

Abschätzung des Schadensrisikos für bauliche Anlagen

Die neue Bestimmung DIN V VDE V 0185 Teil 2:2002 – Allgemeines, Abschätzungsverfahren, Berechnungsbeispiele

Prof. Dr.-Ing. Alexander Kern
Fachhochschule Aachen, Abt. Jülich

1. Risikomanagement

Ein vorausschauendes Risikomanagement beinhaltet, Risiken für das Unternehmen zu kalkulieren. Es liefert Entscheidungsgrundlagen, um diese Risiken zu begrenzen und es macht transparent, welche Risiken sinnvollerweise über Versicherungen abgedeckt werden sollten. Beim Versicherungsmanagement ist jedoch zu bedenken, dass zur Erreichung bestimmter Ziele Versicherungen nicht immer geeignet sind (z.B. Erhaltung der Lieferfähigkeit). Eintrittswahrscheinlichkeiten bestimmter Risiken lassen sich durch Versicherungen nicht verändern.

Bei Unternehmen, die mit umfangreichen elektronischen Einrichtungen produzieren oder Dienstleistungen erbringen (und das sind heutzutage wohl die meisten), muss auch das Risiko durch Blitzeinwirkungen besondere Berücksichtigung finden. Dabei ist zu beachten, dass der Schaden aufgrund der Nicht-Verfügbarkeit der elektronischen Einrichtungen und damit der Produktion bzw. der Dienstleistung und ggf. der Verlust von Daten den Hardware-Schaden an der betroffenen Anlage oft bei weitem übersteigt.

Im Blitzschutz gewinnt innovatives Denken in Schadensrisiken langsam an Bedeutung. Risikoanalysen haben die Objektivierung und Quantifizierung der Gefährdung von baulichen Anlagen und ihrer Inhalte durch direkte und indirekte Blitzeinschläge zum Ziel. Seinen Niederschlag hat dieses neue Denken in der neuen deutschen Vornorm DIN V 0185-2 VDE V 0185 Teil 2 [1] gefunden. Die hier vorgegebene Risikoanalyse gewährleistet, dass ein für alle Beteiligten nachvollziehbares Blitzschutz-Konzept erstellt werden kann, das technisch und wirtschaftlich optimiert ist, d.h. bei möglichst geringem Aufwand den notwendigen Schutz gewährleisten kann. Die sich aus der Risikoanalyse ergebenden Schutzmaßnahmen sind dann in den weiteren Normenteilen der neuen Reihe VDE V 0185 [2, 3] detailliert beschrieben.

2. Grundlagen der Risikoabschätzung

Das Risiko R für einen Blitzschaden ergibt sich allgemein nach VDE V 0185 Teil 2 [1] aus der Beziehung:

$$R = N \cdot P \cdot d \quad (\text{Gl. 1})$$

- mit:
- N** Häufigkeit eines Blitzeinschlags in die jeweilig zu betrachtende Fläche (Wie viele Blitzeinschläge treten pro Jahr in der zu betrachtenden Fläche auf ?);
 - P** Schadenswahrscheinlichkeit (Mit welcher Wahrscheinlichkeit richtet ein Blitzeinschlag einen ganz bestimmten Schaden an ?);
 - d** Schadensfaktor zur quantitativen Bewertung der Schäden (Welche Auswirkungen, Schadenshöhe, Ausmaß, Konsequenzen hat ein ganz bestimmter Schaden ?).

Die Aufgabe der Risikoabschätzung umfasst also die Bestimmung der drei Parameter N , P und δ für alle relevanten Risiko-Komponenten. Dabei sind viele Einzelparameter zu ermitteln und festzulegen. Über einen Vergleich des so ermittelten Risikos R mit einem akzeptierbaren Risiko R_a können dann Aussagen über die Erfordernisse und die Dimensionierung von Blitzschutzmaßnahmen getroffen werden.

3. Häufigkeiten von Blitzeinschlägen

Man unterscheidet folgende Häufigkeiten von Blitzeinschlägen, die relevant für eine bauliche Anlage sein können:

- N_D** Häufigkeit von direkten Blitzeinschlägen in die bauliche Anlage;
- N_M** Häufigkeit naher Blitzeinschläge mit magnetischen Wirkungen;
- N_L** Häufigkeit von direkten Blitzeinschlägen in eingeführte Versorgungsleitungen;
- N_I** Häufigkeit von Blitzeinschlägen neben eingeführten Versorgungsleitungen.

Die Berechnung der Häufigkeiten von Blitzeinschlägen ist detailliert in Anhang A der VDE V 0185 Teil 2 dargestellt. Man geht zunächst aus von der jährlichen Dichte der Erdblitze N_g für das betreffende Gebiet (Bild 1, vgl. dazu auch Anhang E der VDE V 0185 Teil 2).

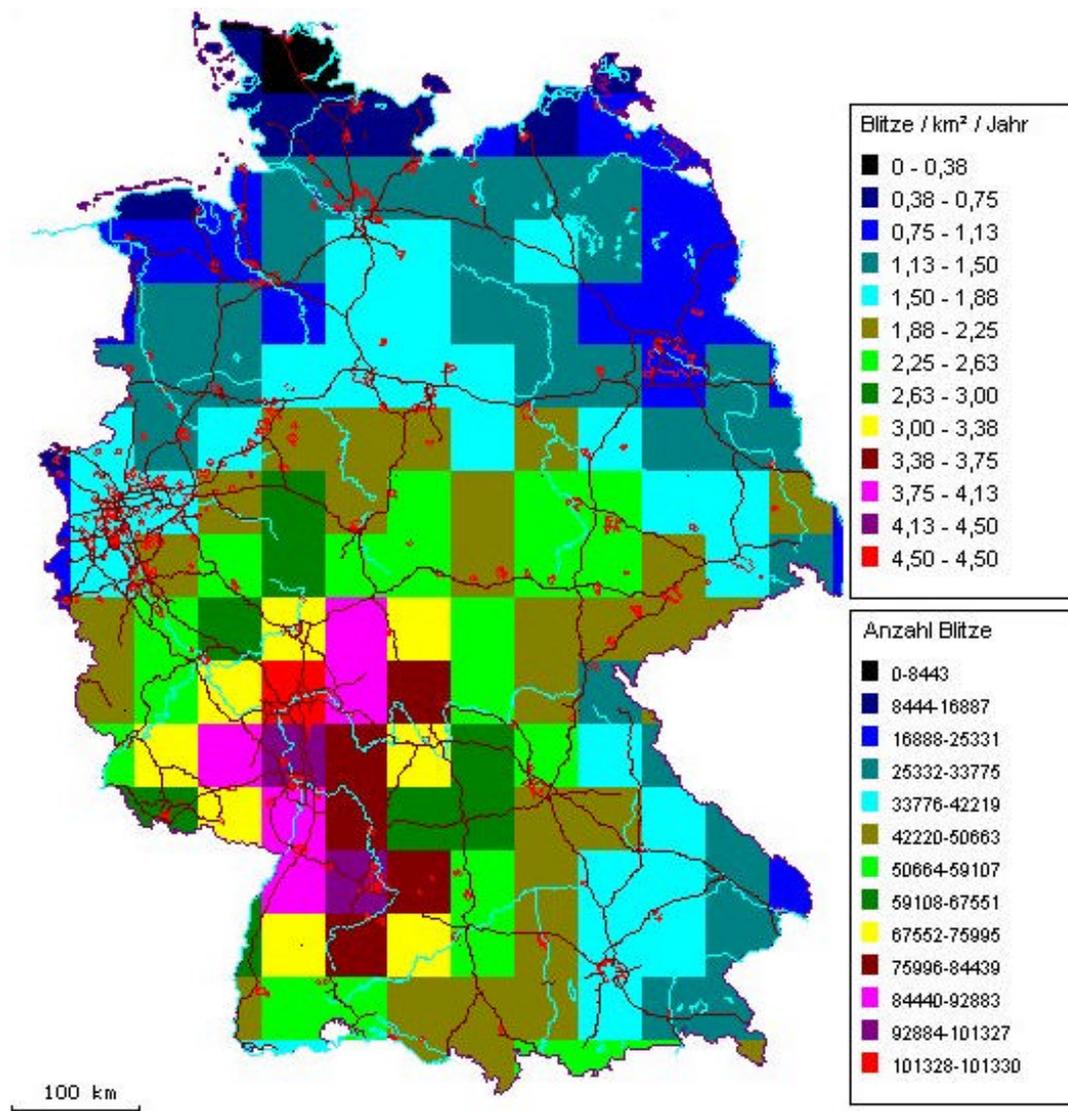


Bild 1: Erdblitzdichte N_g je km² und Jahr in Deutschland: Blitzstatistik von BLIDS für die Jahre 1992 bis 2000 im Raster 50 km x 50 km [5].
Wiedergabe mit der freundlichen Erlaubnis von BLIDS (www.blids.de).

Dann gilt für die Häufigkeit direkter Blitzeinschläge N_D in die bauliche Anlage:

$$N_D = N_g \cdot A_d \cdot C_d \quad (\text{Gl. 2})$$

A_d ist die äquivalente Fangfläche der freistehenden baulichen Anlage (**Bild 2**), C_d ein Umgebungskoeffizient, mit dem der Einfluss der Umgebung (Bebauung, Gelände, Bäume, etc.) berücksichtigt werden kann (**Tabelle 1**). Die Berechnung von N_D entspricht damit dem bereits aus der VDE V 0185 Teil 100 [4] bekannten Verfahren.

In ähnlicher Weise lässt sich die Häufigkeit naher Blitzeinschläge N_M berechnen:

$$N_M = N_g \cdot A_m.$$

(Gl. 3)

A_m ergibt sich, wenn um die bauliche Anlage herum eine Linie im Abstand von 500 m gezogen wird (Bild 3). Von der damit eingeschlossenen Fläche wird die mit dem Umgebungskoeffizienten bewertete äquivalente Fangfläche der baulichen Anlage A_d C_d abgezogen. Blitzeinschläge in die Fläche A_m führen ausschließlich zu magnetisch induzierten Überspannungen in Installationsschleifen im Inneren der baulichen Anlage.

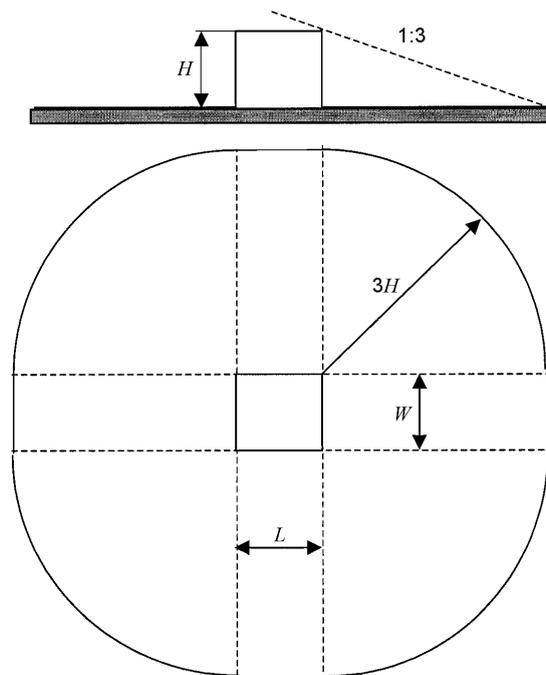


Bild 2: Äquivalente Einfangfläche A_d für direkte Blitzeinschläge in eine freistehende bauliche Anlage.

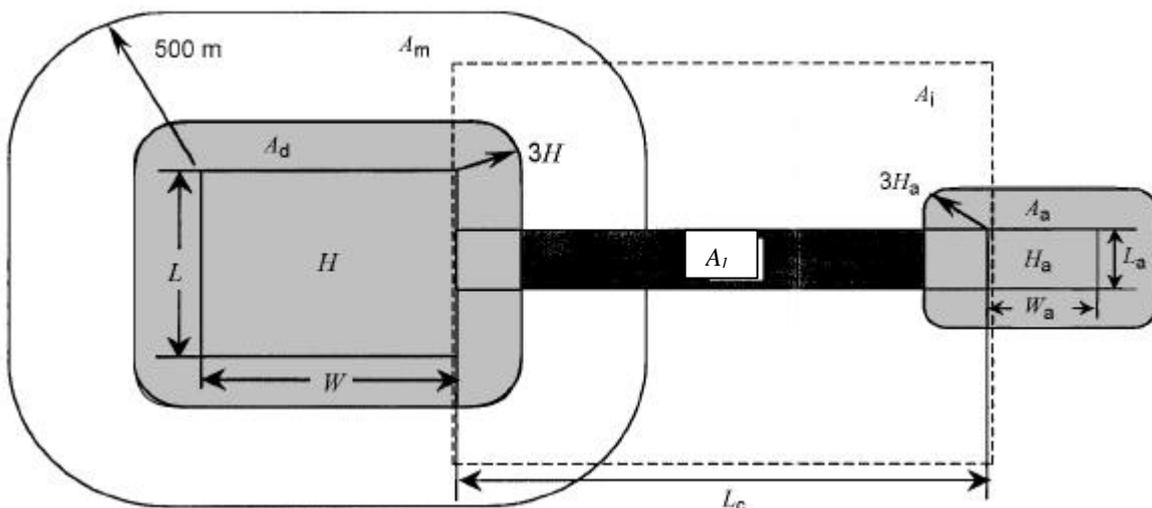


Bild 3: Äquivalente Einfangflächen A_m , A_i , A_j für indirekte Blitzeinschläge bezüglich der baulichen Anlage.

Tabelle 1: Umgebungsfaktor C_d .

Relative Lage der baulichen Anlage	C_d
Bauliche Anlage in einem großen Gebiet mit Gebäuden oder Objekten gleicher oder größerer Höhe (Türme, Wald, ...)	0,25
Bauliche Anlage umgeben von kleineren Gebäuden	0,5
Freistehende bauliche Anlage, keine weiteren Gebäude oder Objekte innerhalb einer Entfernung von $3H$ von der Anlage	1
Freistehende bauliche Anlage auf einer Bergspitze oder einer Kuppe	2

Tabelle 2: Äquivalente Fangflächen A_l und A_i in m^2 .

	Freileitung	Erdverlegtes Kabel
A_l	$[L_c - 3 \cdot (H + H_a)] \cdot 6 \cdot H_c$	$[L_c - 3 \cdot (H + H_a)] \cdot 0,4 \cdot \sqrt{r}$
A_i	$L_c \cdot 100 \cdot \sqrt{r}$	$L_c \cdot 50 \cdot \sqrt{r}$

H_c Höhe (m) der Leitung über Erdboden;

r spezifischer Widerstand (Ωm) des Erdbodens, in oder auf dem die Leitung verlegt ist, bis zu einem maximalen Wert von $r = 500 \Omega m$;

L_c Länge (m) der Leitung, gemessen von der baulichen Anlage bis zum ersten Verteilungsknoten bzw. zur ersten Stelle, an der Überspannungs-Schutzgeräte installiert sind, bis zu einer maximalen Länge von 1000 m;

H Höhe (m) der baulichen Anlage;

H_a Höhe (m) der benachbarten baulichen Anlage, die über die Leitung verbunden ist.

Die Häufigkeit von direkten Blitzeinschlägen in eine eingeführte Versorgungsleitung N_L ergibt sich zu:

$$N_L = N_g \cdot (A_l \cdot C_s + A_a \cdot C_d) \cdot C_t \quad (\text{Gl. 4})$$

Die Fläche A_l (Bild 3) ist abhängig vom Leitungstyp (Freileitung, Kabel), von der Länge L_c der Leitung, bei Kabeln vom spezifischen Erdbodenwiderstand ρ und bei Freileitungen von der Höhe H_c der Leitung über Grund (siehe Tabelle 2). Ist die Länge der Leitung nicht bekannt oder nur sehr aufwändig zu ermitteln, so kann als worst-case ein Wert von $L_c = 1000$ m gesetzt werden. Der Wert für A_l ist ggf. noch zu vergrößern um den Wert der äquivalenten Fangfläche A_a der benachbarten baulichen Anlage, die über die betrachtete Leitung verbunden wird.

Befindet sich innerhalb der Fläche A_i keine Nieder-, sondern eine Mittelspannungsleitung, so wird durch den dann erforderlichen Transformator die Höhe der Überspannungen am Eintritt in die bauliche Anlage reduziert. Dies wird in solchen Fällen über den Korrekturfaktor $C_t = 0,25$ berücksichtigt. Der Korrekturfaktor C_s schließlich ist abhängig von der Bebauungsdichte. In städtischen Gebieten ($C_s = 0,2$) ist die Exposition von in bauliche Anlagen eingeführten Versorgungsleitungen bezüglich Blitzeinwirkungen geringer als in ländlichen Gebieten ($C_s = 1$).

Die Häufigkeit N_L ist für jede Versorgungsleitung, die in die bauliche Anlage eingeführt wird, einzeln zu ermitteln. Blitzeinschläge innerhalb der Fläche ($A_i + A_a$) führen in der betrachteten baulichen Anlage zu einer in der Regel energiereichen Entladung, die ein Feuer, eine Explosion, eine mechanische oder chemische Wirkung erzeugen kann. Die Häufigkeit N_L beinhaltet also nicht reine Überspannungen mit der Folge von Fehlern oder Schäden an den elektrischen und elektronischen Systemen, sondern mechanische und thermische Effekte bei Blitzeinwirkung.

Überspannungen an eingeführten Versorgungsleitungen werden durch die Häufigkeit von Blitzeinschlägen neben einer eingeführten Versorgungsleitung N_I beschrieben:

$$N_I = N_g \cdot (A_i - A_l) \cdot C_t \cdot C_s \quad (\text{Gl. 5})$$

Die Fläche A_i (Bild 3) ist wieder abhängig vom Leitungstyp (Freileitung, Kabel), von der Länge L_c der Leitung, bei Kabeln vom spezifischen Erdbodenwiderstand ρ und bei Freileitungen von der Höhe H_f der Leitung über Grund (siehe Tabelle 2). Es gelten die gleichen worst-case Annahmen. Die Fläche A_i ist üblicherweise wesentlich größer als A_l . Damit wird dem Umstand Rechnung getragen, dass Überspannungen mit der Folge von Fehlern oder Schäden an den elektrischen und elektronischen Systemen auch noch durch weiter von der Leitung entfernte Blitzeinschläge verursacht werden können.

Die Korrekturfaktoren C_t und C_s entsprechen den bereits oben genannten. Die Häufigkeit N_I ist dann ebenfalls für jede Versorgungsleitung, die in die bauliche Anlage eingeführt wird, einzeln zu ermitteln.

4. Schadenswahrscheinlichkeiten

Der Parameter Schadenswahrscheinlichkeit gibt an, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein angenommener Blitzeinschlag einen ganz bestimmten Schaden verursacht. Der Blitzeinschlag in die relevante Fläche wird also vorausgesetzt; der Wert der

Schadenswahrscheinlichkeit darf dann maximal 1 betragen. Unterschieden werden die folgenden acht Schadenswahrscheinlichkeiten:

- P_A** Elektrischer Schock von Lebewesen durch einen direkten Blitzeinschlag in die bauliche Anlage;
- P_B** Feuer, Explosion, mechanische und chemische Wirkung durch einen direkten Blitzeinschlag in die bauliche Anlage;
- P_C** Störungen an elektrischen/elektronischen Systemen durch einen direkten Blitzeinschlag in die bauliche Anlage;
- P_M** Störungen an elektrischen/elektronischen Systemen durch einen Blitzeinschlag in den Erdboden neben der baulichen Anlage;
- P_U** Elektrischer Schock von Lebewesen durch einen direkten Blitzeinschlag in eine eingeführte Versorgungsleitung;
- P_V** Feuer, Explosion, mechanische und chemische Wirkung durch einen direkten Blitzeinschlag in eine eingeführte Versorgungsleitung;
- P_W** Störungen an elektrischen/elektronischen Systemen durch einen direkten Blitzeinschlag in eine eingeführte Versorgungsleitung;
- P_Z** Störungen an elektrischen/elektronischen Systemen durch einen Blitzeinschlag in den Erdboden neben einer eingeführten Versorgungsleitung.

Die Schadenswahrscheinlichkeiten ergeben sich aus unterschiedlichen Kombinationen von einfachen (Basis-) Wahrscheinlichkeiten p_x und Reduktionsfaktoren r_x . Die Gleichungen und die benötigten Parameterwerte sind detailliert in Anhang B der VDE V 0185 Teil 2 dargestellt. Eine Übersicht gibt Tabelle 3.

Die einfachen Wahrscheinlichkeiten werden durch blitzschutz-technisch relevante Charakteristika in, an und außerhalb der baulichen Anlage bestimmt, die aber noch keine Schutzmaßnahmen im eigentlichen Sinne darstellen. Folgende einfache Wahrscheinlichkeiten werden angesetzt:

- p_a** für Berührungs- und Schrittspannungen außerhalb der baulichen Anlage (Oberflächenbeschaffenheit);
- p_u** für Berührungs- und Schrittspannungen innerhalb der baulichen Anlage (Bodenbeschaffenheit);
- p_s** zur Berücksichtigung der Schirmungseigenschaften der baulichen Anlage (Holz, Ziegel, Beton, Stahlkonstruktion, Dachaufbauten, etc.);

- p_i zur Berücksichtigung der Eigenschaften der internen Leitungen und Installationen (ungeschirmte Leitungen, geschirmte Leitungen, Kabelkanäle, Lichtwellenleiter);
- p_e zur Berücksichtigung der Eigenschaften der von außen eingeführten Versorgungsleitungen (ungeschirmte Leitungen, geschirmte Leitungen, Kabelkanäle, Lichtwellenleiter);
- p_f für die Wahrscheinlichkeit, dass eine gefährliche Entladung ein Feuer bzw. eine andere physikalische Wirkung (Explosion, mechanische oder chemische Wirkung) innerhalb der baulichen Anlage hervorruft;
- p_w zur Berücksichtigung der Spannungsfestigkeit der Einrichtungen innerhalb der baulichen Anlage.

Tabelle 3: Berechnung der Schadenswahrscheinlichkeiten P_y aus den einfachen Wahrscheinlichkeiten p_x und den Reduktionsfaktoren r_x .

Schadens- ursache	Blitzeinschlag (bezogen auf die bauliche Anlage)			
	Direkt	Indirekt		
	S1 direkter Blitz- einschlag in bauliche Anlage	S2 Blitzeinschlag in den Erdboden neben baulicher Anlage	S3 direkter Blitz- einschlag in eingeführte Versorgungs- leitung	S4 Blitzeinschlag in den Erdboden neben eingeführter Versorgungs- leitung
C1 Elektrischer Schock von Lebewesen	$P_A = p_a \cdot r_a \cdot p_s \cdot r_s$		$P_U = p_u \cdot p_e \cdot r_e$	
C2 Feuer, Explosion, mechanische und chemische Wirkungen	$P_B = p_f \cdot r_f \cdot [1 - (1 - p_s \cdot r_s) \cdot (1 - p_e \cdot r_e)]$		$P_V = p_e \cdot r_e \cdot p_f \cdot r_f$	
C3 Störungen an elektrischen und elektronischen Systemen	$P_C = 1 - (1 - p_i \cdot p_s \cdot r_s \cdot p_w \cdot r_w) \cdot (1 - p_e \cdot r_e \cdot p_w \cdot r_w)$	$P_M = p_i \cdot p_s \cdot r_s \cdot p_w \cdot r_w$	$P_W = p_e \cdot r_e \cdot p_w \cdot r_w$	$P_Z = p_e \cdot r_e \cdot p_w \cdot r_w$

Konkrete Schutzmaßnahmen reduzieren die genannten einfachen Wahrscheinlichkeiten (Reduktionsfaktoren). Bewertet werden:

- r_s ein Blitzschutzsystem nach VDE V 0185 Teil 3;
- r_e Überspannungsschutz (Überspannungs-Schutzgeräte, Isoliertransformatoren) am Eingang der eingeführten Versorgungsleitungen in die bauliche Anlage;

- r_w Überspannungsschutz (Überspannungs-Schutzgeräte, Isoliertransformatoren) an den internen Einrichtungen;
- r_a Maßnahmen gegen Berührungs- und Schrittspannungen;
- r_f Maßnahmen zur Eindämmung der Auswirkungen eines Feuers.

Um das Zusammenspiel der einfachen Wahrscheinlichkeiten und Reduktionsfaktoren zu erläutern, sei beispielhaft die Schadenswahrscheinlichkeit P_B für Feuer, Explosion, mechanische und chemische Wirkung durch einen direkten Blitzeinschlag in die bauliche Anlage analysiert:

$$P_B = p_f \cdot r_f \cdot [1 - (1 - p_s \cdot r_s) \cdot (1 - p_e \cdot r_e)] \quad (\text{Gl. 6})$$

Bei einem direkten Blitzeinschlag können gefährliche Entladungen überall innerhalb der baulichen Anlage ($p_s \cdot r_s$) und an den Eingängen der eingeführten Versorgungsleitungen ($p_e \cdot r_e$) auftreten.

- Die Wahrscheinlichkeit einer gefährlichen Entladung im Inneren der baulichen Anlage wird zunächst bestimmt durch deren Bauform (Parameter p_s). Reduziert werden kann dieser Wert durch die Schutzmaßnahme „Blitzschutzsystem“ (Parameter r_s).
- Das (äußere) Blitzschutzsystem hat allerdings keinen Einfluss auf die Funkenbildung an den Eingängen der eingeführten Versorgungsleitungen in die bauliche Anlage (wohlgemerkt: es wird stets der direkte Blitzeinschlag in die bauliche Anlage selbst vorausgesetzt). Diese Funkenbildung hängt ab von der Charakteristik der eingeführten Versorgungsleitungen (Parameter p_e) und wird durch die Schutzmaßnahme „Überspannungsschutz“ (Parameter r_e) reduziert.

Die beiden einzelnen Wahrscheinlichkeiten $p_s \cdot r_s$ und $p_e \cdot r_e$ sind voneinander unabhängig; es reicht aber die Existenz nur einer gefährlichen Entladung aus, so dass sie superpositioniert werden müssen (ODER-Verknüpfung). Allerdings können sie dabei nicht einfach addiert werden, sondern es muss die nach der Wahrscheinlichkeitsrechnung korrekte Beziehung $[1 - (1 - p_s \cdot r_s) \cdot (1 - p_e \cdot r_e)]$ genommen werden.

Bis hierhin wurde die Wahrscheinlichkeit berechnet, dass eine gefährliche Entladung in der baulichen Anlage auftritt. Nicht jede dieser gefährlichen Entladungen führt zu Feuer, Explosion, mechanischer oder chemischer Wirkung. Dies wird nun dargestellt durch die exakt so definierte einfache Wahrscheinlichkeit p_f und die entsprechenden Schutzmaßnahmen zur Eindämmung eines Feuers (Parameter r_f). Das Produkt $p_f \cdot r_f$ geht nun allerdings streng multiplikativ in die Schadenswahrscheinlichkeit P_B ein, da die beiden

Ereignisse „Auftreten einer gefährlichen Entladung“ und „Feuer, etc. durch eine gefährliche Entladung“ zwar wieder voneinander unabhängig sind, aber beide gleichzeitig erfüllt sein müssen, damit der Schaden eintritt (UND-Verknüpfung). Es ergibt sich damit die vollständige Beziehung aus (Gl. 6).

5. Schadensarten und Schadensursachen

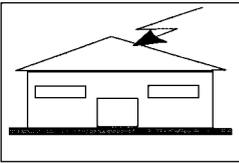
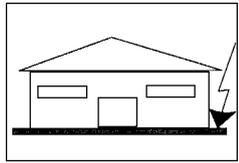
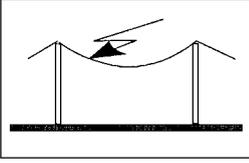
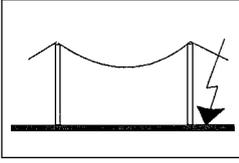
Je nach Bauart, Nutzung und Wesen der baulichen Anlage können die Schadensarten, die relevant sind, sehr unterschiedlich sein. Die VDE V 0185 Teil 2 kennt die folgenden vier Schadensarten:

- D1** Verlust von Menschenleben (Verletzung oder Tod von Personen);
- D2** Verlust von Dienstleistungen für die Öffentlichkeit;
- D3** Verlust von unersetzlichem Kulturgut;
- D4** Wirtschaftliche Verluste.

Die genannten Schadensarten können durch folgende Schadensursachen hervorgerufen werden:

- C1** Elektrischer Schock von Mensch oder Tier, verursacht durch Berührungs- und Schrittspannungen;
- C2** Physikalische Schäden (Feuer, Explosion, mechanische oder chemische Wirkung), durch die Einwirkung des Blitzstroms einschließlich der Funkenbildung;
- C3** Störungen von elektrischen und elektronischen Systemen durch Überspannungen.

Die Schadensursachen stellen damit in einer Kausalbeziehung die „Ursache“ im eigentlichen Sinne dar, die Schadensarten die „Wirkung“ (siehe Bild 4). Die möglichen Schadensursachen für eine Schadensart können sehr vielfältig sein. Es müssen daher zunächst die relevanten Schadensarten für eine bauliche Anlage definiert werden. Daran anschließend lassen sich die zu bestimmenden Schadensursachen festlegen.

Einschlagstelle	Beispiel	Schadens- quelle	Schadens- ursache	Schadens- art
Bauliche Anlage		S1	C1 C2 C3	D1, D4 ^b D1, D2, D3, D4 D1 ^a , D2, D4
Erdboden neben baulicher Anlage		S2	C3	D1 ^a , D2, D4
Eingeführte Versorgungsleitung		S3	C1 C2 C3	D1 D1, D2, D3, D4 D1 ^a , D2, D4
Erdboden neben eingeführter Versorgungsleitung		S4	C3	D1 ^a , D2, D4

^a Im Falle von Krankenhäusern und explosionsgefährdeten baulichen Anlagen.

^b Im Falle von landwirtschaftlichen Anwesen (Verluste von Tieren).

Schadensquelle in Bezug auf die Einschlagstelle

- S1 direkter Blitzeinschlag in die bauliche Anlage;
- S2 Blitzeinschlag in den Erdboden neben der baulichen Anlage;
- S3 direkter Blitzeinschlag in die eingeführte Versorgungsleitung;
- S4 Blitzeinschlag in den Erdboden neben der eingeführten Versorgungsleitung.

Schadensursache

- C1 elektrischer Schock von Lebewesen durch Berührungs- und Schrittspannungen;
- C2 Feuer, Explosion, mechanische und chemische Wirkungen durch physikalische Auswirkungen der Blitzenladung;
- C3 Störungen von elektrischen und elektronischen Systemen durch Überspannungen.

Schadensart

- D1 Verletzung oder Tod von Personen;
- D2 Verlust von Dienstleistungen für die Öffentlichkeit;
- D3 Verlust von unersetzlichem Kulturgut;
- D4 wirtschaftliche Verluste.

Bild 4: Schadensursachen und Schadensarten in Abhängigkeit von der Einschlagstelle.

6. Schadensfaktor

Ist ein bestimmter Schaden in einer baulichen Anlage eingetreten, so ist die Auswirkung dieses Schadens zu bewerten. So kann z.B. ein Fehler oder Schaden an einer DV-Anlage (Schadensart D4: wirtschaftliche Verluste) sehr unterschiedliche Konsequenzen nach sich ziehen. Sofern keine geschäftsrelevanten Daten verloren gehen, ist ggf. lediglich der Hardware-Schaden in Höhe von wenigen Tausend € zu beklagen. Hängt allerdings das gesamte Geschäft einer Unternehmung von einer ständigen Verfügbarkeit der DV-Anlage ab (Call-Center, Bank, Automatisierungstechnik), so addiert sich zum Hardware-Schaden ein ungleich höherer Folgeschaden durch Kundenunzufriedenheit, Kundenabwanderung, Entgang von Geschäftsvorgängen, Produktionsausfall, etc.).

Zur Bewertung der Schadensauswirkung dient der Schadensfaktor δ . Je nach relevanter Schadensart werden damit das Ausmaß eines Schadens, die Schadenshöhe oder die Konsequenzen bewertet. In Anhang C der VDE V 0185 Teil 2 sind die Berechnungsgrundlagen für die Schadensfaktoren der vier Schadensarten angegeben. Häufig ist eine Anwendung der Gleichungen allerdings äußerst aufwändig. Für übliche Fälle werden deshalb im genannten Anhang C auch typische Werte für δ , abhängig von der zugrunde liegenden Schadensursache, vorgeschlagen.

7. Relevante Risiko-Komponenten bei unterschiedlichen Blitzeinschlägen

Zwischen Schadensursache, Schadensart und sich daraus ergebenden relevanten Risiko-Komponenten besteht ein enger Zusammenhang. Zunächst soll dabei die Abhängigkeit von der Einschlagstelle der Blitzentladung und den daraus abzuleitenden Risiko-Komponenten dargestellt werden.

Schlägt der Blitz direkt in die bauliche Anlage ein, so entstehen folgende Risiko-Komponenten (siehe Tabelle 4):

- R_A** Risiko-Komponente für elektrischen Schock von Lebewesen bei direkten Blitzeinschlägen;
- R_B** Risiko-Komponente für physikalische Schäden bei direkten Blitzeinschlägen;
- R_C** Risiko für Störungen an elektrischen und elektronischen Systemen durch Überspannungen bei direkten Blitzeinschlägen.

Tabelle 4: Risiko-Komponenten für verschiedene Einschlagstellen (Schadensquellen) und Schadensursachen.

Schadens- quelle Schadens- ursache	Blitzeinschlag (bezogen auf die bauliche Anlage)				
	Direkt	Indirekt			
	S1 direkter Blitz- einschlag in bauliche Anlage	S2 Blitzeinschlag in den Erdboden neben baulicher Anlage	S3 direkter Blitz- einschlag in eingeführte Versorgungs- leitung	S4 Blitzeinschlag in den Erdboden neben eingeführter Versorgungs- leitung	
C1 Elektrischer Schock von Lebewesen	$R_A = N_D \cdot P_A \cdot d_b$		$R_U = N_L \cdot P_U \cdot d_l$		$R_s = R_A + R_U$
C2 Feuer, Explosion, mechanische und chemische Wirkungen	$R_B = N_D \cdot P_B \cdot h \cdot d$		$R_V = N_L \cdot P_V \cdot h \cdot d$		$R_f = R_B + R_V$
C3 Störungen an elektrischen und elektronischen Systemen	$R_C = N_D \cdot P_C \cdot d_b$	$R_M = N_M \cdot P_M \cdot d_b$	$R_W = N_L \cdot P_W \cdot d_b$	$R_Z = N_I \cdot P_Z \cdot d_b$	$R_o = R_C + R_M + R_W + R_Z$
	$R_d = R_A + R_B + R_C$	$R_i = R_M + R_U + R_V + R_W + R_Z$			

Schlägt der Blitz nahe der baulichen Anlage in den Erdboden bzw. die benachbarte Bebauung ein, so entsteht die Risiko-Komponente:

R_M Risiko für Störungen an elektrischen und elektronischen Systemen durch Überspannungen bei Blitzeinschlägen in den Erdboden neben der baulichen Anlage.

Schlägt der Blitz direkt in Versorgungsleitungen ein, die in die bauliche Anlage eingeführt werden, so entstehen die Risiko-Komponenten:

R_U Risiko-Komponente für elektrischen Schock von Lebewesen bei direkten Blitzeinschlägen in eingeführte Versorgungsleitungen;

R_V Risiko-Komponente für physikalische Schäden bei direkten Blitzeinschlägen in eingeführte Versorgungsleitungen;

R_W Risiko für Störungen an elektrischen und elektronischen Systemen durch Überspannungen bei direkten Blitzeinschlägen in eingeführte Versorgungsleitungen.

Schlägt der Blitz schließlich in den Erdboden neben den Versorgungsleitungen ein, die in die bauliche Anlage eingeführt werden, so entsteht die Risiko-Komponente:

R_Z Risiko für Störungen an elektrischen und elektronischen Systemen durch Überspannungen bei Blitzeinschlägen in den Erdboden neben eingeführten Versorgungsleitungen.

Die insgesamt acht Risiko-Komponenten (die grundsätzlich für jede Schadensart gesondert ermittelt werden müssen) lassen sich nun nach zwei unterschiedlichen Kriterien zusammenfassen: der Blitzeinschlagstelle und der Schadensursache.

Interessiert die Zusammenfassung nach der Blitzeinschlagstelle, so ergibt sich das Risiko:

- durch einen direkten Blitzeinschlag in die bauliche Anlage zu:

$$R_d = R_A + R_B + R_C ; \quad (\text{Gl. 7})$$

- durch einen indirekten Blitzeinschlag neben die bauliche Anlage zu:

$$R_i = R_M + R_U + R_V + R_W + R_Z . \quad (\text{Gl. 8})$$

Soll dagegen die Schadensursache untersucht werden, so lassen sich die Risiken wie folgt zusammenfassen:

- für elektrischen Schock von Mensch oder Tier, verursacht durch Berührungs- und Schrittspannungen:

$$R_s = R_A + R_U ; \quad (\text{Gl. 9})$$

- für Feuer, Explosion, mechanische und chemische Wirkung, verursacht durch mechanische und thermische Effekte bei Blitzeinwirkung:

$$R_f = R_B + R_V ; \quad (\text{Gl. 10})$$

- für Störungen von elektrischen und elektronischen Systemen, verursacht durch Überspannungen:

$$R_o = R_C + R_M + R_W + R_Z . \quad (\text{Gl. 11})$$

8. Akzeptierbares Schadensrisiko von Blitzschäden

Bei der Entscheidung über die Auswahl von Blitzschutzmaßnahmen ist zu prüfen, ob das für die jeweils relevanten Schadensarten ermittelte Schadensrisiko R einen akzeptierbaren (also noch tolerierbaren) Wert R_a überschreitet oder nicht. Für eine gegen Blitzeinwirkungen ausreichend geschützte bauliche Anlage muss gelten:

$$R \leq R_a \quad (\text{Gl. 12})$$

R stellt dabei die Summe über alle für die jeweilige Schadensart relevanten Risiko-Komponenten dar:

$$R = \sum R_n \quad (\text{Gl. 13})$$

Die VDE V 0185 Teil 2 unterscheidet dabei zwischen Ereignissen, die Verluste von öffentlichem Interesse nach sich ziehen können (Verletzung oder Tod von Personen, Verlust von Dienstleistungen, Verlust kultureller Werte - Schadensarten D1, D2, D3) und Ereignissen, bei denen nur privates bzw. geschäftliches Eigentum beschädigt wird (Schadensart D4). Im ersten Fall sind akzeptierbare Maximalwerte R_a von nationalen Behörden oder Organisationen festzulegen; VDE V 0185 Teil 2 gibt dafür typische Werte an. Im zweiten Fall ist die Festlegung von R_a Angelegenheit von Eigentümer bzw. Betreiber der baulichen Anlage in Zusammenarbeit mit dem Planer des Blitzschutzsystems.

9. Auswahl von Blitzschutzmaßnahmen

Die Maßnahmen des Blitzschutzes sollen dazu führen, dass das Schadensrisiko R auf Werte begrenzt wird, die unter dem akzeptierbaren Schadensrisiko R_a liegen. Durch die detaillierte Berechnung der Schadensrisiken für die für eine konkrete bauliche Anlage jeweils relevanten Schadensarten, d.h. durch die Aufteilung in die einzelnen Risiko-Komponenten R_A , R_B , R_C , R_M , R_U , R_V , R_W und R_Z , kann die Auswahl von Blitzschutzmaßnahmen äußerst gezielt vorgenommen werden.

Das Vorgehen zeigt das Flussdiagramm aus VDE V 0185 Teil 2 (Bild 5). Insbesondere wird dabei zunächst untersucht, ob das Risiko durch einen direkten Blitzeinschlag in die bauliche Anlage R_d das akzeptierbare Schadensrisiko R_a überschreitet. Ist dies der Fall, muss ein komplettes Blitzschutzsystem mit einem geeigneten Äußeren und Inneren Blitzschutz errichtet werden. Wenn R_d ausreichend klein ist, wird in einem zweiten Schritt überprüft, ob das Risiko durch einen indirekten Blitzeinschlag R_i das akzeptierbare Schadensrisiko R_a (noch) überschreitet. In diesem Fall sind dann (weitere) Schutzmaßnahmen (insbesondere Überspannungs-Schutzeinrichtungen) zur Verringerung von R_i zu installieren.

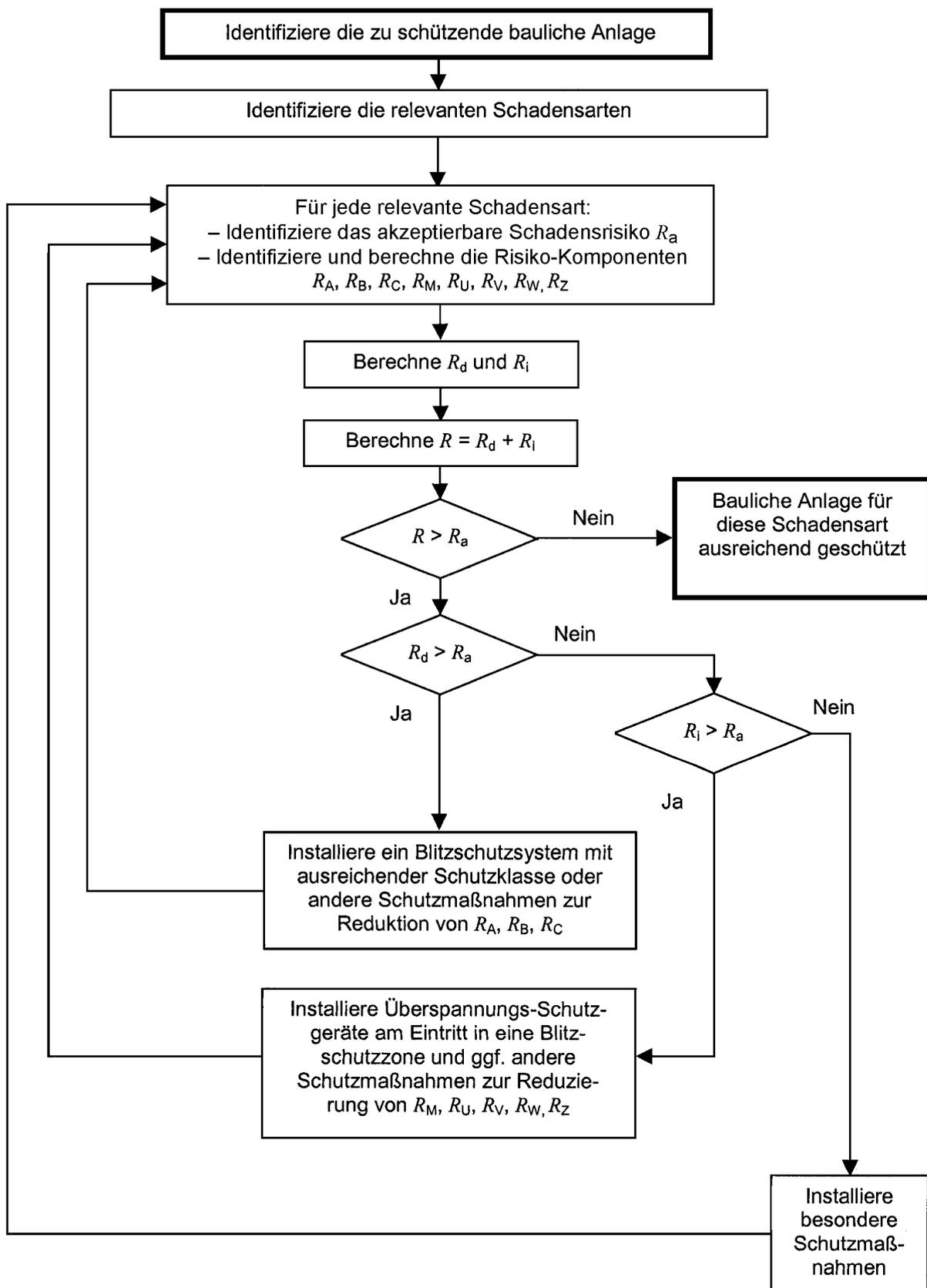


Bild 5: Flussdiagramm für die Auswahl von Schutzmaßnahmen.

Es können damit also jene Schutzmaßnahmen ausgewählt werden, die zu einer Verringerung solcher Risiko-Komponenten führen, die jeweils relativ hohe Werte aufweisen, d.h. Schutzmaßnahmen, deren Wirksamkeiten im untersuchten Fall vergleichsweise hoch sind.

AIXTHOR - Abschätzung des Schadensrisikos für bauliche Anlagen (VDE V 0185 Teil 2, November 2002)

Datei Ansicht Fenster Registrierung Infos ?

Schadenswahrscheinlichkeiten und Reduktionsfaktoren

Oberflächenbeschaffenheit außerhalb der baulichen Anlage (pa)	0,00001 Asphalt
Oberflächenbeschaffenheit innerhalb der baulichen Anlage (pu)	0,00100 Beton, Keramik
Charakteristik der baulichen Anlage (ps)	1,000 Ziegel, Mauerwerk, brennbare Materialien
Charakteristik der elektrischen Installationen innerhalb der Anlage (pi)	0,20 Ungeschirmte Kabel ohne Induktionsschleifen
Wahrscheinlichkeiten für Feuer, Explosion oder andere Zerstörung (pf)	0,010 Normales Risiko mechanischer und thermischer Effekte
Charakteristik der Isolationfestigkeit der Geräte (pw)	1,0 Isolationfestigkeit 1,5 kV
Reduktionsfaktoren für Feuerschutzmaßnahmen (rf)	0,360 Geschützte Fluchtwege, automatische Feuermeldeanlage
Reduktionsfaktoren für äußeres Blitzschutzsystem (rs)	1,00 Kein Blitzschutzsystem
Überspannungs-Schutzgeräte an Geräteeingängen (rw)	1,000 SPD nicht vorhanden (rw = 1,00)
Reduktionsfaktoren für Schutzmaßnahmen gegen Berührungs- und Schrittspannungen (ra)	1,000 Kein besonderen Schutzmaßnahmen

OK

Bauliche Anlage

Abmessungen der baulichen Anlage	Länge (m)	Breite (m)	Höhe (m)
	50,00	20,00	40,00
Spezifischer Bodenwiderstand (p e)	250,00	(min 100 - max 500)	
Blitzdichte (Ng)	3,750	Gewittertage	37,81
Korrekturfaktor bezüglich der Lage der baulichen Anlage (Cd)	0,50 kleinere Anlagen in der Umgebung		
Korrekturfaktor bezüglich der Umgebung der baulichen Anlage (Cs)	0,20 städtische Umgebung		

OK

Daten elektrischer Versorgungsleitungen

Leitungsnummer: 1 von 2

Leitungslänge (m): 200,00

Art der Versorgungsleitung: Freileitung Erdkabel

Korrekturfaktor Spannungsart (Ct): Hochspannung Niederspannung

Ausführung der Leitung (pe): 1,00 Ungeschirmte Kabel

Überspannungsschutz (re) am Eintritt in die Anlage: 1,000 SPD nicht vorhanden (re = 1,00)

Berücksichtigung der äquivalenten Fangfläche einer benachbarten Anlage: Ja Nein

OK

Speichern
Nächste
Zurück
Entfernen

Bild 6: Beispiele für Eingabefenster der AIXTHOR-Software zur VDE V 0185 Teil 2: 2002 (www.aixthor.com).

10. Beispiele

Die aufwändige und nicht immer einfache Anwendung des Verfahrens kann für die Praxis durch eine PC-gestützte Lösung deutlich verbessert werden. Die Verfahren und Daten aus VDE V 0185 Teil 2 wurden deshalb in einer AIXTHOR-Software (Bild 6) anwenderfreundlich umgesetzt und durch weitere Bausteine, die die Anwendung weiter erleichtern und verbessern, ergänzt.

Mit den nachfolgend aufgeführten zwei Beispielen, die in der AIXTHOR-Software hinterlegt sind, soll nur die Vorgehensweise beispielhaft dargestellt werden. Die gezeigten Lösungen sind in keiner Weise verbindlich und können durch andere, gleichwertige Lösungen ersetzt werden.

Bürogebäude Paderborn

Es handelt sich um ein rel. hohes Bürogebäude in der Stadt Paderborn. In der Variante 1 ist der Ausgangszustand dargestellt. Erwähnenswert sind insbesondere:

- die Blitzdichte wird für Paderborn zu 3,75 je Quadratkilometer und Jahr angenommen (nach VDE V 0185 Teil 2, Anhang E – der Wert ist noch mit einem Sicherheitszuschlag von 1,25 multipliziert);
- es sind noch keine Schutzmaßnahmen gegen Blitzeinwirkungen vorhanden, mit Ausnahme von Brandschutzmaßnahmen (geschützte Fluchtwege, autom. Feuermeldeanlage);
- als Schadensarten relevant sind D1: Verletzung oder Tod von Personen und D4: Wirtschaftliche Verluste;
- auf Grund der Gebäudehöhe kann Panikgefahr ($h = 10$) unterstellt werden.

Das Ergebnis der Variante 1 lautet, dass sowohl für die Schadensart D1 als auch für D4 das berechnete Schadensrisiko R noch deutlich über dem jeweils akzeptierbaren Schadensrisiko R_a liegt.

Variante 2 zeigt dann, welche Maßnahmen (als Beispiel !) möglich sind, um für beide Schadensarten $R < R_a$ zu erreichen:

- ein Blitzschutzsystem der Schutzklasse I nach VDE V 0185 Teil 3 ($r_s = 0,02$);
- Überspannungs-Schutzgeräte (hier: blitzstrom-tragfähige Ableiter) an den Eintrittspunkten der zwei externen Versorgungsleitungen ($r_e = 0,01$).

Krankenhaus Dortmund

Hier handelt es sich um ein Krankenhaus mit einer Intensivstation in der Stadt Dortmund. Zunächst ist in der Variante 1 wieder der Ausgangszustand dargestellt, gültig für das gesamte Krankenhaus (für die Intensivstation gelten erhöhte Anforderungen; diese sind Gegenstand von Variante 3). Erwähnenswert sind insbesondere:

- die Blitzdichte wird für Dortmund zu 2,35 je Quadratkilometer und Jahr angenommen (nach VDE V 0185 Teil 2, Anhang E – der Wert ist noch mit einem Sicherheitszuschlag von 1,25 multipliziert);
- es sind noch keine Schutzmaßnahmen gegen Blitzeinwirkungen vorhanden, mit Ausnahme von Brandschutzmaßnahmen (geschützte Fluchtwege, autom. Feuermeldeanlage);
- als Schadensarten relevant sind D1: Verletzung oder Tod von Personen und D4: Wirtschaftliche Verluste;
- die Schadensfaktoren gelten hier für das gesamte Krankenhaus, d.h. sie sind insbesondere nicht ausreichend für den Bereich der Intensivstation (diese wird in Variante 3 behandelt);
- es kann unabhängig von der Gebäudehöhe hier mit Schwierigkeiten bei der Evakuierung gerechnet werden ($h = 5$); einer Panik wird durch die rel. große Anzahl von Krankenhaus-Beschäftigten mit Notfalleinweisung wirkungsvoll begegnet.

Das Ergebnis der Variante 1 lautet, dass sowohl für die Schadensart D1 als auch für D4 das berechnete Schadensrisiko R noch deutlich über dem jeweils akzeptierbaren Schadensrisiko R_a liegt.

Variante 2 zeigt dann, welche Maßnahmen (als Beispiel !) möglich sind, um für beide Schadensarten $R < R_a$ zu erreichen:

- ein Blitzschutzsystem der Schutzklasse II nach VDE V 0185 Teil 3 ($r_s = 0,05$);
- Überspannungs-Schutzgeräte (hier: blitzstrom-tragfähige Ableiter) an den Eintritten der zwei externen Versorgungsleitungen ($r_e = 0,01$).

Die Maßnahmen der Variante 2 gelten nun für das gesamte Krankenhaus. Für den Bereich der Intensivstation gelten erhöhte Anforderungen. Diese werden in der Variante 3 wie folgt berücksichtigt:

- bei Schadensart D1 wird der Schadensfaktor $\delta_0 = 0,0005$ gewählt (bei den Varianten 1 und 2 ist $\delta_0 = 0$), da nun der Ausfall elektrischer und elektronischer Systeme unmittelbar zu einem Personenschaden führen kann (Personen auf der

Intensivstation, die auf lebensrettende bzw. lebenserhaltende Einrichtungen angewiesen sind).

Die Bedingung $R < R_a$ ist bei Variante 3 dann für beide Schadensarten erfüllt, wenn folgende Schutzmaßnahme (zusätzlich zu denen der Variante 2) vorhanden ist:

- Überspannungs-Schutzgeräte an den Geräteeingängen ($r_w = 0,01$).

Diese Schutzmaßnahme ist allerdings nur an den Geräteeingängen im Bereich der Intensivstation erforderlich, nicht im gesamten Krankenhaus-Bereich. Die beiden Schutzmaßnahmen der Variante 2 sind natürlich auch für die Intensivstation gültig; sie umfassen das gesamte Krankenhaus.

11. Ausblick

Die VDE V 0185 Teil 2 enthält Verfahren und Daten zur Berechnung des Schadensrisikos bei Blitzeinschlägen in bauliche Anlagen und zur Auswahl von Blitzschutzmaßnahmen. Die Anwendung der angegebenen Verfahren und Daten in der Praxis ist aufwändig und nicht immer einfach. Dies sollte allerdings die Experten auf dem Gebiete des Blitzschutzes, und dabei insbesondere die Praktiker, nicht davon abhalten, sich mit dieser Materie zu befassen. Die quantitative Bewertung des Blitzschaden-Risikos für eine bauliche Anlage ist eine wesentliche Verbesserung gegenüber dem bisher häufig anzutreffenden Zustand, bei dem Entscheidungen für oder gegen Blitzschutzmaßnahmen häufig allein aus subjektiven und nicht immer für alle Beteiligten nachvollziehbaren Überlegungen heraus getroffen werden.

Eine solche quantitative Bewertung ist also eine wesentliche Voraussetzung für die Entscheidung, ob, in welchem Umfang und welche Blitzschutzmaßnahmen für eine bauliche Anlage vorzusehen sind. Damit wird langfristig auch ein Beitrag zur Akzeptanz des Blitzschutzes und zur Schadensverhütung geleistet.

Literatur

- [1] DIN V VDE V 0185-2 (VDE V 0185 Teil 2): 2002-11: Blitzschutz – Teil 2: Risikomanagement; Abschätzung des Schadensrisikos für bauliche Anlagen.
- [2] DIN V VDE V 0185-3 (VDE V 0185 Teil 3): 2002-11: Blitzschutz – Teil 3: Schutz von baulichen Anlagen und Personen.
- [3] DIN V VDE V 0185-4 (VDE V 0185 Teil 4): 2002-11: Blitzschutz – Teil 4: Elektrische und elektronische Systeme in baulichen Anlagen.

- [4] DIN V ENV 61024-1 (VDE V 0185 Teil 100): 1996-08: Blitzschutz baulicher Anlagen; Teil 1: Allgemeine Grundsätze.
- [5] Thern, Stephan: Jährliche und regionale Blitzdichtevertelung in Deutschland. 4. VDE/ABB-Blitzschutztagung am 8. und 9. November 2001 in Neu-Ulm, VDE Verlag, Berlin Offenbach, VDE-Fachbericht 58, S. 9 -17

Adresse des Autors

Prof. Dr.-Ing. Alexander Kern

Fachhochschule Aachen, Abt. Jülich

Ginsterweg 1

D – 52428 Jülich

Tel.: 02461/99-3042

Fax: 02461/99-3262

a.kern@fh-aachen.de