

Blitzschutz bei Klein-Windenergie-Anlagen

Inhalt

1	Äußerer Blitzschutz und Potentialausgleich.....	2
2	Leitungsquerschnitte	4
3	Innerer Blitzschutz.....	6
4	Blitzschutz an Klein-WEA selbst.....	8

1 Äußerer Blitzschutz und Potentialausgleich

Bisweilen begegnet man der Meinung, bei Montage einer Klein-WEA auf einem frei stehenden Mast den Fundamenterder bzw. Staberder vom Mastfuß nicht mit dem Potentialausgleich im Haus zu verbinden. Argument: So hole man sich den Blitz ins Haus. Wenn auf einem Dach keinerlei Anlagen installiert sind, welche Kabelverbindung ins Gebäude haben, also weder eine Antenne noch eine WEA, mag das noch angehen.

Wenn aber doch, so hat man, wenn der Potentialausgleich weg fällt, den Blitz auf jeden Fall im Haus. Zusätzlich hat er noch die Isolation des Generators durchschlagen..

Folgendes Gedankenexperiment soll es veranschaulichen.

Es gibt Blitze mit Stromstärke 200.000A, in Worten Zehnhunderttausend.

Der Erdungswiderstand am Erder mag 1Ω betragen, was durchaus ein realistischer Wert ist. Bei so einem Blitz verbleibt am Mastfuß und damit auch am Mast bis hin zum Generatorgehäuse ein Spannungsfall von 200.000V gegen die idealisierte Erde. Das entspricht einer Funkenstrecke von ca. 200mm in Luft.

Die Isolation im Generator ist aber in der Regel nur für 4 kV ausgelegt, so dass ein Durchschlag unvermeidlich ist. Der Rest von 200kV - 4kV, also fast die volle Spannung, wird dann ins Haus geleitet. Gewiss, durch Überspannungs-Ableiter eliminiert. Der Durchschlag im Generator verbleibt aber, und macht ihn unbrauchbar.

Dabei gibt es eine Lösung, die üblich und richtig ist, und mit der man selbst bei Einschlag in den Mast der WEA (mit etwas Glück) elektrisch ohne Schaden davon kommen kann. **Der Mastfuß wird elektrisch mit dem Potentialausgleich-System des Gebäudes verbunden, in welches die Windenergie geleitet wird.**

Dazu folgendes Bild, in der ich die Erdung des Hauses andersfarbig ergänzt habe.

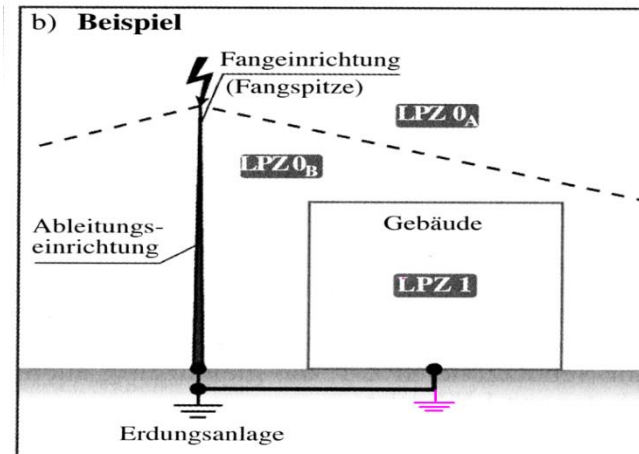
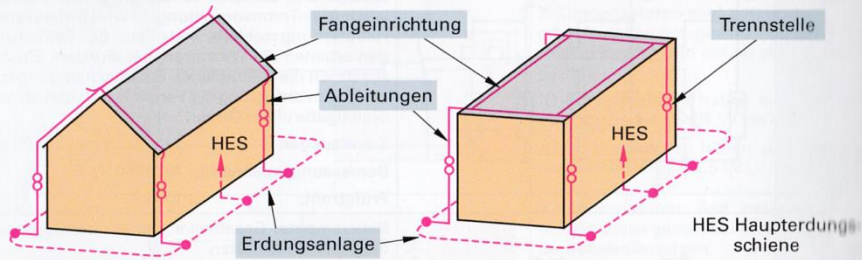


Abb. 1¹ Potentialausgleich bei Masten, schematisch

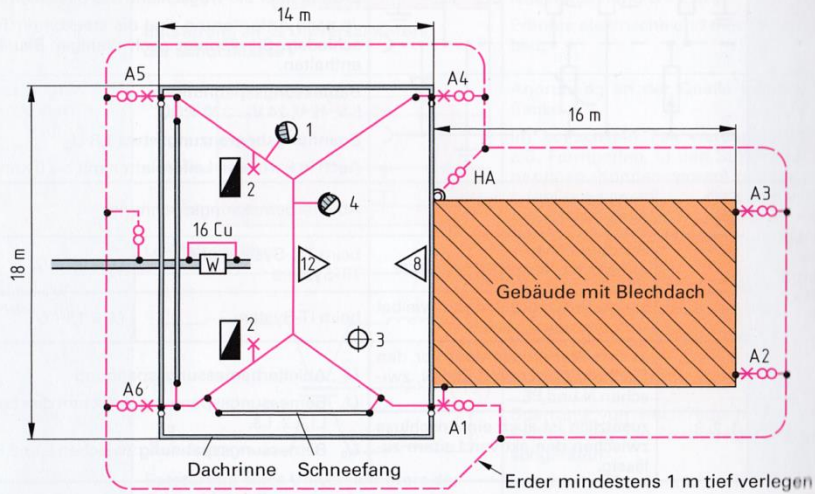
Untermauert wird das durch folgende Darstellung, bei der z.B. eine Antenne mit 4 m Mastlänge (mittleres Bild) natürlich an das Blitzschutzsystem angeschlossen ist, keine Frage. Und der Erder dieser Blitzschutz-Anlage ist auch verbunden mit der Haupterdungsschiene, auch als Haupt-Potentialausgleichs-Schiene bezeichnet. Gleiches gilt für WEA auf dem Dach.

¹ Quelle: EMV Blitzschutz von elektrischen und elektronischen Systemen in baulichen Anlagen, Hasse u. A., 2004, S. 64

Prinzip äußerer Blitzschutz



Plan einer Blitzschutzanlage



SE

Kurzzeichen	Bedeutung	Kurzzeichen	Bedeutung
	Gebäudeumrisse und Dachhöhen Zahl im Dreieck gibt First- oder Traufhöhe in m an		Fangleitungen und Ableitungen, außen
	Kamin, Rauchfang Zahlen ≙ Höhe in m nichtmetallisch metallisch		Innen: Fangleitungen und Ableitungen, unter Putz
	Rohr, Mast, Antenne Zahlen ≙ Höhe in m nichtmetallisch metallisch		Fangstange, Fangspitze
	Dachständer Zahlen ≙ Höhe in m		Trennstelle
	Rohrleitungen und Rinnen aus Metall G außen W innen A Abfluss G Gas H Heizung W Wasser		Horizontalerder, Erdungsleiter
	Zähler, z. B. Wasserzähler		Vertikalerder

Abb. 2²

² Quelle, auch bei nachfolgenden Bildern: Häberle u. A., Tab.-Buch Elektrotechnik, 28.Auflage, 2018

Hier ist zu sehen, wie sie aussieht, die Haupterdungsschiene, und einiges mehr.

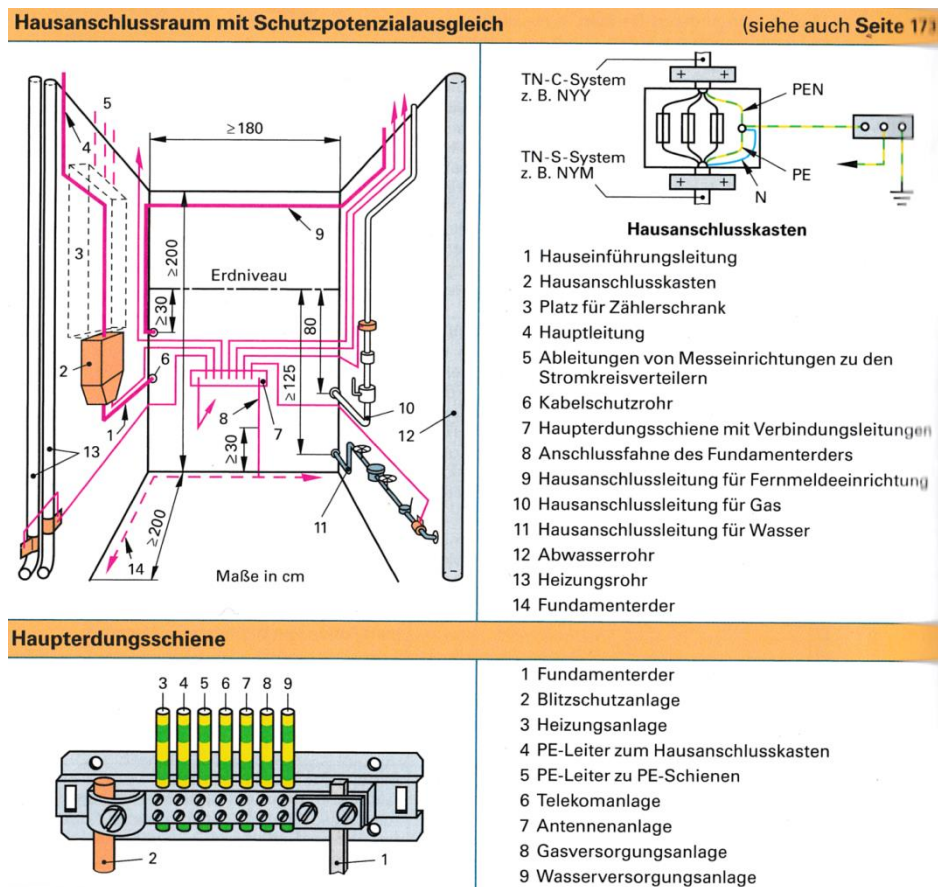


Abb. 3³

2 Leitungsquerschnitte

Dazu die Übersicht im nächsten Bild.

Der unterirdische Potentialausgleich für Bild 1 also mit NYY **16mm²** : „Massiver Kupferleiter mit Aderisolierung und zusätzlicher Schutzhülle aus Plastik“. Ob „Aderleitung mit einfacher Isolierung“ (NY16), wie sie im Haus üblich ist, auch bei Erdverlegung für diesen Zweck zulässig ist, weiß ich nicht, zumal auch einadriges Kabel NYY 1x16 bzw. NYY-J 1x16 durchaus zu haben ist.

Unisoliert sollte man Kupfer im Erdreich nicht verlegen. Auch keine Staberder aus Kupfer verwenden. So zumindest hatte ich es irgendwo gelesen.

Sollte die Ableitung der Energie unter der Erde eh mit 4x16² oder mehr erfolgen, was bei Niederspannungsanlagen manchmal sinnvoll ist, verbleibt die Frage, ob der gn-ge Schutzleiter (J) vom NYY-J 4x16 zum Potentialausgleich verwendet werden kann. Bezüglich Können spricht ansich nichts dagegen. Bezüglich Dürfen weiß ich es nicht.

Bei Erdkabeln mit **Al-Leitern** (NAYY) erhöht sich der geforderte Querschnitt auf **25mm²** Soweit zu Kabeln und Leitungen mit eindrähtigen Leitern.

Bei verseilten erhöht sich der geforderte Querschnitt auf **35mm²** für Al und Cu gleichermaßen. Grund ist, dass sich die einzelnen Seiladern bei hohen Stromstößen, wie sie bei Blitzschlag und abgemildert auch beim Potentialausgleich entstehen, durch die magnetischen Kräfte gegenseitig abstoßen. Das Seil hätte also bei zu geringer mechanischer Stabilität die Tendenz, auseinander zu driften. Kein Scherz!

Link zu [Kabel und Leitungen](#), wobei Kabel: Erdverlegung, Leitungen: Hausinstallation.

³ Quelle: Ebenda S. 170

Fangeinrichtungen und Ableitungen

Lightning Arrester Systems

vgl. DIN EN 62305-1

Bauteile	Werkstoff	festgelegt in	Mindestmaße				
			Rundleiter		Flachleiter		
			Durchmesser mm	Querschnitt mm ²	Breite mm	Dicke mm	Querschnitt mm ²
Fangleitungen und Fangspitzen bis 0,5 m Höhe	Stahl verzinkt ¹	DIN 48801	8	50	20	2,5	50
	nichtrostender Stahl ²		10	78	30	3,5	105
	Kupfer	DIN 48801	8	50	20	2,5	50
	Kupferseil		19 x 1,8	50 Kupfer			
	Aluminium	DIN 48801	10	78	20	4	80
Fangleitungen zum freien Überspannen von zu schützenden Anlagen	Stahlseil, verzinkt	DIN 48201 Teil 3	19 x 1,8	50			
	Kupferseil	DIN 48201 Teil 1	7 x 2,5	35			
	Aluminiumseil	DIN 48201 Teil 5	7 x 2,5	35			
	Alu-Stahl-Seil	DIN 48204	9,6	50/8			
	Aldrey-Seil	DIN 48201 Teil 6	7 x 2,5	35			
Fangstangen	Stahl verzinkt ¹	DIN 48802	16, 20 ³				
	nichtrostender Stahl ²		16, 20 ³				
	Kupfer		16, 20 ³				
Ableitungen und oberirdische Verbindungs- leitungen	Stahl verzinkt ¹	DIN 48801	8, 10 ³ , 16 ⁴	50, 78, 200	20 30	2,5 3,5	50 105
	nichtrostender Stahl ²		10, 12 ³ , 16 ⁴	78, 113, 200	30 30	3,5 ³ 4 ⁴	105 120
	Kupfer	DIN 48801	8	50	20	2,5	50
	Kupferseil		19 x 1,8	50 (Kupfer)			
	Aluminium	DIN 48801	10	78	20	4	80
Ableitungen, ober- und unterirdische Verbindungs- leitungen	Stahl mit Kunst- stoffmantel ⁵		8 (Stahl)				
	Kabel NYY ⁵	VDE 0271		16			
	Kabel NAYY ⁵	VDE 0271		25			
Winkelrahmen für Schornsteine	Stahl verzinkt ¹	DIN 48814			50/50	5	
	nichtrostender Stahl ²				50/50	4	
	Kupfer				50/50	4	

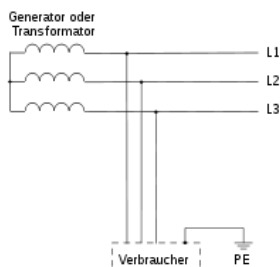
¹ nur Feuerverzinkung: Zinküberzug; Schichtdicke: Mittelwert 70 µm, Einzelwert 55 µm
² Werkstoffnummer z.B. 1.4001 oder 1.4301
³ bei freistehenden Schornsteinen
⁴ im Rauchgasbereich
⁵ nicht bei freistehenden Schornsteinen
www.dehn.de, www.brieselang.net, vdb.blitzschutz.com

Abb. 4

3 Innerer Blitzschutz

Es muss unterscheiden werden zwischen dem Schutz der Eingangsbauteile (Gleichrichter, MOSFETs) eines Einspeise-Wechselrichters (WR) oder auch eines Ladereglers vor zu hohen Spannungen zwischen den Phasen eines 3-Leiter-Systems, und solchen durch indirekten Blitzschlag, welche gegen Erde auftreten, auf einer oder allen 3 Phasen gleichzeitig. Wenn im Handbuch des WR steht, „Die Ein- und Ausgänge erfüllen die Anforderungen nach Überspannungskategorie 2 bezüglich des Blitzschutzes.“⁴, so ist alles in Ordnung. Wenn das fehlt, sind Überspannungsableiter, wie sie in der Gebäudeinstallation üblich sind, z.B. von der Fa. Dehn, eine Option. Bleibt nur die Herausforderung, sie richtig aus zu suchen. Sind sie doch auf übliche Nennspannungen zugeschnitten, z.B. 12V, 24V (Steuerleitungen) 230V, 120V (amerikanischer Markt), evtl. noch 127V. Auslösespannung jeweils $1,1 \cdot$ höchste Toleranzschwelle der Netzspannung, in D also 253V (+10%). Tatsächliche Auslösung erfolgt bei der zugehörigen Spitzenspannung $U_s = 1,414 \cdot U_{eff}$, also hier bei ca. 394V(DC).

Da solche Überspannungs-Ableiter nicht unbedingt billig sind und vor Allem, wenn auch die Gleichrichtung eine separate Baugruppe erfordert, ist Eigenentwicklung eine weitere Option. Auch wenn bei Klein-WEA die Abführung der Energie sinnvoller Weise nach einem IT-System erfolgt, besteht automatisch auch Schutz vor zu hohen Spannungen zwischen den Leitern, wenn die Begrenzung, wirksam für beide Halbwellen, in Anlehnung an Abb. 5 gegen die Erde erfolgt. Es bildet sich quasi ein virtueller Sternpunkt. Das Verhältnis der Strangspannungen (von jedem Leiter L 1,2,3 zu eben diesem Sternpunkt) zu den Leiterspannungen, jeweils zwischen L1,2,3 ist verknüpft mit dem Verkettungsfaktor $\sqrt{3}$. Beim obigen Beispiel bedeuteten 3 Überspannungs-Ableiter gegen Blitzeinstreuungen zur Masse also gleichzeitig Schutz zwischen den Leitern vor 619Vs bzw. 438Veff. Aus letzterer gewinnt man durch 3-Phasen-Gleichrichtung (bei reinem Sinus) mit 1,35 multipliziert 591,6V(DC). Für eine Klein-WEA alles reichlich hoch, aber so sind die rechnerischen Verhältnisse.



IT-System⁵

Käufliche Überspannungs-Ableiter

Nun zur Verwendung der genannten Überspannungs-Ableiter in der häuslichen Energieversorgung bzw. beim Schutz der Kommunikationsleitungen. **Da gehören sie hin, bei Verbindung der Erdungsanlage mit dem Potentialausgleich sogar zwingend.**

Denn im Falle eines Blitzschlages in eine WEA auf dem Mast nach Abb.1 bzw. auf dem Dachmast nach Abb.2 passiert Folgendes: Das Potential auf PE wird über die Potentialausgleichs-Schiene angehoben. Nicht auf die anfangs berechneten 200 kV, da sich die Spannung über die Hauserdung verringert, aber eben doch wesentlich höher als die normal-Potentiale in den Leitern L1 bis L3. Das vermeiden die Überspannungsableiter, welche verhindern, dass sich zwischen PE+L einerseits und L1 bis L3 andererseits höhere Potentialunterschiede aufbauen, als zuträglich. Dazu folgendes Bild.

⁴ Solarinvert, Technisches Handbuch Wechselrichter, S. 5

⁵ Quelle: [https://de.wikipedia.org/wiki/IT-System_\(Elektrotechnik\)](https://de.wikipedia.org/wiki/IT-System_(Elektrotechnik))

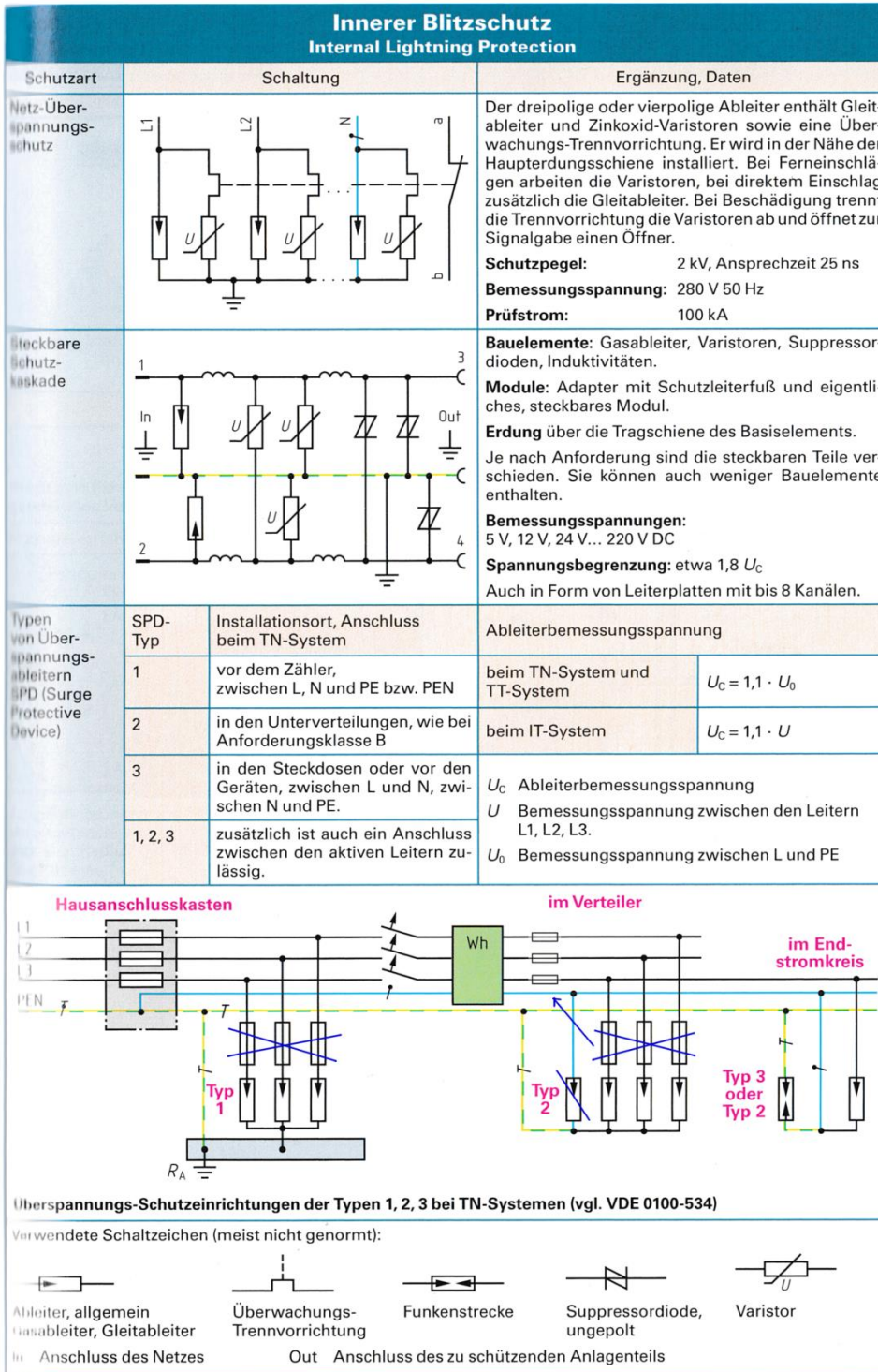


Abb. 5⁶ Überspannungs-Ableiter im Hausnetz, korrigiert

Korrigiert habe ich die Sicherungen im unteren Schema. An den ursprünglich eingezeichneten Positionen wäre ihre Wirkung fatal. Auch ist beim hier dargestellten [TN-C-S Netzsystem](#) der Ableiter vom, aus dem PE-Leiter generierten N-Leiter (hellblau) überflüssig, daher von mir gestrichelt. Auch besteht Notwendigkeit entweder im Verteiler (bevorzugt) oder im Endstromkreis, was der Steckdosen Version entsprechen dürfte. Ob letztere schematisch richtig dargestellt wurde, auch das bleibt an zu zweifeln.

⁶ Quelle: Häberle u. A., Tab.-Buch Elektrotechnik, 28. Auflage, 2018

4 Blitzschutz an Klein-WEA selbst

Hier einen [Link](#) zu den Vorstellungen der Fa. Dehn aus dem Jahre 2014, wo ihre Produkte bei Groß-WEA Verwendung finden sollten, bzw. allgemeiner und übersichtlicher [2018](#).

Bei Klein-WEA, die nicht pitchen, sind es neben den Blättern die die Schwenklager, welche bei Blitzdurchgang Schaden nehmen. Die Lager des Generators eher dann, wenn die Blätter aus leitendem Material bestehen, also Metall, CFK und auch Holz, da stets mit Restfeuchte.

Während man meines Wissens nach festgestellt hat, dass die Wälzkörper der Lager von Groß-WEA so zahlreich und groß sind, dass sie einen Blitzdurchgang i.A. schadlos überstehen, bestünde bei Klein-WEA die Gefahr des Verschweißens bei Stillstand. In Bewegung gäbe es zumindest Materialausrisse aus den Oberflächen und Festigkeitsreduktion durch partielles Übersteigen der Anlasstemperatur der werkseitig gehärteten Wälzpartner. Daher ist z.B. ein schleifendes Überbrücken mittels Kupfergeflecht an geeigneter Stelle ein Mittel zur Abhilfe. Das gilt insbes. auch dann, wenn für das Schwenklager Gleitbuchsen aus Polymer verwendet werden.

Rotorblätter, welche den Strom leiten, also z.B. solche mit Carbonfaser-Anteil benötigen neben recht massiven Blitzfängern, zumindest an der Blattspitze, interne Kupferbänder/-Seile mit mind. 50mm² zur schadlosen Ableitung an die Nabe. Auch wird das Cu-Geflecht regelrecht als Abschirmung z.B. über die Kohle-Gurte gelegt, damit die keinesfalls vom Blitz in Mitleidenschaft gezogen werden.

Hier der gegossene Blitzfänger vom Blatt einer TACKE 1,5 nach dem Crash bei *Sitten* Nähe *Grimma*, etwa faustgroß (oberer Pfeil), noch verbunden mit dem Kupferseil zur Ableitung. Unterer Pfeil: Soll-Einschlagstelle bei Blitzschlag in den Blitzfänger als Loch in der Schale.



Abb. 6 Blitzschutzelemente vom Blatt einer Groß-WEA 1,5 MW

Das ist natürlich erst ab einer gewissen Größe von Rotorblatt leistbar. Weswegen ich bei Kleinanlagen von z.B. 1,5 kW mich auf Glasfasern im Verbund beschränke, in der Hoffnung, dass der Blitz im Falle der Fälle außen vorbei geht. Dafür muss es unbedingt vermieden werden, dass sich im Flügel Kondenswasser absetzen kann. Auch darf sich bei der Laminierung nicht eine Faser Kohlenstoff einschleichen. Anhand derer würde sonst der Blitz seinen inneren Weg finden, mit Folgen, auf die man gerne verzichtet.