

Blitzschutzmaßnahmen für Photovoltaik- und kleine Windenergieanlagen – Einige Beispiele

- Dipl.-Ing. Frank Krichel, Fachhochschule Aachen, Abt. Jülich
- Prof. Dr.-Ing. Alexander Kern, Fachhochschule Aachen, Abt. Jülich
- Heinz-Josef Krämer, Blitzschutzbau Rhein-Main GmbH, Aachen
- Dipl.-Ing. Jürgen Wettingfeld, Wettingfeld GmbH, Krefeld
- Dipl.-Ing. Josef Reetz, Elektro-Reetz GmbH, Hillesheim
- Manfred Kienlein, Dehn+Söhne GmbH, Neumarkt/Opf.

1. Einführung

Ein von der Arbeitsgemeinschaft (AG) Solar NRW und diversen Industriepartnern gefördertes und an der Fachhochschule Aachen, Abt. Jülich durchgeführtes Forschungsprojekt „Blitzschutz für netz-autarke Hybridanlagen“ machte es möglich, sich mit dem Blitzschutz speziell solcher Anlagen näher zu beschäftigen. Vermehrt bekannt gewordene Schadensfälle an nicht netz-gekoppelten Hybridanlagen waren der Auslöser, den Schutz zu überdenken. Definiertes Ziel war es, für netz-autarke energietechnische Anlagen ein Konzept zum Schutz vor Blitzeinwirkungen zu erstellen. Diese Anlagen bestehen üblicherweise aus einer oder mehreren Photovoltaikanlagen, ggf. auch Solarthermieanlagen und einem oder mehreren kleineren Windgeneratoren (sie werden deshalb auch als Hybridanlagen bezeichnet). Zur Erhöhung der Versorgungssicherheit kann noch ein Dieselaggregat dazukommen.

Hybridanlagen werden vor allem in Gebieten mit sehr schlechter öffentlicher Energieversorgung eingesetzt, d.h. insbesondere in relativ dünn bewohnten Gebieten und in Entwicklungsländern. Dem Blitzschutz von Hybridanlagen kommt dabei eine steigende Bedeutung zu. Besonderes Augenmerk in dem genannten Forschungsprojekt sollte dabei auf die technisch/wirtschaftliche Ausgewogenheit des Schutzes gelegt werden:

- die Schutzmaßnahmen sollen nur in solchen Fällen eingesetzt werden, wo dies als Ergebnis von Risikoanalysen sinnvoll erscheint;
- für typische netz-autarke Hybridanlagen sollen die Schutzmaßnahmen ohne deutliche Verteuerung realisierbar sein (es soll also kein absoluter Schutz realisiert werden; ggf. soll lediglich der auftretende Schaden soweit möglich minimiert werden).

Dazu wurde in einem ersten Schritt zunächst eine Aufnahme des Iststandes einiger typischer netz-autarker Hybridanlagen und deren einzelnen Komponenten durchgeführt. Aufgrund dessen wurde eine umfassende Risikoanalyse zur Blitzbedrohung dieser Anlagen auf der Basis von VDE V 0185 Teil 2:2002-11 [1] erstellt. Die Ergebnisse mündeten in ein technisch/wirtschaftlich ausgewogenes Konzept für den Anlagen-Blitzschutz (d.h. insbesondere dem Schutz vor direkten Blitzeinschlägen und deren unmittelbaren Auswirkungen) nach VDE V 0185 Teil 3:2002-11 [2] und für den Elektronik-Blitzschutz (d.h. für den Schutz vor Überspannungen durch direkte, insbesondere aber auch indirekte Blitzeinschläge) nach VDE V 0185 Teil 4:2002-11 [3]. Aufgrund der gesammelten Ergebnisse konnten dabei allgemeine Empfehlungen für den Äußeren und Inneren Blitzschutz von regenerativen Energieerzeugungssystemen erstellt werden. Diese sollen in Schulungen einmünden, die für Hersteller und Betreiber von Hybridanlagen angeboten werden.

Durch die Anwendung wird der Schutz der Anlagen vor Blitzeinwirkung und elektromagnetischen Störungen verbessert, was sich in einer reduzierten

Ausfallwahrscheinlichkeit bzw. erhöhten Verfügbarkeit widerspiegelt. An einigen ausgewählten Anlagen werden mit Hilfe der im Projekt involvierten Industriepartner die Schutzmaßnahmen realisiert. Hierbei entstanden den Eigentümern bzw. Betreibern der Anlagen keine Kosten. In diesem Beitrag werden beispielhaft drei Anlagenprojekte detailliert gezeigt. Es handelt sich dabei um eine Schweinezuchtfarm in Magallón (Spanien, Zaragoza), das bioklimatische Haus (Kreta, Heraklion) und die Tegernseer-Hütte (Deutschland, Lenggries).

2. Beispielanlagen

2.1 Schweinezuchtfarm in Magallón (Zaragoza)

2.1.1 Beschreibung der Anlage

In einer Hochebene von Zaragossa (Spanien), nahe der kleinen Stadt Magallón, werden in einer Schweinezuchtfarm ca. 5000 Hausschweine bis zur Schlachtung gemästet. Die Farm liegt einige Kilometer außerhalb von bebautem Gebiet. Die Farm besteht aus insgesamt vier Gebäuden (ca. 10 m breit und ca. 50 m lang), in denen die Schweine untergebracht sind. Die Farm ist zu einem großen Teil automatisiert worden, was den Arbeitsaufwand enorm minimiert. Das Futter wird automatisch nach innen in die Tröge transportiert. Auch die Wasserversorgung der Tiere geschieht größtenteils automatisch. Die Gebäude sind mit Be- und Entlüftungsventilatoren ausgestattet, die sich bei Bedarf selbstständig ein- und ausschalten. Die Gülle wird mittels Transportbändern in Tanks befördert. Dank dieses hohen Automatisierungsgrades ist es möglich, die Farm mit einem Minimum an Personal zu führen. In der Regel braucht nur eine Person einmal am Tag zu Kontrollzwecken zur Farm zu fahren. Des weiteren gehört noch ein kleines Elektrohaus zur Farm (**Bild 1**).

Da sich die Anlage weit außerhalb von bewohnten Gebieten befindet, ist sie nicht an das öffentliche Stromversorgungsnetz angeschlossen. Deshalb muss die elektrische Versorgung der Geräte vor Ort geschehen. Dazu diente anfänglich ausschließlich ein Dieselaggregat mit einer Scheinleistung von 26 kVA und einer Bemessungsspannung von 400 V. Da die Versorgung mit Elektrizität auf der Farm rund um die Uhr sichergestellt werden musste, lief der Generator Tag und Nacht. Das verursachte enorme Kosten für Treibstoff und Verschleiß und belastete die Umwelt stark. Wegen dieser Nachteile und aufgrund der staatlichen Fördermöglichkeiten erwuchs die Überlegung, die Versorgung ökologischer und ökonomischer zu betreiben. Es bot sich an, eine netz-autarke Hybridanlage zu errichten. Das vorher bereits vorhandene Dieselaggregat wurde daher um eine Photovoltaikanlage und eine Windkraftanlage erweitert.

Der Photovoltaik- und der Windkraftgenerator haben jeweils eine Leistung von 3 kW (**Bild 2**). Im Inneren des Elektrohauses befinden sich alle für die Anlage notwendigen Geräte und Installationen, einschließlich des Dieselaggregats. Der Photovoltaik-generator ist mit einem Laderegler verbunden, der die gelieferte Energie in eine Batteriebank mit einer Systemspannung von 48 V einspeist. Die Windkraftanlage ist mit einem kombinierten Gleichrichter/Laderegler verbunden, der die Energie ebenfalls in die Batteriebank einspeist. Drei miteinander gekoppelte Wechselrichter wandeln die 48 V Gleichspannung in ein Drehstromsystem, mit 120 Grad Phasenwinkel und einer effektiven verketteten Spannung von 400 V um. Jeder Wechselrichter hat eine Bemessungsleistung von 3,5 kW (**Bild 3**). An das Drehstromnetz ist gleichzeitig auch das Dieselaggregat angeschlossen; es wird bei Bedarf automatisch mit zugeschaltet. Von diesem Punkt aus verteilt sich das Netz über die Gebäude der Farm, wo jeweils separate Verteilungen die Versorgung der einzelnen Verbraucher übernehmen.



Bild 1: Elektrohaus mit dahinterliegendem Mastgebäude



Bild 3: Gleichrichter, Laderegler, Batterien und Wechselrichter im Elektrohaus



Bild 2: Windkraft- und Photovoltaik-Generator

Die Verfügbarkeit von elektrischer Energie ist in einem hoch automatisierten Betrieb von elementarer Bedeutung. In diesem konkreten Fall würde ein Ausfall der Energieversorgung einen großen wirtschaftlichen Schaden verursachen. Die Versorgung der Tiere mit Trinkwasser, Futter und Frischluft würde ausfallen. Das könnte zum Tode von vielen Tieren innerhalb kurzer Zeit führen. Deshalb muss ein Höchstmaß an Verfügbarkeit an die elektrische Versorgung gestellt werden. Im Falle eines direkten Einschlages in den Photovoltaik- oder Windkraftgenerator wäre ein Totalausfall der gesamten Anlage möglich.

2.1.2 Risikoanalyse

Die Risikoanalyse wurde anhand einer Software der Fa. Aixthor [4] zum Risikomanagement nach [1] durchgeführt. Die für die Anlage relevante Schadensart ist:

- wirtschaftliche Verluste, dazu gehören hier auch die Tiere (D4), aufgrund des Wertes der Anlage im Vergleich zu den Schadenskosten eines Einschlages

Alle drei Anlagenteile wurden für die Risikobewertung als eine Einheit aufgefasst. In der Analyse wurden die äquivalente Fangfläche, die Schadenswahrscheinlichkeiten, Reduktionsfaktoren und Schadensfaktoren bewertet. Dann wurden die notwendigen

Schutzmaßnahmen gesondert ausgewählt. Es würde den Rahmen dieses Beitrags sprengen, alle Details der Risikobewertung zu beschreiben; deshalb werden nur die Ergebnisse in der **Tabelle 1** gezeigt. In der Tabelle ist die relevante Schadensart, das akzeptierbare Schadensrisiko R_a für diese Schadensart, der Wert für das Risiko ohne Schutzmaßnahmen $R_{\text{ungeschützt}}$ und der Wert für das Risiko mit allen notwendigen Schutzmaßnahmen $R_{\text{geschützt}}$ dargestellt.

Schadensart	R_a	$R_{\text{ungeschützt}}$	$R_{\text{geschützt}}$
D4	$100 \cdot 10^{-6}$	$1172,47 \cdot 10^{-6}$	$27,21 \cdot 10^{-6}$

Tabelle 1: Ergebnisse der Risikoanalyse

Im Einzelnen setzt das Konzept für den Blitzschutz der Anlage folgende Schutzziele um:

- Der Photovoltaik- und der Windkraftgenerator sowie das Elektrohaus werden durch den Einsatz einer isolierten Fangstange vor direkten Einschlägen geschützt (Blitzschutzsystem der Schutzklasse IV nach [2]).
- Die Installation einer geeigneten Erdungsanlage.
- Die elektrischen Leitungen vom Photovoltaik- und Windkraftgenerator werden mit Überspannungsschutzgeräten (engl.: surge protective device = SPD) im Elektrohaus versehen.
- Die elektrische Leitung zu den Mastgebäuden wird mit einem blitzstromtragfähigen SPD im Elektrohaus ausgestattet.

2.1.3 Schutz vor direkten Blitzeinschlägen

Der Photovoltaik- und der Windkraftgenerator sowie das Elektrohaus wurden durch ein isoliertes Blitzschutzsystem der Klasse IV in Form einer Fangstange von 20 m Höhe vor direkten Einschlägen geschützt. Die Erdungsanlage ist als nicht geschlossener Ringerder ausgeführt, an dem alle Komponenten angeschlossen wurden. Die Generatorhauptleitungen des Photovoltaikgenerators und die Leitung des Windkraftgenerators sind unterirdisch mit einer Schirmung gegen das galvanische Einkoppeln von Blitzteilströmen bis zur Eintrittsstelle in das Elektrohaus verlegt worden. An der Eintrittsstelle ins Elektrohaus, am Mast des Windkraftgenerators und am Gestell des Photovoltaikgenerators wurde die Schirmung flächig angeschlossen. **Bild 4** zeigt den Schutzbereich der Fangstange, indem sich alle Anlagenteile befinden.

2.1.4 Schutz vor Überspannungen

Am Eintritt der elektrischen Leitungen von den Generatoren in das Elektrohaus ist ein Anschaltkasten mit C-Ableitern (mit Klasse II-Prüfung) installiert worden. Am Austritt der dreiphasigen Versorgungsleitung für die Mastgebäude kam ein niedrigpegelnder B-Ableiter (geprüft nach Klasse I/II) in einem zweiten Kasten zur Anwendung, dessen niedriger Schutzpegel für die Anlage ausreicht.

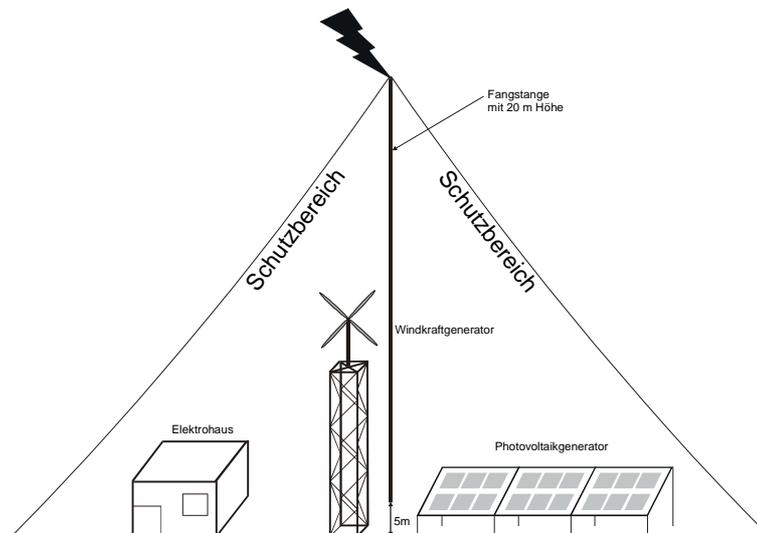


Bild 4: Schutzwirkung der Fangstange

Eine Übersicht der Maßnahmen gegen Überspannungen ist im **Bild 5** zu sehen.

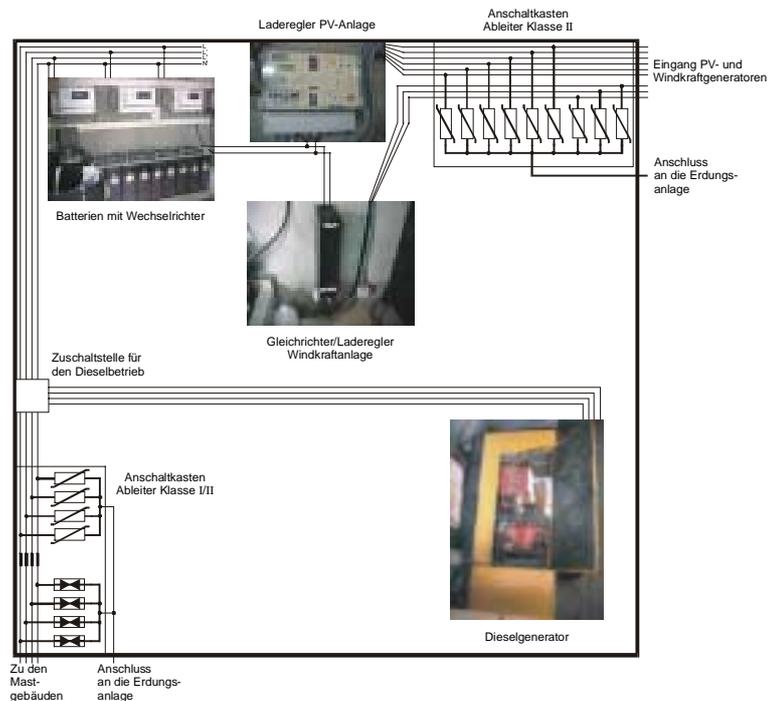


Bild 5: Maßnahmen zum Überspannungsschutz im Elektrohaus

2.1.5 Realisierung

Die Umsetzung der im Konzept beschriebenen Maßnahmen erfolgte am 12. und 13. Februar 2003. Die Maßnahmen zum Äußeren Blitzschutz umfassten die Verlegung und den Anschluss der Erdleiter entsprechend den Vorgaben sowie die Errichtung des Blitzschutzmastes. Die Aufstellung des Mastes ist in **Bild 6** zu erkennen. Für den Inneren Blitzschutz wurden die zwei beschriebenen Schaltkästen mit den Schutzgeräten installiert und entsprechend an die Erdungsanlage angeschlossen. Die **Bilder 7 und 8** zeigen die fertiggestellten Installationen.



Bild 6: Aufstellung des Mastes



Bild 7: Anschaltkasten mit C-Ableitern



Bild 8: Anschaltkasten mit niedrigpegelndem B-Ableiter

2.2 Das bioklimatische Haus (Kreta, Heraklion)

2.2.1 Beschreibung der Anlage

Die Technische Universität in Heraklion beschäftigt sich in Zusammenarbeit mit der Fachhochschule Aachen, Abteilung Jülich verstärkt mit der Erforschung von Nutzungsmöglichkeiten regenerativer Energien. Eines von vielen Projekten ist das sogenannte bioklimatische Haus. Die Hochschule untersucht dabei die Möglichkeit, ein kleines Gebäude von der Größe eines Ferienhauses ausschließlich mit regenerativer Energie zu versorgen. Das Gebäude wurde nach passiv-solaren Gesichtspunkten errichtet und verfügt über einen Wind- und Solargenerator zur Stromerzeugung. Der Warmwasserbedarf soll in Zukunft von Sonnenkollektoren gedeckt werden, die Räume werden mittels Luftkollektor und Kamin beheizt. Das Haus (**Bild 9**) wird derzeit als Büro des Fachbereichs „Regenerative Energien“ genutzt, die meisten Verbraucher sind daher PCs.



Bild 9: Das bioklimatische Haus

2.2.2 Funktionsprinzip des Hauses

Das Haus ist nach Süden ausgerichtet und gut isoliert. Zwei Rohre, die an der Nordfassade angebracht sind und über den Keller in einer Tiefe von 0,8 m in das Innere des Hauses führen, sorgen für Kühlung im Sommer. Die Luft wird durch die nördlichen Öffnungen der Rohre durch eine Gesteinsschicht geleitet, worin sie sich abkühlt und anschließend durch die Innenöffnungen im Haus verteilt wird.

Im Winter wird die warme Luft aus dem Glasdach mit Hilfe von Ventilatoren direkt in das Innere des Hauses geführt. So wird eine Kühlung im Sommer erreicht und im Winter die Temperatur auf einem erträglichen Niveau gehalten. Kühl- und Heizprinzip ist auf **Bild 10** zu erkennen.

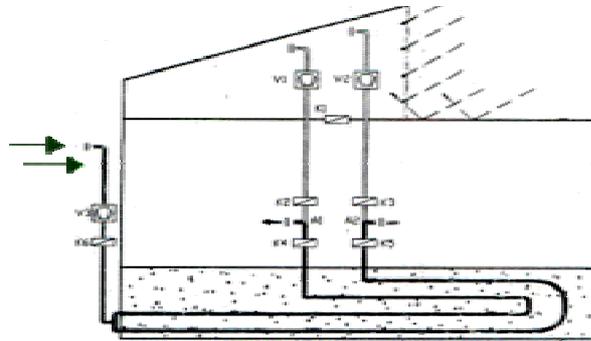


Bild 10: Funktionsprinzip der Kühlung und der Heizung

2.2.3 Energieversorgung des Hauses

Die regenerative Energieversorgung erfolgt durch eine Kombination von Sonnen- und Windenergie. Eine kleine Windkraftanlage mit Permanentmagnetgenerator kann eine elektrische Leistung von max. 1.000 W erzeugen. Der Drei-Phasen-Wechselstrom des Generators wird mit einem kombinierten Gleichrichter/Laderegler in einem Akkumulatorsatz mit einer Kapazität von 600 Ah bei 24 V Gleichspannung eingespeist. Acht Solarmodule (53 W_p pro Modul) mit

insgesamt 440 Watt_p werden durch ein 2-achsiges System dem Sonnenstand nachgeführt. Über einen entsprechenden Laderegler (Typ: Shuntladeregler) wird nicht direkt verbrauchter Strom ebenfalls in dem Akkumulatorsatz gespeichert. Die **Bilder 11 und 12** zeigen die Generatoren.



Bild 11: Windkraftgenerator



Bild 12: PV-Generator

Das bioklimatische Haus ist ein Versuchsgebäude. Um für Forschungszwecke eine Versorgungssicherheit zu gewährleisten, gibt es neben der Versorgung durch regenerative Energiequellen zusätzlich einen Anschluss an das öffentliche Stromnetz. Beide Hybridanlageanteile sind über Laderegler an einen Akkumulatorsatz und einen Sinuswechselrichter (Bemessungsleistung: 2,3 kW) angeschlossen. Der Wechselrichter speist 230 V Spannung in die elektrische Hausversorgung ein. Vor dem Hausverteiler für die Versorgung der einzelnen Verbraucher ist eine Steuerung angebracht, die über eine Schützschialtung die Umschaltung zwischen öffentlichem Netz und Hybridanlage steuert. Die Schützschialtung ist so aufgebaut, dass die Anlage sowohl automatisch als auch manuell betrieben werden kann. Die erste Priorität der Anlage bei Automatikbetrieb ist die Versorgung des Hausnetzes mit Strom aus der Hybridanlage bzw. dem Batteriespeicher. Bei zu hoher Leistungsaufnahme der Verbraucher schaltet die Anlage vollständig auf das öffentliche Netz um. Ist der Wechselrichter wieder in der Lage, genug Energie zur Verfügung zu stellen, schaltet die Anlage erneut auf

Versorgung durch die Hybridanlage um. Im manuellen Betrieb kann die Anlage von Hand auf öffentliches Netz oder auf Hybridanlage umgeschaltet werden.

2.2.4 Risikoanalyse

Auch hier erfolgte die Risikoanalyse wieder anhand der Software [4]. Die für die Anlage relevanten Schadensarten sind:

- Verlust von Menschenleben (D1), besonders innerhalb des Gebäudes;
- wirtschaftliche Verluste (D4) aufgrund des Wertes der Hybridanlage (im Vergleich zu den Schadenskosten des Einschlages).

Ein lediglich zwei Meter neben dem PV-Generator stehender Wettermast schützt diesen gegen direkte Einschläge. Der Wiederbeschaffungswert des Windkraftgenerators ist derart gering, dass ein Schutz gegen Direkteinschläge hier auf keinen Fall wirtschaftlich tragbar wäre. Auch der zeitweise Ausfall des Windkraftgenerators bei einem Direkteinschlag stellt keinerlei Probleme dar, da die Energieversorgung des Hauses in jedem Fall durch die Anbindung an das öffentliche Netz sichergestellt ist. Aus diesem Grund wurde nur eine auf das Haus selbst bezogene Analyse erstellt. Schäden an den Geräten des Wettermastes sind nicht auszuschließen; ihn zu schützen ist jedoch nicht notwendig, da er nicht zur Energieerzeugungsanlage gehört. Sein Schutz wäre sinnvoll, muss aber bei Bedarf separat erstellt werden, da dieser nicht durch das Projekt getragen werden kann. In der **Tabelle 2** sind wieder die relevanten Schadensarten, die akzeptierbaren Schadensrisiken R_a für diese Schadensarten, die Werte für das Risiko ohne Schutzmaßnahmen $R_{\text{ungeschützt}}$ und die Werte für das Risiko mit allen notwendigen Schutzmaßnahmen $R_{\text{geschützt}}$ dargestellt.

Schadensart	R_a	$R_{\text{ungeschützt}}$	$R_{\text{geschützt}}$
D1	$10 \cdot 10^{-6}$	$35,96 \cdot 10^{-6}$	$4,72 \cdot 10^{-6}$
D4	$1000 \cdot 10^{-6}$	$2950,05 \cdot 10^{-6}$	$436,54 \cdot 10^{-6}$

Tabelle 2: Ergebnisse der Risikoanalyse

Im Einzelnen setzt das Konzept für den Blitzschutz der Anlage folgende Schutzziele um:

- Installation eines äußeren Blitzschutzsystems für das bioklimatische Haus (Schutzklasse IV nach [2]).
- Der Photovoltaikgenerator ist bereits durch den Wettermast ausreichend gegen direkte Einschläge geschützt.
- Der Windkraftgenerator erhält keine äußere Blitzfangeinrichtung, da sein Wiederbeschaffungswert sehr gering ist.
- Blitzschutzpotenzialausgleich aller in das bioklimatische Haus eingeführten Leitungen, inklusive der Maßnahmen gegen Überspannungen.

2.2.5 Schutz vor direkten Blitzeinschlägen

Die Analysen bzw. die Überlegungen zum Schutz der Anlage gegen direkte Blitzbedrohungen führten zu dem Ergebnis, dass das Haus einen äußeren Blitzschutz der Schutzklasse IV erhalten soll. Aufgrund der Geometrie des Hauses ist es hier zweckmäßig, am Dachmittelpunkt, der gleichzeitig die höchste Stelle des Gebäudes darstellt, eine Fangstange zu errichten, die den Kamin um 50 cm überragt. Die Erdungsanlage wird als nicht geschlossener Ringerder ausgeführt. Sie verläuft komplett um den hinteren Teil des Hauses herum; von dort aus geht eine Sticheitung am

Wettermast vorbei zum Photovoltaikgenerator. Sowohl der Wettermast wie auch der Photovoltaikgenerator werden mit der Erdungsanlage verbunden. Zum Mast des Windkraftgenerators wird keine Erdleitung gelegt, da der Generator weder gegen direkte noch gegen indirekte Blitzeinwirkungen geschützt werden soll.

Am Eintritt ins Haus wird das Eindringen von Blitzteilströmen vom Windkraftgenerator mit einem niedrigpegelndem B-Ableiter verhindert. Die Generatorhauptleitung des PV-Generators muss, da sie im Erdboden verlegt ist, gegen die galvanische Einkopplung von Blitzteilströmen geschützt werden. Dazu wird die bestehende Generatorhauptleitung zwischen dem Generator und dem Hauseingangspunkt gegen eine geschirmte Leitung ausgetauscht. Durch die Verwendung dieses Kabels kann man auf den Einsatz von entsprechenden SPD, die außerdem nicht für alle Anforderungen der Gleichstromseite zur Verfügung stehen, verzichten.

Der Kabelschirm muss sowohl auf der Generatorseite, als auch am Einführungspunkt in das Haus flächig und gut leitend mit der Erdungsanlage verbunden werden. Falls der ganze Blitzstrom geführt werden muss, ist eine Entlastungsleitung vorzusehen. Dies ist hier nicht notwendig, da lediglich Blitzteilströme galvanisch einkoppeln können. Der Schirmquerschnitt von 10 mm^2 reicht aus. Die Verwendung des geschirmten Kabels hat des weiteren im Hinblick auf die EMV-Problematik (Antennencharakteristik der Generatorhauptleitung [5,6]) den Vorteil, dass die Abstrahlung elektromagnetischer Störungen von der Generatorhauptleitung deutlich reduziert wird. Außerdem besitzt das Kabel eine gute UV-Beständigkeit, die unter den dort herrschenden klimatischen Bedingungen sehr von Vorteil ist. **Bild 13** zeigt den kompletten Äußeren Blitzschutz der Anlage.

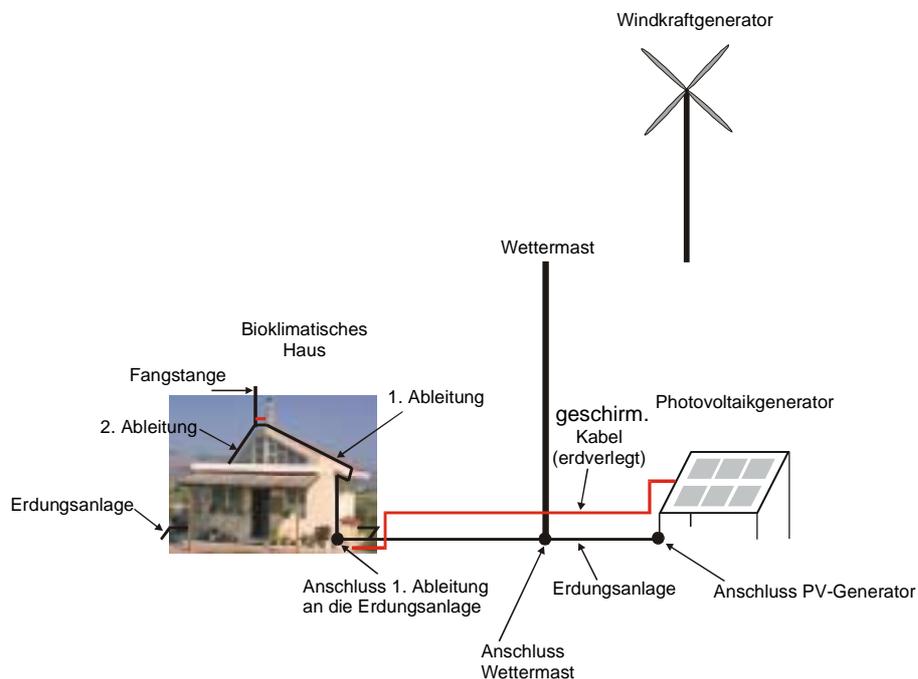
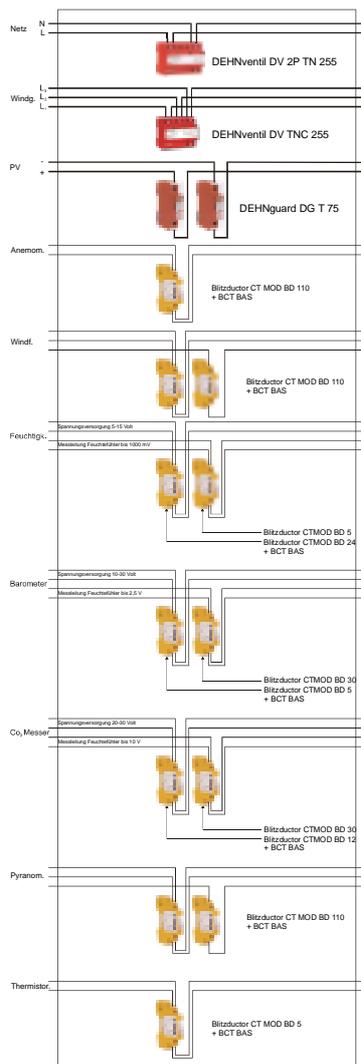


Bild 13: Äußerer Blitzschutz

2.2.6 Schutz vor Überspannungen

Am Eintritt der elektrischen Leitungen von den Generatoren und dem öffentlichen Netz in das Gebäude wird ein neuer Schaltkasten installiert. Er beinhaltet sowohl niedrigpegelnde B-Ableiter, als auch Ableiter des Typs C. Die Leitung vom Windkraftgenerator wird mittels niedrigpegelndem B-Ableiter geschützt; hier können Blitzströme auf der Leitung auftreten, da der Windkraftgenerator keine eigene



Fangeinrichtung bekommt. Die Generatorhauptleitung der Photovoltaikanlage ist blitzteilstromfrei, deshalb ist hier kein Blitzstromableiter erforderlich. Am Eingang der Generatorhauptleitung in das Haus werden C-Ableiter eingebaut. Die Netzzuleitung wird ebenfalls mit einem niedrigpegelndem B-Ableiter vor vom Netz her kommenden Blitzteilströmen geschützt.

Eigentlich wären damit alle hybridanlagen-relevanten Teile ausreichend gesichert. Da der Wettermast jedoch als Fangeinrichtung für den Photovoltaikgenerator dient, können auf den Leitungen der am Wettermast angebrachten Geräte bei einem Direkteinschlag Blitzteilströme fließen, die dann in das Haus eindringen können. Somit sind die Hybridanlageanteile innerhalb des Hauses gefährdet. Um diese Gefahr abzuwenden, müssen diese Leitungen beschaltet werden. Dies geschieht im gleichen Anschaltkasten, da auch diese Leitungen an der gleichen Stelle wie alle anderen in das Gebäude eintreten.

Einen Überblick über die Komponenten des Anschaltkastens zeigt **Bild 14**.

Bild 14: Aufbau Anschaltkasten bioklimatisches Haus

2.3 Die Tegernseer-Hütte

2.3.1 Beschreibung der Anlage

Die Tegernseer Hütte (**Bild 15**) ist zwar nicht die am höchsten gelegene Hütte in den bayerischen Voralpen, sie bietet allerdings eine spektakuläre Lage. Geografisch liegt sie im Adlernest zwischen den Gipfeln von Roß- und Buchstein auf 1650 Meter Höhe. Sie gehört der DAV (Deutscher Alpenverein) Sektion Tegernsee an. Von der Hütte hat man einen atemberaubenden Ausblick auf den Alpenhauptkamm. Die Hütte ist nur auf Bergpfaden zu erreichen. Sie bietet Wanderern Kost, Logis und Übernachtungsmöglichkeiten für bis zu 30 Personen an. Bewirtschaftet wird die Hütte vom zweiten Wochenende im Mai bis zum ersten Wochenende im November. Im bewirtschafteten Zeitraum werden jährlich ca. 12.000 Gäste gezählt.

Ursprünglich stand an dieser Stelle eine vom Alpenverein gebaute kleine Unterkunft. 1913 dann entstand eine größere Hütte, die im Mai 1965 nach einem Blitzeinschlag vollständig abbrannte. Die heutige Hütte wurde 1966 im alten Stil neu aufgebaut. Sie erhielt zu Versorgungszwecken der Gäste eine Materialseilbahn. Mit deren Hilfe können die benötigten Vorräte und Materialien von einer tiefergelegenen Hütte aus transportiert werden. Die Basishütte ist verkehrstechnisch erschlossen. Das Trinkwasser wird über



Bild 15: Ansicht der Hütte

eine Regenwasseraufbereitung mit Filterung und biologischer UV-Reinigung hergestellt.

Vor einigen Jahren wurde auf dem Dach der Hütte eine Photovoltaikanlage (**Bild 16**) errichtet. Die Photovoltaikanlage ist auf der Südseite der Hütte auf dem Blechdach, oberhalb der neu errichteten Sonnenterrasse, als Flachdachanlage errichtet worden. Der Generator auf dem Dach besteht aus insgesamt 14 Modulen. Jedes Modul hat eine Bemessungsspannung von 12 V. Die Systemspannung der Anlage beträgt 24 V. Die je sieben Plus- und Minusleitungen werden im Generator-

anschlusskasten unter der Dachhaut parallel verschaltet. Zum Schutz gegen Überspannungen sind zwei ältere SPD zwischen Plus- und Minusleitung gegen PE eingebaut.

Vom Generatoranschlusskasten gehen insgesamt drei Leitungen (Plus- Minus- und PE-Leitung) Richtung Untergeschoss, wo sich Akkumulator und Wechselrichter befinden. Bei dem Gerät handelt es sich um einen Sinus-Wechselrichter (24 V, 1500 W) mit Batterielader. Eingebaut ist das Gerät nebst Sicherungen und DC-Freischnittstelle in einem Verteilerkasten, nahe dem Akkumulator (**Bild 17**). Der Akkumulator besteht aus insgesamt 12 Einzelzellen mit einer Batteriespannung von jeweils 2 V. Alle Zellen sind in Reihe geschaltet. Es ergibt sich somit die durch die Generatorverschaltung vorgegebene Systemspannung von 24 V. Die meisten Verbraucher im Haus werden mit dieser Gleichspannung von 24 V direkt betrieben (Lampen, Kühlgeräte, etc.). Einige Verbraucher benötigen jedoch zum Betrieb 230 V Wechselspannung. Aus diesem Grund ist auch ein Wechselrichter in die Anlage mit integriert.



Bild 16: PV-Generator auf dem Dach

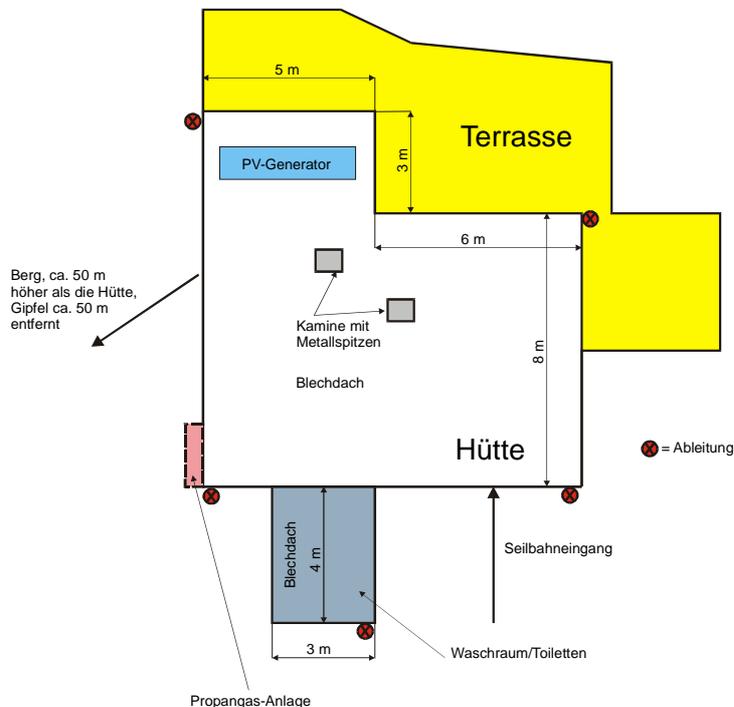


Bild 17: Schaltkasten mit Wechselrichter

Die Hütte verfügt über eine Materialseilbahn zum Transport von Verpflegung, Maschinen und anderen benötigten Utensilien. Betrieben wird die Seilbahn elektrisch von der Tegernseer-Hütte aus. Die dazu benötigte elektrische Energie liefert ein eigens dazu errichtetes Dieselaggregat mit 16 kW Leistung. In Zeiten, in denen die Photovoltaikanlage die Versorgung der elektrischen Verbraucher innerhalb der Hütte

allein nicht aufrecht erhalten kann, wird das Dieselaggregat zum Laden des Akkumulators verwendet. Somit wird sichergestellt, dass jederzeit elektrische Energie, vor allem für die Beleuchtung, verfügbar ist. Das Zusammenwirken von PV-Anlage mit Dieselaggregat macht die Gesamtanlage zu einer kompletten netz-autarken Hybridanlage.

2.3.2 Ist-Stand des Blitzschutzes



Zum Zeitpunkt der Besichtigung der Hütte besaß diese bereits einen äußeren Blitzschutz. Die Blechdächer von Hütte und der Toilettenanbau werden dazu als Fangflächen benutzt. Alle metallenen Teile auf den Dächern sind mit den Ableitungen verbunden. Ebenso die metallenen Aufsätze der beiden Kamine. Leider konnte nichts über das Erdungssystem in Erfahrung gebracht werden; aller Wahrscheinlichkeit nach sind es aber Staberdrungen. Einen maßstäblichen Überblick der Hütte gibt das **Bild 18**. Es gibt insgesamt fünf Ableitungen, verteilt über den gesamten Gebäudekomplex. Der maximale Abstand zwischen zwei Ableitungen beträgt ca. 10 m.

Bild 18: Übersicht der Hütte mit Ableitungen

Im Untergeschoss der Hütte befindet sich eine Potenzialausgleichsschiene, an der die metallenen Teile innerhalb der Hütte angeschlossen sind. Das PV-Generatorgestell ist hieran jedoch nicht angeschlossen, da es leitend mit dem Blechdach verbunden ist. Im Falle eines Direkteinschlages fließt somit ein Teil des Blitzstromes über das PV-Generatorgestell und koppelt dadurch in die Generatorleitungen ein. Blitzteilströme fließen somit in die Hütte Richtung Generatoranschlusskasten.

Die im Generatoranschlusskasten installierten zwei SPD würden durch die Blitzteilströme zerstört werden. Dies stellt eine potentielle Gefährdung sowohl für die Anlage als auch für die Hütte und die darin befindlichen Personen dar. An der Hinterseite werden von außen die metallenen Seile der Seilbahn in die Hütte eingeführt. Der Potenzialausgleich wird hier mit Hilfe einer leicht lösbaren Erdungsklemme realisiert. Diese ist direkt mit der Erdungsanlage der Hütte verbunden. Blitzteilströme, die von außen über das Seil in die Hütte gelangen, werden damit direkt in das Erdungssystem eingeleitet.

2.3.3 Risikoanalyse

Die für die Anlage relevanten Schadensarten sind:

- Verlust von Menschenleben (D1), besonders innerhalb der Gebäude;
- wirtschaftliche Verluste (D4) aufgrund des Wertes der Hybridanlage (im Vergleich zu den Schadenskosten des Einschlages).

Da der PV-Generator einen laut Norm ungeschützten Dachaufbau darstellt, wird die Fangeinrichtung der Hütte bei der Risikoanalyse zunächst nicht mit berücksichtigt. Bei einem Einschlag fließen Teile des Blitzstromes über das Generatorgestell und koppeln auf die Verkabelung ein. Damit fließen sie in das Innere der Hütte. Die Ergebnisse der Analyse sind in **Tabelle 3** zu finden.

Schadensart	R_a	$R_{\text{ungeschützt}}$	$R_{\text{geschützt}}$
D1	$10 \cdot 10^{-6}$	$29,77 \cdot 10^{-6}$	$5,95 \cdot 10^{-6}$
D4	$1000 \cdot 10^{-6}$	$242,89 \cdot 10^{-6}$	ausreichend

Tabelle 3: Ergebnisse der Risikoanalyse

Im Einzelnen setzt das Konzept für den Blitzschutz der Anlage folgende Schutzziele um:

- Der Photovoltaikgenerator wird durch den Einsatz von Fangstangen gegen direkte Blitzeinschläge geschützt (Schutzklasse IV).
- Es wird eine Potenzialausgleichsleitung vom Generatoranschlusskasten unter dem Dach bis zum Generatorgestell verlegt und fest daran angeschlossen. Die Potenzialausgleichsleitung vom Generatoranschlusskasten unter dem Dach bis zum Installationskasten im Untergeschoss kann so belassen werden, da sie zusammen mit den beiden Generatorhauptleitungen den Blitzstrom führt; ein Querschnitt von 16mm^2 wird sicher erreicht.
- Im Generatoranschlusskasten unter der Dachhaut werden C-Ableiter zum Einkoppeln der kleineren Blitzteilströme auf die Generatorhauptleitungen und zur Überspannungsbegrenzung eingebaut (vgl. Kapitel 2.3.5).
- Im Installationskasten im Untergeschoss werden weitere C-Ableiter zum Auskoppeln von kleineren Blitzteilströmen von den Generatorhauptleitungen und zur Überspannungsbegrenzung eingesetzt.

2.3.4 Schutz vor direkten Blitzeinschlägen

Der Photovoltaikgenerator soll mit Hilfe von insgesamt sechs Fangstangen, die den Generator um 10 cm überragen, gegen direkte Einschläge geschützt werden. Blitzteilströme über das Generatorgestell sind unvermeidlich. Durch diese Maßnahme wird einerseits die Entstehung eines Lichtbogens, der zu Zerstörungen führen kann, verhindert, andererseits fließen die Blitzteilströme dadurch in einigem Abstand an den Solarzellen vorbei. Dadurch werden hier Schäden verhindert oder zumindest minimiert [7].

2.3.5 Schutz vor Überspannungen

Es wird eine neue Potenzialausgleichsleitung (16mm^2) vom Generatoranschlusskasten bis zum PV-Gestell gelegt und fest daran angeschlossen. Über diese Leitung können Blitzteilströme bis zum Kasten fließen. Aufgrund des Querschnitts, des maximal auftretenden Stromes von 7,75 kA (siehe Berechnung im ausführlichen Bericht [8]) und der Kürze der Leitung ist dies ohne Gefährdung für die Generatorhauptleitungen und den Generator möglich. Im Kasten wird der Blitzteilstrom von insgesamt vier C-Ableitern (je zwei für die positive und zwei für die negative Leitung) auf die Leitungen zum Akkumulator eingekoppelt. Damit tragen insgesamt drei Leitungen zum Transport des Stromes bei. C-Ableiter sind nicht primär dafür gedacht, direkte Blitzströme zu führen; trotzdem sind sie in der Lage, direkte Blitzteilströme der Form 10/350 in einer Höhe von

zirka 5% ihres Ableitvermögens für Blitzströme der Form 8/20 abzuleiten (max. 2 kA bei den hier verwendeten Geräten). Diese Blitzteilströme werden dann wiederum mit insgesamt vier C-Ableitern vor dem Wechselrichter von den Leitungen ausgekoppelt und in die Erdungsanlage eingeleitet. Einen kompletten Überblick über die Maßnahmen des Inneren Blitzschutzes gibt **Bild 19**.

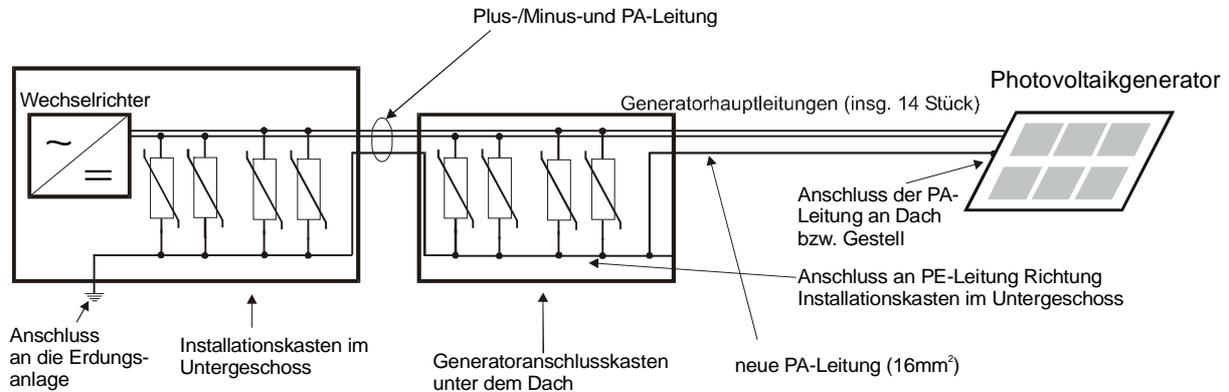


Bild 19: Maßnahmen des Inneren Blitzschutzes

3. Literaturverzeichnis

- [1] DIN V VDE V 0185-2 (VDE V 0185 Teil 2): 2002-11: Blitzschutz; Teil 2: Risiko-Management: Abschätzung des Schadensrisikos für bauliche Anlagen
- [2] DIN V VDE V 0185-3 (VDE V 0185 Teil 3): 2002-11: Blitzschutz; Teil 3: Schutz von baulichen Anlagen und Personen
- [3] DIN V VDE V 0185-4 (VDE V 0185 Teil 4): 2002-11: Blitzschutz; Teil 4: Elektrische und elektronische Systeme in baulichen Anlagen
- [4] www.aixthor.com
- [5] T. Erge, J. Bohnenstengel, G. Bopp, H. Dornburg, R. Reimelt, E. Rössler, R. Schätzle, D. Wimmer, I. Witteck: Untersuchung der elektromagnetischen Eigenschaften des Solargenerators in netzgekoppelten photovoltaischen Stromversorgungsanlagen. Abschlussbericht des BMBF-Forschungsvorhabens 0329609, Fraunhofer ISE, Freiburg, 1997
- [6] I. Witteck: Theoretische und experimentelle Untersuchung des Frequenzverhaltens von Solargeneratoren. Diplomarbeit an der Technischen Hochschule Leipzig, Fachbereich Elektrotechnik und am Fraunhofer ISE, Freiburg, 1996
- [7] H. Häberlin, R. Minkner: Einfache Methode zum Blitzschutz von Photovoltaikanlagen. SEV/VSE-Bulletin 19/1994.
- [8] zu beziehen über: krichel@fh-aachen.de

Adresse des Hauptautors :

Dipl.-Ing. Frank Krichel
 Fachhochschule Aachen, Abt. Jülich, Elektrolabor (L3)
 Ginsterweg 1
 52428 Jülich
 Tel.: 02461-993231 (Büro)
 Tel.: 02461-993167 (Labor)
 Fax: 02461-993260
 Mail: krichel@fh-aachen.de

Das Projekt wurde dankenswerterweise gefördert von der Arbeitsgemeinschaft Solar Nordrhein-Westfalen (AG-Solar NRW), sowie von folgenden Firmen: Dehn+Söhne GmbH+Co.KG, Neumarkt/Opf.; Elektro Reetz GmbH, Hillesheim; Blitzschutzbau Rhein Main, Adam-Herbert GmbH, Aachen; W. Wettingfeld GmbH & Co. KG, Krefeld.