an, weshalb nicht weiter auf sie eingegangen wird.

Die PrüfVO regelt ebenso wie die PVO in Hamburg die Erst-, Wiederholungs- und Nachprüfungen der Anlagen die ständig ordnungsgemäß unterhalten werden müssen. Aufgrund des § 83 Absatz 1 LBO Schleswig Holstein „Verordnungsermächtigungen“ gilt die „Landesverordnung über die Prüfung technischer Anlagen und Einrichtungen nach dem Bauordnungsrecht (Prüfverordnung – PrüfVO)“ in der Fassung vom 10.11.2009 in Verbindung mit den „Grundsätze[n] für die Prüfung Technischer Anlagen entsprechend der Prüfverordnung durch bauaufsichtlich anerkannte Prüfsachverständige“ in der Fassung vom 21. Oktober 2013.

Unter § 2 PrüfVO „Prüfungen“ ist die allgemeine Starkstromanlage nicht als prüfpflichtige technische Anlage oder Einrichtung aufgeführt. Sie ist somit in Schleswig Holstein nicht

prüfpflichtig. Photovoltaikanlagen müssen daher, ebenso wie andere technische Anlagen neben den Anforderungen der Bauordnung den allgemein anerkannten Regeln der Technik entsprechen, aber nicht durch anerkannte Prüfsachverständige abgenommen werden.

Niedersachsen (NBauO vom 03.04.2012 / DVO-NBauO vom 26.09.2012)

In Niedersachsen gilt die NBauO in der Fassung vom 03. April 2012.

- Die **Genehmigungsfreiheit** gilt für **Solarenergieanlagen und Sonnenkollektoren mit nicht mehr als 3 m Höhe und mit nicht mehr als 9 m Gesamtlänge, außer im Außenbereich, sowie in, an oder auf Dach- oder Außenwandflächen von Gebäuden, die keine Hochhäuser sind, angebrachte Solarenergieanlagen und Sonnenkollektoren.** [§ 60 Absatz 1 NBauO, Verfahrensfreie Vorhaben, Abbruchanzeige, Verweis auf Anhang, Punkt 2.3]

In Niedersachsen bedürfen somit ebenfalls nur Freiflächenanlagen und Solarparks einer Baugenehmigung. Zusätzlich ist die Genehmigungsfreiheit von Photovoltaikanlagen auf Gebäude beschränkt, die keine Hochhäuser sind. Als Hochhäuser gelten nach § 2 Absatz 3 NBauO [...] Gebäude, bei denen der Fußboden mindestens eines Aufenthaltsraumes mehr als 22 m über der Geländeoberfläche liegt.

- *Soweit es erforderlich ist, um die Erfüllung der Anforderungen nach § 3 zu sichern, kann die Bauaufsichtsbehörde eine regelmäßige Überprüfung von baulichen Anlagen oder von Teilen baulicher Anlagen durch die Bauaufsichtsbehörde oder durch Sachkundige oder Sachverständige vorschreiben und Art, Umfang, Häufigkeit und Nachweis der Überprüfung näher regeln, soweit dies nicht durch Verordnung nach § 82 Abs. 1 Nr. 5 geregelt ist.* [§ 78 NBauO, Regelmäßige Überprüfung]

Die regelmäßigen Prüfungen von baulichen Anlagen oder Teilen baulicher Anlagen durch Sachverständige regelt die Durchführungsverordnung DVO-NBauO.

Weitere Anforderungen an bauliche und technische Anlagen decken sich ebenso wie die LBO SH größtenteils mit der Musterbauordnung.

In Niedersachsen gilt die „Allgemeine Durchführungsverordnung zur Niedersächsischen Bauordnung (DVO-NBauO)“ vom 26.09.2012. Unter § 30 DVO-NBauO „Regelmäßige Überprüfung technischer Anlagen“ werden die prüfpflichtigen technischen Anlagen aufgeführt. Die allgemeine Starkstromanlage ist hier wie bei der PrüfVO nicht aufgeführt und somit ebenfalls nicht prüfpflichtig.

Gesetzliche Richtlinien ergänzend zur Bauordnung

Des Weiteren gibt es für spezielle Einrichtungen wie z.B. Schulen, Betriebs- oder Versammlungsstätten eigene Verordnungen, durch die sich zusätzliche Anforderungen ergeben können. Hierzu zählen die Muster-Industriebau-Richtlinie (MIndBauRL), die Muster-Schulbau-Richtlinie (MSchulbauR), die Muster-Hochhaus Richtlinie (MHHR), die Muster-Versammlungsstättenverordnung (MVStättVO) sowie die Verordnung über den Bau von

Betriebsräumen für elektrische Anlagen (EltBauVO). Aus der MSchulbauR geht bspw. hervor, dass Schulen immer eine Blitzschutzanlage haben müssen.

Abgesehen von den klaren Regelungen seitens der Prüfverordnungen, können die örtlichen Baubehörden bspw. für spezielle Gebäude oder Einrichtungen mit erhöhtem Sicherheitsanspruch in der Baugenehmigung die Abnahme unterschiedlicher technische Anlagen fordern. Dies wird in Niedersachsen nach Erfahrung des Verfassers z.T. in Schuleinrichtungen umgesetzt.

Grundsatzurteil bei Photovoltaikanlagen bzgl. Nutzungsänderung

Nach dem Urteil des Oberverwaltungsgerichts Münster, NRW im September 2010 führte die Errichtung einer Photovoltaikanlage auf dem Dach einer Reithalle zu einer Nutzungsänderung des Gebäudes im Sinne des Baurechts. [Solaranlagen auf Gebäuden nach der Entscheidung des OVG NRW v. 20.09.2010, 2010]

Das Gericht entschied, dass die Genehmigungsfreiheit für Photovoltaikanlagen nur dann greift, wenn mit der Errichtung der Anlage keine Nutzungsänderung einhergeht. Die Nutzungsänderung ergab sich, da der erzeugte Strom nicht selbst genutzt, sondern überwiegend¹⁸ ins öffentliche Netz eingespeist wurde. Hierdurch erhielt die Reithalle eine zusätzliche gewerbliche Nutzung. Somit ist die Errichtung einer netzgekoppelten Photovoltaikanlage nur genehmigungsfrei, wenn der erzeugte Strom überwiegend privat verbraucht wird.

Nach Auffassung des Verfassers gilt nach diesem Urteil die Genehmigungsfreiheit von Photovoltaikanlagen **ausschließlich** für private Betreiber, die den erzeugten Solarstrom überwiegend selbst verbrauchen. Sobald der Solarstrom überwiegend ins öffentliche Stromnetz eingespeist und der Betreiber dadurch zum Gewerbetreibenden wird, oder ein „Unternehmen“ die Photovoltaikanlage betreibt, ergibt sich eine Nutzungsänderung des Gebäudes und die Anlage wäre somit genehmigungspflichtig.

In Nordrhein- Westfalen löste der Bauminister Harry Voigtsberger dieses Problem per Erlass. Der Erlass regelt, dass *„bestehende Anlagen auf Wohngebäuden Energie im Regelfall überwiegend für den Eigenbedarf produzieren und somit als untergeordnete Nebenanlagen in allen Gebieten zulässig sind“*. In den Fällen mit überwiegender Einspeisung ins öffentliche Stromnetz und somit auch bei öffentlichen Einrichtungen muss also trotz Genehmigungsfreiheit ein Bauantrag gestellt werden.

Dies gilt auch in Niedersachsen und Schleswig Holstein (§ 68 Abs. 1 LBO SH), sofern die Einrichtungen bzw. Gebäude nicht nach jeweiliger Landesbauordnung davon ausgenommen sind. [Stiftung Warentest, 2011], [Czycholl, 2011]

¹⁸ Überwiegend bedeutet hierbei, dass mehr als 50 Prozent des erzeugten Stroms ins öffentliche Stromnetz eingespeist werden.

3.3.2 Technische Baubestimmungen, Normen und Richtlinien

Bauordnungen und Prüfverordnungen treffen keine expliziten Aussagen zu Photovoltaikanlagen. Die Musterbauordnung (MBO) bezieht sich unter § 3 Absatz 3 MBO allerdings darauf, dass bei der Errichtung von technischen Anlagen die technischen Baubestimmungen verbindlich beachtet werden müssen. Vom DIBt werden hierzu regelmäßig aktualisierte Muster-Listen der Technischen Baubestimmungen herausgegeben. Ergänzend für das Thema Photovoltaikanlagen wurde die Hilfestellung „*Hinweise für die Herstellung, Planung und Ausführung von Solaranlagen*“ veröffentlicht. [DIBt Deutsches Institut für Bautechnik, Juli 2012]

In der Hilfestellung des DIBt wird darauf hingewiesen, dass auch bei einer verfahrensfreien Anlage u.a. die Standsicherheit (§ 12 MBO), der Schutz gegen schädliche Einflüsse (§ 13 MBO), der Brandschutz (§ 14 MBO) sowie den Wärme-, Schall- und Erschütterungsschutz (§ 15 MBO) eingehalten werden müssen. Die verwendeten Bauprodukte wie PV-Module, Montagesysteme und deren Befestigungsmittel müssen in den beim DiBt geführten Bauregellisten (BRL) geregelt sein (§ 17 MBO). Nicht geregelte Bauprodukte bedürfen einem allgemeinen bauaufsichtlichen Prüfzeugnis oder einer „Zustimmung im Einzelfall“.

PV-Module die in der Bauregelliste beschrieben sind, dürfen unter gewissen Voraussetzungen ohne Verwendbarkeitsnachweis eingesetzt werden.

Hierzu zählen PV-Module nach Bauregelliste B Teil 2 Nr. 1.5.4.1:

- CE-Kennzeichnung nach der Richtlinie 2006/95/EG bzw. Zertifizierung nach DIN EN 61215¹⁹, DIN EN 61464²⁰ sowie DIN EN 61730²¹
- Verwendung im Dachbereich mit einer Dachneigung ≤ 75 Grad
- Als Freilandanlagen im öffentlich unzugänglichen Bereich (eingezäunt)
- Modulfläche bis zwei Quadratmeter mit mechanisch gehaltener Glasdeckfläche
- Bei Anforderung „schwerentflammbar“ oder „nicht brennbar“ ist das Brandverhalten nachzuweisen

PV-Module nach Bauregelliste B Teil 2 Nr. 1.5.4.2:

- Ohne Glasdeckfläche (z.B. Kunststoffbahnen mit integrierten PV-Modulen)
- Verwendung im Dachbereich
- Bei Anforderung „schwerentflammbar“ oder „nicht brennbar“ ist das Brandverhalten nachzuweisen

und PV-Module als Fassadenelemente nach Bauregelliste C Nr. 2.1:

- Kleinformatische Fassadenelemente ($\leq 0,4$ m² Fläche und ≤ 5 kg Eigenlast)

¹⁹ DIN EN 61215:1996-10: Terrestrische Photovoltaik-(PV)Module mit Silizium-Solarzellen, Bauarteignung und Bauartzulassung

²⁰ DIN EN 61464:1998-03: Terrestrische Dünnschicht-Photovoltaik-(PV)Module – Bauarteignung und Bauartzulassung

²¹ DIN EN 61730: Photovoltaik (PV)-Module - Sicherheitsqualifikation

- Brettformatige Fassadenelemente ($\leq 0,3$ m Breite und Unterstützungsabstände durch Unterkonstruktion von $\leq 0,8$ m)

Sobald PV-Module von den aufgeführten Modulen abweichen, benötigen sie nach Bauregelliste B Teil 2 Nr. 1.5.4.3 eines Verwendbarkeitsnachweises durch eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung.

Montagesysteme dürfen ohne zusätzlichen Verwendbarkeitsnachweis eingesetzt werden, wenn sie bei Ausführung als Stahl- oder Aluminiumkonstruktion den Eurocodes DIN EN 1993-1²² und DIN EN 1999-1²³ und den Ausführungsnormen DIN EN 1090-2²⁴ und DIN EN 1090-3²⁵ entsprechen.

Eine bauaufsichtliche Zulassung für Montagesysteme ist erforderlich (ausgenommen Bauprodukte nach Bauregelliste C Nr. 5.8), wenn:

- die Tragfähigkeit von Metallkonstruktionen im Versuch ermittelt wird,
- relevante Teile des Montagesystems aus Kunststoffbauteilen bestehen,
- die Montageträger oder Aussteifungselemente des PV-Moduls geklebt sind.

Befestigungsmittel für Montagesysteme zur Verankerung und Befestigung von Solaranlagen an dem Gebäude oder Fundament (Schrauben, Dübel, Ankerschienen usw.) bedürfen einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung, sofern der Nachweis nicht basierend auf eingeführten Normen rechnerisch geführt werden kann. Befestigungen durch eine adhäsive Verbindung (Verklebung/Verschweißung) mit der Dachhaut benötigen eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung.

Um den Brandschutzanforderungen zu entsprechen, müssen Photovoltaikanlagen aus normalentflammbaren Baustoffen bestehen (§ 26 Abs. 1 MBO). Die brennbaren Bauteile der Anlage dürfen nicht über Brandwände hinweg geführt werden und bei in der Fassade oder im Dach integrierten Anlagen ist die Anforderung nach „harter Bedachung“ zu erfüllen.

Darüber hinaus gelten standardmäßig die für elektrische Anlagen gültigen Normen, sowie die allgemein anerkannten Regeln der Technik. Dies fordert neben den jeweiligen Landesbauordnungen und Prüfverordnungen u.a. auch das Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) in der Fassung vom 04. Juli 2005.

- *Energieanlagen sind so zu errichten und zu betreiben, dass die technische Sicherheit gewährleistet ist. Dabei sind vorbehaltlich sonstiger Rechtsvorschriften die allgemein anerkannten Regeln der Technik zu beachten.* [§ 49 Absatz 1 EnWG, Anforderungen an Energieanlagen]

²² DIN EN 1993-1:2010-12: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau

²³ DIN EN 1999-1:2010-5: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken – Allgemeine Bemessungsregeln

²⁴ DIN EN 1090-2:2008-12: Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken – Teil 2: Technische Regeln für die Ausführung von Stahltragwerken

²⁵ DIN EN 1090-3:2008-09: Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken – Teil 3: Technische Regeln für die Ausführung von Aluminiumtragwerken

- *Die Einhaltung der allgemein anerkannten Regeln der Technik wird vermutet, wenn bei Anlagen zur Erzeugung, Fortleitung und Abgabe von Elektrizität die technischen Regeln des Verbandes der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V. [...] eingehalten worden sind. [...] Dabei hat die Bundesnetzagentur die Grundsätze des DIN Deutsches Institut für Normung e. V. zu berücksichtigen. [§ 49 Absatz 2 EnWG, Anforderungen an Energieanlagen]*

Die unter § 49 Absatz 2 EnWG erwähnten Normen werden von dem Deutschen Institut für Normung e.V. (DIN) und dem Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V. (VDE) entwickelt und über das Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik (DKE) veröffentlicht. Eine Norm ist die Definition der Eigenschaften von technischen Geräten und Bauteilen sowie technischen Schnittstellen und Prozessen. Sie basieren zum Zeitpunkt ihrer Entwicklung auf dem aktuellen Stand der Technik, den Erfahrungswerten der Wirtschaft und fundierter Forschung. Sie dienen der Minimierung von Gefahren durch elektrische Spannung.

DIN-Normen sind somit grundsätzlich Empfehlungen, die angewendet werden können, aber nicht müssen. Der Bundesgerichtshof (BGH) hat in seinem Urteil vom 14.05.1998 – VII ZR 184/97 entschieden, dass DIN-Normen **keine Rechtsnormen**, sondern **private technische Regelungen** mit Empfehlungscharakter sind, die die anerkannten Regeln der Technik wiedergeben oder hinter diesen zurückbleiben können. [DIN-Normen haben Empfehlungscharakter nach dem Urteil des BGH v. 14.05.1998, 1998]

Das DKE (DIN und VDE) hat das Zitieren seiner Werke verboten bzw. verbindet es mit Genehmigungen, die wiederherum mit hohem Zeit- und Kostenaufwand verbunden sind. Daher werden die Anforderungen der Normen nur beschreibend wiedergegeben und teilw. Erläuterungen von Herstellern und Fachzeitschriften mit eingebunden.

Die nachfolgend betrachteten Normen sind aus Sicht des Verfassers sowie öffentlicher Quellen (wie BSW, DGS, BFSB etc.) bei der Planung, Errichtung und dem Betrieb von Photovoltaikanlagen anwendbar. Oftmals überschneiden sich Normen in ihrem Wirkungsbereich, wodurch sich ggf. einige Anforderungen mehrfach wiederfinden.

Grundsätzlich zählt eine Photovoltaikanlage zu den elektrischen Niederspannungsanlagen bzw. Starkstromanlagen, da sie mit einer Wechselspannung bis 1.000 Volt und Gleichspannung bis 1.500 Volt betrieben wird. Dadurch findet die DIN VDE 0100 „Errichtung von Niederspannungsanlagen“ Anwendung. Sie regelt die gesamte Planung, Errichtung und Instandhaltung elektrischer Anlagen.

DIN VDE 0100-100 (VDE 0100-100):2009-06

Die Norm „DIN VDE 0100-100, Errichten von Niederspannungsanlagen - Teil 1: Allgemeine Grundsätze, Bestimmungen allgemeiner Merkmale, Begriffe“ enthält Bestimmungen für die Planung, Errichtung und Prüfung von elektrischen Niederspannungsanlagen. Sie dient u.a. der Sicherheit von Personen vor Gefahren, die durch schlecht oder falsch errichtete elektrische Anlagen entstehen können.

Die Norm beinhaltet u.a. folgende Regelungen:

- Planung und Errichtung von elektrischen Komponenten und des Leitungsnetzes
- Prüfungen im Sinne dieser Norm
- Schutzmaßnahmen gegen elektrischen Schlag und elektromagnetische Einflüsse
- Schutz gegen thermische Gefahren, Über- und Fehlerströmen sowie Überspannungen
- Notfallsteuerung und Abschaltvorrichtungen

Die Ausgabe vom Juni 2006 enthält bzgl. des Anwendungsbereichs bereits einen expliziten Verweis auf die Gültigkeit bei Photovoltaikanlagen.

DIN VDE 0100-410 (VDE 0100-410):2007-06

Die Norm „*DIN VDE 0100-410, Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 4-41: Schutzmaßnahmen – Schutz gegen elektrischen Schlag*“ enthält die wesentlichen Anforderungen an den Schutz gegen den elektrischen Schlag. Sie dient als Sicherheitsgrundnorm und beinhaltet den Basisschutz sowie den Fehlerschutz.

Der Basisschutz, auch „Schutz gegen direktes Berühren“ genannt, beschreibt die Schutzvorrichtung, die das direkte Berühren unter Spannung stehender Teile der elektrischen Anlage verhindert. Der Fehlerschutz, auch „Schutz bei indirektem Berühren“ genannt, ist die nächste Instanz nach einem möglichen Versagen des Basisschutzes. Sie soll z.B. durch automatische Abschaltung der Stromversorgung verhindern, dass gefährliche Berührungsspannungen auftreten bzw. bestehen bleiben können.

Die Norm beinhaltet u.a. folgende Regelungen:

- Basisschutz durch u.a. Abdeckungen, Hindernisse und Abstand
- Schutztrennung durch mindestens einfache elektrische Trennung
- Schutz durch doppelte oder verstärkte Isolierung und Schutzisolierung
- Automatische Abschaltung der Stromversorgung innerhalb definierter Zeiten durch bspw. Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCD)
- Zusammenwirken und Aufbau der Erdung und dem Schutzpotentialausgleich
- Zusätzlicher Schutz unter bestimmten Bedingungen vor äußeren Einflüssen (u.a. Außenbereich)

Eine Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD) schaltet bei einem Körperschluss die Stromversorgung auch bei hohen Schleifenwiderständen zuverlässig innerhalb einer bestimmten Zeit ab, um den Schutz gegen „elektrischen Schlag“ zu gewährleisten. Sie können bei Photovoltaikanlagen sowohl Wechselspannungs- als auch Gleichspannungsseitig eingesetzt werden.

DIN VDE 0100-443 (VDE 0100-443):2007-06

Die Norm „DIN VDE 0100-443, Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 4-44: Schutzmaßnahmen – Schutz bei Störspannungen und elektromagnetischen Störgrößen – Abschnitt 443: Schutz bei Überspannungen infolge atmosphärischer Einflüsse oder von Schaltvorgängen“ behandelt den Schutz der elektrischen Anlagen bei Überspannung, die über das Stromnetz übertragen werden, und infolge von Schaltvorgängen auftreten.

Inhaltlich enthält die Norm detaillierte Hinweise darauf, wie der Schutz vor Überspannungen durch die Art des Stromversorgungsnetzes selbst (ohne zusätzliche Schutzvorrichtungen) und durch zusätzliche Schutzeinrichtungen sichergestellt werden kann.

Des Weiteren enthält sie ein vereinfachtes Verfahren, durch welches ersichtlich wird, ob ein Überspannungsschutz im Rahmen der Norm vorzusehen ist. „Für die häufig anzutreffenden „Schutzniveaus“ a- Auswirkungen in Bezug auf das menschliche Leben (z.B. Sicherheitseinrichtungen, Krankenhäuser), b – Auswirkungen in Bezug auf öffentliche Einrichtungen [...] ergeben die Berechnungen, dass in allen Fällen Überspannungsschutz installiert werden muss. Für die Schutzniveaus d –Ansammlung von Personen z.B. große Wohngebäude [...] ist das Ergebnis im Einzelfall zu bewerten.“ [Zahlmann & Birkl, Installationsvorschriften für Überspannungsschutzeinrichtungen, Ausgabe 8/2008]

Die Norm beinhaltet u.a. folgende Regelungen:

- Schutz gegen Überspannungen infolge atmosphärischer Einflüsse
- Schutz gegen Überspannungen durch Schaltvorgänge
- Schutz gegen elektromagnetische Einflüsse
- Vorkehrungen zur Beherrschung von Überspannungen („systemeigene Beherrschung“ sowie „Beherrschung durch Schutzeinrichtungen“)
- Klassifizierung der Bemessungsstehstoßspannung²⁶ der Betriebsmittel zur Sicherung der Isolationskoordination

Diese Norm findet keine Anwendung im Fall von Überspannungen durch direkte oder indirekte Blitzeinschläge in der unmittelbaren Umgebung. In solchen Fällen ist u.a. die Normenreihe DIN VDE 0185-305 anwendbar.

DIN VDE 0100-530 (VDE 0100-530):2011-03

Die Norm „DIN VDE 0100-430, Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 530: Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel – Schalt- und Steuergeräte“ gilt für die Auswahl von Betriebsmitteln zum Trennen, Schalten, Steuern und Überwachen und deren Einrichtung. Dies dient der Sicherstellung der Schutzmaßnahmen und der Funktion der elektrischen Anlage.

²⁶ Steh-Stoßspannung (VDE 0110-1/EN 60664-1): Höchster Wert der Stoßspannung von festgelegter Form und Polarität, welche unter festgelegten Bedingungen zu keinem Durchschlag oder Überschlag der Isolierung führt. [Aussschuss für Blitzschutz und Blitzforschung des VDE (ABB), 2008]

Die Norm beinhaltet u.a. folgende Betriebsmittel:

- Einrichtungen zum Schutz gegen elektrischen Schlag
- Überstrom- und Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen
- Einrichtungen zum Brandschutz und Schutz gegen thermische Einflüsse
- Störlichtbogenschutzeinrichtungen
- Einrichtungen zur Lichtbogenerkennung und -abschaltung
- Einrichtungen zum Schutz bei Überstrom, Überlast und Kurzschluss
- Sicherungs-Überwachungseinrichtungen
- Koordination von Schutzeinrichtungen

Mit der Ausgabe vom März 2011 wurden Einrichtungen zur Lichtbogenerkennung und -abschaltung in die Norm mit aufgenommen. Die Anforderungen sind allerdings derzeit noch bei der DKE in der Beratung.

Lichtbögen sind die häufigste Ursache für Brände bei Photovoltaikanlagen, wodurch die Einrichtungen zur Lichtbogenerkennung und -abschaltung einen Richtungswandel in der Photovoltaik Industrie bewirken können. In den USA existiert bereits seit 2006 eine Vorschrift des National Electric Code (NEC), dass Photovoltaikanlagen mit Lichtbogenerkennung auszustatten sind.

DIN VDE 0100-534 (VDE 0100-534):2009-02

In der Norm „*DIN VDE 0100-534, Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 5-53: Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel – Trennen, Schalten und Steuern – Abschnitt 534: Überspannung-Schutzeinrichtungen*“ werden die Anforderungen für die Auswahl und Errichtung von Überspannungsschutzeinrichtungen (ÜSE) zur Begrenzung von transienten Überspannungen²⁷ beschrieben.

Berücksichtigt werden neben atmosphärischen Ursprüngen auch Schaltüberspannungen, die durch die Betriebsmittel selbst innerhalb der elektrischen Anlage erzeugt werden. Im Gegensatz zur DIN VDE 0100-443 ist bei der DIN VDE 0100-540 auch der Schutz gegen transiente Überspannungen, die durch direkte Blitze und Blitzeinschläge in der unmittelbaren Umgebung verursacht werden, eingeschlossen. [Zahlmann & Birkel, Installationsvorschriften für Überspannungsschutzeinrichtungen - Teil 2, Ausgabe S1/2009]

Die Anforderungen der Norm gelten für Wechselstromnetze, können aber auch für den Einsatz von ÜSE in Gleichstromnetzen herangezogen werden. Aus diesem Grund geht die DIN VDE 0100-712 auf den möglichen Einsatz von ÜSE auf der DC-Seite von Photovoltaikanlagen ein.

²⁷ Transiente Überspannungen: Kurzzeitige, flüchtige Spannungsspitzen, die durch Schalthandlungen in elektrischen Stromkreisen oder durch elektrostatische Entladungen hervorgerufen werden und für einen Zeitraum von Nanosekunden und Mikrosekunden anstehen.

Für die Anforderungen an Schirmung, Potentialausgleich und zur Dämpfung des abgestrahlten, elektrischen und magnetischen Feldes des Blitzes wird auf die Normreihe DIN VDE 0185-305 verwiesen.

DIN VDE 0100-540 (VDE 0100-540):2012-06

Die Norm „*DIN VDE Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 5-54: Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel – Erdungsanlagen und Schutzleiter*“ gilt für Erdungsanlagen und Schutzleiter einschließlich Schutzpotentialausgleichsleiter mit dem Ziel, die Sicherheit elektrischer Anlagen zu erfüllen.

Die Norm beinhaltet u.a. folgende Regelungen:

- Erdungsanlagen
- Erder, Erdungsleiter und Haupterdung
- Dimensionierung und Arten von Schutzleitern
- Schutzpotentialausgleichsleiter
- Verbindung zwischen Erdungsanlagen verschiedener Systeme

Besonders bei Photovoltaikanlagen mit traflosen Wechselrichtern können durch kapazitive Aufladungen hohe Gleichspannungen an den PV-Modulen auftreten. Daher sollten alle Modulrahmen und Gestelle, aufgrund der unterschiedlichen Erdungswiderstände und Potentiale, untereinander und mit dem Hauptpotentialausgleich auf Erdniveau verbunden werden. Diese Maßnahme wird in der DIN VDE 0100-410 und 0100-540 beschrieben.

DIN VDE 0100-551 (VDE 0100-551):2011-06

Die Norm „*DIN VDE 0100-551, Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 5-55: Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel – Andere Betriebsmittel – Abschnitt 551: Niederspannungsstromerzeugungseinrichtungen*“ legt die Anforderungen für die Auswahl und Errichtung von Niederspannungs- und Kleinspannungsstromerzeugungseinrichtungen fest, die dafür vorgesehen sind, eine Gesamtanlage oder einen Teil davon entweder dauerhaft oder zeitweilig zu versorgen.

Weiterhin enthält die Norm u.a. Anforderungen für die Stromversorgung einer Anlage parallel zum Stromverteilungsnetz. Die Stromerzeugungseinrichtungen mit photovoltaischen Zellen als Energiequelle (Photovoltaikanlagen) werden in dieser Norm explizit berücksichtigt.

Die Norm beinhaltet u.a. folgende Regelungen:

- Definition und Anforderungen an Stromerzeugungseinrichtungen
- Schutz durch Kleinspannung (mittels SELV und PELV)
- Fehlerschutz und Schutz bei Überstrom
- Zusätzliche Anforderungen an Anlagen bei denen ein Parallelbetrieb zum Stromverteilungsnetz möglich ist

Es werden bspw. die Anforderungen für die automatische Abschaltung der Photovoltaikanlage durch den Netzbetreiber und die Rückwirkungsfreiheit bzgl. des Leistungsfaktors und nichtlinearen Verzerrungen normativ geregelt.

Die besonderen Anforderungen bzw. Vorgaben der Netzbetreiber der öffentlichen Stromverteilungsnetze, an denen die Photovoltaikanlage betrieben werden soll, sind zwingend zu beachten. Hierfür ist die VDE-Anwenderregel VDE-AR-N 4105 „*Erzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz – Technische Mindestanforderungen für Anschluss und Parallelbetrieb von Erzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz*“ zu beachten.

DIN VDE 0100-600 (VDE 0100-600):2008-06

Die Norm „*DIN VDE 0100-600, Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 6: Prüfungen*“ enthält die Anforderungen an die Erstprüfung und die wiederkehrende Prüfung von elektrischen Anlagen.

In diesem Abschnitt der Norm werden die Anforderungen an die Erstprüfung elektrischer Anlagen, nach Fertigstellung einer neuen Anlage oder Erweiterung bzw. Änderung bestehender Anlagen, durch Besichtigen, Erproben und Messen definiert. Hierdurch wird festgestellt, ob die Anforderungen der anderen Teile der Reihe DIN VDE 0100 erfüllt sind.

Die Anforderungen an die wiederkehrende Prüfung wurden ursprünglich in der DIN VDE 0105-100/A1:2008-06 veröffentlicht, die im Oktober 2009 durch die DIN VDE 0105-100:2009-10 abgelöst wurde.

Die Norm beinhaltet u.a. folgende Regelungen:

- Allgemeine Vorsichtsmaßnahmen und Anforderungen an Elektrofachkräfte
- Umfang der Besichtigung bevor die Anlage in Betrieb genommen wird
- Mögliche Prüfverfahren zu bspw. Isolationswiderständen, Schutztrennung und Funktionsprüfungen
- Prüfbericht über die Erstprüfung

Bei jeder Erstinbetriebnahme einer elektrischen Anlage ist die Anlage, durch eine Elektrofachkraft²⁸ die zur Durchführung von Prüfungen befähigt ist, nach DIN VDE 0100-600 zu prüfen und zu dokumentieren. Speziell für netzgekoppelte Photovoltaikanlagen ist zusätzlich die DIN EN 62446 (VDE 0126-23) zu beachten.

DIN VDE 0100-712 (VDE 0100-712):2006-06

Die wichtigste Grundlage für Photovoltaikanlagen bildet die Norm „*DIN VDE 0100-712, Anforderungen für Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art - Solar-Photovoltaik-*

²⁸ Elektrofachkraft: Eine Person die aufgrund ihrer fachlichen Ausbildung, Kenntnisse und Erfahrungen sowie Kenntnis der einschlägigen Normen die ihr übertragenen Arbeiten beurteilen und mögliche Gefahren erkennen kann. [DIN VDE 1000-10 (VDE 1000 Teil 10):2009-01]

(PV)-Stromversorgungssysteme“. Sie befasst sich mit Solar-Photovoltaik-(PV)-Stromversorgungssystemen und beschreibt Anforderungen für die Errichtung einer Photovoltaikanlage sowie den Einsatz von elektrischen Betriebsmitteln.

Die Norm beinhaltet u.a. folgende Regelungen:

- Schutzmaßnahmen gegen elektrischen Schlag
- Schutz durch automatische Abschaltung wie z.B. Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD) auf der AC-Seite oder die in Deutschland vorgeschriebene selbsttätige Freischaltstelle nach DIN V VDE V 0126-1-1²⁹
- Schutz bei Überlast und Kurzschlussströmen
- Verringerung der Spannungen durch Blitzeinschläge durch kleine Flächen aller Leiterschleifen (*Abbildung 3.14*)

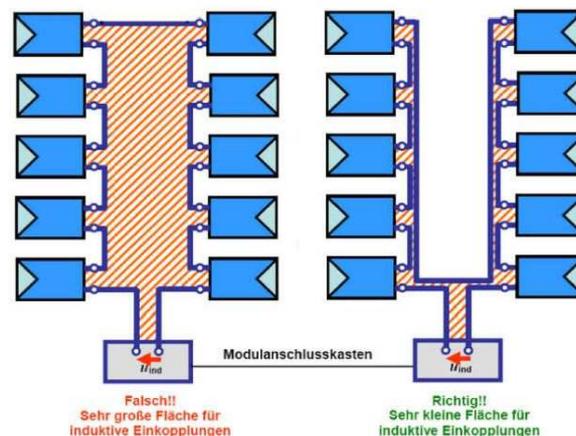


Abbildung 3.14: Schutz gegen elektromagnetische Beeinflussung

Quelle: Markus Scholand, Sachverständigengutachten, www.sfv.de

- Reihenschaltung der PV-Module bis zur maximalen Betriebsspannung des Wechselrichters und der PV-Module (Herstellerabhängig)
- Verwendung von geeigneten DC-Leitungen im Außenbereich (Schutzklasse II, Wetter- und Korrosionsbeständigkeit)
- PV-Module müssen mit den Anforderungen der entsprechenden Betriebsmittelnorm übereinstimmen (wenn Leerlaufspannung STC das 1,25fache übersteigt Isolierung Schutzklasse 2 oder gleichwertig verwenden).
- PV-Module müssen bspw. mit der DIN EN 61215 und Generatoranschlusskasten sowie Schaltschränke mit den aktuellen Normen übereinstimmen
- Zugänglichkeit
- Trenn- und Schalteinrichtungen u.a. zu Wartungszwecken durch einen Lasttrennschalter
- Erdung, Schutzleiter und Potentialausgleich

²⁹ DIN V VDE V 0126-1-1:2013-08: Selbsttätige Schnittstelle zwischen einer netzparallelen Eigenerzeugungsanlage und dem öffentlichen Niederspannungsnetz

Seit die Norm im Juni 2006 veröffentlicht wurde, hat sich die Technik wesentlich weiterentwickelt und diverse neue Möglichkeiten sowie Lösungen im Bereich des Blitz- und Überspannungsschutzes, dem Personen- und Brandschutz auf den Markt gebracht. Seit Beginn dieses Jahres arbeitet daher eine gemeinsame Arbeitsgruppe in Deutschland daran eine neue Vornorm zu erstellen. Die Planung einer Photovoltaikanlage sollte sich daher etwas stärker am aktuellen Stand der Technik orientieren. Dies gilt im Übrigen auch für alle anderen Normen.

DIN VDE 0105-100 (VDE 0105-100):2009-10

Die Norm „*DIN VDE 0105-100, Betrieb von elektrischen Anlagen - Teil 100: Allgemeine Festlegung*“ gilt für das Bedienen von und allen Arbeiten an, mit und in der Nähe von elektrischen Anlagen aller Spannungsebenen von Kleinspannung bis Hochspannung.

Die Norm beinhaltet u.a. folgende Regelungen:

- Grundsätze für das Arbeiten an elektrischen Anlagen, wie die Sicherheitsmaßnahmen und Vorkehrungen für den sicheren Bedienvorgang bzw. die Arbeit, die Organisation und das zu verwendende Werkzeug
- Übliche Betriebsvorgänge wie das Freischalten oder Messen
- Arbeitsmethoden zum Arbeiten unter Spannung oder im spannungsfreien Zustand
- Prüfungen, wiederkehrende Prüfungen sowie Instandhaltungsmaßnahmen

Die Norm gilt nicht beim Benutzen elektrischer Anlagen und Betriebsmittel, die für den Gebrauch durch Laien konstruiert und installiert wurden.

DIN EN 62446 (VDE 0126-23):2010-07

In der europäischen Norm „*DIN EN 62446 (VDE 0126-23), Netzgekoppelte Photovoltaikanlagen - Mindestanforderungen an Systemdokumentation, Inbetriebnahmeprüfung und wiederkehrende Prüfungen*“ werden die erforderlichen Mindestangaben und die Dokumentation festgelegt, die dem Kunden nach der Installation zu übergeben sind. Ebenfalls sind der Mindestumfang der Inbetriebnahmeprüfung und die Prüfkriterien für die Prüfung und den korrekten Betrieb einer Photovoltaikanlage beschrieben.

Die Norm beinhaltet u.a. folgende Regelungen:

- Grundlegende Systemdaten (Angaben zu PV-Modulen, Wechselrichter und Montagesystem bzgl. Hersteller, Modell, Anzahl und Zulassungen)
- Stromlaufplan, Wirkschaltplan u.a. mit Leitungsquerschnitten und -typen
- Erdung und Überspannungsschutz
- Art und Umfang der Prüfung (bspw. Besichtigung der Komponenten, Polaritätsprüfung, Messung von Leerlaufspannungen und Kurzschlussströmen sowie Funktionsprüfungen)

- Umfang und Inhalt eines Prüfberichts für Erstprüfungen und wiederkehrende Prüfungen

In dieser Norm sind Solar-Speichersysteme nicht geregelt. Bei netzgekoppelten Photovoltaikanlagen mit wiederaufladbaren Batterien für photovoltaische Solarenergie-Systeme (PVES) greift der Norm-Entwurf DIN EN 61427-2 (VDE 0510-41):2014-04, welcher auch die Anforderungen für typische Prüfverfahren zum Nachweis der Leistungsfähigkeit der Batterien enthält.

Für photovoltaische Solarenergie-Systeme bei netzunabhängigen Photovoltaikanlagen gilt der Norm-Entwurf DIN EN 61427-1 (VDE 0510-41):2014-04.

DIN EN 62305-3 Bbl 5 (VDE 0185-305-3 Bbl 5):2009-10

Neben der DIN VDE 0100-712 bildet die europäische Norm „*DIN EN 62305-3 Bbl 5 (VDE 0185-305-3 Bbl 5), Blitzschutz - Teil 3: Schutz vor baulichen Anlagen und Personen - Beiblatt 5: Blitz- und Überspannungsschutz für PV-Stromversorgungssysteme*“ die wichtigste Grundlage für Photovoltaikanlagen gegen schädliche Folgen von Blitzeinwirkungen und Überspannung atmosphärischen Ursprungs. Falls ein Blitz- und/oder Überspannungsschutz gefordert ist oder errichtet werden soll, beschreibt das Beiblatt 5 Anforderungen und Maßnahmen, um die Sicherheit, Funktion und Verfügbarkeit der PV-Stromversorgungssysteme zu erhalten.

Der Blitzschutz gilt als Maßnahme des vorbeugenden Brandschutzes und/oder des Personenschutzes und wird u.a. benötigt, um die technische Infrastruktur einer baulichen Anlage zu schützen. Die Schutzfunktion eines vorhandenen Blitzschutzsystems darf nicht durch die Montage einer Photovoltaikanlage beeinträchtigt werden.

Die Norm beinhaltet u.a. folgende Regelungen:

- Planungsgrundlagen (Betrachtung der Arten möglicher Einkopplungen und Risikomanagement)
- Aufbau des Blitzschutzsystems (innerer und äußerer Blitzschutz, Potentialausgleich, Überspannungsschutzgeräte)
- Trennungsabstände zwischen den Bestandteilen des Blitzschutzsystems und denen der Photovoltaikanlage
- Kabel- und Leitungsanlagen, Schirmung (bspw. Verringerung der Induktionseinwirkung durch Schirmung und Leitungsführung siehe *Abbildung 3.14*)
- Funktionserdung des metallenen Montagesystems im Außenbereich
- Prüfung und Dokumentation (Verweis auf DIN EN 62305-3 Bbl 3)

Für den Blitz- und Überspannungsschutz an Photovoltaikanlagen gelten neben dieser Norm auch andere Normen, wie die EN 62561-1, EN 50539-11 und die DIN CLC/TS 50539-12.

DIN EN 62561-1 (VDE 0185-561-1):2013-02

Die europäische Norm „*DIN EN 62561-1 (VDE 0185-561-1), Blitzschutzsystembauteile (LPSC) - Teil 1: Anforderungen an Verbindungsbauteile*“ legt die Anforderungen und Prüfungen für metallene Verbindungsbauteile fest, die einen Teil des Blitzschutzsystems (LPS) darstellen.

Die Norm beinhaltet u.a. folgende Regelungen:

- Einbauanweisungen
- Anforderungen an die Blitzstromtragfähigkeit und statisch-mechanische Beanspruchung sowie Klemmverbindungen
- Prüfungen
- Aufbau und Inhalt des Prüfberichts

Angewendet werden kann diese Norm bei den metallenen Montagesystemen von Photovoltaikanlagen.

DIN EN 50539-11 (VDE 0675-39-11):2013-12

Die europäische Norm „*DIN EN 50539-11 (VDE 0675-39-11), Überspannungsschutzgeräte für Niederspannung - Überspannungsschutzgeräte für besondere Anwendungen einschließlich Gleichspannung - Teil 11: Anforderungen und Prüfungen für Überspannungsschutzgeräte für den Einsatz in Photovoltaik-Installationen*“ legt die Anforderungen und Prüfungen für Überspannungsschutzgeräte (SPDs) fest, die auf der DC-Seite von Photovoltaikanlagen eingesetzt werden, um vor induzierten und direkten Einwirkungen des Blitzes zu schützen. Diese Norm gilt für Geräte, die an DC-Energieanlagen von PV-Generatoren mit Spannungen bis zu 1.500 Volt angeschlossen sind.

Bei PV-Generatoren hängt der Nennstrom von der Intensität des einstrahlenden Lichts ab, wodurch ihr Kurzschlussstrom nahezu gleich Nennstrom ist. Dies führt zu speziellen elektrischen Anforderungen an die auf der DC-Seite der PV-Generatoren eingesetzten Überspannungsschutzgeräte.

Die Norm beinhaltet u.a. folgende Regelungen:

- Definition der Betriebsbedingungen (Spannung, Temperatur, Feuchte, etc.)
- Planung und Einbau von SPDs
- Elektrische, mechanische und umweltbedingte Anforderungen an SPDs
- Prüfungen und Prüfverfahren

SPDs mit separaten Anschlussklemmen für Eingang und Ausgang, zwischen denen sich eine Reihenimpedanz befindet (sogenannte Two-Port-SPDs nach EN 61643-11), werden momentan nicht ausreichend durch die Anforderungen dieser Norm abgedeckt und erfordern eine zusätzliche Betrachtung.

DIN CLC/TS 50539-12 (VDE V 0675-39-12):2014-09

Die Vornorm „*DIN CLC/TS 50539-12 (VDE V 0675-39-12), Überspannungsschutzgeräte für Niederspannung - Überspannungsschutzgeräte für besondere Anwendungen einschließlich Gleichspannung - Teil 12: Auswahl und Anwendungsgrundsätze - Überspannungsschutzgeräte für den Einsatz in Photovoltaik-Installationen*“ dient als technische Spezifikation und beschreibt die Prinzipien für die Auswahl, den Einbauort, die Koordination und den Betrieb von Überspannungsschutzgeräten in Photovoltaik-Installationen. Hierzu wird die Gleichstromseite für Gleichspannungen bis zu 1.500 Volt bemessen und die Wechselstromseite, falls vorhanden, für Wechselspannungen bis zu einem Effektivwert von 1.000 Volt, 50 Hz.

Die Norm beinhaltet u.a. folgende Regelungen:

- Auftreten von Überspannungen in einer Photovoltaikanlage
- Installation und Einbauort (mit und ohne äußeren Blitzschutz)
- Notwendigkeit eines SPD (Risikoberechnung, Auswahl und Einbau)
- Anforderungen an die Wartung von SPDs

Für netzgekoppelte Photovoltaikanlagen mit Solarenergie-Speichersystemen sind zusätzliche Anforderungen notwendig.

Muster-Leitungsanlagen-Richtlinie (MLAR vom 17.11.2005)

Richtlinien sind als verbindliche Handlungsvorschrift zu verstehen. Sie sind kein Gesetz, haben aber einen Geltungsbereich der als rechtskräftig anzusehen ist.

In Hamburg gilt die Leitungsanlagen-Richtlinie (LAR) in der Fassung vom November 2006. Abgesehen von den Verweisen auf die MBO (angepasst auf die HBauO) stimmt sie größtenteils mit der Muster-Leitungsanlagen-Richtlinie (MLAR) überein. Daher wird im Folgenden ausschließlich auf die MLAR Bezug genommen.

Die MLAR gilt für Leitungsanlagen in notwendigen Fluren und Treppenträumen sowie in Räumen zwischen notwendigen Treppenträumen und Ausgängen ins Freie. Sie regelt die Führung von Leitungen durch raumabschließende Bauteile und den Funktionserhalt von elektrischen Leitungsanlagen im Brandfall.

Die MLAR definiert u.a. folgende Anforderungen:

- Sicherheitstreppenträume, Räume zw. Sicherheitstreppenträumen und Ausgänge ins Freie dürfen ausschließlich Leitungsanlagen zur Versorgung dieser Räume enthalten.
- Elektrische Leitungsanlagen müssen nach Punkt 3.2.1, MLAR verlegt werden (z.B. vereinzelt angeordnet voll eingeputzt, in Brandschutzkanälen, oder nichtbrennbare Leitungen bzw. Leitungen mit verbessertem Brandverhalten)
- Verlegung in Installationsschächten und -kanälen, Unterdecken und Unterflurkanäle
- Führung von Leitungen durch raumabschließende Bauteile wie Wände und Decken (falls Feuerwiderstandsfähigkeit vorgeschrieben)

- Definition der Leitungsanlagen im Brandfall bzgl. Funktionserhalt und Dauer des Funktionserhalts

Photovoltaikanlagen benötigen sowohl DC- als auch AC-Seitig eine Verkabelung, die oft größtenteils innerhalb der Gebäude verlegt werden. Neben der Empfehlung die DC-Leitungen innerhalb der Gebäude aus brandschutztechnischen Gründen vollständig in Brandschutzkanälen zu verlegen, sind sämtliche Leitungen in den definierten Räumen nach den Vorgaben der MLAR bzw. der LAR der Länder zu installieren.

Diese Richtlinie ist neben den Normen besonders wichtig, da sie das Risiko für Personen im Brandfall minimiert. Die persönliche Erfahrung des Verfassers zeigt, dass in öffentlichen Gebäuden (z.B. Schulen) die Verkabelung der Einfachheit halber durch notwendige Flure geführt und manchmal sogar die Wechselrichter in diesen installiert wurden. Dies stellt im Ernstfall ein großes Risiko für Unbeteiligte dar und könnte durch konsequente Anwendung der LAR sehr einfach minimiert werden.

BGV A3 Unfallverhütungsvorschrift, TRBS 1201

Der Gesetzgeber hat die Unfallverhütungsvorschriften (BGV) in das Siebte Sozialgesetzbuch (SGB VII) übernommen und bei Zuwiderhandlung mit bis zu zehntausend Euro hohen Bußgeldern geregelt [§ 15 SGB VII, Unfallverhütungsvorschriften / § 209 Abs. 1 Nr. 1 SGB VII, Bußgeldvorschriften]. Die Unfallverhütungsvorschriften stellen für jeden Versicherten der gesetzlichen Unfallversicherung [§ 2 SGB VII, Versicherung kraft Gesetz] und jedes Unternehmen die verbindlichen Pflichten bzgl. Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz dar.

Die Prüfung ortsveränderlicher und ortsfester elektrischer Anlagen und Betriebsmittel ist in der „Unfallverhütungsvorschrift - Elektrische Anlagen und Betriebsmittel (BGV A3)“ geregelt und nach § 1 BGV A3 Pflicht. Sie erfolgt in Zusammenwirken mit der DIN VDE 0701-0702³⁰, der *Betriebssicherheitsverordnung* (BetrSichV)³¹ sowie den „Technischen Regeln der Betriebssicherheit - Prüfungen von Arbeitsmitteln und überwachungsbedürftigen Anlagen“ (TRBS 1201).

Sobald eine Photovoltaikanlage den erzeugten Strom überwiegend ins öffentliche Stromnetz einspeist, gilt der Betreiber u.U. als Gewerbetreibender. Dies wurde bei Recherche nach der Genehmigungsfreiheit bereits festgestellt. Nach weiterführender Recherche und der Auffassung des Verfassers, gilt hierdurch bei den „größeren“ Anlagen auf allen Gebäuden, außer kleinen Wohngebäuden, die Verpflichtung zu Prüfungen u.a. nach BGV A3, um die Arbeitssicherheit der Arbeitnehmer dauerhaft gewährleisten zu können.

Bei der Prüfung einer Photovoltaikanlage sind die bereits aufgeführten Normen DIN VDE 0100-600, 0105-100 und EN 62446 ebenfalls zu beachten. Daher sollte die Prüfung einer solchen Anlage in mehreren sinnigen Teilprüfungen durchgeführt werden. Die Prüffristen und

³⁰ DIN VDE 0701-0702:2008-06: Prüfung nach Instandsetzung, Änderung elektrischer Geräte – Wiederholungsprüfung elektrischer Geräte

³¹ Die BetrSichV gilt u.a. für die Benutzung von Arbeitsmitteln durch Beschäftigte bei der Arbeit.

die Art der wiederkehrenden Prüfungen von Photovoltaikanlagen nach § 5 BGV A3, Prüfungen oder nach TRBS 1201, Tab. 2 – *Bewährte Prüffristen* sind wie folgt festgelegt:

Gesamte Elektroanlage

- Prüfung erfolgt alle **4 Jahre**
- Prüfung erfolgt **jährlich** in „Betriebsstätten, Räumen und Anlagen besonderer Art“ bspw. Schwimmbäder, Fliegende Bauten, Feuergefährdete Betriebsstätten, **Anlagen im Freien** (DIN VDE 0100-700)
- Prüfung durch zur Prüfung befähigte Personen → Elektrofachkraft

Fehlerstrom-, Differenzstrom- und Fehlerspannungsschalter

- Prüfung erfolgt alle **6 Monate** (stationäre Anlagen)
- Prüfung kann durch den Benutzer/Betreiber erfolgen

Eine Photovoltaikanlage ist somit mindestens jährlich durch eine Elektrofachkraft zu prüfen. Weitere Prüfintervalle können sich ggf. aus der BetrSichV und den erwähnten DIN-Normen ergeben.

VdS-Richtlinien

Der Verband der Schadenversicherer e.V. (VdS) ist eine hundertprozentige Tochtergesellschaft des Gesamtverbands der Deutschen Versicherungswirtschaft (GDV). Er erarbeitet auf Basis von Schadenerfahrungen und Forschung diverse Richtlinien, Leitfäden und Prüfgrundlagen mit dem Ziel der Personen- und Sachschadenvermeidung. Errichter bzw. Betreiber die ihre Anlagen über einen Kredit finanzieren, werden von den Banken normalerweise zu einer Versicherung verpflichtet. Die Versicherungsunternehmen wiederherum fordern zur Versicherung der Anlagen oftmals eine Facherrichtererklärung mit den Bestätigungen nach den gültigen DIN- und VDE-Normen gebaut und die VdS-Richtlinien beachtet zu haben. Hierdurch erlangen diese im Rahmen der Versicherung eine gewisse Verbindlichkeit. Davon abgesehen besitzen die Richtlinien des VdS lediglich unverbindlichen Charakter und fußen größtenteils auf gesetzlichen Vorgaben sowie einschlägigen DIN- und VDE-Normen.

Für elektrische Anlagen und insbesondere Photovoltaikanlagen lassen sich nach Ansicht des Verfassers u.a. folgende Richtlinien verwenden:

- VdS-Richtlinie 2010 : 2010-09 – Risikoorientierter Blitz- und Überspannungsschutz
 - Aufschlüsselung der gesetzlichen Vorgaben, bundesweiten Regelungen
 - Klassifizierung von Objekten
- VdS-Richtlinie 2025 : 2008-01 – Elektrische Leitungsanlagen
 - Zusammenfassung der MBO, MLAR und zutreffenden DIN-Normen
- VdS-Richtlinie 2216 : 2001-08 – Brandschutzmaßnahmen für Dächer
 - Gefahren durch Brandeinwirkungen
 - Brandschutzmaßnahmen
 - Dachdurchdringungen und Brandwände
- VdS-Richtlinie 2234 : 2012-07 – Brand- und Komplextrennwände

- Anforderungen und Installation von Bauteilen der Photovoltaikanlagen an oder auf Gebäuden (Dächer)
- VdS-Richtlinie 3145 : 2011-07 – Photovoltaikanlagen (erarbeitet mit VDE und GDV)
 - Gilt für netzgekoppelte Photovoltaikanlagen
 - Anforderungen an PV-Komponenten
 - Planung und Montage inkl. Leitungsanlage
 - „Feuerweherschalter“ sowie Alternativen
 - Schutzrichtungen (Blitz, Überspannung)
 - Inbetriebnahme
 - Einsatz von Feuerwehren

In einigen Bereichen führen die aufgeführten Richtlinien durch ihren leicht verständlichen Aufbau zu einem besseren Verständnis der Problemstellen und zeigen Wege zur Risikominimierung bzw. -vermeidung auf.

3.3.3 Rechercheergebnis

Neben verhältnismäßig klaren Regelungen seitens der Bauordnung, sind ausreichend allgemein anerkannte Regeln der Technik und DIN/EN/VDE-Normen vorhanden, um eine Photovoltaikanlage sicher errichten und betreiben zu können. Auch wenn die aktuell gültigen Normen teils hinter dem aktuellen Stand der Technik zurückbleiben, sind sie bei konsequenter Anwendung grundsätzlich ausreichend.

Die wichtigste Erkenntnis ist, dass bei der Errichtung einer Photovoltaikanlage, auch ohne Genehmigungspflicht, der Bauherr die volle Verantwortung für die Anwendung und Einhaltung der baurechtlichen Anforderungen sowie technischen Regeln trägt. Er hat dafür zu sorgen, dass der Errichter die Anlagen auf dem Stand der Technik errichtet und hierbei die aktuell gültigen Regeln einhält. Falls er nicht über ausreichende Sachkenntnis verfügt, kann er sich hierzu von unabhängigen Gutachtern oder Sachverständigen Unterstützung holen. Diese können ihn baubegleitend beraten und die Anlage vor Inbetriebnahme auch abnehmen. Ob die Errichtung einer Photovoltaikanlage bspw. in Hamburg auf einem bestehenden Gebäude eine wesentliche Änderung der Starkstromanlage nach § 15 PVO ist, müsste im Zweifelsfall durch die örtlichen Baubehörden geklärt werden.

Des Weiteren ist die Frage der Nutzungsänderung durch Photovoltaikanlagen bei allen öffentlichen Gebäuden oder bei tatsächlicher gewerblicher Nutzung zu prüfen. Es gibt auch Schulen und Hochschulen, die solche Anlagen zu Selbstversorgungs- und Forschungszwecken installieren. Sollte hier dann die Jahresbilanz u.U. ausweisen, dass der überwiegende Teil ins örtliche Stromnetz eingespeist wurde, kann das rechtliche Konsequenzen nach sich ziehen. Daher sollte zumindest bei öffentlichen Gebäuden bzw. allen in der jeweiligen Prüfverordnung prüfpflichtigen Gebäuden, sicherheitshalber eine Baugenehmigung eingeholt werden. An einer Bewilligung scheitert es in den seltensten Fällen, aber es bringt dem Bauherrn einen gewissen Grad an Sicherheit.

Grundsätzlich lassen sich folgende Aussagen treffen:

Hansestadt Hamburg

- Photovoltaikanlagen sind nicht genehmigungspflichtig, wenn sie den Anforderungen nach § 60 HBauO entsprechen
- Errichtung und Betrieb von elektrischen Anlagen muss den baurechtlichen Anforderungen der HBauO, den technischen Baubestimmungen, Normen und allgemein anerkannten Regeln der Technik zu entsprechen
- Allgemeine Starkstromanlagen und somit Photovoltaikanlagen sind nach HBauO geregelt und prüfpflichtig
- Erst-, Wiederholungs- und Nachprüfungen sind u.a. auf Schulen, Krankenhäusern, Versammlungsstätten und Hochhäusern nach PVO geregelt und vorgeschrieben

Schleswig Holstein und Niedersachsen

- Photovoltaikanlagen sind nicht genehmigungspflichtig, wenn sie den entsprechenden Anforderungen nach LBO SH und NBauO entsprechen
- Errichtung und Betrieb von elektrischen Anlagen muss ebenso wie in Hamburg den baurechtlichen Anforderungen der LBO SH bzw. NBauO, den technischen Baubestimmungen, Normen und allgemein anerkannten Regeln der Technik zu entsprechen
- Allgemeine Starkstromanlagen und somit Photovoltaikanlagen sind nicht prüfpflichtig, außer bei Auflage einer Prüfung seitens der Baubehörde

Als gewerbliche Anlagen sind elektrische Anlagen u.a. nach Unfallverhütungsvorschrift BGV A3 und TRBS 1201 durch eine Elektrofachkraft jährlich wiederkehrend prüfpflichtig. Die entsprechenden Prüffristen und der Prüfumfang sind dort ebenfalls geregelt. Bei den Prüfungen sind u.a. die Normen VDE 0100-600 und VDE 0105-100 anzuwenden.

Versicherungsanforderungen

Nimmt der Bauherr einen Kredit bei einer Bank auf, um seine Photovoltaikanlage zu errichten, fordern Banken normalerweise eine Versicherung der Anlage. Die Versicherungsunternehmen wiederherum fordern von den Versicherern standartmäßig u.a. Nachweise der Einhaltung der gültigen Normen sowie der VdS-Richtlinien. Darauf aufbauend fordern Versicherer eine Blitzschutzanlage der Klasse III bei Anlagen >10 kWp Leistung oder >15 m² Fläche [VdS-Richtlinie 2010, September 2010].

Bei Errichtung einer Photovoltaikanlage sind die Anforderungen der DIN VDE 0100-712, DIN EN 62446 (VDE 0126-23) sowie die DIN EN 62305-3 Beiblatt 5 (VDE 0185-305-3) als Mindestanforderungen an Systemdokumentation und Inbetriebnahme-Prüfung zwingend einzuhalten. Auf Grundlage der Recherche lassen sich hierzu ergänzend weitere DIN/VDE/EN-Normen heranziehen.

Letztlich besitzen Normen nur einen Empfehlungscharakter und stellen keine gesetzliche Grundlage dar. Bei einem Schaden könnte es für den Errichter bzw. Betreiber aber im Zweifelsfall sehr schwer werden, Abweichungen von den Normen zu begründen.

3.4 Fazit

Für die Prüfung einer Photovoltaikanlage, im Rahmen einer Prüfung der Allgemeinen Starkstromanlage, ist die Effizienz bzw. Wirtschaftlichkeit nebensächlich. Einzig die baurechtlichen Regelungen und Technischen Baubestimmungen stehen, hinsichtlich des Sach- und Personenschutzes nach jeweiliger Bauordnung, im Vordergrund. Von daher ersetzt die Prüfung der Photovoltaikanlage nach geltender Prüfverordnung nicht die Abnahme der Anlage durch einen Photovoltaik-Sachverständigen.

Die formalrechtlich „schlichte Genehmigungsfreiheit“ für Photovoltaikanlagen hat den Vorteil, dass Baubehörden und Bauherren weniger bürokratischen Aufwand haben. Es bedeutet aber auch, dass der Bauherr bzw. Betreiber der Anlage die vollständige Verantwortung für seine Anlage und die Arbeiten der Errichter trägt. Hierzu zählt bspw. dass ein Gebäudebesitzer bei Verpachtung seiner Dachflächen die Installation einer Photovoltaikanlage überwachen und prüfen muss, und dies auch dann, wenn er nicht der Betreiber dieser Anlage ist. Sollte ein externer Investor bzw. seine Errichterrfirma bspw. Schäden beim Brandschutz oder dem Blitzschutz verursachen oder die Leitungsanlagenrichtlinie beim Verlegen der Leitungen nicht beachten, entsteht eine rechtliche Grauzone. Sollte hier Jahre später ein Schadensfall, egal ob Sach- oder Personenschaden eintreten, und diese Überprüfungen wurden bei der Installation nicht vorgenommen, lässt sich die Schuldfrage nur schwer klären und trifft im Zweifelsfall den Gebäudebesitzer. Daher sollte immer zumindest eine Erstabnahme vorgenommen werden. Weiterhin führt das Problem der unterschiedlichen Betreiber für Gebäude und Photovoltaikanlage oftmals dazu, dass bei Beauftragung einer Sachverständigenprüfung der allgemeinen Starkstromanlage die Photovoltaikanlage „vergessen“ wird.

Der Umstand, dass Starkstromanlagen nur in Hamburg prüfpflichtig sind, macht diese Problematik nicht einfacher. Ebenfalls bleibt selbst in Hamburg die Frage, ob Photovoltaikanlagen eine wesentliche Änderung der Starkstromanlage nach § 15 PVO darstellen, wodurch eine sofortige Prüfung vor Inbetriebnahme durchzuführen wäre. Nach Auffassung des Verfassers könnte dies eine wesentliche Erweiterung sein, welche zu erheblichen Gefahren oder Nachteilen nach § 81 Absatz 1 HBauO führen kann.

Was aus den Normen nicht hervorgeht ist der aktuelle Stand der Technik. Durch diverse Weiterentwicklungen existieren bereits weitaus bessere Lösungen, als die Normen vorgeben. Dies ist dadurch begründet, dass ein Normausschuss oftmals europäisch arbeitet und daher ein Normentwicklungsprozess mehrere Jahre in Anspruch nehmen kann. Forschung und Wirtschaft arbeiten hier schneller. Normen besitzen nur Empfehlungscharakter, wodurch, mit Bezug auf den aktuellen und oftmals besseren Stand der Technik, auch eigenverantwortlich gearbeitet werden kann. Bei der Planung einer Photovoltaikanlage sollten sich die Projektbeteiligten etwas stärker am aktuellen Stand der Technik orientieren.

Bei entsprechender Anwendung der Normen, Vorgaben der Hersteller sowie dem aktuellen Stand der Technik können mögliche Gefahren von Photovoltaikanlagen minimiert bzw. vollständig aufgehoben werden.

4 Realisierung

Die Problemanalyse hat gezeigt, dass der Einsatz eines unabhängigen Sachverständigen aus unterschiedlichen Gründen sinnvoll ist. Hierzu gehören die Überwachung, Einhaltung und Prüfung der Maßnahmen zur Minimierung der allgemeinen Gefahren wie Brand, Lichtbogen, Blitz- und Überspannung und elektrischem Schlag. Zumindest die Abnahmeprüfung vor Inbetriebnahme sowie die wiederkehrenden Prüfungen durch Prüfsachverständige wird in Hamburg durch die PVO in Verbindung mit der Prüfung der Starkstromanlage gefordert. Somit steht ein Lösungsvorschlag für Prüfsachverständige unter diesen Gesichtspunkten im Fokus.

Da es den Betreibern von Photovoltaikanlagen sowie einigen Projektbeteiligten oftmals an Erfahrung und Hintergrundwissen mangelt, können Sachverständige mit dieser Dienstleistung eine geeignete Lösung bieten.

4.1 Lösungsvorschlag

Der Hintergrund dieser Arbeit ist die Untersuchung und Lösungsfindung der Problematik beim Umgang mit den Gefahren und Risiken von Photovoltaikanlagen. Dies fiel seitens der Dekra vermehrt durch Prüfsachverständige im Rahmen von PVO-Prüfungen der Starkstromanlagen auf. Die Entwicklung bzw. Erarbeitung einer Prüfvorlage nach den Prüfgrundsätzen der PVO in Verbindung mit anwendbaren Normen und Richtlinien steht somit im Vordergrund.

Betreiber prüfpflichtiger Anlagen werden spätestens zum Ablauf der gesetzlichen Fristen von den zuständigen Baubehörden auf ihre Prüfpflicht aufmerksam gemacht. In Hamburg werden Starkstromanlagen im 3-Jahres-Takt geprüft. Stellt ein Prüfer im Verlauf seiner Prüfung fest, dass eine ggf. nachgerüstete Photovoltaikanlage vorhanden ist, hat er diese mit zu prüfen. Sind für das Gebäude und die Photovoltaikanlage unterschiedliche Betreiber zuständig und wurde die Prüfung der Anlage nicht beauftragt, hat der Prüfer aufgrund seiner Hinweispflicht den Betreiber oder notfalls das Bauamt auf die Prüfpflicht der Anlage aufmerksam zu machen.

Für Erstprüfungen und wiederkehrenden Prüfungen nach § 14 und § 15 PVO könnte der **„Entwurf 1: Erstprüfung / wiederkehrende Prüfung nach PVO (HH)“** die Grundlage bilden. Sie basiert größtenteils auf den *„Grundsätzen für die Prüfung technischen Anlagen und Einrichtungen entsprechende der Prüfverordnung - PVO durch Prüfsachverständige“*, der LAR und den recherchierten VDE-Normen. Bezüglich des Ablaufs und Umfangs der Prüfungen und Dokumentation sind die VDE-Normen 0100-600, 0105-100 und speziell für Photovoltaikanlagen die EN 62446 heranzuziehen.

Dieser Entwurf und die dafür verwendeten Normen und Regelungen sollten auch bei beratender Tätigkeit anwendbar sein. Dies könnte bspw. baubegleitende Beratungen für Planer, Errichter und Bauherren umfassen und sollte die Schnittstelle zwischen Baubehörde

und Prüfer bilden. Versicherungsanforderungen nach VdS-Richtlinien werden hierbei ebenfalls abgedeckt, da diese größtenteils auf gesetzlichen und normativen Anforderungen beruhen.

Entwurf 1: Erstprüfung / wiederkehrende Prüfung nach PVO (HH)

Diese Prüfungen sind durch anerkannte Elektrotechnik-Prüfsachverständige nach PVO durchzuführen. Der Prüfturnus nach PVO beträgt bei Starkstromanlagen 3 Jahre.

Sobald bei der Anlage oder in deren Umfeld wesentliche Änderungen vorgenommen wurden, ist die wiederkehrende Prüfung als Erstprüfung durchzuführen. Die wichtigsten zu beachtenden Normen sind hierbei die VDE-Norm 0100-712 bzgl. der Errichtung und die EN-Norm 62305-3 (Bbl 5) bzgl. des Blitz- und Überspannungsschutzes.

(1.) Abgleich, Ordnungsprüfung allgemeiner Unterlagen

- Baugenehmigung und ggf. vorhandenes Brandschutzkonzept
 - Änderung / Neuer Genehmigungsbescheid oder Konzept
- Bericht über die letzte Prüfung
- Verwendbarkeitsnachweise bei nicht geregelten Bauprodukten

(2.) Abgleich, Ordnungsprüfung der Anlagendokumentation

- Änderungen des Prüfgegenstands oder der Betriebsbedingungen
- Anlagendokumentation
 - Grundrisse mit detaillierten Inhalten
 - Kurzbeschreibung der Anlage mit Angabe wesentlicher Teile
 - Aufbau- bzw. Installationspläne, Stromlaufpläne
 - Wirkschaltpläne der Sicherheitseinrichtungen (Funktionsbeschreibung)
 - Protokolle
- PV-Module, GAK, Wechselrichter
 - Typ, Leistungsdaten, Zertifikate, Nachweise
- Verkabelung
 - Typ, Daten, Verlegung (Beachtung Leitungstyp CU oder AL)
 - Strangpläne mit Angabe der Leiterquerschnitten
- Montagesystem
 - Aufbau, Eignung für PV-Module

(3.) Sicherheitstechnische Untersuchung der gesamten Anlage inkl. Betriebsmittel

- Eignungsfeststellung der eingesetzten Komponenten
 - Spannungen, Leistungen, Schutzart
 - Dimensionierung der String-Sicherungen (falls vorhanden)
- Sichtprüfungen auf der Basis der Norm-Anforderungen
- Funktionsprüfung der sicherheitsrelevanten Anlagenteile u.a.. VDE 0100-530
 - Lasttrennschalter („Feuerwehrscharter“)
 - Leistungsschalter

- Selbsttätige Freischaltstelle
- Fehlerstromschutzeinrichtungen
- Lichtbogendetektor, Brandmeldeüberwachung
- Messungen
 - Leistung von Modulen / Strings
 - Messungen von Kurzschlussstrom und Leerlaufspannung
 - String-Sicherungen vorhanden → Messung der Kennlinien einzelner Strings
- Brandwände und Brandabschnitte auf dem Dach
- Besondere Anforderungen an die Dachhaut
 - Eignung des Montagegestells
 - Entzündlichkeit der Dachhaut (Bitumen)
- Beschilderung, Warn- und Sicherheitshinweise

(4.) Sicherheitstechnische Untersuchung der Kabel- und Leitungsanlagen

- Leitungsanforderungen für Gebrauchsdauer von 25 Jahren im Außenbereich (höhere Anforderungen bzgl. Korrosionsbeständigkeit)
- Leitungsverlegung im Gebäude nach LAR und Normen
 - Verlegeart
 - Biegeradien, Befestigungen, Mindestabstände
 - Mechanischer Schutz

(5.) Sicherheitstechnische Untersuchung der Kabel- und Leitungsschottungen

- Einhaltung der Anforderungen der LAR
- Dachdurchdringung der elektrischen Leitungen

(6.) Prüfung Blitzschutz, Erdung und Überspannungsschutz

- Einhaltung der ergänzenden Normen wie VDE 0100-443, 0100-534 sowie EN 62561-1 und 50539-11 + 12
- Beurteilung des Blitzschutz- und Überspannungsschutz-Konzeptes und deren Umsetzung
 - Blitzschutz vorhanden → Trennungsabstände → ggf. Einbindung
- (Blitzschutz-)Potentialausgleich
- Erdungsanlage

Bei Unklarheiten oder speziellen Problemen bzgl. des inneren und äußeren Blitzschutzes wird empfohlen einen Blitzschutz-Sachverständigen hinzuzuziehen. Dieser kann ggf. eine Risikoanalyse für den Blitz- und Überspannungsschutz erstellen und die Erdungsanlage fachgerecht prüfen.

Prüfungen nach BGV A3 werden von (Unfall-)Versicherungen gefordert und sind erforderlich, um Unfälle bspw. durch elektrischen Schlag zu vermeiden. Sie dienen dem Personenschutz. Für Prüfungen im Rahmen einer BGV A3 Prüfung könnte der „**Entwurf 2: Prüfungen nach BGV A3 und TRBS 1201**“ die Grundlage bilden. Die Basis dieses Entwurfs bilden die

„Unfallverhütungsvorschrift – Elektrische Anlagen und Betriebsmittel (BGV A3)“ und die „Technischen Regeln der Betriebssicherheit – Prüfungen von Arbeitsmitteln und Überwachungsbedürftigen Anlagen (TRBS 1201)“. Die Prüfungen sind u.a. nach Betriebssicherheitsverordnung und VDE 0701-0702 oder VDE 0105-100 durchzuführen.

Ergänzend können dieselben Normen wie beim Entwurf für Prüfungen nach PVO herangezogen werden, sind aber nur bedingt erforderlich.

Entwurf 2: Prüfungen nach BGV A3 und TRBS 1201

Die jährlichen Prüfungen sind durch zur Prüfung „befähigte Personen“ vorzunehmen. Die TRBS 1203 konkretisiert die Voraussetzungen einer befähigten Person. Im Regelfall ist dies eine Elektrokraft.

Folgende Prüffristen gelten nach § 5 BGV A3, Tabelle 1A für *elektrische Anlagen und ortsfeste Betriebsmittel in „Betriebsstätten, Räumen und Anlagen besonderer Art“ (DIN VDE 0100-700)*.

- Der Prüfturnus der gesamten Anlage beträgt **ein Jahr** und ist dabei von einer Elektrofachkraft auf ihren ordnungsgemäßen Zustand zu prüfen.
- Die Fehlerstrom-, Differenzstrom- und Fehlerspannungs-Schalter sind alle **6 Monate** auf einwandfreie Funktion durch Betätigung der Prüfeinrichtung zu testen. Dies kann auch durch einen eingewiesenen Benutzer oder Betreiber der elektrischen Anlage geschehen, soweit für diesen keine Gefahren bestehen.

Die TRBS 1201 konkretisiert hierbei u.a. die Durchführung der Prüfung.

(1.) Ordnungsprüfung

Hierfür können Punkt (1.) und (2.) des **Entwurf 1** herangezogen werden.

(2.) Technische Prüfung

- Äußere und innere Sichtprüfung
 - Materialermüdung durch bspw. Korrosion bei Komponenten und Leitungen im Außenbereich
 - Auswirkungen von Naturereignissen wie Blitzschlag oder Sturm
 - Gehäuseschäden, defekte Leitungen, Schutzleiter, Verbinder
- Funktions- und Wirksamkeitsprüfung
 - Lasttrennschalter („Feuerwehrscharter“)
 - Leistungsschalter
 - Selbsttätige Freischaltstelle
 - Fehlerstromschutzeinrichtungen
 - Lichtbogendetektor, Brandmeldeüberwachung
- Prüfung mit Mess- und Prüfmitteln
 - Leistung von Modulen / Strings
 - Messungen von Kurzschlussstrom und Leerlaufspannung

- String-Sicherungen vorhanden → Messung der Kennlinien einzelner Strings

Betreiber von Photovoltaikanlagen erwarten neben einer ordnungsgerechten und sicherheitstechnisch einwandfreien Errichtung, dass die Anlage auch die erwarteten Erträge erwirtschaftet. Die Erträge bzw. Einsparungen beim Strombezug sind ein wesentlicher wirtschaftlicher Grund für die Errichtung einer Photovoltaikanlage und liegen der Amortisationsrechnung zugrunde. Bei Banken werden die zu erwartenden Erträge oftmals in die Kreditkonditionen eingerechnet, wodurch ein sicherer Anlagenwert entsteht, der günstigere Kreditkonditionen zur Folge hat.

Hierdurch sind Prüfungen von Anlagen hinsichtlich ihres sicheren Betriebes und ihrer Wirtschaftlichkeit über die gesamte Laufzeit erforderlich. Für Prüfungen nach diesen Anforderungen könnte der „**Entwurf 3: Prüfung auf ordnungsgemäßen Betrieb und Wirtschaftlichkeit**“ die Grundlage bieten. Der sicherste Betrieb wird durch eine Erstprüfung und wiederkehrende Prüfungen nach **Entwurf 1** erreicht. Darauf aufbauend sind Prüfungen der ertragsrelevanten Komponenten, sowie Ertragsberechnungen durchzuführen. Ein Monitoring-System, welches neben einem kontinuierlichem Abgleich tatsächlicher und erwarteter Erträge, auch String-Spannungen und Wechselrichterwerte ausliest, ist zu empfehlen.

Als weitere Grundlage wird die Dekra-internen Unterlage „*DEKRA Prüfstandart PV-Anlagen: PVA11-13*“ herangezogen.

Entwurf 3: Prüfung auf ordnungsgemäßen Betrieb und Wirtschaftlichkeit

Eine gute Ausgangsbasis bieten die Formulare „*Richtlinie zum E-Check PV-Anlagen*“ und der „*Photovoltaik-Anlagenpass*“ des Zentralverbandes der deutschen Elektro- und Informationstechnischen Handwerke. Sie bieten eine einfache und leicht verständliche Übersicht zur Ordnungsprüfung und Prüfungen sämtlicher Komponenten der Photovoltaikanlage.

(1.) Ordnungsprüfung

Hierfür können Punkt (1.) und (2.) des **Entwurf 1** herangezogen werden.

Die Ertragsberechnung / -gutachten ist auf Plausibilität zu prüfen. Dies lässt sich mittels der Ertragsdatenbank PVGIS / PVGIS-4³² auf einfacher Basis, oder durch professionelle Programme wie PV-Sol³³ sehr komplex durchführen.

- Aufstellung und Ausrichtung der Photovoltaikanlage
- Ermittlung der anlagenspezifischen Daten
 - Spannungsfall
 - Wirkungsgrad und Verluste

³² PVGIS steht für "Photovoltaic Geographical Information System" und ist die kostenlos zur Verfügung gestellte Ertragsdatenbank für Einstrahlungswerte der europäischen Kommission. [<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?lang=de&map=europe>]

³³ PV-Sol ist ein professionelles 3D-Simulationsprogramm zur Berechnung von netzgekoppelten Anlagen mit Speicherung in Batteriesystemen.

- Ertragshochrechnung aufgrund anlagenspezifischer Daten

(2.) Technische Prüfung

Hierfür können die Punkte (3.), (4.) und (6.) des **Entwurf 1** herangezogen werden, wodurch die sicherheitstechnischen Aspekte ebenfalls abgedeckt sind.

(3.) Messung und Berechnung des Wirkungsgrades

- Messungen des Wirkungsgrades an ausgesuchten Strings
- Berechnung, Bewertung und Gegenüberstellung der ermittelten und angegebenen Daten

(4.) Thermografie (bei Verdacht auf defekte Module)

- Thermische Messung der PV-Module während der Einstrahlung zur Erkennung von
 - Fehlern der Module einzelner Zellen
 - Hotspots
 - Defekten Anschlüssen
 - Kontakt- und Lötfehlern

(5.) Weitere Prüfungen

- Montagesystem
 - Statik und Ausführung in Bezug auf Herstellerangaben
 - kraftschlüssige Verbindungen und Anzugsmomente
- Monitoring-System
 - Auswertung und Prüfung der Datenübertragung
 - Fehleranalyse
- Allgemeiner und spezifischer Arbeitsschutz
 - Anforderungen aus Sicherheitskonzept
 - Warn- und Sicherheitshinweise

(6.) Beurteilung und Test des Diebstahl-, Sabotage- und Vandalismus-Schutzes

Die Entwürfe können Grundlagen für Prüfungen bilden und basieren auf den aufgeführten aktuellen Gesetzen, Normen und Richtlinien sowie Vorlagen aus der Wirtschaft. Sie lassen sich mit etwas Mehraufwand zu einsetzbaren Prüfprotokollen erweitern, die auch nach PVO im Rahmen der Prüfung der allgemeinen Starkstromanlage verwendet werden können.

5 Schluss

5.1 Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Arbeit wurde untersucht, wie mit Photovoltaikanlagen auf und an öffentlichen Gebäuden im Sinne des Baurechts verfahren werden kann. Dieses Problem kam bei Prüfsachverständigen bei Prüfungen von Starkstromanlagen nach Prüfverordnung auf. Es konnte gezeigt werden, dass die vorhandenen Regelungen im aktuellen Gesetzesrahmen ausreichend sind und Gefahren am häufigsten dann entstehen, wenn der Errichter keiner Kontrolle unterliegt.

Für diese Arbeit wurden eingangs Rahmenbedingungen geschaffen, auf deren Basis mittels einer Gefahrenanalyse mehrere Möglichkeiten für den sicheren Betrieb dieser Anlagen aufgezeigt wurden. Als Ergebnis ist ein relativ geringes aber vorhandenes Risiko meistens aufgrund mangelhafter Installationen festgestellt worden, das durch vorbeugende Maßnahmen verringert werden kann. Von diesem Ausgangspunkt aus ist eine Analyse der rechtlichen Anforderungen für die Errichtung auf öffentlichen Gebäuden durchgeführt worden. Sie kam zu dem Ergebnis, dass Photovoltaikanlagen grundsätzlich genehmigungsfrei errichtet werden dürfen, sofern sie die entsprechenden Voraussetzungen der Landesbauordnungen der Länder einhalten. Photovoltaikanlagen werden genehmigungspflichtig sobald sie eine Nutzungsänderung ergeben, was bspw. der Fall ist, wenn sie den erzeugten Strom überwiegend ins örtliche Stromnetz einspeisen. Des Weiteren trägt der Bauherr die Verantwortung für die Einhaltung der gesetzlichen Anforderungen. In Hamburg unterliegen Photovoltaikanlagen als Teil der Starkstromanlage zusätzlich einer gesetzlichen Prüfpflicht nach PVO. Für die Bundesländer Niedersachsen und Schleswig Holstein gibt es diese Prüfpflicht nicht, dafür wird allerdings vereinzelt die Erstabnahme durch einen Prüfsachverständigen durch die örtlichen Baubehörden gefordert.

Weiterhin wurde festgestellt, dass bei der Errichtung neben den gesetzlichen Anforderungen, auch die Technische Baubestimmungen, Normen und der aktuelle Stand der Technik zu beachten sind. Sofern die bestehenden technischen Normen eingehalten werden, lässt sich eine Photovoltaikanlage sicher errichten und betreiben. Viele junge und vielversprechende Technologien wie Lichtbogendetektoren und Einzel-Modul-Abschaltungen sind normativ noch nicht geregelt, sollten aber dennoch soweit möglich eingeplant werden. Hier liegt ein Nachteil in dem teils mehrjährigen Normentwicklungsprozess.

Auf Grundlage der vorbeugenden Maßnahmen und gesetzlichen sowie normativen Anforderungen wurden einige Entwürfe für Prüfungen bzw. den Umgang mit Photovoltaikanlagen durch Prüfsachverständige und Elektrofachkräfte ausgearbeitet.

5.2 Erfahrungen

Es wurde gezeigt, dass die Gefahr durch Photovoltaikanlagen bei professioneller Errichtung und Einhaltung sämtlicher bestehender Normen auf ein Minimum reduziert werden kann.

Dabei wurde allerdings ebenfalls festgestellt, dass die Technik und die Gesetzeslage noch nicht in letzter Instanz ausgereift sind und dadurch der Umgang mit Photovoltaikanlagen teilweise sehr erschwert wird. Ein Problem stellt die fehlende Prüfpflicht der allgemeinen Starkstromanlage in Niedersachsen und Schleswig Holstein dar, wodurch oftmals keine unabhängige Prüfung der Anlagen vor Inbetriebnahme durchgeführt wird. Auch wenn die rechtlichen Anforderungen größtenteils geklärt sind, wird hierdurch das Risiko für unbeteiligte Personen nicht kleiner. Ein weiteres Problem stellt die Frage nach einer sich möglicherweise ergebenden Nutzungsänderung dar. Hier ist durch den Gesetzgeber nicht klar genug geregelt, wann und wo sich eine Nutzungsänderung ergibt, durch die die Anlagen von der Genehmigungsfreiheit ausgenommen werden.

Dass Normen oftmals nicht den aktuellsten Stand der Technik darstellen ist ebenfalls ein Problem, da sich im Rahmen von Prüfungen gegenüber dem Bauherrn der aktuelle Stand der Technik nicht normativ zeigen lässt. Es ist immer schwer etwas zu fordern oder zu empfehlen, was in einer Norm nicht aufgeführt ist. Die Normen werden zwar ständig weiterentwickelt, aber wie bereits festgestellt kann sich dies über Jahre hinziehen. Somit existieren viele technische Weiterentwicklungen, die den aktuellen Stand der Technik abbilden, aber nur bei Herstellern und Fachkundigen bekannt sind.

Grundsätzlich wurde mittels dieser Arbeit gezeigt, dass unabhängige Prüfungen den sicheren Betrieb einer Photovoltaikanlage maßgeblich verbessern können.

5.3 Ausblick

Die Entwicklung und Integration sind, dank des rasanten Wachstums der Photovoltaik-Technologie und der erneuerbaren Energien im Allgemeinen, nicht mehr aufzuhalten. Die erneuerbaren Energien sind längst ein notwendiger und akzeptierter Teil der Gesellschaft geworden. Umso wichtiger ist es, dass die Genehmigungspflicht bzw. die Verantwortung der Errichter und Betreiber klarer geregelt werden muss. Hier sind gegebenenfalls die Baubehörden in die Pflicht zu nehmen, damit elektrische Anlagen insbesondere Photovoltaikanlagen, zumindest in öffentlichen Gebäuden (siehe Prüfverordnung), häufiger durch einen unabhängigen Prüfsachverständigen abgenommen werden. Die Prüfverordnungen regeln Erst- und wiederkehrende Prüfungen grundsätzlich ausreichend und müssten hierzu nur etwas angepasst bzw. erweitert werden.

Literaturverzeichnis

Ausschuss für Betriebssicherheit BAuA. (August 2012). *Technischer Regeln für Betriebssicherheit - Prüfung von Arbeitsmitteln und überwachungsbedürftigen Anlagen (TRBS 1201)*.

Ausschuss für Blitzschutz und Blitzforschung des VDE (ABB). (2008). *Leitfaden Blitz- und Überspannungsschutz für bauliche Anlagen und elektrische Installationen*. Berlin: VDE Verlag.

Berliner Immobilienmanagement GmbH. (2013). *Berlin plant 200 neue Photovoltaik-Anlagen bis 2015 auf den Dächern der Stadt*. Berlin: Berliner Immobilienmanagement GmbH.

Berufsgenossenschaftliche Vorschrift für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit (BG-Vorschrift). (Stand 04/2012). *BGV A3 Unfallverhütungsvorschrift - Elektrische Anlagen und Betriebsmittel*. Hamburg: Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege (BGW).

Betriebssicherheitsverordnung - BetrSichV in der Fassung vom 27. September 2002. (zuletzt geändert am 08.11.2011). *Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Bereitstellung von Arbeitsmitteln und deren Benutzung bei der Arbeit, über Sicherheit beim Betrieb überwachungsbedürftiger Anlagen und über die Organisation des betrieblichen Arbeitsschutzes*.

BSW - Bundesverband Solarwirtschaft e.V. (Dezember 2012). *Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung von Solaranlagen*. Berlin: BSW Solar.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit BMUB. (09. Oktober 2013). *Richtlinie zur Förderung von Klimaschutzprojekten in sozialen, kulturellen und öffentlichen Einrichtungen im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative*. Berlin: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit BMUB. (12. Juni 2013). *Energiewende global: Trend zu erneuerbaren Energien setzt sich fort*. Berlin: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit.

Callondann, K. (03. April 2014). *Schadenfälle, Mängel und deren Vermeidung*. GDV.

Czycholl, H. (15. April 2011). Wann die Solaranlage auf dem Dach illegal ist. *Die Welt*.

Deutsches Institut für Bautechnik DIBt. (07. März 2014). *Bauregelliste A, Bauregelliste B und Liste C - Ausgabe 2014/1*. Deutsches Institut für Bautechnik.

Deutsches Institut für Bautechnik DIBt. (13. Juni 2014). *Stand der Umsetzung der Musterliste der Technischen Baubestimmungen in den Ländern*. Deutsches Institut für Bautechnik.

DIBt Deutsches Institut für Bautechnik. (Juli 2012). *Hinweise für die Herstellung, Planung und Ausführung von Solaranlagen*. Berlin: Deutsches Institut für Bautechnik.

DIN-Normen haben Empfehlungscharakter nach dem Urteil des BGH v. 14.05.1998, VII ZR 184/97 (Bundesgerichtshof, 14. Mai 1998).

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE. (September 2014). *DIN CLC/TS 50539-12 (VDE V 0675-39-12), Überspannungsschutzgeräte für Niederspannung - Überspannungsschutzgeräte für besondere Anwendungen einschließlich Gleichspannung - Teil 12: Auswahl und Anwendungsgrundsätze [...] für [...] Photovoltaik-Installationen*. VDE Verlag.

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE. (Dezember 2013). *DIN EN 50539-11 (VDE 0675-39-11), Überspannungsschutzgeräte für Niederspannung - Überspannungsschutzgeräte für besondere Anwendungen einschließlich Gleichspannung - Teil 11: Anforderungen und Prüfungen [...] für [...] Photovoltaik-Installationen*. VDE Verlag.

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE. (Oktober 2009). *DIN EN 62305-3 Beiblatt 5 (VDE 0185-305-3 Beiblatt 5), Blitzschutz - Teil 3: Schutz vor baulichen Anlagen und Personen - Beiblatt 5: Blitz- und Überspannungsschutz für PV-Stromversorgungssysteme*. VDE Verlag.

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE. (Juli 2010). *DIN EN 62446 (VDE 0126-23), Netzgekoppelte Photovoltaik-Systeme - Mindestanforderungen an Systemdokumentation, Inbetriebnahmeprüfung und wiederkehrende Prüfungen*. VDE Verlag.

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE. (Februar 2013). *DIN EN 62561-1 (VDE 0185-561-1), Blitzschutzsystembauteile (LPSC) - Teil 1: Anforderungen an Verbindungsbauteile*. VDE Verlag.

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE. (Juni 2009). *DIN VDE 0100-100, Errichten von Niederspannungsanlagen - Teil 1: Allgemeine Grundsätze, Bestimmungen allgemeiner Merkmale, Begriffe*. VDE Verlag.

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE. (Juni 2007). *DIN VDE 0100-443, Errichten von Niederspannungsanlagen - Teil 4-44: Schutzmaßnahmen - Schutz bei Störspannungen und elektromagnetischen Störgrößen - Abschnitt 443: Schutz bei Überspannungen infolge atmosphärischer Einflüsse oder vor Schaltverzögerungen*. VDE Verlag.

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE. (Juni 2011). *DIN VDE 0100-530, Errichten von Niederspannungsanlagen - Teil 530: Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel - Schalt- und Steuergeräte*. VDE Verlag.

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE. (Februar 2009). *DIN VDE 0100-534, Errichten von Niederspannungsanlagen - Teil 5-53:*

Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel - Trennen, Schalten und Steuern - Abschnitt 534: Überspannung-Schutzeinrichtungen (ÜSE). VDE Verlag.

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE. (Juni 2012). *DIN VDE 0100-540, Errichten von Niederspannungsanlagen - Teil 5-54: Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel - Erdungsanlagen und Schutzleiter.* VDE Verlag.

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE. (Juni 2011). *DIN VDE 0100-551, Errichten von Niederspannungsanlagen - Teil 5-55: Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel - Andere Betriebsmittel - Abschnitt 551: Niederspannungsstromerzeugungseinrichtungen.* VDE Verlag.

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE. (Juni 2008). *DIN VDE 0100-600, Errichten von Niederspannungsanlagen - Teil 6: Prüfungen.* VDE Verlag.

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE. (Juni 2006). *DIN VDE 0100-712, Errichten von Niederspannungsanlagen - Teil 7-712: Anforderungen für Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art - Solar-Photovoltaik-(PV)-Stromversorgungssysteme.* VDE-Verlag.

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE. (Oktober 2009). *DIN VDE 0105-100, Betrieb von elektrischen Anlagen - Teil 100: Allgemeine Festlegungen.* VDE Verlag.

Durchführungsverordnung - DVO-NBauO in der Fassung vom 26. September 2012. (26. September 2012). *Allgemeine Durchführungsverordnung zur Niedersächsischen Bauordnung (DVO-NBauO).*

Energieagentur Regio Freiburg. (2006). *Studie als Wegweiser für Handwerker und Anlagenbetreiber zur Effizienzsteigerung.* Freiburg: Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme.

Erbe, L. (3-2011). *Typische Mängel an Photovoltaikanlagen.* Schadenprisma.

Expertenkommission "Brandschutzgerechte Planung, Installation und Betrieb von PV-Anlagen". (Februar 2011). *Brandschutzgerechte Planung, Errichtung und Instandhaltung von PV-Anlagen.*

Gesamtverband der deutschen Versicherungswirtschaft GDV. (03. August 2010). *Nicht jede Photovoltaikanlage hält, was sie verspricht.*

Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien sowie zur Änderung des Energiewirtschaftsgesetzes und des Mineralölsteuergesetzes in der Fassung vom 29. März 2000. (29. März 2000). *Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG).* Bonn.

Gesetz über die Elektrizitäts- und Gasversorgung in der Fassung vom 07. Juli 2005. (zuletzt geändert am 21. Juli 2014). *Energiewirtschaftsgesetz (EnWG).* Bonn.

Grundsätze der Prüfverordnung - PVO in der Fassung vom Januar 2009. (Januar 2009). *Grundsätze für die Prüfung technischer Anlagen und Einrichtungen entsprechend der Prüfverordnung - PVO durch Prüfsachverständige*. Hamburg.

Grundsätze entsprechend der Prüfverordnung in der Fassung vom 21. Oktober 2013. (21. Oktober 2013). *Grundsätze für die Prüfung Technischer Anlagen entsprechend der Prüfverordnung durch bauaufsichtlich anerkannte Prüfsachverständige*.

Gustav Hensel GmbH & Co. KG. (2009). *Der Elektrotipp - Was fordert die Norm DIN VDE 0100 Teil 712*. Lennestadt.

Häberlin, H. (Januar 2012). *Gefährdung der Feuerwehr beim Löschangriff an PV-Anlagen bei Mond- und Kunstlicht*. Bern, Schweiz: Berner Fachhochschule.

Hamburgische Bauordnung in der Fassung vom 14. Dezember 2005. (zuletzt geändert am 28. Januar 2014). *Hamburgische Bauordnung (HBauO)*. Hamburg.

Heidler, K. (15. Juli 2008). *Untersuchungen von Photovoltaik in Städten*. Freiburg: Fraunhofer ISE.

Hoffmann, V. U. (Nov-Dez 2008). Damals war's - Ein Rückblick auf die Entwicklung der Photovoltaik in Deutschland. *Sonnenenergie*, S. 38-39.

Initiativkreis ELEKTRO+. (2007). *Schutz gegen elektrischen Schlag - Erläuterungen zu DIN VDE 0100-410*. Berlin: HEA - Fachgemeinschaft für effiziente Energieanwendung e.V.

Keßler, R. (2014). *DEKRA Prüfstandard PV-Anlagen : PVA11-13*. Dekra.

Landesbauordnung für das Land Schleswig-Holstein in der Fassung vom 22. Januar 2009. (22. Januar 2009). *Landesbauordnung Schleswig-Holstein (LBO SH)*.

Laukamp, H., & Schmidt, H. (03. April 2014). *Zusammenfassung Schadensfallerhebung und -analyse*. Köln: Fraunhofer ISE.

Leitungsanlagen-Richtlinie LAR in der Fassung vom Nov. 2006. (November 2006). *Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Leitungsanlagen*. Hamburg.

Markus Scholand. *Sachverständigengutachten über die Prüfung der Photovoltaikanlage*. Solarenergie-Förderverein Deutschland.

Mertens, K. (2013). *Photovoltaik - Lehrbuch zu Grundlagen, Technologie und Praxis* (2. neu bearbeitete Auflage, Ausg.). München: Carl Hanser Verlag.

Musterbauordnung in der Fassung vom November 2002. (zuletzt geändert am 21.09.2012). *Musterbauordnung (MBO)*.

Muster-Leitungsanlagen-Richtlinie MLAR in der Fassung vom 17.05.2005. (17. Mai 2005). *Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Leitungsanlagen*.

Muster-Prüfgrundsätze in der Fassung vom 26. November 2010. (26. November 2010). *Grundsätze für die Prüfung technischer Anlagen entsprechend der Muster-Prüfverordnung durch bauaufsichtlich anerkannte Prüfsachverständige (Muster-Prüfgrundsätze)*.

Muster-Prüfverordnung - MPrüfVO in der Fassung vom März 2011. (März 2011). *Muster-Verordnung über Prüfungen von technischen Anlagen nach Bauordnungsrecht - MPrüfVO - (Muster-Prüfverordnung)*.

Muster-Schulbau-Richtlinie MSchulbauR in der Fassung vom April 2009. (April 2009). *Muster-Richtlinie über bauaufsichtliche Anforderungen an Schulen*.

Niedersächsische Bauordnung in der Fassung vom 03. April 2012. (03. April 2012). *Niedersächsische Bauordnung (NBauO)*.

Normenausschuß Bauwesen (NABau) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (März 1994). *DIN 4102 Teil 4 - Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile*. Beuth Verlag.

Obo Bettermann GmbH & Co. KG. (Mai 2013). *Leitfaden - Umfassender Schutz für Photovoltaikanlagen*. Menden: Obo Bettermann.

Obo Bettermann GmbH & Co. KG. (März 2012). *Lösungen für Photovoltaik-Anlagen, Gesamtkatalog*. Menden: Obo Bettermann.

Obo Bettermann GmbH & Co. KG. (Feb. 2009). *OBO Systemlösungen für Photovoltaik-Anlagen*. Menden: Obo Bettermann.

Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung. (17. März 2014). *Machbarkeitsstudie Klimaneutrales Berlin 2050*. Potsdam und Berlin: Interdisziplinäres Projektkonsortium unter Leitung des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung.

Prüfverordnung - PrüfVO in der Fassung vom 10. November 2009. (10. November 2009). *Landesverordnung über die Prüfung technischer Anlagen und Einrichtungen nach dem Bauordnungsrecht (Prüfverordnung - PrüfVO)*.

Prüfverordnung - PVO in der Fassung vom 14. Februar 2006. (zuletzt geändert am 21. Dezember 2010). *Verordnung über Prüfsachverständigen und Prüfingenieure, Prüfsachverständige und Technische Prüfungen*. Hamburg.

pv magazine. (07. Februar 2013). *Lichtbögen rücken in den Fokus*. pv magazine.

Quaschnig, V. (2013). *Erneuerbare Energien und Klimaschutz* (3. aktualisierte und erweiterte Auflage, Ausg.). München: Carl Hanser Verlag.

Sieg, M. (Oktober 2010). *Der vermeidbare Albtraum*. photovoltaik.eu.

Solaranlagen auf Gebäuden nach der Entscheidung des OVG NRW v. 20.09.2010, 7 B 985/10 (Oberverwaltungsgericht NRW, 20. September 2010).

Solarenergieförderverein Bayern e. V. (April 2003). *Genehmigung von Photovoltaikanlagen - Ein Leitfaden zum Baurecht*. München: Solarenergieförderverein Bayern.

Stiftung Warentest. (März 2011). Bauamt stoppt Solaranlage. *Finanztest 3/2011*, S. 42-43.

United Nations. (2009). *World population prospects - the 2008 revision*. New York.

Vaaßen, W. (07. April 2014). *Qualifizierung von Wartungs- und Installationsfachbetrieben für Photovoltaik*. Köln: TÜV Rheinland.

VdS-Richtlinie 2010. (September 2010). *Risikoorientierter Blitz- und Überspannungsschutz - Unverbindliche Richtlinien zur Schadenverhütung*. VdS.

VdS-Richtlinie 2025. (Januar 2008). *Elektrische Leitungsanlagen - Richtlinien zur Schadenverhütung*. VdS.

VdS-Richtlinie 2216. (August 2001). *Brandschutzmaßnahmen für Dächer - Merkblatt für die Planung und Ausführung*. VdS.

VdS-Richtlinie 2234. (Juli 2012). *Brand- und Komplexwände - Merkblatt für die Anordnung und Ausführung*. VdS.

VdS-Richtlinie 3145. (Juli 2011). *Photovoltaikanlagen - Technischer Leitfaden*. VdS.

Wegmann, W. (03. April 2014). *Brandgefährdung innerhalb PV-Anlagen durch Blitz- und Überspannung*. Dehn + Söhne.

Wirth, H. (28. Mai 2014). *Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland*. Freiburg: Fraunhofer ISE.

Zahlmann, P. (03. November 2011). *Blitzschutz von PV-Anlagen*. Dehn + Söhne.

Zahlmann, P., & Birkl, J. (Ausgabe S1/2009). *Installationsvorschriften für Überspannungsschutzeinrichtungen - Teil 2*. etz, S. 2-13.

Zahlmann, P., & Birkl, J. (Ausgabe 8/2008). *Installationsvorschriften für Überspannungsschutzeinrichtungen*. etz, S. 54-57.

Zentralverband der deutschen Elektro- und Informationstechnischen Handwerke - ZVEH. (07. März 2012). *Richtlinie zum E-Check PV-Anlagen*.

Zentralverband der deutschen Elektro- und Informationstechnischen Handwerke - ZVEH, Bundesverband Solarwirtschaft - BSW. (November 2009). *Photovoltaik-Anlagenpass*.

Anhang

Die verwendeten Bilder sowie die im Literaturverzeichnis aufgeführte Literatur mit Ausnahme der DIN- und VDE-Normen befinden sich als Anlage auf der beiliegenden DVD „*Bachelorthesis, Jan Pierre Mothes - Anlagen*“.

Erklärung der selbstständigen Bearbeitung der Arbeit

Hiermit versichere ich,

Name: Mothes

Vorname: Jan Pierre

dass ich die vorliegende Bachelorarbeit im Sinne der Prüfungsordnung nach § 16 Abs. 5 APSO-TI-BM ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen habe ich unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

Hamburg, 13. November 2014

Jan Pierre Mothes