

Überlegungen zum Blitzschutzkonzept für regenerative Energieanlagen

Alexander Kern • Frank Krichel

Dem Blitzschutz von Anlagen der regenerativen Energien kommt in Zukunft eine steigende Bedeutung zu. Dabei ist es notwendig zu berücksichtigen, dass die Schutzmaßnahmen technisch/wirtschaftlich ausgewogen sind. Erbauer, Besitzer oder Benutzer von netzautarken Hybridanlagen haben zu entscheiden, ob die Anlage einen Schutz braucht oder nicht. Um diese Entscheidung zu fällen, ist eine Risikoanalyse als erster Schritt sinnvoll. Diese muss dabei die für die Hybridanlage relevanten Schadenarten und spezifischen Parameter, Werte und Randbedingungen mit einbeziehen. Dazu ist die Hilfe eines Blitzschutzexperten sehr hilfreich.

Hybridanlagen der regenerativen Energietechnik bestehen üblicherweise aus einer oder mehreren Photovoltaik(PV-)Anlagen, ggf. auch Solarthermie(ST-)Anlagen und einem oder mehreren kleineren Windenergieanlagen (WEA). Sie werden vor allem in Gegenden mit sehr schlechter öffentlicher Energieversorgung eingesetzt, d. h. im Besonderen in relativ dünn bewohnten Gebieten und in Entwicklungsländern, dort zum großen Teil auch netzautark.

Der Blitzschutz von netzautarken Hybridanlagen ist ein bislang noch vergleichsweise unzureichend bearbeitetes Fachgebiet. Dies zeigen auch konkrete Schadenfälle. So wurden z. B. durch einen Blitzschlag in die netzautarke Hy-

bridanlage „Vatali“ definiert. Dies geschieht auf Basis einer detaillierten Risikoanalyse. Daraus werden dann Ertüchtigungsmaßnahmen abgeleitet, die mit überschaubarem Aufwand realisierbar sind. Abschließend werden einige grundlegende Empfehlungen für den Blitzschutz regenerativer Energieanlagen gegeben.

Ist-Zustand des Blitzschutzes von Windenergie- und PV-Anlagen

Für große Windenergieanlagen (WEA) wurde in den letzten Jahren eine Zahl



Bild 1. Gesamtübersicht der Anlage „Vatali“

Prof. Dr.-Ing. Alexander Kern (40), VDE, hat Elektrotechnik, Fachrichtung Elektrische Energietechnik an der Universität der Bundeswehr München studiert, wo er auch promoviert wurde. Seit 1996 hat er die Professur für Hochspannungstechnik und Grundlagen der Elektrotechnik an der Fachhochschule Aachen, Abteilung Jülich, inne. Er beschäftigt sich in anwendungsbezogener Forschung im Besonderen mit Fragestellungen des Blitzschutzes.
E-Mail: a.kern@fh-aachen.de



Dipl.-Ing. (FH) Frank Krichel (30) hat Elektrotechnik, Fachrichtung Elektrische Energietechnik an der Fachhochschule Aachen, Abteilung Jülich studiert. Er ist dort wissenschaftlicher Mitarbeiter im Labor für Hochspannungstechnik und zuständig für die Bearbeitung von Forschungsvorhaben auf dem Gebiet des Blitzschutzes.
E-Mail: krichel@fh-aachen.de



bridanlage „Vatali“ auf Kreta/Griechenland im Jahre 2000 sowohl einige mechanische wie auch elektrische Komponenten der Anlage zerstört bzw. zum Teil schwer beschädigt. Die Anlage „Vatali“ besaß zum Zeitpunkt des Blitzeinschlags keinen wirksamen Blitzschutz. Der Gesamtschaden der Hardware belief sich auf ca. 60 000 €. Die exponierte Stellung der Anlage auf einer Bergspitze stellte und stellt nach wie vor ein erhebliches Blitzeinschlagsrisiko dar, so dass auch zukünftig mit Blitzeinwirkungen gerechnet werden muss.

Basierend auf einer kurzen Darstellung des Ist-Zustands von üblichen Blitzschutzmaßnahmen an und in Windenergie- und PV-Anlagen werden in diesem Beitrag die blitzschutztechnischen Erfor-

von FuE-Projekten durchgeführt, zum Großteil finanziert durch die öffentliche Hand, zum kleineren Teil auch durch die Industrie (im Wesentlichen durch WEA-Hersteller). Dabei wurden bestehende Defizite im Design der WEA festgestellt und Maßnahmen vorgeschlagen, die vor den mechanischen Zerstörungen, im Besonderen des Rotors, und vor den Störungen und Zerstörungen an den elektrischen/elektronischen Systemen der WEA weitgehend Schutz bieten [1–3]. Der „Stand der Normung“ ist im Norm-Entwurf E DIN IEC 88/117/CD (E VDE 0127 Teil 24): 2000-06 „Windenergieanlagen – Blitzschutz für Windenergieanlagen“ [4] (dt. Übersetzung der internationalen Norm IEC/TR 61400-24:2002-07 „Wind Turbine Generator Systems – Part 24: Lightning

Protection“) dokumentiert [5]. Die Maßnahmen sind allerdings im Besonderen für größere WEA vorgesehen; im Falle kleinerer WEA lassen sie sich nur bedingt umsetzen. Trotzdem sind auch kleinere WEA relativ stark blitzeinschlaggefährdet, wenn sie auf einer Bergkuppe o. Ä. platziert werden. Für solche kleinere WEA, wie sie bei Hybridanlagen üblicherweise Verwendung finden, müssen die Blitzschutzmaßnahmen aus der E DIN IEC 88/117/CD (E VDE 0127 Teil 24): 2000-06 angepasst werden.

Für PV- und auch ST-Anlagen ist eine entsprechende Blitzschutz-Norm noch nicht in Sicht. Hier ist vor allem der Schutz gegen direkte Blitzeinschläge in die Anlage bzw. die Gebäude noch nicht ausreichend beachtet. Blitzfangeinrichtungen sind oft nicht vorgesehen. In aller Regel hat man dabei bisher eine Ausführungsform des Blitzschutzes realisiert, die primär einen Ferneinschlag berücksichtigt und die dabei entstehenden induzierten, relativ energiewachen Überspannungen durch schwächere Schutz-elemente wie Rückstromdioden, Bypassdioden und zum Teil thermisch überwachte Varistoren begrenzt [6–8].

Diese Schutz-elemente können allerdings bei Naheinschlägen bzw. Direkt-einschlägen überlastet und damit zerstört werden. Darüber hinaus können Nah- oder Direkt-einschläge auch zur Schwächung der elektrischen Festigkeit der PV-Modulisolierung führen. Die Folge davon sind lokale extreme Wärmeentwicklungen, die sogar ein Schmelzen von Glas (sekundärer Langzeiteffekt) hervorrufen könnten.

Beschreibung der Hybridanlage „Vatali“

Das Zentrum C.A.R.E. (Centre for the Application of Renewable Energies) in Vatali/Griechenland wird von der Fachhochschule Aachen [9] gemeinsam mit der Gemeinde Prasses/Griechenland, der örtlichen landwirtschaftlichen Genossenschaft, der Technischen Hochschule TEI Heraklion, Kreta/Griechenland [10] und dem ITC-CIEA, Las Palmas, Gran Canaria/Spainien [11] aufgebaut. Diese Projekte wurden durch die AG-Solar NRW [12], die EU [13] und die restlichen Partner gefördert. Das erste Projekt war die Errichtung eines PV-betriebenen Kühlhauses im Jahr 1994. Am 6. Juli 1997 wurde das Zentrum gemeinsam durch das nordrhein-westfälische Ministerium für Wissenschaft und Forschung [14] und das Griechische Ministerium für Landwirtschaft eingeweiht [15] (Bild 1).

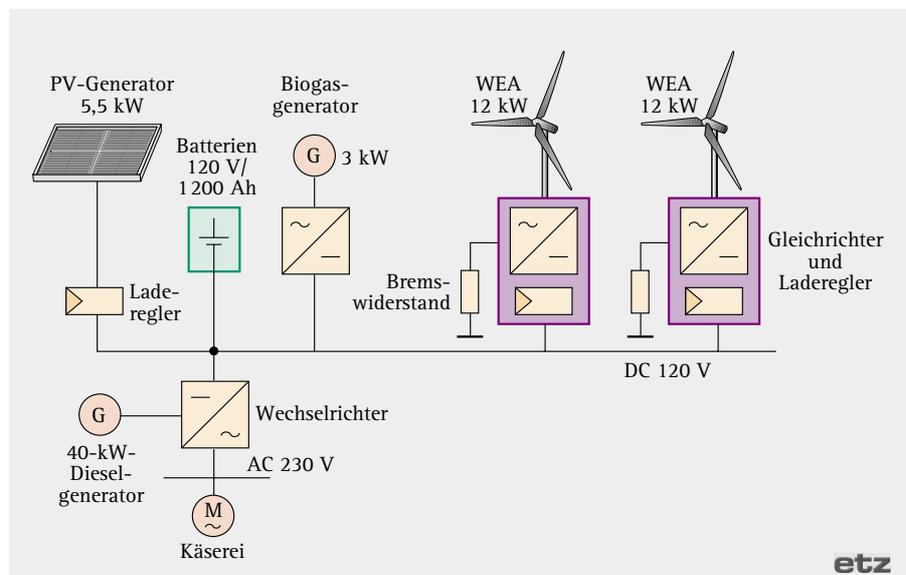


Bild 2. Schematische Darstellung der Hybridanlage „Vatali“ (Ausschnitt)

Die wesentlichen Merkmale des Zentrums sind:

- Internationales und interdisziplinäres Forschungs-, Aus- und Weiterbildungszentrum,
- Erforschung, Demonstration und Verbreitung von Technologien für den ländlichen Raum, wie Technologien für regenerative Energieerzeugung und Nutzung (Photovoltaik (PV), Wind, Biogas, Wasser); Hybridsysteme zur dezentralen Energieversorgung; Lagerung und Verarbeitung landwirtschaftlicher Produkte; Wasser- und Abwassertechnologie,
- Einbindung in Netzwerke mit Kooperationspartnern im Mittelmeerraum,
- integrale Lösungen zur nachhaltigen wirtschaftlichen Entwicklung ländlicher Gebiete (Energie, Wasser, Landwirtschaft, Umweltschutz, Wiederherstellung des natürlichen Gleichgewichts).

Neben den Systemen in Vatali umfasst das Konzept des C.A.R.E. auch Projekte an Standorten in der näheren Umgebung (z. B. die Meerwasserentsalzungsanlage, Abwassertechnologien). Das Zentrum bietet eine im östlichen Mittelmeerraum einzigartige Möglichkeit zur Erforschung, Entwicklung, Demonstration und Verbreitung regenerativer Energietechnologien und ihrer Anwendung. Es stellt die Infrastruktur für weitere Projekte mit lokalen und europäischen Partnern aus Hochschulen und Unternehmen. In Zusammenarbeit mit den lokalen Partnern bietet es zahlreichen Studenten der FH Aachen die Möglichkeit zur Durchführung von Praxissemestern und Diplomarbeiten (zusammen 135 in sieben Jahren).

Wichtig ist dabei die Zusammenarbeit mit kleinen und mittleren Unternehmen aus Deutschland, Griechenland und Spanien, da diese Unternehmen dabei die Erfahrung gewinnen, die ihnen die eigene Durchführung und Verbreitung von Projekten im Bereich der regenerativen Energien ermöglichen. Schulungen, Aus- und Weiterbildungskurse gewährleisten den Technologietransfer aus dem FuE-Bereich an die Unternehmen, da erst die Fähigkeit der regionalen Unternehmen zur Installation und Wartung regenerativer Techniken deren erfolgreichen Betrieb in kommerziellen Anwendungen ermöglicht.

Die Energie der Käserei und der gesamten Beleuchtung der Anlage wird durch eine Hybridanlage, bestehend aus einem Photovoltaikgenerator mit $P_{\text{peak}} = 5,5 \text{ kW}$, zwei WEA, einem Biogas-generator und einem Dieselgenerator bereitgestellt. Die verschiedenen Generatoren sind gleichstromseitig miteinander gekoppelt (Bild 2).

Da die Verbraucher mit einer Spannung von AC 230 V versorgt werden müssen, wird ein Wechselrichter eingesetzt. Die erzeugte Energie wird entweder direkt der Käserei zugeführt oder in Batterien mit einer Kapazität von 1200 Ah gespeichert. Der Dieselgenerator dient lediglich als Notstromversorgung. Dadurch ist die Energieversorgung der Käserei bei geringer solarer Einstrahlung und nachts gewährleistet. Der Batteriespeicher ist so ausgelegt, dass er den Betrieb für 2,6 Tage ununterbrochen aufrecht erhalten kann, ohne selber wieder aufgeladen werden zu müssen. Ein Biogastank sorgt für eine zusätzliche Reserve von Biogas,

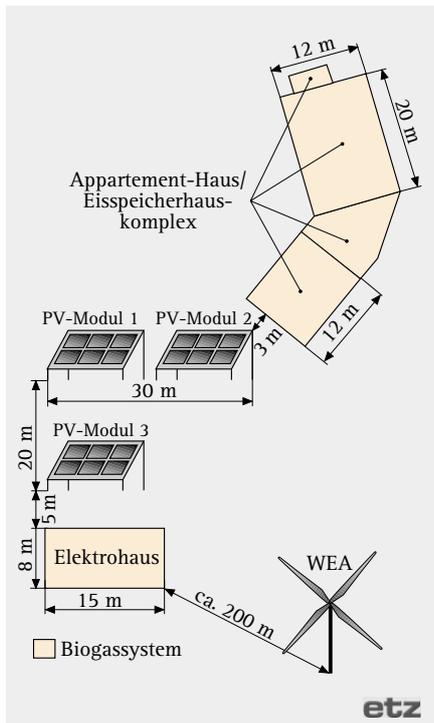


Bild 3. Übersicht über die Anlagenteile „Vatali“

so dass der Biogasgenerator auch dann eingesetzt werden kann, wenn die Batterien leer sind. Zwei weitere Photovoltaikgeneratoren mit $P_{\text{peak}} = 3,8 \text{ kW}$ und $P_{\text{peak}} = 4,5 \text{ kW}$ versorgen weitere Teile der Anlage „Vatali“.

Risikoanalyse für die Anlage „Vatali“

Der erste Schritt bezüglich des Blitzschutzes einer netzautarken Hybridanlage ist die Entscheidung, ob solch ein Schutz überhaupt notwendig ist und wenn, welche Schutzmaßnahmen ergriffen werden müssen. Parameter, die in Betracht gezogen werden müssen, sind zum Beispiel:

- Der von der Hybridanlage und Verkabelung bedeckte Bereich,
- die Blitzdichte in der Umgebung,
- die Komponenten der Hybridanlage (Windenergie-, PV-, Biogas-Systeme, Dieselgeneratoren etc.) und ihr Standort,
- die Kosten der Hybridanlage,
- die Gefahr für die an der Hybridanlage arbeitenden oder sich aufhaltenden Personen während eines Gewitters,
- die Notwendigkeit einer ununterbrochenen oder nur kurzzeitig gestörten elektrischen Versorgung der angeschlossenen Verbraucher (hohe Verfügbarkeit),
- die Möglichkeit einer schnellen Instandsetzung von beschädigten oder gestörten Bauteilen im Falle eines einschlagbedingten Ausfalls.

Die Liste kann aufgrund der ganz individuellen Bedingungen der einzelnen netzautarken Hybridanlagen natürlich nicht vollständig sein. Eine detaillierte Risikoanalyse ist mit Hilfe der neuen deutschen Norm DIN V VDE V 0185-2 (VDE V 0185 Teil 2):2002-11 „Blitzschutz – Teil 2: Risiko-Management: Abschätzung des Schadenrisikos für bauliche Anlagen“ [16] möglich. Damit führt die Risikoanalyse direkt zu individuell notwendigen Schutzmaßnahmen für eine Hybridanlage.

Für die weitere Beschreibung der Risikoanalyse ist die Behandlung eines realen Falles von Vorteil. Beispielhaft für die Hybridanlage „Vatali“ wurde die Risikoanalyse ausgeführt, um die notwendigen Schutzmaßnahmen zu ermitteln. Die relevanten Schadenarten für Vatali sind [16]:

- Verlust von Leben (D1) der am Standort arbeitenden Menschen, besonders innerhalb der Gebäude,
- Verlust von Dienstleistungen für die Öffentlichkeit (D2) aufgrund der Tatsache, dass dort keine öffentliche Energieversorgung existiert, die beim Ausfall der Hybridanlage die Versorgung sicherstellen könnte,
- wirtschaftliche Verluste (D4) aufgrund des Werts der Hybridanlage (im Vergleich zu den Schadenkosten des Einschlags von 2000).

Der gesamte Standort der Hybridanlage „Vatali“ wurde in vier Hauptteile eingeteilt, die gesondert in der Risikoauswertung (Bild 3) behandelt wurden:

- Appartement-Haus/Eisspeicher,
- Elektrohaus,
- zwei WEA,
- drei PV-Systeme.

Für jeden Hauptteil wurde die Risikoanalyse individuell durchgeführt, d. h. die äquivalenten Fangflächen (sowohl für die Gebäude als auch für die Kabel, die in die Gebäude eintreten), die Schadenwahrscheinlichkeiten, Reduktions- und Schadenfaktoren wurden für jeden einzelnen Teil bewertet. Dann wurden die notwendigen Schutzmaßnahmen gesondert ausgewählt. Es würde den Rahmen dieses Beitrags sprengen, alle Details der Bewertung des Schadenrisikos zu beschreiben; deshalb werden nur die Ergebnisse für die vier Hauptteile in den Tabellen 1 bis 4 gezeigt. Diese sind:

- Die relevanten Schadenarten,
- die akzeptierbaren Schadenrisiken für diese Schadenarten (für die wirtschaftlichen Verluste (D4) ist derselbe Wert (10^{-3}) definiert wie für die Schadenart D2 (Verlust von Dienstleistungen für die Öffentlichkeit)),

Schadenart	R_a	$R_{\text{ungeschützt}}$	$R_{\text{geschützt}}$
D1	10^{-5}	$1,21 \cdot 10^{-5}$	$0,29 \cdot 10^{-5}$
D2	10^{-3}	$3,58 \cdot 10^{-3}$	$0,70 \cdot 10^{-3}$
D4	10^{-3}	$3,67 \cdot 10^{-3}$	$0,72 \cdot 10^{-3}$

Tabelle 1. Schadenarten und Risikokomponenten für das Appartement-Haus/Eisspeicher

Schadenart	R_a	$R_{\text{ungeschützt}}$	$R_{\text{geschützt}}$
D1	10^{-5}	$5,39 \cdot 10^{-5}$	$0,24 \cdot 10^{-5}$
D2	10^{-3}	$4,94 \cdot 10^{-3}$	$0,71 \cdot 10^{-3}$
D4	10^{-3}	$5,32 \cdot 10^{-3}$	$0,73 \cdot 10^{-3}$

Tabelle 2. Schadenarten und Risikokomponenten für das Elektrohaus

Schadenart	R_a	$R_{\text{ungeschützt}}$	$R_{\text{geschützt}}$
D2	10^{-3}	$3,62 \cdot 10^{-3}$	$0,45 \cdot 10^{-3}$
D4	10^{-3}	$4,07 \cdot 10^{-3}$	$0,90 \cdot 10^{-3}$

Tabelle 3. Schadenarten und Risikokomponenten für die PV-Module

Schadenart	R_a	$R_{\text{ungeschützt}}$	$R_{\text{geschützt}}$
D2	10^{-3}	$1,14 \cdot 10^{-3}$	$0,19 \cdot 10^{-3}$
D4	10^{-3}	$4,14 \cdot 10^{-3}$	$0,74 \cdot 10^{-3}$

Tabelle 4. Schadenarten und Risikokomponenten für die WEA

- die Werte für das Risiko ohne Schutzmaßnahmen $R_{\text{ungeschützt}}$,
 - die Werte für das Risiko mit allen notwendigen Schutzmaßnahmen $R_{\text{geschützt}}$. Die notwendigen Schutzmaßnahmen für das Appartement-Haus/Eisspeicher, um die Bedingung $R_{\text{ungeschützt}} < R_a$ zu erfüllen, sind (Tabelle 1):
 - Blitzschutzsystem der Schutzklasse IV (LPS) gemäß [17];
 - Überspannungsschutzgeräte Anforderungsklasse C gemäß [18] für Netz- und Datenkabel, die in das Appartement-Haus/Eisspeicher eintreten.
- Die notwendigen Schutzmaßnahmen für das Elektrohaus, um die Bedingung $R_{\text{ungeschützt}} < R_a$ zu erfüllen, sind (Tabelle 2):
- Blitzschutzsystem der Schutzklasse IV (LPS) gemäß [17],
 - Überspannungsschutzgeräte Anforderungsklasse C gemäß [18] für die Netz- und Datenkabel aus dem Appartement-Haus/Eisspeicher,
 - Überspannungsschutzgeräte Anforderungsklasse C gemäß [18] für die Generatorhauptleitungen von den PV-Modulen,

- Überspannungsschutzgeräte Anforderungsklasse B („Blitzstromableiter“) gemäß [18] für die zu den WEA führenden Wechselfspannungskabel,
- Überspannungsschutzgeräte Anforderungsklasse B („Blitzstromableiter“) gemäß [18] für die zur Biogasanlage führenden Wechselfspannungskabel.

Die notwendigen Schutzmaßnahmen für die PV-Module, um die Bedingung $R_{\text{ungeschützt}} < R_a$ zu erfüllen, sind (Tabelle 3):

- Blitzschutzsystem der Schutzklasse II (LPS) gemäß [17];
- Überspannungsschutzgeräte Anforderungsklasse C gemäß [18] für die Gleichspannungskabel in das Elektrohaus.

Die notwendigen Schutzmaßnahmen für die WEA, um die Bedingung $R_{\text{ungeschützt}} < R_a$ zu erfüllen, sind (Tabelle 4):

- Blitzschutzsystem der Schutzklasse IV (LPS) gemäß [17],
- Überspannungsschutzgeräte Anforderungsklasse B („Blitzstromableiter“) gemäß [18] für die zum Elektrohaus führenden Wechselfspannungskabel.

Bezüglich der PV-Module und der WEA wurde die Schadenart D1 (Verletzung oder Tod von Personen) nicht mit berücksichtigt. Einschläge in diese Komponenten gefährden die dort arbeitenden Menschen nicht direkt und nennenswert, da sich die Personen normalerweise während eines Gewitters in Gebäuden aufhalten.

Bei „Vatali“ wurde entschieden, genau die Ergebnisse der Risikoanalyse umzusetzen, d. h. nur die oben erwähnten Schutzmaßnahmen zu realisieren, allerdings mit der Ausnahme, für die beiden Gebäude und die zwei WEA Blitzschutzsysteme der Schutzklasse III (anstelle IV) nach [17] zu installieren.

Zumeist können die Schutzmaßnahmen zwei grundlegenden Bereichen zugeordnet werden: gegen direkte Einschläge und gegen Überspannungen. Die Schutzmaßnahmen für die Anlage „Vatali“ sind detailliert in [19] dargestellt. Im Folgenden werden die Ergebnisse für „Vatali“ und weitere

Überlegungen zu grundsätzlichen Empfehlungen zum Schutz regenerativer Energieanlagen im Allgemeinen und netzautarker Hybridanlagen im Besonderen zusammengefasst. Die aufgeführten Schutzmaßnahmen müssen dann natürlich im konkreten Einzelfall noch spezifiziert werden; üblicherweise auf Grundlage einer Risikoanalyse.

Grundsätzliche Empfehlungen zum Schutz gegen direkte Blitzeinschläge

Wenn die Risikoanalyse zu dem Ergebnis führt, dass die Hybridanlage gegen direkte Einschläge geschützt werden muss, sollten die folgenden Punkte geklärt werden:

- Sind die WEA in der Lage, direkte Einschläge zu überstehen, d. h. erfüllen sie

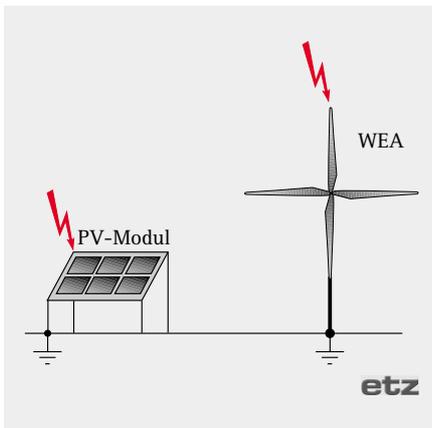


Bild 4. Integriertes Blitzschutzsystem mit direkten Einschlägen in die Komponenten (hier: PV-Modul und kleine WEA)

die Anforderungen von E DIN IEC 88/117/CD (E VDE 0127 Teil 24): 2000-06 [4]?

- Sind die PV-Module, die Solarthermieanlagen und die anderen Installationen außerhalb der Gebäude in der Lage, einen direkten Einschlag zu verkraften? Bei PV-Modulen ist es möglich, das Generatorgestell durch die Hilfe kleiner Fangstangen an den einschlaggefährdeten Stellen vor Schäden zu schützen [20].
- Müssen Gebäude oder andere Komponenten der Installation direkte Einschläge verkraften?
- Gibt es Zusatzkomponenten (Dieselgenerator, Fernsehturm, Mobilfunkurm etc.), die direkt vom Blitz getroffen werden können?

Wenn die oben erwähnten Komponenten aufgrund ihres Aufbaus in der Lage sind, direkte Einschläge zu verkraften, werden keine weiteren Fangeinrichtungen be-

nötigt. Eventuell müssen Überspannungsschutzgeräte eingeplant werden. Zusätzlich muss ein Potenzialausgleich mit in die Planung einbezogen werden, damit keine gefährlichen Spannungsunterschiede zwischen den einzelnen Komponenten auftreten können. Zuletzt muss das Erdungssystem geplant werden, welches alle möglichen Erdungsanschlüsse der einzelnen Komponenten und deren Verbindungen mit einschließt (Bild 4).

Wenn die oben erwähnten Komponenten aufgrund ihres Aufbaus nicht in der Lage sind, direkte Einschläge zu verkraften, und wenn eine Ertüchtigung der Installation selber auch nicht möglich ist oder nicht sinnvoll erscheint, dann muss ein isoliertes Blitzschutzsystem errichtet werden [17]. Dies wird oft bei PV-Modulfeldern und bei kleineren WEA mit einer Ausgangsleistung von nur wenigen Kilowatt angewendet.

Die Fangstangen, Fangleitungen und Ableitungen müssen so geplant werden, dass ein Blitzstrom die Komponenten der Hybridanlage nicht beeinträchtigt (Bild 5). Wichtig ist hierbei:

- In den Schutzräumen, die durch die Fangstangen und Fangleitungen aufgespannt werden, müssen sich alle Komponenten befinden, die einen Schutz benötigen.
- Falls Fangstangen an PV-Modulen errichtet werden müssen, dürfen diese keinen nennenswerten Kernschatten auf die Module werfen (andernfalls kann es evtl. entweder zu einer Systemspannungsverminderung oder zu Beschädigungen der verschatteten Moduleile durch „Hot-Spots“ kommen).
- Der notwendige Trennungsabstand zwischen dem äußeren Blitzschutzsys-

tem und den Komponenten der Hybridanlage muss sichergestellt werden. Wenn Gebäude mit einem Standard-schutzsystem geschützt werden müssen, findet man die Anforderungen in den einschlägigen Normen [17]. Darauf wird in diesem Aufsatz nicht näher eingegangen. Zusätzliche Beachtung muss den Blitzteilströmen, die sich im Erdreich verteilen, geschenkt werden. Jegliche galvanische Einkopplung auf Potenzialausgleichsleitungen und Systemverkabelungen muss vermieden werden.

Eine Alternative zu den beschriebenen Schutzmaßnahmen ist die kurzzeitige Ersatzteilbeschaffung. Damit können jeder Schaden und jede Störung innerhalb einer akzeptablen Zeit behoben werden. Dieses alternative „Konzept“ kann in den Fällen sehr nützlich sein, in denen die zerstörten oder gestörten Komponenten leicht zu beschaffen sind und die Kosten der Blitzschutzmaßnahmen bezogen auf die Kosten der ganzen Hybridanlage relativ hoch sind. Dies gilt in besonderem Maße für preisgünstige Hybridanlagen, speziell in Entwicklungsländern.

Grundsätzliche Empfehlungen zum Überspannungsschutz

Wenn die Risikoanalyse zu dem Ergebnis führt, dass die Hybridanlagen-Komponenten gegen Überspannungen geschützt werden müssen (mit oder ohne den Schutz gegen direkte Blitzeinschläge), müssen die folgenden Fragen geklärt werden:

- Gibt es bereits irgendwelche installierten Überspannungsschutzgeräte in der Anlage (z. B. an den PV-Modulen)?
- Sind die Kabel zwischen den Teilen geschirmt?

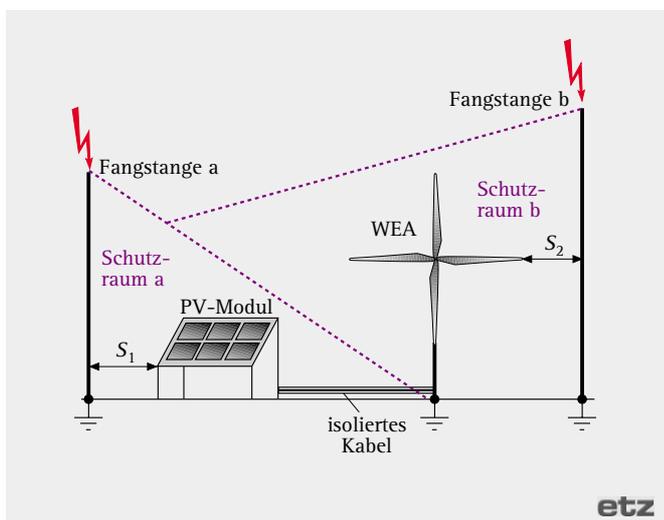


Bild 5. Isoliertes Blitzschutzsystem zum Schutz der Komponenten vor direkten Einschlägen (hier: PV-Modul und kleine WEA)

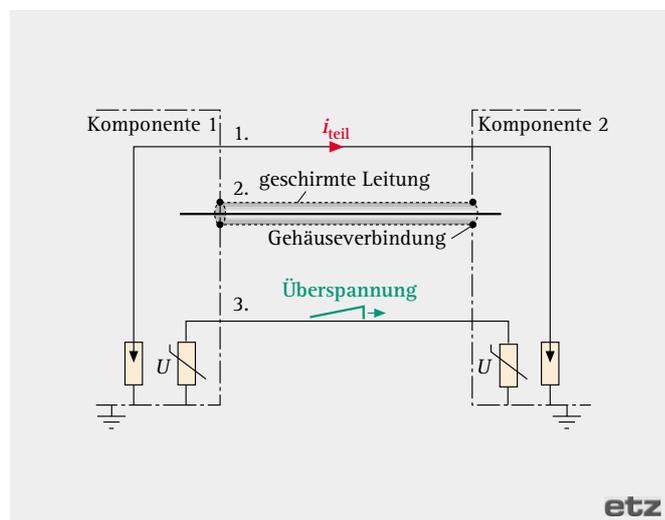


Bild 6. Allgemeine Maßnahmen für den Überspannungsschutz

- Ist die Hybridanlage direkten Einschlägen ausgesetzt? Wenn dem so ist, können die Kabel zwischen den Bauteilen von Blitzteilströmen betroffen sein?

Im Allgemeinen existieren drei Hauptschutzmaßnahmen gegen Überspannungen für die interne Verkabelung (Bild 6):

- Im Falle von ungeschirmten Kabeln und im Falle von direkten Einschlägen und damit der Möglichkeit von Blitzteilströmen auf der Verkabelung des Systems können die Teile der Anlage durch Überspannungsschutzgeräte Anforderungskategorie B („Blitzstromableiter“) geschützt werden.
- Anlagenkabel können durch Kabelschirme für jedes einzelne Kabel oder durch die Verlegung in metallenen Luftschächten, geschlossenen metallenen Kabeltrassen etc. abgeschirmt werden [18]. Die Schirmungsmaßnahmen helfen gegen direkte Einschläge; außerdem verringern sie Überspannungen. Im Falle von direkten Einschlägen und damit Blitzteilströmen auf dem Schirm muss jedoch sichergestellt sein, dass die Schirmung blitzteilstromtragfähig ist.
- Müssen im Falle ungeschirmter Kabel lediglich auftretende Überspannungen reduziert werden, d. h., können Blitzteilströme über die Verkabelung weitgehend ausgeschlossen werden, sind Überspannungsschutzgeräte Anforderungskategorie C („Überspannungsableiter“) zum Schutz bereits ausreichend.

Alle Überspannungs-Schutzmaßnahmen müssen im Detail geplant werden. Jedoch kann allgemein empfohlen werden, dass die passive Maßnahme des Schirmens bevorzugt verwendet werden sollte, besonders bei auftretenden Blitzteilströmen. Dies gilt vor allem für die Generatorhauptleitungen (d. h., die Kabel von

den Modulen zu den Wechselrichtern), da hier in der Regel keine „Blitzstromableiter“ verwendet werden können. Ihre ordnungsgemäße Funktion ist auf der Gleichstromseite nicht immer gewährleistet. Damit sollte folgende „Schutzphilosophie“ sowohl aus technischen als auch aus wirtschaftlichen Gründen zur Anwendung kommen:

- Realisiere vorzugsweise geeignete Schirmungsmaßnahmen,
 - ist dies nicht möglich, installiere dort, wo es notwendig ist (Blitzteilströme), „Blitzstromableiter“,
 - danach installiere dort „Überspannungsableiter“, wo zwar Überspannungen zu reduzieren sind, aber keine Blitzteilströme auftreten.
- Die Benutzung von Schirmungen ist auch aus Sicht der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) empfehlenswert, speziell für die Generatorhauptleitungen. Wenn diese eine Länge von einigen 10 m erreichen, sind sie in der Lage, elektromagnetische Wellen, die in der Regel vom Wechselrichter herrühren, in einem weiten Frequenzbereich abzustrahlen. Diese Feldemissionen werden durch die Verwendung von geschirmten Leitungen verringert (natürlich hängt der Reduktionsfaktor von der Frequenz der Störung und von der qualitativen Beschaffenheit des Schirms ab).

Für die Verbesserung der elektromagnetischen Verträglichkeit von Hybridanlagen und hier speziell von PV-Systemen, ist es sehr empfehlenswert, sich zu versichern, dass der Wechselrichter am Wechselspannungsausgang (und wenn nötig, auch am Gleichspannungseingang) mit Filtern ausgestattet ist, um die leitungsgeführten Emissionen auf den Kabeln zu reduzieren.

Ausblick

Aufgrund des vermehrten Einsatzes von netzautarken Hybridanlagen und aufgrund

der exponierten Lage solcher Anlagen ist zunehmend mit Blitzeinschlägen in die Anlagen bzw. deren Komponenten zu rechnen. Besitzt die Anlage keine Schutzmaßnahmen gegen Blitzeinwirkungen, so ist mit der Zerstörung von bzw. Schäden an wichtigen Anlagenkomponenten zu rechnen. Die Folge sind lange Ausfallzeiten, da Reparaturen personell und materiell sehr aufwendig sind. Unter Umständen muss auch der Totalverlust der Anlage beklagt werden. Darüber hinaus fällt die Energieversorgung der an der netzautarken Hybridanlage angeschlossenen Verbraucher evtl. für längere Zeit aus, mit von Fall zu Fall sehr unterschiedlichen Konsequenzen (Verderben von Lebensmitteln, Ausfall von Produktionsprozessen, Ausfall der Infrastruktur, sinkende Akzeptanz der Hybridanlagen).

Für die Hybridanlage „Vatali“ auf Kreta, in die im Jahr 2000 ein direkter Blitzeinschlag erfolgte, kann beispielhaft gezeigt werden, dass ein technisch/wirtschaftlich ausgewogener Schutz gegen Blitzeinwirkungen mit akzeptablen Kosten und Aufwand möglich ist. Die Materialkosten für die Schutzmaßnahmen lie-

Formelzeichen

I_{teil}	Blitzteilstrom
P_{peak}	Spitzenleistung
R_a	akzeptierbares Schadenrisiko
$R_{\text{geschützt}}$	Schadenrisiko mit Blitzschutz
$R_{\text{ungeschützt}}$	Schadenrisiko ohne Blitzschutz
S	Sicherheitsabstand

gen bei ungefähr 15 000 €; 50 % der Kosten entfallen dabei auf Schutzmaßnahmen gegen direkte Einschläge, die anderen 50 % auf Überspannungsschutzgeräte. Naturgemäß ist eine solche Nachrüstung immer aufwendiger als eine Berücksichtigung der blitzschutztechnisch relevanten Anforderungen gleich bei Errichtung der Anlage. Beim Bau neuer netzautarker Hybridanlagen kann demzufolge von einer weiteren Reduzierung der Kosten für Blitzschutzmaßnahmen ausgegangen werden.

Die Ergebnisse der „Vatali“-Untersuchung können auch auf andere Anlagen der regenerativen Energien übertragen werden. Dies gilt sowohl für kleine Windenergieanlagen (WEA), wie auch für Photovoltaikanlagen. Große WEA weisen in aller Regel bereits einen ausreichenden

Abkürzungen

C.A.R.E	Centre for the Application of Renewable Energies
D1	Schadenart „Verlust von Menschenleben“
D2	Schadenart „Verlust von Dienstleistungen für die Öffentlichkeit“
D4	Schadenart „Verlust von wirtschaftlichen Werten“
EMV	Elektromagnetische Verträglichkeit
FuE	Forschung und Entwicklung
LPS	Lightning Protection System
PV	Photovoltaik
ST	Solarthermie
WEA	Windenergieanlage

Blitzschutz auf, sofern sie nach [4] gebaut sind. Allerdings gilt dies nur für die Windenergieanlage selbst. Bei einer Kopplung mit anderen Anlagen (z. B. einer Photovoltaikanlage) muss das Schutzkonzept entsprechend angepasst werden.

Es wurde gezeigt, dass mit relativ einfachen Maßnahmen ein wirkungsvoller Schutz von Anlagen der regenerativen Energien gegen Blitzeinwirkungen realisiert werden kann. Dies gilt sowohl für direkte Blitzeinschläge wie auch für die Reduzierung auftretender Überspannungen bei direkten und nahen Blitzeinwirkungen. Die Durchführung einer Risikoanalyse kann dabei helfen, die in einem konkreten Einzelfall erforderlichen Schutzmaßnahmen detailliert festzulegen.

Literatur

- [1] Scheibe, K.; Schimanski, J.; Wetter, M.: Blitzschutzmaßnahmen für eine Windkraftanlage. S. 91–104 in VDE-Fachbericht 56. Der Blitzschutz in der Praxis. 3. VDE/ABB-Blitzschutztagung. Ausschuss für Blitzschutz und Blitzforschung (ABB) im VDE (Hrsg.). Vorträge der 3. VDE/ABB-Blitzschutztagung am 28.10. und 29.10.1999 in Neu-Ulm. Berlin · Offenbach: VDE VERLAG, 1997
- [2] Hopf, C.; Wiesinger, J.: Lightning protection of wind power plants. S. 765–770 in Proceedings of the 23rd International Conference on Lightning Protection (ICLP), 23.9.–27.9.1996 in Florenz/Italien. Milano/Italien: AEI, 1996
- [3] Schmid, R.: Investigations on GRP-rotor blade samples of wind power plants regarding lightning protection. S. 955–959 in Proceedings of the 24th International Conference on Lightning Protection (ICLP), 14.9.–18.9.1998 in Birmingham/Großbritannien. Stafford/Großbritannien: Staffordshire University, 1998
- [4] E DIN IEC 88/117/CD (E VDE 0127 Teil 24): 2000–06 Windenergieanlagen – Blitzschutz für

Windenergieanlagen. Berlin · Offenbach: VDE VERLAG

- [5] IEC/TR 61400-24:2002-07 Wind Turbine Generator Systems – Part 24: Lightning Protection. Genf/Schweiz: Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale
- [6] Hotopp, R.: Blitzschutz von Photovoltaik-Anlagen: Stand der Technik und Entwicklungsbeitrag durch die Photovoltaik-Siedlung Essen. S. 141–160 in VDE-Fachbericht 49. Blitzschutz für Gebäude und elektrischen Anlagen. 1. VDE/ABB-Blitzschutztagung. Ausschuss für Blitzschutz und Blitzforschung (ABB) im VDE (Hrsg.). Vorträge der VDE/ABB-Fachtagung am 29.2.–1.3.1996 in Kassel. Berlin · Offenbach: VDE VERLAG, 1996
- [7] Vaßen, F.; Vaßen, W.: Bewertung der Gefährdung von netzparallelen Photovoltaik-Anlagen bei direktem und nahem Blitzeinschlag und Darstellung der daraus abgeleiteten Maßnahmen des Blitz- und Überspannungsschutzes. S. 183–202 in VDE-Fachbericht 52. Neue Blitzschutznormen in der Praxis. 2. VDE/ABB-Blitzschutztagung. Ausschuss für Blitzschutz und Blitzforschung (ABB) im VDE (Hrsg.). Vorträge der VDE/ABB-Fachtagung am 6.11.–7.11.1997 in Neu-Ulm. Berlin · Offenbach: VDE VERLAG, 1997
- [8] Martzloff, F.: Lightning and surge protection of PV installations – two case histories: Vulcano and Kythnos. NIST Interagency Report NISTIR 89-4113. Springfield, Virginia/USA: National Technical Information Service (NTIS), 1989 (zu beziehen über www.ntis.gov)
- [9] Fachhochschule Aachen: www.fh-aachen.de
- [10] Technological Education Institute (TEI) Heraklion, Kreta/Griechenland: www.cs.teiher.gr
- [11] Centro de Investigación en Energía y Agua – Instituto Tecnológico de Canarias, S. A. (CIEA-ITC), Las Palmas, Gran Canaria/Spain: www.itccanarias.org
- [12] Arbeitsgemeinschaft Solar Nordrhein-Westfalen (AG-Solar NRW), Projektträger ETN (Energie, Technologie, Nachhaltigkeit), Forschungszentrum Jülich GmbH: www.ag-solar.de
- [13] Europäische Union (EU): www.europa.eu.int
- [14] Ministerium für Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen (NRW), Düsseldorf: www.bildungsportal.nrw.de/BP/Ministerium/MWF/index.html
- [15] Hellenic Ministry of Agriculture, Athen/Griechenland: www.minagric.gr
- [16] DIN V VDE V 0185-2 (VDE V 0185 Teil 2): 2002-11 Blitzschutz – Teil 2: Risiko-Management: Abschätzung des Schadensrisikos für bauliche Anlagen. Berlin · Offenbach: VDE VERLAG
- [17] DIN V VDE V 0185-3 (VDE V 0185 Teil 3): 2002-11 Blitzschutz – Teil 3: Schutz von baulichen Anlagen und Personen. Berlin · Offenbach: VDE VERLAG
- [18] DIN V VDE V 0185-4 (VDE V 0185 Teil 4): 2002-11: Blitzschutz – Teil 4: Elektrische und elektronische Systeme. Berlin · Offenbach: VDE VERLAG
- [19] Kern, A.; Neskakis, A.; Müller, K.-P.: Blitzschutzkonzept für eine netz-autarke Hybridanlage am Beispiel der Anlage VATALI auf Kreta. S. 99–116 in VDE-Fachbericht 58. 4. VDE/ABB-Blitzschutztagung. Ausschuss für Blitzschutz und Blitzforschung (ABB) im VDE (Hrsg.). Vorträge und Poster der 4. VDE/ABB-Fachtagung am 8.11.–9.11.2001 in Neu-Ulm. Berlin · Offenbach: VDE VERLAG, 2001
- [20] Häberlin, H.; Minkner, R.: Einfache Methode zum Blitzschutz von Photovoltaikanlagen. Bull. SEV/VSE 85 (1994) H. 19, S. 47–52