

# Blitzeinwirkungen auf Metaldächer

Prof. Dr.-Ing. Jan Meppelink, FH-SWF Soest, Meppelink@t-online.de

Michael Benzin, BET Blitzschutz und EMV-Technologiezentrum GmbH, Menden, Benzin.pt@bet-menden.de

## Kurzfassung

Bei einem Blitzeinschlag in ein Metaldach sind insbesondere die Perforation des Bleches und die Feuergefahr zu untersuchen. Nach dem Stand der Technik ist für das Durchschmelzen im Wesentlichen die Ladung des Langzeitstromes maßgebend [1]. Die Wahrscheinlichkeit von Langzeitströmen wird in diesem Beitrag quantifiziert. Aus Normativer Sicht ist für die heute zunehmend verwendeten Bleche mit einer Beschichtung aus Kunststoff eine Ergänzung notwendig, damit die Errichter die notwendige Rechtssicherheit beim Abschluss von Verträgen für Ihre Gewerke finden.

## 1 Physikalische Vorgänge bei einem Blitzeinschlag in ein geerdetes Metaldach

### 1.1 Vorgänge am Einschlagpunkt

Tabelle 1.1 zeigt die Vorgänge. Nach dem Stand der Technik wird der Einschlagpunkt nach den in [1] beschriebenen Verfahren bestimmt. Die Wirkungen des Blitzstromes werden dann ausgehend vom Einschlagpunkt des Erstblitzes in [1] beschrieben. Die entsprechende Ausführung eines Blitzschutzsystems nach dem Stand der Technik ist in [2] beschrieben.

Tabelle 1.1: Wirkungen des Langzeitstroms am Einschlagsort

Physikalischer Effekt	Ingenieurmäßige Lösung
<b>Einschlag</b>	Bestimmung der Einschlagswahrscheinlichkeit nach [2]
<b>Wirkungen</b>	
<b>Perforation</b> wenn: $Q_{\text{lang}} > Q_{\text{grenz}}$	Untersuchungen TH Ilmenau [3]. Wie wahrscheinlich ist das Auftreten von $Q_{\text{grenz}}$ ?
Wenn Perforation erfolgt:	Feuerbeständigkeit nach [8] prüfen. Material der Brandschutzklasse B2 verwenden.
<b>Feuergefahr?</b> <b>Wasserschaden?</b>	Prüfung der Brennbarkeit bei Langzeitströmen im Labor.

Zu den in Tabelle 1.1 beschriebenen Effekten sind Forschungsarbeiten an der TH Ilmenau durchgeführt worden [3]. Dabei wurde die Wirkung des Lichtbogenfußpunktes von Gleichstromentladungen auf Metallbleche untersucht. Aus Versuchen wurden für verschiedene Bleche die Grenzkurven für die Festigkeit gegen Perforation als Funktion der Stromstärke und Einwirkdauer für Langzeitstrom-Lichtbögen ermittelt. Daraus lassen sich Grenzladungen für die Perforation als Funktion der Blechdicke in Bild 1.1 festlegen. Neuere Untersuchungen [12] berücksichtigen den Einfluss der Oberflächenbeschaffenheit der Bleche, sowie die Wirkung von Stoßströmen auf die Perforation.

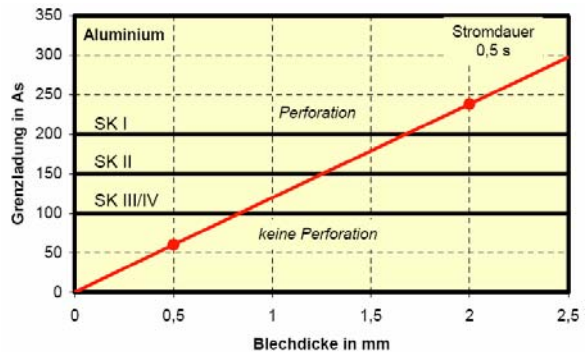


Bild 1.1: Grenzladung für die Perforation von Metallblechen nach [7] gültig nur für Langzeitstrom-Lichtbögen

### 1.1.1 Wahrscheinlichkeit einer Perforation durch einen Langzeitstrom allein.

Für eine Quantifizierung des Risikos einer Perforation muss die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten einer Grenzladung bekannt sein. Da in [1] keine explizite Darstellung der Wahrscheinlichkeit für die Langzeitladung aufgeführt ist, wurde diese aus den vorhandenen Daten der Gesamtladung und der Impulsladung nach [4,5] bestimmt und mit weiteren Datenquellen [6] verglichen. Bild 1.2 zeigt die nach dem Stand der Technik ermittelte Wahrscheinlichkeit für das Auftreten einer Langzeitladung. Somit

liegen die Parameter für eine Quantifizierung des Risikos für eine Perforation durch einen Langzeitstrom allein vor. So tritt z.B. für die nach Bild 1.1 zur Perforation eines 0,7 mm Aluminiumblechs erforderliche Langzeitladung von 85 As nach Bild 1.2 mit einer Wahrscheinlichkeit von 0,03 auf. Das bedeutet, dass von 33 Blitzeinschlägen ein Blitz diese Langzeitladung enthält.

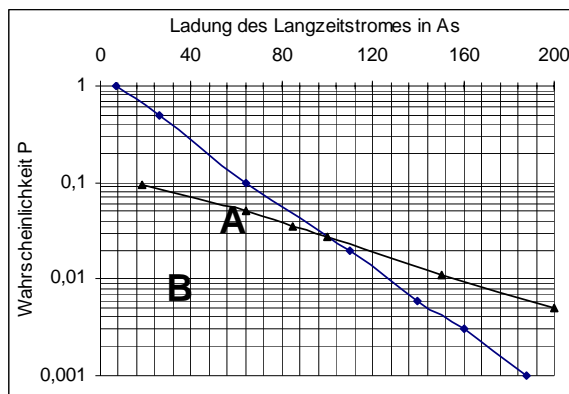


Bild 1.2: Stand der Technik: Wahrscheinlichkeit für das Auftreten der Langzeitladung innerhalb einer Blitzentladung.  
A: Daten nach [6]. B: Mit 10 % gewichtete Ladung<sup>1</sup> positiver Langzeitströme nach [1].

### 1.1.2 Feuergefahr

Bei einer Perforation wird Material unterhalb des Metaldaches durch die Lichtbogeneinwirkung erwärmt. Ob es dabei zu einem Brand kommt, hängt von der Brandschutzklasse des verwendeten Materials ab. Für einen Brand ist zunächst ein brennbarer Stoff die Voraussetzung. Die Zündenergie muss ausreichend und genügend Sauerstoffzufuhr vorhanden sein, damit ein Brand entstehen kann. Im Labor der FH-SWF wurden daher zahlreiche Versuche an Materialien durchgeführt. Wegen der geringen Einwirkungsdauer des Lichtbogens bei einer Langzeitstromentladung von 0,5 s ist die Zündenergie in den meisten Fällen der untersuchten Materialien zu gering. Auch die Nachwirkung von flüssigen Metallperlen und die Temperatur des geschmolzenen Randes des perforierten Bleches reichen nicht für einen dauerhaften Brand aus. In einigen Fällen werden kleine Flammen beobachtet, die nach einigen 10 s selbständig verlöschen. Experimentelle Untersuchungen zum Brandverhalten wurden unter den worst case Bedingungen durchgeführt, d.h. das zu

<sup>1</sup>Es ist bekannt, dass etwa 10 % aller Erdblitze positiv sind und 90 % aller Blitze negativ. Daher kann die einzelne und nur für positive Blitze angegebene Häufigkeit mit 10% in die gesamte Wahrscheinlichkeit für alle Erdblitze einberechnet werden.  
Anmerkung: In [6] sind noch nicht die neueren Messungen von Berger [4] enthalten, daher Abweichungen zwischen A und B.

untersuchende Material wurde direkt einem künstlich an der Wanderung gehinderten Lichtbogen ausgesetzt. Bild 1.3 zeigt ein Beispiel der Brandprüfung an einem Dachmuster. Weitere Prüfungen von Materialien der Brandschutzklasse B2, z.B. direkte Lichtbogeneinwirkung auf Kiefernholz haben in den durchgeführten Versuchen keinen Brand gezeigt. Weitere Untersuchungen an der TU Ilmenau sind in [5] beschrieben.



Bild 1.3: Brandprüfung Dachmuster 0,65mm. Aluminium mit Zweischichteinbrennlackierung mit Bitumendachbahn Typ V13 auf 24 mm Holzschalung. 370 A, 255 As. Oben: Versuchsaufnahme mit offenem Verschluss. Mitte: Perforiertes Blech. Unten: Zustand nach der Prüfung.

## 1.2 Vorgänge in der Ableitung

Bei den Vorgängen der Ableitung des Blitzstromes nach Erde spielen eher die Effekte des Blitzstoßstromes als die Effekte des Langzeitstromes eine Rolle. Wegen der zeitlichen Änderung des Stoßstromes kommt es durch die induzierten Effekte zu einer komplexen Stromverteilung im Metalldach, der Fassade bzw. der an das Metalldach angeschlossenen Ableitungen. Aus elektromagnetischer Sicht ist das Metalldach daher insbesondere in Verbindung mit einer Metallfassade vorteilhaft was die Beherrschung der Näherung und der elektromagnetischen Verträglichkeit insgesamt betrifft. Tabelle 1.2 gibt eine Übersicht der Effekte.

Tabelle 1.2: Wirkungen bei der Ableitung des Stromes durch ein Metalldach/Metallfassade

Physikalischer Effekt	Ingenieurmäßige Lösung
Stromübergang an Blechen kann Funkenbildung und mechanische Belastung bewirken	Prüfung von beschichteten Blechen auf mechanische Beschädigung. Feuerbeständigkeit nach [8] prüfen. Material der Brand-schutzklasse B2 verwenden. Prüfung der Brennbarkeit bei Langzeitströmen im Labor.
Stromübergang von Blechen auf Ableitungen	Verwendung von geprüften Klemmen
Näherungen	Lassen sich besser beherrschen gegenüber konventionellen Anlagen. Nach Stand der Technik [2]
Stromverteilung im Metalldach	Günstiger Effekt, da die magnetische Feldstärke im Gebäude gegenüber einzelner Ableitungen sinkt. Die Abschirmwirkung ist vorteilhaft.

### 1.2.1 Stromverteilung und Näherungen

Pigler untersucht die Stromverteilung und Näherungen in seinem Beitrag [9]. Die Stromverteilung in einem Dachmuster zeigt beispielhaft Bild 1.4. Die galvanische und magnetische Kopplung bewirken einen Stromfluss an den Übergangsstellen der überlappenden Bleche. Ein Brand ist bei dieser Prüfung

nicht entstanden. Bild 1.4a zeigt ein Dachmuster ohne äußere Blitzschutzanlage. Bild 1.4b zeigt in einem Labormaßstab den Effekt einer zusätzlich zum Dachmuster angebrachten äußeren Blitzschutzanlage durch parallel geführte und kontaktierte Ableitungen. Auch dabei fließt ein Teil des Stromes über die Blechtafeln des Dachmusters.

Eine beispielhafte Modellierung der Anordnung in Bild 1.4b und Berechnung für einen eingespeisten Blitzstrom 10/350 mit 100 kA in Bild 1.4.d zeigen, dass im Anstieg des Stoßstromes der wesentliche Teil durch die Bleche des Dachmusters fließt, während im Rücken des Stoßstromes der wesentliche Teil durch die Ableitung fließt. Da die spezifische Energie jedoch proportional zum Stromquadratintegral auftritt, wird in den Blechen des Dachmusters mehr Energie umgesetzt, wie im Detail in Bild 1.4.d gezeigt ist.



Bild 1.4a: Prüfung eines Dachmusters mit 100kA 10/350 Stoßstrom, hier der dritte Stoß. Einspeisung Oben links. Auskopplung unten links und rechts.

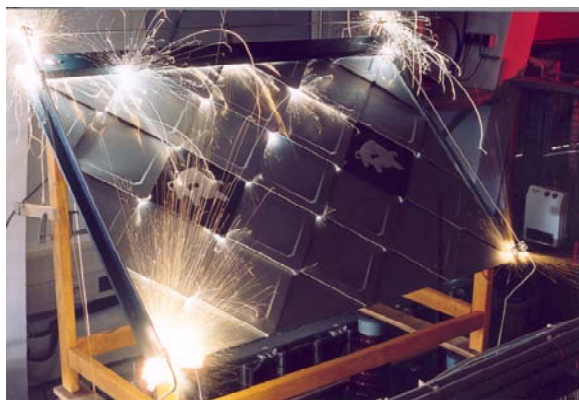


Bild 1.4b: Prüfung eines Dachmusters mit einer zusätzlichen Ableitungseinrichtung mit 100kA 10/350 Stoßstrom, hier der dritte Stoß. Einspeisung Oben Mitte. Auskopplung unten links und rechts. Die Klemmen sind hier direkt auf die beschichteten Bleche aufmontiert worden.

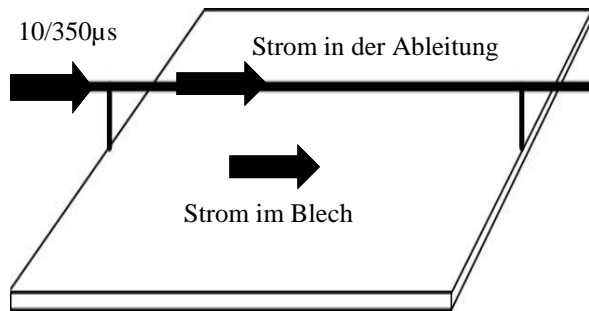


Bild 1.4.c: Idealisertes Modell zur beispielhaften Berechnung der Stromaufteilung bei Einspeisung eines Stoßstromes 10/350 in eine Metallplatte mit angeschlossener Ableitung. Abmessungen 5x5m, Blechstärke 0,7 mm Aluminium. Ableitung 5 cm über Blech, 8mm Aluminiumdraht.  
 Blech:  $Z=84\mu\text{Ohm}+j\omega 0,2\text{nH}$ . Gegeninduktivität  $M=3,9\mu\text{H}$ . Ableitung:  $Z=2,9\text{mOhm}+j\omega 500\text{nH}$ . [13].

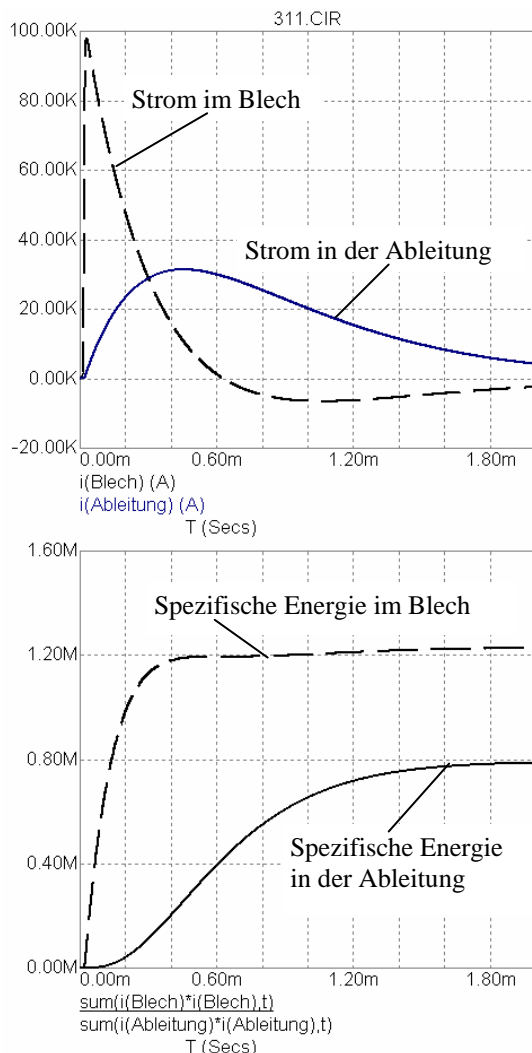


Bild 1.4d: Stromaufteilung und spezifische Energie für den Fall einer Stromeinspeisung von 100 kA 10/350 in das Modell nach Bild 1.4c. Hier wurde das Modell der kombinierten galvanischen und induktiven Kopplung zugrunde gelegt. Die Berechnung erfolgte mit Microcap8; (www.spectrum-soft.com).

## 1.2.2 Anschluss an die Erdung

Die Erdung eines Metalldaches / Metallfassade erfolgt nach dem Stand der Technik [2]

## 2 Neue Erkenntnisse

### 2.1 Vorgänge bei Folgeblitzen

Nach dem Stand der Technik [1] wird nur der Ersteinschlag für die Dimensionierung eines Blitzschutzsystems angesehen. Bei der Analyse der Effekte, die eine Perforation hervorrufen, ist zu beachten, dass der Langzeitstrom innerhalb einer Blitzentladung gegenüber dem Erstblitz zeitverzögert auftritt. Der Ersteinschlag hinterlässt dabei ein leitendes Restplasma, welches durch den Wind abdriften kann. Das Restplasma bietet den nachfolgenden Blitzentladungen den Weg, wie in Bild 2.1 beispielhaft gezeigt ist. Dabei können jedoch die Fußpunkte der Folgeblitze und der Langzeitentladung gegenüber dem Erstblitz versetzt sein. Hinweise auf diesen Effekt findet man bereits in der frühen Literatur aus dem Jahre 1888 [10] sowie in frühen Patentschriften [11].

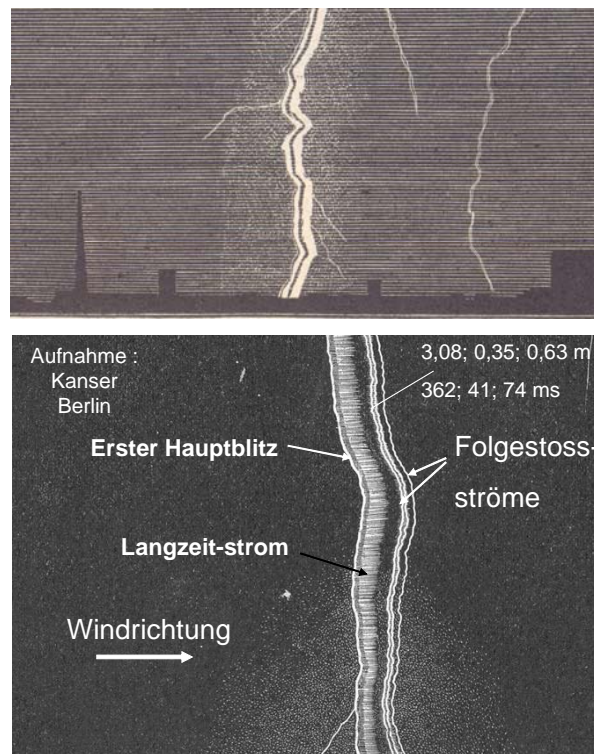


Bild 2.1: Aufnahme eines Erdblitzes mit Erstblitz, Langzeitstrom und Folgestoßströmen nach [10].  
 Bild oben: Teil der Gesamtaufnahme, Bild unten Ausschnittsvergrößerung nach [10].  
 Abstand zwischen dem ersten Hauptblitz und dem ersten Folgestoßstrom: 3,08m entsprechend 362 ms; zwischen dem ersten und zweiten Folgestoßstrom 0,35m entsprechend 41ms usw.

### 2.3 Perforation am Lichtbogenfußpunkt bei Stoßströmen

Nach dem Stand der Technik wird im Wesentlichen der Langzeitstrom für das Ausschmelzen herangezogen [1]. Daher stellte sich die Frage nach dem Verhalten von Blechen bei direkter Einwirkung eines Stoßstromes des Erstblitzes. Untersuchungen von Metallflächen mit offenen Lichtbögen, die durch einen Stoßstrom 10/350 erzeugt werden, zeigen unter Grenzbedingungen ebenfalls kleinere Perforationen. Bild 2.3 zeigt ein Beispiel. Bei diesen Versuchen wurde der Lichtbogen mit einem dünnen Zünddraht auf das Blech gebracht wobei der Zünddraht durch die Stoßstrombelastung schmilzt. Neuere Ergebnisse aus der Forschung sind in neueren Untersuchungen [12] beschrieben.



Bild 2.3a: Resultat eines Grenzversuchs mit 200 kA 10/350 an einem gebördelten beschichteten Blech mit einer Blechdicke von 0,7 mm im BET. Perforation: 2x4mm (Kal-Zip).



Bild 2.3b: Resultat eines Grenzversuchs mit 200 kA 10/350 an einem Dachmuster mit 200 kA 10/350. Einbrennfläche 12x7mm.

### 2.4 Perforation bei der Ableitung von Stoßströmen

Perforationen können auch bei der Ableitung des Stoßstromes im Bereich des Einschlagsortes entstehen. Bild 2.4 zeigt ein Beispiel einer Perforation durch einen abgeleiteten Stoßstrom.

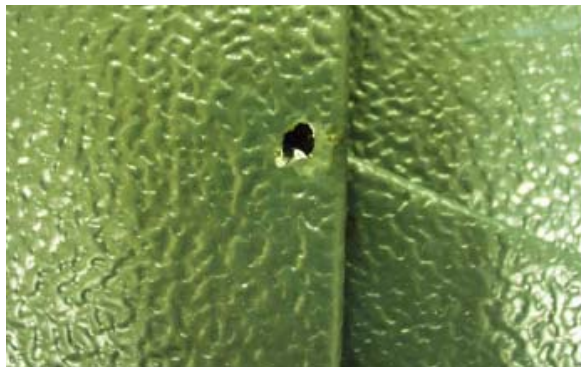


Bild 2.4: Zustand einer Dachkonstruktion (Prefa) nach 3 Stößen mit 100 kA 10/350. Perforation: 3 mm Durchmesser.

Den Einfluss einer parallel zu einem Dachelement verlegten Ableitung zeigt Bild 2.5. Der Einfluss der Ableitung ist gering, da durch die fortan bestehende galvanische und magnetische Kopplung der Stoßstrom trotz der Ableitung zu einem großen Teil durch das Blech fließt, vergl. Bild 4d.

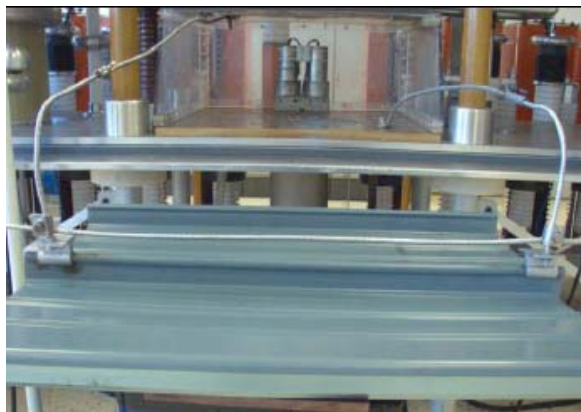


Bild 2.5a: Aufbau der Versuchsanordnung im BET.



Bild 2.5b: Ansicht des Bleches unterhalb der Klemme im obigen Bild nach 3 Stößen zu je 100 kA, 50As/2,5 MA<sup>2</sup>s; 10/350.

## 2.4 Vorgänge bei kombinierter Beanspruchung durch Langzeitströme und Impulsströme

Nach den letzten Erkenntnissen der TH-Ilmenau bewirken Stoßströme, die den Langzeitströmen überlagert sind oder diesen nachfolgen, mit ihren axialen Kräften eine deutliche Verstärkung der Perforation. Dazu wird in diesem Tagungsband gesondert berichtet [12].

## 3 Normative Entwicklungen

Ausgehend von der Norm [3] ist das Metalldach als natürliche Komponente für ein äußeres Blitzschutzsystem bereits beschrieben.

Wird auf eine Fangeinrichtung auf einem Metalldach verzichtet, besteht für alle ausgeführten Metalldächer die Gefahr, dass die Bleche durch den Blitzstrom-Lichtbogen am Einschlagspunkt perforiert werden.

Eine Lücke besteht in der geltenden Norm für die Bleche, die Beschichtet sind und durch Einhaken, Bördeln, Falzen, Pressen, Klemmen und andere Verbindungsarten zu einem Metalldach aufgebaut werden. Hier wird vorgeschlagen, eine Typenprüfung durchzuführen.

## 4 Ausgeführte Anlagen

Für Gebäude mit Metalldächern sind sowohl Blitzschutzsysteme mit und ohne zusätzliche Fangeinrichtung und Ableitungseinrichtung denkbar. Bei zusätzlichen Fangeinrichtungen ist jedoch auf eine ausreichende Höhe zu achten, da dann sichergestellt ist, dass Verwehungen eines Plasmakanals keine Perforation im Bereich zwischen zwei Fangstangen bewirken. Bild 4.1a,b zeigt als Beispiel ausgeführte Anlagen.



Bild 4.1 a: Metaldach der Mensa der Fachhochschule Südwestfalen. Das Metaldach ist ringsherum an 13 Stellen mit Ableitungen geerdet.

## 5 Literatur

- [1] DIN V VDE V 0185-1 Nov. 2002
- [2] DIN V VDE V 0185-3 Nov. 2002
- [3] Gonzalez,D, Noack,F.: Die Festigkeit von Blechen bei der Einwirkung von Blitzlangzeitstrom-Lichtbögen. 5.VDE/ABB-Blitzschutztagung No.2003 Neu Ulm.
- [4] Berger, K. Anderson, R.B.Kröniger, H. Parameters of lightning flashes. Electra No. 41 1975
- [5] Berger,: Aufsatz zur Feuergefahr bei Blitzstromlichtbögen. 6.VDE/ABB-Blitzschutztagung No.2005 Neu Ulm. VDE Fachbericht Nr.61.
- [6] N. Cianos, E. T. Pierce: A ground lightning environment for engineering usage. Technical report prepared for McDonnell Douglas Astronautic Company Huntington Beach, California 92647. SRI Project 1834.
- [7] Persönliche Mitteilungen von Jens Schönau, Ilmenau: Grenzladung für Aluminiumbleche in Abhängigkeit der Blechdicke nach Unterlagen der TU-Ilmenau.
- [8] DIN 4102: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen. Beth Verlag Berlin.
- [9] Pigler, F.: Stromverteilung bei einem Einschlag in ein Metaldach. 5.VDE/ABB-Blitzschutztagung No.2005 Neu Ulm
- [10] Dr. A.Ritter von Urbanitzka. Die Elektrizität des Himmels und der Erde. U. Hartlebens Verlag Wien 1888.
- [11] Hinderthür,F.: Blitzschutzanlage mit unter Dach verlegten Leitungen. Patentschrift 16.10.1913. Kaiserliches Patentamt Nr. 294614
- [12] Gonzalez,D, Noack,F.: Durchlöchern von Blechen beim Einwirken von Blitzstrom-Lichtbögen. 6.VDE/ABB-Blitzschutztagung No.2005 Neu Ulm. VDE Fachbericht Nr.61.
- [13] Lautz, G. Elektromagnetische Felder., Teubner Stuttgart 1969



Bild 4.1.b: Metaldach an einem öffentlichen Gebäude der Stadt Soest. Die Dachaufbauten sind mit Fangeinrichtungen versehen. Das Metaldach ist geerdet.