

Detaillierte Berechnung der Einfangwirksamkeiten von Fangeinrichtungen mit einem dynamischen elektro-geometrischen Modell

Detailed calculation of the interception efficiencies for air-termination systems using a dynamic electro-geometrical model

Prof. Dr.-Ing. Alexander Kern, FH Aachen, Campus Jülich, FB Energietechnik, 52428 Jülich, a.kern@fh-aachen.de
Prof. Dr. rer. nat. Christof Schelthoff, FH Aachen, Campus Jülich, FB Medizintechnik und Technomathematik, 52428 Jülich, schelthoff@fh-aachen.de
B. Sc. Moritz Mathieu, FH Aachen, Campus Jülich, FB Medizintechnik und Technomathematik, 52428 Jülich, m.mathieu@fh-aachen.de

Kurzfassung

Im Beitrag wird zunächst das Verfahren eines dynamischen elektro-geometrischen Modells vorgestellt. Dieses arbeitet im Gegensatz zum klassischen Blitzkugel-Verfahren nicht mit konstanten Radien; vielmehr wird der Radius der Blitzkugel variiert. Dabei werden ausschließlich vorhandene und in internationalen Normen anerkannte Ergebnisse, blitzphysikalische Grundlagen und Untersuchungen verwendet, und auf deren Grundlage ein numerisches Verfahren erarbeitet.

Mit dem dynamischen elektro-geometrischen Modell werden dann einige Beispiele des Schutzes mit Fangstangen, die gemäß dem klassischen Blitzkugel-Verfahren nach DIN EN 62305-3 für die Schutzklassen I – II – III – IV geplant sind, untersucht. Es wird gezeigt, dass die Einfangwirksamkeiten wesentlich höher sind als in der Normenreihe DIN EN 62305 selbst angegeben. Grund dafür ist die Tatsache, dass das Blitzkugel-Verfahren sehr konservativ aufgebaut ist und dem Planer von Blitzschutzsystemen nur die möglichen Stellen für einen Einschlag aufzeigt, ohne eine Bewertung der Einschlagshäufigkeit zu liefern. Andererseits bedeutet dies jedoch, dass man mit dem klassischen Blitzkugel-Verfahren stets auf der „sicheren Seite“ liegt.

Abstract

The paper firstly presents the method of a dynamic electro-geometrical model. In contrast to the classic rolling-sphere it does not use fixed radii, it works with a varying radius. The method only uses existing and in international standards accepted results, fundamentals of lightning physics, and investigations; on that base a numerical method is elaborated. Using the dynamic electro-geometrical model, some examples of protection with lightning rods planned with the classic rolling-sphere according to DIN EN 62305-3 and for the classes of protection I – II – III – IV are investigated. It is shown, that the interception efficiencies are much higher than documented in the standard series DIN EN 62305. Reason is, that the method of the rolling-sphere is conservative, and that it gives the planner of lightning protection systems only the points, where lightning may strike, but without a rating of the striking probability. On the other hand this result clearly indicates, that using the classic rolling sphere method one is always on the “safe side”.

1 Einleitung

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 [1] normativ verankerte Verfahren zur Planung der Fangeinrichtungen von Blitzschutzsystemen für bauliche Anlagen; es basiert auf dem elektro-geometrischen Modell. Für unterschiedliche Anforderungen an ein Blitzschutzsystem werden vier Blitzschutzklassen definiert, die sich im anzusetzenden Radius der Blitzkugel unterscheiden. Dieser beträgt zwischen 20m und 60m und ist ein fester Wert, der nur von der vorgegebenen Blitzschutzklasse abhängig ist.

Mit dem Blitzkugel-Radius werden unterschiedliche, kleinste Scheitelwerte von natürlichen Blitzentladungen abgedeckt, d.h. Blitzkugeln mit kleineren Radien können grundsätzlich das zu schützende Gebäude neben den Fangeinrichtungen berühren; es können also noch schwächere Blitze dort einschlagen. Bei der Planung mit

der Blitzkugel erhält man damit *mögliche* Blitzeinschlagstellen, an denen Fangeinrichtungen zu platzieren sind (**Bilder 1 und 2**). Allerdings ist darin keine Information enthalten, wie *wahrscheinlich* jeweils der Blitzeinschlag an den einzelnen Stellen ist, also ist auch die direkte Angabe einer Einfangwirksamkeit nicht möglich.

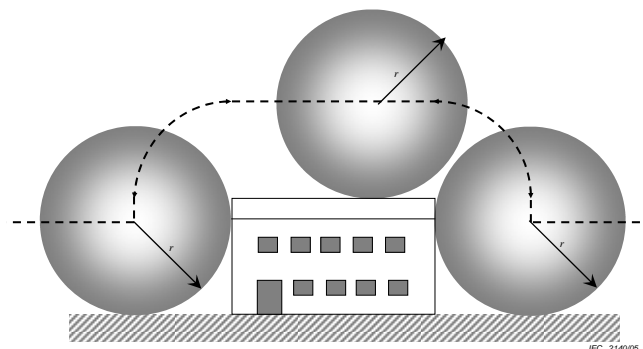


Bild 1 Mit Blitzkugel-Verfahren zu schützendes Gebäude (Blitzkugel mit Radius r) – Seitenansicht [1].

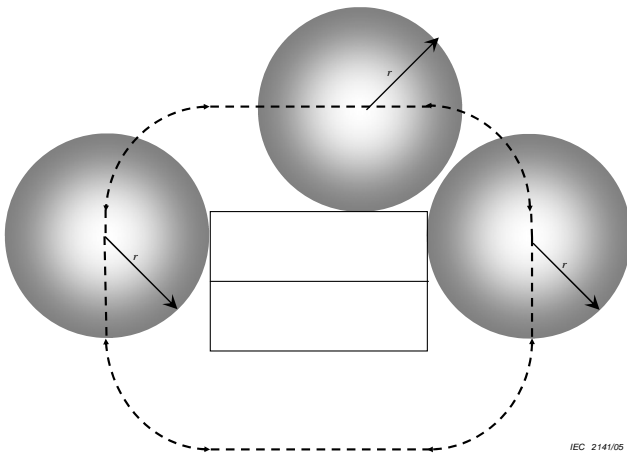


Bild 2 Mit Blitzkugel-Verfahren zu schützendes Gebäude (Blitzkugel mit Radius r) – Dachansicht [1].

Für detaillierte Risikoabschätzungen nach DIN EN 62305-2 [2] wird dagegen die Wahrscheinlichkeit benötigt, mit der ein Blitzschutzsystem gegen direkte Blitzeinschläge wirksam ist, also die bauliche Anlage schützt. Dazu ist natürlich auch die Angabe einer Einfangwirksamkeit der Fangeinrichtungen sinnvoll.

Das hier vorgestellte Verfahren eines dynamischen elektro-geometrischen Modells arbeitet im Gegensatz zum klassischen Blitzkugel-Verfahren nicht mit konstanten Radien. Vielmehr wird hier der Radius der Blitzkugel variiert. Dabei werden die folgenden, in den Blitzschutz-Normen enthaltenen, blitzphysikalischen Grundlagen und einfache geometrischen Überlegungen zu einem numerischen Verfahren verknüpft:

- Die Summenhäufigkeitsverteilungen der Blitzstrom-Scheitelwerte natürlicher Blitzenntladungen nach DIN EN 62305-1 [3], aus denen sich die Wahrscheinlichkeit ergibt, dass ein natürlicher Erstblitz mindestens den zugeordneten Blitzstrom-Scheitelwert aufweist.
- Der Zusammenhang zwischen Blitzstrom-Scheitelwert und Länge der Enddurchschlagstrecke (= Blitzkugel-Radius) aus DIN EN 62305-1.
- Räumliche Diskretisierung der Oberfläche der zu schützenden baulichen Anlage einschließlich der Fangeinrichtungen (Fangstangen) des Blitzschutzsystems = die *Oberflächenpunkte*.
- Räumliche Diskretisierung des Volumens oberhalb und seitlich neben der baulichen Anlage = die *Volumenpunkte*.
- Ermittlung des geometrisch nächstgelegenen Oberflächenpunkts zu einem Volumenpunkt (= Länge der Enddurchschlagstrecke) und für diesen Oberflächenpunkt Zuweisung einer Wahrscheinlichkeit für den Blitzeinschlag aus dem Volumenpunkt.
- Wiederholung des letzten Schrittes für alle Volumenpunkte.
- Addition der Wahrscheinlichkeiten für jeden Oberflächenpunkt und Normierung der Gesamtwahrscheinlichkeit auf 100% für die gesamte bauliche Anlage.

Im Beitrag wird das Verfahren des dynamischen elektro-geometrischen Modells detailliert vorgestellt und die Er-

gebnisse an einigen typischen Beispielen diskutiert. Die Fangeinrichtungen für diese typischen Beispiele werden gemäß des Blitzkugel-Verfahrens nach DIN EN 62305-3 [1] für die Schutzklassen I – II – III – IV dimensioniert. Damit verbunden sind die in der Normenreihe DIN EN 62305 beschriebenen Einfangwirksamkeiten. Für diese Beispiele wird das dynamische elektro-geometrische Modell angewendet, um die Einfangwirksamkeiten im Detail zu berechnen. Die berechneten Einfangwirksamkeiten und die Werte nach der Normenreihe DIN EN 62305 werden verglichen.

Es sei hier bereits darauf hingewiesen, dass Fangeinrichtungen nicht immer nur nach den Kriterien der Einfangwirksamkeit 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 [4].

2 Das dynamische elektro-geometrische Modell

Im Verfahren des dynamischen elektro-geometrischen Modells wird die Länge der Enddurchschlagstrecke (= Radius der Blitzkugel) variiert. Dabei werden die folgenden, in den Blitzschutz-Normen enthaltenen, blitzphysikalischen Grundlagen und mathematischen Überlegungen verknüpft [5]:

1. In DIN EN 62305-1 [3], Anhang A, Bild A.5 sind die Summenhäufigkeitsverteilungen der Blitzstrom-Scheitelwerte natürlicher Blitzenntladungen gegeben (**Bild 3**). Herangezogen werden hier die Verteilungen der Blitzstrom-Scheitelwerte für die negativen Erstblitze (Kurven 1A/1B) und für die positiven Erstblitze (Kurve 3). Diese beiden Verteilungen werden gewichtet zu einer gemeinsamen Verteilung zusammengefasst, wobei gemäß [3] davon ausgegangen wird, dass 90% der natürlichen Blitzenntladungen 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 des elektro-geometrischen Modells kann jedem Blitzstrom-Scheitelwert mit (Gl. 1) eine Länge der Enddurchschlagstrecke zugewiesen werden (siehe [3], Anhang A, Gleichung A.1):

$$r = 10 \cdot I^{0,65} \quad (\text{Gl. 1})$$

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.

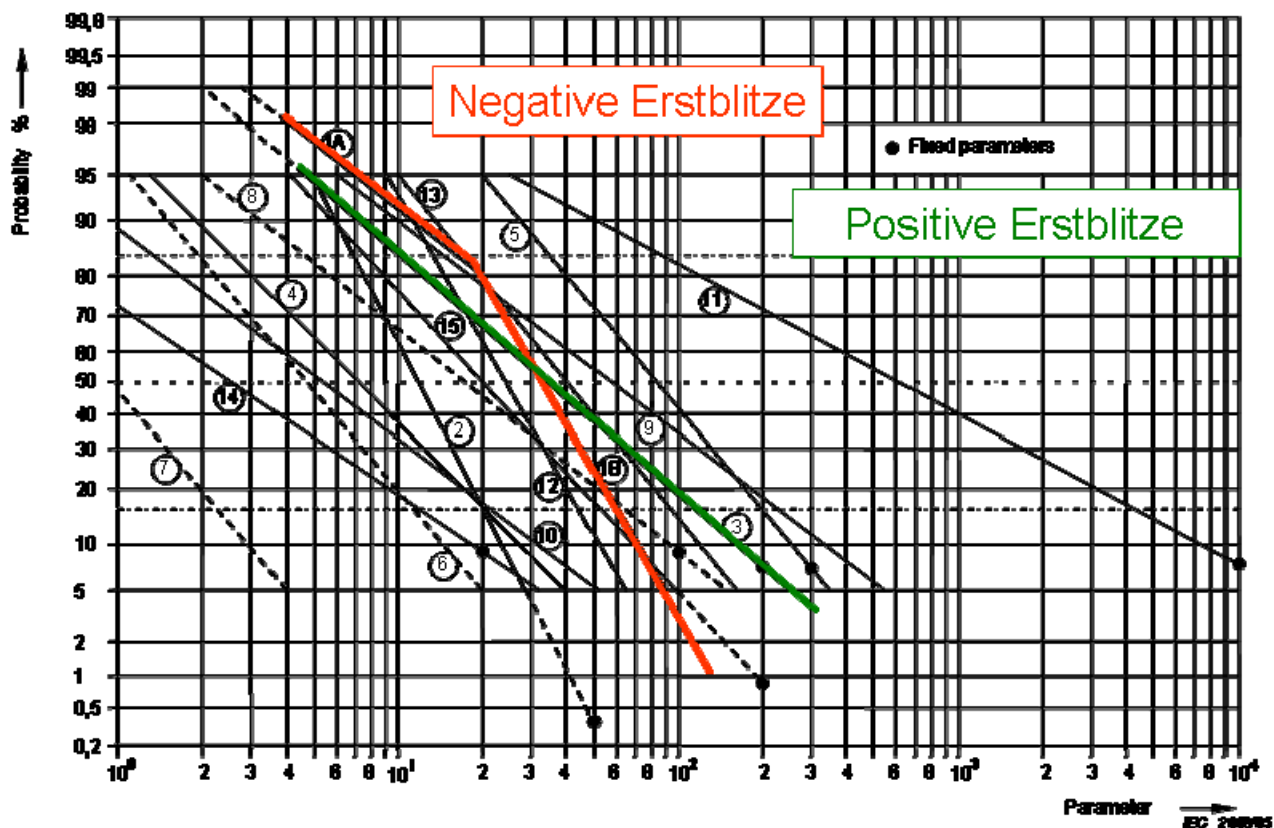


Bild 3 Summenhäufigkeitsverteilungen der Blitzstromparameter (aus DIN EN 62305-1 [3]).

Bild 4 zeigt, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein bestimmter Radius der Blitzkugel durch den gegebenen Wert abgedeckt ist. 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 $r = 150\text{m}$ werden ca. 85% aller natürlichen Blitzentladungen abgedeckt (Verteilung C). Lediglich 15% aller Blitzentladungen haben noch größere Blitzkugel-Radien.

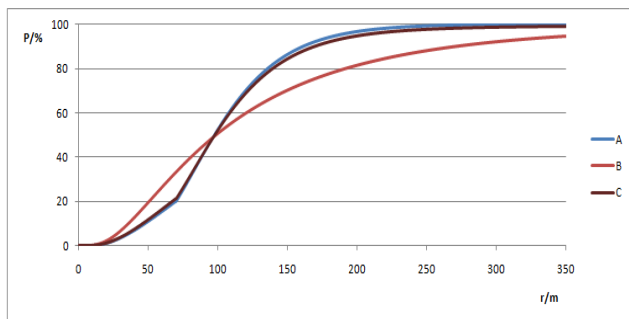


Bild 4 Summenhäufigkeitsverteilung der Blitzkugel-Radien nach (Gl. 1).

3. Die gesamte Oberfläche der zu schützenden baulichen Anlage einschließlich der Fangeinrichtungen des

Blitzschutzsystems (z.B. Fangstangen) wird räumlich diskretisiert (*Oberflächenpunkte*). Eine Diskretisierung von wenigen Metern ist hier üblicherweise ausreichend.

4. Der Raum oberhalb und seitlich neben der baulichen Anlage wird ebenfalls räumlich und mit der gleichen Diskretisierungsweite diskretisiert (*Volumenpunkte*).
5. Mit einfachen geometrischen Überlegungen wird nun zu jedem Volumenpunkt der nächstgelegene Oberflächenpunkt ermittelt. Die Entfernung zwischen einem Volumenpunkt und einem Oberflächenpunkt entspricht der Länge der Enddurchschlagstrecke und damit dem Radius einer Blitzkugel. Für diesen Radius (bzw. dem zugehörigen Radius-Intervall entsprechend der räumlichen Diskretisierung) kann nun gemäß Schritt 1 und Schritt 2 ein Intervall des Blitzstrom-Scheitelwerts und damit ein Wahrscheinlichkeits-Wert für den Blitzeinschlag zugeordnet werden. Dieser Wahrscheinlichkeits-Wert wird dem nächstgelegenen Oberflächenpunkt zugeordnet. Dieser Schritt wird nun für alle Volumenpunkte wiederholt.
6. Da ein Oberflächenpunkt nun nächstgelegener Punkt zu verschiedenen Volumenpunkten sein kann (mit unterschiedlichen Radien), müssen für jeden Oberflächenpunkt alle Wahrscheinlichkeits-Werte nach Schritt 5 aufaddiert werden. Die Summe ergibt die konkrete Einschlagwahrscheinlichkeit in diesen Oberflächenpunkt. Im speziellen Fall, dass von einem Volumenpunkt zwei oder mehr Oberflächenpunkte die

gleiche Entfernung haben, wird die Wahrscheinlichkeit in einen dieser Oberflächenpunkte einzuschlagen, gleichmäßig auf diese aufgeteilt. Abschließend werden die Wahrscheinlichkeits-Werte auf die Gesamtwahrscheinlichkeit 100% für die gesamte bauliche Anlage normiert.

In diesem Zusammenhang muss darauf hingewiesen werden, dass für das Verfahren des dynamischen elektrogeometrischen Modells ausschließlich der geometrische Abstand zwischen dem Volumenpunkt und dem Oberflächenpunkt herangezogen wird. Jegliche Feldüberhöhung an exponierten Stellen der Oberfläche (z.B. Fangstangen-Spitzen, Gebäudedach-Ecken) wird vernachlässigt, da angenommen wird, dass sie nur in unmittelbarer Umgebung der exponierten Stellen auftreten. Damit wird weiter angenommen, dass solche Feldüberhöhungen die Anfangsbedingungen für den Enddurchschlag nicht wesentlich beeinflussen. Dies gilt zumindest für relativ flache, niedrige Objekte auf dem Erdboden. Falls solch ein Effekt berücksichtigt würde, würde er lediglich die „exponierte Stellung“ von Spitzen, Ecken und Kanten zusätzlich begünstigen, und damit die ohnehin schon hohen Einfangwirksamkeiten dieser Stellen weiter erhöhen (s.u.). Aus diesem Grunde kann der Ansatz des dynamischen elektrogeometrischen Modells als sehr konservativ gelten.

3 Dimensionierung der Fangeinrichtungen für das Referenzgebäude

Für die weiteren Untersuchungen wird ein einfaches Gebäude mit einer ebenen quadratischen Dachfläche von 40m x 40m und einer Höhe von 10m herangezogen. Für das Dach soll ein Schutz gegen direkte Blitzeinschläge auf der Basis von Fangstangen errichtet werden. Variiert werden die Schutzklasse des Blitzschutzsystems (I – II – III – IV) bzw. die zugehörigen Radien der Blitzkugel r (20m – 30m – 45m – 60m) und die Abstände der in Quadraten angeordneten Fangstangen d (5m – 10m – 20m – 40m). Die erforderliche Höhe der Fangstangen h ergibt sich dann aus dem maximal erlaubten Durchhang p gemäß:

$$p = r - \sqrt{r^2 - \frac{d^2}{2}} \quad (\text{Gl. 2})$$

mit: r Radius der Blitzkugel (=Länge der Enddurchschlagstrecke);

d Abstand der Fangstangen (Seitenlänge der Quadrate, die von den Fangstangen gebildet werden).

Für den Fall, dass keine weiteren Dachaufbauten zu schützen ist, gilt $h = p$. **Bild 5** zeigt ein Beispiel der Ausführung dieser Fangeinrichtungen.

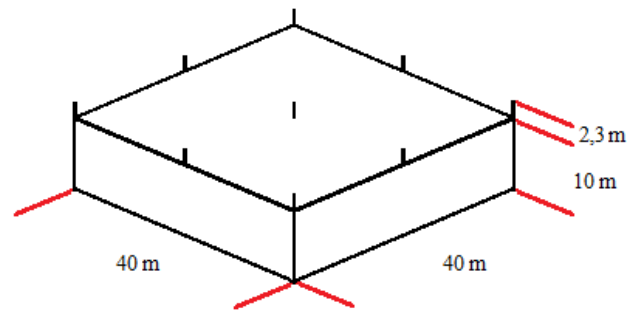


Bild 5 Neun Fangstangen für einen Schutz der Dachfläche für Schutzklasse III ($d = 20\text{m}$) – erforderliche Mindesthöhe $h = 2,3\text{m}$.

Tabelle 1 gibt alle Mindesthöhen der Fangstangen wieder, die für die jeweilige Kombination von Schutzklasse des Blitzschutzsystems bzw. Radius der Blitzkugel und Abstand der Fangstangen erforderlich sind. Der Fall der Schutzklasse I mit nur vier Fangstangen an den vier Dachecken, d.h. $d = 40\text{m}$, ist nicht normgerecht; er fehlt deshalb konsequenterweise auch in Tabelle 1.

Tabelle 1 Mindesthöhen h [in m] in Abhängigkeit von der Schutzklasse des Blitzschutzsystems bzw. des Radius der Blitzkugel r und des Abstandes der Fangstangen d .

Schutzklasse	Blitzkugelradius r/m	Abstand der Fangstangen d/m				Einfangwirksamkeit [2, 3] $W_1/\%$
		5	10	20	40	
I	20	0,3	1,3	5,9	-	99
II	30	0,2	0,9	3,6	20	97
III	45	0,15	0,6	2,3	10	91
IV	60	0,1	0,4	1,7	7,1	84

In Tabelle 1 sind weiterhin noch die Einfangwirksamkeiten W_1 für die einzelnen Schutzklassen angegeben, wie sie sich aus DIN EN 62305-1 [3] ergeben. Dieser Normenteil legt zwar direkt keine Einfangwirksamkeiten fest; diese stecken aber implizit in den in [3] genannten „kleinsten Scheitelwerten“.

Ein Blitzschutzsystem kann in zwei Richtungen versagen:

- Die Dimensionierungs-Wirksamkeit (en: sizing efficiency) dokumentiert, dass Komponenten des Blitzschutzsystems bei Überschreiten bestimmter Wirkungsparameter von Blitzströmen diesen nicht mehr standhalten können, also zerstört werden. Dies geschieht bei sehr hohen Blitzstromparametern.
- Die Einfang-Wirksamkeit (en: interception efficiency) drückt aus, dass ein Blitzschutzsystem einen bestimmten Prozentsatz natürlicher Blitzentladungen nicht mehr einfängt. Dies ist in [3] vereinfacht mit dem Unterschreiten bestimmter, „kleinster“ Blitzstrom-Scheitelwerte festgeschrieben. Die Einfang-Wirksamkeit bezieht sich dabei natürlich nur auf die Fangeinrichtungen eines Blitzschutzsystems.

Werden beide Wirksamkeiten nach DIN EN 62305-1 [3] überlagert, ergeben sich daraus die Werte der Schadenswahrscheinlichkeit P_B für ein Blitzschutzsystem zur Ver-

ringerung physikalischer Schäden gemäß DIN EN 62305-2 [2] (**Tabelle 2**).

Tabelle 2 Zusammenhang zwischen Wirksamkeiten und Schadenswahrscheinlichkeit in der Reihe DIN EN 62305.

Gefährdungspegel (LPL) [3] bzw. Schutzklasse des Blitzschutzsyst. (LPS) [1]	IV	III	II	I
Dimensionierungs-Wirksamkeit [3]	0,97	0,97	0,98	0,99
Einfang-Wirksamkeit [3]	0,84	0,91	0,97	0,99
Überlagerte (Gesamt-) Wirksamkeit	0,80	0,90	0,95	0,98
Schadenswahrscheinlichkeit P_B [2]	0,20	0,10	0,05	0,02

4 „Reale“ Einfangwirksamkeiten nach dem dynamischen elektro-geometrischen Modell

Für die sich gemäß Tabelle 1 ergebenden 15 Fälle werden die numerischen Berechnungen nach dem dynamischen elektro-geometrischen Modell durchgeführt. **Tabelle 3** gibt die Einfangwirksamkeiten W_2 für die berechneten 15 Fälle an, zur besseren Vergleichbarkeit mit Tabelle 1 in ähnlicher Anordnung. Die Werte gelten für alle jeweils vorhandenen Fangstangen in Summe, d.h. die auf 100% fehlenden Anteile sind die Fangfehler, die zwischen den Fangstangen noch das Dach selbst treffen. Die **Bilder 6 – 9** zeigen für vier Beispiele das Ergebnis graphisch, jeweils für eine Schutzklasse und einen Abstand d der Fangstangen. Dabei sind sehr gut die unterschiedlichen Einfangwirksamkeiten für eine Fangstange an der Dach-ecke, der Dachkante und der Dachmitte zu erkennen.

Tabelle 3 Einfangwirksamkeiten W_2 [in %] nach dem dynamischen elektro-geometrischen Modell in Abhängigkeit von der Schutzklasse des Blitzschutzsystems und des Abstandes der Fangstangen d .

Schutz-klasse	Abstand der Fangstangen d/m			
	5	10	20	40
I	99,97	99,97	99,96	-
II	99,92	99,92	99,93	99,74
III	99,83	99,84	99,81	99,79
IV	99,53	99,56	99,64	99,65

Tabelle 4 Verhältnis der Fangfehler $F = (1-W_1)/(1-W_2)$ in Abhängigkeit von der Schutzklasse des Blitzschutzsystems und des Abstandes der Fangstangen d .

Schutz-klasse	Abstand der Fangstangen d/m			
	5	10	20	40
I	33	33	25	-
II	37	37	43	11
III	53	56	47	43
IV	34	36	44	45

Es ist festzustellen, dass die „realen“ Einfangwirksamkeiten nach Tabelle 3 wesentlich höher sind als die in [2, 3] genannten Einfangwirksamkeiten nach Tabelle 1. Um dies nochmals vereinfacht zu dokumentieren, werden in **Tabelle 4** die nach Tabelle 1 prognostizierten Fangfehler der Fangstangen $(1-W_1)$ den „realen“ Fangfehlern $(1-W_2)$ nach Tabelle 3 gegenübergestellt. Mit den Verhältnissen der Fangfehler $(1-W_1)/(1-W_2)$ wird also dargestellt, um welchen Faktor F die nach DIN EN 62305-3 [1] geplanten Fangstangen hinsichtlich ihrer Einfangwirksamkeit besser bzw. effektiver sind, als in der Normenreihe selbst unterstellt. Dabei muss jedoch berücksichtigt werden, dass diese Werte für den Faktor F von der Geometrie der baulichen Anlage (Länge, Breite, Höhe, Dachneigung, Dachaufbauten, etc.) abhängen, also nur für das konkrete Beispieldach gelten, aber keinesfalls allgemeingültig für die einzelnen Schutzklassen eines LPS sind.

5 Zusammenfassung

Das vorgestellte dynamische elektro-geometrische Modell verwendet vorhandene und in internationalen Normen anerkannte Ergebnisse, Zusammenhänge und Untersuchungen. Auf dieser Grundlage wurde ein numerisches Verfahren erarbeitet, das an den verschiedenen Punkten einer Gebäudeoberfläche die realen Einschlagwahrscheinlichkeiten berechnet. Wie erwartet sind die Ecken und Kanten eines Gebäudes deutlich stärker gefährdet als die flachen Dachebenen.

Mit Hilfe des dynamischen elektro-geometrischen Modells wird gezeigt, dass die Einfangwirksamkeiten 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 [2, 3]. 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 Einschlagshäufigkeit direkt dazu liefert. Andererseits bedeutet dies jedoch auch, dass man mit dem klassischen Blitzkugel-Verfahren stets auf der „sicheren Seite“ liegt.

Schließlich können die hier dargestellten Ergebnisse auch dazu beitragen, ein besseres Verständnis der „Wirksamkeit“ von nicht-konventionellen Fangeinrichtungen (ESE-AT = Early Streamer Emission Fangeinrichtungen) zu erhalten. Die Wirksamkeit von ESE-Fangeinrichtungen wird häufig empirisch begründet: aus der hohen Anzahl von installierten Systemen und der (angeblich) geringen Anzahl von Fangfehlern lasse sich doch die sehr gute Funktionalität direkt ableiten. Die geringe Anzahl von Fangfehlern ist jedoch verständlich, wenn man sich die Installationen von ESE-Fangeinrichtungen genauer betrachtet. Es sind eben auch hohe Fangstangen, die an den höchsten Stellen der Gebäude platziert werden, also dort, wo auch grundsätzlich hohe Einfangwirksamkeiten für stromstarke Blitzentladungen bestehen. Dort wirken sie gemäß der aktuellen Auffassung des internationalen Normenkomitees IEC TC81 ebenso wie klassische (Franklin-)

Fangstangen (siehe IEC 62305-3 Ed. 2:2010-12 [6]), auch ohne dass eine wirksame Vorionisation, also ein Blitztrigger-Effekt, einsetzt. Man könnte sie also wohl auch einfach durch Franklin-Fangstangen ersetzen, ohne den Schutz zu verschlechtern.

6 Literatur

- [1] DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3): 2006-10: Blitzschutz – Teil 3: Schutz von baulichen Anlagen und Personen.
- [2] DIN EN 62305-2 (VDE 0185-305-2): 2006-10: Blitzschutz – Teil 2: Risikomanagement.
- [3] DIN EN 62305-1 (VDE 0185-305-1): 2006-10: Blitzschutz – Teil 1: Allgemeine Grundsätze.

- [4] Wettingfeld, J.; Kern, A.; Krämer, H.-J.; Thormählen, R.: International anerkannte Blitzschutznormen; Ausgewogener und sicherer Schutz. de, Heft 13-14/2009.
- [5] 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. 30th International Conference on Lightning Protection (ICLP), Cagliari, IT. 2010.
- [6] IEC 62305-3 Ed. 2: 2010-12: Protection against lightning – Part 3: Physical damage to structures and life hazard.

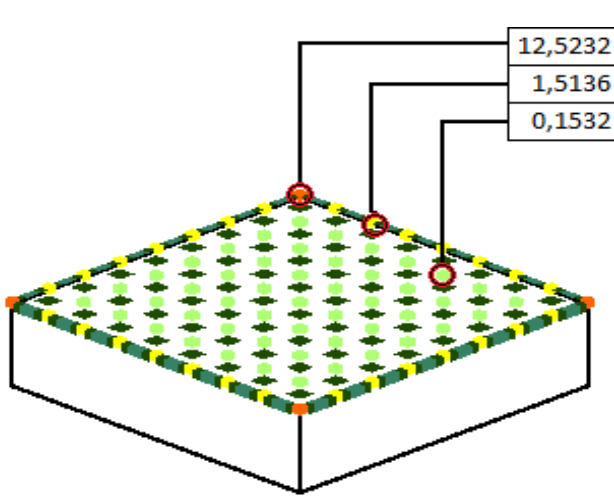


Bild 6 Einfangwirksamkeiten [in %] für Schutzklasse I, Abstand der Fangstangen $d = 5\text{m}$, Höhe $h = 30\text{cm}$ – 99,97% der Blitzeinschläge erfolgen in die 81 Fangstangen.

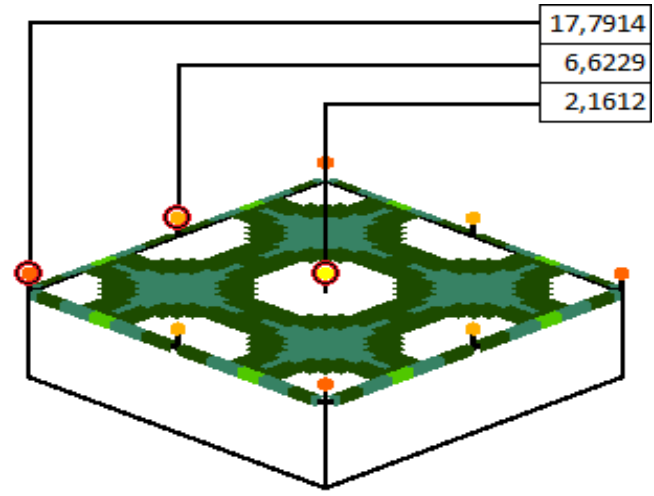


Bild 8 Einfangwirksamkeiten [in %] für Schutzklasse III, Abstand der Fangstangen $d = 20\text{m}$, Höhe $h = 2,3\text{m}$ – 99,81% der Blitzeinschläge erfolgen in die neun Fangstangen.

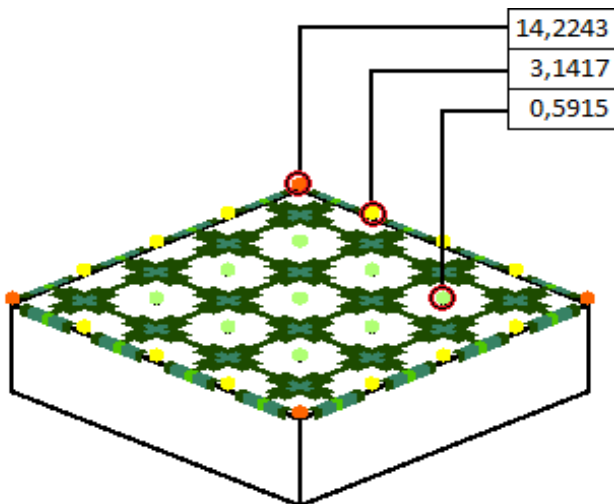


Bild 7 Einfangwirksamkeiten [in %] für Schutzklasse II, Abstand der Fangstangen $d = 10\text{m}$, Höhe $h = 90\text{cm}$ – 99,92% der Blitzeinschläge erfolgen in die 25 Fangstangen.

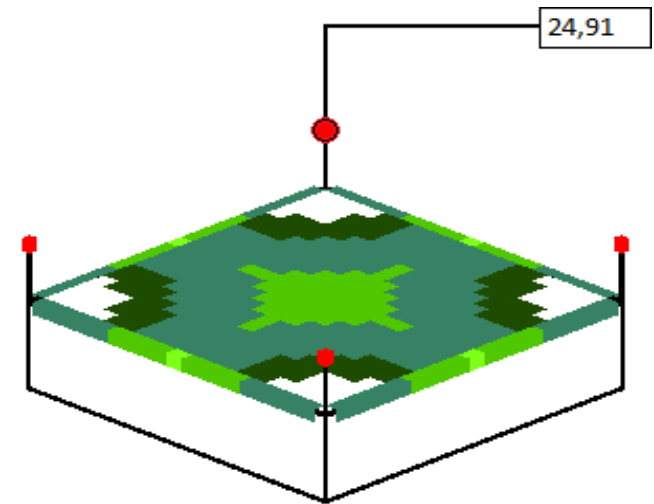


Bild 9 Einfangwirksamkeiten [in %] für Schutzklasse IV, Abstand der Fangstangen $d = 40\text{m}$, Höhe $h = 7,1\text{m}$ – 99,65% der Blitzeinschläge erfolgen in die vier Fangstangen.