

RisikoManagement: Abschätzung des Schadensrisikos für bauliche Anlagen - Die neue Vornorm DIN V VDE V 0185 Teil 2:2002

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

1. Risikomanagement

Alle Unternehmen sind vielfältigen Risiken ausgesetzt, die Finanz- und Betriebsbereiche einschließlich Dienstleistungen betreffen können [1]. Die Firmen müssen üblicherweise Risiken eingehen, um im Wettbewerb bestehen zu können. Entscheidend ist, dass man sich über die Risiken bewusst ist, diese einschätzen und kontrollieren kann. Falsche Einschätzungen, Versäumnisse und Fehlentscheidungen können empfindliche finanzielle Schäden bis hin zum Totalverlust nach sich ziehen. Ein effektives Risikomanagement ist heute als wichtiger Sicherheitsfaktor anzusehen und sollte zur strategischen Unternehmensführung gehören.

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 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 Norm DIN V 0185-2 VDE V 0185 Teil 2 [2] 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 [3, 4] detailliert beschrieben.

2. Grundlagen der Risikoabschätzung

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

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

mit: **N** Häufigkeit eines Blitzeinschlags in die jeweilig zu betrachtende Fläche;
P Schadenswahrscheinlichkeit;
δ Schadensfaktor zur quantitativen Bewertung der Schäden.

Den drei Parametern kann man sich zum einfacheren Verständnis auch über folgende Fragen annähern:

- N:** „Wie viele Blitzeinschläge treten pro Jahr in der zu betrachtenden Fläche auf?“
- P:** „Mit welcher Wahrscheinlichkeit richtet ein Blitzeinschlag einen ganz bestimmten Schaden an?“
- δ:** „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). 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 [5] bekannten Verfahren.

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

$$N_M = N_g \cdot A_m \quad (\text{Gl. 3})$$

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 $A_d \cdot C_d$ abgezogen. Blitzeinschläge in die Fläche A_m führen ausschließlich zu magnetisch induzierten Überspannungen in Installationsschleifen im Inneren der baulichen Anlage.

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_t 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_l 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 ($A_l + A_a$) 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_t 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_l 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.

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 r_s) und an den Eingängen der eingeführten Versorgungsleitungen (p_e 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 r_s und p_e 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. Der Zusammenhang zwischen Schadensarten und Schadensursachen soll später noch in Abschnitt 7 anhand zweier Beispiele erläutert werden.

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.

Als Beispiel dafür soll ein Krankenhaus dienen. Hier ist insbesondere die Schadensart D1: Verletzung oder Tod von Personen zu untersuchen. Dafür gelten folgende Schadensfaktoren:

- $\delta_a = 0,01$ Schadensfaktor für Berührungs- und Schrittspannungen außerhalb der baulichen Anlage (spielt hier nur eine untergeordnete Rolle);
- $\delta_{a_i} = 0,0001$ Schadensfaktor für Berührungs- und Schrittspannungen innerhalb der baulichen Anlage (spielt hier auch nur eine untergeordnete Rolle);
- $\delta_f = 0,1$ Schadensfaktor für Feuer, Explosion, mechanische und chemische Wirkung, verursacht durch mechanische und thermische Effekte bei Blitzeinwirkung;
- $\delta_o = 0,005$ Schadensfaktor für Überspannungen (hier ist insbesondere an den Ausfall von Einrichtungen in Intensivstationen oder während Operationen zu denken, die lebensnotwendige Funktionen wahrnehmen oder überwachen).

Die Schadensfaktoren δ_v sind für alle relevanten Schadensarten und abhängig von den zugrunde liegenden Schadensursachen festzulegen.

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.

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:

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

Der Zusammenhang zwischen Schadensart, Schadensursache, Blitzeinschlagstelle und relevanten Risiko-Komponenten soll anhand zweier Beispiele noch detaillierter dargestellt werden.

Beispiel 1: Kirche

Für eine Kirche sollen folgende Schadensarten untersucht werden:

D1 Verletzung oder Tod von Personen;

D3 Verlust an unersetzlichem Kulturgut.

Die Schadensart D1 kann hier verursacht werden durch die Schadensursachen:

C1 Elektrischer Schock von Menschen, verursacht durch Berührungs- und Schrittspannungen (wird hier nicht weiter behandelt, da dies nicht direkt mit dem Blitzschutzsystem der Kirche, sondern mit dem Oberflächenbelag außerhalb zusammenhängt);

C2 Feuer, Explosion, mechanische oder chemische Wirkung, verursacht durch mechanische und thermische Effekte bei Blitzeinwirkung.

Anmerkung:

Die Schadensursache C3 spielt hier keine Rolle, da durch Störungen von elektrischen und elektronischen Einrichtungen keine Menschen direkt zu Schaden kommen.

Aus der Schadensursache C2 gehen dann direkt die relevanten Risiko-Komponenten hervor:

R_B Risiko für physikalische Schäden (Feuer, Explosion, mechanische und chemische Wirkung) bei direkten Blitzeinschlägen;

R_V Risiko für physikalische Schäden (Feuer, Explosion, mechanische und chemische Wirkung) bei direkten Blitzeinschlägen in eingeführte Versorgungsleitungen.

Anmerkung:

Alle anderen Risiko-Komponenten spielen hier keine Rolle.

Die Schadensart D3 kann hier nur verursacht werden durch die Schadensursache:

C2 Feuer, Explosion, mechanische oder chemische Wirkung, verursacht durch mechanische und thermische Effekte bei Blitzeinwirkung.

Anmerkung:

Die Schadensursache C3 spielt hier ebenfalls keine Rolle, da durch Störungen von elektrischen und elektronischen Einrichtungen durch Überspannungen die Kirche nicht feuergefährdet ist. Entstehen an den elektrischen und elektronischen Einrichtungen gefährliche Entladungen mit der Folge einer Entzündung, so ist dies Gegenstand von C2.

Aus der Schadensursache C2 gehen dann wieder direkt die relevanten Risiko-Komponenten hervor:

R_B Risiko für physikalische Schäden (Feuer, Explosion, mechanische und

R_V chemische Wirkung) bei direkten Blitzeinschlägen;
 Risiko für physikalische Schäden (Feuer, Explosion, mechanische und chemische Wirkung) bei direkten Blitzeinschlägen in eingeführte Versorgungsleitungen.

Anmerkung:

Alle anderen Risiko-Komponenten spielen hier keine Rolle. Obwohl die Risiko-Komponenten der beiden Schadensarten D1 und D3 sich entsprechen, müssen sie einzeln berechnet werden, da der Schadensfaktor δ unterschiedlich sein kann.

Beispiel 2: Rechenzentrum

Für ein Rechenzentrum wird angenommen, dass ausschließlich Schadensart D4: Wirtschaftliche Verluste von Bedeutung ist.

Die Schadensart D4 kann hier verursacht werden durch die Schadensursachen:

- C2** Feuer, Explosion, mechanische oder chemische Wirkung, verursacht durch mechanische und thermische Effekte bei Blitzeinwirkung;
- C3** Störungen von elektrischen und elektronischen Systemen, verursacht durch Überspannungen.

Aus den Schadensursachen C2 und C3 gehen dann direkt die relevanten Risiko-Komponenten hervor:

- R_B** Risiko für physikalische Schäden (Feuer, Explosion, mechanische und chemische Wirkung) bei direkten Blitzeinschlägen in die bauliche Anlage;
- R_V** Risiko für physikalische Schäden (Feuer, Explosion, mechanische und chemische Wirkung) bei direkten Blitzeinschlägen in eingeführte Versorgungsleitungen;
- R_C** Risiko für Störungen an elektrischen und elektronischen Systemen durch Überspannungen bei direkten Blitzeinschlägen in die bauliche Anlage;
- R_M** Risiko für Störungen an elektrischen und elektronischen Systemen durch Überspannungen bei Blitzeinschlägen in den Erdboden neben der baulichen Anlage;
- R_W** Risiko für Störungen an elektrischen und elektronischen Systemen durch Überspannungen bei direkten Blitzeinschlägen in eingeführte Versorgungsleitungen;
- R_Z** Risiko für Störungen an elektrischen und elektronischen Systemen durch Überspannungen bei Blitzeinschlägen in den Erdboden neben eingeführten Versorgungsleitungen.

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:

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

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.

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.

10. 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 den 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.

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.

Literatur

- [1] Hasse, P.; Wiesinger, J.: Risikomanagement – künftig auch im Blitzschutz unverzichtbar. Etz, Heft 1-2/1999.
- [2] DIN V VDE V 0185-2 (VDE V 0185 Teil 2): 2002-11: Blitzschutz – Teil 2: Risikomanagement; Abschätzung des Schadensrisikos für bauliche Anlagen.
- [3] DIN V VDE V 0185-3 (VDE V 0185 Teil 3): 2002-11: Blitzschutz – Teil 3: Schutz von baulichen Anlagen und Personen.
- [4] DIN V VDE V 0185-4 (VDE V 0185 Teil 4): 2002-11: Blitzschutz – Teil 4: Elektrische und elektronische Systeme in baulichen Anlagen.
- [5] DIN V ENV 61024-1 (VDE V 0185 Teil 100): 1996-08: Blitzschutz baulicher Anlagen; Teil 1: Allgemeine Grundsätze.
- [6] Thern, Stephan: Jährliche und regionale Blitzdichteverteilung 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

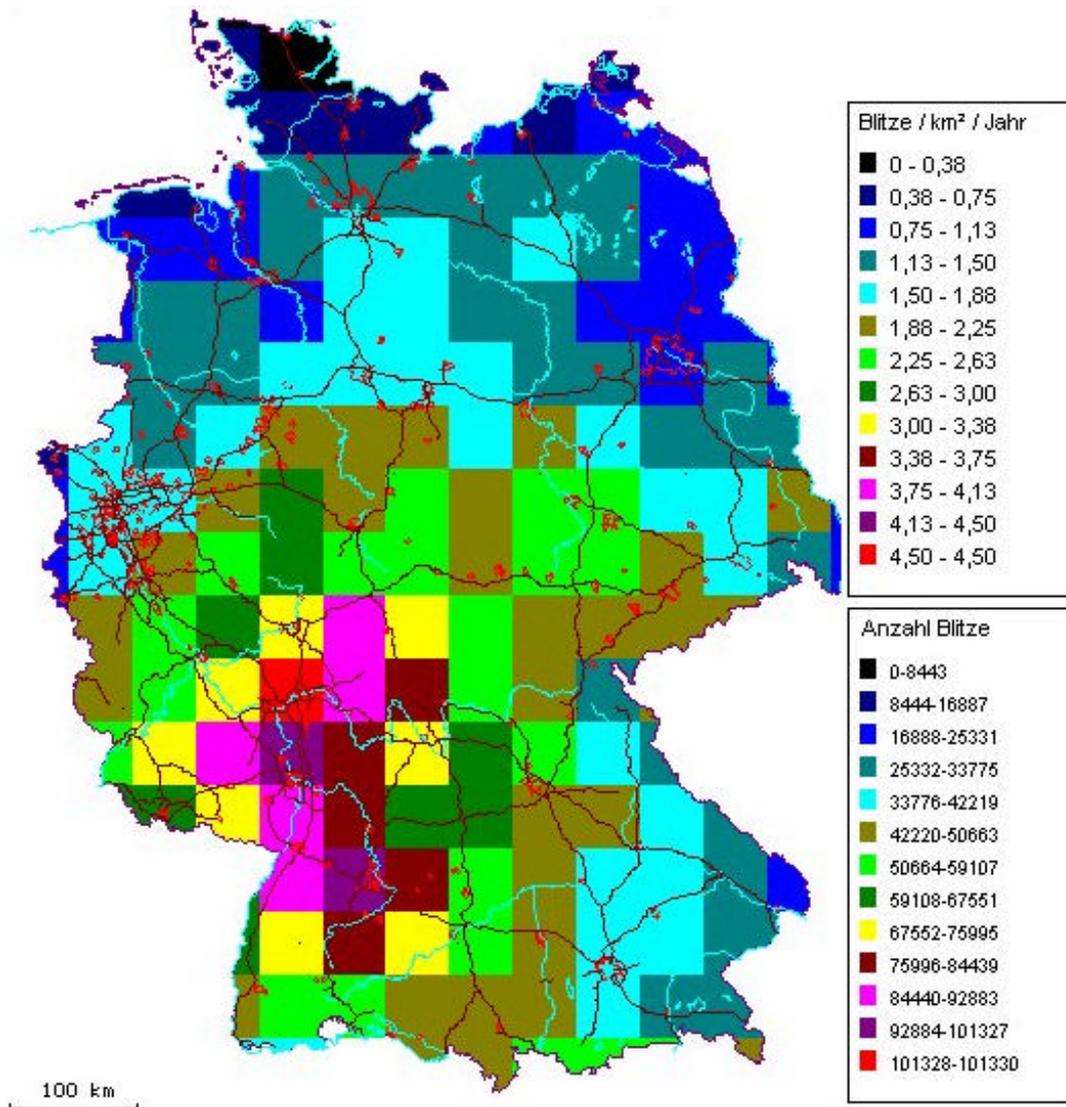


Bild 1: Erdblitzdichte N_g je km² und Jahr in Deutschland [6]
(Blitzstatistik von BLIDS für die Jahre 1992 bis 2000 im Raster 50 km x 50 km).

Wiedergabe mit der freundlichen Erlaubnis von BLIDS (www.blids.de)

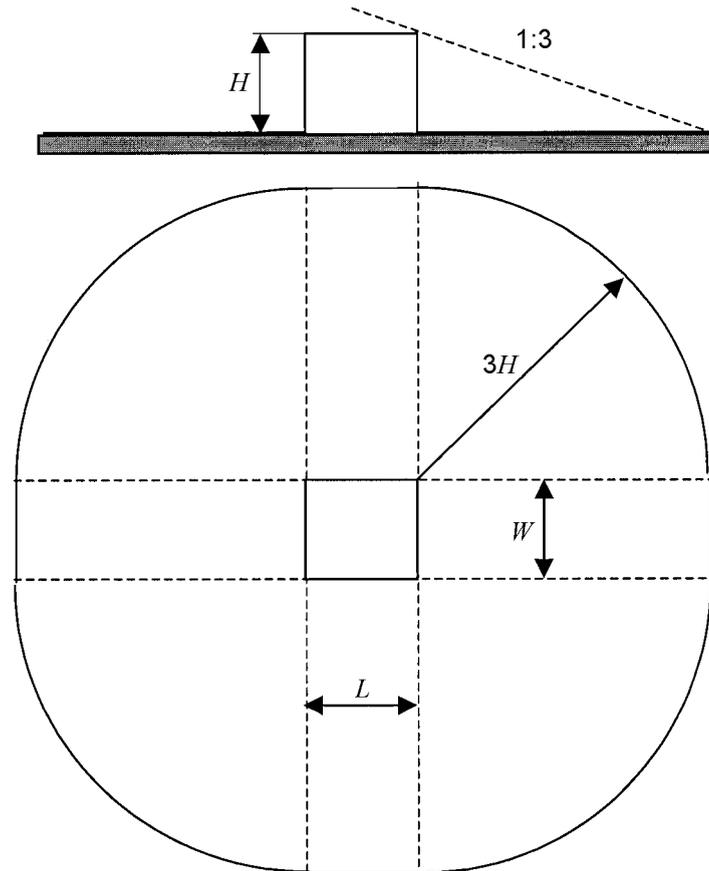


Bild 2: Äquivalente Einfangfläche A_d für direkte Blitzeinschläge in eine freistehende bauliche Anlage.

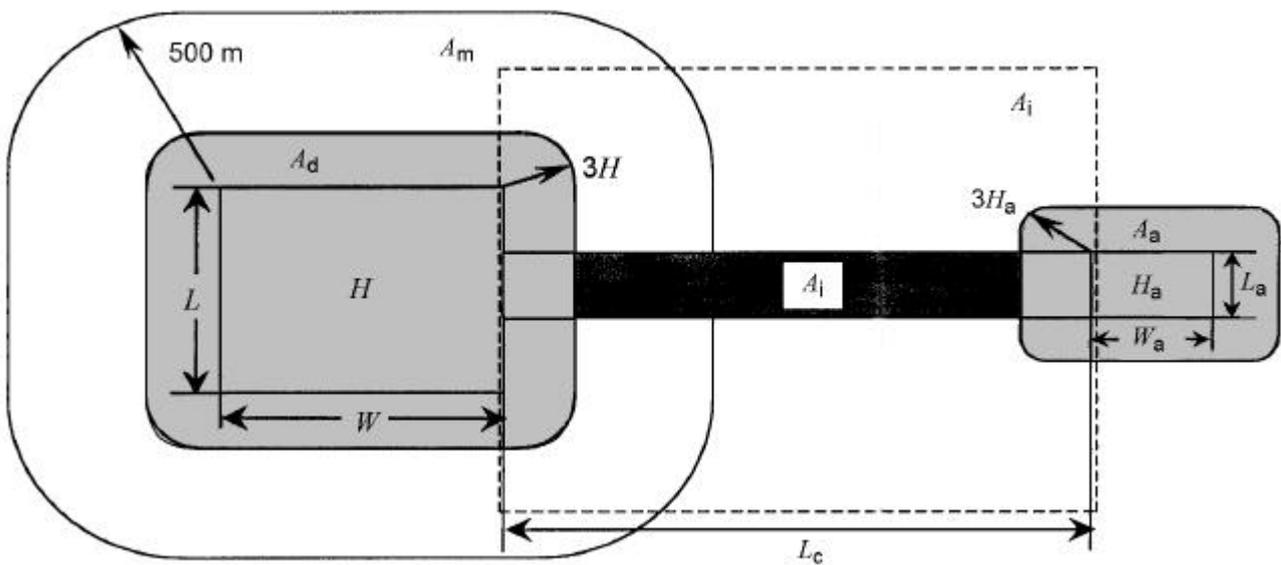
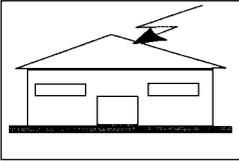
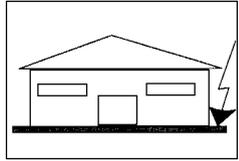
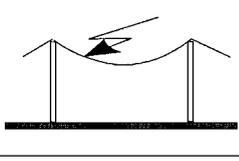
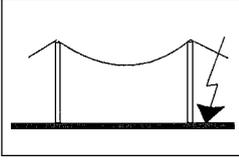


Bild 3: Äquivalente Einfangflächen A_m , A_i , A_j für indirekte Blitzeinschläge bezüglich der baulichen Anlage.

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 Blitzentladung;
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.

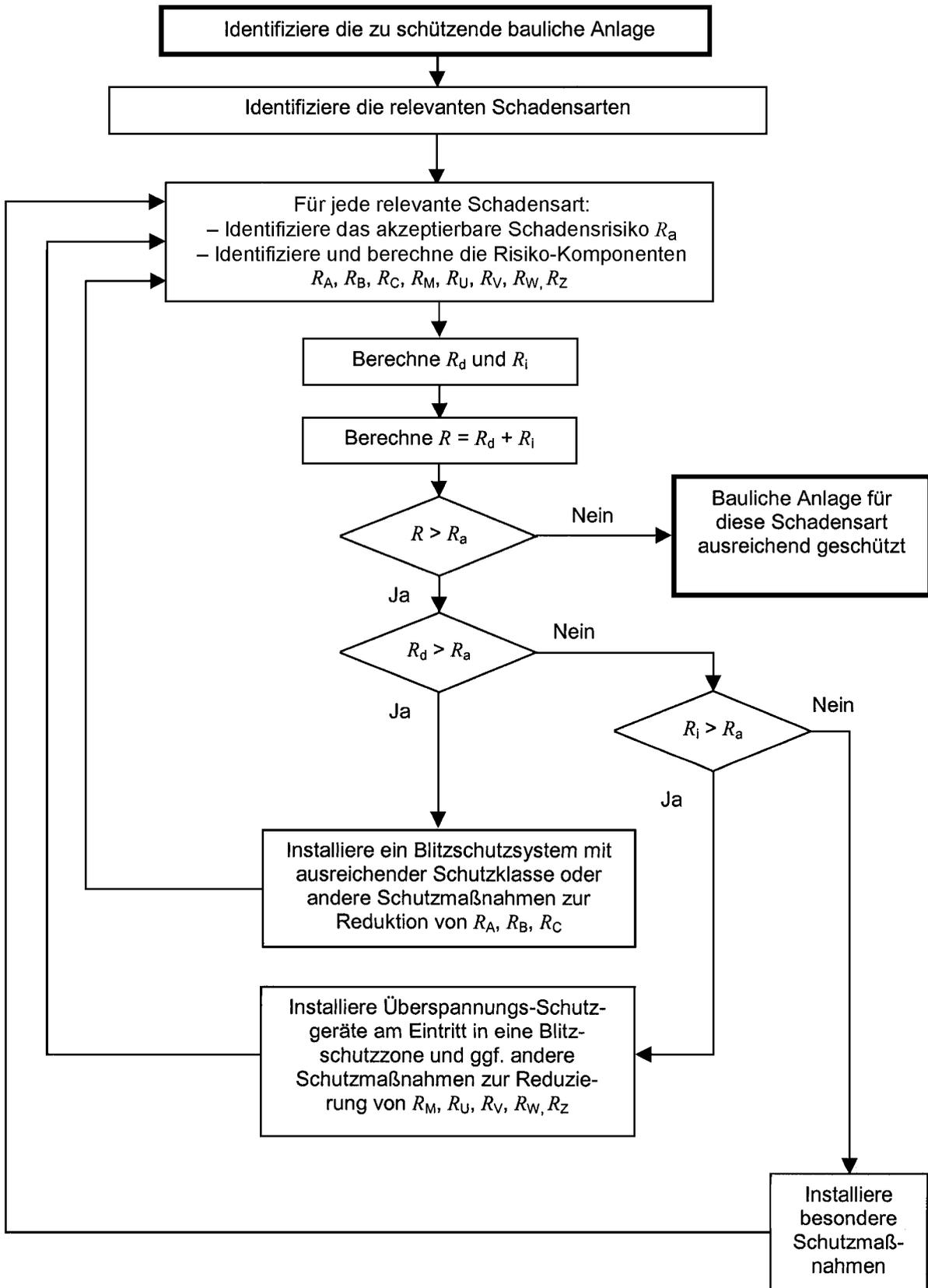


Bild 5: Flussdiagramm für die Auswahl von Schutzmaßnahmen.

A i x T h o r - Abschätzung des Schadensrisikos infolge Blitzschlags (VDE 0185 Teil2, Entwurf: 2002-06)

Datei Ansicht Fenster Info

Eingabefenster

Eingabefenster einblenden

Bauliche Anlage

Versorgungsleitungen
Schadenswahrscheinlichkeiten
Auswahl der Schadensseiten
Schadenfaktoren für Schadensart 1
Schadenfaktoren für Schadensart 2
Schadenfaktoren für Schadensart 3
Schadenfaktoren für Schadensart 4

A i x T h o r - Abschätzung des Schadensrisikos infolge Blitzschlags (VDE 0185 Teil2, Entwurf: 2002-06)

Datei Ansicht Fenster Info

Bauliche Anlage

Abmessungen der baulichen Anlage

Länge (m)	20,00	Breite (m)	20,00	Höhe (m)	18,00
-----------	-------	------------	-------	----------	-------

Spezifischer Bodenwiderstand (p) (Ω)

500,00	(min 100 - max 500)
--------	---------------------

Blitzdichte (Nq)

1,692	Gewittertage	20,00
-------	--------------	-------

Korrekturfaktor bezüglich der Lage der baulichen Anlage (Cd)

1,00	keine weiteren Anlagen in der Umgebung
------	--

Korrekturfaktor bezüglich der Umgebung der baulichen Anlage (Cs)

1,00	ländliche 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

Speichern
Nächste
Zurück
Entfernen

OK

A i x T h o r - Abschätzung des Schadensrisikos infolge Blitzschlags (VDE 0185 Teil2, Entwurf: 2002-06)

Datei Ansicht Fenster Info

Schadenswahrscheinlichkeiten und Reduktionsfaktoren

Oberflächenbeschaffenheit außerhalb der baulichen Anlage (pa)

0,01000	Gras, Humus, Beton, Keramik
---------	-----------------------------

Oberflächenbeschaffenheit innerhalb der baulichen Anlage (pu)

0,00100	Beton, Keramik
---------	----------------

Charakteristik der baulichen Anlage (ps)

1,000	Ungeschützte Einrichtungen auf Dach (Antennen, Klima, etc.)
-------	---

Charakteristik der elektrischen Installationen innerhalb der Anlage (pi)

1,00	Ungeschirmte Kabel
------	--------------------

Wahrscheinlichkeiten für Feuer, Explosion oder andere Zerstörung (pf)

0,010	Normales Risiko mechanischer und thermischer Effekte
-------	--

Charakteristik der Isolationsfestigkeit der Geräte (pw)

0,4	Isolationsfestigkeit 2,5 kV
-----	-----------------------------

Reduktionsfaktoren für Feuerschutzmaßnahmen (rf)

0,512	Feuerlöscher, Hydranten, manuelle 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

Bild 6: Beispiele für Eingabefenster der AIXTHOR-Software zur VDE V 0185 Teil 2: 2002

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 1: Umgebungsfaktor C_d .

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

H_c Höhe (m) der Leitung über Erdboden;

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

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.

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

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	$P_A = p_a \cdot r_a \cdot p_s \cdot r_s$		$P_U = p_u \cdot p_e \cdot r_e$	
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	$P_C = 1 - (1 - p_i \cdot p_s \cdot r_s \cdot p_w \cdot r_w) \cdot (1 - p_e \cdot r_e \cdot p_w \cdot r_w)$	$P_M = p_i \cdot p_s \cdot r_s \cdot p_w \cdot r_w$	$P_W = p_e \cdot r_e \cdot p_w \cdot r_w$	$P_Z = p_e \cdot r_e \cdot p_w \cdot r_w$

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

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	$R_A = N_D \cdot P_A \cdot \xi_a$		$R_U = N_L \cdot P_U \cdot \xi_U$		$R_s = R_A + R_U$
C2 Feuer, Explosion, mechanische und chemische Wirkungen	$R_B = N_D \cdot P_B \cdot h \cdot \xi$		$R_V = N_L \cdot P_V \cdot h \cdot \xi$		$R_f = R_B + R_V$
C3 Störungen an elektrischen und elektronischen Systemen	$R_C = N_D \cdot P_C \cdot \xi_0$	$R_M = N_M \cdot P_M \cdot \xi_0$	$R_W = N_L \cdot P_W \cdot \xi_0$	$R_Z = N_I \cdot P_Z \cdot \xi_0$	$R_o = R_C + R_M + R_W + R_Z$
	$R_d = R_A + R_B + R_C$	$R_i = R_M + R_U + R_V + R_W + R_Z$			

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