

Das dynamische elektro-geometrische Modell zur detaillierten Berechnung der Einschlagwahrscheinlichkeiten in Fangeinrichtungen – 3 Fallstudien

The dynamic electro-geometrical model for a detailed calculation of strike probabilities to air-terminations – 3 study cases

Prof. Dr.-Ing. Alexander Kern, FH Aachen, Campus Jülich, Deutschland, a.kern@fh-aachen.de

Kurzfassung

Das Blitzkugel-Verfahren ist das für die meisten Anwendungsfälle blitzphysikalisch korrekte, seit Jahrzehnten erprobte, weltweit anerkannte und z.B. in der DIN EN 62305-3 normativ verankerte Verfahren zur Planung der Fangeinrichtungen von Blitzschutzsystemen für bauliche Anlagen; es basiert auf dem elektro-geometrischen Modell (EGM). Für unterschiedliche Anforderungen an ein Blitzschutzsystem werden vier Blitzschutzklassen definiert, die sich im anzusetzenden Radius der Blitzkugel unterscheiden. Dieser beträgt zwischen 20 m und 60 m und ist ein fester Wert, der nur von der vorgegebenen Blitzschutzklasse abhängig ist.

Bei der Planung mit der Blitzkugel erhält man mögliche Blitzeinschlagpunkte, an denen Fangeinrichtungen zu platzieren sind. Allerdings ist darin keine Information enthalten, wie wahrscheinlich jeweils der Blitzeinschlag an den einzelnen Stellen ist; es ist also auch keine direkte Angabe einer Einschlagwahrscheinlichkeit für einzelne Stellen möglich.

Für detaillierte Risikoabschätzungen und weiterführende Studien kann dagegen die Angabe einer Einschlagwahrscheinlichkeit in einzelne Fangeinrichtungen oder ein Fangeinrichtungssystem benötigt werden. Dies ist mit Hilfe des dynamischen elektro-geometrischen Modells (DEGM) möglich. Dieses an der FH Aachen entwickelte Verfahren arbeitet im Gegensatz zum klassischen Blitzkugel-Verfahren nicht mit konstanten Radien. Vielmehr wird der Radius der Blitzkugel in einem numerischen Ansatz variiert.

Anhand von drei Fallstudien wird die Anwendung des DEGM vorgestellt. Die Ergebnisse werden im Detail diskutiert. Es ist bemerkenswert, dass die Einschlagwahrscheinlichkeiten in die streng normativ nach DIN EN 62305-3 geplanten Fangeinrichtungen wesentlich höher sind, als gemeinhin unterstellt.

Abstract

The rolling-sphere method is the basic planning procedure for air-terminations of common structures. It is perfectly based on the physics of lightning, it has impressively, worldwide and since decades shown its quality, and it is fixed in lightning standards, e.g. DIN EN 62305-3. It is based on the so-called electro-geometrical model (EGM). For different requirements for a lightning protection system (LPS) four classes of LPS are defined which differ regarding the rolling-sphere's radius. The radius is between 20 m and 60 m, it is a fixed value depending only on the used class of the LPS.

Planning with the rolling-sphere leads to possible point-of-strikes, where air-terminations have to be placed. However, no information is contained, how probable are lightning strikes at these individual different points. Hence, the EGM does not directly provide a value of an interception efficiency at the different point-of-strikes.

For detailed risk analysis and for continuing studies an interception probability of individual air-terminations or of an entire air-termination system may be required. This is possible with the dynamic electro-geometrical model (DEGM). Developed at the FH Aachen this method uses variable radii for the rolling-sphere which are varied in a numerical approach.

Based on three case studies the application of the DEGM is presented. The results are discussed in detail. Essentially, the interception efficiencies of the air-terminations being strongly planned according to DIN EN 62305-3 are clearly higher than usually expected.

1 Das dynamische elektro-geometrische Modell

Die Planung der Fangeinrichtungen von Blitzschutzsystemen für bauliche Anlagen kann nach DIN EN 62305-3 [1] nach drei grundsätzlichen Verfahren durchgeführt werden:

- Blitzkugel-Verfahren („elektro-geometrisches Modell“);

- daraus abgeleitet: Schutzwinkelverfahren;
- daraus abgeleitet: Maschenverfahren für ebene (Dach-) Flächen.

Das Blitzkugel-Verfahren ist dabei die grundsätzliche Planungsmethode. Sie ist seit vielen Jahren bekannt, erprobt und bewährt. Eine Beschreibung des Verfahrens enthält z.B. [2], Kapitel 8.

Für unterschiedliche Anforderungen an ein Blitzschutzsystem werden vier Gefährdungspegel [3] und darauf basierend vier Blitzschutzklassen (I – II – III- IV) definiert [1]. Sie unterscheiden sich hinsichtlich des

Blitzkugel-Verfahrens im anzusetzenden Radius der Blitzkugel; dieser beträgt je nach Blitzschutzklasse zwischen 20 m und 60 m. Der Radius der Blitzkugel ist also beim „klassischen“ Blitzkugel-Verfahren ein fester Wert, nur abhängig von der Blitzschutzklasse.

Mit dem Blitzkugel-Radius werden unterschiedliche, kleinste Scheitelwerte von natürlichen Blitzentladungen abgedeckt, d.h. kleinere Blitzkugel-Radien können grundsätzlich das zu schützende Gebäude neben den Fangeinrichtungen, die nach [1] geplant sind, berühren; es können also noch stromschwächere Blitze dort einschlagen.

Bei der Planung mit der Blitzkugel erhält man damit mögliche Blitzeinschlagpunkte, an denen Fangeinrichtungen zu platzieren sind. Allerdings ist darin keine Information enthalten, wie wahrscheinlich jeweils der Blitzeinschlag an den einzelnen Punkten ist. So sind beispielsweise bei einem einfachen, quaderförmigen Gebäude jedem potentiellen Einschlagpunkt auf den Dachkanten und insbesondere auf den Dachecken wesentlich mehr Mittelpunkt von Blitzkugeln zugeordnet als einem Einschlagpunkt auf dem flachen Dach (**Bilder 1 und 2**). Allerdings sind gemäß dem Blitzkugel-Verfahren sowohl das Dach, wie auch die Dachkanten und -ecken potentielle Einschlagpunkte, an denen Fangeinrichtungen erforderlich sind. Diese Festlegung erfolgt also ohne Würdigung der Tatsache, dass der Einschlag in eine Dachkante oder -ecke wesentlich wahrscheinlicher ist.

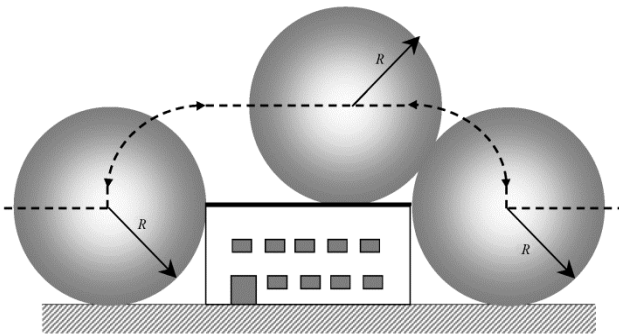


Bild 1 Mit Blitzkugel-Verfahren zu schützendes Gebäude (Blitzkugel mit Radius R) – Seitenansicht.

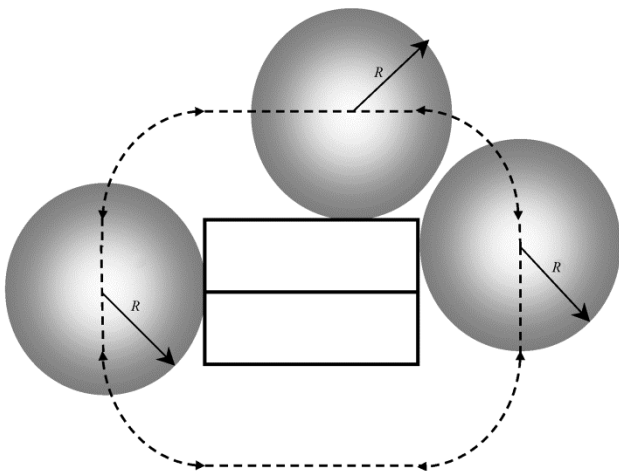


Bild 2 Mit Blitzkugel-Verfahren zu schützendes Gebäude (Blitzkugel mit Radius R) – Dachansicht.

Das „dynamische“ Verfahren arbeitet nun im Gegensatz zum klassischen Blitzkugel-Verfahren nicht mit konstanten Radien. Vielmehr wird hier der Radius der Blitzkugel (= Länge der Enddurchschlagstrecke) variiert, also dynamisiert. Dabei werden die folgenden, in den Blitzschutz-Normen enthaltenen, blitzphysikalischen Grundlagen und mathematischen Überlegungen verknüpft:

1. In [3], Anhang A, Bild A.5 sind die Summenhäufigkeitsverteilungen der Blitzstrom-Scheitelwerte natürlicher Blitzentladungen gegeben (**Bild 3**). Herangezogen werden hier die Verteilungen der Blitzstrom-Scheitelwerte für die negativen Erstblitze (Kurven 1A/1B - rot) und für die positiven Erstblitze (Kurve 3 - grün). Diese beiden Verteilungen werden gewichtet zu einer gemeinsamen Verteilung zusammengefasst, wobei gemäß [3] davon ausgegangen wird, dass 90% der natürlichen Blitzentladungen negative Polarität aufweisen und nur 10% positive Polarität. Aus diesen Verteilungen ergibt sich also die Wahrscheinlichkeit, dass ein natürlicher Erstblitz mindestens den zugeordneten Blitzstrom-Scheitelwert aufweist.
2. Gemäß dem elektro-geometrischen Modell kann jedem Blitzstrom-Scheitelwert mit (Gl. 1) eine Länge der Enddurchschlagstrecke zugewiesen werden, siehe [3], Anhang A, Gleichung A.1:

$$R/m = 10 \cdot \left(\frac{I}{kA} \right)^{0,65} \quad (\text{Gl. 1})$$

mit: R Länge der Enddurchschlagstrecke (= Radius der Blitzkugel) in m
 I Blitzstromscheitelwert in kA.

Aus den Summenhäufigkeitsverteilungen nach Bild 3 kann nun mit (Gl. 1) die Wahrscheinlichkeit für eine bestimmte Länge der Enddurchschlagstrecke und damit für einen Radius der Blitzkugel berechnet werden.

Bild 4 zeigt, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein bestimmter Radius der Blitzkugel durch den gegebenen Wert abgedeckt ist.

3. Die gesamte Oberfläche der zu schützenden baulichen Anlage einschließlich der Fangeinrichtungen des Blitzschutzsystems (z.B. Fangstangen) wird räumlich diskretisiert (Oberflächenpunkte). Der Raum oberhalb und seitlich neben der baulichen Anlage wird ebenfalls räumlich diskretisiert (Raumpunkte). Mit einfachen geometrischen Überlegungen wird nun zu jedem Raumpunkt der nächstgelegene Oberflächenpunkt ermittelt.
4. Die Entfernung zwischen einem Raumpunkt und einem Oberflächenpunkt entspricht der Länge der möglichen Enddurchschlagstrecke und damit dem Radius einer Blitzkugel. Für diesen Radius (bzw. dem zugehörigen Radius-Intervall entsprechend der räumlichen Diskretisierung) kann nun gemäß Punkt 1 und Punkt 2 ein Intervall des Blitzstrom-Scheitelwerts und damit ein Wahrscheinlichkeits-Wert für den Blitzeinschlag zugeordnet werden. Dieser Wahrscheinlichkeits-Wert wird dem gemäß Punkt 3 ermittelten, nächstgelegenen Oberflächenpunkt zugeordnet.

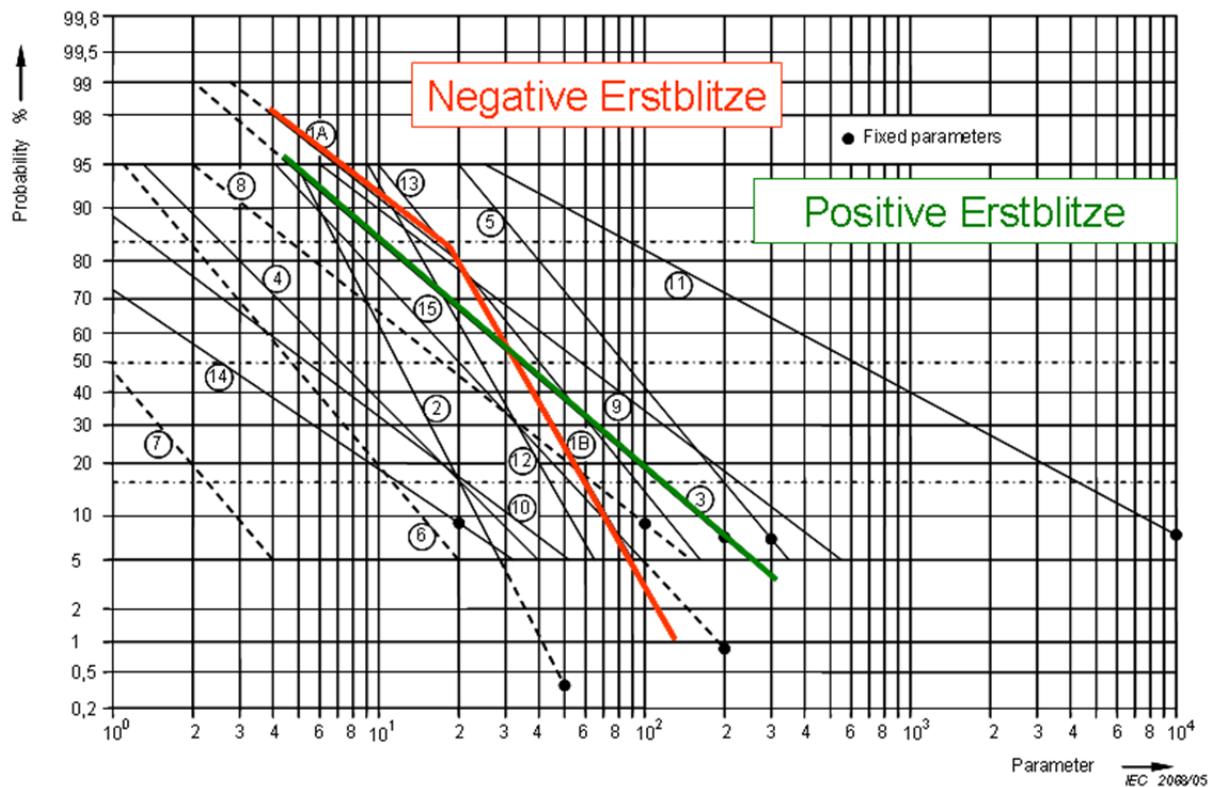
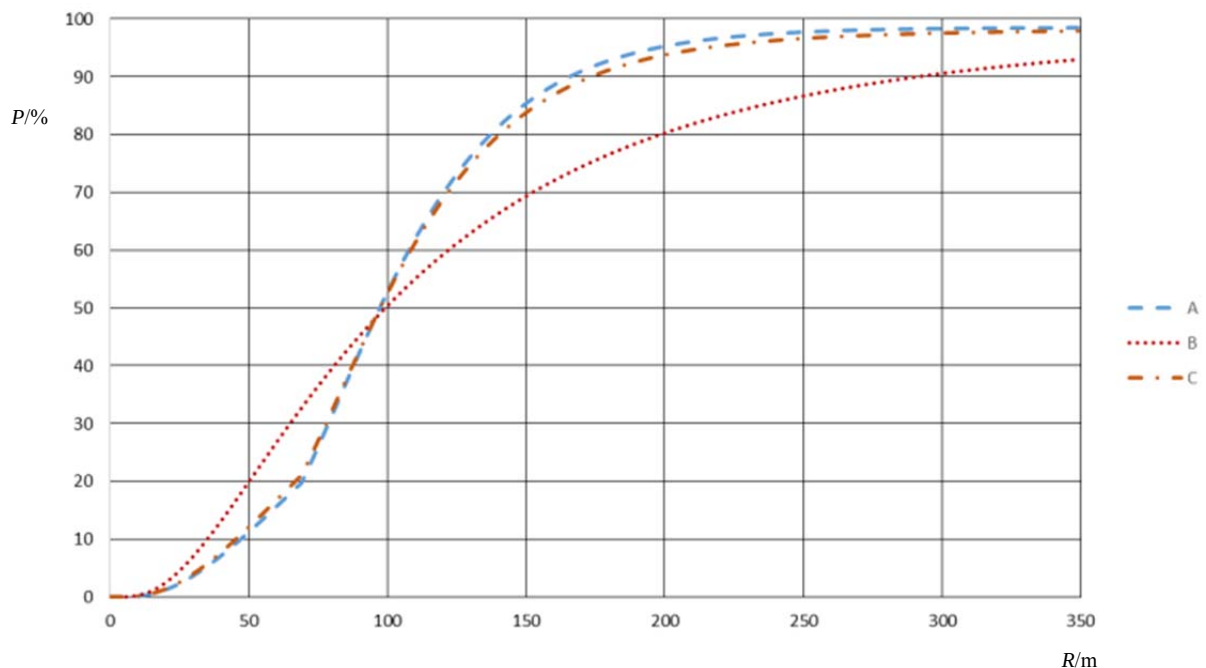


Bild 3 Summenhäufigkeitsverteilungen der Blitzstromparameter (aus [3]).



Das Diagramm enthält die folgenden Verteilungen:

- A: nur negative Erstblitze
- B: nur positive Erstblitze
- C: negative Erstblitze und positive Erstblitze im Verhältnis 90% zu 10%.

Beispiel: Mit einem Radius der Blitzkugel von $R = 150$ m werden ca. 85% aller natürlichen Blitzentladungen abgedeckt - Verteilung C. Lediglich 15% aller Blitzentladungen haben noch größere Blitzkugel-Radien

Bild 4 Summenhäufigkeitsverteilung der Blitzkugel-Radien nach (Gl. 1).

Die Schritte 3 und 4 werden nun grundsätzlich für alle Raumpunkte wiederholt. Da ein Oberflächenpunkt nächster Punkt zu verschiedenen Raumpunkten sein kann (mit unterschiedlichen Radien), müssen für jeden Oberflächenpunkt alle ermittelten Wahrscheinlichkeits-Werte aufaddiert werden. Die Summe ergibt dann die konkrete Einschlagwahrscheinlichkeit in diesen Oberflächenpunkt. Im speziellen Fall, dass von einem Raumpunkt zwei oder mehr Oberflächenpunkte die gleiche Entfernung haben, wird der jeweilige Wahrscheinlichkeits-Wert, in einen dieser Oberflächenpunkte einzuschlagen, gleichmäßig auf diese aufgeteilt.

Abschließend werden die Wahrscheinlichkeits-Werte auf die Gesamtwahrscheinlichkeit 100% für die gesamte bauliche Anlage normiert. Eine Beschreibung dieses dynamisierten elektro-geometrischen Modells (DEGM) geben z.B. [4, 5, 6, 7]. Es sei hier nochmals darauf hingewiesen, dass alle Grundlagen des DEGM in den einschlägigen Blitzschutz-Normen [1, 3] enthalten bzw. beschrieben sind.

2 Fallstudie 1 - Bankgebäude

Es handelt sich hier um ein Verwaltungsgebäude einer Bank. Die wesentlichen Daten für Gebäude und Blitzschutzsystem sind:

- Länge 55 m, Breite 45 m, Höhe 16m;
- in der Dachmitte ausgedehnte Glasdachkonstruktion zum Schutz des Innenhofbereichs mit integrierten Lüftungs- und RWA-Einrichtungen;
- Blitzschutzklasse II;
- vermaschtes Erdungssystem unterhalb des Fundamentes: Weiße Wanne, vermaschter Fundamentterder;
- Ableitungen in aufgehenden Ortbetonwänden (Anschluss an die Bewehrung alle 2 m), zum Teil horizontale Leitungen in den Geschossdecken;
- die Glasdachkonstruktion ist nicht mit dem Fangeinrichtungssystem verbunden, der Schutz erfolgt durch Fangstangen (Vorgabe Architekt: die Fangstangen dürfen nur wenig sichtbar sein);
- die Attikabrüstung wurde flexibel überbrückt, keine Fangspitzen aus optischen Gründen, Einschläge und Ausschmelzungen werden zugelassen, Blechdicke 1 mm;
- Blitzeinschläge sind nach dem Blitzkugelverfahren (30 m Radius, entsprechend Schutzklasse II) nur in die Fangstangen und in die Attikabrüstungen möglich.

Die Planung des Blitzschutzsystems und damit insbesondere der Fangeinrichtungen wird auf der Basis von Blitzschutzklasse II und streng nach DIN EN 62305-3 [1] durchgeführt. Damit einher geht ein Radius der Blitzkugel von 30 m und eine Berücksichtigung von Blitzstrom-Amplituden bis hinab auf 5 kA, womit 97% aller Blitzentladungen abgedeckt sind [3]. Man kann also davon ausgehen, dass mit diesem System von Fangeinrichtungen mindestens 97% aller Blitzeinschläge eingefangen werden.

Das Ergebnis der Berechnung der Einschlagwahrscheinlichkeiten mit dem DEGM dokumentieren die **Bilder 5 und 6**. Bild 5 zeigt die Werte (grafisch) für alle Dachpunkte, Bild 6 die numerischen Werte für die „neutralen“ Punkte mit höheren Einschlagwahrscheinlichkeiten, dies sind die 14 Fangstangen und die vier Dachecken. Insgesamt ergibt sich folgendes Bild:

- in alle 14 Fangstangen schlagen 51,4% der Blitze ein;
- in das Dach des Gebäudes schlagen 48,6% der Blitze ein, davon in die vier Dachkanten mit den Attikabrüstungen 48,1%;
- in das restliche Dach neben den vier Dachkanten schlagen damit nur < 0,5% aller Blitze ein;
- in den Dachaufbau (Glasdachkonstruktion) schlagen nahezu keine Blitze ein (< 0,01%).

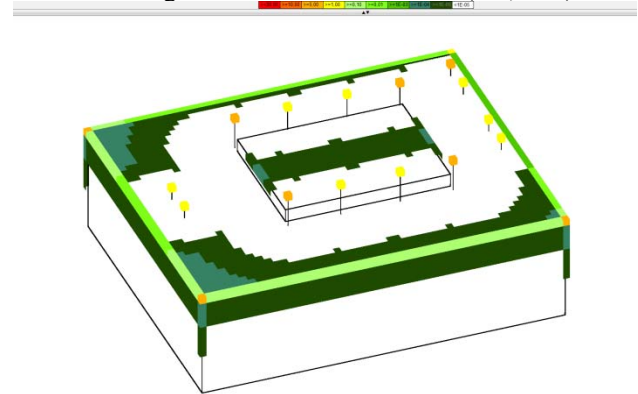


Bild 5 Bankgebäude mit Fangeinrichtungen (14 Fangstangen und Attikabrüstungen) – grafische Darstellung der Einschlagwahrscheinlichkeiten.



Bild 6 Bankgebäude mit Fangeinrichtungen (14 Fangstangen und Attikabrüstungen) – numerische Darstellung der Einschlagwahrscheinlichkeiten (in %) für die Fangstangen und die vier Dachecken.

Die Fangeinrichtungen (14 Fangstangen und die Attikabrüstungen der vier Dachkanten) fangen also mehr als 99,5% der Blitzeinschläge ein; der „Fangfehler“ liegt unter 0,5%. Das ist nahezu eine Größenordnung geringer als bei Blitzschutzklasse II üblicherweise unterstellt. Dieses Ergebnis ist allerdings qualitativ durchaus bekannt [5, 6, 7].

Bei der Berechnung mit dem DEGM wird ein alleinstehendes Gebäude unterstellt, d.h. Nachbargebäude werden nicht berücksichtigt, da dafür keine Daten vorliegen. Damit wird quantitativ für die Dachecken und –kanten der worst-case unterstellt, d.h. bei Berücksichtigung einer benachbarten Bebauung könnten die Werte der Einschlagwahrscheinlichkeiten für Dachecken und –kanten etwas geringer ausfallen; die Werte für die Fangstangen dürften dadurch allerdings nicht merklich beeinflusst werden.

3 Fallstudie 2 – Rechenzentrum

Der zu schützende Gebäudekomplex enthält als wesentlichen Bestandteil ein Rechenzentrum. Der Komplex besteht aus den zwei Gebäudeteilen A und B, jedes mit maximalen Abmessungen von 46 m (Länge), 20 m (Breite) und 7 m (Höhe) (**Bild 7**). Beide Gebäudeteile sind in Massivbauweise ausgeführt (Stahlbeton mit Mauerwerk). Beide Dächer sind mit einem Trapezblechdach ausgeführt. Auf dem Gebäudeteil B befinden sich mehrere Send- und Empfangseinrichtungen. Der Gebäudekomplex verfügt über eine Typ B Erdungsanlage mit Maschenweiten von 10 m x 10 m.

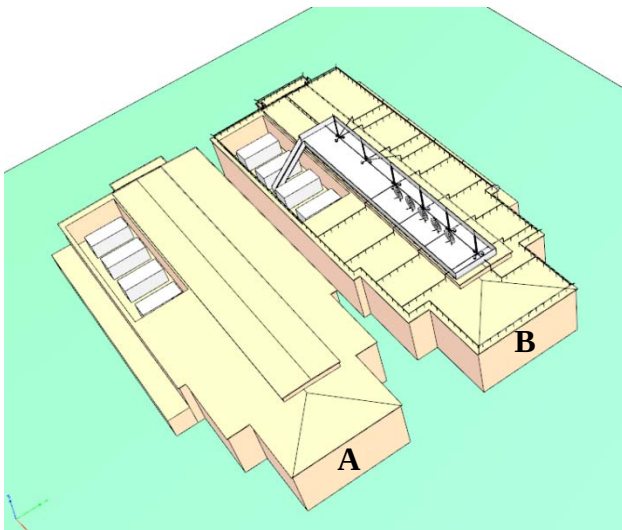


Bild 7 Rechenzentrum - Beide Gebäudeteile mit unterschiedlichen Fangeinrichtungssystemen.

Das Blitzschutzsystem für beide Gebäudeteile ist auf Grundlage der Blitzschutzklasse I dimensioniert. Auf dem Gebäudeteil A ist ein konventionelles Blitzschutzsystem aus Aluminiumrunddraht installiert, Maschenweite etwa 5 m x 5 m, Ableitungsabstand im Mittel 10 m.

Der Gebäudeteil B ist mit einem isolierten äußeren Blitzschutz ausgestattet. Die Fangeinrichtungen bestehen aus sechs isolierten Stangen der Höhe 4,20 m und aus in 60 cm Höhe aufgeständerten Ringleitungen. Ringleitungen und Fangstangen sind über hochspannungsfeste isolierte Leitungen miteinander verbunden. Von den Fangstangen sind zur Stromaufteilung immer vier Ableitungen vorhanden.

Die Planung des Blitzschutzsystems und damit insbesondere der Fangeinrichtungen wird auf der Basis von Blitz-

schutzklasse I und streng nach DIN EN 62305-3 [1] durchgeführt. Dies führt zu einem Radius der Blitzkugel von 20 m und damit werden Blitzstrom-Amplituden bis hinab auf 3 kA berücksichtigt, womit 99% aller Blitzentladungen abgedeckt sind [3]. Man kann also davon ausgehen, dass mit diesem System von Fangeinrichtungen mindestens 99% aller Blitzeinschläge eingefangen werden.

Mit dem DEGM modelliert wird hier nur der Gebäudeteil B mit den Fangstangen (**Bild 8**). Die aufgeständerten Ringleitungen sind als solche im DEGM nicht modellierbar; sie sind durch eine große Anzahl von kleinen Fangstangen im Abstand von 4 – 5 m ersetzt (siehe Bild 8). Die Einschlagwahrscheinlichkeiten fallen damit etwa vergleichbar aus zu denen der aufgeständerten Ringleitungen. Für Gebäudeteil A wird angenommen, dass die Fangmaschen den erforderlichen Schutz gemäß Blitzschutzklasse I von 99% liefern. Damit kann hier auch verglichen werden, inwieweit beim Schutz durch (1) maschenförmige Fangleitungen und durch (2) Fangstangen bei gleicher Blitzschutzklasse unterschiedliche Ergebnisse der Einschlagwahrscheinlichkeiten auftreten.

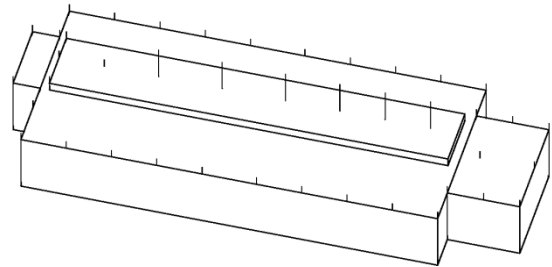


Bild 8 Rechenzentrum - Gebäudeteil B mit Antenneneinrichtungen - Modellierung der Fangstangen und der aufgeständerten Ringleitungen mit dem DEGM.

Bei der Berechnung mit dem DEGM wird allerdings wieder ein alleinstehendes Gebäude unterstellt, d.h. insbesondere der Gebäudeteil A wird „entfernt“. Damit wird quantitativ für den Gebäudeteil B der worst-case unterstellt, d.h. bei Berücksichtigung des Gebäudeteils A könnten insbesondere die Werte der Einschlagwahrscheinlichkeiten für die direkt benachbarten Teile der aufgeständerten Ringleitungen etwas geringer ausfallen; diese Unterschiede sind jedoch sehr gering, da beide Gebäudeteile die gleiche Höhe aufweisen. Die Werte für die höheren Fangstangen in der Mitte des Gebäudeteils B sind durch den Wegfall des Gebäudeteils A nicht merklich beeinflusst.

Das Ergebnis der Berechnung der Einschlagwahrscheinlichkeiten mit dem DEGM zeigt **Bild 9**. Dargestellt sind die numerischen Werte für die wichtigsten Fangstangen und Stellen der Ringleitungen (aus Platzgründen können hier nicht alle Werte angegeben werden). Insgesamt ergibt sich folgendes Bild:

- in die sechs hohen Fangstangen in der Mitte des Daches (Schutz der Antennen) schlagen 62,9% der Blitze ein, davon bereits 46,1% in die beiden äußersten Fangstangen;
- in die übrigen kleineren Fangstangen (modellieren die aufgeständerten Ringleitungen) schlagen 37,1% der Blitze ein;
- in das restliche Dach schlagen damit rechnerisch nur ca. 0,002% aller Blitze ein, d.h. dort sind Blitzeinschläge praktisch auszuschließen.

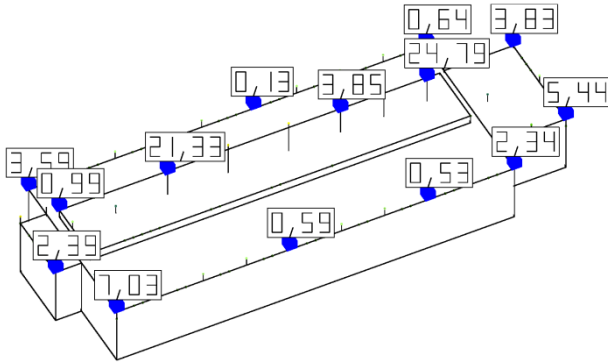


Bild 9 Rechenzentrum - Gebäudeteil B mit Antenneneinrichtungen – numerische Darstellung der Einschlagswahrscheinlichkeiten (in %) für ausgewählte Fangstangen (aus Platzgründen können hier nicht alle Werte angegeben werden).

Die Fangeinrichtungen der Gebäudeteile B fangen also nahezu 100% der Blitzentladungen ein; der „Fangfehler“ liegt bei $\approx 0\%$. Der Schutz durch Fangstangen ist hier also noch wesentlich besser als für die Blitzschutzklasse I üblicherweise unterstellt, und damit auch besser als für den Gebäudeteil A mit den maschenförmigen Fangleitungen. Aus diesen Ergebnissen lässt sich daher auch durchaus ableiten, dass die Planung der Fangstangen für den Gebäudeteil A auf rel. konservativen Grundsätzen beruht, d.h. es wäre für eine Einschlagswahrscheinlichkeit von 99% in alle Fangstangen, also unter Zugrundelegung eines erlaubten „Fangfehlers“ von 1%, eine wesentlich geringere Anzahl von Fangstangen erforderlich. Eine solche Planung würde jedoch nicht mehr vollständig auf Basis des Blitzkugel-Verfahrens geschehen, d.h. sie wäre nicht streng nach DIN EN 62305-3 [1].

4 Fallstudie 3 – Industriehallen

Bei diesem Beispiel handelt es sich um einen Komplex aus drei Industriehallen (mit Produktions- und Lagerbereichen) mit zwei angesetzten Türmen (**Bild 10**):

- Halle A (links): 73 m (L) x 43 m (B) x 21 m (H);
- Halle B (mitte): 91 m (L) x 58 m (B) x 26 m (H);
- Halle C (rechts): 120 m (L) x 58 m (B) x 26 m (H);
- Turm A (links): 12 m (L) x 24 m (B) x 25 m (H);
- Turm C (rechts): 12 m (L) x 15 m (B) x 35 m (H).

Die Gebäudedächer einschließlich etlicher Dachaufbauten sollen mit Fangstangen vor direkten Blitzeinschlägen geschützt werden.

Die Planung des Blitzschutzsystems und damit insbesondere der Fangeinrichtungen wird auf der Basis von Blitzschutzklasse III und streng nach DIN EN 62305-3 [1] durchgeführt. Dies führt zu einem Radius der Blitzkugel von 45 m. Basierend darauf sind auf den fünf Gebäudeteilen insgesamt 82 Fangstangen mit Höhen zwischen 2 m und 6 m vorgesehen.

Mit Blitzschutzklasse III werden Blitzstrom-Amplituden bis hinab auf 10 kA berücksichtigt, womit 91% aller Blitzentladungen abgedeckt sind [3]. Man kann also davon ausgehen, dass mit diesem System von Fangeinrichtungen mindestens 91% aller Blitzeinschläge eingefangen werden.

Unterstellt wird auch hier wieder ein alleinstehender Gebäudekomplex, d.h. der Einfluss eventuell benachbarter Gebäude wird nicht berücksichtigt. Dies stellt natürlich wieder für den untersuchten Komplex den worst-case dar. Das Ergebnis der Berechnung der Einschlagswahrscheinlichkeiten mit dem DEGM dokumentieren die **Bilder 10 und 11**. Bild 10 zeigt die Werte (grafisch) für alle Dachpunkte, Bild 11 die numerischen Werte für einige interessante Fangstangen, insbesondere auch solche mit höheren Einschlagswahrscheinlichkeiten. Insgesamt ergibt sich:

- in alle 82 Fangstangen schlagen 99,6% der Blitze ein;
- nur $< 0,4\%$ aller Blitze schlagen in die (ungeschützten) Dachbereiche ein.

Wertet man die fünf Gebäudeteile der Fallstudie 3 separat aus, stellt sich folgendes Bild dar:

Gebäude	Einschläge in die Fangstangen, bezogen auf alle Blitze in den Gebäudekomplex	Fangfehler, bezogen auf alle Blitze in den Gebäudekomplex
Halle A	12,1%	0,05%
Halle B	15,2%	0,14%
Halle C	28,6%	0,15%
Turm A	18,5%	$< 0,01\%$
Turm C	25,2%	$< 0,01\%$
Summe	99,6%	$< 0,4\%$

Die Fangeinrichtungen fangen also 99,6% der Blitzentladungen ein; der „Fangfehler“ liegt unter 0,4%. Das ist etwa Faktor 20 geringer als bei Blitzschutzklasse III üblicherweise unterstellt.

Im Detail zeigt sich insbesondere bei der Analyse aus Bild 11, dass die Fangstangen extrem unterschiedliche Werte der Einschlagswahrscheinlichkeiten aufweisen:

- einige Fangstangen auf den Türmen und an den Giebelecken der Hallen weisen Werte über 5% bis zu 10% auf (immer bezogen auf alle Blitze in den Gebäudekomplex),
- die Fangstangen auf den Giebeln der Hallen liegen üblicherweise zwischen 0,5% und 1%;
- viele Fangstangen an den Dachtraufen der Hallen haben dagegen nur Werte deutlich unter 0,1%.

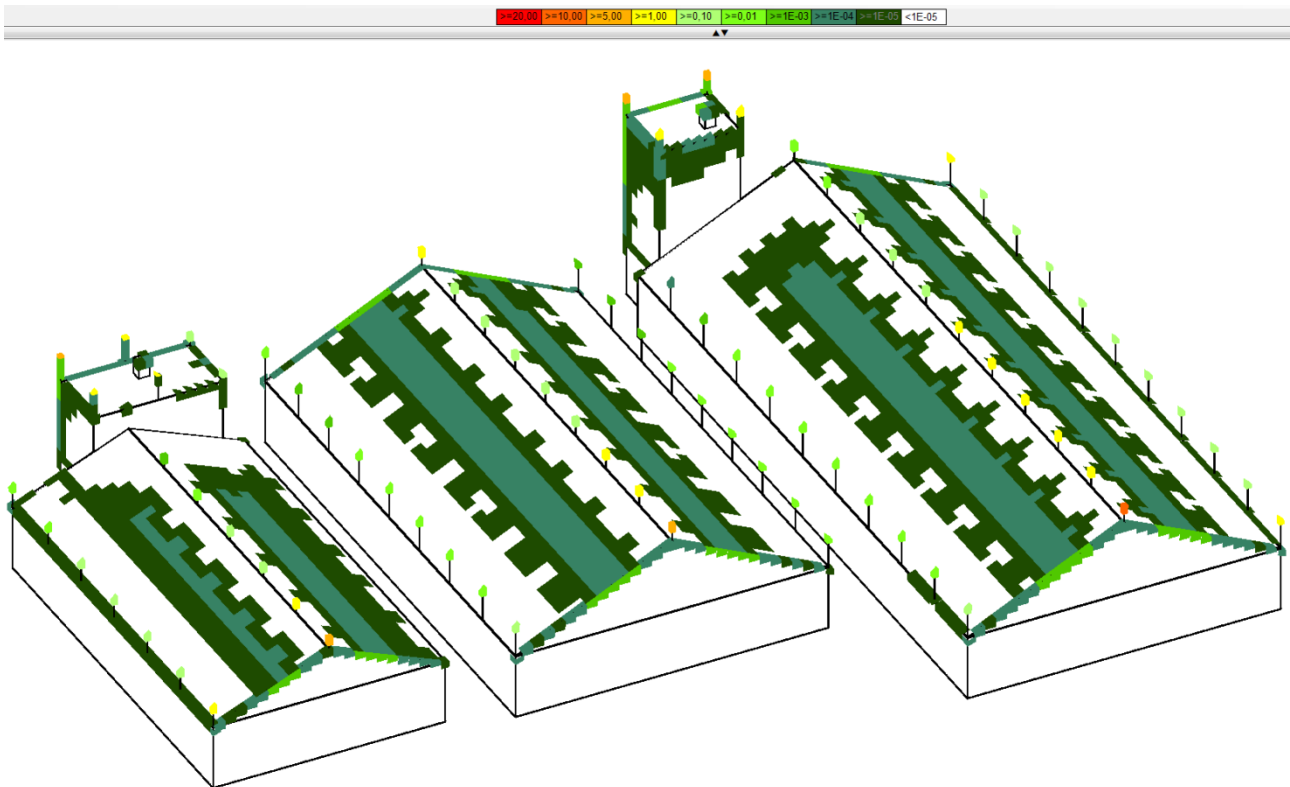


Bild 10 Industriehallen und Nebengebäude mit Fangeinrichtungen (82 Fangstangen) – grafische Darstellung der Einschlagwahrscheinlichkeiten.

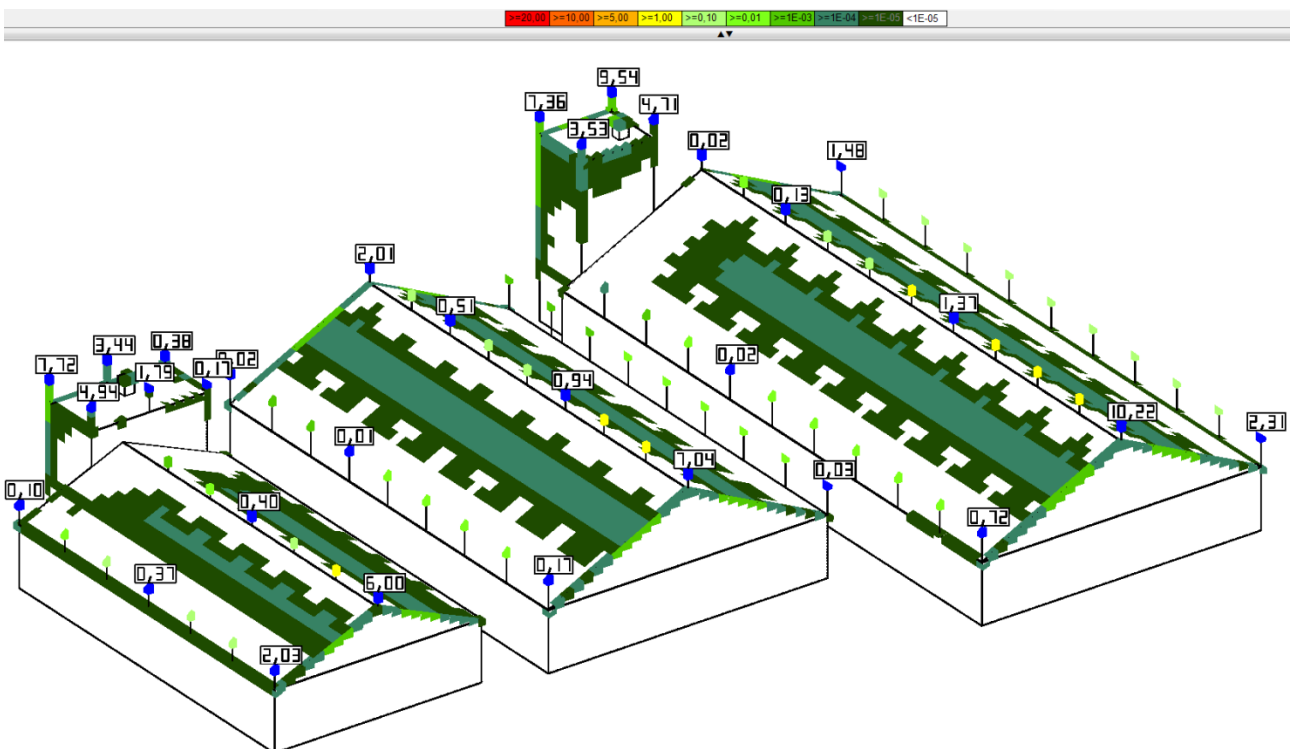


Bild 11 Industriehallen und Nebengebäude mit Fangeinrichtungen (82 Fangstangen) – numerische Darstellung der Einschlagwahrscheinlichkeiten (in %) für ausgewählte Fangstangen.

5 Zusammenfassung

Das vorgestellte dynamische elektro-geometrische Modell verwendet vorhandene und in internationalen und nationalen Normen anerkannte Ergebnisse, Zusammenhänge und Untersuchungen. Auf dieser Grundlage wurde an der FH Aachen ein numerisches Verfahren erarbeitet, mit dem die realen Einschlagwahrscheinlichkeiten an den verschiedenen Punkten eines Gebäudes berechnet werden können.

Das DEGM kann grundsätzlich für beliebige Geometrien einer baulichen Anlage angewendet werden. Es gibt neben den Einschlagwahrscheinlichkeiten auch die maximal auftretenden Scheitelwerte der Blitzströme an, die an den unterschiedlichen Stellen einer baulichen Anlage einschlagen können.

Mit Hilfe des DEGM wird gezeigt, dass die Einschlagwahrscheinlichkeiten von Fangstangen, die mit dem klassischen Blitzkugel-Verfahren nach DIN EN 62305-3 [1] geplant werden, wesentlich höher sind, als in der Normenreihe selbst angegeben [3, 8]. Der Grund dafür ist die Tatsache, dass das Blitzkugel-Verfahren konservativ aufgebaut ist, und dem Planer von Blitzschutzsystemen nur alle möglichen Stellen für einen Einschlag aufzeigt, jedoch keine Bewertung durch eine Einschlagwahrscheinlichkeit direkt dazu liefert. Andererseits bedeutet dies jedoch auch, dass man mit dem klassischen Blitzkugel-Verfahren stets auf der „sicheren Seite“ liegt.

Für die drei Fallstudien ergibt sich konkret, dass die „Fangfehler“ der Fangeinrichtungen mindestens um etwa eine Größenordnung geringer ausfallen, als sie nach der jeweils zugrunde gelegten Blitzschutzklasse angenommen werden. Bei Fallstudie 1: Bankgebäude reduziert sich der „Fangfehler“ von akzeptierten 3% auf $< 0,5\%$, bei Fallstudie 2: Rechenzentrum von 1% auf $\approx 0\%$, bei Fallstudie 3: Industriehallen von 9% auf $< 0,4\%$.

Dazu kommt, dass grundsätzlich die realen „Fangfehler“ noch etwas niedriger ausfallen, als mit dem DEGM ermittelt, da die (äußerst wenigen) Blitzeinschläge in die Dachbereiche ja zum Teil noch in Fangleitungen einschlagen, also nicht zwingend ungeschützte Dachbereiche treffen. Die oben berechneten und genannten „Fangfehler“ sind daher als worst-case anzusehen.

Diese Berechnung von „Fangfehlern“ könnte z.B. bei Abschluss von Schadensversicherungen zukünftig von Bedeutung sein. Diese Erkenntnisse ließen sich in anderen Fällen auch grundsätzlich nutzen, um die Errichtung von solchen Fangstangen zu vermeiden, die eine rel. geringe Einschlagwahrscheinlichkeit aufweisen, und die an Stellen montiert werden müssten, wo eine Weiterführung der Ableitung kompliziert wird. Damit könnte das Fangeinrichtungssystem optimiert werden.

Es sei hier deutlich darauf hingewiesen, dass Fangeinrichtungen nicht immer nur nach den Kriterien der Einschlagwahrscheinlichkeit positioniert werden können; ein Blitzschutzsystem hat üblicherweise noch andere Kriterien zu erfüllen. So kann beispielsweise aus Gründen des Blitzschutz-Potentialausgleichs, der ausreichenden Stromaufteilung oder der Reduzierung von magnetisch in Schleifen induzierten Spannungen auch die Aufstellung weiterer Fangeinrichtungen erforderlich sein [9]. Dieser Aspekt soll hier aber vollkommen außer Acht bleiben; es wird nur die Einschlagwahrscheinlichkeit von Fangeinrichtungen untersucht.

6 Literatur

- [1] DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3) Ed.2: 2011-10: Blitzschutz – Teil 3: Schutz von baulichen Anlagen und Personen.
- [2] Hasse, P.; Wiesinger, J.; Zischank, W.: Handbuch für Blitzschutz und Erdung. Pflaum Verlag München. 5. Auflage 2006. ISBN 3-7905-0931-0.
- [3] DIN EN 62305-1 (VDE 0185-305-1) Ed.2: 2011-10: Blitzschutz – Teil 1: Allgemeine Grundsätze.
- [4] Kern, A.; Schelthoff, C.; Mathieu, M.: Die dynamische Blitzkugel; Wahrscheinlichkeitsberechnung für Blitzeinschläge in Gebäude. de 13-14/2010.
- [5] Kern A., Schelthoff C., Mathieu M.: Detaillierte Berechnung der Einfangwirksamkeiten von Fangeinrichtungen mit einem dynamischen elektro-geometrischen Modell. 9. VDE/ABB-Blitzschutztagung, Neu-Ulm 2011.
- [6] Kern A., Schelthoff C., Mathieu M.: Das dynamische elektro-geometrische Modell - Ein neues Verfahren zur detaillierten Berechnung der Einfangwirksamkeit von Fangeinrichtung. Elektropraktiker, Berlin (66), Heft 4/2012.
- [7] Kern A., Schelthoff C., Mathieu M.: Probability of lightning strikes to air-terminations of structures using the electro-geometrical model theory and the statistics of lightning current parameters. Atmospheric Research, Vol. 117 (2012).
- [8] DIN EN 62305-2 (VDE 0185-305-2) Ed.2: 2013-02: Blitzschutz – Teil 2: Risikomanagement.
- [9] Wettingfeld, J.; Kern, A.; Krämer, H.-J.; Thormählen, R.: International anerkannte Blitzschutznormen; Ausgewogener und sicherer Schutz. de, Heft 13-14/2009.