Untersuchungen zum Schadensmechanismus beim Blitzeinschlag in ein reetgedecktes Dach.

Prof.Dr.-Ing. Jan Meppelink,
Universität GH Paderborn Abt. Soest FB 16

1 Einleitung

Zitat : /1.1/ Mitten im historischen Ortskern von Worpswede verfällt in den siebziger Jahren ein ehemals prächtiges, 200 Jahre altes Bauernhaus zusehends - das alte "Nicolaus-Bötjer-Haus".Der Gemeinderat fasste 1984 den Beschluss, das unter Denkmalschutz stehende Gebäude zu sanieren und zum künftigen Rathaus der Gemeinde auszubauen. Es entstand ein würdiges, repräsentatives Rathausgebäude, das nicht nur ein Verwaltungsgebäude, sondern auch ein beliebter Veranstaltungsort ist. Wertvolle, historisch gewachsene Baustrukturen wurden bewahrt, behutsam fortentwickelt und den heutigen Bedürfnissen angepasst. Ein Blitzeinschlag verwandelte in der Nacht vom 13. zum 14. Juni 1997 den historischen Teil des Rathauses in Schutt und Asche. Der moderne Anbau blieb durch den massiven Einsatz der Feuerwehr von den Flammen verschont. Heute erstrahlt das Rathaus wieder in neuem Glanz. Innerhalb von 10 Monaten gelang es, das alte Bauernhaus ohne sichtbare Veränderungen wieder aufzubauen und es wieder zu dem zu machen, was es war: Ein Schmuckstück und Mittelpunkt des Ortes, der Stolz der Worpsweder und für viele Worpsweder Gäste ein besonderes Ziel beim Rundgang durch den Ort. (Zitat Ende).

Der oben beschriebene Fall und die Diskussionen zu /2/ anlässlich des VDB Forum 2000 gaben den Anlass, die Schadensmechanismen zu untersuchen.

Es sollte insbesondere noch einmal untersucht werden, ob die Erdung von Bandstöcken und Bindedrähten zur Entschärfung von unvermeidlichen Näherungen zulässig ist.

Nach einem Besuch vor Ort wurden die Besonderheiten eines solchen Gebäudes klar. Die reetgedeckten Häuser haben selten einen Fundamenterder, sondern Tiefenerder oder Banderder oder Kombinationen daraus. Für das oben genannte Gebäude wurde eine Berechnung durchgeführt mit dem Ergebnis, das mindestens die Blitzschutzklasse I anzuwenden ist, d.h. eine Blitzkugel von <20 m Radius.

Sind die konstruktiv bedingten Bandstöcke und Bindedrähte, die zur Fixierung des Reets im Brandfall aus Stahldraht bestehen, bevorzugte Einschlagstellen? Wenn ja, dann sind diese in den Schutzraum der Blitzschutzanlage zu legen oder blitzstromtragfähig auszulegen.

Experimentelle Untersuchungen wurden an einem Ausschnitt eines ca. 25 Jahre alten reetgedeckten Daches und an Modellanordnungen durchgeführt.

Insbesondere wurde eine Anordnung verwendet, die zeigen soll, ob die lokale Überbrückung einer Näherung zum Bindedraht durch einen Leiter zugelassen werden kann, um einen offenen Überschlag in dem Bereich bei einem Blitzeinschlag zu vermeiden.

Bild 1.1 Ansicht des Rathauses von Worpswede im Juni 2001.

Bild 1.2 Blick auf den Eingang zum Rathaus von Worpswede und Nebengebäude

Bild 1.3 Blick auf eine Ableitung

Bild 1.4 Blick auf die Rückseite

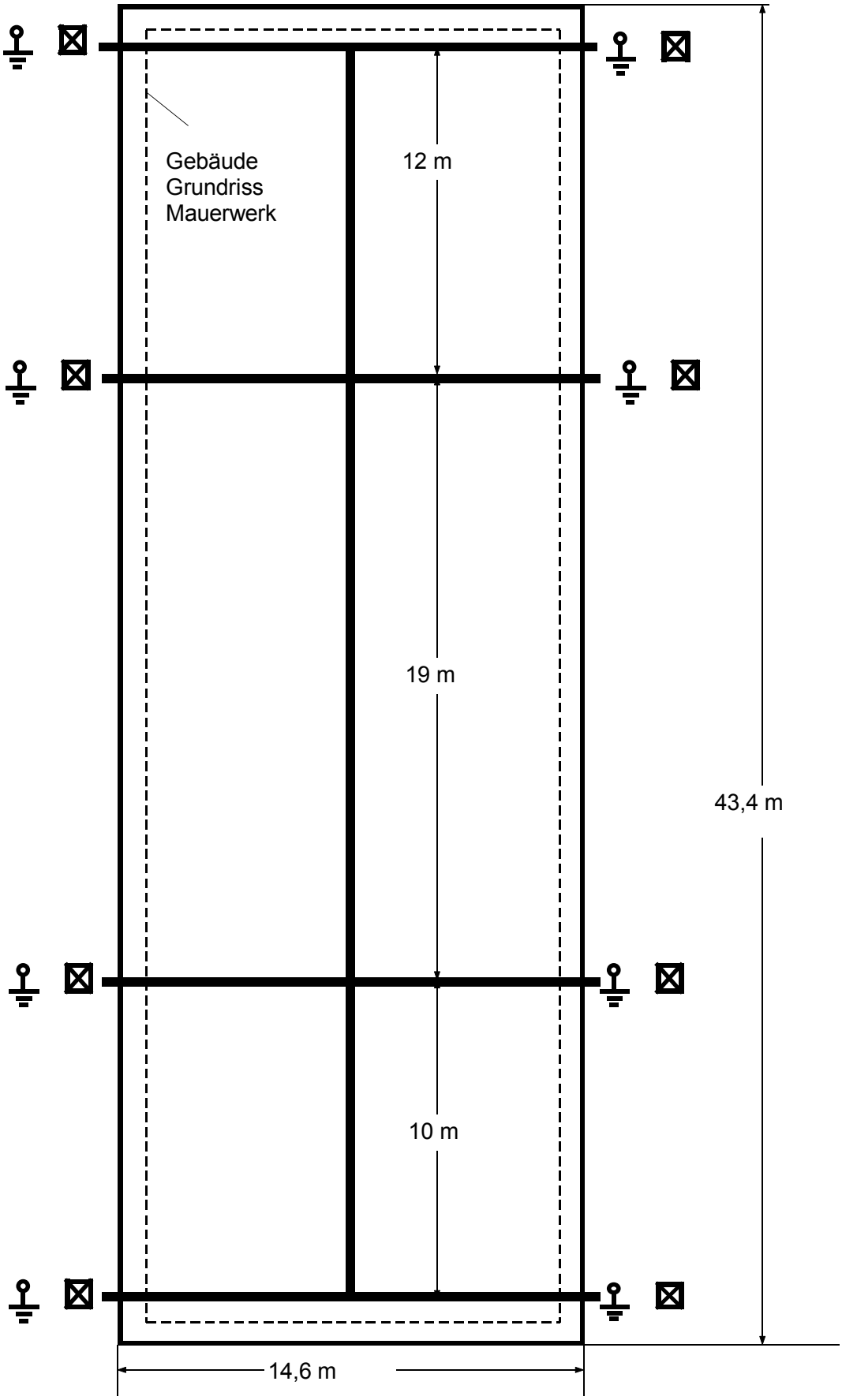

Bild 1.5 Draufsicht Hauptgebäude ohne Nebengebäude

2 Normenanalyse.

In /2/ wird die Ausführung im Detail beschrieben, die Zeichnungen wurden in /3/ weitgehend übernommen. Bild 2.1 zeigt die Anordnung der Fang-und Ableitungen. Auf die konstruktiven Details eines reetgedeckten Daches nach Bild 3.1 mit Bandstöcken und Bindedrähten und auch andere mögliche Konstruktionen nach /3.1/ wird hier nicht eingegangen. Bild 2.2 zeigt die Draufsicht eines Gebäudes mit weicher Bedachung mit den zugehörigen Blitzschutzeinrichtungen nach /2.2/. In der VDE Schriftenreihe 44 /2.2/ wurde der Abstand zwischen dem Dach und Bäumen von 1 m /2.1/ auf 2 m geändert, weiterhin wurde in /2.2/ die elektrische Installation 14,15,16 nach Bild 2.2 ergänzt. Im Text in /2.2/ findet man die wesentlichen Grundlagen aus /2.1/ wieder. Eine wesentliche Änderung gegenüber /2.1/ ist folgende:

Neu aufgenommen wurde die Möglichkeit einer isolierten Blitzschutzanlage mittels Fangstangen, wenn das Weichdach metallene Drahtnetze oder andere Metallteile trägt. Bisher war für solche Fälle ein Blitzschutz als nicht möglich angegeben.

Weiterhin wird in /2.2/ auf die Antenneneinbauten und Überspannungsableiter hingewiesen.

In der alten VDE 0185 Teil 1 11.1982 findet man Aussagen zur Fangeinrichtung wie folgt:

5.*1.1.1* ***Vom Blitz bevorzugte Einschlagsstellen*** *auf Gebäuden sind z.B. Turm-und Giebelspitzen, Schornsteine, Firste und Grate, Giebel- und Traufkanten, Brüstungen und Attiken, Antennen und sonstige herausragende Dachaufbauten.* ***Bevorzugte Einschlagstellen*** *müssen, sofern sie nicht im Schutzbereich von Fangeinrichtungen liegen, mit Fangeinrichtungen versehen oder bei* ***metallener Ausführung und ausreichendem Querschnitt als Fangeinrichtung*** *benutzt werden.*

In der neuen Norm DINV ENV 61024-1 VDE V 0185 Teil 100 wird im Nationalen Anhang C für die Fangeinrichtung das Blitzkugelverfahren angegeben:

Fangeinrichtungen sind alle Teile des äußeren Blitzschutzes an und auf Bereichen der baulichen Anlage, die von der der Schutzklasse entsprechenden Blitzkugel berührt werden.

In der ENV 61024-1:1995 wird im Anhang B, B2 die Anordnung der Fangeinrichtungen unter Verwendung des Blitzkugelverfahrens wie folgt definiert:

Wenn dieses Verfahren angewendet wird, dann entspricht die Anordnung der Fangeinrichtungen den Anforderungen, wenn kein Punkt des zu schützenden Volumens von einer Blitzkugel berührt wird, deren Radius R von der Schutzklasse abhängig ist und die auf der Erde, an und über der zu schützenden Anlage in allen möglichen Richtungen gerollt wird.

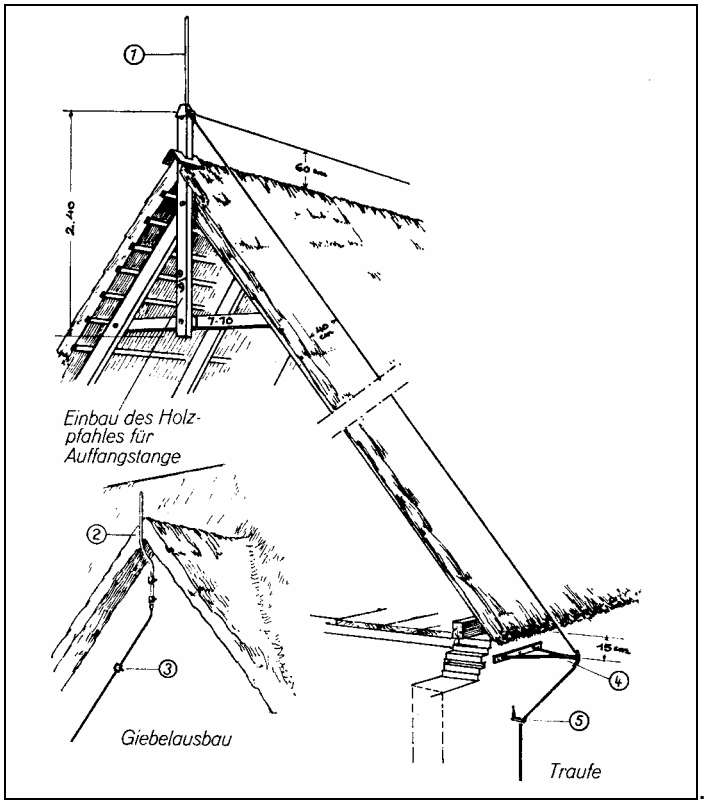

Bild 2.1 Blitzschutzanlage für ein Gebäude mit weicher Bedachung /2.1, 2.2 /
1 Fangstange auf Holzpfahl. 2 Giebelstange. Abstand vom Weichdach mindestens 0,4 m und Höhe über First mindestens 0,6 m. 3 Leitungsstütze. 4 Traufenstütze; Entfernung vom Weichdach mindestens 0,15 m. 5 Spannkloben

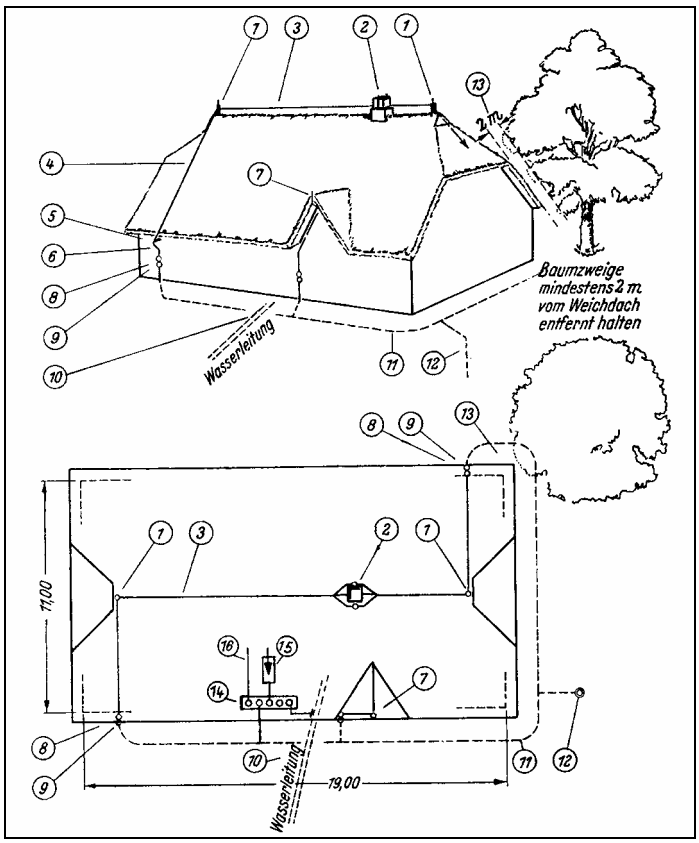

Bild 2.2 Blitzschutzanlage für ein Gebäude mit weicher Bedachung /2.2/
1 Fangstangen aus Holzpfählen.
2 Schornsteinumfahrung mit Schornsteinstangen, Stahlrahmen oder Rundstahl.
3 Firstleitung
4 Abstand der Leitung von der Dachfläche 0,4 m.
5 Traufenstütze
6 Spannkloben.
7 Giebelstange
8 Trennstelle.
9 Übergang von Rundstahl auf Bandstahl.
10 Anschluss der Wasserleitungs- oder Pumpenrohre an Potentialausgleichsschiene.
11 Ring- oder Fundamenterder.
12 Stab- oder Banderder,
13 Baumzweige >2 m vom Weichdach entfernt halten
14 Potentialausgleichsschiene.
15 Überspannungsableiter bei Freileitungsanschluß.
16 Schutzleiter des Starkstromnetzes.

Die neue DINV ENV 61024-1 VDE V 0185 Teil 100 erwähnt ausdrücklich, dass für den Blitzschutz von besonderen Anlagen nach wie vor DIN VDE0185-2 (VDE 0185 Teil2).1982.11 gilt. Im Kapitel 6.1.2.4 dieser Norm findet man:

Bei Weichdächern, die mit einem metallenen Drahtnetz überzogen sind, ist ein wirksamer Blitzschutz nicht möglich. Das gleiche gilt, wenn Abdeckungen, Berieselungsanlagen, Entlüftungsrohre, Schornsteineinfassungen, Dachfenster, Oberlichter und dergleichen aus Metall vorhanden sind. In diesen Fällen ist ein wirksamer Blitzschutz nur durch eine isolierte Blitzschutzanlage mit Fangstangen neben den Gebäuden zu erreichen (siehe DIN 57 185Teil1/VDE0185 Teil 1, Abschnitt 5.1.2).

3 Aufbau und Blitzschutz von Reetdächern

In /1.2/ wird ausführlich die Problematik beim Blitzschutz von Weichdächern mit Reet beschrieben. Konstruktive Details wurden untersucht und Vorschläge für deren Behandlung ausgearbeitet. Bild 3.1 zeigt als Beispiel eine Ausführung von Reetdächern mit Bandstock und Bindedraht. Diese Methode der Befestigung ist notwendig, da das brennbare Reet im Brandfall eine ausreichend lange Zeit stabil auf dem Dach verbleiben muss. Anderenfalls würde die Befestigung, z.B. aus Kunststoff, sofort mitverbrennen und das gesamte brennbare Reet würde herabstürzen und eine Gefahr für Menschen darstellen, weil sie nicht mehr aus dem Haus fliehen könnten.

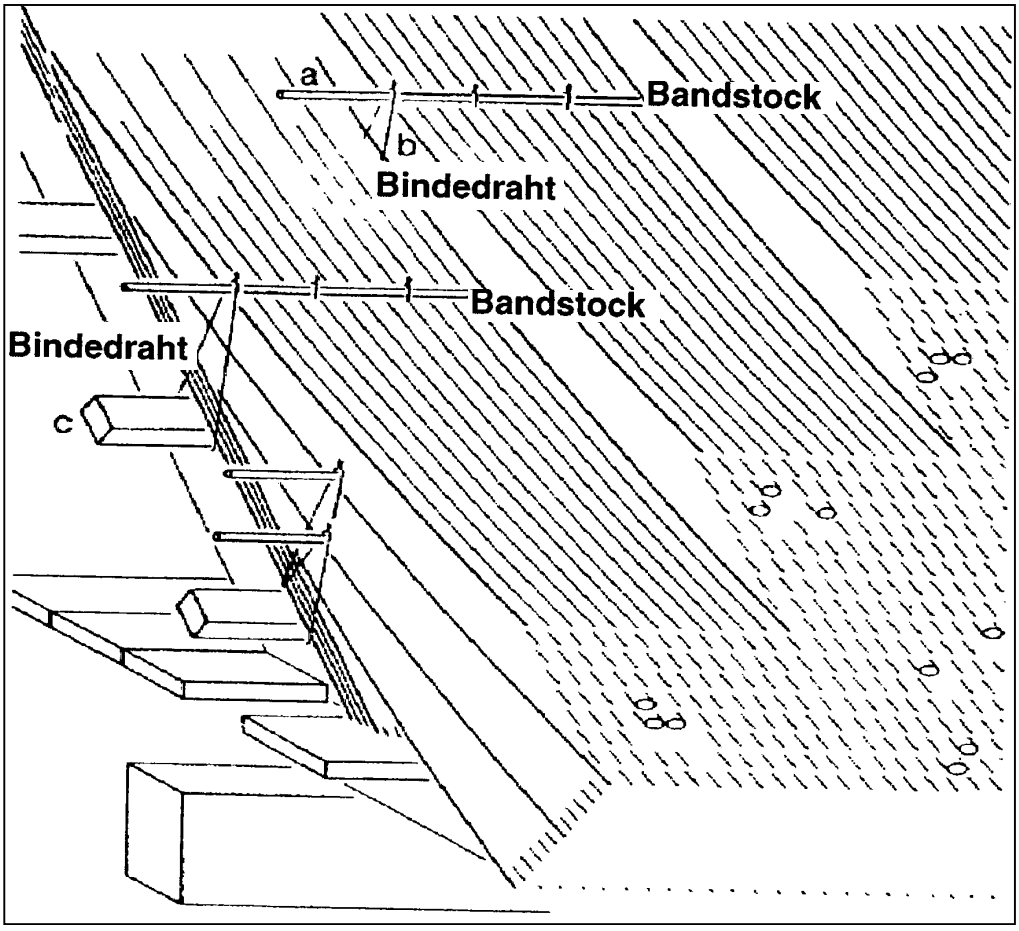

Bild 3.1 Ausführung eines Reetdaches mit der Befestigung von Reet durch Bandstöcke und Bindedrähte /3.1/.

4 Problemstellung

Aus den einleitenden Ausführungen in den Abschnitten 1-3 ergeben sich aus der Anwendung der Normen folgende grundlegende Kriterien für einen wirksamen Blitzschutz:

Bevorzugte Einschlagsstellen müssen, sofern sie nicht im Schutzbereich von Fangeinrichtungen liegen, mit Fangeinrichtungen versehen oder bei metallener Ausführung und ausreichendem Querschnitt als Fangeinrichtung benutzt werden.

Problem 1 :Sind die Bandstöcke und Bindedrähte bzw. Drähte bei anderen Reetdachkostruktionen nach /3.1/ bevorzugte Einschlagsstellen ?

In den Normen wird nicht explizit ausgesagt, dass Bindestöcke und die Bindedrähte bevorzugte Einschlagsstellen sind. In den Normen sind zwar Hinweise auf metallische Teile im Dachbereich zu finden (DIN 57 185 Teil 2/VDE 0185 Teil2), es wird jedoch rein formal gesehen, schwierig zu interpretieren sein, da die Bindestöcke und Bindedrähte im Gegensatz zu den metallischen Teilen wie Entlüftungsrohre etc. nicht aus dem Reet herausragen, sondern innerhalb des Reetmaterials verlaufen. Dies kann sich im Laufe der Nutzungsdauer jedoch ändern, wenn z.B. das Dach durch Erosion teilweise abgetragen ist und die Bindedrähte herausragen.

Problem 2: Treten an Bindestöcken und Bindedrähten Teilentladungen auf, die zur Entzündung von Reet oder brennbarem Material führen können?
Lassen sich solche Teilentladungen durch Erdung von Bindedrähten vermeiden?

Die Bandstöcke und die Bindedrähte liegen auf freiem Potential. Eine in der Nähe eines Bandstockes oder Bindedrahtes verlaufende Ableitung führt im Falle eines Blitzeinschlages ein hohes Potential und damit eine hohe elektrische Feldstärke, die sich durch Influenz auch an Bandstöcken und Bindedrähten auswirkt. Auch durch die Annäherung des ersten Hauptblitzes steigt die Feldstärke an Bandstöcken und Bindedrähten an. Es ist daher von Interesse, ob an den Bindestöcken oder an den Bindedrähten durch das influenzierte elektrische Feld Teilentladungen auftreten, die ein Feuer verursachen können.

Problem 3: Sind Näherungen zu isoliert angeordneten, auf freiem Potential befindlichen Bindedrähten eine Gefahr und können diese durch eine lokale Erdung der Binddrähte vermieden werden, bzw. welche Gefahren ergeben sich daraus ?

Wird eine Blitzschutzanlage fachmännisch installiert, so ergibt sich bei einer Nachinstallation von Heizkörpern, Sanitärinstallationen und/oder elektrischen Leitungen auf dem Dachboden, in der Nähe der Fangstangen, Ableitungen, etc. die Gefahr von gefährlichen Näherungen mit der Folge von Überschlägen und Feuer. Insbesondere stellt sich hier die Frage nach der Wirkung von Näherungen zu den Bindedrähten, die allerdings nach der gängigen Praxis auf freiem Potential liegen, d.h. nicht geerdet sind. In /1.2/ wurde vorgeschlagen, Bindedrähte in der Nähe der metallischen Gegenstände mit diesen elektrisch leitend zu verbinden.

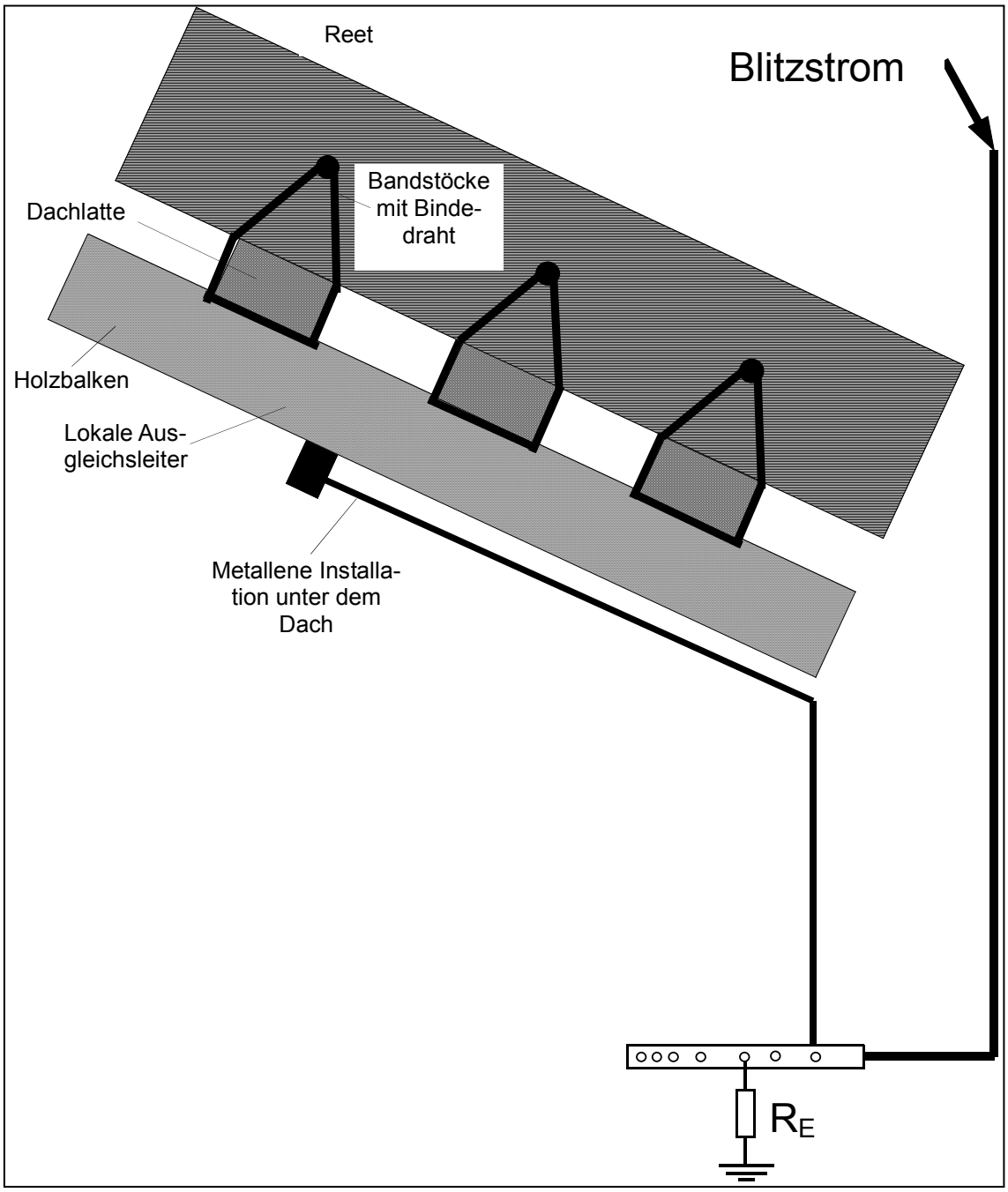

Bild 4.1 Prinzipielle Darstellung einer Anordnung von metallischen Körpern in der Nähe von Bindedrähten.

5 Systemanalyse

5.1 Formale Abschätzung des Risikos nach EN 61024

Aus DIN V ENV 61024-1 VDE V 0185 Teil 100, Bild NC1 beträgt die mittlere Zahl der Gewittertage je Jahr Td<20. Es wird der Wert 20 gewählt. Damit ergibt sich nach DIN V ENV 61024-1 VDE V 0185 Teil 100 die Zahl der Blitze je km^2 und Jahr zu

$$N_g = 0,04\ T_d^{1,25} = 1,69 \frac{Blitze}{km^2\ Jahr}$$

Erwartete Anzahl der Direkteinschläge N_d

Die erwartete Anzahl der Direkteinschläge N_d in die Objekte Gebäude 1 und Gebäude 2 ergibt sich gemäß DIN V ENV 61024-1 VDE V 0185 Teil 100 aus

$$N_d = N_g \bullet A_e \bullet C_e \bullet 10^{-6} \quad pro\ Jahr$$

$N_g : 1,69$

$A_e : Äquivalente\ Fangfläche\ der\ freistehenden\ baulichen\ Anlage\ in\ m^2$

$C_e : Koeffizient\ zur\ Berücksichtigung\ der\ baulichen\ Anlage$

Äquivalente Fangfläche A_e

Zwei Gebäude werden als Beispiel berechnet. Der Wert A_e wird nach DIN V ENV 61024-1 VDE V 0185 Teil 100 wie folgt bestimmt:

Gebäude 1 LxWxH 40mx15mx10m,
Gebäude 2 LxWxH 40mx15mx7,5m

$$Ae = L \bullet W + 6 \bullet H \bullet (L + W) + 9\pi H^2$$

	Gebäude 1 LxWxH 40mx25mx10m	Gebäude 2 LxWxH 40mx25mx7,5m
A_e	**6727**	**4665**

Tabelle 5.1.1. Ergebnisse für Äquivalente Fangfläche für zwei Gebäude

Koeffizient C_e

Gemäß DIN V ENV 61024-1 VDE V 0185 Teil 100 beträgt
C_e =0,25 für Gebäude in einem Gebiet mit Gebäuden oder Bäumen gleicher oder größerer Höhe.

Damit ergibt sich die erwartete Anzahl der Direkteinschläge N_d in die Objekte Gebäude 1 und Gebäude 2 wie folgt

	Gebäude 1	**Gebäude 2**
N_d	$1,69 \bullet 6727 \bullet 0,25 \bullet 10^{-6} = 0,002842$	$1,69 \bullet 4665 \bullet 0,25 \bullet 10^{-6} = 0,001971$
Mittlere Anzahl der Jahre zwischen zwei zu erwartenden Blitzeinschlägen	**351 Jahre**	**507 Jahre**

Tabelle 5.1.2 Akzeptierte Einschlagshäufigkeit N_c in Gebäude 1 und 2

Die Zahl N_c ergibt sich aus DIN V ENV 61024-1 VDE V 0185 Teil 100 zu

$Nc = A \bullet B \bullet C$

$A = A_1 \bullet A_2 \bullet A_3 \bullet A_4$: Berücksichtigung der Gebäudekonstruktion

$B = B_1 \bullet B_2 \bullet B_3 \bullet B_4$: Berücksichtigung der Gebäudenutzung und Gebäudeinhalt

$C = C_1 \bullet C_2 \bullet C_3$: Berücksichtigung von Folgeschäden

Für die einzelnen Werte aus der Norm DIN V ENV 61024-1 VDE V 0185 Teil 100 werden folgende Werte ausgewählt:

A1: 0,1 Holzfachwerk
A2: 0,1 Dachkonstruktion aus Holz
A3: 0,05 Weichdächer
A4: 0,5 Nicht geerdete Metallteile
A= A1*A2*A3*A4 =0,000250

B1:1 Keine Panikgefahr
B2: 0,2 entflammbar
B3: 1 Es handelt sich um einfache Einrichtung
B4: 2 Feuermeldeeinrichtung
B = B1*B2*B3*B4 = 0,4

C1: 1 Keine Umweltgefährdung
C2: 0,1 Ausfall von wichtigen Versorgungsleistungen
C3: 1 Geringe Folgeschäden
C= C1*C2*C3 = 0,1

Damit ergibt sich

$$Nc = A \bullet B \bullet C = 0,00025 \bullet 0,4 \bullet 0,1 = 0,00001$$

Bestimmung der Wirksamkeit des Blitzschutzsystems E

	Gebäude 1	Gebäude 2
N_d	0,002842	0,001971
Nc	0,00001	0,00001
E	$E \geq 1 - \frac{Nc}{Nd} = 1 - \frac{0,00001}{0,002842} = 0,9964$	$E \geq 1 - \frac{Nc}{Nd} = 1 - \frac{0,00001}{0,001971} = 0,9949$

Tabelle 5.1.3 Zusammenfassung der Resultate der Blitzschutzklassenberechnung nach DIN V ENV 61024-1 VDE V 0185 Teil 100

Aus den Resultaten in Tabelle 5.1.3 folgt, dass Schutzklasse I mit zusätzlichen Maßnahmen erforderlich ist. Daraus ergibt sich auch der anzuwendende Radius R der Blitzkugel nach Tabelle 3 DIN V ENV 61024-1 VDE V 0185 Teil 100 mit R=20m. Dieses Ergebnis ist im wesentlichen durch die Faktoren A bestimmt, die wegen der Art des Gebäudes überwiegen. Auch bei einem Gebäude geringerer Höhe als 7,5 m oder kleinerer Fläche wird man stets bei der Blitzschutzklasse I bleiben.
Bild 5.1.1 zeigt die maßstäblich auf das Gebäude zurollende Blitzkugel mit R=20m. Die Blitzkugel berührt das Reet. Damit befinden sich die Bandstöcke und die Binddrähte offensichtlich nicht mehr im Schutzraum der Blitzschutzanlage.

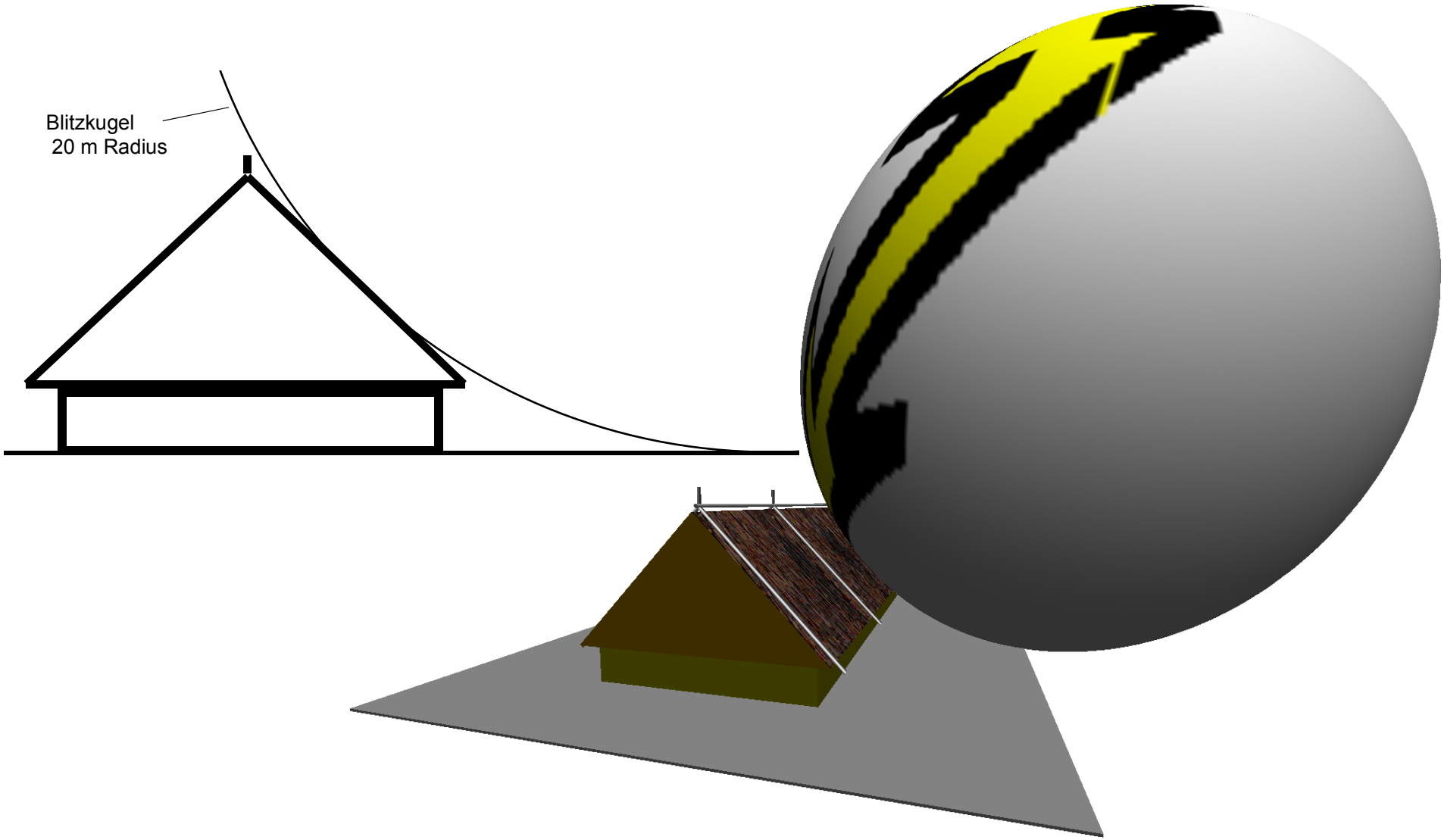

Bild 5.1.1 Anwendung der Blitzkugel mit 20 m Durchmesser auf das Rathaus von Worpswede gemäß Abmessungen von Bild 1.1 und 1.5. Darstellung 3 D in isometrisch ausgewählter Kameraposition.

5.2 Schadenszenarien

Bild 5.1 gibt eine Übersicht möglicher Wirkungen von Blitzen beim Einschlag in der Nähe des Gebäudes oder bei einem direkten Einschlag in die äußere Blitzschutzanlage. Aus Bild 5.1 ergibt sich unmittelbar die Erkenntnis, Bandstöcke und die Bindedrähte bzw. bei anderen Konstruktionen die metallischen Teile in den Schutzraum einzubringen oder wirksam stromtragfähig zu erden.

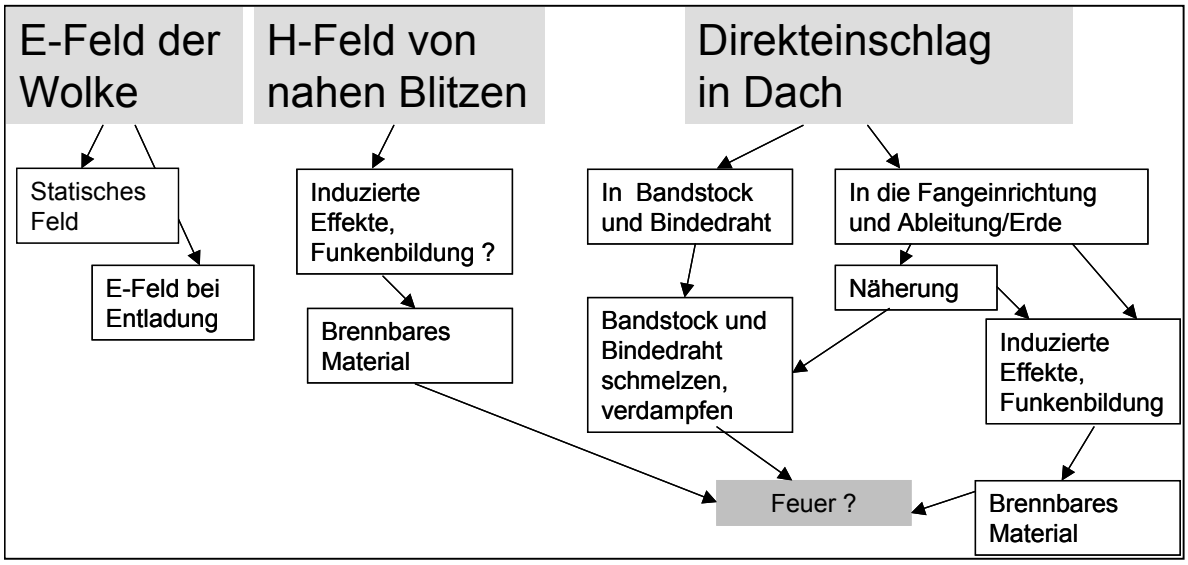

Bild 5.2.1 Übersicht der möglichen Schadensursachen.

5.3 Feldberechnung

Eine grundlegende Frage ist die Feldstärke einer auf freiem Potential befindlichen oder einer geerdeten metallischen Elektrode im Feld einer Blitzentladung. Dazu wurde eine Modellanordnung mit Hilfe eines numerischen Feldberechnungsprogramms untersucht. Dabei stellt sich heraus, dass eine im elektrischen Feld befindliche geerdete Elektrode eine höhere Feldstärke gegenüber einer auf freiem Potential befindlichen Elektrode aufweist. Eine Erdung von Anordnungen wie Bindedraht und Bandstock erscheint aus diesem Ergebnis nicht vorteilhaft.

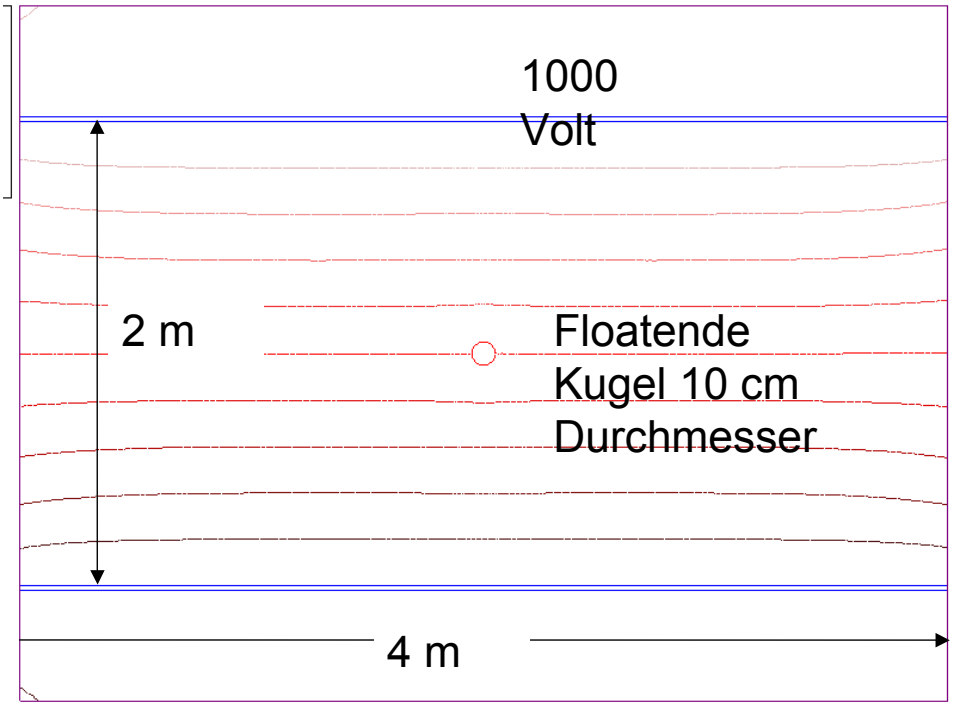

Bild 5.3.1 Floatende Kugel im homogenen Feld zweier Platten in 2 m Abstand

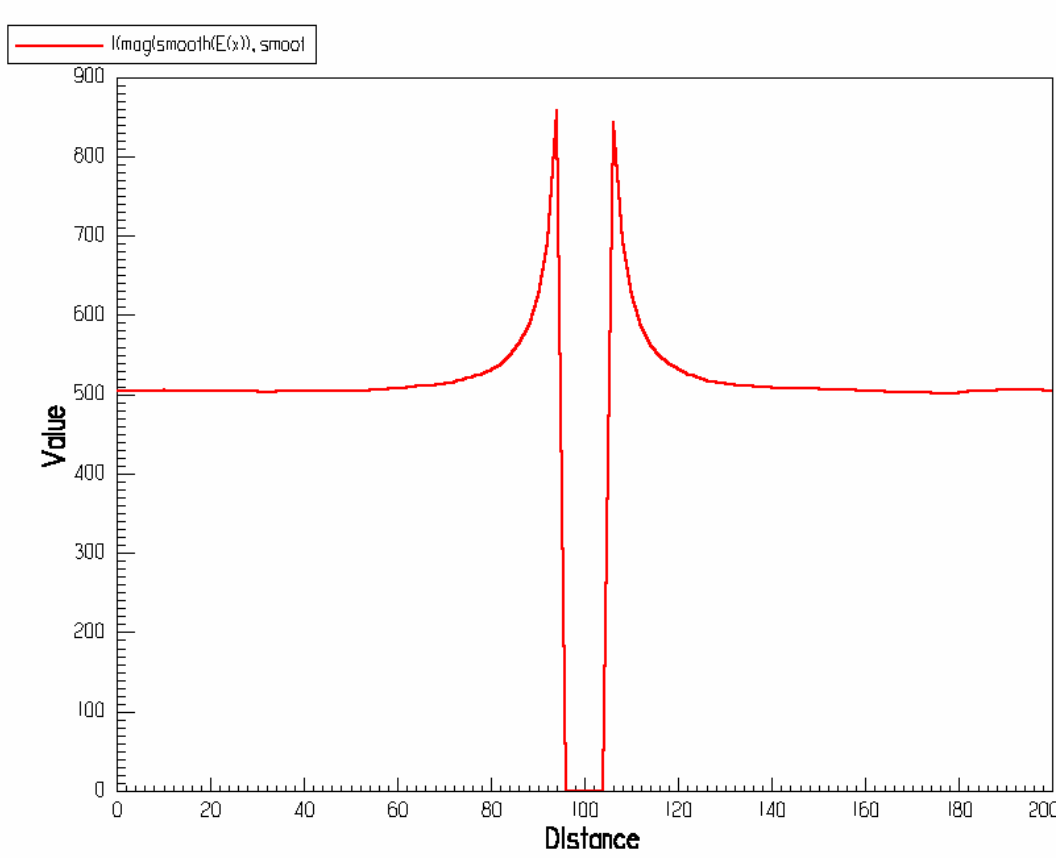

Bild 5.3.2 Feldstärke an floatender Kugel im homogenen Feld zweier Platten in 2 m Abstand. Feldstärke in V/m. Anliegende Spannung: 1 kV

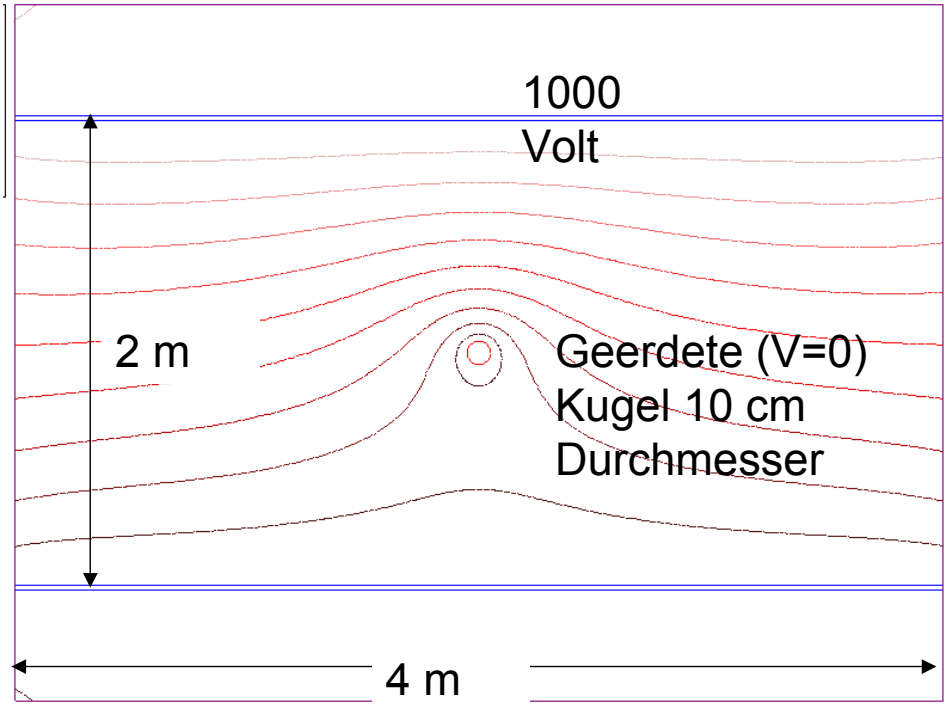

Bild 5.3.3 Kugel auf Erdpotential im homogenen Feld zweier Platten in 2 m Abstand

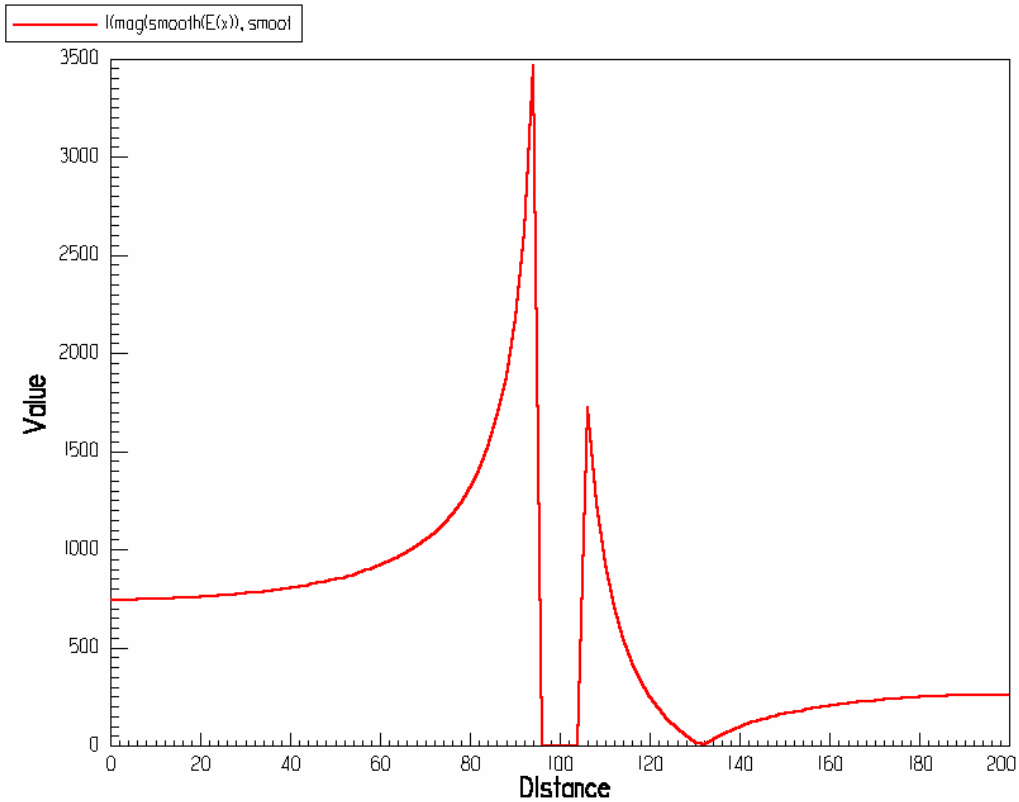

Bild 5.3.4 Feldstärke an geerdeter Kugel im homogenen Feld zweier Platten in 2 m Abstand. Feldstärke in V/m. Anliegende Spannung: 1 kV

6 Experimentelle Untersuchungen

6.1 Untersuchungen an einem Dachmuster aus einem 25 Jahre alten Gebäude

Ein aus einem 25 Jahre alten reetgedeckten Haus herausgesägtes Dachstück wurde für eine Untersuchung verwendet. Dieses Stück in Bild 6.1.1 zeigt starke Verwitterung, die Bandstöcke und Bindedrähte ragen an einigen Stellen heraus. Die Versuche sollten zeigen, ob es zu äußeren Entladungen kommt, wenn das Dachstück einem elektrischen Feld ausgesetzt wird. Dazu wurde das Dachstück gemäß Bild 6.1.2 unter einer metallischen Elektrode platziert, die an Schaltstoßspannung 250/2500 gelegt wurde. Mit einer Photokamera Leica M6 mit Linse Noctilux mit Lichtstärke 1 mit offenem Verschluß konnten die Entladungen fotografiert werden. Verwendeter Film: 3200 ASA S/W und 1600 ASA Farbfilm.

Bild 6.1.1 Teil eines reetgedeckten Daches

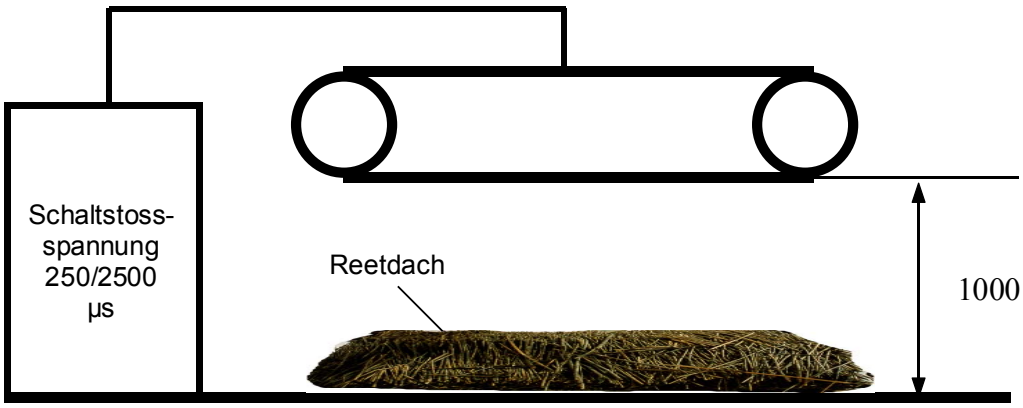

Bild 6.1.2 Anordnung zur Beobachtung von Entladungen am Dachstück.

6.1.1 Floatende Bandstöcke und Bindedrähte

Bei floatenden (nicht geerdeten) Bandstöcken und Bindedrähten kommt es erst mit dem Durchschlag zu sichtbaren Entladungen. Bei kleinerer Spannung als der 50% Durchschlag-Schaltstoßspannung waren keinen Entladungen zu beobachten. Bild 6.1.1.1 zeigt einen Einschlag in die aus dem Drahtstück herausragenden metallischen Teile.

Ergebnis :
Bei floatender Elektrode treten keine Vorentladungen bis zum Durchschlag auf.

Bild 6.1.1.1 Durchschlag bei floatenden Bandstöcken und Bindedrähten bei negativer Schaltstoßspannung mit einem Scheitelwert von 426 kV

6.1.2 Geerdete Bandstöcke und Bindedrähte

Im nächsten Versuch wurden die Bandstöcke und Bindedrähte allesamt geerdet und der Versuch wiederholt. Bei einer Schaltstoßspannung mit einem Scheitelwert von 356 kV wurde eine erste Teilentladung registriert, die in Bild 6.1.2.1 gezeigt ist. Bei einer Stoßspannung mit einem Scheitelwert von 368 kV erfolgte der Durchschlag.

Ergebnis :
Bei geerdeter Elektrode treten Vorentladungen nahe der Durchschlagspannung auf.

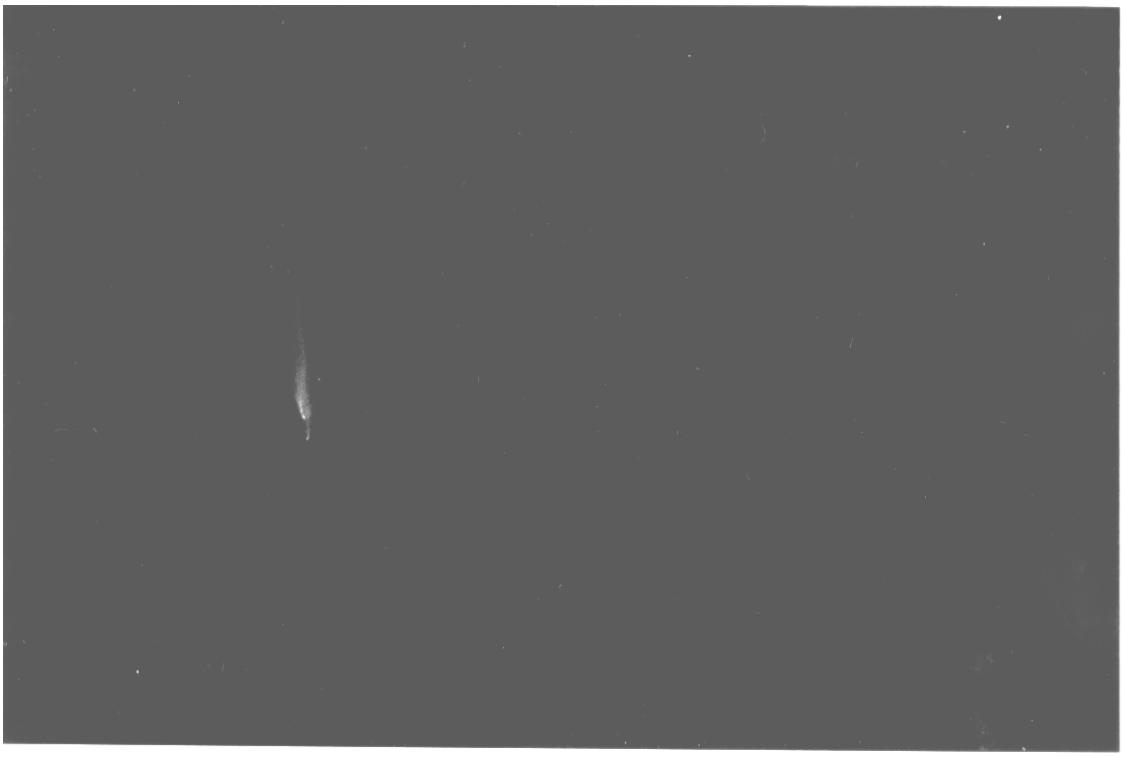

Bild 6.1.2.1 Teilentladung an einem metallischen Teil bei geerdeten Bandstöcken und Bindedrähten bei negativer Schaltstoßspannung mit einem Scheitelwert von 356 kV.

Bild 6.1.2.2 Durchschlag an einem metallischen Teil bei geerdeten Bandstöcken und Bindedrähten bei negativer Schaltstoßspannung mit einem Scheitelwert von 368 kV.

6.2 Untersuchungen an Modellanordnungen

Wegen der unübersichtlichen Geometrie des Dachstückes wurden systematische Untersuchungen an einer Modellanordnung durchgeführt. Es sollte geklärt werden, ob die Erdung oder die Anbindung an Potential einer sonst auf freiem Potential befindlichen Elektrode vorteilhaft ist.

6.2.1 Untersuchung an einem dünnen Draht im homogenen Feld

Bild 6.2.1.1 zeigt die Anordnung, bei der ein dünner Draht im homogenen Feld angeordnet wurde. Bild 6.2.1.2 zeigt die Anordnung im Labor.

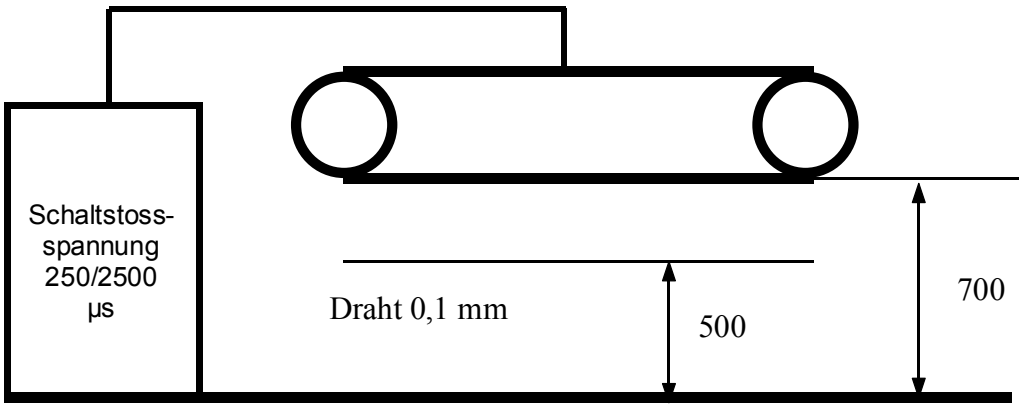

Bild 6.2.1.2 Anordnung zur Beobachtung von Entladungen an einem Draht

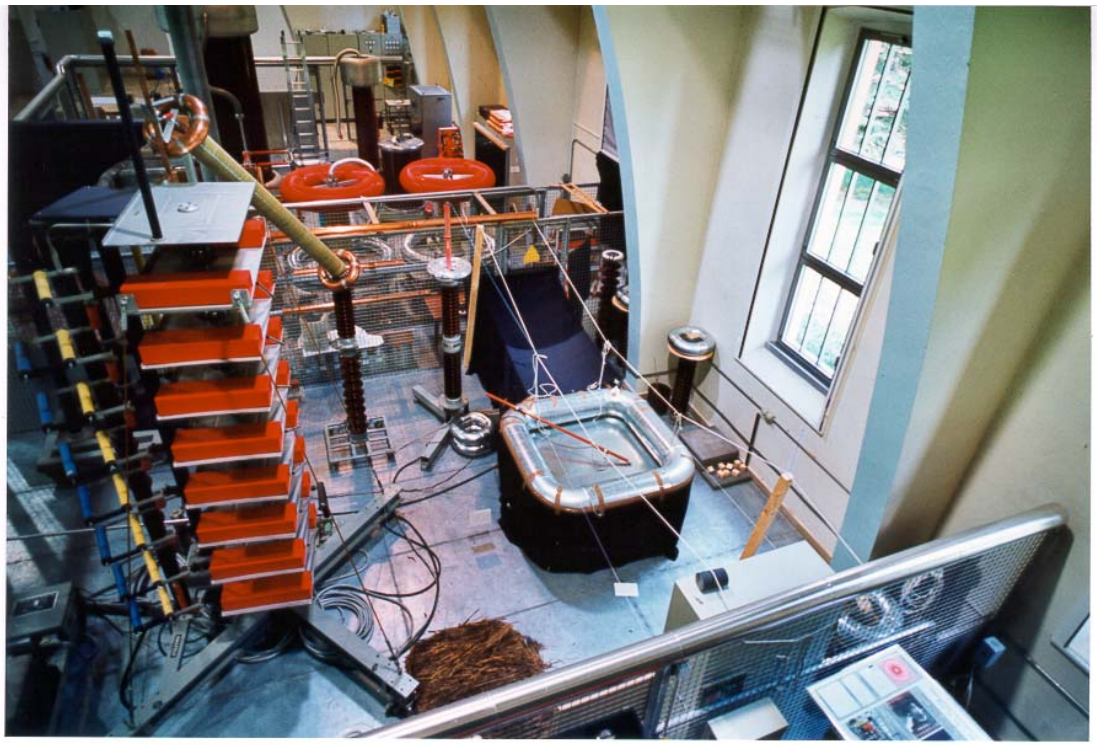

Bild 6.2.1.2 Anordnung nach Bild 6.2.1.1 im Labor.

6.2.1.1 Floatender Draht und positive Schaltstoßspannung

Es sind keine Teilentladungen zu beobachten. Bei U50= 404 kV erfolgt der Durchschlag am Rand der Anordnung. Einschläge in den Draht werden nicht beobachtet.

6.2.1.2 Geerdeter Draht und positive Schaltstoßspannung

Es waren keine Teilentladungen zu beobachten. Bei U50= 360 kV erfolgt der Durchschlag direkt in den in Draht.

6.2.1.3 Floatender Draht negative Schaltstoßspannung

Teilentladungen waren nicht zu beobachten. Der Durchschlag entwickelte sich unmittelbar ohne Teilentladungen.

6.2.1.4 Geerdeter Draht und negative Schaltstoßspannung

Hier treten gemäß Bild 6.2.1.4.1 ab 154 kV Teilentladungen am Draht auf.

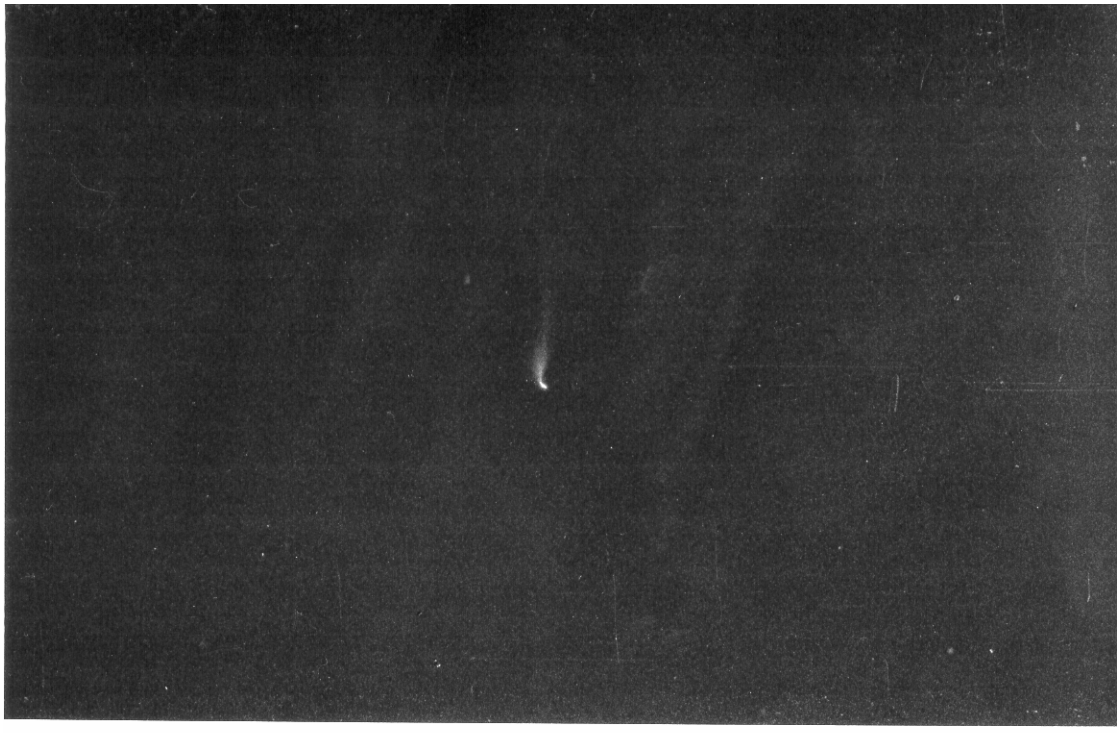

Bild 6.2.1.4.1 Teilentladung am geerdeten Draht bei negativer Schaltstoßspannung mit einem Scheitelwert von 154 kV.

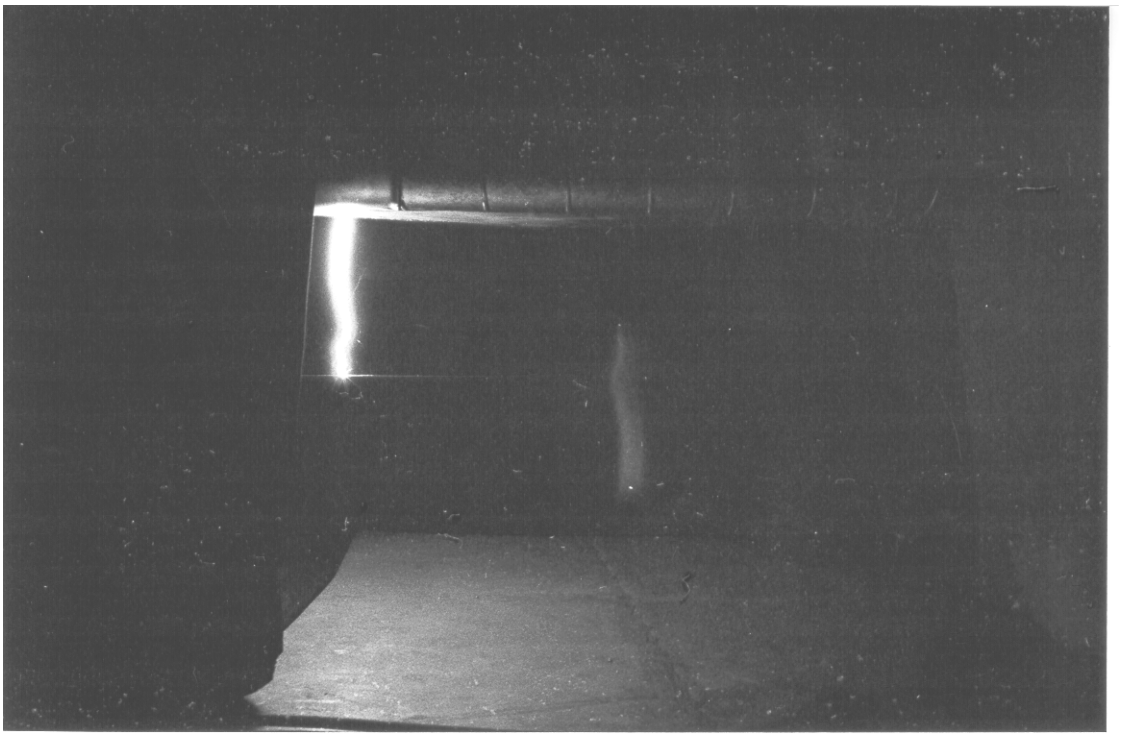

Bild 6.2.1.4.1 Durchschlag in den geerdeten Draht bei negativer Schaltstoßspannung mit einem Scheitelwert von 175 kV.

6.2.2 Untersuchungen an einem floatenden dünnen Draht im homogenen Feld mit Spitzenelektrode bei negativer Schaltstoßspannung

Die Untersuchungen in Abschnitt 6.1 haben gezeigt, dass bei floatendem Draht und negativer Polarität kein Durchschlag in den Draht erfolgte. Daher wurde versucht, durch eine an der plattenförmigen Elektrode angebrachte Spitze den Durchschlag zu erzwingen, siehe Bild 6.2.2.1

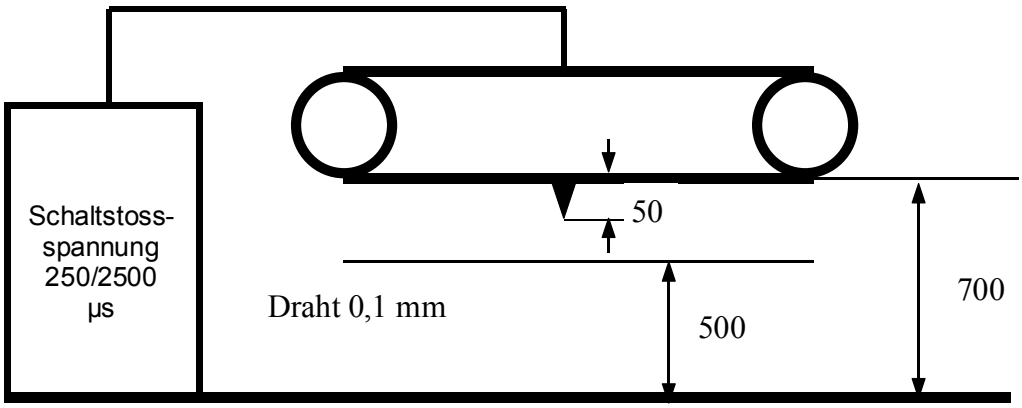

Bild 6.2.2.1 Floatender Draht im homogenen Feld mit Spitzenelektrode. Spitzenelektrode übertrieben groß dargestellt.

Vorentladungen traten auch bei dieser Anordnung nicht auf, der Durchschlag entwickelt sich unmittelbar ohne Vorentladungen, siehe Bild 6.2.2.2.

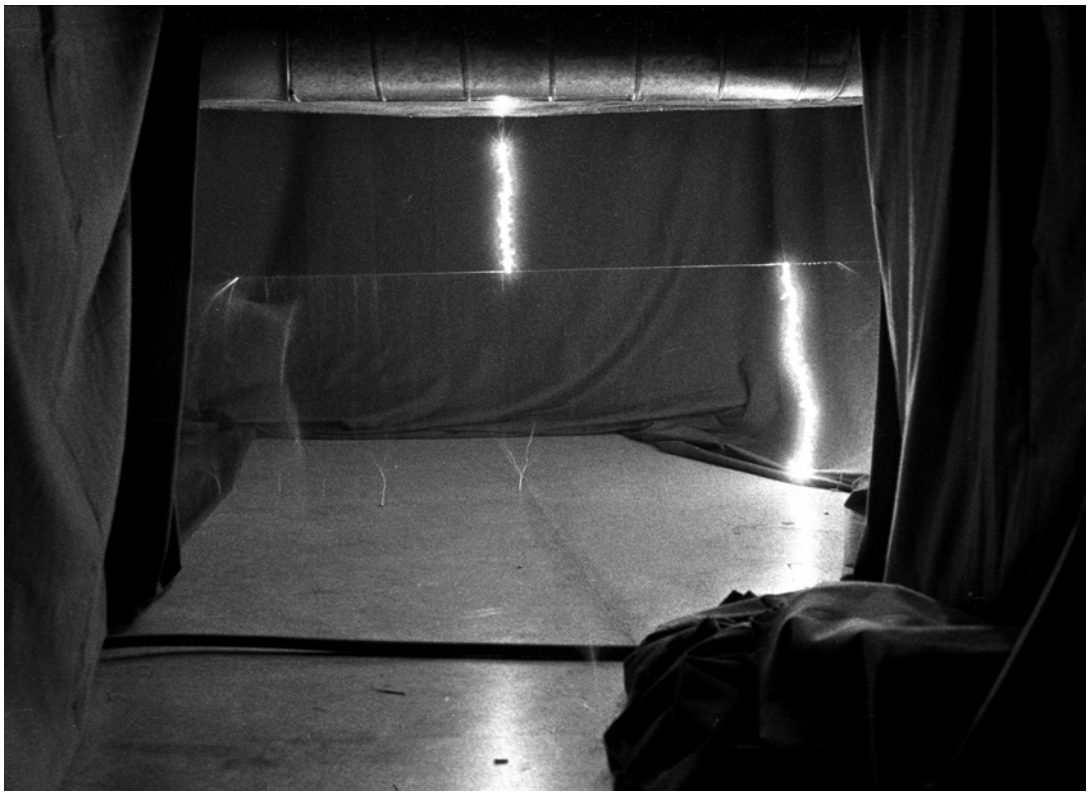

Bild 6.2.2.2 Durchschlag zum floatenden Draht nach Erde bei negativer Schaltstoßspannung mit einem Scheitelwert von 512 kV.

6.2.3 Untersuchungen an einem dünnen Draht im homogenen Feld bei Anbindung des Drahtes an die Hochspannungselektrode bei negativer Schaltstoßspannung.

Die untersuchte Anordnung entspricht der Anordnung nach Bild 6.2.3.1. Vorentladungen traten auch bei dieser Anordnung nicht auf, der Durchschlag entwickelt sich unmittelbar ohne Vorentladungen, siehe Bild 6.2.3.1.

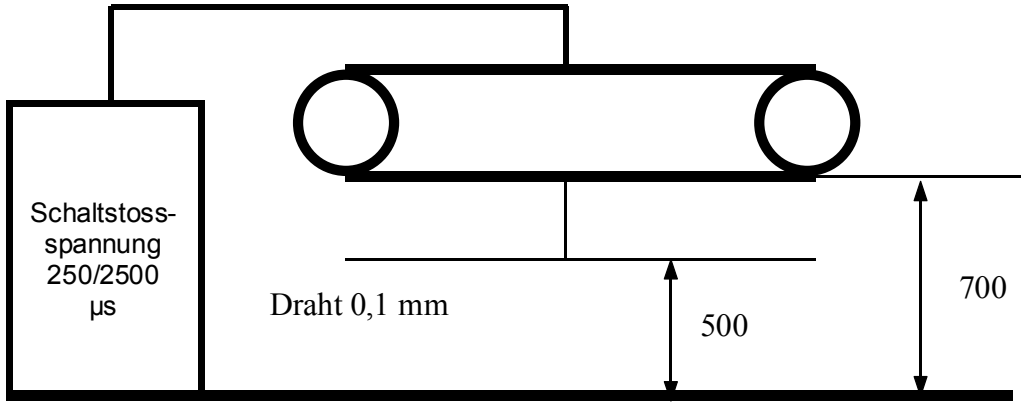

Bild 6.2.3.1 Anordnung mit einem an die Hochspannungselektrode angeschlossenen Draht.

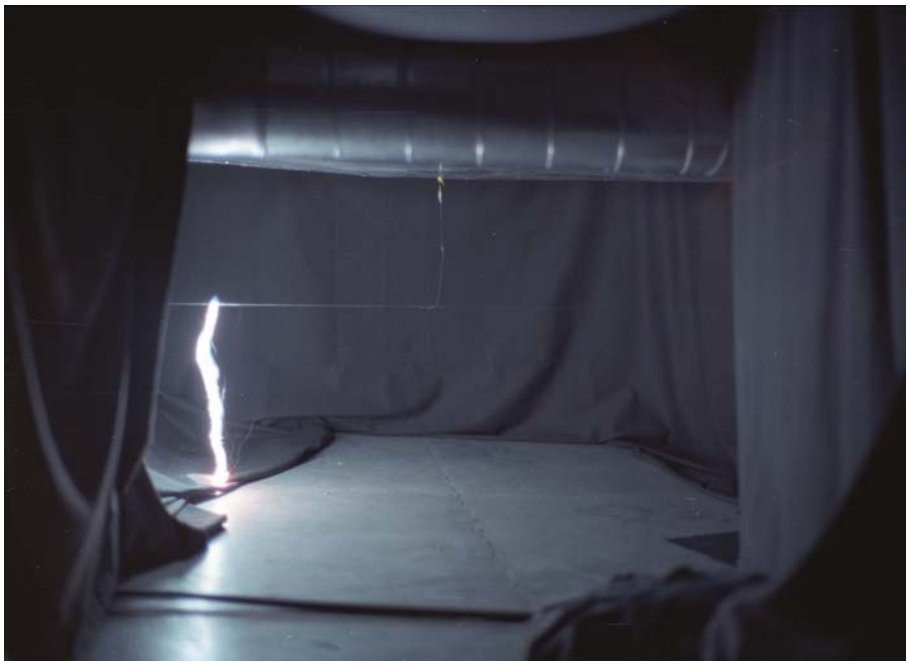

Bild 6.2.3.1 Draht an Hochspannungselektrode angebunden. Negative Schaltstoßspannung 520 kV

6.2.4 Untersuchungen im inhomogenen Feld zweier Stabelektroden

Bei einer Näherung kommen in der Praxis überwiegend inhomogene Anordnungen vor. Daher wurden Untersuchungen an einer Spitze-Spitze Anordnung (Draht mit 3 mm Durchmesser) durchgeführt. Bild 6.2.4.1 zeigt die Anordnung.

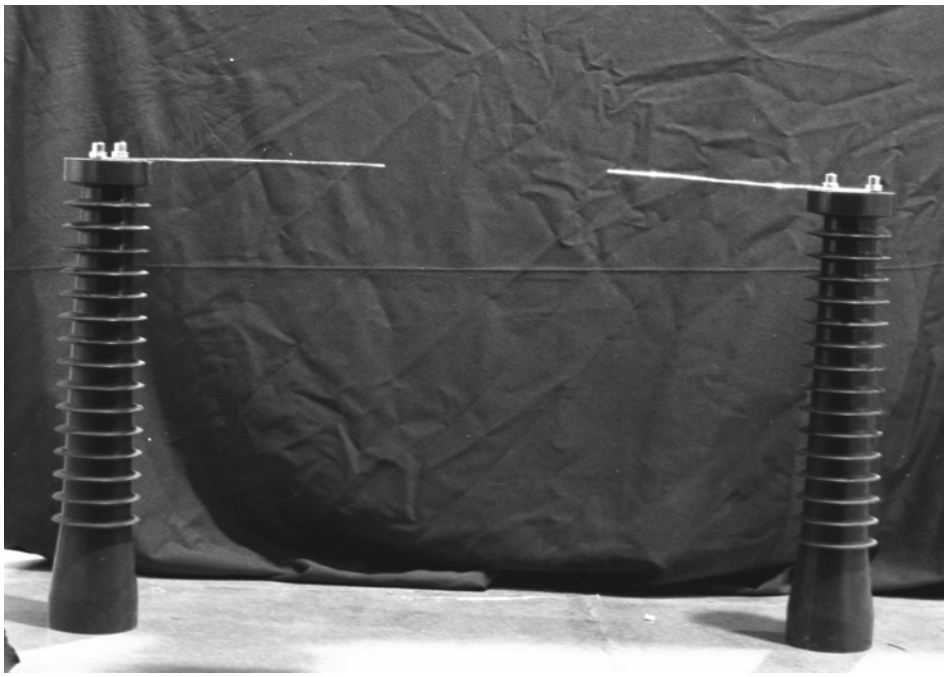

Bild 6.2.4.1 Anordnung zur Untersuchung von Näherungen im inhomogenen Feld Schlagweite 30 cm, Abstand der Isolatoren 100 cm, Höhe der Isolatoren 62 cm.

6.2.4.1 Floatende Elektrode bei negativer Schaltstoßspannung

Bild 6.2.4.1.1 zeigt die Anordnung. Bild 6.2.4.1.2 zeigt die Ergebnisse. Hier treten starke Vorentladungen auf, die bei weiterer Spannungssteigerung zum Durchschlag der Luftstrecke zur floatenden Elektrode führen.

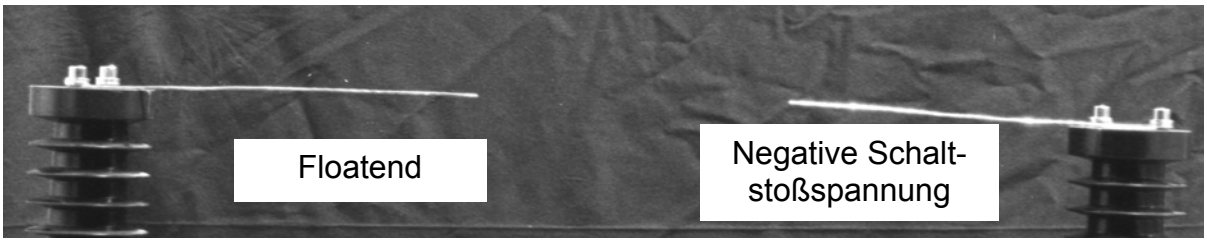

Bild 6.2.4.1.1 Anordnung.

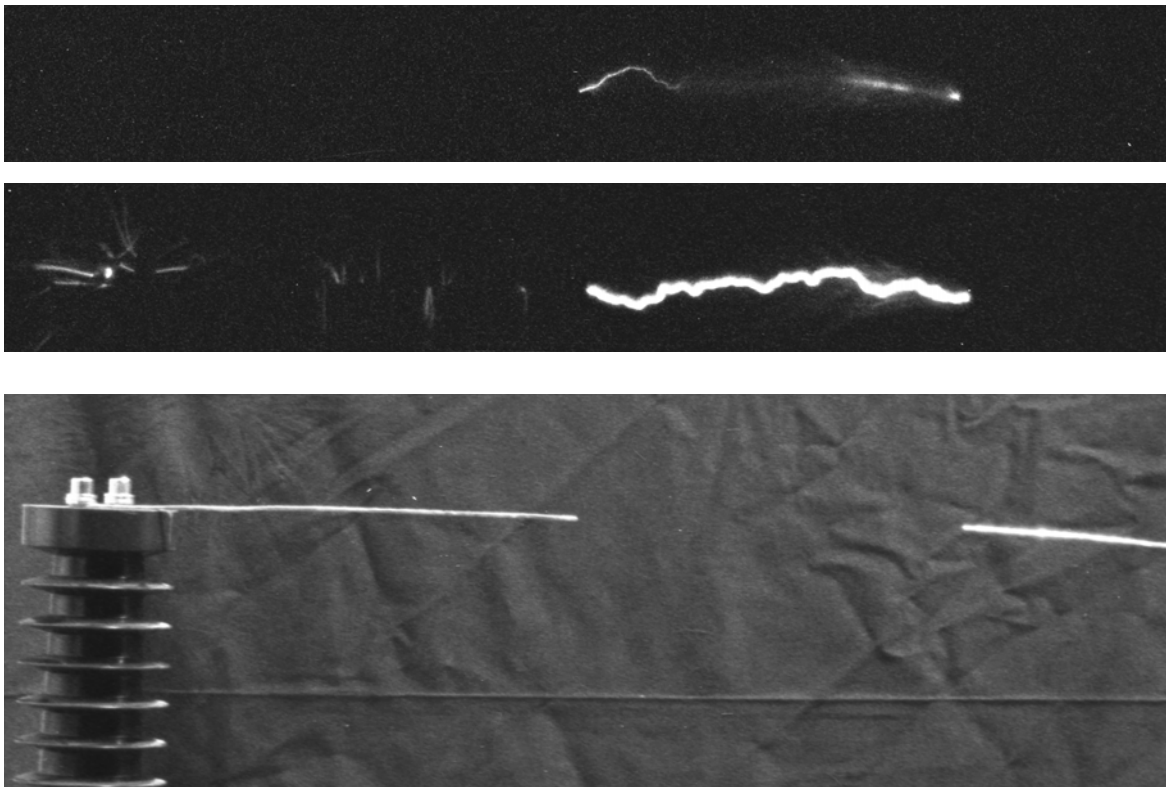

Bild 6.2.4.1.2 Ergebnisse der Messungen an der Anordnung nach Bild 6.2.4.1.1
Oben 387 kV, Mitte 428 kV, unten ist die Anordnung projiziert. Linke Elektrode floatend, rechte Elektrode an negativer Schaltstoßspannung.

6.2.4.2 Verbundene Elektrode bei negativer Schaltstoßspannung

Bild 6.2.4.2.1 zeigt die Anordnung, bei der beide Elektroden verbunden sind. Das bedeutet eine Beseitigung einer Näherung. Zu untersuchen war bei dieser Anordnung die Frage ob noch Teilentladungen auftreten. Bild 6.2.4.2.2 zeigt, dass hier keine Teilentladungen an der Stabelektrode auftreten; lediglich am Kopf des Isolators

treten kleine Entladungen auf, die vergrößert dargestellt sind. Der Durchschlag erfolgte bei 572 kV ohne Entladungen zwischen den Elektroden.

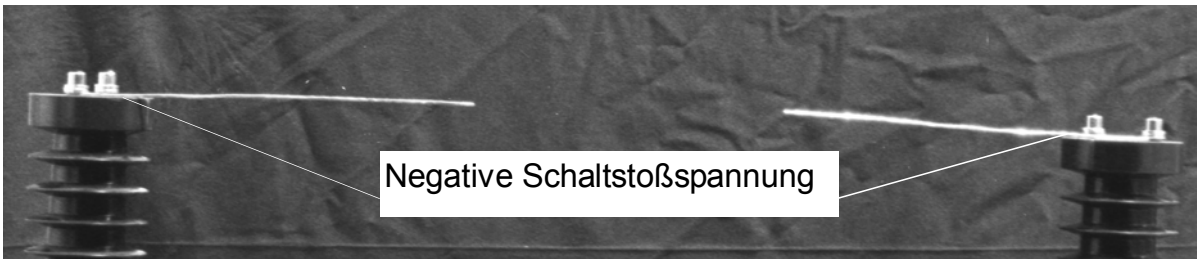

Bild 6.2.4.2.1 Anordnung mit Elektrodenanordnung , die beiderseits an negative Schaltstoßspannung gelegt war.

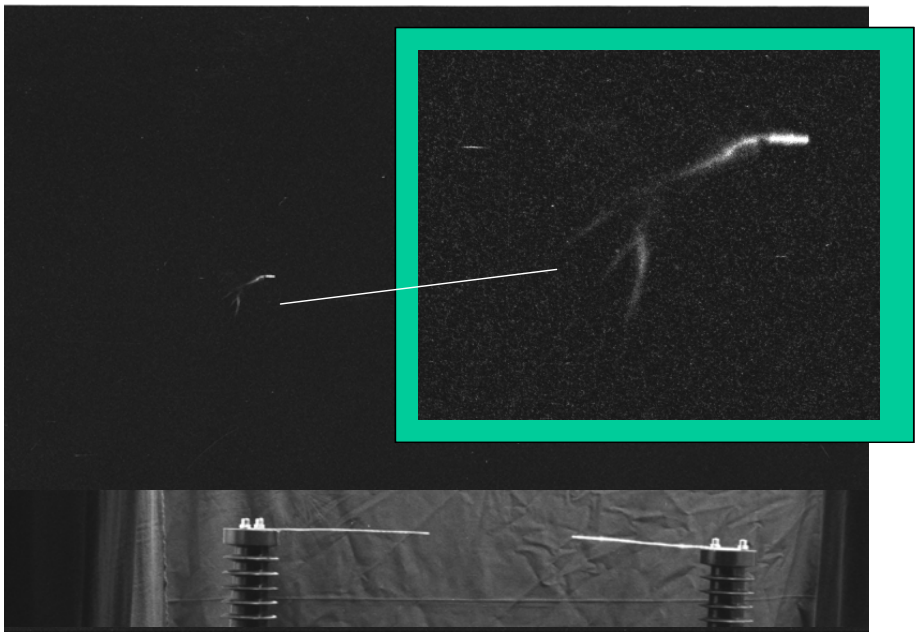

Bild 6.2.4.2.2 Ergebnisse der Messungen an der Anordnung nach Bild 6.2.4.2.2 Teilentladung bei 528 kV negativer Schaltstoßspannung. Position der Elektroden eingeblendet.

Bild 6.2.4.2.3 Durchschlag der Anordnung nach Bild 6.2.4.2.1 gegen Erde bei negativer Schaltstoßspannung 572 kV ohne Entladungen zwischen den Elektroden.

6.2.4.3 Floatende Elektrode bei positiver Schaltstoßspannung

Bild 6.2.4.3.1 zeigt die Anordnung mit floatender Elektrode. Die registrierten Teilentladungen zeigt Bild 6.2.4.3.2. Auch bei positiver Polarität kommt es an der spannungsführenden Elektrode ab 290 kV zu starken Teilentladungen. Auch an der floatenden Elektrode sind schwache Teilentladungen zu beobachten. Bei weiterer Spannungssteigerung kommt es zum Durchschlag der Schlagweite zwischen den Elektroden. Bild 6.2.4.3.2 zeigt einen Durchschlag der Elektrodenstrecke und gleichzeitig den Überschlag des Isolators zur Erde bei 316 kV.

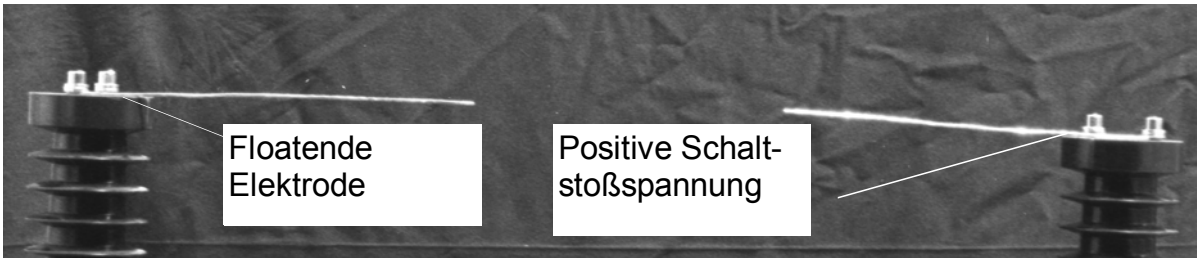

Bild 6.2.4.3.1 zeigt Anordnung mit floatender Elektrode

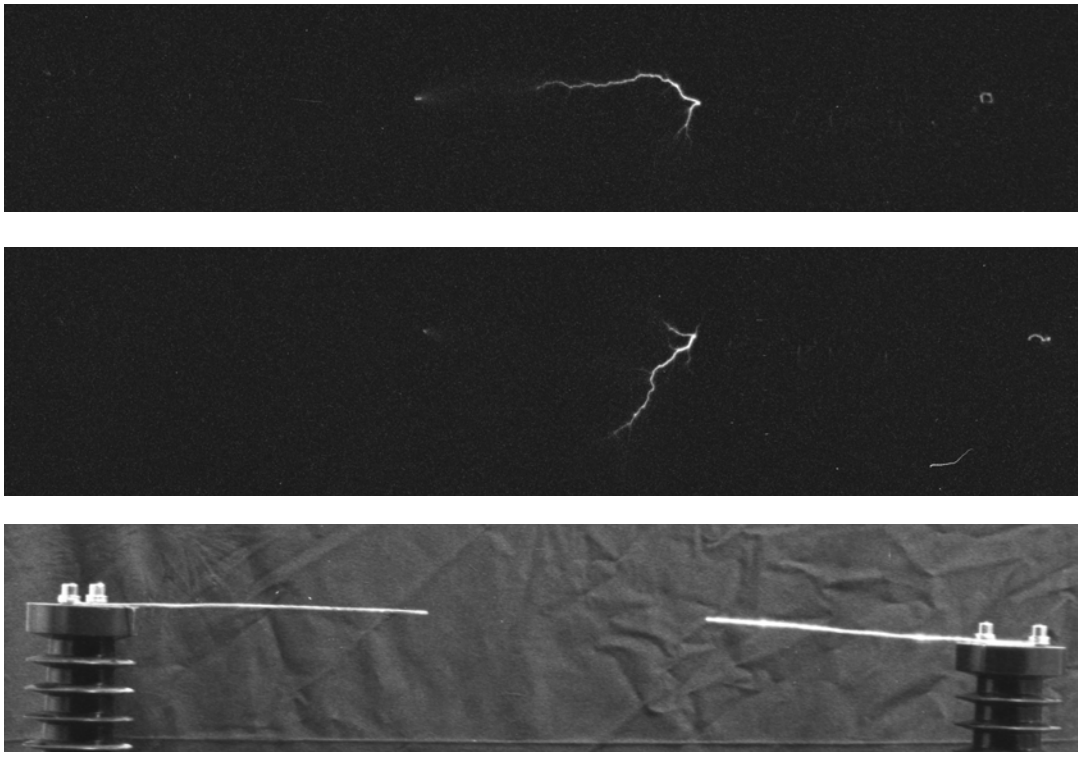

Bild 6.2.4.3.2 Ergebnisse der Messungen an der Anordnung nach Bild 6.2.4.3.1
Oben 310 kV, Mitte 290 kV, unten ist die Anordnung projiziert. Linke Elektrode floatend, rechte Elektrode an positiver Schaltstoßspannung

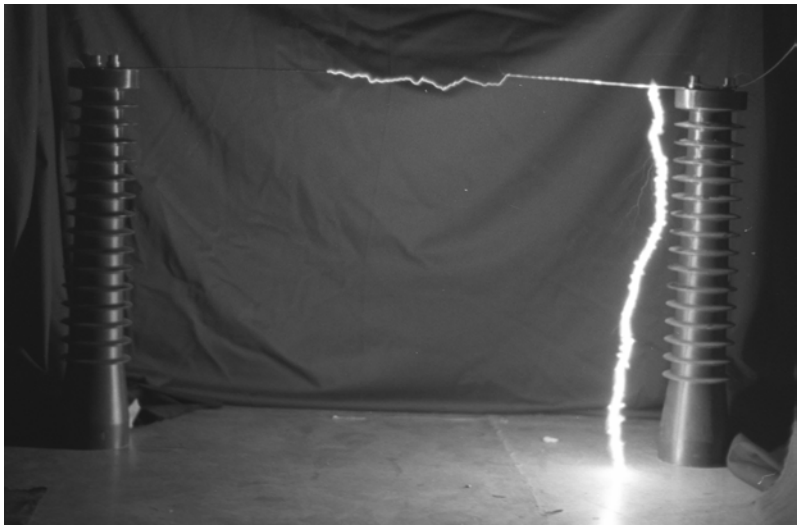

Bild 6.2.4.3.3 Durchschlag der Elektrodenstrecke und gleichzeitig Überschlag des Isolators zur Erde bei positiver Schaltstoßspannung 316 kV. Linke Elektrode floatend, rechte Elektrode an Spannung.

6.2.4.4 Verbundene Elektrode bei positiver Schaltstoßspannung

Bild 6.2.4.4.1 zeigt die Anordnung, bei der beide Elektroden verbunden sind. Das bedeutet eine Beseitigung einer Näherung. Zu untersuchen war bei dieser Anordnung die Frage ob noch Teilentladungen auftreten. Bild 6.2.4.4.2 zeigt, dass hier bei einer Spannung von 392 kV geringe Teilentladungen an der Stabelektrode auftreten.

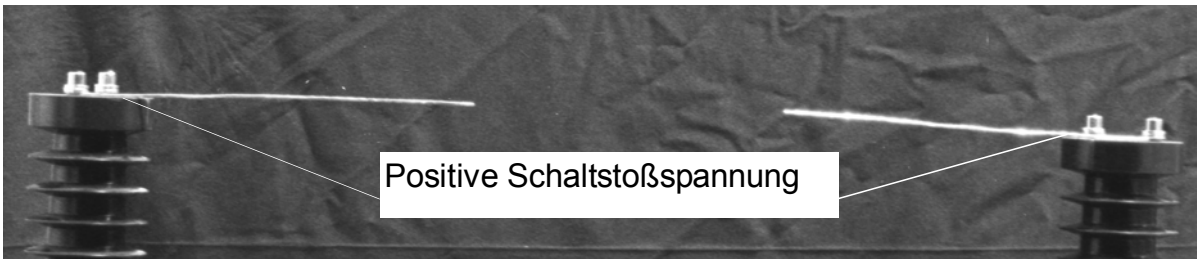

Bild 6.2.4.4.1 Anordnung mit beiden Elektroden an positiver Schaltstoßspannung

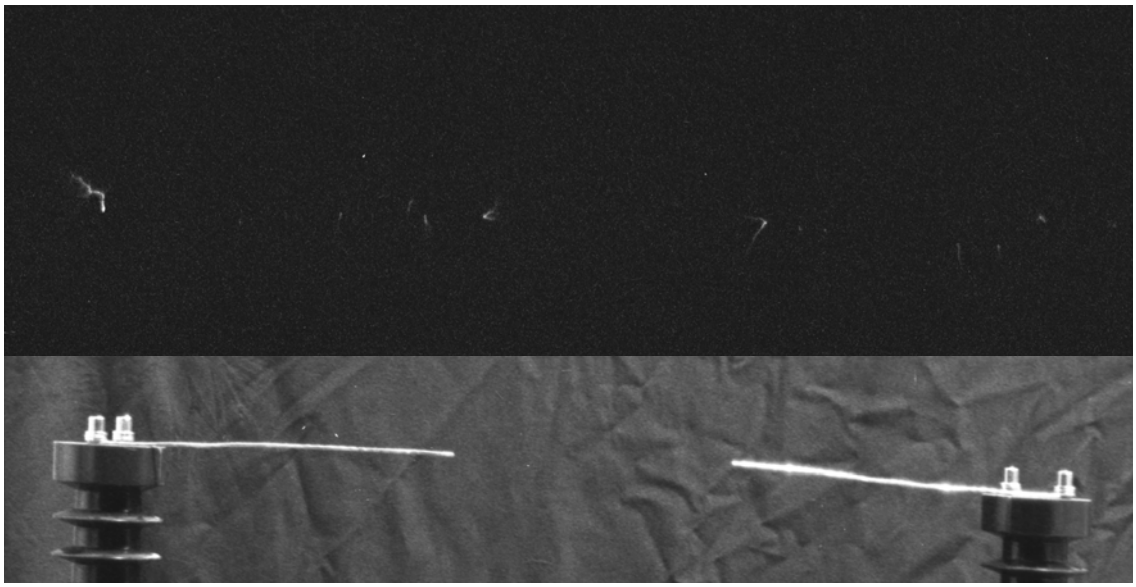

Bild 6.2.4.4.2 Ergebnisse der Messungen an der Anordnung nach Bild 6.2.4.2.1 Teilentladung bei 392 kV positiver Schaltstoßspannung. Position der Elektroden eingeblendet

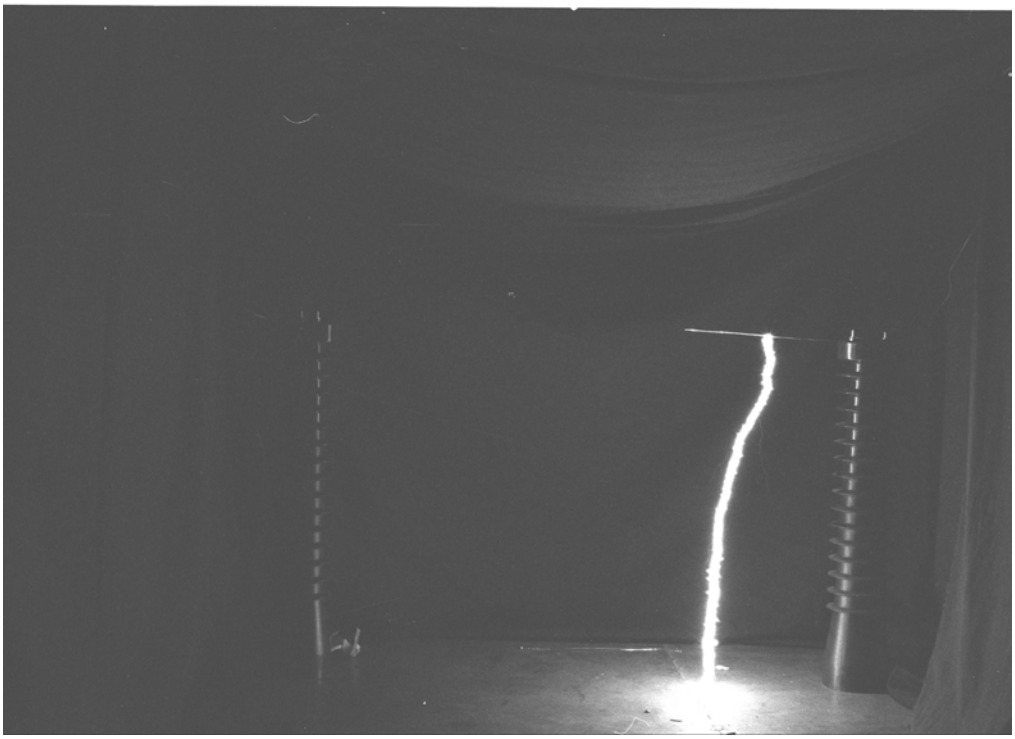

Bild 6.2.4.4.3 Überschlag des Isolators zur Erde bei positiver Schaltstoßspannung 395 kV. Beide Elektroden an positiver Schaltstoßspannung.

Zusammenfassung der Versuchsergebnisse.

Anordnung	Einsetzspannung der Teilentladungen	Polarität	Photo von Entladungen	Ud kV	Bemerkung
Modell ausgeschnitten aus dem Dach					
Floatende Bandstöcke und Bindedrähte	Keine Teilentladungen bis zum Durchschlag	Neg. Platte	Nicht registrierbar 3600 ASA	426	
Geerdete Bandstöcke und Bindedrähte	Vorentladungen bei 356 kV	Neg. Platte	Ja 3600 ASA	368	
Modellanordnung mit dünnem Draht im homogenen Feld					
Floatender Draht	Keine Teilentladungen bis zum Durchschlag	positiv	Nicht registrierbar 3600 ASA	404	
Geerdeter Draht	Keine Teilentladungen bis zum Durchschlag	positiv	Nicht registrierbar 3600 ASA	360	Durchschlag von der Hochspannungsführenden Elektrode nach Erde
Floatender Draht	Keine Teilentladungen bis zum Durchschlag	negativ	Nicht registrierbar 3600 ASA	587	
Geerdeter Draht	Teilentladungen am Draht bei 154 kV	negativ	Ja 3600 ASA	175	
Draht an Hochspannungselektrode angeschlossen	Keine Teilentladungen bis zum Durchschlag	negativ	Nicht registrierbar 1600 ASA	520	
Modellanordnung mit dünnem Draht und Spitze an der Hochspannungselektrode im homogenen Feld					
Floatender Draht	Keine Teilentladungen bis zum Durchschlag	negativ	Nicht registrierbar 3600 ASA	525	
Modellanordnung Stab-Stab-Anordnung					
Floatende Elektrode	Starke Teilentladungen ab 387 kV	negativ	Ja 1600 ASA	428	Durchschlag der Schlagweite zur floatenden Elektrode
Verbundene Elektrode	Teilentladungen bei 528 kV	negativ	Ja 1600 ASA	572	Überschlag Isolator
Floatende Elektrode	Starke Teilentladungen ab 290 kV	Positiv	Ja 1600 ASA	316	Durchschlag gleichzeitig über die Schlagweite und gegen Erde
Verbundene Elektrode	Teilentladungen bei 392	Positiv	Ja 1600 ASA	395	Überschlag Isolator

7 Schlussfolgerungen

7.1 Allgemeine Feststellungen aus den Untersuchungen

Bandstöcke und Bindedrähte sind in Übereinstimmung mit dem Prinzip des Blitzkugelverfahrens als **bevorzugte Einschlagsstellen** zu behandeln, auch wenn diese unter dem Reet verborgen liegen. Überall dort, wo die Blitzkugel das Reet berührt, kann der Blitz einschlagen und Feuer verursachen. Bandstöcke und Bindedrähte müssen also im Schutzraum der Blitzschutzanlage liegen. Ist das nicht möglich, müssen alle bevorzugten Einschlagsstellen selber blitzstromtragfähig sein und werden damit ein Teil der äußeren Blitzschutzanlage. Befinden sich z.B. bei einer bereits fertiggestellten älteren baulichen Anlage die Bandstöcke und Bindedrähte nicht im Schutzraum der Blitzschutzanlage, ist es jedoch ein Nachteil, einzelne oder gar alle Bandstöcke und/oder Bindedrähte nachträglich zu erden oder zur Vermeidung von Näherungen mit leitenden Teilen zu verbinden, da hierdurch die Bildung von Teilentladungen besonders begünstigt und der Startpunkt für die Fangentladung festgelegt werden kann. Befinden sich die Bandstöcke und Bindedrähte im Schutzraum der Blitzschutzanlage, ist es überflüssig, diese zu erden, es sei denn, es liegen Gründe vor wie in Abschnitt 7.2 beschrieben.

Im vorliegenden Fall des Rathauses von Worpswede erfüllt die installierte Anlage nicht die Anforderungen, die sich aus der Blitzkugel mit 20 m Radius ergeben. Weitere Querverbindungen müssten errichtet werden, damit eine 20 m Kugel das Reet nicht berührt.

7.2 Näherungen

Der altbekannte Begriff Näherungen wurde in der Norm /7.1/ durch den Begriff ***Trennung von Leitern des äußeren Blitzschutzes*** ersetzt sowie der ***Trennungsabstand*** und der ***Sicherheitsabstand*** eingeführt. Alle Bemerkungen in der Norm betreffend Trennung von Leitern des äußeren Blitzschutzes beziehen sich auf die Trennung von leitenden Teilen gegenüber blitzstromdurchflossenen Leitern bzw. Leitern des äußeren Blitzschutzes. Es ist jedoch kein Hinweis auf solche Näherungen zu finden, die z.B. durch elektrische Leitungen entstehen, die nicht blitzstromdurchflossen sind und einem metallischen Gegenstand gegenüberstehen. Gleichwohl nehmen diese elektrischen Leitungen durch ihre Verbindung des Schutzleiters mit der Potentialausgleichsschiene im Falle eines Blitzeinschlages das Potential der Potentialausgleichsschiene an. Damit bildet sich eine Näherung zwischen nicht blitzstromdurchflossenen Leitern und metallischen Teilen aus, die im vorliegenden Fall von Reetdächern bedeutend ist.

Näherungen von blitzstromdurchflossenen Leitern und nicht blitzstromdurchflossenen Leitern zu Bindedrähten und Bandstöcken sollten, wo möglich, immer vermieden werden.
Sind unvermeidliche Näherungen von Bandstöcken oder Bindedrähten zu nicht blitzstromdurchflossenen metallischen Leitern gegeben, dürfen diese unter Beachtung der **folgenden Bedingung** durch eine leitende Verbindung, z.B. zwischen dem metallischen Leiter (Kabel, Rohr, Heizkörper, Lampe, Sensor, etc) und dem in der Nähe

befindlichen Bindedraht, entschärft werden, so dass bei einem Blitzeinschlag hier keine gefährlichen Überschläge mehr auftreten.

Bedingung : Der verbundene Bindedraht muß in dem Schutzraum einer Fangeinrichtung liegen, und der Abstand zu einem benachbarten Bindedraht muss ausreichend groß sein. Die letzte Forderung wird schwierig zu erfüllen sein, da die Position der Bandstöcke im Reet liegt und nicht mehr zugänglich ist. Bindedrähte sind jedoch meist sichtbar auf dem Dachbodenbereich zu erkennen.

Ob einzelne Teilentladungen, die nicht zu einer Fangentladung werden, ein Feuer verursachen können, ist Gegenstand weiterer Untersuchungen.

Aus den Ergebnissen folgt, dass es bekanntermaßen einen außerordentlichen hohen Aufwand erfordert, ein Gebäude mit einem reetgedeckten Dach zu 100 % sicher zu schützen. Abstände der Ableitungen, die sich aus der Anwendung der Blitzkugel nach der Blitzschutzklassenberechnung ergeben, werden relativ klein und erfordern auch Querverbindungen über die Dachflächen hinweg, damit die Blitzkugel nur die Ableitungen berührt. Dem ästhetischen Nachteil steht dann der Vorteil der sicheren und wirksamen Blitzschutzanlage gegenüber.

8 Quellenangaben

/1.1/ www.worpswede.de
/1.2/ Reißen,R., Thormählen,R.: Untersuchungen zu Blitzschutzmaßnahmen an modernen Reetdächern. VDB (Verband Deutscher Blitzschutzfirmen e.V.) Forum 2000 Köln,Tagungsband
/2.1/ ABB Blitzschutz 8. Auflage
/2.2/VDE Schriftenreihe 44 , VDE Verlag Offenbach GmbH
/2.3/ Blitzschutzanlagen 1 Äußerer Blitzschutz VDE Verlag Beuth 1991
/3.1/ Finke,T, Schunk,E. Jenisch,R. Oster,H.J.: Dachatlas . Informationsdienst für Neuzeitliches Bauen e.V. Bonn. Verlagsgesellschaft Rudolf Müller , Köln 1996.
/7.1/ DINV ENV 61024-1 VDE V 0185 Teil 100 Blitzschutz baulicher Anlagen.

Dieses Projekt wird vom VDE/ABB gefördert.