

Forschungs- und Entwicklungsprojekt

für den

Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (GDV)

**Hilfestellungen zur einfacheren Beurteilung von Blitz- und
Überspannungsschäden in der Schadensregulierung**

Endbericht

vom 28.02.2007

Auftragnehmer: Fachhochschule Aachen, Standort Jülich
Fachbereich Angewandte Naturwissenschaften und Technik
Ginsterweg 1
52428 Jülich

Verantwortlicher für die Kapitel 1 bis 9, 12, 13 und die
Anhänge A bis D

(Prof. Dr.-Ing. Alexander Kern)

Verantwortlicher für die Kapitel 10,11

(Prof. Dr. rer. nat. G. Dikta)

(Dipl.-Ing. Frank Krichel)

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	2
1. Aufgabenstellung.....	5
2. Vorgehensweise	6
3. Physik der Blitzentladung	8
3.1 Voraussetzungen für eine Blitzentladung	8
3.2 Blitztypen.....	9
3.3 Entstehung eines Blitzentladungskanals	10
3.4 Normblitze	12
3.5 Wirkungsparameter von Blitzströmen.....	12
4. Blitzortungssysteme	17
4.1 Grundlagen eines Blitzortungssystems	17
4.1.1 Sensoren.....	17
4.1.2 Position Analyser (PA)	18
4.1.3 Berechnung eines Einschlagspunktes	18
4.2 Anforderungen an ein Blitzortungssystem.....	19
4.3 Siemens - BLIDS.....	20
4.3.1 Grundlagen	20
4.3.2 Bewertung der Anforderungen	20
4.4 NowCast - LINET	22
4.4.1 Grundlagen	22
4.4.2 Bewertung der Anforderungen	22
5. Netztopologien	28
6. Überspannungen.....	32
6.1 Direkter Blitzeinschlag (Potentialtrichter).....	32
6.2 Direkter Blitzeinschlag in benachbartes Gebäude oder Versorgungsleitung (Potentialverschleppung)	33
6.3 Indirekte, nahe Blitzeinschläge.....	34
6.4 Verhältnisse bei TT-Netzen.....	35
6.5 Verhältnisse bei TN-C-Netzen.....	36
6.6 Überspannungen als Folge von Schalthandlungen (innere Überspannungen)	36
6.7 Betriebsbedingte Überspannungen.....	37
6.8 Potentialunterschiede bei PE-Leitern:	37
6.9 Potentialanhebung in TN-C-Netzen:.....	37
7. Simulation der Schadenshäufigkeit als Funktion der Entfernung zwischen Blitzeinschlag und Schadensort.....	39
7.1 Grundlagen	39
7.2 Berechnungsgrundlagen für die Schadenshäufigkeiten nach DIN EN 62305- 2:2006	41
7.2.1 Direkte Blitzeinschläge	42

7.2.2	Nahe Blitzeinschläge mit Induktionswirkungen	43
7.2.3	Direkte Blitzeinschläge in eine eingeführte Versorgungsleitung.....	44
7.2.4	Blitzeinschläge neben einer eingeführten Versorgungsleitung.....	45
7.3	Numerische Simulationen und abgeleitete Ergebnisse zur Schadenshäufigkeit durch nahe Blitzeinschläge	46
7.4	Numerische Simulationen und abgeleitete Ergebnisse zur Schadenshäufigkeit bei Freileitungen als eingeführte Versorgungsleitungen	50
7.5	Numerische Simulationen und abgeleitete Ergebnisse zur Schadenshäufigkeit bei erdverlegten Kabeln als eingeführte Versorgungsleitungen	55
8.	Untersuchte Schadensakten	60
9.	Untersuchung geschädigter Geräte.....	65
9.1	Spuren einer direkten Blitzeinwirkung	65
9.2	Spuren einer indirekten Blitzeinwirkung	65
9.3	Äußerer und innerer Allgemeinzustand	65
9.4	Einfache messtechnische Untersuchungen	67
9.5	Untersuchte Prüfberichte.....	68
10.	Statistische Auswertung der Schadensfälle aus 2005.....	79
10.1	Überblick	79
10.2	Erste Modellierung	80
10.2.1	Einführung.....	80
10.2.2	Beschreibung der Daten	80
10.2.3	Methodik.....	81
10.2.4	Untersuchungsergebnisse	83
10.2.5	Zusammenfassung.....	86
10.3	Entmischung	86
10.3.1	Einführung.....	86
10.3.2	Entmischung der Datenbestände	87
10.3.3	Untersuchungsergebnisse	89
10.3.4	Entmischte Modelle	91
10.3.5	Zusammenfassung.....	93
10.4	Abhängigkeiten des Modells von der Versicherten- bzw. Besiedlungsdichte ..	94
10.4.1	Einführung.....	94
10.4.2	Beschreibung der Daten	94
10.4.3	Globales Modell	97
10.4.4	Abhängigkeit des globalen Modells von der Versichertendichte	98
10.4.5	Abhängigkeit des globalen Modells von der Besiedlungsdichte	99
10.4.6	Zuordnung der Geräteklassen zu den Gamma-Verteilungen	99
10.4.7	Untersuchungsergebnisse	100
10.4.8	Zusammenfassung.....	107
10.5	Verwendete Abkürzungen.....	109
11.	Statistische Auswertung der Schadensfälle aus 2006.....	110
11.1	Einleitung	110
11.2	Beschreibung der Daten.....	110
11.3	Methodik.....	110

11.4	Untersuchungsergebnisse.....	111
11.5	Zusammenfassung.....	113
12.	Mathematisches Modell zu den Schadensszenarien.....	114
12.1	Grundlagen	114
12.2	Ergebnisse und Schlussfolgerungen	114
12.3	Modell.....	117
13.	Hilfsmittel und Zusammenfassung.....	120
	Literaturverzeichnis	125
	Anhang A: Simulationsergebnisse für nahe, indirekte Blitzeinschläge	128
	Anhang B: Simulationsergebnisse für Blitzeinwirkungen in eine Freileitung.....	139
	Anhang C: Simulationsergebnisse für Blitzeinwirkungen in ein erdverlegtes Kabel ...	145
	Anhang D: Fragebogen zur Geräteuntersuchung.....	148

1. Aufgabenstellung

Aufgrund des technischen Fortschritts in unserer Gesellschaft und des Bestrebens nach höherem Lebenskomfort, schreitet die Verbreitung von technischen Geräten in unserem Alltag immer weiter fort. Des Weiteren werden die Geräte durch den Einsatz immer höher integrierter Schaltkreise in ihrer elektrischen Störfestigkeit immer weiter herabgesetzt, was die Gefahr von überspannungsbedingten Störungen und Schäden weiter erhöht. Daher ist in der Versicherungswirtschaft ein starker Anstieg von Schadenmeldungen an elektrischen Installationen und Geräten in Folge von Überspannungen festzustellen. So stiegen beispielsweise sowohl die diesbezügliche Zahl der Schäden als auch der Schadenaufwand vom Statistikjahr 1998 zu 2002 im Mittel um jährlich etwa 66% an [1]. Überspannungen können dabei durch direkte Blitzeinschläge, nahe Blitzeinschläge, Oberschwingungen oder durch vagabundierende Ausgleichströme verursacht werden.

Im Forschungsprojekt sollten die Belastungen durch direkte und nahe Blitzeinschläge näher untersucht werden. Vordringlich sollte vor allem folgende Fragestellung beantwortet werden:

- Ab welchem Abstand zwischen Blitzeinschlag und elektrischem Betriebsmittel (Installation, Gerät) ist mit hoher Wahrscheinlichkeit davon auszugehen, dass ein Blitzeinschlag zu keinem Überspannungsschaden im Gerät führen wird?

Bei der Beantwortung in Form einer fundierten, wissenschaftlichen Arbeit wurden dabei insbesondere folgende Faktoren berücksichtigt:

- Blitzkenndaten (Stromscheitelwert) und Blitztyp (negativ oder positiv; Wolke-Erde- und Wolke-Wolke-Blitz);
- Entfernung zum Blitzeinschlagpunkt;
- Klimatische Werte;
- Bodenverhältnisse;
- Direkte/indirekte Blitzeinwirkungen;
- Kopplungsmöglichkeiten (galvanisch/induktiv/kapazitiv);
- Netztopologie (Kabel oder Freileitung, Netzform);
- Betroffene Gerätekategorien (Haushalt/Kleingewerbe, Spannungsfestigkeit, „weiße Ware“ (Haushaltsgeräte wie z.B. Kühl- und Gefriergeräte, Waschmaschine, Trockner, etc.), „braune Ware“ (Fernseher, Stereoanlagen, etc.), informationstechnische Geräte (Telefone, Anrufbeantworter, Computer, etc.), „graue Ware“ (Geräte für den industriellen Einsatz), PV-Anlagen und Steuerungen.
- Bevölkerungsdichte bzw. Gerätedichte

Aus den relevanten Faktoren wurden mit Hilfe der numerischen Simulationen und statistischen Auswertungen, sowie den Auswertungen aus den Schadensakten und den realen Schadensgutachten eine mathematische Modellierung durchgeführt, die in Hilfestellungen zur einfacheren Beurteilung von Blitz- und Überspannungsschäden in der Schadensregulierung führte.

2. Vorgehensweise

Zur Bearbeitung der Fragestellungen wurde das Forschungsprojekt in die folgenden Arbeitsfelder gegliedert.

Einarbeitung in die Aufgabenstellung:

Auftragnehmer und Projektingenieur arbeiteten sich zunächst unter Sichtung der zur Verfügung gestellten Literatur in die Aufgabenstellung ein. Darauf aufbauend wurde eine ausführliche, eigene Literaturrecherche zu der Thematik erstellt.

Statistik zu vorliegenden Schadensfällen:

Die vorliegenden und zur Verfügung gestellten Daten des Auftraggebers zu Schadensfällen 2005 wurden statistisch ausgewertet und analysiert. Dabei wurde der Einfluss der eben genannten möglichen Faktoren detailliert untersucht. Weiter wurde versucht, eine Korrelation mit den Daten von SIEMENS-BLIDS (Daten zu Zeitpunkt und Ort von Blitzeinschlägen) zur Abschätzung des Abstandes Schaden zu Blitzeinschlag zu erarbeiten.

In diese Untersuchung wurden auch alle weiteren Beobachtungen und Statistiken aufgenommen, die ergänzend zum Datenmaterial des Auftraggebers aus anderen Quellen gewonnen werden konnten.

Untersuchung geschädigter Geräte einschließlich der Schadensorte:

Da die Geräte aus dem Jahr 2005 nicht mehr für eine Untersuchung zur Verfügung standen, wurde mit Hilfe von 600 Schadensakten der Versicherungen und 600 Prüfberichten von untersuchten und geschädigten Geräten Statistiken zu den Geräten, bzw. Geräteklassen, den geschädigten Gerätekomponenten, der Bevölkerungsdichte, der Reparierbarkeit, der Kosten, der Ortungsgenauigkeit, der Blitzstromparameter und diversen anderen relevanten Aspekten erstellt.

Numerische Berechnung von induktiven Einkopplungen:

IEC 62305-2 enthält als eine mögliche Schadensquelle den nahen Blitzeinschlag mit ausschließlich induktiven Einkopplungen in der zu schützenden baulichen Anlage. Die Berechnungen zur o.g. Norm wurden mit einem wissenschaftlichen Programmpaket, das an der Universität Rom „La Sapienza“ entwickelt wurde, durchgeführt. Damit wurden im Rahmen des Forschungsprojekts Berechnungen zur Gefährdung von Geräten durch in die elektrische Verkabelung einkoppelnde magnetische Felder für einige ausgewählte Fälle durchgeführt.

Mit dem Programmpaket konnten theoretisch-numerische Parameter-Studien zum Einfluss der oben genannten Faktoren auf induzierte Spannungen in baulichen Anlagen vorgenommen werden. Die numerischen Ergebnisse wurden abschließend mit den statistischen Daten verglichen bzw. abgeglichen.

Numerische Berechnung von Einkopplungen auf eingeführte, externe Versorgungsleitungen

Eine weitere bekannte, mögliche Schadensquelle für Geräte in der zu schützenden baulichen Anlage sind Überspannungen und Blitzteilströme, die über externe Versorgungsleitungen (Energie, Telekom, IT) von außen eingeführt werden. Diese wurden mit einem geeigneten Programmpaket, wieder für einige ausgewählte Fälle, numerisch ermittelt.

Damit konnten wiederum theoretisch-numerische Parameter-Studien zum Einfluss der oben genannten Faktoren auf die eingekoppelten Spannungen in baulichen Anlagen vorgenommen werden. Die numerischen Ergebnisse wurden abschließend mit den statistischen Daten verglichen bzw. abgeglichen.

Erarbeitung eines mathematischen Modells zu den Schadensszenarien

In einem mathematischen Modell wurde die Wahrscheinlichkeit eines Blitz- oder Blitzüberspannungsschadens abhängig von den relevanten Faktoren dargestellt. Insbesondere die Entfernung zwischen Schadensort und Blitzeinschlagspunkt war als wichtigster Parameter anzusehen. In dieses mathematische Modell wurden sowohl die Erkenntnisse aus den statistischen Daten zu Schadensfällen 2005 als auch die Ergebnisse der numerischen Berechnungen eingearbeitet werden.

Verfolgung der Schadensfälle 2006 mit dem mathematischen Modell

Die Schadensfälle im Jahr 2006 wurden zeitnah mit dem mathematischen Modell verfolgt. Dazu mussten die Daten unmittelbar von den Sachversicherern zur Verfügung gestellt werden. Ziel war eine Überprüfung des mathematischen Modells dahingehend, ob der aufgetretene Schaden mit einer hohen Wahrscheinlichkeits-Aussage des Modells übereinstimmte, d.h. ob der Schaden durch das Modell als wahrscheinlich bzw. sehr wahrscheinlich eingestuft wurde.

Entwicklung von Hilfsmitteln für die Schadensbearbeitung

Die aus dem mathematischen Modell gewonnenen Erkenntnisse wurden für die praktische Arbeit der Sachversicherer aufgearbeitet. Eine Darstellung in Diagrammen, Kurven, Tabellen oder in Form einfacher Gleichungen ist möglich. Details mussten noch mit dem Auftraggeber abgestimmt werden. In jedem Fall geplant war die Angabe der Schadenswahrscheinlichkeit abhängig von der Entfernung zum Blitzeinschlagspunkt, von unterschiedlichen Gruppierungen bzw. Szenarien und von der Gerätekategorie.

Berichterstellung und Vorstellung der Ergebnisse:

Die Ergebnisse des Forschungsprojekts wurden in diesem detaillierten Abschlussbericht zusammengestellt. Weiterhin wurden die Ergebnisse auch in Vorträgen und Beiträgen vorgestellt.

3. Physik der Blitzentladung

3.1 Voraussetzungen für eine Blitzentladung

Die Voraussetzung für die Entstehung eines Gewitters ist, dass sich elektrisch geladene Teilchen zunächst trennen [2]. Hervorgerufen wird dies durch einen Transport von warmer Luft mit ausreichender Feuchtigkeit in großen Höhen. Hier existieren in der Natur mehrere Möglichkeiten. Bei Frontgewittern schiebt sich als Folge eines Kaltfronteinbruchs kühle Luft unter die Warme und drückt diese nach oben. Bei orographischen Gewittern wird warme, bodennahe Luft durch das Überströmen von ansteigendem Gelände angehoben. Bei der häufigsten Art eines Gewitters, eines Wärmegewitters, wird der Boden lokal durch intensive Sonneneinstrahlung erhitzt. Die bodennahen Luftschichten werden hierdurch erwärmt. Da diese nun eine geringere Dichte als die kälteren Schichten aufweisen, steigen sie nach oben. Typischerweise erstrecken sich solche Gewitterzellen in einer Höhe von ca. 1 ... 2 km bis 10 km Höhe, manchmal auch etwas höher (Bild 3.1).

Durch elektrostatische Ladungstrennungsprozesse werden die Wasser- bzw. Eisteilchen durch Reibung aufgeladen. Angetrieben wird dieser Vorgang durch einen vertikalen Auftrieb von Luftmassen. Die leichteren, meistens positiv geladenen Teilchen werden dabei nach oben transportiert, die schwereren negativen verbleiben weiter unten. Es findet eine gigantische elektrostatische Aufladung statt. Die dabei entstehenden elektrischen Felder können eine Stärke von einigen 100 kV/m erreichen.

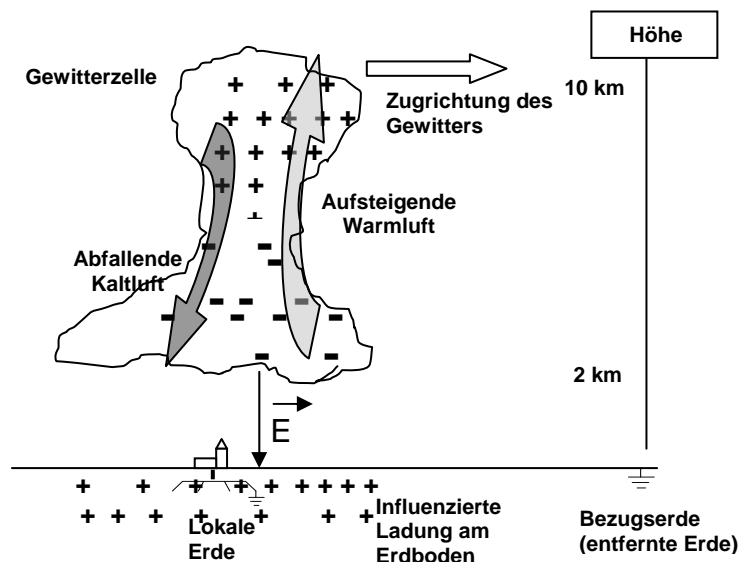


Bild 3.1: Aufbau einer typischen Wärmegewitterzelle

Wenn die Feldstärke einen kritischen Wert überschritten hat, kommt es zu Entladungen innerhalb der Wolke oder zwischen den Wolken. Das sind in der Regel ungefährliche Entladungen, da sie sich weit über dem Erdboden abspielen. Gefährdungen aufgrund der hohen Ströme sind damit ausgeschlossen. Nennenswerte Überspannungen durch Induktionseffekte sind aufgrund des Abstands auch nicht zu befürchten. Lediglich

kapazitive Überspannungen können auftreten, die aber ein sehr geringes Schädigungspotential aufgrund ihrer geringen Energie aufweisen. Aber auch zwischen Wolken und Erde baut sich aufgrund von Influenz (Ladungsträgerverschiebung) eine sehr große Spannung auf, die sich als Entladung zwischen Wolke und Erde abbaut.

3.2 Blitztypen

Man unterscheidet nach der Polarität und der Richtung der Blitzausbreitung vier verschiedene Blitztypen zwischen Wolken und Erde (Bild 3.2) [2].

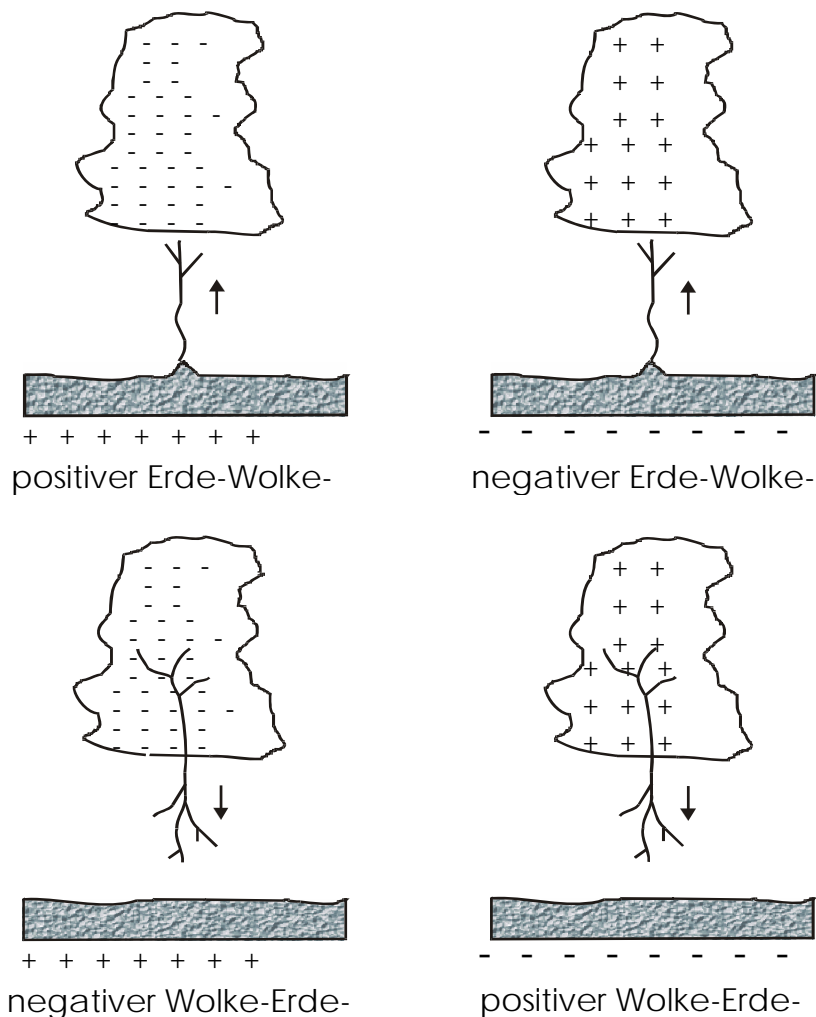


Bild 3.2: Blitztypen für Wolke-Erde-Blitze

- Der positive Wolke-Erde-Blitz breitet sich vom positiven Wolkenladungsraum Richtung negativ geladener Erde aus. Dieser Blitztyp zeichnet sich durch den Transport großer Ladungsmengen aus, da die Stoßströme in der Regel 10mal länger als bei den anderen Typen dauern. Deswegen stellen sie eine besonders große Gefährdung für die getroffenen Objekte dar. Der Blitztyp kommt recht selten, meist am Ende der aktiven Phase einer Gewitterzelle vor.

- Von Bergspitzen und hohen Türmen können auch Erde-Wolke-Blitze entstehen. Hierbei breitet sich der positive Erde-Wolke-Blitz von der positiv geladenen Erde zum negativ geladenen Wolkenladungsraum aus, beim negativen Erde-Wolke-Blitz sind die Polaritäten von Erde und Wolke vertauscht. Aufgrund des geschaffenen Entladungskanals können sich hieran dann Wolke-Erde-Blitze anschließen. Dieser Blitztyp kommt ebenfalls recht selten vor.
- Der negative Wolke-Erde-Blitz ist der mit Abstand am häufigsten vorkommende Blitztyp. Bei Sommergewittern sind 90% bis 98% der Entladungen negative Wolke-Erde-Blitze. Er breitet sich vom negativen Wolkenladungsraum in Richtung positiv geladener Erde aus. Als Besonderheit weist er die Fähigkeit zu Mehrfachentladungen, sog. multiplen Entladungen auf.

3.3 Entstehung eines Blitzentladungskanals

Die Entstehung eines Blitzes soll hier anhand des häufigsten Blitztyps, des negativen Wolke-Erde-Blitzes gezeigt werden (Bild 3.3). Wird die elektrische Festigkeit innerhalb der Wolke während des Ladungstrennungs-Prozesses überschritten, gehen von Regentröpfchen oder Eispartikeln Leitblitze Richtung Erdboden aus. Hierbei schiebt sich aus dem negativen Ladungszentrum der Gewitterwolke ein mit Wolkenladung gefüllter zylinderförmiger Schlauch mit einem Durchmesser von einigen 10 m und einem dünnen, hochionisierten Plasmakern mit einem Durchmesser von ca. 1 cm ruckweise Richtung Erde. Er hat eine Vorwachsgeschwindigkeit von etwa 300 km/s. Jede Ruckstufe ist einige 10 m lang. Die Pausen zwischen den Ruckstufen betragen einige 10 μ s.

Kommt dieser Leitblitz dem Erdboden oder einer exponierten Stelle bis auf einige 10 m bis einige 100 m nahe, gehen von dieser Stelle aus sog. Fangentladungen Richtung Leitblitz aus. Diese breiten sich nach demselben Prinzip, nur in entgegengesetzter Richtung aus. Treffen sich beide, kommt es zur Hauptentladung, die sich mit ca. 100.000 km/s (1/3 der Lichtgeschwindigkeit) ausbreitet. Hierbei können Ströme bis zu mehreren 100 kA fließen, die die gespeicherte Ladung in einigen 10 μ s bis 100 μ s zur Erde ableitet.

Dieser Vorgang wird als die eigentliche, grell aufleuchtende Blitzentladung sichtbar. Hierbei heizt sich der Funkenkanal auf Temperaturen von einigen 10.000 °C auf. Der Luftdruck steigt dabei auf das ungefähr 100-fache an. Die erhitzte Luft expandiert dadurch schlagartig. Dies ist als das typische Donnergeräusch wahrnehmbar.

Die negativen Wolke-Erde-Blitze weisen als Besonderheit mehrfache Entladungen, sog. multiple Entladungen auf. Diese entstehen dadurch, dass sich nach einer Pause von einigen 10 ms bis 100 ms in der noch ionisierten Funkenbahn der ersten Entladung ein neuer Leitblitz von der Gewitterwolke zur Erde voranschleibt. Da er bereits eine „vorgezeichnete“ Bahn vorfindet, wächst er ohne die Ruckstufen des ersten Leitblitzes mit einer wesentlich höheren Geschwindigkeit in der Größenordnung von 3.000 km/s voran. Der anschließende erneute Hauptblitz hat wieder einen Stoßstrom über das getroffene Objekt zur Folge. Bis zu einige zehn dieser Folgeblitze wurden registriert. Die gesamte Dauer der Blitzentladungen kann manchmal über eine Sekunde dauern.

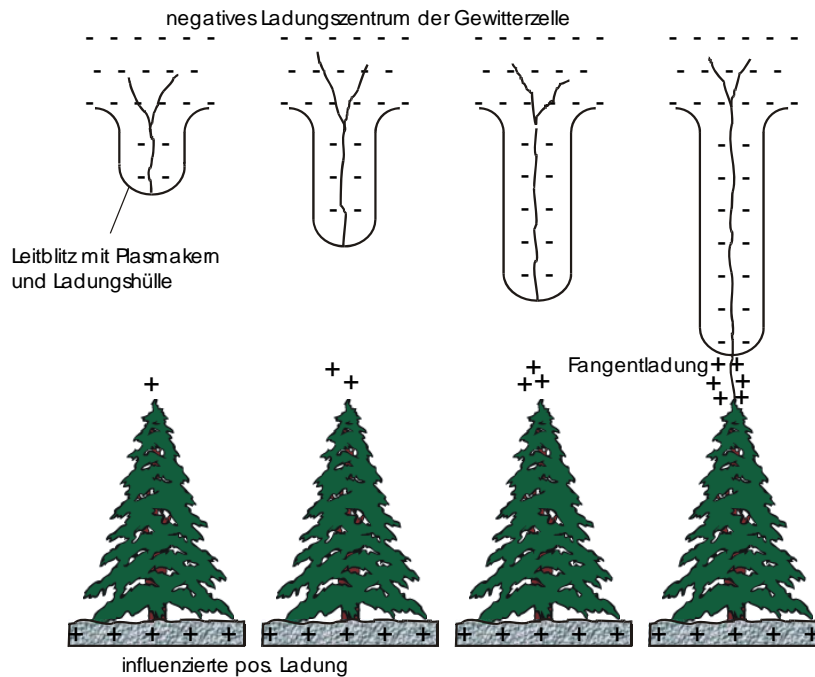


Bild 3.3: Aufbau einer Blitzentladung in Rückstufen anhand eines negativen Wolke-Erde-Blitzes

Bei manchen Blitzentladungen kann sich auch ein sog. Stromschwanz oder Langzeitstrom anschließen (**Bild 3.4**). Hierbei fließt für einige zehntel Sekunden ein Strom von einigen hundert Ampere, der insbesondere für die Zündung von Bränden verantwortlich ist. Hieran können sich wieder erneute Folgestoßströme und Langzeitströme anschließen.

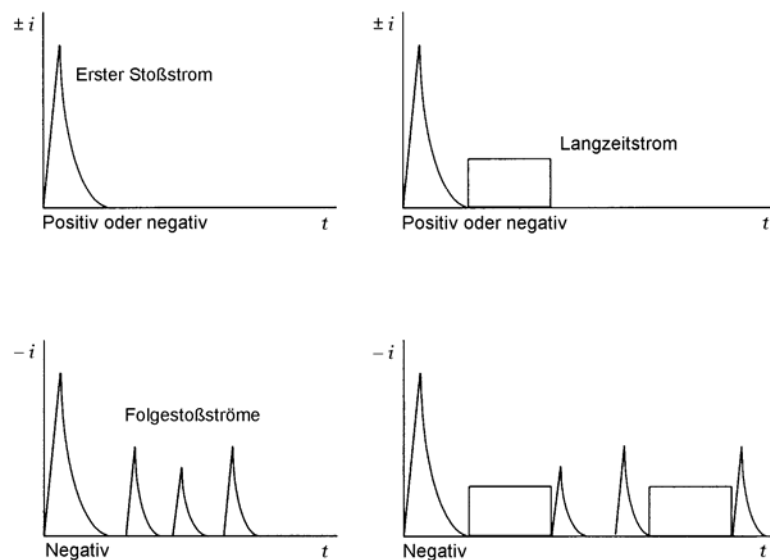
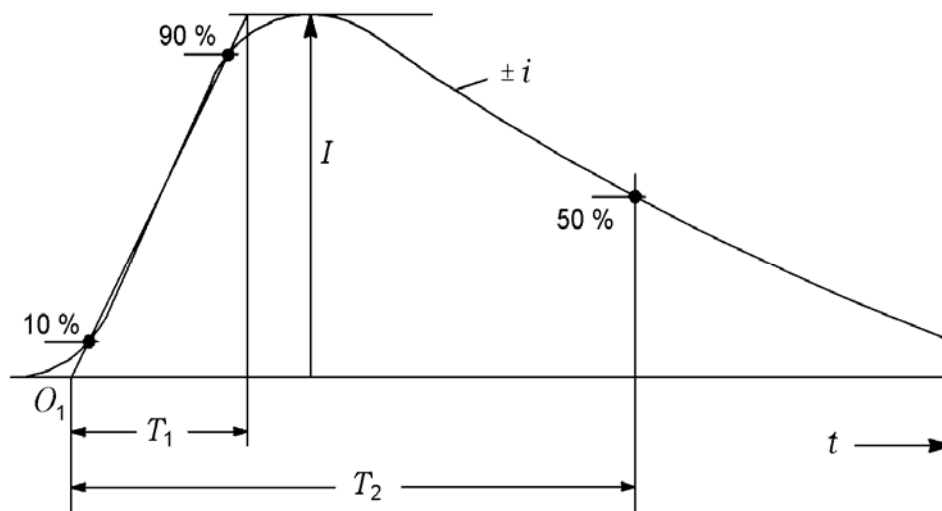


Bild 3.4: Mögliche Komponenten eines Wolke-Erde-Blitzes (Abwärtsblitz) [3]

3.4 Normblitze

Um Objekte gegenüber Blitzeinwirkungen testen zu können, ist in der DIN EN 62305-1 der Stoßstromverlauf des Normblitzes festgelegt [3]. Die Stirnzeit T_1 beträgt $10 \mu\text{s}$ und die Rückenhalbwertszeit T_2 $350 \mu\text{s}$ (Bild 3.5). Der Scheitelwert ist abhängig von sog. Blitzschutzklassen und bewegt sich zwischen 100 kA und 200 kA [3]. Dieser zeitliche Verlauf des Stromes ist dem real auftretenden Verlauf eines Blitzstromes nachempfunden. Neben dem genormten sog. $10/350 \mu\text{s}$ Stromimpuls gibt es noch den genormten $8/20 \mu\text{s}$ Stromimpuls. Dieser Stoßstrom tritt aufgrund von Induktionen in Leitern und Leiterschleifen auf.



Stirnzeit $T_1 = 10 \mu\text{s} \pm 10\%$ Rückenhalbwertszeit $T_2 = 350 \mu\text{s} \pm 10\%$,
max. Stromstärke um einige 10 kA

Bild 3.5: Genormter $10/350 \mu\text{s}$ Stromimpuls

3.5 Wirkungsparameter von Blitzströmen

Je nach Art der Blitzbeeinflussung können sehr unterschiedliche Schäden durch einen Blitzeinschlag hervorgerufen werden. Man unterscheidet hier vier Wirkungsparameter mit ihren zugeordneten Wirkungen.

Der Maximalwert des Blitzstromes ist für ohmsche Spannungsabfälle entscheidend (Bilder 3.6 und 3.7). Hier ist er insbesondere für die Potentialanhebung des getroffenen Objektes gegenüber einem weit entfernt liegenden Punkt verantwortlich.

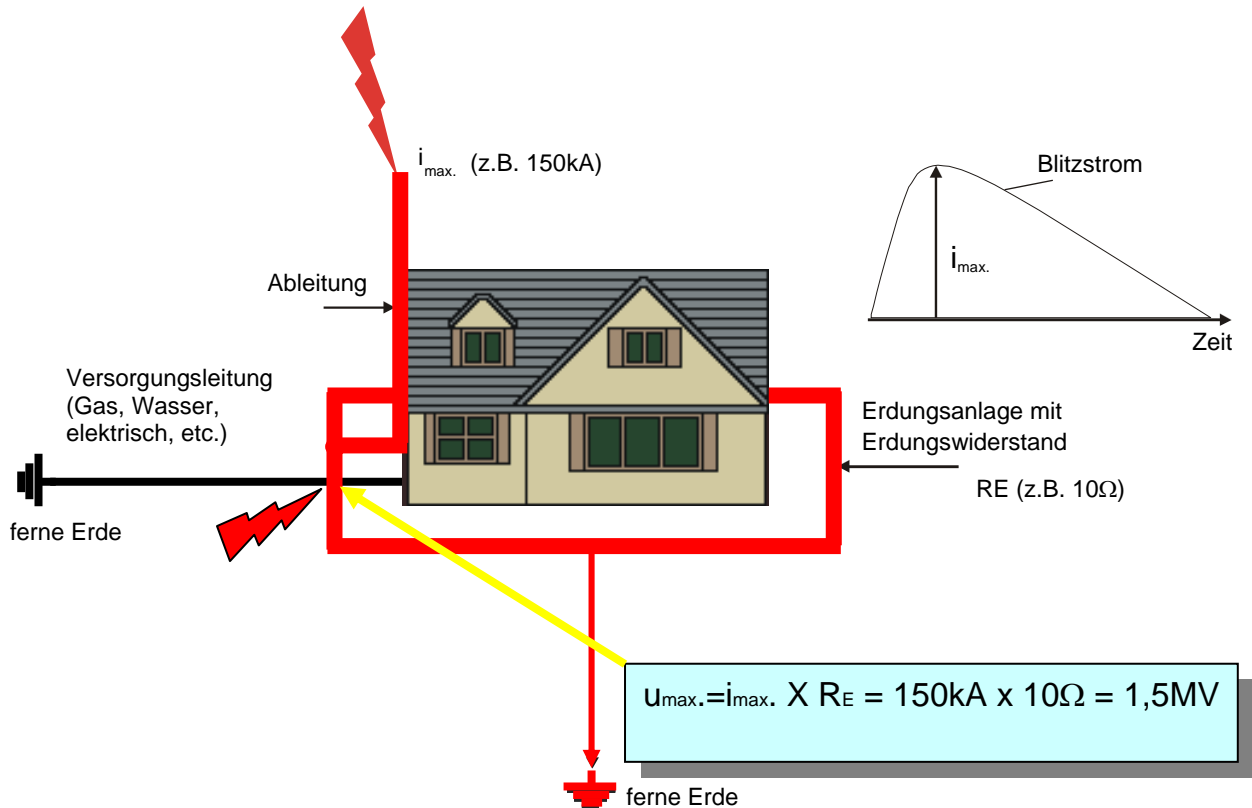


Bild 3.6: Potentialanhebung einer baulichen Anlage gegenüber fernen Erde durch den Maximalwert des Blitzstromes

i_{max} in kA	Schutz- klasse I	Schutz- klasse II	Schutz- klasse III	Schutz- klasse IV
pos./neg. Erstblitz	200	150	100	100
negativer Folgeblitz	50	37,5	25	25

Bild 3.7: Maximalwerte des Blitzstromes aufgeschlüsselt nach Blitzschutzklassen [3]

Die Ladung eines Blitzstromes ist für das Ausschmelzen und Verdampfen durch Lichtbögen verantwortlich (Bilder 3.8 und 3.9). Die am Blitzfußpunkt und an jeder Stelle, an der ein Lichtbogen ansetzt, umgesetzte Energie ist in erster Näherung der Ladung Q proportional.

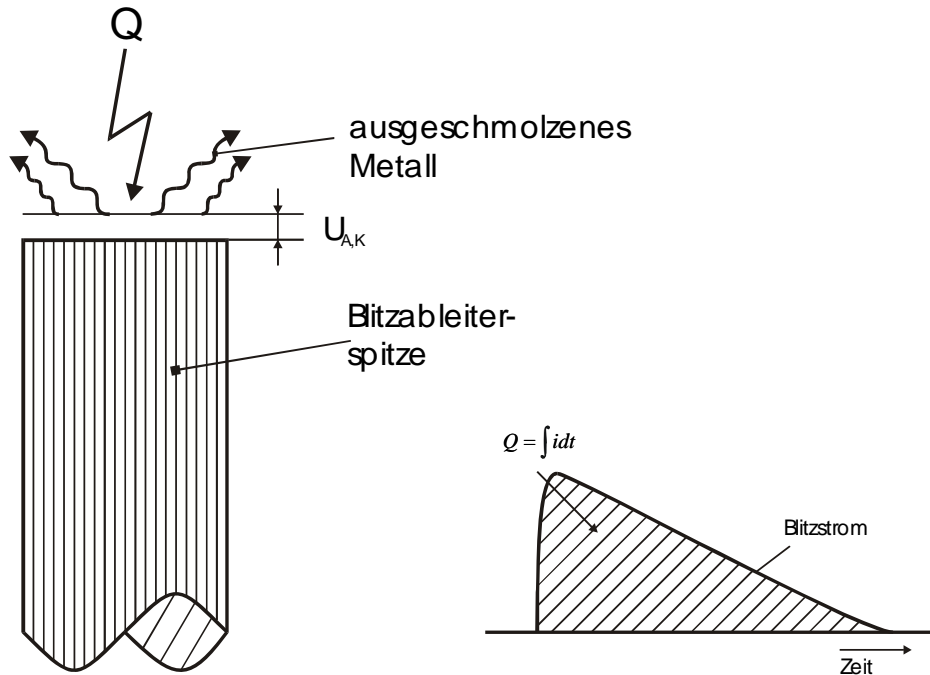


Bild 3.8: Energieumsatz am Blitzfußpunkt, bestimmt durch die Ladung des Blitzstromes

Q in As	Schutz- klasse I	Schutz- klasse II	Schutz- klasse III	Schutz- klasse IV
positive Gesamtladung	300	225	150	150
negative Gesamtladung				
Stoßstromladung (< 2ms)	100	75	50	50
Langzeitstromladung (0,5s)	200	150	100	100

Bild 3.9: Ladungsmengen von Blitzströmen aufgeschlüsselt nach Blitzschutzklassen [3]

Die spezifische Energie, auch als Stromquadratimpuls bezeichnet, ist verantwortlich für die Erwärmung metallener Leiter durch die im ohmschen Widerstand umgesetzte Energie und den Kraftimpuls auf blitzstromdurchflossene Objekte (Bilder 3.10 und 3.11).

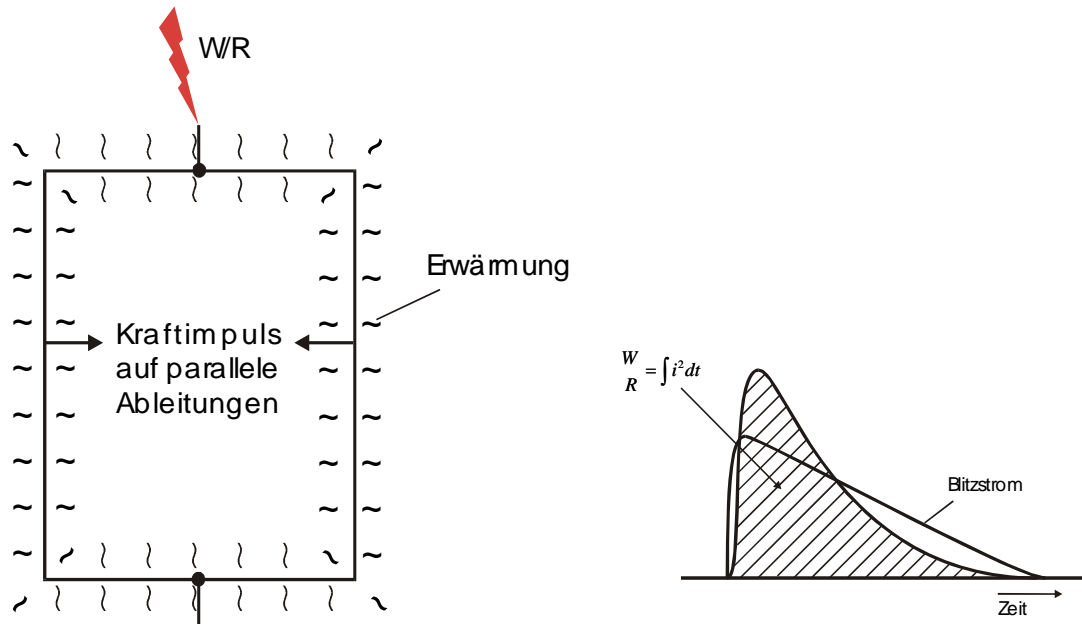


Bild 3.10: Erwärmung und Kraftwirkung auf blitzstromdurchflossene Leiter

W/R in MJ/Ω	Schutz- klasse I	Schutz- klasse II	Schutz- klasse III	Schutz- klasse IV
positiver Blitz	10	5,6	2,5	2,5
negativer Blitz				

Bild 3.11: Spezifische Energien aufgeschlüsselt nach Blitzschutzklassen [3]

Die Stromsteilheit ist entscheidend für die aufgrund der Gegeninduktivität M in metallene Schleifen magnetisch induzierten Spannungen (Bilder 3.12 und 3.13). Dieser Wirkungsparameter ist mittlerweile wohl für die meisten Schäden durch Blitzentladungen verantwortlich, da durch die immer größeren und zahlreicheren Kabelverteilungsnetze in unserer elektrotechnischen Umwelt die Möglichkeiten von Schädigungen aufgrund magnetisch induzierter Spannungen wesentlich zugenommen haben. Man kann davon ausgehen, dass bis zu einer Entfernung von einigen 100 m bis zu wenigen Kilometern zu einem Gebäude bei ungünstigen Verhältnissen noch Spannungen in Kabelnetze im Inneren der Gebäude und/oder in die Kabelnetze außerhalb der Gebäude (externe Versorgungsleitungen) induziert werden, die für die angeschlossenen Systeme zu hoch sind (Überspannungen). Hierin liegt das Hauptaugenmerk im vorliegenden Forschungsprojekt, da dadurch die mit Abstand meisten Kosten für die Versicherungswirtschaft entstehen.

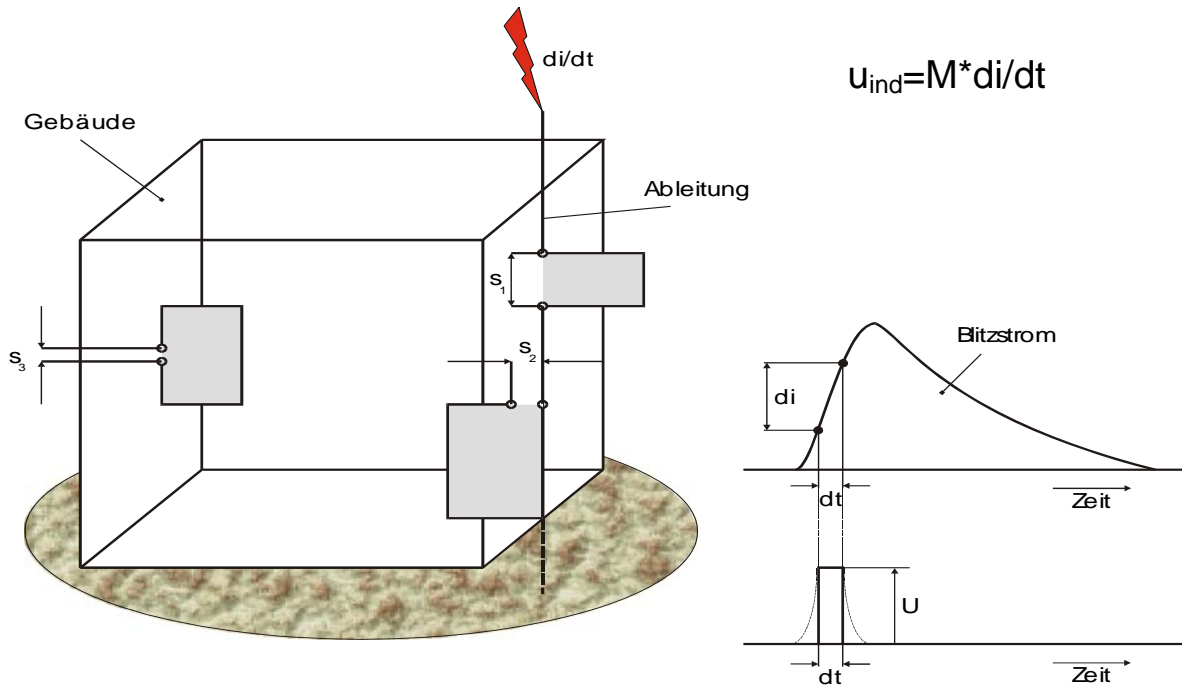


Bild 3.12: Induzierte Spannungen in Schleifen durch die Steilheit des Blitzstromes

$\Delta i / \Delta t$ in kA/ μ s	Schutz- klasse I	Schutz- klasse II	Schutz- klasse III	Schutz- klasse IV
pos./neg. Erstblitz	20	15	10	10
negativer Folgeblitz	200	150	100	100

Bild 3.13: Steilheit von Blitzströmen aufgeschlüsselt nach Blitzschutzklassen [3]

4 Blitzortungssysteme

Zur Zeit sind in Deutschland zwei Blitzortungssysteme verfügbar:

- das System BLIDS der Firma Siemens, basierend auf einer Technologie der Firma VAISALA, die seit vielen Jahren weltweit im Einsatz ist;
- das System LINET der Firma NowCast, das in den letzten Jahren an der Ludwig-Maximilian Universität München (LMU) entwickelt wurde.

Im Folgenden werden zunächst die Grundlagen und Anforderungen an ein Blitzortungssystem kurz dargestellt. Dann erfolgt eine kurze Information zum System Siemens BLIDS und zum System LINET. Abschließend erfolgt dabei jeweils eine Bewertung der Anforderungen einschließlich der Charakteristika und Einschränkungen der beiden Systeme.

4.1 Grundlagen eines Blitzortungssystems

4.1.1 Sensoren

Ein Blitzortungssystem beruht entweder auf dem Time of Arrival-Verfahren (ToA) oder auf dem Magnetic Direction Finding-Verfahren (DF). Die modernen Systeme nutzen dabei nahezu ausschließlich das ToA-Verfahren aufgrund der geringeren Toleranz bei der Messung. Das DF-System wird im Wesentlichen nur noch zu Plausibilitätskontrollen verwendet.

Die Sensoren der Systeme ermitteln entweder den genauen Zeitpunkt des Eintreffens des Blitzfeldes beim Sensor (Time of Arrival) mit einer Zeitgenauigkeit besser als 100 ns oder den Einfallswinkel des Blitzfeldes (Magnetic Direction Finding – DF). Die wichtigste Aufgabe der Sensoren ist die möglichst eindeutige Erkennung von Blitzsignalen. Die Feldverläufe von Wolke-Erde-Blitzen (Erdblitzen) und Wolke-Wolke-Blitzen (Wolkenblitzen) müssen von anderen empfangenen elektromagnetischen Signalen (Störsignalen) ausgefiltert werden. Als mögliche Störquellen kommen alle künstlichen und natürlichen Felderzeuger (Korona von Hochspannungsleitungen, Fernmeldesender, Motorzündungen, usw.) in Frage.

Im Falle des ToA-Verfahrens werden zur exakten Zeitbestimmung des Eintreffens des Blitzfeldes bei den Sensoren Uhren verwendet, die jede Sekunde mit Hilfe der GPS Satelliten untereinander synchronisiert werden. Damit kann der Zeitfehler zwischen den Sensoren kleiner als 100 Nanosekunden gehalten werden. Bei den Sensoren kann es sich um elektrische oder magnetische Feldantennen handeln.

Der DF-Sensor besteht aus zwei orthogonal aufeinander stehenden magnetischen Antennen zur Messung der Nord-Süd- und der Ost-West-Komponente des magnetischen Feldes (H-Feld). Die magnetische Antenne dient primär zur Bestimmung des Einfallswinkels und sekundär zur Bestimmung der Polarität eines Blitzes. Der Einfallswinkel des Blitzfeldes kann aus dem Verhältnis der Signale der beiden magnetischen Antennen berechnet werden. Zur Bestimmung der Polarität kann ergänzend eine elektrische Antenne dienen.

Sowohl beim ToA-Verfahren als auch beim DF-Verfahren wird der zeitliche Verlauf der empfangenen Signale aufgezeichnet. Der Signalverlauf dient auch dazu, um zwischen Erdblitzern, Wolkenblitzen und anderen Signalen zu unterscheiden.

4.1.2 Position Analyser (PA)

Die von den Sensoren als Blitze erkannten und ausgewerteten Daten werden mit einer exakten Zeitmarke versehen und zum Positioning Analyser (oder Lightning Processor) übertragen. Die erste Aufgabe des PA ist es, aufgrund der Zeitmarken alle Daten zu gruppieren, die zum selben Blitzereignis gehören. Neben den Koordinaten des Einschlagspunktes stellt der PA zu jedem erfassten Blitzereignis einige weitere Informationen zur Verfügung. Je nach System zählen hierzu:

- Uhrzeit
- Polarität (positiv/negativ)
- Blitzstromscheitelwert in kA
- Anzahl der Teilblitze
- Anstiegszeit des Feldimpulses
- Pulsbreite des Feldimpulses.

Zum Blitzstromscheitelwert ist zu erwähnen, dass dieser gemäß einem wissenschaftlich eingehend diskutierten und akzeptierten Modell aus dem Feldimpulsverlauf (insbesondere dessen Scheitelwert) berechnet wird. Damit sind Abweichungen bei einem konkreten Blitzstrom unvermeidbar; sie betragen einige Prozent bis zu einigen 10 Prozent.

4.1.3 Berechnung eines Einschlagspunktes

Es gibt grundsätzlich verschiedene Methoden zur Berechnung eines Einschlagspunktes:

- Optimierung auf Basis der Zeitinformationen (reines ToA-Verfahren);
- Optimierung auf Basis der Zeit- und Richtungsinformationen;
- Optimierung auf Basis der Richtungsinformationen.

Bedingt durch die relativ großen Abstände von bis zu mehreren hundert Kilometern zwischen den Sensoren ist es generell erforderlich, alle Ortungsberechnungen auf Basis der sphärischen Geometrie durchzuführen

Bei reinen ToA-Systemen, bei denen nur die Laufzeitdifferenzen ausgewertet werden, muss ein Blitz von mindestens 4 Sensoren registriert werden, um eine eindeutige Bestimmung des Einschlagspunktes zu ermöglichen. In modernen Systemen wird die große Mehrzahl der Blitze nach diesem Verfahren lokalisiert. Nur in Ausnahmefällen, wenn z.B. keine ausreichend genaue Zeitinformation zur Verfügung steht, kommt eines der o.g. anderen Verfahren zur Anwendung.

4.2 Anforderungen an ein Blitzortungssystem

Blitzortungssysteme werden für unterschiedliche Aufgabenstellungen herangezogen. Grundsätzlich kann man wohl vier Anforderungskriterien definieren, die dabei in unterschiedlichem Maße erforderlich sind:

a) Detection efficiency (DE) für Blitzschläge (flashes)

Damit wird definiert, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein Blitzschlag detektiert wird. Dieses Kriterium ist naturgemäß sehr wichtig, sowohl für blitzschutztechnische, meteorologische, versicherungstechnische oder auch wissenschaftliche Zwecke. Ein Blitzortungssystem soll mit hoher Genauigkeit alle realen Blitzschläge detektieren.

b) Detection efficiency (DE) für Teilblitze (strokes)

Hier wird nicht die DE für Blitzschläge, sondern für die einzelnen Teilblitze einer Blitzentladung beschrieben. Dieses Kriterium ist für wissenschaftliche Untersuchungen relevant, zum Teil wohl auch für meteorologische und blitzschutztechnische Aufgabenstellungen, aber nahezu unbedeutend für versicherungstechnische Fragen. Hierfür ist nur die Aussage wichtig, ob ein Blitz eingeschlagen hat, aber nicht, wie viele Teilblitze diese Blitzentladung hatte.

c) Räumliche Ortungsgenauigkeit

Damit wird beschrieben, welche räumlichen Fehler bei der Ortung des Blitzereignisses bestehen. Bedingt durch die verwendeten Technologien und Algorithmen und zum Teil bedingt auch durch die Blitzphysik ist eine Toleranz bei der Ortung von wenigen 100 m nicht zu vermeiden. Dieses Kriterium ist ebenfalls sehr wichtig, insbesondere auch für versicherungstechnische Fragen, da darauf z.B. die Entscheidung gründet, ob ein bestimmter Blitz für einen konkreten Schaden verantwortlich sein kann oder nicht.

Die bei einem einzelnen Blitzschlag erreichbare Ortungsgenauigkeit hängt von einer Reihe von Einflussfaktoren ab, wie z.B. der Anzahl der beteiligten Sensoren, der Distanz des Einschlagpunktes zu den Sensoren, dem statistischen Fehler bei der Zeitmessung und dem Maximalwert des Feldimpulses bzw. dem daraus errechneten Blitzstromscheitelwert. Daneben können systematische Fehler von entscheidender Bedeutung sein. Systematische Fehler sind zwar im Prinzip korrigierbar, wie beispielsweise durch sorgfältige Kalibrierung der Sensoren. Andererseits können die systematischen Fehler zum Beispiel durch die Wellenausbreitung über der Erde oft nur schwer abgeschätzt werden. Bei der Wellenausbreitung über der Erde spielen neben den topologischen Gegebenheiten (Berge) die Erdverhältnisse (Gestein, Kies, Lehm, Wasser, etc.), die sich zudem jahreszeitlich mit der Durchfeuchtung des Erdreiches ändern, eine entscheidende Rolle. Daher ist es grundsätzlich schwierig, die Ortungsgenauigkeit von Blitzortungssystemen aufgrund von Einzelereignissen zu beurteilen.

d) Selektivität zwischen Erdblitzen und sonstigen Ereignissen (auch Wolkenblitze)

Darunter wird die möglichst eindeutige Unterscheidung in Erdblitze, Wolkenblitze und andere Ereignisse (Störphänomene) verstanden. Auch dieses Kriterium ist für alle Bereiche (blitzschutztechnische, meteorologische, versicherungstechnische, wissenschaftliche Zwecke) sehr wichtig. Für versicherungstechnische Fragen ist zu fordern, dass es sich bei einem detektierten Erdblitz mit hoher Wahrscheinlichkeit auch wirklich um einen solchen handelt.

Hinweis: Ein Blitzortungssystem ist so auszulegen, dass es die einzelnen Anforderungen bestmöglichst erfüllt. Diese Optimierung bedeutet, dass ein möglichst guter Kompromiss zwischen den einzelnen Anforderungen geschlossen wird. Wird nur hinsichtlich einer Anforderung optimiert, können die Leistungsmerkmale der anderen Anforderungen abgesenkt sein. Wird beispielsweise eine möglichst hohe Detection efficiency (DE) gefordert, so schließt diese Forderung ein, dass die Sensitivität des Mess-Systems so weit als möglich erhöht wird, um möglichst alle Blitze zu erfassen. Dadurch erhöht sich andererseits zwangsläufig die Anzahl der empfangenen Mess-Signale, was u.U. zu einer Absenkung der Selektivität führen kann.

4.3 Siemens - BLIDS

4.3.1 Grundlagen

Die Technologie des Systems ist in [7] dargestellt, weitere Informationen finden sich in [8]. BLIDS nutzt das ToA-Verfahren, nur in wenigen Ausnahmefällen wird zusätzlich das DF-Verfahren angewandt. Als ToA-Sensoren werden elektrische Feldantennen verwendet, da keine Richtungsabhängigkeit gemessen werden muss.

Die Unterscheidung zwischen Wolkenblitzen, Erdblitzen und Störsignalen erfolgt bei BLIDS durch ein patentiertes Verfahren ("Waveform Discrimination" = Wellenform-Kriterium), das einen Blitz aufgrund mehrerer charakteristischer Merkmale des elektromagnetischen Feldes erkennt. Es müssen mehrere Kriterien erfüllt sein, damit ein elektromagnetisches Signal als Blitz registriert wird. Mittels dieses Verfahrens können Störimpulse mit hoher Sicherheit ausgeschlossen werden.

4.3.2 Bewertung der Anforderungen

Die Ortungsgenauigkeit des Blitzortungssystems BLIDS ist in der Literatur intensiv diskutiert und damit rel. genau untersucht worden. Nach [9, 10, 11] beträgt der räumliche Fehler im Mittel ca. 200 m, sofern systematische Fehler, die an einzelnen Stellen existieren, nicht berücksichtigt werden müssen. Im Einzelfall (für die Schadensbearbeitung) sind solche systematischen Fehler allerdings wohl nicht zu vernachlässigen; dann kann als worst-case eine mittlere räumliche Ortungsgenauigkeit von ca. 400 m angesetzt werden.

Will man eine Ortungsgenauigkeit auch für kleine Wahrscheinlichkeiten nennen, so kann diese Aussage nur mit der Detection Efficiency (DE) für Blitzschläge (Flashes) verbunden werden. Diese liegt beim System ALDIS in Österreich für Blitzstromscheitelwerte von ≥ 4 kA bei 93%, für Blitzstromscheitelwerte von ≥ 10 kA bei 98%. Die Blitzschlag DE des Systems BLIDS in Deutschland dürfte für die niedrigeren

Scheitelwerte etwas geringer ausfallen; für die Scheitelwerte ab 10 kA sind die Unterschiede zwischen ALDIS und BLIDS wohl bei nur wenigen Prozent.

Beide „Unsicherheiten“ zusammengenommen kann wohl davon ausgegangen werden, dass mit einer räumlichen Ortungsgenauigkeit von jeweils weniger als 1000 m ca. 90% der tatsächlichen Wolke-Erde-Blitze mit Blitzstromscheitelwerten ≥ 4 kA bzw. 95% mit Blitzstromscheitelwerten ≥ 10 kA korrekt gemessen werden. Diese Werte werden durch weitere Untersuchungen und Analysen bestätigt [12]. Eine noch exaktere Aussage ist zur Zeit nicht seriös möglich, aber wohl auch nicht erforderlich.

Hinweis: Hier wird die Blitzschlag DE herangezogen, da es zur Detektion eines Blitzereignisses ausreicht, mindestens einen Teilblitz registriert zu haben. Die Teilblitz DE (für jeden einzelnen Stroke) ist naturgemäß geringer; sie beträgt beim System ALDIS 77% bei Blitzstromscheitelwerten von ≥ 4 kA und 93% bei Blitzstromscheitelwerten von ≥ 10 kA.

Weitere Charakteristika (einschließlich Einschränkungen) des Systems BLIDS sind:

- Die aus den Feldmessungen berechneten Scheitelwert-Verteilungen der Blitzströme sind rel. gut vergleichbar mit denen aus Blitzstrom-Messungen früherer Jahre, die die Grundlage zur Beschreibung des Blitzes als Störphänomen für die aktuelle Blitzschutz-Normung bilden [3, 4, 5, 6]. So stimmen z.B. die Blitzstromscheitelwert-Verteilungen für die sog. β -Impulse von Aufwärtsblitzen am Turm Gaisberg (Referenzmesspunkt für das System ALDIS), die in etwa typischen Folgeblitzen von Abwärtsblitzen entsprechen, und für die negativen Folgeblitze nach [3] rel. gut überein: die Mittelwerte betragen ca. 10 kA und 12 kA.
- Beim System BLIDS werden noch einige „ältere“ Sensoren LPATS 3 verwendet, deren Totzeiten nach einer Signalregistrierung im Bereich einiger Millisekunden liegen. Neuere Sensoren (LPATS 4 bzw. IMPACT) haben nur noch Totzeiten im Bereich unter 1 ms, so dass kein Teilblitz auch mit einem extrem kurzen zeitlichen Abstand zum vorausgegangenen Teilblitz mehr systembedingt aus der Aufzeichnung herausfällt.
- Die Unterscheidung nach Wolkenblitzen und Erdblitzes insbesondere nach dem Wellenform-Kriterium besitzt eine gewisse „Unschärfe“, so dass auch in einigen Prozent der Fälle mit fehlerhaften Anzeigen gerechnet werden muss (detektierter Erdblitz ist in Realität Wolkenblitz und vice versa). Dies betrifft bekanntermaßen insbesondere detektierte positive Erdblitzes mit Blitzstromscheitelwerten < 10 kA, bei denen es sich in der Realität um Wolkenblitze handelt [12]. Diese positiven Erdblitzes mit derart geringen Blitzstromscheitelwerten haben jedoch nur einen Anteil von ca. 15 % an allen positiven Blitzen und damit von weniger als 2 % an allen Erdblitzes [3]. Damit ist diese „Unschärfe“, unter Berücksichtigung der anderen Ungenauigkeiten, weniger stark von Bedeutung.

Insgesamt kann wohl für das System BLIDS ausgeführt werden, dass die Anforderungen (siehe 4.2) an die Blitzschlag DE ebenso gut erfüllt werden wie an die Ortungsgenauigkeit. Die Teilblitz DE ist nicht optimal (aber auch weniger relevant);

dagegen erscheint die Selektivität zwischen Erdblitzern und anderen Ereignissen wiederum gut.

4.4 NowCast - LINET

Die Technologie des Systems und weitere Informationen sind in [13, 14, 15] dargestellt. Im Folgenden werden nur die wesentlichen Charakteristika des Systems LINET und die Unterschiede zum System BLIDS dargestellt.

4.4.1 Grundlagen

Auch LINET nutzt das ToA-Verfahren, um den Ort des Blitzeinschlags zu orten. Anstelle des elektrischen Feldsignals wird hier nur das magnetische Signal mit gekreuzten Antennen aufgezeichnet. Die Richtungspeilung (DF) wird ebenso nur zur Plausibilitätskontrolle verwendet. Das GPS-Zeitfenster ist ebenfalls kleiner 100 ns.

Im Falle LINET ist nicht genau bekannt bzw. veröffentlicht, welche Signale bzw. Signalformen als „Blitz“ detektiert werden. Daher sind auch die veröffentlichten Statistiken zu Anzahl der gemessenen Entladungen und zu deren berechneten Scheitelwerten kritisch zu betrachten.

Die Unterteilung in Wolkenblitze und Erdblitzern wird vom System LINET nicht durch ein Wellenform-Kriterium vorgenommen, sondern durch ein 3D-Verfahren. Dies beruht auf folgenden Überlegungen:

- Erdblitzern senden die elektromagnetischen Signale sehr bodennah ab, während Wolkenblitzern dies aus der Wolke tun;
- Die Signale von Erdblitzern und Wolkenblitzern mit gleichen Koordinaten auf der Erdoberfläche (Fußpunkt) haben daher vom Emissionsort zum Sensor verschieden lange Wege zurück zu legen;
- Diese Zeitdifferenzen lassen sich für eine 3D-Peilung ausnutzen, womit auch automatisch die Höhe des Wolkenblitzes ermittelt werden kann.

Zunächst wird bei LINET der Fußpunkt für alle Blitze üblicherweise mit mindestens fünf Sensoren bestimmt (2D-Berechnung). Sodann wird die erwartete Signallaufzeit für einen Erdblitz zum nächstgelegenen Sensor weiter untersucht. Ergibt sich hier eine Zeitdifferenz (300 m Laufzeit entspricht 1 μ s), so kann diese nur daher rühren, dass das Signal nicht bodennah, sondern aus einer Höhe h über dem Erdboden, also von einem Wolkenblitz, emittiert wurde. Bedingung für dieses Verfahren ist, dass der nächstgelegene Sensor maximal 120 km vom Fußpunkt der Blitzentladung entfernt ist.

4.4.2 Bewertung der Anforderungen

Der Betreiber NowCast selbst gibt die räumliche Ortungsgenauigkeit zu im Mittel 250 m an; eine Untersuchung mit dem Referenz-Messpunkt Gaisberg des ALDIS-Systems ergab in 2003 einen Wert von ca. 400 m. Dieser Messpunkt liegt allerdings am Rande des damaligen Aufzeichnungsgebietes von LINET und in der Zwischenzeit wurde das System LINET auch weiterentwickelt.

Im Vergleich zu BLIDS ergibt sich bei den Messungen mit LINET etwa die dreifache Häufigkeit von Teilblitzen, und damit auch eine wesentlich größere Blitzdichte, wie sie aus den jahrzehntelangen Messungen des isokeraunischen Pegels abgeleitet werden kann. Nachdem bei LINET, wie in 4.4.1 beschrieben, nicht genau bekannt bzw. veröffentlicht ist, welche Signale bzw. Signalformen als „Blitz“ detektiert werden, müssen diese Statistiken zur Anzahl der gemessenen Entladungen und zu deren berechneten Scheitelwerten kritisch betrachtet werden. Es besteht die berechnete Vermutung, dass es sich bei einer Vielzahl der von LINET registrierten magnetischen Feldimpulse nicht um Teilblitze nach der gängigen Definition handelt [2, 3], sondern um andere Entladungsformen (z.B. Ruckstufen, initial breakdowns in der Gewitterwolke, startende Fangentladungen von Objekten auf dem Erdboden). Darauf weisen auch z.T. extrem kurze Zeitintervalle von unter 1 ms zwischen zwei von LINET registrierten Feldimpulsen hin (nach [3] betragen diese Zeitintervalle im Mittel mehr als 30 ms), die keine Pausenzeiten zwischen echten Teilblitzen sein können (Bild 4.1).

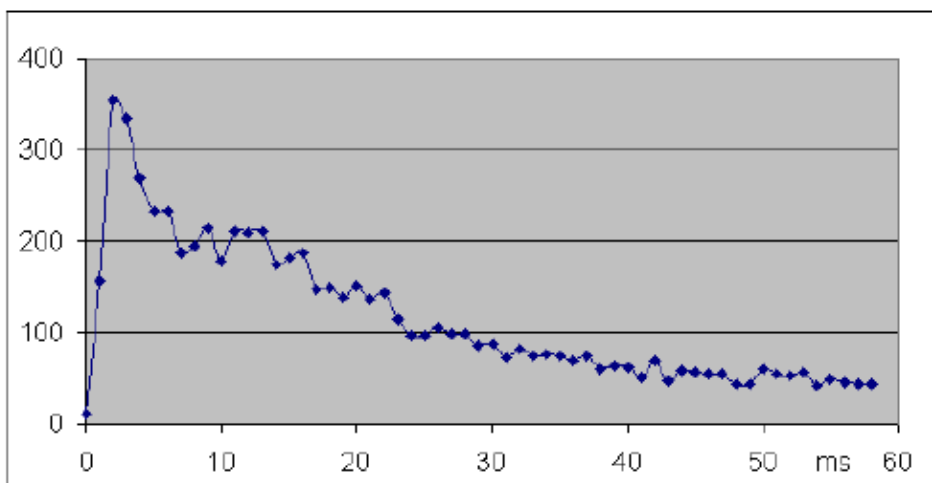


Fig. 11: Distribution of time differences between first and second stroke for the Munich data of May 31, 2003.

Bild 4.1: Statistische Verteilung der Zeitintervalle zwischen Teilblitzen (Erst- und Folgeblick) aus LINET (LMU)-Messungen, entnommen aus [16].

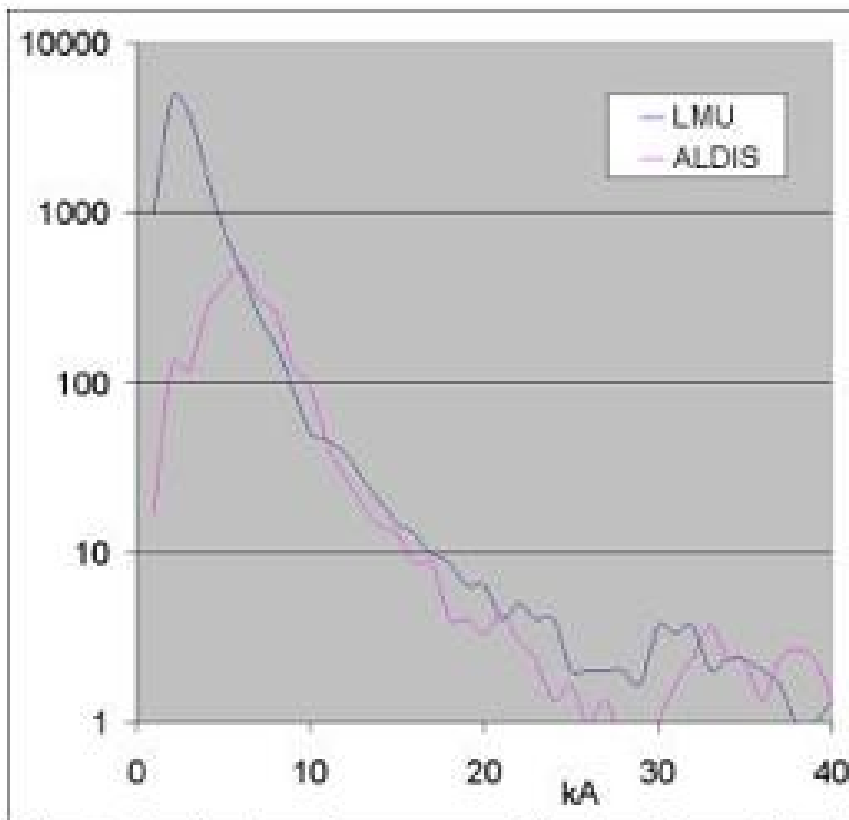


Fig. 5: Distribution of range-normalized stroke amplitudes for the data shown in Fig. 2, in a semi-logarithmic scale.

Bild 4.2: Statistische Verteilung der aus den Feldimpulsen berechneten Blitzstrom-Scheitelwerte für LINET (LMU) und ALDIS, entnommen aus [16].

Diese o.g. zusätzlich gemessenen Feldimpulse weisen weiterhin natürlich rel. niedrige berechnete Stromscheitelwerte auf; dadurch wird die Verteilung der Blitzstromscheitelwerte massiv zu kleineren Werten hin „verschoben“, so dass der Mittelwert der Blitzstromscheitelwerte aus den LINET-Messungen von ca. 4 kA (siehe Bild 4.2) um etwa den Faktor 3 kleiner ist wie gemäß der ALDIS-Messungen oder auch für die negativen Folgeblitze nach [3] angegeben. Es erscheint aber sehr zweifelhaft, dass die statistischen Verteilungen der Blitzstromparameter aus den früheren Strommessungen (die ja auch der internationalen Blitzschutz-Normung zugrunde liegen und daher vielfach analysiert und validiert worden sind) mit solchen Fehlern behaftet sein sollen. Es kann vielmehr vermutet werden, dass in den LINET-Messungen selbst die Gründe für die entsprechenden Abweichungen zu suchen sind.

Bild 4.3 zeigt die Höhenverteilung der Blitze über dem Erdboden. Zu erkennen ist, dass ein Maximum bei etwa 8 km vorliegt. Aber auch in noch größeren Höhen über 10 km gibt es eine erhebliche Blitzaktivität. Dies steht in einem gewissen Widerspruch zur typischen Ladungsverteilung bei Gewitterzellen (Bild 4.4): Zu erwarten wäre, dass sich die Wolkenblitze zwischen dem negativen und positiven Ladungszentrum entwickeln,

also unterhalb von 8 km Höhe, und dass oberhalb von ca. 15 km keine deutliche Blitzaktivität mehr feststellbar sein dürfte.

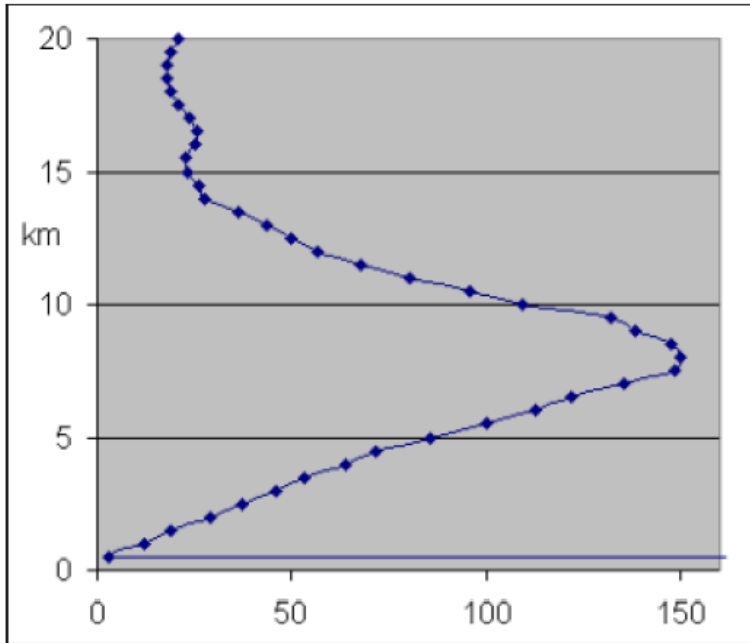


Fig. 4. Distribution of 2800 emission source heights for a thunderstorm on May 8, 2003, with a total of 6700 strokes recorded at 4 or more sensors; 3900 CG strokes yield source heights near ground level.

Bild 4.3: Statistische Verteilung der Höhe der mit dem LINET (LMU)-System gemessenen Wolkenblitze, entnommen aus [15].

3.2 Cumulonimbus Electric Fields and Charges

59

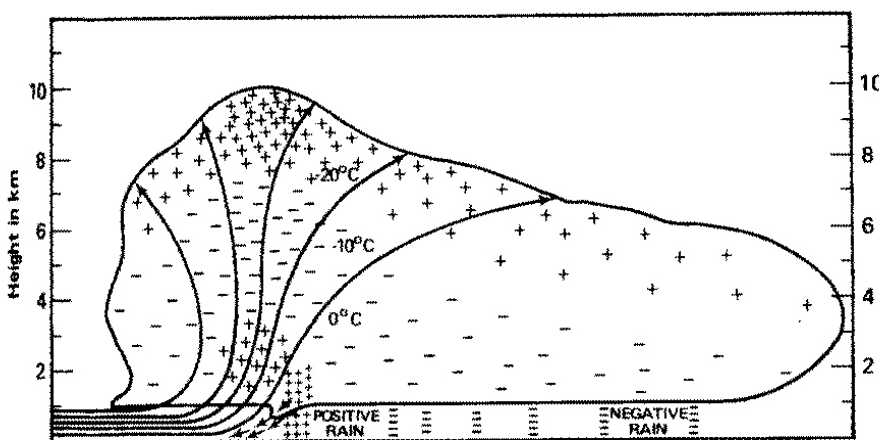


Fig. 3.1 A diagram showing the distribution of air currents and electrical charge in a typical convective thunderstorm in England inferred by Simpson and Scrase (1937) from instrumented balloon flights. A summary of the charge locations found in this study and in a later study reported by Simpson and Robinson (1941) is given in Simpson and Robinson's Table 3.

Bild 4.4: Ladungsverteilung in einer typischen Gewitterzelle, entnommen aus [17].

Grund für diese sehr großen Höhen von Wolkenblitzen könnte ein Problem des 3D-Verfahrens in Verbindung mit der räumlichen Ortungsgenauigkeit auf Erdniveau sein. Akzeptiert man als Ortungsgenauigkeit des ja zunächst anzuwendenden 2D-Verfahrens den eingangs vom Betreiber NowCast selbst genannten Mittelwert von 250 m, so ergeben sich aus grundlegenden geometrischen Überlegungen (Verhältnisse im rechtwinkligen Dreieck) für die 3D-Messung:

- bei einem Abstand des nächstgelegenen Sensors von 50 km eine mittlere „Höhen-Unschärfe“ von etwa 5 km;
- bei einem Abstand des nächstgelegenen Sensors von 100 km eine mittlere „Höhen-Unschärfe“ von etwa 7 km.

Ob diese Werte so korrekt sind, kann zunächst nur vermutet werden; dies bedarf sicherlich noch weiterer Untersuchungen. Sie zeigen aber, wie sensibel das 3D-Verfahren auf geringe Abweichungen in der Feldimpuls-Laufzeit bzw. auf geringe räumliche Ortungsgenauigkeiten durch die „anderen“ Sensoren reagiert. Eine ausreichende Selektivität von Erdblitzen zu anderen „Ereignissen“, auch zu Wolkenblitzen, bei Messungen mit dem System LINET erscheint damit nicht gegeben.

Zusammenfassend lassen sich folgende Punkte feststellen:

- Das System LINET misst wesentlich mehr stromschwache „Entladungen“ mit Scheitelwerten typischerweise < 4 kA, die gemäß der Standard-Literatur bei natürlichen Erdblitzen (Abwärtsblitzen) nur mit sehr geringen Wahrscheinlichkeiten vorkommen. Es kann vermutet werden, dass diese überwiegend aus Ereignissen resultieren, die keine Teilblitze gemäß der üblichen Definition darstellen [3], sondern vielmehr andere Entladungsformen (z.B. Ruckstufen von Leitblitzen, initial breakdowns in der Gewitterwolke, startende Fangentladungen von Objekten auf dem Erdboden).
- Mit der wesentlich höheren Anzahl von registrierten Ereignissen verbunden ist wohl auch im positiven Sinne eine erhöhte Teilblitz DE, d.h. das System LINET misst prozentual mehr Teilblitze von Erdblitzen als das System BLIDS (vgl. 4.3.2). Jedoch geht dies einher mit der Detektion vieler Ereignisse als Teilblitze, die wohl keine solchen darstellen. Es ist abhängig von der Aufgabenstellung an ein Blitzortungssystem,
 - ob die Aussagesicherheit, dass ein gemessenes Ereignis einen Teilblitz darstellt, möglichst hoch sein soll bzw. die oberste Priorität besitzt (dann dürfen nur rel. wenig Fehlmessungen auftreten, die keine Teilblitze sind),
 - oder ob möglichst alle real vorhandenen Teilblitze auch registriert werden sollen (dann dürfen beliebig viele Fehlmessungen auftreten, die keine Teilblitze sind).
- Bei der Unterscheidung in Wolkenblitze und Erdblitze unter Nutzung des 3D-Verfahrens scheint es noch „Unschärfen“ zu geben; dies kann aus den o.g. statistischen Verteilungen der Höhen der Wolkenblitze ebenso gefolgert werden wie aus einigen im Rahmen eines GDV-Workshops diskutierten Einzelfällen [12]. Zumindest erscheint dieses Unterscheidungs-Verfahren zum jetzigen Zeitpunkt

qualitativ nicht gleichwertig dem beim System BLIDS nach dem Wellenform-Kriterium zu sein. Aus wissenschaftlicher und aus versicherungstechnischer Sicht wäre wohl eine Kombination der beiden Verfahren von hohem Interesse.

Insgesamt kann wohl für das System LINET ausgeführt werden, dass die Anforderungen (siehe 4.2) an die Blitzschlag DE ebenso gut erfüllt werden wie an die Ortungsgenauigkeit. Die Teilblitz DE ist ebenfalls gut, wenn man von dem Problem absieht, dass viele weitere „Ereignisse“ detektiert werden, die mit hoher Sicherheit keine Teilblitze darstellen. Dagegen erscheint die Selektivität zwischen Erdblitzern und anderen Ereignissen bei weitem noch nicht ausreichend.

5. Netztopologien

Nach DIN VDE 0100 Teil 300 [18] werden verschiedene Netzformen für Drehstromsysteme definiert. Sie dient zur Beschreibung von elektrischen Anlagen hinsichtlich der sicherheitstechnischen Konzeption. Die Netzformen unterscheiden sich nach Art und Anzahl der aktiven Leiter und Erdverbindungsdurchführung. Netzsysteme werden durch die folgenden Kurzzeichen gekennzeichnet:

1. Buchstabe: Erdungsverhältnisse an der Stromquelle

- T= direkte Erdung eines Punktes (Betriebserder)
- I = entweder Isolierung aller aktiven Teile von Erde oder Verbindung eines Netzpunktes mit Erde über eine hochohmige Impedanz oder eine offene Erdung (eine offene Erde ist eine Erdung über Blitzstrom- bzw. Überspannungsableiter)

2. Buchstabe: Erdungsverhältnisse der Körper der elektrischen Anlage

- T= Körper direkt geerdet (Anlagenerder), jedoch unabhängig von der etwa bestehenden Erdung eines Punktes der Stromquelle
- N= Körper direkt mit der Betriebserdung der Stromquelle verbunden (Im üblichen Drehstromnetz erfolgt diese Verbindung über den Neutralleiter mit Schutzfunktion, dem sog. PEN-Leiter)

weitere Buchstaben: Anordnung des Neutralleiters und des Schutzleiters

- S= Neutralleiter und Schutzleiter sind getrennt ausgeführt
- C= Neutralleiter und Schutzleiter sind in einem Leiter kombiniert

Es werden die folgenden wesentlichen Netzformen unterschieden:

TN-Netz:

Das TN-Netz ist ein Versorgungsnetz oder ein Teil davon einschließlich der Verbrauchsanlagen, in dem ein Punkt über einen Betriebserder (B_E) niederohmig geerdet ist, und in dem die Körper der Verbrauchsanlagen über Schutzleiter mit dem PEN-Leiter verbunden sind.

Je nach Anordnung dieses Schutzleiters unterscheidet man drei Arten von TN-Netzen:

- TN-S-Netz: Schutzleiter (PE) und Neutralleiter (N) sind im gesamten Netzwerk getrennt geführt

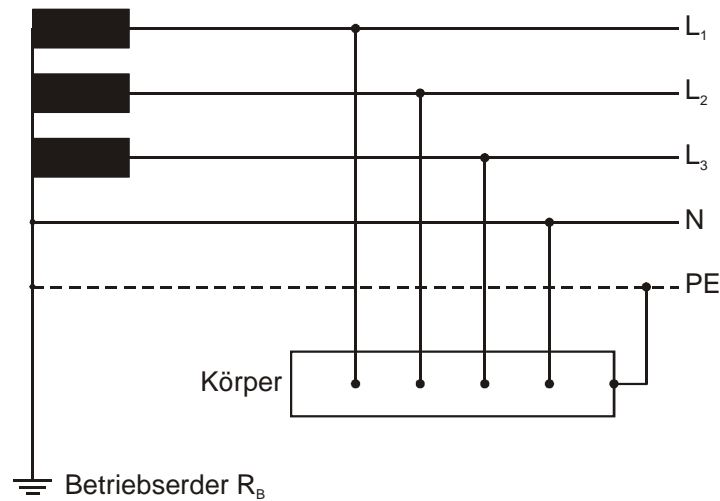


Bild 5.1: TN-S-Netz

- TN-C-Netz: Funktion von Schutzleiter und Neutralleiter sind in einem einzigen Leiter (PEN-Leiter) zusammengefasst

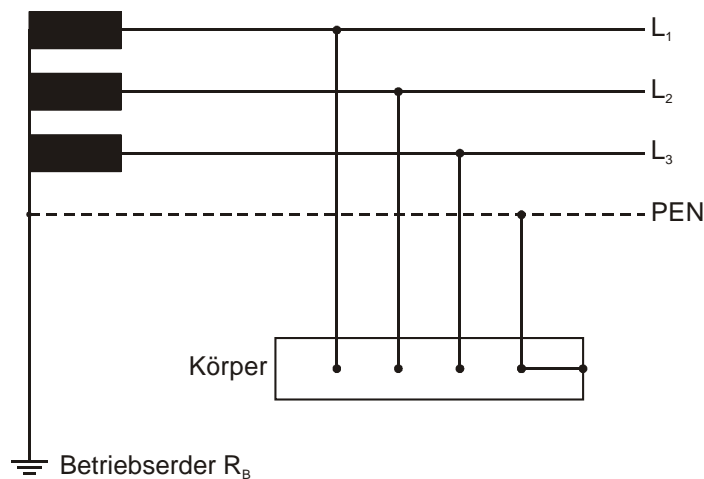


Bild 5.2: TN-C-Netz

- TN-C-S-Netz: Funktion von Schutzleiter und Neutralleiter sind nur in einem Teil des Netzes in einem einzigen Leiter (PEN-Leiter) zusammengefasst, im übrigen Teil des Netzes werden diese Leiter getrennt geführt

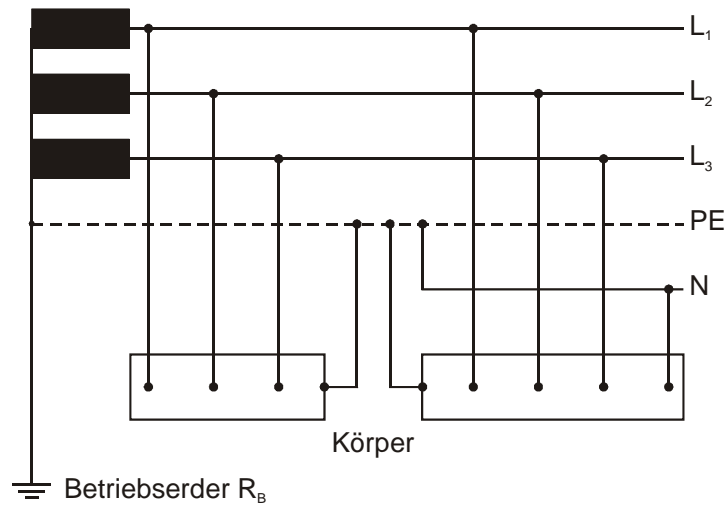


Bild 5.3: TN-C-S-Netz

TT-Netz:

Das TT-Netz ist ein Versorgungsnetz oder ein Teil davon einschließlich der Verbrauchsanlagen, in dem ein Punkt über einen Betriebserder (B_E) niederohmig geerdet ist. Die Körper der Verbrauchsanlagen sind jedoch mit lokalen Erdern (Anlagenerdern R_A) verbunden, die vom Betriebserder getrennt sind.

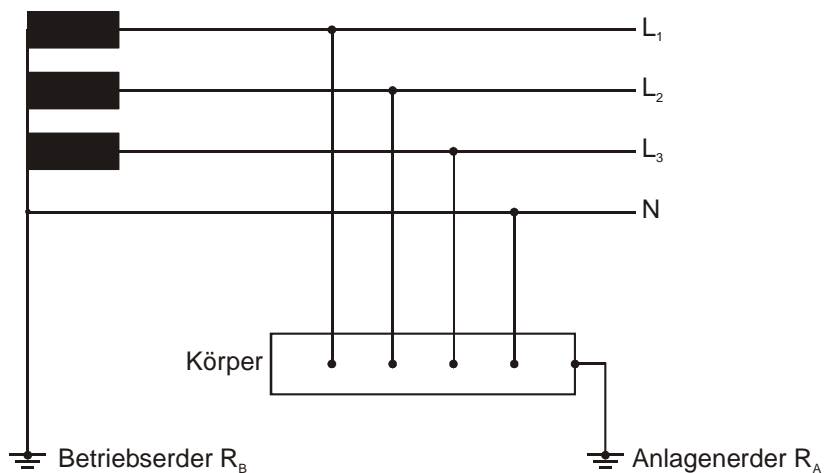


Bild 5.4: TT-Netz

IT-Netz:

Das IT-Netz ist ein Versorgungsnetz oder ein Teil davon einschließlich der Verbrauchsanlagen, das keine niederohmige Verbindung zwischen aktiven und

geerdeten Teilen aufweist und in dem Körper der Anlage über einen Schutzleiter geerdet sind.

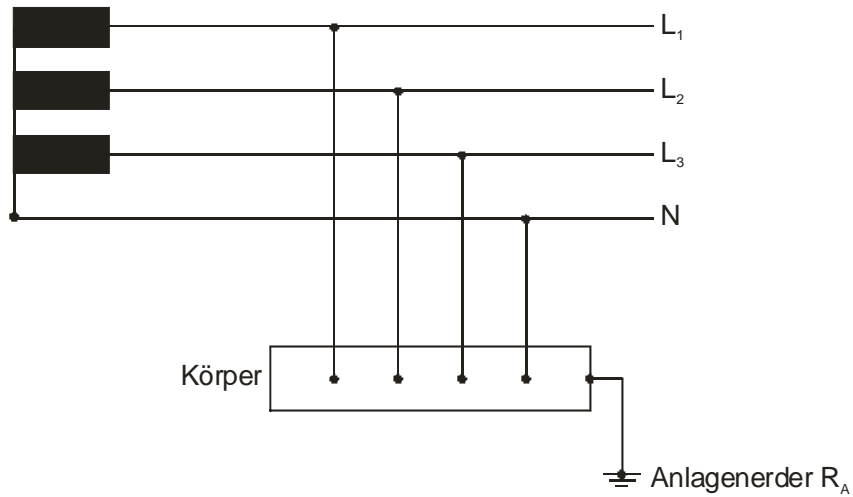


Bild 5.5: IT-Netz

6. Überspannungen

6.1 Direkter Blitzeinschlag (Potentialtrichter)

Die Ursachen für die auftretenden Überspannungen werden in direkte und indirekte Ursachen unterschieden. Zu den direkten Ursachen zählt der sog. Potentialtrichter.

Bei einem direkten Einschlag in die Erde oder den Punkt, wo der Blitzstrom in die Erde eingeleitet wird, kommt es zu einer Potentialanhebung des Punktes gegenüber „ferner Erde“, also dem Bezugspotential.

Am Blitzeinschlagspunkt verteilt sich der Blitzstrom im Erdreich. Je höher der Bodenwiderstand (Erdungswiderstand) ist, umso höher steigt das Potential des Einschlagspunktes. Die Spannungsverteilung nimmt umgekehrt proportional zur Entfernung ab. Die sich ausbildende räumliche Spannungsverteilung hat die Form eines Trichters.

Trifft ein Blitz ein Gebäude, das bereits mit einer Blitzschutzanlage versehen ist, so bewirkt der über die Erdungsanlage des Gebäudes abfließende Blitzstrom einen Spannungsfall am Erdungswiderstand R_E der Erdungsanlage des Gebäudes (Bild 6.1). Die maximal auftretende Spannung U_{\max} an der Potentialausgleichschiene bezogen auf „ferne Erde“ ist abhängig vom Maximalwert des Blitzstromes I_{\max} und dem Erdungswiderstand R_E . Etwa die Hälfte des Blitzstroms fließt über den Erder, die andere Hälfte über die in das Gebäude eintretenden Leitungen (Energieleitung, Breitbandkabel, Telekommunikationskabel, etc.). Im Beispiel steigt der Einschlagpunkt somit auf eine Spannung von 100 kV.

Solange alle leitfähigen Teile innerhalb des Gebäudes auf das gleiche hohe Potential angehoben werden, besteht keine Überschlagsgefährdung innerhalb des Gebäudes. Deshalb besteht die Notwendigkeit des Potentialausgleichs für alle leitfähigen Teile innerhalb des Gebäudes und für alle in das Gebäude eingeführten, fremden leitfähigen Teile. Es sei darauf hingewiesen, dass Überspannungsschutzgeräte für betrieblich spannungsführende Adern Teil des Potentialausgleichs sind. Wird diese Forderung vernachlässigt, besteht aufgrund der hohen Potentialunterschiede die Gefahr gefährlicher Berührungsspannungen und Überschläge bei Blitzeinschlag. Im Beispiel wurden die zwei Potentialausgleichsschienen nicht blitzstromtragfähig miteinander verbunden. Zwischen den beiden Erdungspunkten der Geräte 1 und 2 besteht aufgrund des Spannungstrichters eine Spannung von 95 kV.

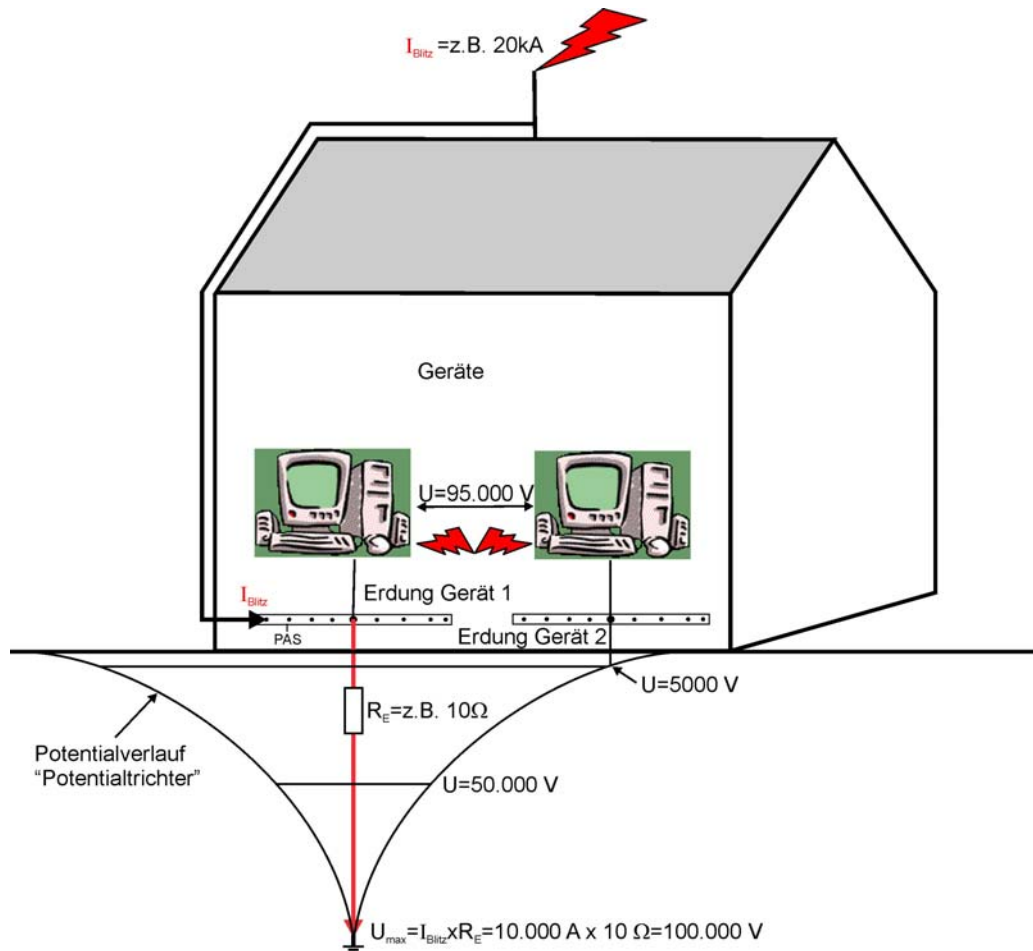


Bild 6.1: Potentialtrichter

6.2 Direkter Blitzeinschlag in benachbartes Gebäude oder Versorgungsleitung (Potentialverschleppung)

Eine weitere Möglichkeit der direkten Ursache für eine Spannungserhöhung ist die sog. Potentialverschleppung. Über Energie-, Telefon-, Antennen-, Energieleitungen, etc. können Teile des Blitzstroms in benachbarte Gebäude gelangen (Bild 6.2). Die anliegende Spannung U ist abhängig von der Erdungssituation der Gebäude, der Leitungsimpedanz und dem Maximalwert des Blitzstroms. Schlägt der Blitz direkt in eine Freileitung oder ein erdverlegtes Kabel ein, läuft die Überspannung in beide Richtungen von der Einschlagstelle fort. Angeschlossene Verbraucher sind somit gefährdet. Geräte mit geringer Spannungsfestigkeit sind dabei am meisten gefährdet, da es hier zuerst zu einem Überschlag im Gerät kommt.

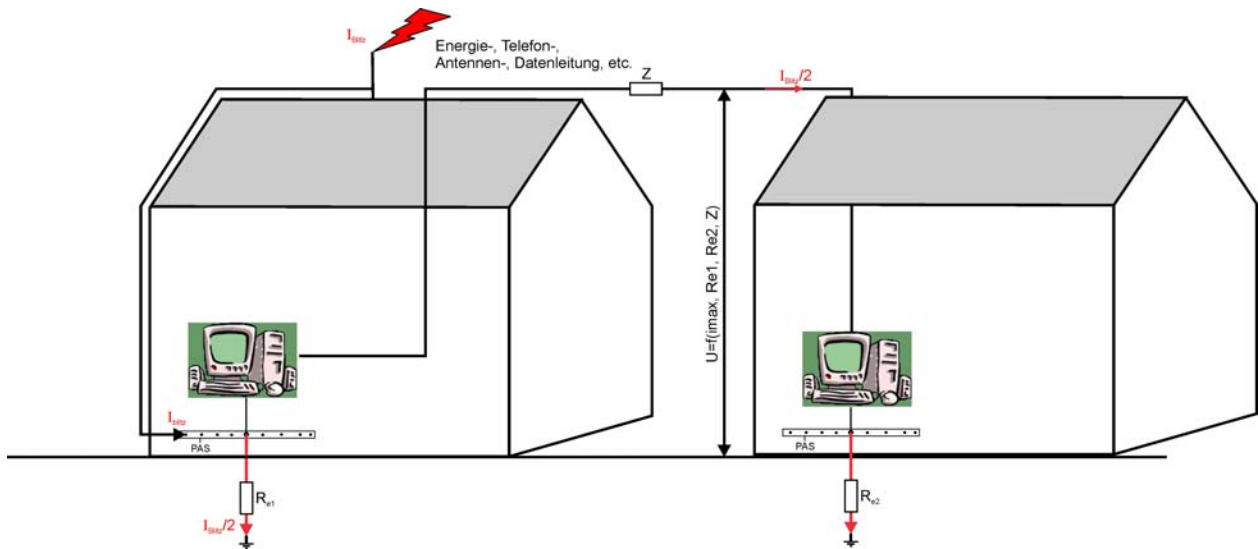


Bild 6.2: Potentialverschleppung

6.3 Indirekte, nahe Blitzeinschläge

Indirekte Ursachen für Überspannungen sind feldgebundene Koppelmechanismen des Blitzstroms. Hier werden induktiv und kapazitiv erzeugte Überspannungen unterschieden. In der Nähe eines fließenden Blitzstroms herrscht ein mit dem Abstand abnehmendes magnetisches Feld. Das Magnetfeld kann in Leiterschleifen Überspannungen induzieren. Sie sind abhängig von der Steilheit des Blitzstroms, der Entfernung zum Blitzkanal und der räumlichen Ausdehnung und Anordnung (Gegeninduktivität M) der Leiterschleifen zum Blitzkanal (Bild 6.3). Je größer und näher eine Leiterschleife dem Blitzkanal kommt und je mehr Feldlinien sie durchdringen, desto größer ist die in ihr induzierte Spannung $U_{ind.} = M \cdot di/dt$.

Indirekte Blitzeinschläge können auch in Versorgungsleitungen (Freileitungen oder erdverlegte Kabel) Überspannungen magnetisch induzieren.

Bei den kapazitiv erzeugten Überspannungen kommt es zu Ladungsverschiebungen (Influenz) aufgrund der elektrischen Felder vor dem Blitzeignis zwischen Wolke und Erde (Bild 6.4). Das Potential bezogen auf „ferne Erde“ steigt dabei relativ langsam an. Da der Anstieg großflächig und langsam geschieht, stellt er in der Regel keine Bedrohung dar. Das elektrische Feld bricht jedoch nach dem Blitzschlag rasch zusammen und die verschobenen Ladungsträger gleichen sich wieder aus. Dabei kommt es aufgrund der Impedanzen der Leitungen zu relativ energiearmen Überspannungen. Sie sind normalerweise nicht mehr für ernsthafte Schäden verantwortlich zu machen und scheiden damit als Schadensquelle nahezu vollständig aus [3, 4].

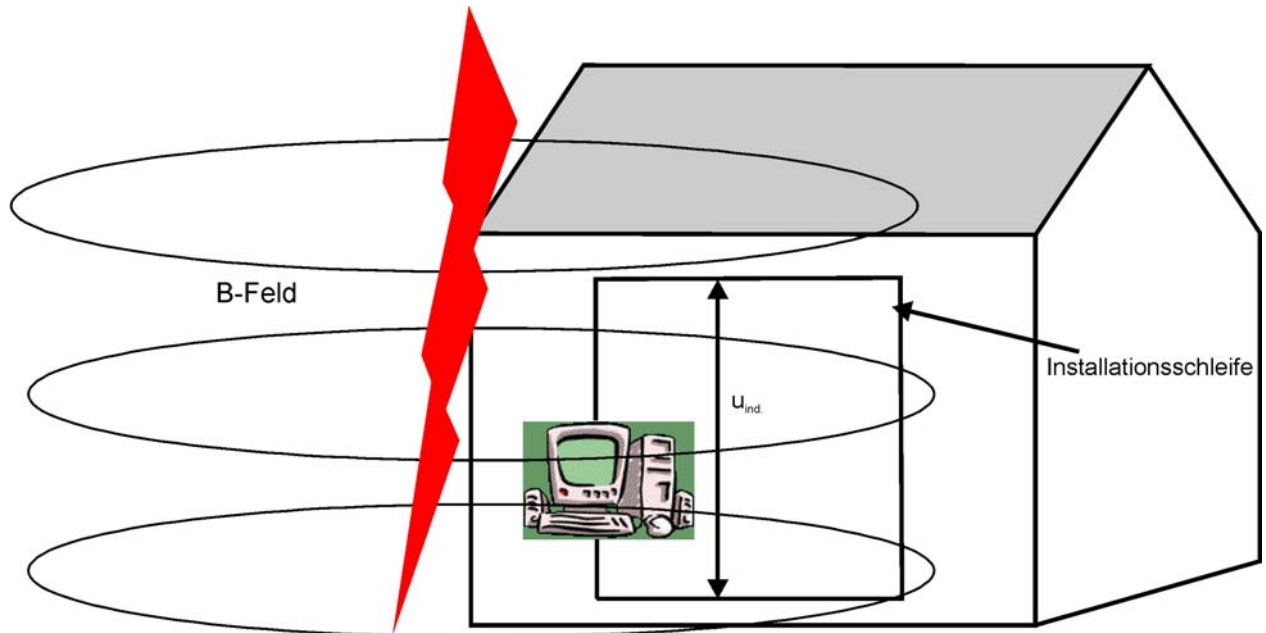


Bild 6.3: Durch magnetische Feldänderung induzierte Überspannung

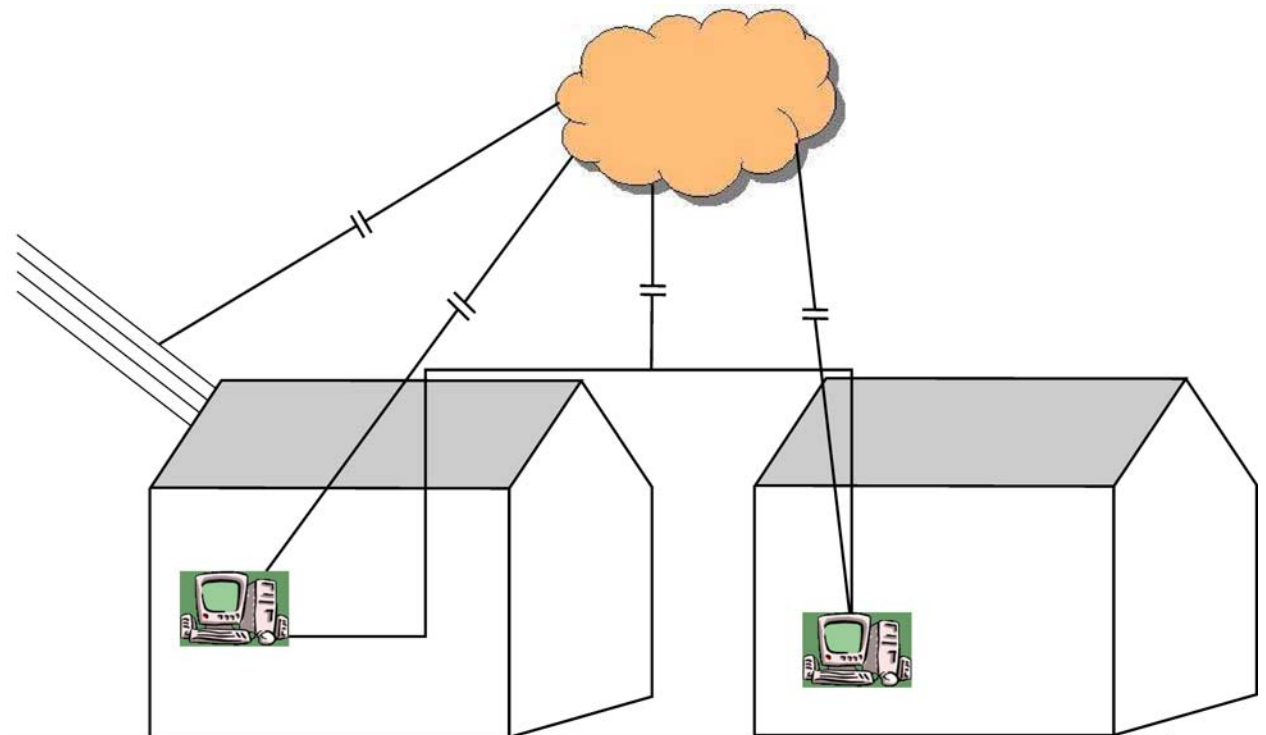


Bild 6.4: Durch elektrische Feldänderung beeinflusste Überspannung

6.4 Verhältnisse bei TT-Netzen

Bei TT-Netzen hängt die Spannungsfestigkeit eines Geräts von der Isolation und der Schutzklasse ab. Gute Isolation und/oder ausreichende Entfernung der

spannungsführenden Geräteteile vom geerdeten Gehäuse können bewirken, dass sehr hohe Überspannungen vertragen werden können (Bild 6.5).

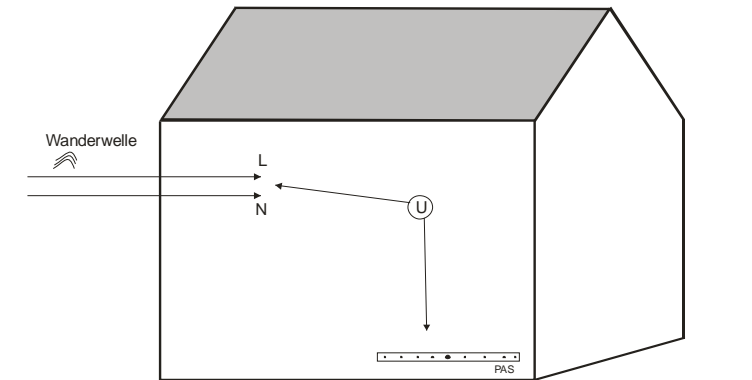


Bild 6.5: Gefährdung durch Wanderwellen bei TT-Netzen

6.5 Verhältnisse bei TN-C-Netzen

Bei TN-C-Netzen sind Neutralleiter und Schutzleiter in einem einzigen Leiter (PEN) zusammengefasst. Läuft die Überspannung von außen ein, kommt es zu einer Aufteilung des Stroms und somit zu einer Abschwächung der Gefährdung für die angeschlossenen Geräte an der Verbindungsstelle des PEN-Leiters mit der Potentialausgleichsschiene. Ein Teil fließt hier direkt in das Erdreich ab und hebt dadurch das PE-Potential lokal an. Die auftretende Spannung zwischen Anschluss und Erdverbindung des Geräts ist dadurch geringer (Bild 6.6).

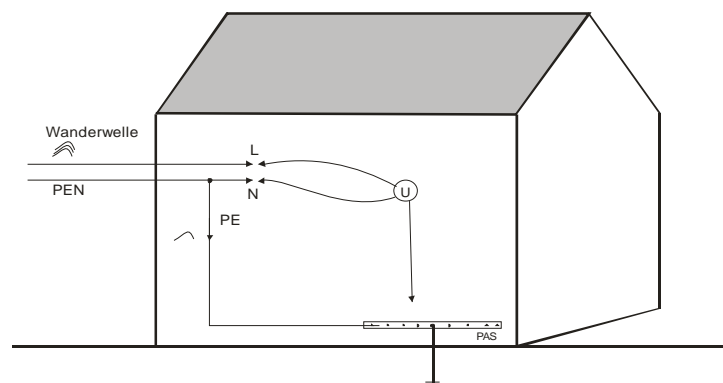


Bild 6.6: Gefährdung durch Wanderwellen bei TN-C-Netzen

6.6 Überspannungen als Folge von Schalthandlungen (innere Überspannungen)

Innere Überspannungen können auf Grund verschiedener Ursachen auftreten. Eine davon ist ein Kurzschluss durch einen Blitzüberschlag, der häufig zu zeitweiligen Überspannungen und Schaltüberspannungen führen kann. Aus diesem Grund ist die Betrachtung des Schutzes gegen innere Überspannungen gerechtfertigt.

In den meisten Fällen verursachen Schaltüberspannungen kleinere Schäden als Blitzeinschläge und die Schutzeinrichtungen, die wirksam gegen Blitzüberspannungen schützen, sind auch wirksam zum Schutz gegen Schaltüberspannungen.

Die Überspannungen können in zwei Kategorien unterteilt werden:

- die periodischen Überspannungen (willkürliche Betätigung von Leistungsschaltern oder Ähnlichem, Schalten von Kondensatorbänken usw.). Diese treten als Folge einer üblichen Entscheidung einer Person oder noch häufiger durch automatische Einrichtungen relativ häufig auf. Die Häufigkeit reicht von einmal bis zweimal täglich bis zu einem Vielfachen je Tag, wie beispielsweise bei einer Lichtbogenlötmaschine. Die Häufigkeit des Auftretens und die Größe dieser Überspannungen (und deren Auswirkungen auf elektrische Betriebsmittel) sind im Allgemeinen gut bekannt.
- die zufälligen Überspannungen (beispielsweise der Betrieb von Leistungsschaltern oder das Ansprechen von Sicherungen zur Abschaltung eines Fehlers). In diesem Fall ist ihre Häufigkeit definitionsgemäß unbekannt, und ihre Größe und Auswirkung auf elektrische Betriebsmittel kann ebenso unbekannt sein.

Die Größe von Schaltüberspannungen kann nur durch detaillierte Messungen in elektrischen Anlagen und deren statistischer Auswertung bewertet werden. Im Allgemeinen verringert sich die Häufigkeit des Auftretens von Schaltüberspannungen mit deren Größe, sie folgt einem Potenzgesetz dritter Ordnung (die Wahrscheinlichkeit ist indirekt proportional zur dritten Potenz ihrer Größe) [4].

6.7 Betriebsbedingte Überspannungen

Zusätzlich zu den Überspannungen als Folge von direkten und indirekten Blitzeinschlägen gibt es auch andere Quellen von Überspannungen. Hier sollen der Vollständigkeit halber die betriebsbedingten Überspannungen kurz dargestellt werden.

6.8 Potentialunterschiede bei PE-Leitern:

Wenn Gebäude relativ groß sind, kommt es oft auch schon ohne einen Blitzstrom zu unterschiedlichen Erdpotentialen innerhalb des vom Gebäude umschlossenen Bereichs. Die Ursachen hierfür sind Ausgleichsströme zwischen den elektrischen Anlagen. Auch hier können zwischen nicht miteinander verbundenen Erden hohe Spannungsdifferenzen auftreten, die zu Schäden an den angeschlossenen Geräten führen können. Die Größenordnung solcher betriebsbedingter Potentialunterschiede liegt bei bis zu einigen hundert Volt.

6.9 Potentialanhebung in TN-C-Netzen:

Bei TN-C-Netzen wird die Einspeisung in das Haus meist vierpolig durchgeführt (L1, L2, L3 und PEN). Vom Hauptverteiler (HV) wird die vierpolige Verkabelung bis in die Unterverteiler (UV) weitergeführt. Von dort aus wird dann der PEN-Leiter in PE- und N-Leiter getrennt und die Verkabelung nun fünfpolig zum Endverbraucher geführt. Diese

Installationsmethode hat den Nachteil, dass hier, ähnlich wie bei den Potentialunterschieden der nicht miteinander verbundenen Potentialausgleichsschienen bei Blitzeinschlag, aufgrund von Betriebsströmen bei unsymmetrischen Verbrauchern ebenfalls das Potential in anderen Bereichen angehoben wird. In Bild 6.7 ist der an die Unterverteilung 1 angeschlossene Verbraucher unsymmetrisch. Daher fließt auf dem PEN-Leiter ein Strom, der zu einer Anhebung des PE-Potentials von Unterverteiler 2 führt. Angeschlossene Verbraucher können dadurch gestört oder sogar zerstört werden.

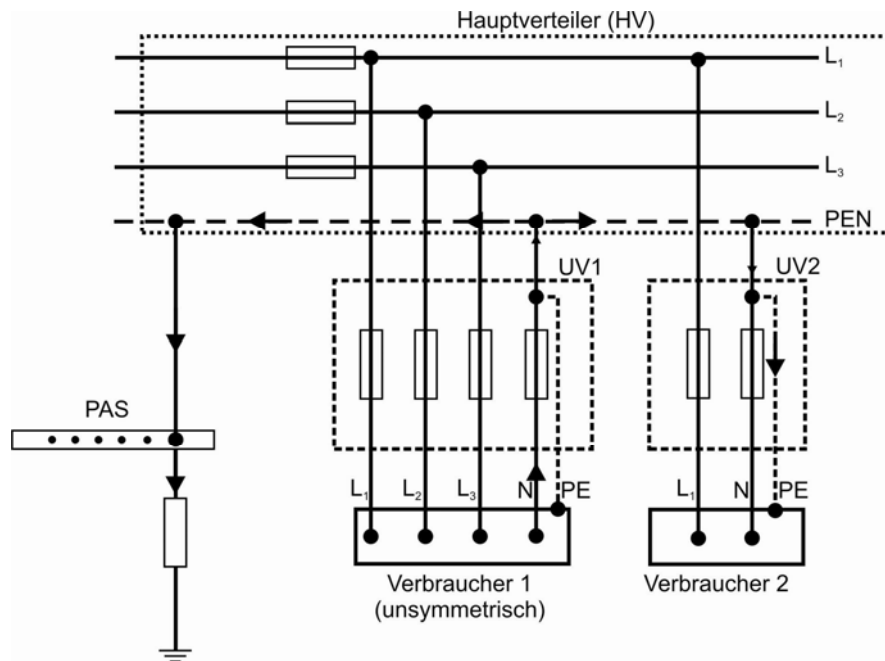


Bild 6.7: Potentialanhebung im unsymmetrisch belasteten TN-C-Netz

7. Simulation der Schadenshäufigkeit als Funktion der Entfernung zwischen Blitzeinschlag und Schadensort

7.1 Grundlagen

Die neue deutsche Norm DIN EN 62305-2 (VDE 0185-305-2):2006 [4] als nationale Umsetzung des internationalen Standards IEC 62305-2:2006 bzw. der europäischen Norm EN 62305-2:2006 (im Weiteren wird hier nur noch die VDE-Klassifizierung der Norm verwendet) definiert als das Schadensrisiko R:

$$R = N \cdot P \cdot L \quad (\text{Gl. 7.1})$$

- mit:
- N** Anzahl der gefährlichen Ereignisse, d.h. die Häufigkeit eines Blitzeinschlags in die jeweils zu betrachtende Fläche: „Wie viele Blitzeinschläge treten pro Jahr in der zu betrachtenden Fläche auf?“;
 - P** Schadenswahrscheinlichkeit: „Mit welcher Wahrscheinlichkeit richtet ein Blitzeinschlag einen bestimmten Schaden an?“;
 - L** der Verlust, d.h. die quantitative Bewertung der Schäden: „Welche Auswirkungen, Schadenshöhe, Ausmaß, Konsequenzen hat ein bestimmter Schaden?“.

Die Aufgabenstellung im Rahmen des GDV-BLUES Projektes besteht darin, die Anzahl von Schadensfällen (im Folgenden Schadenshäufigkeit genannt), die von einem Blitzeinschlag an einer ganz bestimmten Stelle verursacht werden, abzuschätzen bzw. in einer alternativen Formulierung, die Wahrscheinlichkeit anzugeben, dass ein vorhandener Schaden von diesem Blitzeinschlag verursacht wurde. Die Schadenshäufigkeit bzw. auch die Schadenswahrscheinlichkeit ist insbesondere abhängig von:

- den Blitzstromparametern (Scheitelwert, Stromsteilheit);
- der Größe und Orientierung von Induktionsschleifen;
- der Stoßspannungsfestigkeit der elektrischen/elektronischen Geräte/Systeme;
- dem Abstand vom Schadensort zum Blitzeinschlagsort;
- der Länge und der Art von Versorgungsleitungen;
- der Bevölkerungsdichte;
- Schirmungen, etc.

Für die Untersuchungen im Rahmen des Projektes werden schirmende Einflüsse (Gebäude und/oder Raumschirmungen, Kabelschirme) nicht berücksichtigt und es wird grundsätzlich von einer Stoßspannungsfestigkeit von 1,5 kV ausgegangen (wobei hier allerdings auch für andere Werte der Stoßspannungsfestigkeit numerische Berechnungen durchgeführt werden). Beides sind worst-case Annahmen. Für die Blitzstromparameter werden die sog. CIGRE-Parameter verwendet, die auch der Blitzschutz-Normenreihe DIN EN 62305 (VDE 0185 Teil 305-x):2006 zugrunde liegen [3, 4, 5, 6].

Von den in (Gl. 7.1) genannten Parametern gibt L die Auswirkungen des Schadens an, ist also im Sinne der Aufgabenstellung als konstanter Wert anzusetzen und darüber hinaus nicht weiter von Interesse. P gibt die Wahrscheinlichkeit an, dass ein angenommener Blitzeinschlag einen ganz bestimmten Schaden verursacht (Feuer, Überspannung). Bei der vorliegenden Aufgabenstellung handelt es sich nahezu ausschließlich um Überspannungsschäden.

Die Schadenshäufigkeit F als Folge eines Blitzeinschlags wird demnach nach der Methodik gemäß DIN EN 62305-2:2006 [4] durch das Produkt $N \cdot P$ dargestellt; Einheit dieser Größe ist deshalb Schaden/Jahr. Die Norm geht dabei bezüglich der Schadenswahrscheinlichkeit P von einer ja/nein-Aussage aus, d.h. unter bestimmten (weiteren) Bedingungen tritt eine Überspannung auf, die das angeschlossene elektrische/elektronische Gerät entweder noch tolerieren kann, oder die es überlastet. Es handelt sich also entweder um einen Schaden ($P = 1$), oder eben nicht ($P = 0$). Für eine Risikoanalyse, die zur Entscheidung führen soll, ob eine bauliche Anlage mit Blitzschutzmaßnahmen ausgerüstet werden soll, und wenn ja, mit welchen, ist dies ausreichend. Für eine Wahrscheinlichkeitsaussage, und insbesondere zum Vergleich mit Datenbeständen aus tatsächlichen Schadensmeldungen, muss dies allerdings noch detaillierter untersucht werden.

Im Folgenden werden deshalb zunächst die grundlegenden Beziehungen aus DIN EN 62305-2:2006, insbesondere für die Berechnung der Parameter N – Anzahl der gefährlichen Ereignisse – detailliert dargestellt (Abschnitt 7.2).

Desweiteren wurden für einige der hier zu unterscheidenden Schadensszenarien numerische Simulationen durchgeführt:

- nahe Blitzeinschläge mit induktiven Einkopplungen in der baulichen Anlage (Abschnitt 7.3);
- Blitzeinwirkungen in der baulichen Anlage über als Freileitungen eingeführte Versorgungsleitungen (Abschnitt 7.4);
- Blitzeinwirkungen in der baulichen Anlage über als erdverlegte Kabel eingeführte Versorgungsleitungen (Abschnitt 7.5).

Dabei wurde insbesondere der Einfluss des Parameters Entfernung d zwischen Blitzeinschlagsort und Schadensort untersucht. Die Ergebnisse der numerischen Simulationen werden dargestellt und diskutiert. Aufgeführt werden dabei insbesondere Ergebnisse zu den relevanten Schadenshäufigkeiten; weitere Ergebnisse bzw. einige Parameterstudien sind in Diagramm-Form in den Anhängen A, B und C dargestellt.

Aufbauend auf den Ergebnissen der numerischen Simulationen und auf aus den grundlegenden Beziehungen nach DIN EN 62305-2:2006 abgeleiteten Folgerungen werden dann einfache Beziehungen und Ergebnisse für die Schadenshäufigkeiten der einzelnen Schadensszenarien dargestellt.

In der Risikoanalyse nach DIN EN 62305-2:2006 geht man davon aus, dass bei einem direkten oder nahen Blitzeinschlag und der Schadenswahrscheinlichkeit

$P = 1$ natürlich auch immer ein Schaden auftritt. In der Realität ist dagegen aus Schadensstatistiken bekannt, dass selbst bei direktem Blitzeinschlag als dem worst-case nicht alle elektrischen/elektronischen Geräte geschädigt sind, d.h. die Schadenswahrscheinlichkeit für ein einzelnes Gerät $P(d=0)$ ist sogar hier (deutlich) kleiner 1. Steigt nun die Entfernung d zwischen Blitzeinschlagsort und Schadensort an, sinkt die Schadenswahrscheinlichkeit weiter.

Bei einer numerischen Simulation, d.h. einer theoretischen Analyse der Wahrscheinlichkeiten, muss man dagegen notwendigerweise wieder von worst-case Annahmen ausgehen, d.h. auch hier gilt für die Schadenswahrscheinlichkeit bei direktem Blitzeinschlag $P(d=0) = 1$. Eine absolute Angabe einer Schadenswahrscheinlichkeit ist damit in der numerischen Simulation zwar möglich. Zum Vergleich mit Ergebnissen aus der realen Schadensstatistik kann man aber zweckmäßigerweise besser die Aussage treffen, wie wahrscheinlich der Schaden in einer bestimmten Entfernung $d = s$ Folge eines Blitzeinschlags ist, bezogen auf den worst-case, d.h. den Direkteinschlag für $d = 0$. Der Verlauf dieser relativen Schadenswahrscheinlichkeit als Funktion der Entfernung zum Blitzeinschlagsort d ergibt sich zu:

$$\frac{P(d = s)}{P(d = 0)} = f(d) \quad (\text{Gl. 7.2})$$

Für die Schadenshäufigkeiten ist ein vergleichbar einfacher Zusammenhang nicht formulierbar. Hier kann man aber die Verläufe der Schadenshäufigkeiten F als Funktion der Entfernung d zum Blitzeinschlagsort vergleichen, wie sie einerseits aus der Schadensstatistik hervorgehen und wie sie sich andererseits aus der numerischen Simulation ergeben. Durch die worst-case Annahmen, die der numerischen Simulation zugrunde liegen, dürfen die Werte der Schadenshäufigkeiten lediglich ein durchgängig höheres Niveau erreichen; die Verläufe der o.g. Funktion müssten aber weitgehend vergleichbar sein. Mathematisch kann dies wie folgt dargestellt werden:

$$\frac{F_{\text{Simulation}}(d)}{F_{\text{Schadensstatistik}}(d)} = \text{Konst.} \quad (\text{Gl. 7.3})$$

7.2 Berechnungsgrundlagen für die Schadenshäufigkeiten nach DIN EN 62305-2:2006

Im Folgenden werden zunächst jeweils die grundlegenden Beziehungen und Annahmen aus DIN EN 62305-2:2006 dargestellt. Nachdem dabei stets die Schadenswahrscheinlichkeiten P konstant sind, also insbesondere nicht von der Entfernung vom Schadensort zum Blitzeinschlagsort abhängig sind, konzentriert sich diese Darstellung auf den Parameter N , da dieser Angaben zu Fangflächen und damit Entfernungen enthält.

Unterschieden werden folgende gefährliche Ereignisse (entsprechen den Häufigkeiten von gefährlichen Blitzeinschlägen) in Abhängigkeit vom Blitzeinschlagsort, die relevant für eine bauliche Anlage sein können:

- N_D** Anzahl gefährlicher Ereignisse durch direkte Blitzeinschläge in die bauliche Anlage;
- N_M** Anzahl gefährlicher Ereignisse durch nahe Blitzeinschläge mit magnetischen Wirkungen;
- N_L** Anzahl gefährlicher Ereignisse durch direkte Blitzeinschläge in eingeführte Versorgungsleitungen;
- N_I** Anzahl gefährlicher Ereignisse durch Blitzeinschläge neben eingeführten Versorgungsleitungen.

Die Berechnung der Anzahl gefährlicher Ereignisse durch die unterschiedlichen Blitzeinschläge ist detailliert in Anhang A der DIN EN 62305-2:2006 dargestellt.

7.2.1 Direkte Blitzeinschläge

Für die Anzahl gefährlicher Ereignisse durch direkte Blitzeinschläge N_D in die bauliche Anlage gilt die Beziehung:

$$N_D = N_g \cdot A_d \cdot C_d \quad (\text{Gl. 7.4})$$

N_g ist die Erdblitzdichte am Ort der baulichen Anlage. Dieser Wert ist allen Parametern N_x gemeinsam. A_d ist die äquivalente Fangfläche der freistehenden baulichen Anlage in m^2 (Bild 7.1), C_d ein Standortfaktor, mit dem der Einfluss der näheren Umgebung des Standortes (Bebauung, Gelände, Bäume, etc.) berücksichtigt werden kann (Tabelle 7.1).

Tabelle 7.1: Standortfaktor C_d .

Relative Lage der baulichen Anlage	C_d
Objekt ist umgeben von höheren Objekten oder Bäumen	0,25
Objekt ist umgeben von Objekten oder Bäumen mit gleicher oder niedrigerer Höhe	0,5
Freistehendes Objekt: keine weiteren Objekte in der Nähe (innerhalb einer Entfernung von $3H$)	1
Freistehendes Objekt auf einer Bergspitze oder einer Kuppe	2

(Gl. 7.4) braucht im Rahmen dieser Untersuchung nicht weiter betrachtet zu werden: Der Direkteinschlag ist der worst-case, die Entfernung zwischen Schadensort und Blitzeinschlagsort beträgt $d = 0$, damit verbunden ist eine Schadenswahrscheinlichkeit $P(d=0) = 1$, auf die ggf. die anderen Schadenswahrscheinlichkeiten bezogen werden können (vgl. Abschnitt 7.1).

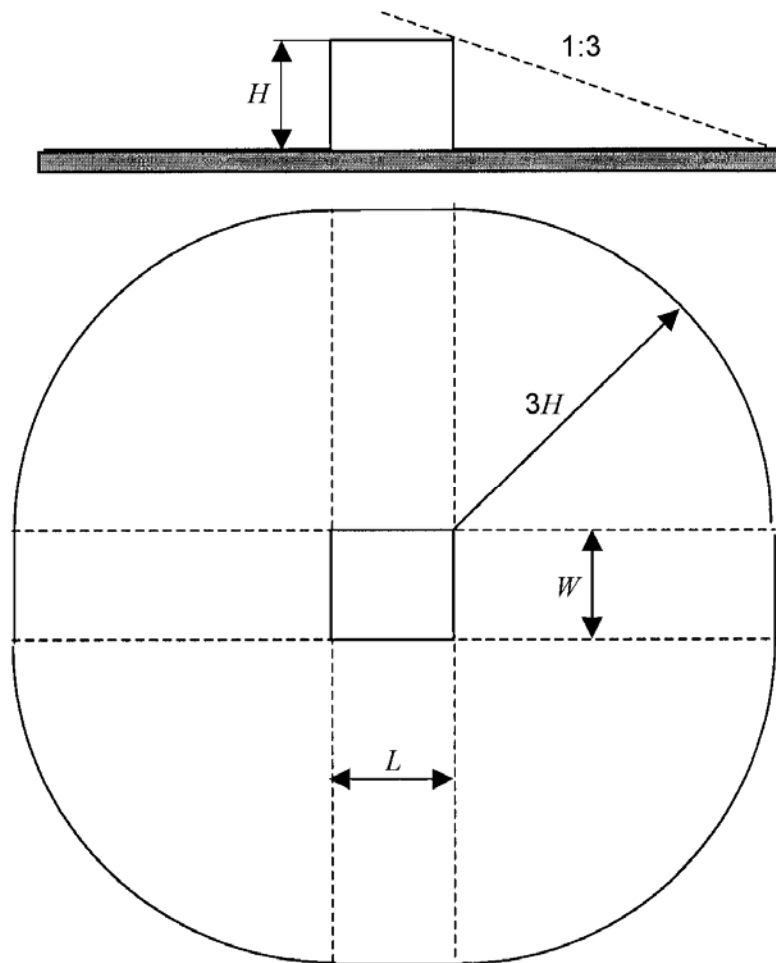


Bild 7.1: Äquivalente Einfangfläche A_d für direkte Blitzeinschläge in eine freistehende bauliche Anlage [4].

7.2.2 Nahe Blitzeinschläge mit Induktionswirkungen

Die Anzahl gefährlicher Ereignisse durch nahe Blitzeinschläge N_M lässt sich nach [4] berechnen zu:

$$N_M = N_g \cdot A_m \quad (\text{Gl. 7.5})$$

A_m ergibt sich, wenn im Abstand von 250 m um die bauliche Anlage herum eine Linie gezogen wird (Bild 7.2). Von der damit eingeschlossenen Fläche wird die mit dem Umgebungskoeffizienten bewertete äquivalente Fangfläche der baulichen Anlage $A_d C_d$ subtrahiert. Blitzeinschläge in die Fläche A_m führen ausschließlich zu magnetisch induzierten Überspannungen in Installationsschleifen im Inneren der baulichen Anlage. Für die Schadenshäufigkeit F_M gilt dann, bei jeweils konstanter Schadenswahrscheinlichkeit P_M :

$$F_M = N_M \cdot P_M \quad (\text{Gl. 7.6})$$

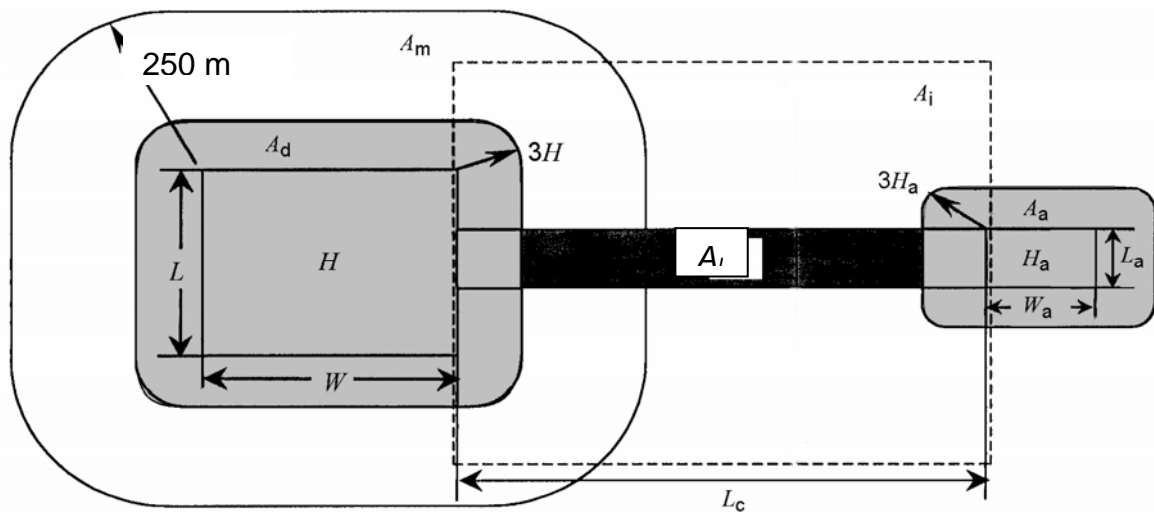


Bild 7.2: Äquivalente Einfangflächen A_m , A_l , A_i für indirekte Blitzeinschläge bezüglich der baulichen Anlage [4].

7.2.3 Direkte Blitzeinschläge in eine eingeführte Versorgungsleitung

Die Anzahl gefährlicher Ereignisse durch direkte Blitzeinschlägen in eine eingeführte Versorgungsleitung N_L ergibt sich nach [4] zu:

$$N_L = N_g \cdot A_l \cdot C_d \cdot C_t \quad (\text{Gl. 7.7})$$

Die Fläche A_l (Bild 7.2) ist abhängig vom Leitungstyp (Freileitung, erdverlegtes 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 der Erdoberfläche (siehe Tabelle 7.2). Ist die Länge der Leitung nicht bekannt oder nur sehr aufwändig zu ermitteln, so soll als worst-case Annahme ein Wert von $L_c = 1000$ m gesetzt werden.

Tabelle 7.2: Äquivalente Fangflächen A_l und A_i in m^2 .

	Freileitung	Erdverlegtes Kabel
A_l	$[L_c - 3 \cdot (H_a + H_b)] \cdot 6 \cdot H_c$	$[L_c - 3 \cdot (H_a + H_b)] \cdot \sqrt{\rho}$
A_i	$1000 \cdot L_c$	$25 \cdot L_c \cdot \sqrt{\rho}$

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 Überspannungsschutzgeräte installiert sind, bis zu einer maximalen Länge von 1000 m;

H_b Höhe (m) der baulichen Anlage;

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

Befindet sich innerhalb der Fläche A_i keine Nieder-, sondern eine Mittelspannungsleitung, 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_d (Standortfaktor der Leitung) ist oft identisch mit dem der baulichen Anlage (Tabelle 7.1).

Die Anzahl N_L ist für jede Versorgungsleitung, die in die bauliche Anlage eingeführt wird, einzeln zu ermitteln. Blitzeinschläge innerhalb der Fläche A_i 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. N_L beinhaltet also nicht nur reine Überspannungen mit der Folge von Fehlern oder Schäden an den elektrischen und elektronischen Systemen, sondern ebenso mechanische und thermische Effekte bei Blitzeinwirkung.

Für die Schadenshäufigkeit F_L gilt dann wieder, bei jeweils konstanter Schadenswahrscheinlichkeit P_L :

$$F_L = N_L \cdot P_L \quad (\text{Gl. 7.8})$$

7.2.4 Blitzeinschläge neben einer eingeführten Versorgungsleitung

Die Anzahl gefährlicher Ereignisse als Überspannungen durch Blitzeinschläge neben einer eingeführten Versorgungsleitung N_I sind gemäß [4] beschrieben:

$$N_I = N_g \cdot A_i \cdot C_e \cdot C_t \quad (\text{Gl. 7.9})$$

Die Fläche A_i (Bild 7.2) ist wieder abhängig vom Leitungstyp (Freileitung, erdverlegtes 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 der Erdoberfläche (siehe Tabelle 7.2). 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 weit von der Leitung entfernte Blitzeinschläge verursacht werden können.

Der Korrekturfaktor C_t entspricht dem bereits oben genannten. Der Korrekturfaktor C_e gibt den Einfluss der Umgebung wieder (Tabelle 7.3). Die Häufigkeit N_I ist dann ebenfalls für jede Versorgungsleitung, die in die bauliche Anlage eingeführt wird, einzeln zu ermitteln.

Für die Schadenshäufigkeit F_I gilt dann schließlich, bei jeweils konstanter Schadenswahrscheinlichkeit P_I :

$$F_I = N_I \cdot P_I \quad (\text{Gl. 7.10})$$

Tabelle 7.3: Umgebungsfaktor C_e .

Umgebung	C_e
Städtisch mit hohen Gebäuden (höher als 20 m)	0
Städtisch (Gebäude mit Höhen zwischen 10 m und 20 m)	0,1
Vorstädtisch (Gebäude mit Höhen kleiner 10 m)	0,5
Ländlich	1

7.3 Numerische Simulationen und abgeleitete Ergebnisse zur Schadenshäufigkeit durch nahe Blitzeinschläge

Für die Abschätzungen in [4] wurde eine Induktionsschleife mit $S = 10 \text{ m}^2$ Fläche angenommen (Abschnitt 7.2.2). Unter den gegebenen Voraussetzungen führt dann ein Blitzeinschlag in einer Entfernung von 250 m gerade noch zu einer nicht mehr tolerierbaren Überspannung von größer 1,5 kV.

Setzt man dagegen nun folgende Schleifengrößen als typische worst-case Werte an:

- a) $S = 1 \text{ m}^2$ für ein Gerät, das nur mit einem elektrischen Versorgungsnetz verbunden ist (in der Regel Stromversorgung);
- b) $S = 50 \text{ m}^2$ für ein Gerät, das mit mindestens zwei elektrischen Versorgungsnetzen verbunden ist (Stromversorgung und Telekommunikation, Stromversorgung und Antenne, etc.);

ergeben sich bei gleichen Voraussetzungen Entfernungen von nur 25 m (im Fall a) bzw. von 1250 m (im Falle b).

Im Folgenden werden Ergebnisse von numerischen Simulationen für alle drei genannten Schleifengrößen ($S = 1 \text{ m}^2$, 10 m^2 und 50 m^2) dargestellt. Weitere allgemeine Festlegungen für die Simulationen sind:

- Die Berechnungen werden ausschließlich für den negativen Folgeblitz mit einer Stirnzeit $T_1 = 0,25 \text{ } \mu\text{s}$ durchgeführt [3], da die höchsten magnetischen Induktionswirkungen mit der größten Stromsteilheit verbunden sind [3, 4].
- Als Stoßspannungsfestigkeit der angeschlossenen elektrischen/elektronischen Geräte ist typischerweise $U_w = 1,5 \text{ kV}$ festgelegt. Daneben werden hier aber auch Berechnungen für die Werte $U_w = 0,5 \text{ kV} / 1,0 \text{ kV} / 2,5 \text{ kV}$ vorgenommen.
- Die Orientierung der Induktionsschleife ist stets senkrecht zum durchgreifenden magnetischen Feld gerichtet, so dass maximale Induktion auftritt (worst-case).
- Als Blitzdichte wird $N_g = 4$ Blitzeinschläge pro km^2 und Jahr verwendet.

Die wesentlichen Ergebnisse geben die Bilder 7.3 – 7.5 wieder. Dargestellt ist dabei die Schadenshäufigkeit F als Funktion der Entfernung d vom Schadensort zum Blitzeinschlagsort. Weitere Ergebnisse sind in Anhang A enthalten.

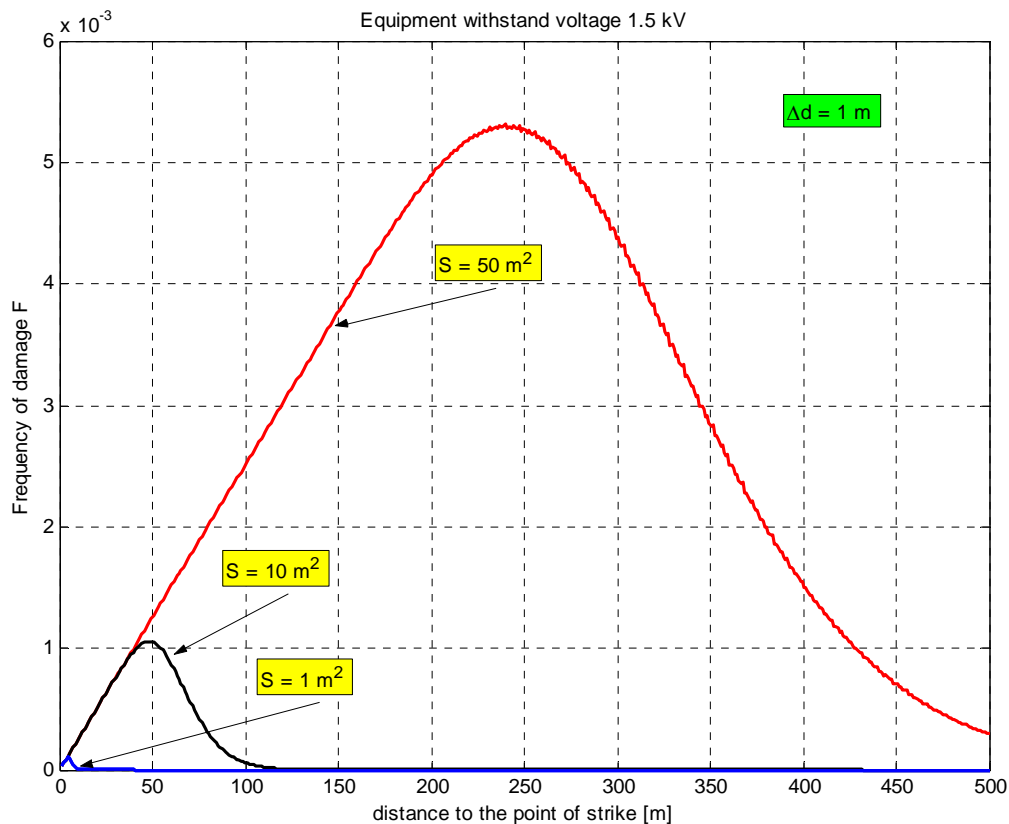


Bild 7.3: Schadenshäufigkeit F für nahe Blitzeinschläge als Funktion der Entfernung d Schadensort zu Blitzeinschlagsort für drei Schleifengrößen ($U_w = 1,5 \text{ kV}$).

Die Schadenshäufigkeit F (in Schaden/Jahr) ist in allen drei Bildern gültig für einen konzentrischen Ring in einer Entfernung von d zum Blitzeinschlagsort, wobei der Ring eine Breite von $\Delta d = 1 \text{ m}$ aufweist, d.h. die Fläche A , auf die sich die Schadenshäufigkeit bezieht, beträgt:

$$A = 2 \cdot \pi \cdot d \cdot \Delta d . \quad (\text{Gl. 7.11})$$

Aus **Bild 7.3** lassen sich zunächst folgende Ergebnisse ableiten:

- Die Schadenshäufigkeit F nimmt zunächst für kleine Entfernungen d nahezu linear zu, da die Schadenswahrscheinlichkeit in diesem Bereich noch nahezu konstant ist ($P \approx 1$).
- Für weiter zunehmende Entfernung d nimmt die Schadenswahrscheinlichkeit P dann überproportional ab, womit die Schadenshäufigkeit F dann rel. stark abnimmt (vgl. dazu auch Anhang A.2).
- Nachdem von nahen Blitzeinschlägen erst ab einer Entfernung vom Blitzeinschlagsort von einigen 10 m gesprochen werden kann (sonst handelt es sich vielmehr um einen Direkteinschlag), können nennenswerte induktive

Einkopplungen in die Schleife mit $S = 1 \text{ m}^2$ ausgeschlossen werden (vgl. dazu auch Anhang A.1 und A.3).

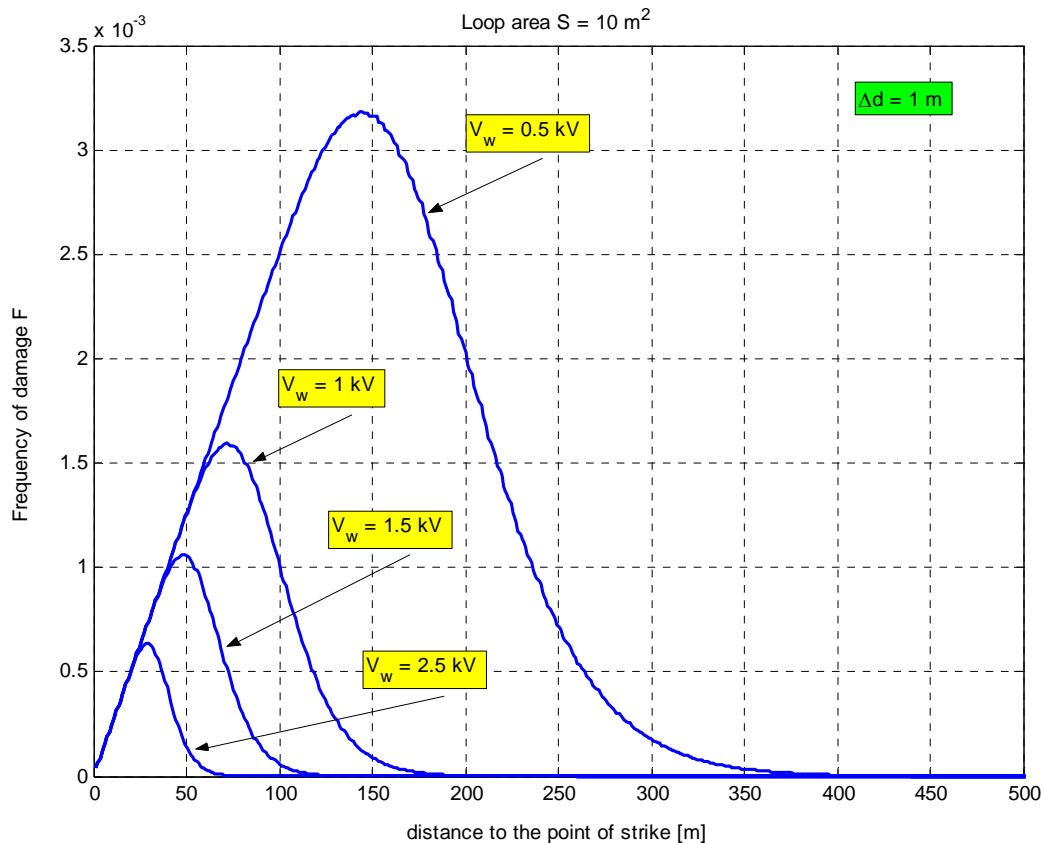


Bild 7.4: Schadenshäufigkeit F für nahe Blitzeinschläge als Funktion der Entfernung d Schadensort zu Blitzeinschlagsort für unterschiedliche Stoßspannungsfestigkeiten (Schleifenfläche $S = 10 \text{ m}^2$).

Für die weiteren Untersuchungen der Schadenshäufigkeiten im Rahmen des FuE-Projektes und insbesondere zum Vergleich mit den vorhandenen Schadensstatistiken und zur Erarbeitung eines Modells für die zukünftige Bearbeitung der Schäden lassen sich aus den Bildern 7.4 und 7.5 für induktive Einkopplungen in der baulichen Anlage durch nahe Blitzeinschläge folgende Aussagen aufstellen (siehe dazu auch Anhang A.3):

1. Für elektrische/elektronische Geräte, die nur mit einem elektrischen Versorgungsnetz verbunden sind, sind induktive Einkopplungen durch nahe Blitzeinschläge nicht relevant.
2. Für „typische“ Schleifengrößen (10 m^2 nach [4]) und übliche Stoßspannungsfestigkeiten von $1,5 \text{ kV}$ sind relevante Einkopplungen nur bis zu einer Entfernung d von ca. 100 m feststellbar. Auch bei sensibleren elektrischen/elektronischen Geräten mit geringeren Stoßspannungsfestigkeiten von z.B. $0,5 \text{ kV}$ treten solche relevanten Einkopplungen nur bis zu einer Entfernung d von ca. 300 m auf.

3. Für worst-case Schleifengrößen (50 m^2) zu elektrischen/elektronischen Geräten, die mit mindestens zwei elektrischen Versorgungsnetzen verbunden sind (Stromversorgung und Telekommunikation, Stromversorgung und Antenne, etc.), und übliche Stoßspannungsfestigkeiten von $1,5 \text{ kV}$ treten relevante Einkopplungen bis zu einer Entfernung d von ca. 500 m auf.
4. Bei sensiblen elektrischen/elektronischen Geräten mit geringeren Stoßspannungsfestigkeiten von z.B. $0,5 \text{ kV}$ an zwei elektrischen Versorgungsnetzen sind dagegen relevante Einkopplungen bis zu einer Entfernung d von ca. 1500 m nicht auszuschließen.

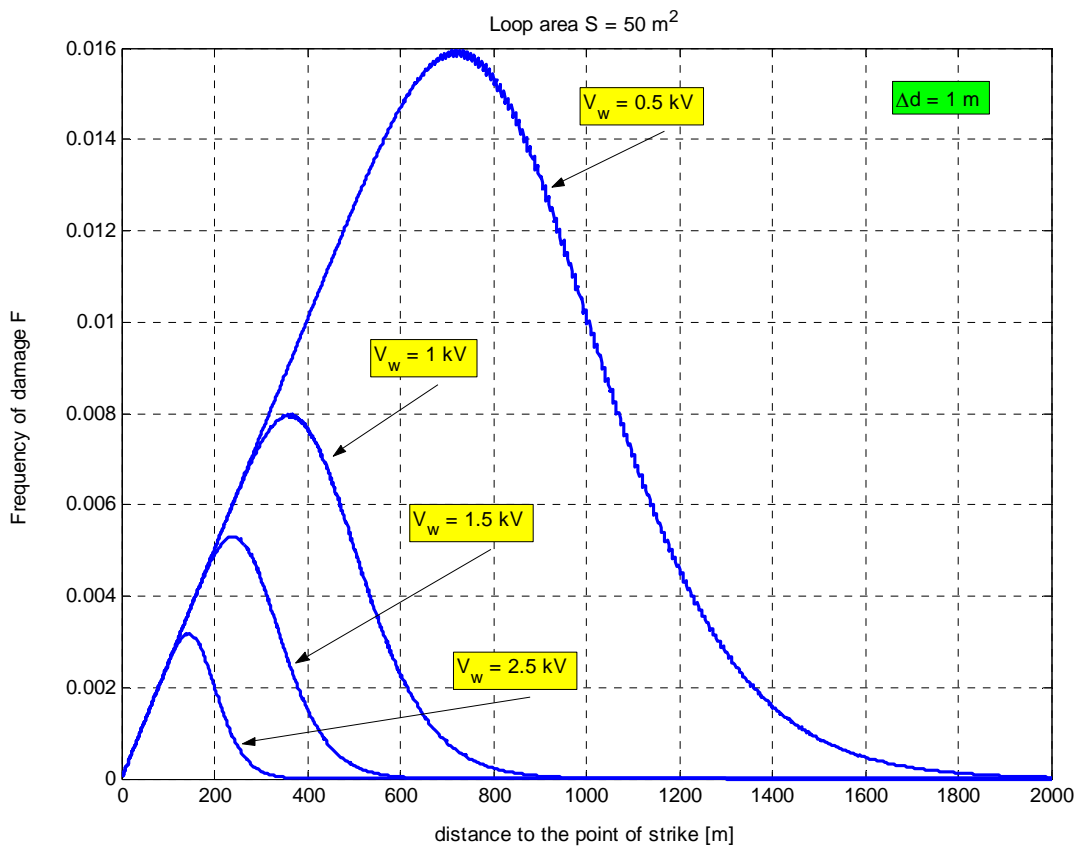


Bild 7.5: Schadenshäufigkeit F für nahe Blitzeinschläge als Funktion der Entfernung d Schadensort zu Blitzeinschlagsort für unterschiedliche Stoßspannungsfestigkeiten (Schleifenfläche $S = 50 \text{ m}^2$).

7.4 Numerische Simulationen und abgeleitete Ergebnisse zur Schadenshäufigkeit bei Freileitungen als eingeführte Versorgungsleitungen

Zur numerischen Simulation von Blitzeinwirkungen auf Freileitungen stehen einschlägige Verfahren zur Verfügung [19, 20], auf die hier aufgebaut werden kann. Unterschieden werden dabei folgende Einkopplungsarten:

- Direkteinschlag in die Freileitung, mit der Folge eines Blitzteilstroms auf der Leitung, der bis an die bauliche Anlage und die dort vorhandenen elektrischen/elektronischen Geräte herangeführt wird: dieser Fall wird im Folgenden durch die Schadenshäufigkeit F_1 dargestellt.
- Blitzeinschlag rel. nahe an der Freileitung, so dass eine rel. hohe Spannung magnetisch induziert wird, die zum Überschlag der Leitungsisolierung führt: dieser Fall wird im Folgenden durch die Schadenshäufigkeit F_2 dargestellt.
- Blitzeinschlag weiter entfernt von der Freileitung, so dass eine Spannung magnetisch induziert wird, die zwar kleiner ist als die Spannungsfestigkeit der Leitungsisolierung, aber größer als die Spannungsfestigkeit der angeschlossenen Geräte: dieser Fall wird im Folgenden durch die Schadenshäufigkeit F_3 dargestellt.

Anstelle der Unterscheidung in direkte Blitzeinschläge und solche neben die Freileitung wie in DIN EN 62305-2:2006 (vgl. Abschnitte 7.2.3 und 7.2.4) werden hier also drei Fälle unterschieden.

Im Folgenden werden Ergebnisse von numerischen Simulationen für alle drei Schadenshäufigkeiten dargestellt. Weitere allgemeine Festlegungen für die Simulationen sind:

- Die Berechnungen werden überwiegend für den negativen Folgeblitz mit einer Stirnzeit $T_1 = 0,25 \mu\text{s}$ durchgeführt [3], da es sich wiederum hauptsächlich um magnetische Induktionen handelt, wofür insbesondere die Blitzstromkomponente mit der größten Stromsteilheit verantwortlich ist [2, 3].
- Die Höhe der Freileitung beträgt grundsätzlich $H_c = 6 \text{ m}$, die Länge überwiegend $L_c = 1000 \text{ m}$ (mit Ausnahme F_1). Die Länge muss vorgegeben werden; eine Simulation dieses Parameters ist nicht möglich. Der Parameter Länge wird zum Schluss des Abschnitts 4 noch weiter diskutiert.
- Eine Induktionsschleife im Inneren der baulichen Anlage ist hier nicht erforderlich. Vielmehr läuft bei allen drei Fällen $F_1 - F_3$ jeweils eine Überspannung und/oder ein Blitzteilstrom aus der Freileitung in die bauliche Anlage bzw. deren elektrische Installation ein.
- Als Stoßspannungsfestigkeit der angeschlossenen elektrischen/elektronischen Geräte ist typischerweise $U_w = 1,5 \text{ kV}$ festgelegt. Diese ist aber nur für die Schadenshäufigkeit F_3 relevant; die Einkopplungen gemäß der Schadenshäufigkeiten F_1 und F_2 übersteigen jeweils alle Stoßspannungsfestigkeiten bis zu 6 kV .

- Als Blitzdichte wird $N_g = 4$ Blitzeinschläge pro km^2 und Jahr verwendet.

Die wesentlichen Ergebnisse geben die Bilder 7.6 – 7.8 wieder. Dargestellt ist dabei die Schadenshäufigkeit F_x als Funktion verschiedener Parameter. Weitere Ergebnisse sind in Anhang B enthalten.

Zunächst bleibt dabei, wie bereits oben dargestellt, festzuhalten, dass der negative Folgeblitz insgesamt die höchste Bedrohung darstellt. Dies gilt zwar nicht für die einzelnen Schadenshäufigkeiten F_1 und F_2 , wohl aber für F_3 . Die letztgenannte Schadenshäufigkeit ist dabei die „dominierende“, da sie im Regelfall die größten Einzugsflächen und damit die höchsten Werte aufweist (Anhang B.1 – B.3).

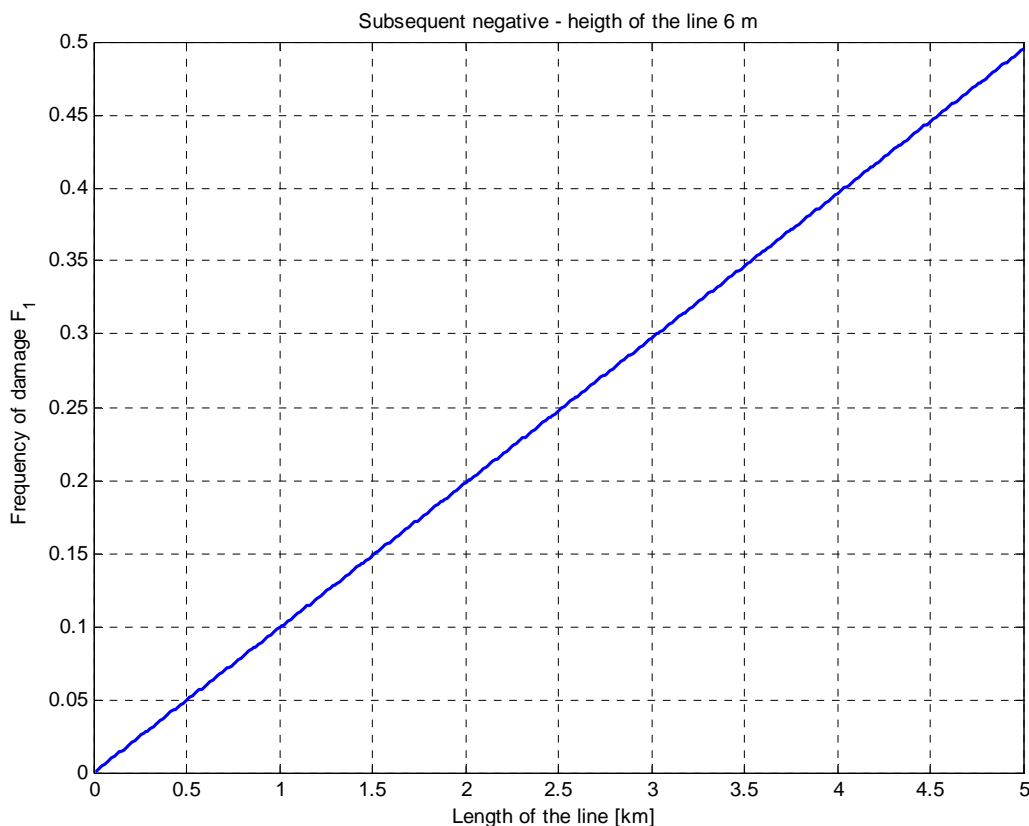


Bild 7.6: Schadenshäufigkeit F_1 (durch Direkteinschlag) für Blitzeinschläge in eine Freileitung als Funktion der Leitungslänge: negativer Folgeblitz, Leitungshöhe 6 m

Bezüglich der Schadenshäufigkeit F_3 (vgl. Bild 7.8) ist noch eine Besonderheit zu berücksichtigen. Die induzierte Spannungswelle läuft auf der Freileitung in Richtung bauliche Anlage. Die Freileitung hat einen wesentlich größeren Wellenwiderstand als die Elektroinstallation innerhalb der baulichen Anlage. An der Übergangsstelle treten also Reflexionen auf. Von Interesse ist die Höhe der in die bauliche Anlage einziehenden Stoßspannung. Diese ergibt sich aus der „Originalspannung“ auf der Freileitung durch Multiplikation mit einem Transmissionsfaktor, hier k_{att} genannt:

$$k_{att} = \frac{2 \cdot \Gamma_2}{\Gamma_1 + \Gamma_2} \quad (\text{Gl. 7.11})$$

mit: Γ_1 : Wellenwiderstand der Freileitung;
 Γ_2 : Wellenwiderstand der Elektroinstallation in der baulichen Anlage.

Nimmt man als typischen Wert für die Freileitung $\Gamma_1 = 450 \, \Omega$ an und zieht für die Elektroinstallation eine Zweidrahtleitung mit $\Gamma_2 = 100 \, \Omega$ heran, ergibt sich ein Transmissionsfaktor $k_{att} = 0,36$. Dieser wird hier als typisch angesetzt; er liegt der Darstellung in Bild 7.8 zugrunde. Man erkennt, dass z.B. für eine Stoßspannungsfestigkeit der angeschlossenen Geräte von 1,5 kV ohne Transmissionsfaktor die Schadenshäufigkeit F_3 sich zu ca. 11 ergibt, während dieser Wert bei Berücksichtigung von $k_{att} = 0,36$ auf ca. 3,4 reduziert wird. Der Einfluss unterschiedlicher Transmissionsfaktoren ist auch in Anhang B.3 dargestellt.

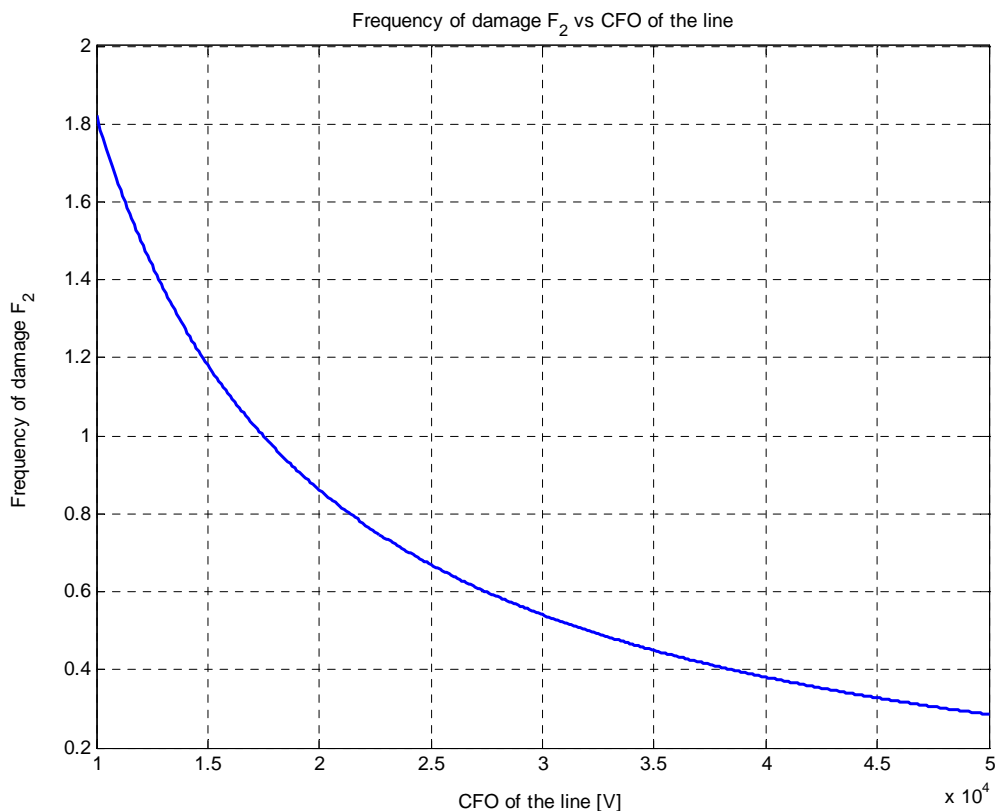


Bild 7.7: Schadenshäufigkeit F_2 (durch Spannungen, die zu einem Überschlag der Leitungsisolierung führen) für Blitzeinwirkungen in eine Freileitung als Funktion der maximalen Spannungsfestigkeit der Leitungsisolations CFO: negativer Folgeblick, Leitungshöhe 6 m

Die Ergebnisse der numerischen Simulation lassen sich nun mit den Abschätzungen nach [4] (siehe Abschnitt 7.2.3 und 7.2.4) vergleichen. Dazu werden in den Gleichungen für Freileitungen nach Tabelle 2 folgende Annahmen getroffen:

- Negativer Folgeblitz
- $N_g = 4$ Blitzeinschläge pro km² und Jahr
- $L_c = 1000$ m
- $H_a, H_b = 0$ m (keine baulichen Anlagen berücksichtigt)
- $H_c = 6$ m
- $C_d, C_e, C_t = 1$.

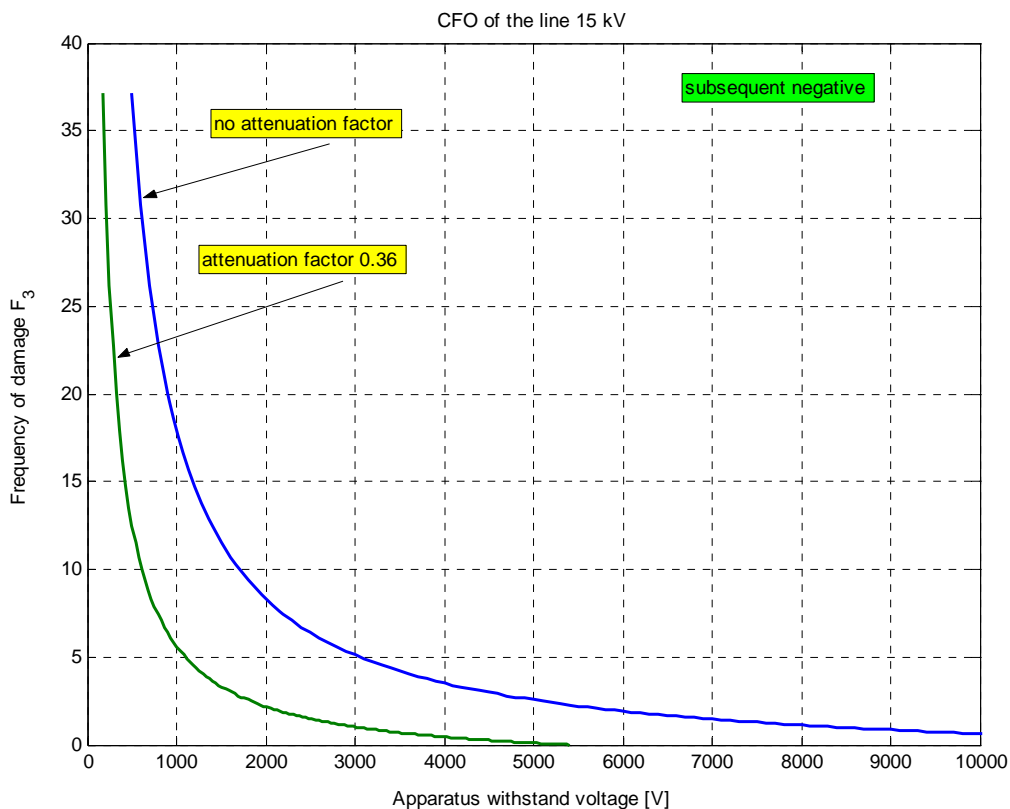


Bild 7.8: Schadenshäufigkeit F_3 (durch Spannungen kleiner als Spannungsfestigkeit der Leitungsisolierung aber größer als Spannungsfestigkeit der angeschlossenen Geräte) für Blitzeinwirkungen in eine Freileitung als Funktion der maximalen Spannungsfestigkeit der angeschlossenen Geräte und für typischen Transmissionsfaktor $k_{att} = 0,36$: negativer Folgeblitz, Leitungshöhe 6 m

Tabelle 7.4: Vergleich Ergebnisse der Schadenshäufigkeiten aus numerischer Simulation und Abschätzungen nach DIN EN 62305-2:2006 für Freileitungen.

Numerische Simulationen		Abschätzung nach [4]		U_w (kV) ¹⁾
F_1	0,1	F_L (Gl. 8)	0,144	
F_2	1,2			
F_3	3,4	F_I (Gl. 10) ²⁾	4,0	1,5
	1,5		1,6	2,5
	0,5		0,8	4,0
	0		0,4	6,0

Anmerkungen:

- 1) Nur die Schadenshäufigkeit F_3 hängt von der Stoßspannungsfestigkeit der angeschlossenen Geräte U_w ab. Die Reduktion der Werte nach [4] ergibt sich über die geringere Schadenswahrscheinlichkeit P_z bei wachsender Stoßspannungsfestigkeit U_w .
- 2) Zum Vergleich mit der Schadenshäufigkeit F_I nach [4] muss jeweils die Summe $F_2 + F_3$ aus der numerischen Simulation gebildet werden.

Tabelle 7.4 zeigt eine rel. gute Übereinstimmung zwischen Simulation und Normengrundlage. Für die insbesondere interessierende geringe Stoßspannungsfestigkeit von 1,5 kV ergibt sich in der Summe in der numerischen Simulation ein Wert von $(F_1 + F_2 + F_3) = 4,7$ und nach [4] ein Wert von $(F_L + F_I) = 4,144$. Die Abweichung beträgt also weniger als 15%, so dass für weitere Analysen die Normengrundlage [4], d.h. die Gleichungen 7 – 10 und die Beziehungen aus Tabelle 2, herangezogen werden können und sollen.

Für die weiteren Untersuchungen der Schadenshäufigkeiten im Rahmen des FuE-Projektes und insbesondere zum Vergleich mit den vorhandenen Schadensstatistiken und zur Erarbeitung eines Modells für die zukünftige Bearbeitung der Schäden lassen sich aus den Bildern 7.6, 7.7 und 7.8 und aus den Grundlagen nach [4] für Blitzeinwirkungen in der baulichen Anlage durch eine Freileitung als eingeführte Versorgungsleitung folgende Aussagen aufstellen (siehe dazu auch Anhang B):

1. Die typische maximale Länge L_c einer Freileitung, die für das Auftreten von Überspannungen an elektrischen/elektronischen Geräten in der baulichen Anlage, relevant ist, kann zunächst zu 1000 m angegeben werden (= Entfernung von Schadensort zu Blitzeinschlagsort). Typische Niederspannungs-Freileitungen der Stromversorgung sind in der Regel kürzer, oder zumindest nicht deutlich länger. Gleiches gilt ggf. für typische Freileitungen der Telekommunikation.
2. Damit ergibt sich die Einzugsfläche für dieses Schadensszenario zu ca. 1 km². Die Schadenshäufigkeit für elektrische/elektronische Geräte in der baulichen Anlage durch Freileitungen als eingeführte Versorgungsleitungen folgt dann vereinfacht zu $F = N_g$ (Blitzdichte).
3. Für „Sonderfälle“ (z.B. freistehende Gehöfte mit Entfernungen von einigen km bis zur nächsten Bebauung bzw. bis zu den Trafostationen und Abschlusskästen) können allerdings noch längere Freileitungen nicht gänzlich ausgeschlossen werden. Hier erscheint im Einzelfall für Freileitungen eine maximale Länge (d.h.

Entfernung von Schadensort zu Blitzeinschlagsort) von 2000 m, in wenigen, extremen Fällen auch 3000 m angebbbar.

4. Für bauliche Anlagen in engerer Bebauung sind die maximalen Längen der Freileitung entsprechend zu reduzieren (in den Gl. 7.7 und 7.9 wird dies über die Korrekturfaktoren C_d und C_e erreicht). Für die hier vorliegende Aufgabenstellung erscheint eine „Kombination“ dieser Korrekturfaktoren sinnvoll. Vorgeschlagen werden:
 - Für „lockere“ Bebauung (vorstädtischer Bereich) eine Reduzierung von L_c auf 500 m (= Entfernung von Schadensort zu Blitzeinschlagsort), entsprechend einer Einzugsfläche von ca. $0,5 \text{ km}^2$.
 - Für „dichte“ Bebauung (städtischer Bereich) eine Reduzierung von L_c auf 200 m (= Entfernung von Schadensort zu Blitzeinschlagsort), entsprechend einer Einzugsfläche von ca. $0,2 \text{ km}^2$.
5. Die genannten Werte für L_c und damit auch der Einzugsflächen gelten für elektrische/elektronische Geräte mit einer Stoßspannungsfestigkeit von 1,5 kV, unabhängig davon, ob das Gerät an nur einem oder an mehreren elektrischen Versorgungsnetzen (Stromversorgung, Telekommunikation, etc.) angeschlossen ist. Für sensible elektrische/elektronische Geräte (z.B. mit einer Stoßspannungsfestigkeit von nur 0,5 kV) erscheint eine Verdoppelung der Werte für L_c und damit auch der Einzugsflächen sinnvoll.

Die o.g. Aussagen sind in nachstehender Tabelle 7.5 zusammenfassend dargestellt, gültig für die Blitzdichte $N_g = 4$ Blitzeinschläge pro km^2 und Jahr.

Tabelle 7.5: Schadenshäufigkeiten F für Freileitungen als eingeführte Versorgungsleitungen in Abhängigkeit vom Standort der baulichen Anlage und von der Stoßspannungsfestigkeit U_w der angeschlossenen Geräte ($N_g = 4$).

	Dichte Bebauung (Städtisch)	Lockere Bebauung (Vorstädtisch)	Ländlich	„Sonderfall“
$U_w = 1,5 \text{ kV}$	0,8	2	4	12
$U_w = 0,5 \text{ kV}$	1,6	4	8	24

7.5 Numerische Simulationen und abgeleitete Ergebnisse zur Schadenshäufigkeit bei erdverlegten Kabeln als eingeführte Versorgungsleitungen

Zur numerischen Simulation von Blitzeinwirkungen auf erdverlegte Kabel stehen leider noch keine validierten Verfahren zur Verfügung; diese Thematik wird wissenschaftlich noch sehr unterschiedlich behandelt. Für einige numerische Simulationen im Rahmen dieses Projektes werden die Grundlagen aus [21] herangezogen. Dabei werden folgende Einkopplungsarten unterschieden:

- Blitzeinschlag rel. nahe an dem erdverlegten Kabel, so dass eine rel. hohe Spannung induziert wird, die zum Durchschlag der Kabelisolierung führt: dieser Fall wird im Folgenden, analog zur Freileitung, durch die Schadenshäufigkeit F_2 dargestellt (dies wird auch als „Direkteinschlag“ bezeichnet; diese Bezeichnung

kann aber irreführend sein, da es einen direkten Blitzeinschlag in das Kabel in der Erde ja nicht geben kann; es werden jedoch, als Folge des Durchschlags der Kabelisolierung, Blitzteilströme galvanisch in das Kabel eingeleitet).

- Blitzeinschlag weiter entfernt vom erdverlegten Kabel, so dass eine Spannung magnetisch induziert wird, die zwar kleiner ist als die Spannungsfestigkeit der Kabelisolierung, aber größer als die Spannungsfestigkeit der angeschlossenen Geräte: dieser Fall wird im Folgenden, wieder analog zur Freileitung, durch die Schadenshäufigkeit F_3 dargestellt.

Wie bei der Unterscheidung in „direkte“ Blitzeinschläge und solche neben das erdverlegte Kabel in DIN EN 62305-2:2006 (vgl. Abschnitte 7.2.3 und 7.2.4) werden hier also die o.g. zwei Fälle unterschieden.

Nach [21] lassen sich die jeweiligen Einzugsflächen der o.g. beiden Bereiche durch die Kabellänge L_c und den Abstand d_x vom Kabel zum Blitzeinschlagpunkt berechnen. Dabei gilt:

- für den rel. nahen Blitzeinschlag mit Durchschlag der Kabelisolierung (F_2):

$$d_0 = \sqrt{\frac{\rho \cdot I}{2\pi \cdot E_0}} \quad (\text{Gl. 7.12})$$

- für den weiter entfernten Blitzeinschlag mit magnetischer Spannungsinduktion (F_3):

$$d_m = \frac{\rho \cdot I}{2\pi \cdot U_w} \quad (\text{Gl. 7.13})$$

mit: ρ : spezifischer Bodenwiderstand;
 I : Blitzstrom-Scheitelwert;
 E_0 : Durchschlagsfestigkeit Erdboden (400 kV/m);
 U_w : Stoßspannungsfestigkeit der angeschlossenen Geräte.

In Anhang C werden Ergebnisse von numerischen Simulationen für die zwei Schadenshäufigkeiten auf der Basis der o.g. (Gl. 7.12) und (Gl. 7.13) dargestellt. Weitere allgemeine Festlegungen für diese Simulationen sind:

- Die Berechnungen werden überwiegend für den negativen Folgeblitz mit einer Stirnzeit $T_1 = 0,25 \mu\text{s}$ durchgeführt [3], da es sich wiederum hauptsächlich um magnetische Induktionen handelt, wofür insbesondere die Blitzstromkomponente mit der größten Stromsteilheit verantwortlich ist [2, 3, 4].
- Die Länge des Kabels L_c variiert zum Teil von 0 m bis 1000 m. Die Schadenshäufigkeiten sind direkt proportional dieser Länge (der Parameter Länge wird zum Schluss des Abschnitts 5 noch weiter diskutiert).
- Der spezifische Bodenwiderstand ρ beträgt zwischen 100 Ωm und 1000 Ωm .

- Eine Induktionsschleife im Inneren der baulichen Anlage ist hier wieder nicht erforderlich. Vielmehr läuft bei allen zwei Fällen F_2 und F_3 jeweils eine Überspannung und/oder ein Blitzteilstrom aus dem Kabel in die bauliche Anlage bzw. deren elektrische Installation ein.
- Als Stoßspannungsfestigkeit der angeschlossenen elektrischen/elektronischen Geräte ist typischerweise $U_w = 1,5 \text{ kV}$ festgelegt. Diese ist aber nur für die Schadenshäufigkeit F_3 relevant; die Einkopplungen gemäß der Schadenshäufigkeit F_2 übersteigen jeweils alle Stoßspannungsfestigkeiten bis zu 6 kV.
- Als Blitzdichte wird $N_g = 4$ Blitzeinschläge pro km^2 und Jahr verwendet.
- Eine Reflexion von Spannungswellen an der Übergangsstelle Kabel zu Elektroinstallation im Haus ist nicht mehr zu unterstellen, da beide Leitungsbereiche etwa gleiche Wellenwiderstände aufweisen (d.h. der Transmissionsfaktor wird zu $k_{\text{att}} = 1$ angenommen).

In den Bildern des Anhangs C sind die Schadenshäufigkeiten F_x als Funktion verschiedener Parameter dargestellt. In den Hauptteil wurden hier keine Bilder übernommen, da sie für die hier vorliegende Aufgabenstellung nur bedingt aussagekräftig sind. Dies wird im Folgenden noch diskutiert.

Aus den numerischen Simulationen lässt sich allerdings feststellen: Während für die Schadenshäufigkeit F_2 der negative Erstblitz die höchste Bedrohung darstellt, ist dies für die Schadenshäufigkeit F_3 natürlich wieder der negative Folgeblitz (rein magnetische Induktion). Da F_3 gegenüber F_2 zahlenmäßig deutlich dominiert, stellt der negative Folgeblitz auch hier insgesamt wieder die höchste Bedrohung dar.

Die Ergebnisse der numerischen Simulation lassen sich nun mit den Abschätzungen nach [4] (siehe Abschnitt 7.2.3 und 7.2.4) vergleichen. Dazu werden in den Gleichungen für erdverlegte Kabel nach Tabelle 2 folgende Annahmen getroffen:

- Negativer Folgeblitz
- $N_g = 4$ Blitzeinschläge pro km^2 und Jahr
- $L_c = 1000 \text{ m}$
- $H_a, H_b = 0 \text{ m}$ (keine baulichen Anlagen berücksichtigt)
- $\rho = 500 \text{ } \Omega\text{m}$
- $C_d, C_e, C_t = 1$.

Tabelle 7.6: Vergleich Ergebnisse der Schadenshäufigkeiten aus numerischer Simulation und Abschätzungen nach DIN EN 62305-2:2006 für erdverlegte Kabel.

Numerische Simulationen		Abschätzung nach [4]		U_w (kV) ¹⁾
F_2	0,012	F_L (Gl. 8)	0,089	
F_3	5,2	F_I (Gl. 10)	2,2	1,5
	3,2		0,89	2,5
	1,8		0,45	4,0
	1,2		0,22	6,0

Anmerkung:

¹⁾ Nur die Schadenshäufigkeit F_3 hängt von der Stoßspannungsfestigkeit der angeschlossenen Geräte U_w ab. Die Reduktion der Werte nach [4] ergibt sich über die geringere Schadenswahrscheinlichkeit P_z bei wachsender Stoßspannungsfestigkeit U_w .

Tabelle 7.6 zeigt zwar in der Tendenz ähnliche Aussagen, aber in den Absolutwerten größere Unterschiede:

- Zwischen den Schadenshäufigkeiten F_2 und F_L liegt nahezu eine Zehnerpotenz. Grund dafür ist wohl insbesondere der zu theoretische Ansatz des Abstandes von Kabel zu Blitzeinschlagspunkt d_o nach (Gl. 7.12).
- Im Gegensatz dazu führt der Ansatz von d_m nach (Gl. 7.13) zu überhöhten Werten der Schadenshäufigkeit F_3 im Vergleich zu F_I . Dazu kommt hier noch der grundsätzliche Unterschied, dass d_m linear vom spezifischen Bodenwiderstand ρ abhängig ist, während für die Fläche A_i nach Tabelle 7.2 gilt: $A_i \sim \sqrt{\rho}$

Die Annahmen nach [21] sind damit nur bedingt geeignet, numerische Simulationen mit dem Ziel realitätsnaher Ergebnisse durchzuführen. Vielmehr erscheint es auch hier sinnvoll, die normativen Grundlagen nach DIN EN 62305-2:2006 [4] heranzuziehen. d.h. die Gleichungen 7.7 – 7.10 und die Beziehungen aus Tabelle 7.2.

Für die weiteren Untersuchungen der Schadenshäufigkeiten im Rahmen des FuE-Projektes und insbesondere zum Vergleich mit den vorhandenen Schadensstatistiken und zur Erarbeitung eines Modells für die zukünftige Bearbeitung der Schäden lassen sich aus den Grundlagen nach [4] unter Berücksichtigung der in Anhang C dargestellten Ergebnisse für Blitzeinwirkungen in der baulichen Anlage durch ein erdverlegtes Kabel als eingeführte Versorgungsleitung folgende Aussagen aufstellen:

1. Die typische maximale Länge L_c eines Kabels, die für das Auftreten von Überspannungen an elektrischen/elektronischen Geräten in der baulichen Anlage, relevant ist, kann zunächst ebenfalls zu 1000 m angegeben werden (= Entfernung von Schadensort zu Blitzeinschlagsort). Typische Niederspannungskabel der Stromversorgung sind in der Regel kürzer, oder zumindest nicht deutlich länger. Gleiches gilt für typische Telekommunikations-Kabel.
2. Als spezifischer Bodenwiderstand sollte der worst-case gemäß [4] angenommen werden, d.h. $\rho = 500 \Omega\text{m}$. Nur bei bekannter, großflächiger Niederohmigkeit des Erdbodens im Bereich des Schadensortes könnte hier ein niedriger Wert sinnvoll sein (er sollte jedoch nicht niedriger als $100 \Omega\text{m}$ angesetzt werden). Damit ergibt sich die Einzugsfläche für dieses Schadensszenario zu ca. $0,5 \text{ km}^2$.

3. Für „Sonderfälle“ (z.B. freistehende Gehöfte mit Entfernungen von einigen km bis zur nächsten Bebauung bzw. bis zu den Trafostationen und Abschlusskästen) können allerdings noch längere Kabel wiederum nicht gänzlich ausgeschlossen werden. Hier erscheint im Einzelfall für Kabel ebenfalls eine maximale Länge (d.h. Entfernung von Schadensort zu Blitzeinschlagsort) von 2000 m, in wenigen, extremen Fällen auch 3000 m angebbbar.
4. Für bauliche Anlagen in engerer Bebauung sind die maximalen Längen der Kabel entsprechend zu reduzieren (in den Gl. 7.7 und 7.9 wird dies über die Korrekturfaktoren C_d und C_e erreicht). Für die hier vorliegende Aufgabenstellung erscheint eine „Kombination“ dieser Korrekturfaktoren sinnvoll. Vorgeschlagen werden wiederum:
 - Für „lockere“ Bebauung (vorstädtischer Bereich) eine Reduzierung von L_c auf 500 m (= Entfernung von Schadensort zu Blitzeinschlagsort), entsprechend einer Einzugsfläche von ca. 0,25 km².
 - Für „dichte“ Bebauung (städtischer Bereich) eine Reduzierung von L_c auf 200 m (= Entfernung von Schadensort zu Blitzeinschlagsort), entsprechend einer Einzugsfläche von ca. 0,1 km².
5. Die genannten Werte für L_c und damit auch der Einzugsflächen gelten für elektrische/elektronische Geräte mit einer Stoßspannungsfestigkeit von 1,5 kV, unabhängig davon, ob das Gerät an nur einem oder an mehreren elektrischen Versorgungsnetzen (Stromversorgung, Telekommunikation, etc.) angeschlossen ist. Für sensible elektrische/elektronische Geräte (z.B. mit einer Stoßspannungsfestigkeit von nur 0,5 kV) erscheint eine Verdoppelung der Werte für L_c und damit auch der Einzugsflächen sinnvoll.

Die o.g. Aussagen sind in nachstehender Tabelle 7.7 zusammenfassend dargestellt, gültig für die Blitzdichte $N_g = 4$ Blitzeinschläge pro km² und Jahr und den o.g. worst-case für den spezifischen Bodenwiderstand $\rho = 500 \Omega\text{m}$.

Tabelle 7.7: Schadenshäufigkeiten F für erdverlegte Kabel als eingeführte Versorgungsleitungen in Abhängigkeit vom Standort der baulichen Anlage und von der Stoßspannungsfestigkeit U_w der angeschlossenen Geräte ($N_g = 4$, $\rho = 500 \Omega\text{m}$).

	Dichte Bebauung (Städtisch)	Lockere Bebauung (Vorstädtisch)	Ländlich	„Sonderfall“
$U_w = 1,5 \text{ kV}$	0,4	1	2	6
$U_w = 0,5 \text{ kV}$	0,8	2	4	12

8. Untersuchte Schadensakten

Da die von den Versicherungen übermittelten Tabellen von Schadensfällen leider keine Auskunft über die Art der geschädigten Geräte, Instand- oder Neuanschaffungskosten, die Bevölkerungsdichte und den Blitzstromparametern der Blitzortungen gegeben haben, wurden im Rahmen des Projekts diese Informationen aus den Schadensakten der Versicherer entnommen. Da dies sehr zeitaufwändig war, konnten selbstverständlich nicht alle uns übermittelten Schadensfälle um die fehlenden Angaben ergänzt werden. Hier musste eine Stichprobe von einigen hundert Fällen ausreichen. Um die Geräte zu klassifizieren, wurden sie erst einmal in bestimmte Geräteklassen eingeordnet.

Es wurden folgende Geräteklassen unterschieden:

- weiß = Waschmaschinen, Trockner, Kühlschränke, Gefrierschränke, Elektroherde, Mikrowellen, Küchenmaschinen, etc.
- braun = Fernseher, Verstärker, CD-Spieler, Radio, Satellitenreceiver, etc.
- grau = alle Geräte aus den Klassen weiß und braun, die industriell genutzt werden
- IT = Computer, Telefon, Telefonanlage, etc.
- Steuerung = Heizungssteuerung, Brandmeldeanlage, Alarmanlagen, etc.
- PV = Photovoltaik-Anlage, Solarthermie-Anlage

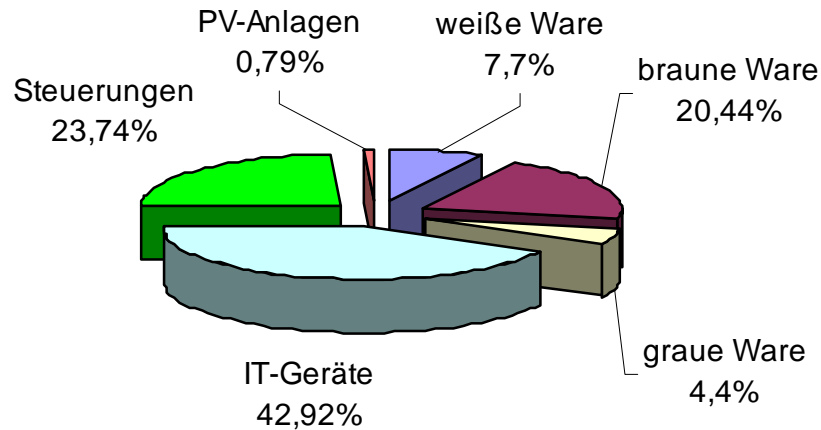
Es wurden insgesamt vier Versicherungsgesellschaften besucht.

1. VGH-Versicherung
 - Regionaldirektion Lingen am 13. März 2006 (128 Fälle)
 - Regionaldirektion Lüneburg am 14. März 2006 (129 Fälle)
 - Regionaldirektion Celle am 15. März 2006 (132 Fälle)
2. Provinzial-Versicherung in Münster am 6. April 2006 (83 Fälle)
3. Axa-Versicherung in Köln am 12. und 30. Mai 2006 (205 Fälle)
4. Die Sparkassenversicherung hat die Informationen selber eingetragen und uns zugesandt (90 Fälle).

Dies waren insgesamt 767 ausgewertete Schadensakten.

Nicht alle Informationen konnten von allen Versicherungsunternehmen und in allen Fällen gesammelt werden. Daher ergaben sich für die Auswertung verschiedene Anzahlen von nutzbaren Informationen (Fällen).

Geräteklassenanteile



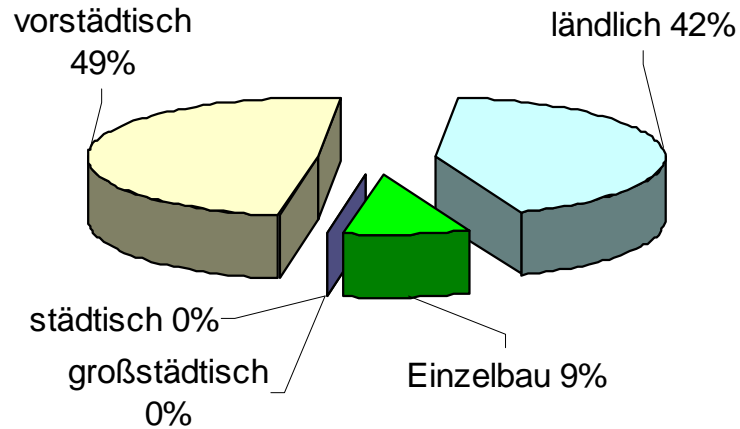
636 ausgewertete Fälle

Bild 8.1: Anteile der Geräteklassen

Die Bebauungsdichte geht mit der Bevölkerungsdichte einher. Im Rahmen der Aufnahme der detaillierten Informationen konnten viele Schadensorte einer Bevölkerungsdichte (siehe Bilder 8.2 bis 8.5) zugeordnet werden. Unterschieden wurde dabei in:

1. Einzelbau (einzelnes alleinliegendes Gebäude oder Gehöft)
2. ländlich (Siedlungen und Dörfer mit Gebäudehöhen typischerweise kleiner als 10 m)
3. vorstädtisch (größere Dörfer, Vorstadtsiedlungen mit Gebäudehöhen zwischen 10 m und 20 m)
4. städtisch (kleinere bis mittelgroße Städte)
5. großstädtisch (große Städte mit Gebäudehöhen typischerweise über 20 m)

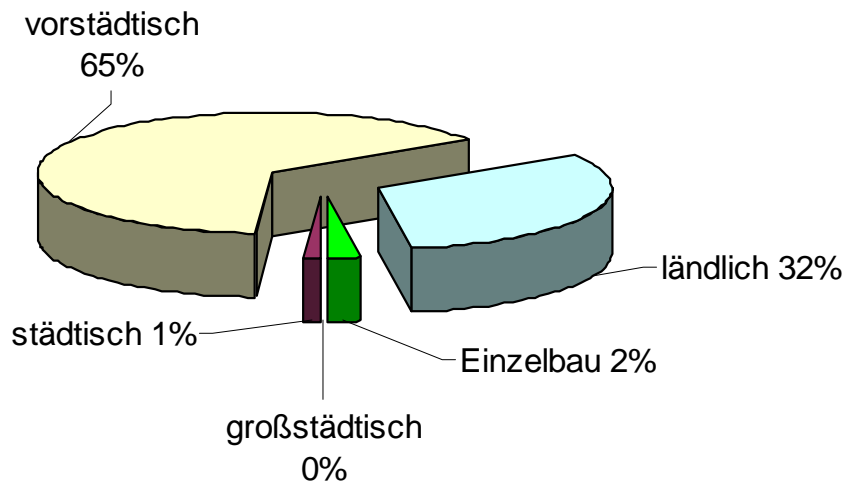
Bevölkerungsdichte VGH-Lingen



90 ausgewertete Fälle

Bild 8.2: Bevölkerungsdichteverteilung aufgrund der Akten der VGH-Lingen

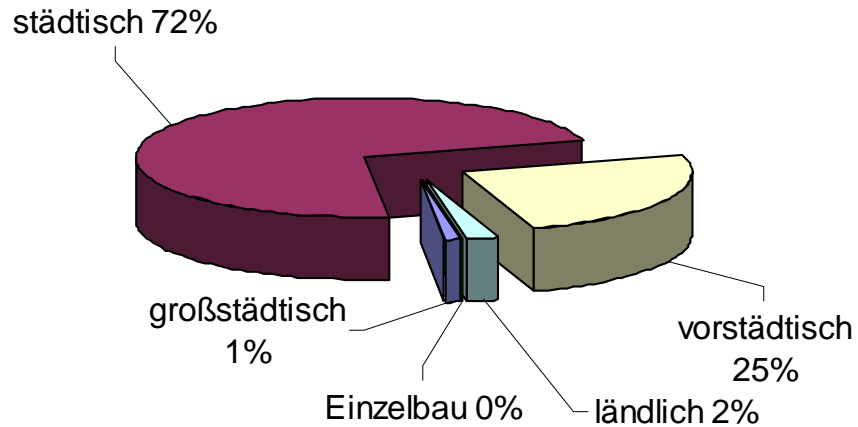
Bevölkerungsdichte VGH-Celle



91 ausgewertete Fälle

Bild 8.3: Bevölkerungsdichteverteilung aufgrund der Akten der VGH-Celle

Bevölkerungsdichte VGH-Lüneburg



85 ausgewertete Fälle

Bild 8.4: Bevölkerungsdichteverteilung aufgrund der Akten der VGH-Lüneburg

Bevölkerungsdichte Provinzial



78 ausgewertete Fälle

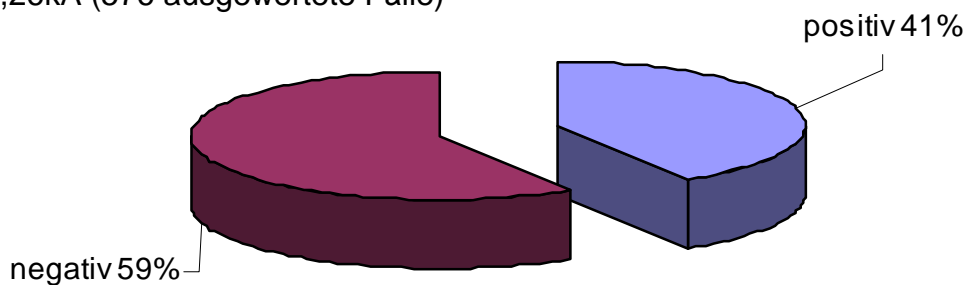
Bild 8.5: Bevölkerungsdichteverteilung aufgrund der Akten der Provinzial

Weiterhin wurden der Blitzstromsichelwert und die Polarität des Blitzes (Bild 8.6), sowie der Blitztyp der nächstgelegenen Ortung (Bild 8.7) aus den gesammelten Fällen ausgewertet.

Aus insgesamt 30 Direkteinschlägen konnte der mittlere räumliche Fehler bei der Ortung des Blitzortungssystems zu 363 Metern ermittelt werden.

Polarität der Blitze

Der mittlere Scheitelwert eines Blitzes war 25,26kA (576 ausgewertete Fälle)



424 ausgewertete Fälle

Bild 8.6: Polarität der Blitze
570 ausgewertete Fälle

Blitztyp der nächstgelegenen Ortung

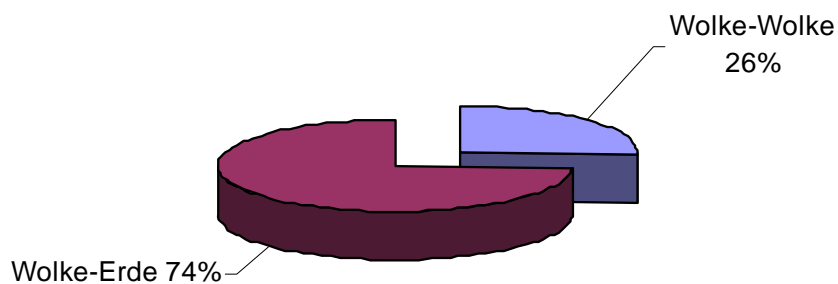


Bild 8.7: Blitztyp der nächstgelegenen Ortung

9. Untersuchung geschädigter Geräte

9.1 Spuren einer direkten Blitzeinwirkung

Die Erkennung eines direkten Einschlages in ein elektrisches oder elektronisches Gerät stellt in der Regel kein großes Problem dar. In diesem Fall sind die Beschädigungen recht groß. Oft sind es mechanische Beschädigungen am Gehäuse oder an den Eintrittspunkten von Versorgungs- und/oder Datenleitungen in das Gerät, die durch die hohen Blitzströme hervorgerufen werden. Die Folge ist in der Regel eine teilweise oder totale Zerstörung des Gerätes. Direkte Einschläge sind jedoch eine Ausnahmeerscheinung. Zum einen, da ein Direkteinschlag sowieso eher selten vorkommt und zum anderen, da sich solche Geräte in der Regel nicht im Einschlagbereich befinden. Ausnahmen wären hier z. B. Transformatoren an den Freileitungen oder Umspannstationen oder Weidezaungeräte.

9.2 Spuren einer indirekten Blitzeinwirkung

Der Bereich, in dem sich die Spuren einer indirekten Blitzeinwirkung bewegen, gehen von mechanischen bzw. thermischen Beschädigungen am und im Gerät, wie Verschmörungen, Abschmelzungen, Verrußungen, ähnlich der von direkten Blitzeinwirkungen, bis zu kaum erkennbaren Erscheinungen, die von Überschlagskanälen herrühren. Meistens sind die offensichtlichen Schäden Sekundäreffekte des eigentlichen Spannungsdurchschlags aufgrund einer Blitzüberspannung. Durch die Einwirkung der Überspannung wird die Spannungsfestigkeit im Bereich des schwächsten Bauteiles überschritten, was einen Durch- oder Überschlag zur Folge hat. Dieser vorbereitete Entladungskanal stellt eine elektrisch leitfähige Verbindung dar, die einen Kurzschlussstrom, der entweder aus Speicherelementen des Gerätes oder vom Niederspannungsnetz gespeist wird, hervorruft. Diese energiereichere Entladung führt dann erst zu den größeren Geräteschäden.

Oft sind aber auch gar keine äußeren Beschädigungen zu erkennen. Hierbei liegt dann häufig eine Schädigung innerhalb eines Bauelementes, wie z. B. einem integrierten Schaltkreis (IC), vor. Bei diesen Fällen ist ein Nachweis einer Blitzüberspannung als Ursache des Schadens oft sehr schwierig. Gerade diese kleinen Überspannungen aber kommen sehr häufig vor und stellen noch in einem relativ großen Radius um den Blitzkanal herum eine ernstzunehmende Gefährdung für viele empfindliche Geräte dar. Hier können nur spezielle Untersuchungsmethoden die Ursache des Defektes aufdecken. Man kann das IC röntgen, um Bereiche mit defekten Halbleiterübergängen erkennbar zu machen, oder es besteht die Möglichkeit bei kleineren Störungen, solange das Gerät noch in Funktion ist, mit Hilfe von speziellen Messgeräten (z.B. Logikanalysatoren) Rückschlüsse auf Schädigungen im Bauelement zu ziehen. Das sind aber in der Regel sehr zeit- und kostenaufwändige Untersuchungen, die sich nur für besonders teure Geräte lohnen dürften.

9.3 Äußerer und innerer Allgemeinzustand

Einen ersten guten Hinweis, ob ein Gerät aufgrund einer Blitzüberspannung zerstört worden ist, gibt der äußere Allgemeinzustand. Das ist der technische Zustand eines

Gerätes vor dem Eintritt des Schadens. Er lässt sich meistens leicht anhand der visuellen Betrachtung von Merkmale wie Abnutzungsspuren, Deformationen, Risse, etc. feststellen. Geräte lassen sich hierbei in die drei folgenden Kategorien einteilen:

- neues oder neuwertiges Gerät
- dem Alter entsprechend genutztes Gerät oder
- stark bis sehr stark abgenutztes Gerät.

Hierbei spielt die Alterung eine sehr entscheidende Rolle. Ein vom Herstellungsdatum her altes aber kaum benutztes Gerät kann noch in einem neuwertigen Zustand sein, während ein noch relativ junges aber ständig benutztes Gerät bereits nach kurzer Zeit erhebliche Abnutzungserscheinungen aufweisen kann, die natürlich auch stark vom jeweiligen Benutzer abhängen. Des weiteren muss zwischen Geräten für Daueranwendung und gelegentlichen Anwendungen unterschieden werden. Eine Waschmaschine ist nach 10 Jahren Gebrauch mehr verschlissen als ein Hochdruckreiniger, der nur einmal im Jahr zum Säubern eines Hofes benutzt wird. Nicht zuletzt ist auch die Qualität des Gerätes von entscheidender Bedeutung. Eine Spülmaschine für 400 EUR wird selbstverständlich bereits eher die ersten Verschleißerscheinungen und Defekte aufweisen als eine teurere Maschine eines Markenherstellers. Die technische Grenznutzungsdauer, wie man den Mittelwert der Nutzungsdauer vom Beginn der Inbetriebnahme bis zum endgültigen Ausfall nennt, ist deshalb von sehr vielen Faktoren abhängig. Ist das Gerät jedoch älter als diese durchschnittliche Grenznutzungsdauer, ist die Wahrscheinlichkeit eines alterungsbedingten Ausfalls wesentlich wahrscheinlicher. Einige typische Grenznutzungsdauern sind in der folgenden Tabelle 9.1 aufgeführt.

Tabelle 9.1: Grenznutzungsdauern von einigen typischen Geräten [31]

Tragbare Geräte, Notebook, etc.	3 Jahre
Computer	4 Jahre
Handy	3 bis 5 Jahre
Fernseher	5 bis 10 Jahre
Musikanlage	5 bis 10 Jahre
Videorekorder	5 bis 10 Jahre

Äußere Umgebungsbedingungen wirken sich zusätzlich auf die Lebenserwartung aus. Es sind neben mechanischen Einwirkungen, Kälte, Hitze, Luftfeuchtigkeit, Sonneneinstrahlung, Staubbelastung auch die Nässeeinwirkung und noch viele mehr, die eine Verringerung der Lebenserwartung hervorrufen. Besonders eine hohe Luftfeuchtigkeit und Nässe begünstigen die Ausbildung von Kriechstromstrecken, die in Verbindung mit Staub zu Kurzschlüssen führen können. Diese Ausfälle haben nichts mit einer blitzbedingten Überspannung zu tun. Erleichtert wird dieses noch durch Isolierungen, die durch lange UV-Bestrahlung von der Sonne spröde und rissig geworden sind und so eine geringere Isolationsfestigkeit als vorgesehen aufweisen. In solchen Fällen können bereits normale Betriebsspannungen zu Überschlägen führen. Feuchtigkeit führt auch rasch zur Korrosion von Kontaktstellen, die dadurch einen höheren Übergangswiderstand aufweisen. Höhere Übergangswiderstände führen zu

thermischen Effekten an diesen Stellen, die ebenfalls nichts mit Blitzeinwirkungen zu tun haben.

Die größte Schwierigkeit besteht bei nicht eindeutig identifizierbaren visuellen Indizien für eine Blitzüberspannung darin, die echten Schäden durch Blitzüberspannungen von den Defekten zu unterscheiden, die aufgrund von Alterung und Abnutzung zwangsläufig entstanden wären. Hier ist der Rat und die Hilfe eines Fachmannes unerlässlich. Nur er kann durch eine Inaugenscheinnahme, Messungen und seinen Erfahrungen, zusammen mit seinem elektrotechnischen Wissen, Aufschlüsse über die wahren Gründe des Defektes ermitteln, während die äußere Begutachtung eines Gerätes auch durch eine nicht elektrotechnisch ausgebildete Person durchgeführt werden kann. Sie muss entsprechend auf die Besonderheiten hin unterwiesen worden sein. Viele Fälle lassen sich dadurch bereits „lösen“.

9.4 Einfache messtechnische Untersuchungen

Wenn die eben beschriebenen Merkmale keine Zuordnung erlauben, müssen weiterführende Messungen und Untersuchungen folgen, die jedoch nur von Fachleuten durchgeführt werden dürfen, da dazu die Geräte geöffnet werden müssen.

Da die Netz- und Daten- bzw. Steuerleitungen das Eintrittstor für die hohen Spannungen sind, sollten besonders die Bereiche, wo die Leitungen in das Gerät eintreten, genau untersucht werden. Hier sind oft deutliche Schmauchspuren zu erkennen. Häufig befindet sich am Netzeingang eines Gerätes ein Varistor zur Überspannungsbegrenzung, der bei nahen Blitzeinschlägen durch die dort auftretenden Energien zerstört sein kann. Die Bauteile sind nur zur Begrenzung sehr schwacher Überspannungen geeignet, wie sie z.B. bei Schalthandlungen im Energienetz auftreten können. Ist der Varistor mechanisch zerstört worden, lag eine hohe energiereiche Spannung am Eingang an, was die Wahrscheinlichkeit eines blitzbedingten Schadens erhöht. Eventuell weist das Bauelement äußerlich keinen Schaden auf, was jedoch nicht bedeuten muss, dass der Varistor nicht beschädigt ist. Abschluss kann eine Widerstandsmessung bringen. Wenn Blitzüberspannungen angelegen haben kommt es aufgrund der hohen Energien im Bereich der Netzteile zu punktuellen Ab- und Ausschmelzungen von metallenen Bereichen, wie z.B. den Leiterbahnen.

Neben dem Varistor können auch weitere Bauteile im Gerät mechanische Schäden wie Absprengungen von Elementteilen oder Beschichtungen aufweisen oder auch von außen nicht sichtbar elektrisch defekt sein. Ein sehr gutes Indiz einer mechanischen Beschädigung durch Blitzeinwirkung ist eine strahlenförmige Verrußung um Leiterplatten oder Bauelementen (Schmauchspuren). Weiterhin sollten die Transformatoren im Netzteil genau betrachtet werden. Hier kommt es oft zum perlenförmigen An- oder Aufschmelzen von Wicklungen. Generell kann gesagt werden, dass Baugruppen mit geringerer elektrischer Festigkeit eher geschädigt werden als Bereiche mit einer höheren elektrischen Festigkeit. Ist z.B. bei einem Fernsehgerät die Hochspannungserzeugung (Zeilentransformator oder Hochspannungskaskade) defekt, sind jedoch keine Schäden am Netzteil, Tuner oder der sonstigen Elektronik feststellbar, so liegt mit hoher Wahrscheinlichkeit ein betriebsbedingter Ausfall des Gerätes vor. Besonderes Augenmerk sollte auf Geräte gelegt werden die an zwei oder mehr

verschiedenen Netzen angeschlossen sind. Die Netze bilden eine besonders große Induktionsschleife für das blitzbedingte Magnetfeld. Die hierdurch entstehenden Überspannungen an den Eingängen der Geräte sind deshalb besonders hoch. Gemeinsam mit der oft niedrigen elektrischen Festigkeit sind deswegen häufig Telefone, Telefonanlagen, Fernseher, Videorekorder, DVD-Player, Radiotuner, Computer und Steuerungen Opfer von blitzbedingten Überspannungen. Die Auswertung der Schadensakten bei den Versicherungen hat dies sehr eindrucksvoll bestätigt.

9.5 Untersuchte Prüfberichte

Um aussagekräftige Ergebnisse von möglichst vielen geschädigten und untersuchten Geräten zu bekommen, wurden 600 Prüfberichte der Firma T-Vos untersucht. Die Untersuchung wurde anhand von Fällen gemacht, die von der Axa-Versicherung im Jahr 2005 zur Begutachtung an die Firma T-Vos gegeben wurden. Dabei wurde gemäß der Fragestellungen im Fragebogen vorgegangen, soweit die Informationen aus den Prüfberichten zu entnehmen waren. Nicht alle der folgenden Punkte konnten dabei ausgewertet werden.

Punkte für die Geräteuntersuchung:

- Einteilung in neues oder neuwertiges, dem Alter entsprechend genutztes oder stark bis sehr stark abgenutztes Gerät durchführen. Stark bis sehr stark abgenutzte Geräte gehen aufgrund des häufigen Gebrauchs defekt.
- Das Alter des Gerätes ermitteln. Ist die Grenznutzungsdauer überschritten, ist der Schaden sehr wahrscheinlich aufgrund des Alterungsprozesses eingetreten.
- Äußere Umgebungsbedingungen untersuchen (starke mechanische Beanspruchung, Kälte, Hitze, Luftfeuchtigkeit, Sonneneinstrahlung, Staubbelastung und Nässeeinwirkung). Diese Bedingungen reduzieren die Wahrscheinlichkeit eines Defektes aufgrund einer Blitzüberspannung.
- Schmauchspuren an den Netz- und/oder Antennen- und/oder Dateneingängen versuchen zu finden.
- Mechanische Defekte an Bauelementen, wie Abplatzungen von Elementteilen oder Beschichtungen, sowie elektrisch Defekte an Bauelementen im inneren des Gerätes suchen. Hier auch besonders Varistoren untersuchen, ggf. auch elektrisch durchmessen.
- Untersuchen, ob an metallenen Teilen (Leiterbahnen oder Gehäuseteilen) Ab- oder Ausschmelzungen zu finden sind.
- Leiterplatten und Bauelemente auf Schmauchspuren oder auch besonders auf strahlenförmige Verrußungen hin untersuchen.
- Transformatoren und Wicklungen auf perlenförmige An- und Abschmelzungen untersuchen.
- Herausfinden, welche Baugruppen defekt sind. Besonders Defekte in Netzteilen, Tunern, Netzwerkkarten weisen sehr wahrscheinlich auf einen Überspannungsschaden hin. Sind elektrisch widerstandsfähigere Baugruppen defekt und empfindlichere nicht defekt, deutet dies auf keinen Überspannungsschaden hin.

- Geräte an zwei oder mehreren Netzen sind besonders durch Überspannungen gefährdet (z.B. Telefone, Telefonanlagen, Fernseher, Videorekorder, DVD-Player, Radiotuner, Computer und Steuerungen).
- Ergebnis: Ist es ein blitzbedingter Schaden ist oder nicht?

Ziel war es, signifikante statistische Hinweise zu bekommen, ob ein Schaden aufgrund eines Blitzereignisses oder anderweitig aufgetreten ist.

Geräteklassen

Die 600 untersuchten Geräte teilen sich dabei wie im folgenden Bild 9.1 gezeigt in die einzelnen Geräteklassen auf. Da das Hauptaugenmerk im Rahmen dieses Projektes nicht auf Industriegeräte gelegt wurde, sind diese Geräte nicht mit erfasst worden.

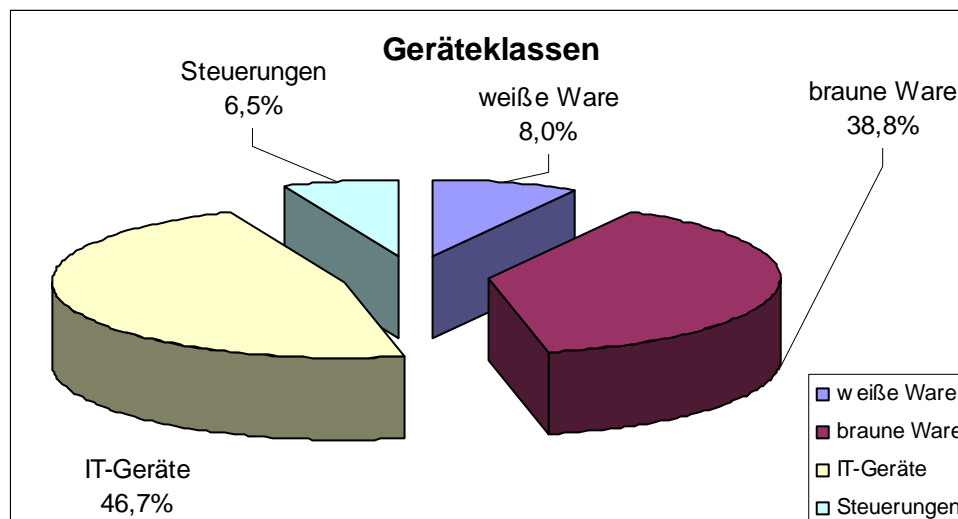


Bild 9.1: Anteile der Geräteklassen

Vergleicht man die prozentualen Anteile mit denen aus der Schadensaktenuntersuchung (Kapitel 8), so fällt auf, dass die Anteile an weißer Ware und der von den IT-Geräten nahezu gleich sind. Nicht berücksichtigt worden ist, wie bereits erläutert, die graue Ware, also die Industriegeräte. In allen 600 Fällen trat kein einziger Fall einer PV-Anlage auf, so dass diese Gerätegruppe nicht in Erscheinung tritt. Es sind trotz wachsender Zuwachsraten von PV-Anlagen immer noch anteilmäßig zu geringe Stückzahlen, verglichen mit Massenprodukten wie Computer oder Fernsehgeräten, auf dem Markt, als dass sich deren Schäden nennenswert auf die Schadensregulierung der Versicherungsunternehmen im Privathaushaltsbereich auswirken würden.

Weiterhin fällt beim Vergleich der Anteile zwischen den hier untersuchten Geräten und denen aus den Schadensakten eine große Diskrepanz bei den Steuerungen (in der Regel der Heizungssteuerungen) auf. Der Anteil ist hier nur rund ein viertel so hoch wie der Anteil in den Schadensaktenuntersuchungen. Das rührt daher, dass diese häufig einer anderen Firma zur Begutachtung zugesandt wurden und deswegen hier nicht in Erscheinung treten.

Der mit den Untersuchungen der Schadensakten etwa doppelt so starke Anteil der Geräteklasse 2 (braune Ware) lässt sich nicht direkt erklären. Da es sich weder bei den Schadensaktenuntersuchungen noch hierbei um repräsentative Stichproben von allen Geräteklassen handelt, sind Abweichungen nicht auszuschließen. Weiterhin werden nicht generell alle Geräte von Schadensmeldungen begutachtet, sondern nur solche, bei denen ein Blitzeinschlag vom Blitzortungssystem nachgewiesen wurde und deren Neuanschaffungskosten über ca. 200 Euro liegen.

Zahl der Netzanschlüsse

Die 600 Geräte verteilten sich bezüglich des Anschlusses an einem oder zwei bzw. mehr Netzen wie im Bild 9.2 gezeigt:

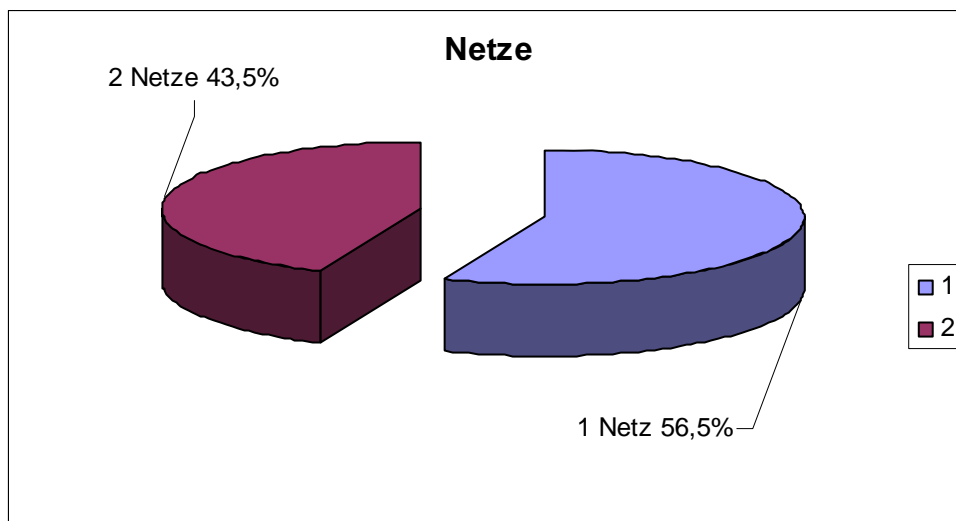


Bild 9.2: Einteilung in Anzahl der Netzanschlüsse

An nur einem Netz waren 56,6 % der untersuchten Geräte angeschlossen, während 43,5 % an mindestens zwei Netzen angeschlossen waren. Diese Aussage ist jedoch nur unter Vorbehalt gültig, da bei Fernsehgeräten und daran weiter angeschlossen Geräten (z.B. DVD-Player und Videorekorder) ein großer Anteil mit zwei Netzen verbunden ist. Da die Berichte hier jedoch keine Angaben machen, sind alle diese Geräte per Definition nur einem Netz zugeordnet worden. Der reale Anteil von an mind. zwei Netzen angeschlossen Geräten ist daher höher.

Gerätefunktion vorhanden

Eine Aufgabe der Sachverständigen war es, die Geräte auf ihre Funktionsfähigkeit hin zu überprüfen. Dabei ergab sich bei den ausgewerteten Prüfberichten folgendes im Bild 9.3 gezeigte Ergebnis.

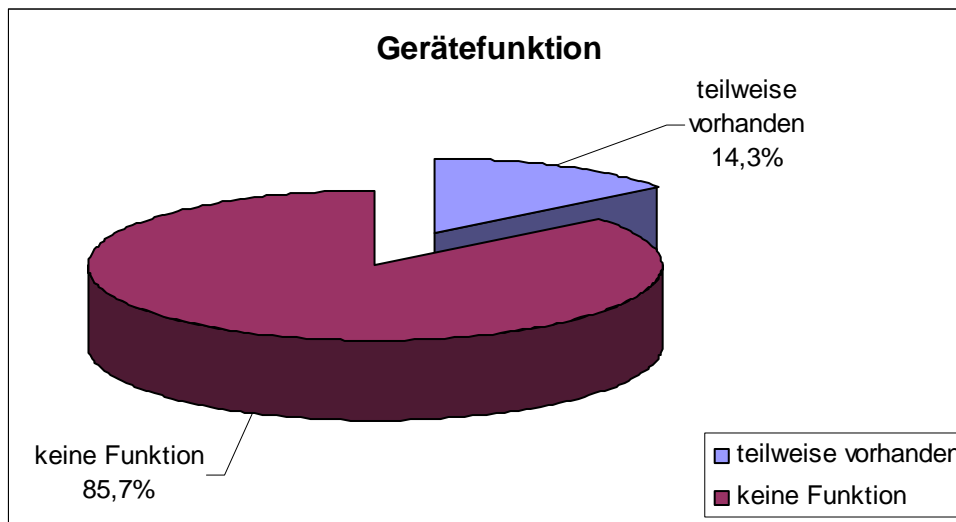


Bild 9.3: Gerätefunktion

Die weitaus meisten Geräte hatten nach der Schädigung gar keine Funktion mehr. Bei lediglich 14,3 % der Geräte sind zumindest noch Teilfunktionen erhalten geblieben. Bei der Untersuchung wurden Geräte bei denen keine Schädigung aufgetreten war nicht berücksichtigt.

Anzahl geschädigter Geräte je Schadensfall

Aus den Prüfberichten ließ sich leicht entnehmen, ob es sich um nur ein geschädigtes Gerät beim Versicherungsnehmer gehandelt hatte, oder ob gleichzeitig mehrere Geräte geschädigt worden waren.

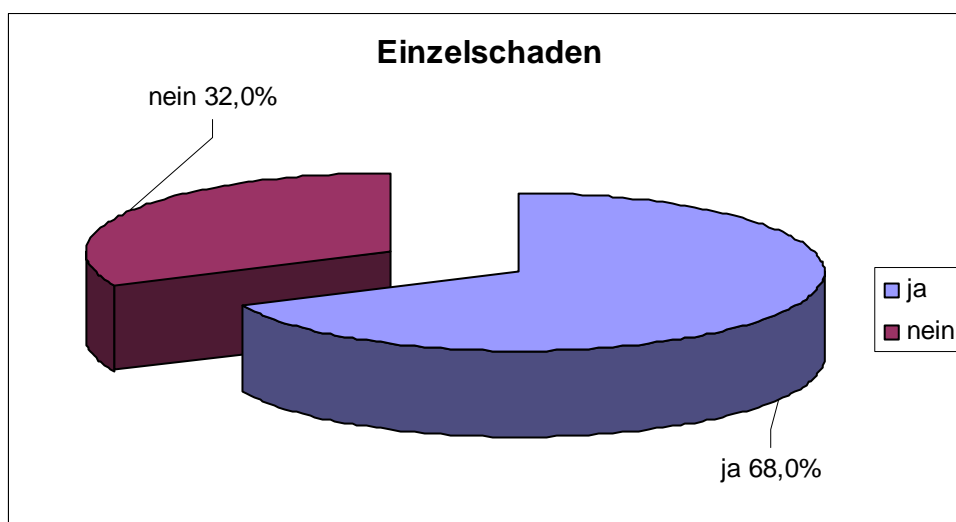


Bild 9.4: Anzahl geschädigter Geräte je Schadensfall

Dabei lässt sich aus Bild 9.4 erkennen, dass in rund einem Drittel der Fälle mehr als ein Gerät geschädigt wurde, während in rund zwei Drittel der Fälle lediglich ein Gerät zu Schaden kam.

Das Ergebnis ist zunächst etwas überraschend, da man eigentlich vermuten würde, dass in der Regel bei einem Blitzeinschlag mehrere Geräte geschädigt werden müssten. Dies gilt jedoch nur im Falle eines Direkt- oder unmittelbaren Naheinschlages. Die meisten untersuchten Fälle beruhen jedoch auf weiter entfernten Blitzeinschlägen. Hier wird oft nur ein rel. empfindliches Gerät, wie z.B. ein Telefon, geschädigt. Das ist dort häufig der Fall, wo Geräte an mindestens zwei Netzen angeschlossen sind, z.B. dem IT-Bereich.

Ursache für Schaden

Die Versicherungsunternehmen möchten als Resultat der Untersuchung gerne wissen, ob es zu einem blitzeinschlagsbedingten Schaden kam, oder ob es andere, in diesen Fällen eventuell nicht versicherte Ursachen gab.

Das Ergebnis der Untersuchung der 600 Fälle war, dass bei 409 (68,2 %) der defekten Geräte ein Blitzeinschlag in der Nähe für den Schaden verantwortlich war. Bei 31,8 % der Fälle konnte kein derartiger Zusammenhang erkannt werden.

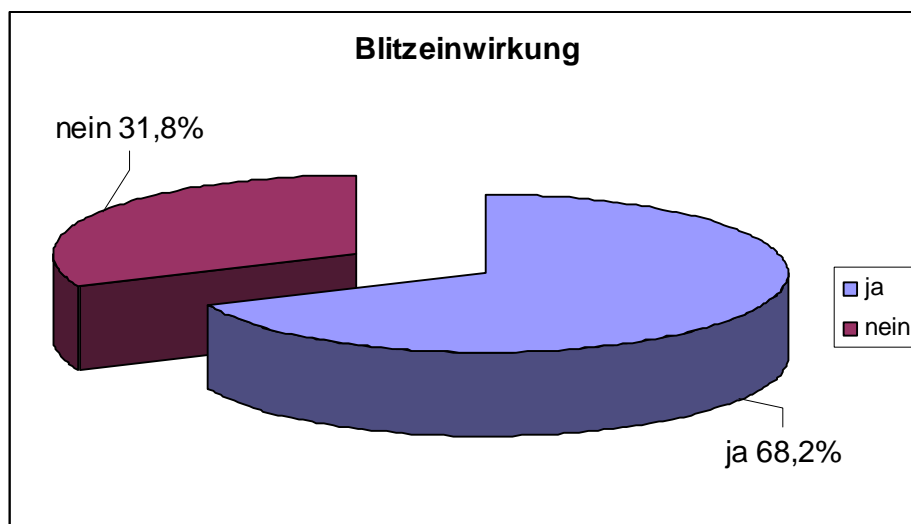


Bild 9.5: Anteil der durch Blitzeinschlag geschädigten Geräte

Täuschungsversuch/Fremdeinwirkung

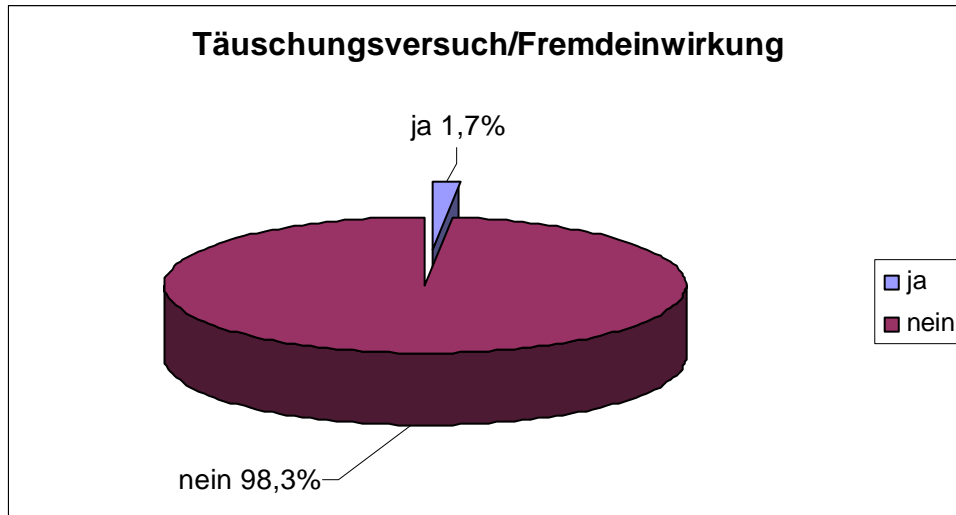


Bild 9.6: Anteil an Täuschungsversuchen oder von Fremdeinwirkung

Täuschungsversuche, also vorsätzliche Handlungen, die einen Schaden als Blitzschaden nur erscheinen lassen sollen, waren in den untersuchten Fällen die Ausnahme. Nicht einmal in zwei von hundert Fällen konnte so eine Manipulation herausgefunden werden.

Gebrauchsspuren

Einen Hinweis, ob ein Gerät alterungs- oder verschleißbedingt ausgefallen ist, geben die Gebrauchsspuren. Je gebrauchter und dadurch verschlissener ein Gerät ist, desto weniger plausibel ist der Ausfall durch Blitzeinwirkung. Die Prüfberichte gaben oft Hinweise, in welchen Zustand sich das untersuchte Gerät befand.

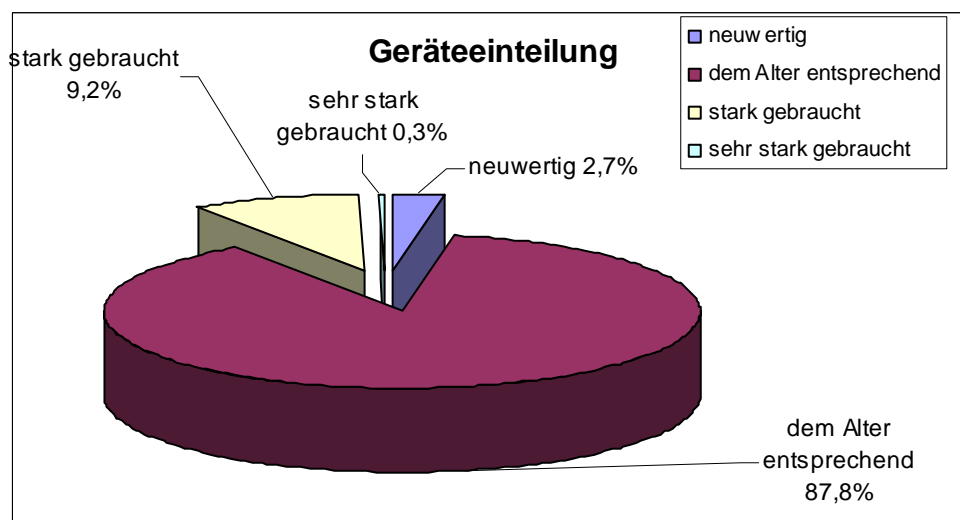


Bild 9.7: Geräteinteilung hinsichtlich des Erhaltungs- bzw. Funktionszustandes

Hierbei stellte sich heraus, dass rund 90 % der untersuchten Geräte nicht unter die Kategorie „stark gebraucht“ oder sogar „sehr stark gebraucht“ fielen. Nur rund 10 % der Geräte zeigten starke bis sehr starke Abnutzungserscheinungen.

Reparaturmöglichkeit

Wichtig bezüglich der entstehenden Kosten ist die Frage, ob es sinnvoll ist, ein Gerät einer Reparatur zukommen zu lassen. Einer Reparatur können sowohl technische als auch wirtschaftliche Aspekte entgegenstehen. Im Rahmen der Untersuchung wurde hier keine Unterscheidung getroffen, da es für die Versicherungen unerheblich ist, ob es nun technisch nicht möglich ist das Gerät zu reparieren oder eine Neuanschaffung preiswerter ist. Das Ergebnis zeigt, dass es sich nur in 14,5 % der Fälle lohnte das Gerät reparieren zu lassen.

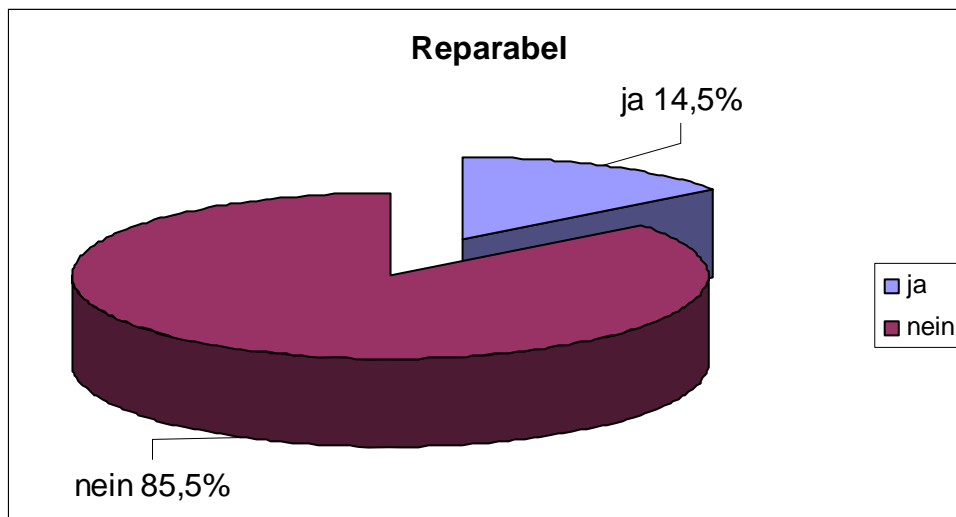


Bild 9.8: Reparaturmöglichkeit

Hierbei kommt es selbstverständlich auf das Einzelgerät an. Bei sehr teuren Geräten wird sich natürlich in mehr als 14,5 % der Fälle eine Reparatur lohnen, jedoch sind im hier untersuchten Bereich der Privathaushalte fast nur Geräte bis 1.000 EUR anzutreffen. Die im Rahmen der untersuchten 600 Fälle gefundene mittlere Schadenshöhe ergibt sich zu 428,50 EUR. Die große Masse der geschädigten IT-Geräte, die einzeln für sich nur relativ wenig kosten, ist einer der Hauptgründe dafür, dass eine Neuanschaffung oft günstiger als eine Reparatur ist, falls diese bei Modems, Netzwerkkarten, etc. überhaupt technisch möglich wäre.

Schmauchspuren, Ausschmelzungen

Der gezielte Blick auf und in das Gerät gibt oft Aufschluss darüber, was im konkreten Einzelfall für Komponenten geschädigt worden sind. Dabei sind die äußeren und inneren Schmauchspuren noch die am einfachsten zu findenden Indizien für einen höchstwahrscheinlich durch Blitzeinschlag bedingten Schaden.

Die untersuchten Fälle zeigten bei 92,1 % derartige Spuren im Inneren des Gerätes. Lediglich in 7,9 % der Fälle zeigten sich von außen sichtbare Schmauchspuren. Demnach ist eine bloße äußere Inaugenscheinnahme des Gerätes kein sicheres Kriterium für eine Entscheidung. Das Gerät muss geöffnet und die Einzelkomponenten genau untersucht werden. Dabei ist das Fehlen derartiger Spuren kein Beweis dafür, dass es sich nicht um einen blitzbedingten Schaden handelt. Sehr oft werden empfindliche Bauelemente wie integrierte Schaltkreise (IC) zerstört, ohne dass man dies optisch erkennen kann. Das Vorhandensein optischer Spuren allerdings bekräftigt in den meisten Fällen die Vermutung einer Schädigung aufgrund von Blitzeinwirkung. In 45,7 % der Fälle (274 Geräte) wurden derartige Spuren gefunden. Gemäß Bild 9.9 fand eine Zuordnung zu verschiedenen Bereichen eines Gerätes statt.

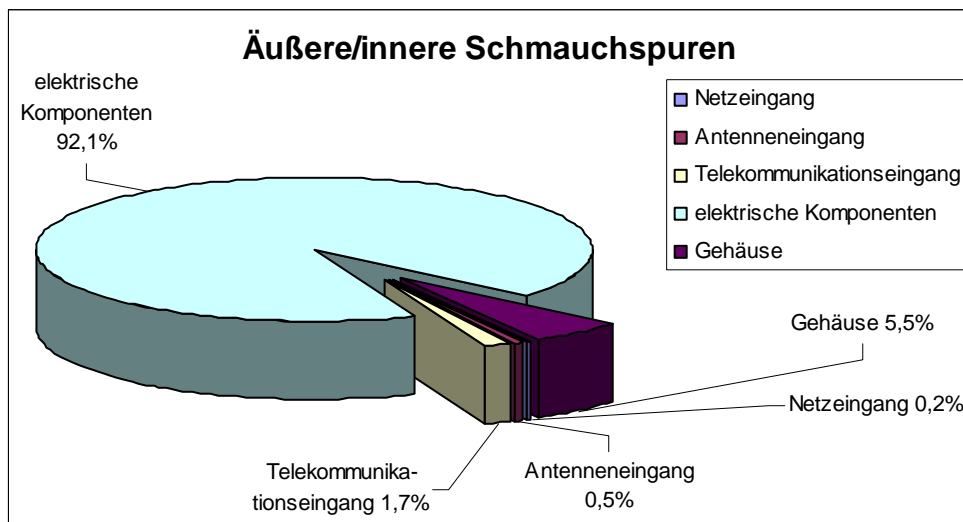


Bild 9.9: Lokalisierung der gefundenen äußeren und inneren Schmauchspuren

Während sich Schmauchspuren sehr häufig bei durch Blitzeinschlag geschädigten Geräten finden lassen, ist das Schmelzen von Leiterbahnen oder das perlenförmige Anschmelzen von Lötstellen eher die Ausnahme und tritt nur bei besonders nahen und für das Gerät energiereichen Belastungen durch Blitzeinschläge auf.

In den untersuchten Fällen trat lediglich in 6,8 % der Fälle eine Zerstörung von Leiterbahnen oder ein An- oder Ausschmelzen von Lötunkten auf.

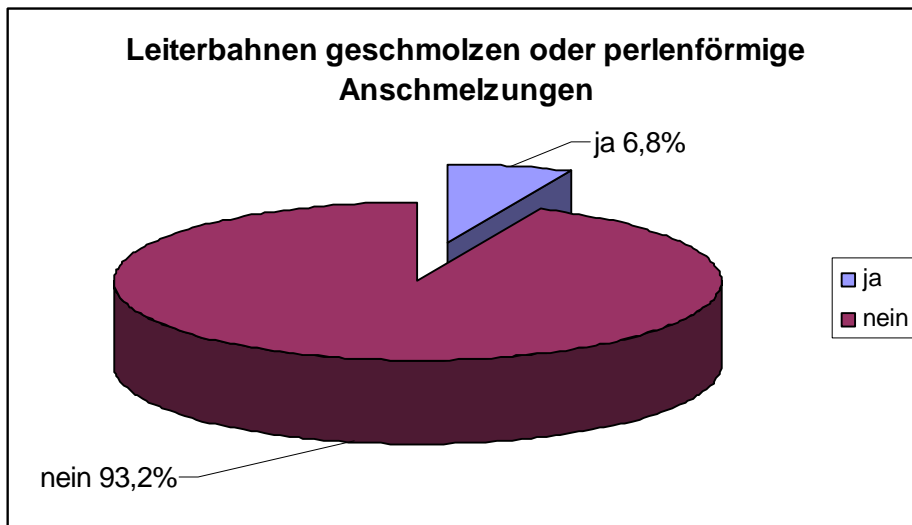


Bild 9.10: Anteile von zerstörten Leiterbahnen bzw. von perlenförmigen Anschmelzungen

Korrosion

Die Korrosion spielte bei den untersuchten Geräten quasi keine Rolle. Nur in einem einzigen Fall war aufgrund des Eindringens von Wasser Korrosion an den elektrischen Komponenten zu finden. Weiterhin gab es in nur drei der 600 Fälle eine Korrosion des Gehäuses oder anderer metallener nicht elektrischer Komponenten.

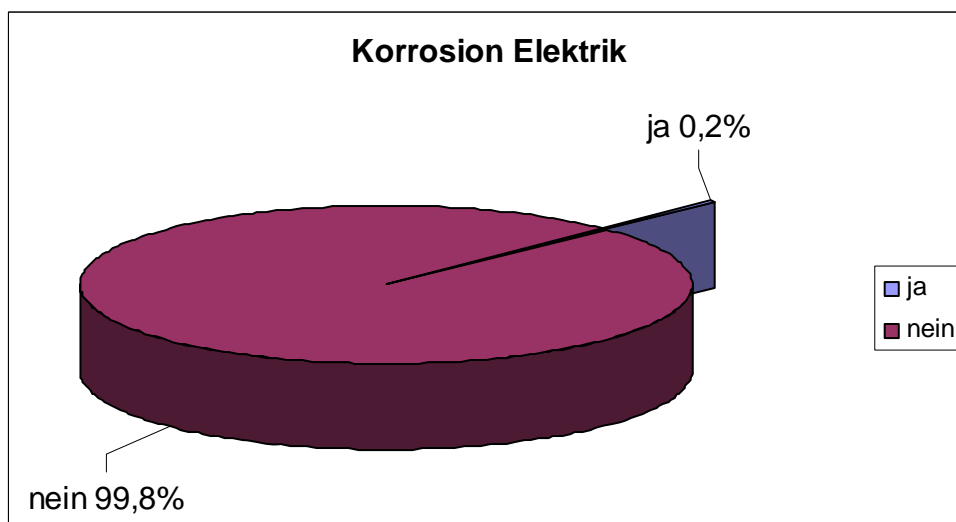


Bild 9.11: Anteil an korrodiertem Elektrik

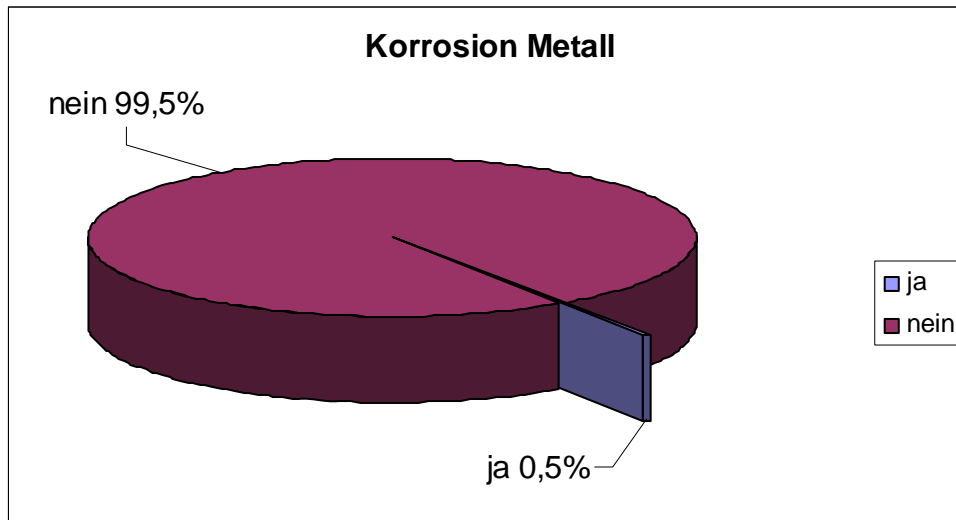


Bild 9.12: Anteil an korrodiertem Metall (nicht elektrische Komponenten)

Beschädigte Bauelemente

In 409 Fällen, bei denen ein Blitzeinschlag Ursache für einen Schaden gewesen ist, wurde untersucht, welche elektrischen Komponenten dabei geschädigt wurden. Dabei war es unerheblich, ob die Teile äußerlich sichtbar, also mechanisch zerstört waren, oder ob sie nur messtechnisch ihren Defekt gezeigt haben.

Dabei kam heraus, dass in 26,4 % der Fälle der Ausfall einer integrierten Schaltung (IC) alleine oder in Kombination mit anderen defekten Komponenten die Ursache für den Defekt gewesen ist. Weiterhin waren in vielen Fällen Widerstände und/oder Kondensatoren und/oder Sicherungen und/oder Spulen/Transformatoren nicht mehr funktionstüchtig. Die Varistoren waren entgegen der eingangs geäußerten Vermutung nur sehr selten in Mitleidenschaft gezogen worden.

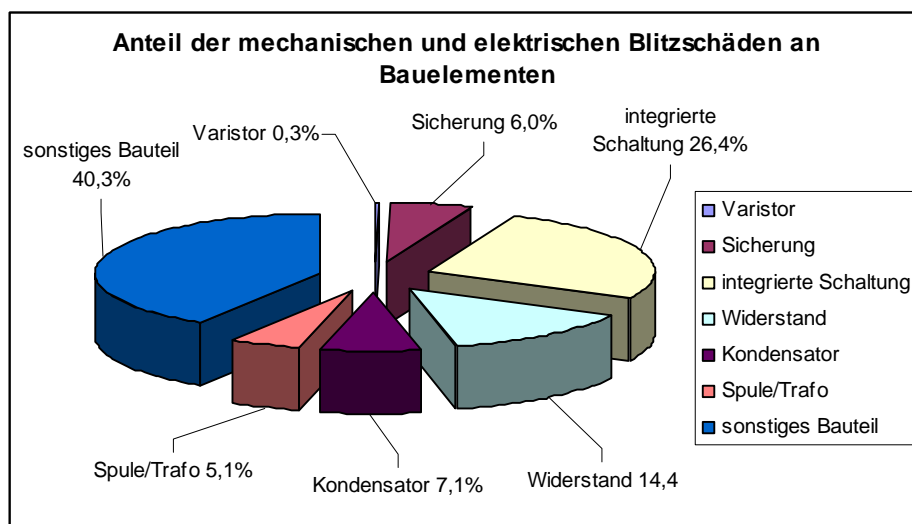


Bild 9.13: Anteile von geschädigten Bauteilen (409 Fälle)

Defekte Baugruppen

Hierbei wurden wieder die 409 Fälle von eben als Grundlage genommen. Bei der Frage der defekten Baugruppen kann man aufgrund der Komplexität der Geräte nur schwer gezielte Unterscheidungen treffen. Es wurde bei dieser Untersuchung lediglich in die drei meist geschädigten Baugruppen unterschieden. Dabei handelte es sich um das Netzteil, das in 41,3 % der Fälle einen Schaden hatte, das Netzwerkteil, unter dem alle Netzwerkkarten und Netz- bzw. Kommunikationstechnik beinhaltenden Baugruppen subsumiert wurden, mit 25,2 % aller geschädigten Baugruppen, und den Tuner in Fernsehgeräten oder Satellitenreceivern, der in 7,6 % der Fälle einen Schaden aufwies.

Fast drei von vier aufgenommenen Schäden, die von den Prüfern einem Blitzereignis zugeordnet worden waren, hatten ihre Ursache im Defekt einer der drei aufgeführten Baugruppen. Es sind somit die empfindlichsten Bereiche in Bezug auf Blitzeinwirkungen in elektrischen Geräten. Ein Schaden hierin ist demnach im Falle eines Blitzeinschlages höchstwahrscheinlich.

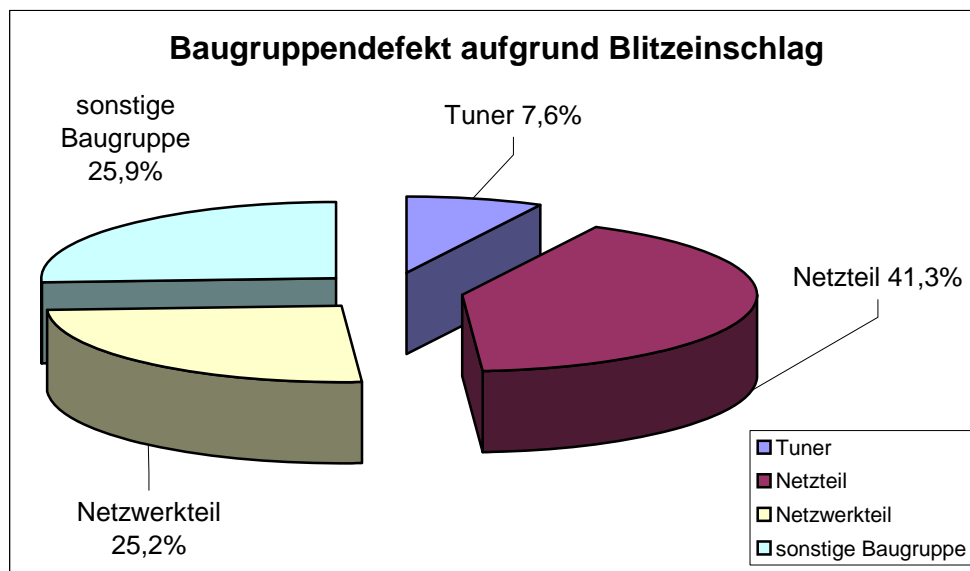


Bild 9.14: Anteile von geschädigten Baugruppen (409 Fälle)

10. Statistische Auswertung der Schadensfälle aus 2005

10.1 Überblick

In den ersten beiden Projektphasen der statistischen Auswertung der Schadensfälle wurde eine parametrische Modellierung der Verteilung der Schäden über die Distanzen zwischen Blitzeinschlag (BE) und Ort des Schadens durchgeführt. Als parametrischer Ansatz wurde die Klasse der Gamma-Verteilungen gewählt, da sich diese Verteilung aus physikalischen Überlegungen heraus als geeignet erwies.

Da die einzelnen Datenbestände aber durch Schadensmeldungen, die nicht ursächlich auf einen BE zurückgeführt werden können, verunreinigt waren, musste eine Bereinigung dieser Datenbestände durchgeführt werden. Hierbei wurde angenommen, dass sich die Rohdatenbestände jeweils aus einer Mischung zweier Gamma-Verteilungen und zweier weiterer Normalverteilungen zusammensetzen. Dabei dienen die beiden Normalverteilungen zur Modellierung des Beitrags der Verunreinigung während die beiden Gamma-Verteilungen als Modell für die tatsächlichen Schadensfälle angenommen wurden.

Insgesamt zeigte sich für die umfangreicheren Datenbestände eine akzeptable Anpassungsqualität der Daten an die Mischung aus diesen vier Verteilungen. Ein Vergleich der angepassten Modelle untereinander zeigte auch, dass keine nennenswerten Unterschiede zwischen den Modellparametern und den Mischungsanteilen vorhanden waren.

Pro Datenbestand wurde anschließend die berechnete Mischung aus diesen beiden isolierten Gamma-Verteilungen als Modell für die Verteilung der tatsächlichen Schäden über die Distanzen angenommen.

Die beiden statistisch gewonnenen Gamma-Verteilungen konnten elektromagnetisch sinnvoll interpretiert werden. Die erste Gamma-Verteilung, die auf den kurzen Entfernungen konzentriert ist, erklärt gut die Verteilung der durch Induktionswirkung bei nahem Blitzeinschlag verursachten Schäden. Die Verteilung der durch Blitzeinwirkung auf die Versorgungsleitungen verursachten Schäden kann durch die zweite Gamma-Verteilung interpretiert werden. Diese ist weiter gestreut als die erste und lässt auch Schäden in größerer Entfernung zu.

Im dritten Teil des Projekts wurden Abhängigkeiten dieses Modells hinsichtlich der Versicherten- und der Besiedlungsdichte betrachtet. Darüber hinaus wurde untersucht, ob und inwieweit sich einzelne Gerätetypen den Gamma-Verteilungen zuordnen lassen.

10.2 Erste Modellierung

10.2.1 Einführung

Ziel dieses ersten Abschnitts war die Aufbereitung des übermittelten Datenmaterials sowie eine erste Modellierung der Daten, getrennt nach VGs, hinsichtlich einer möglichen theoretischen Verteilung der Schadensfälle bzgl. der Entfernung zwischen dem verursachenden Blitz und dem Ort des aufgetretenen Schadens.

Bei den betrachteten Schäden des Jahres 2005 handelte es sich um solche Fälle, die den beteiligten Versicherungsgesellschaften (VG) von den Versicherungsnehmern (VN) als Überspannungsschäden (ÜS) aufgrund eines Blitzeinschlags (BE) gemeldet wurden.

Die Untersuchungen wurden getrennt nach den einzelnen VGs durchgeführt, von denen Schadensmeldungen für das Jahr 2005 jeweils in Form einer EXCEL Tabelle vorlagen.

Da es sich bei den durch die VGs übermittelten Schadensfälle um streng vertrauliche Daten handelt, wurden die Ergebnisse anonymisiert. Die Ergebnisse der Analysen wurden nicht mit dem Namen der zugehörigen VG versehen sondern mit A,B, usw. gekennzeichnet. Im direkten bilateralen Kontakt kann aber jeder einzelne Versicherer erfragen, welche Bezeichnung in diesem Bericht für seine VG gewählt wurde.

10.2.2 Beschreibung der Daten

Das Datenmaterial der 5 VGs wurde in Form von EXCEL-Dateien auf einer CD von der VdS Schadenverhütung GmbH Ende 2005 übergeben. Von einer weiteren VG wurden die zugehörigen Schadensfälle per Email zu einem späteren Zeitpunkt übersandt.

Detaillierte Informationen zur Entfernung zwischen dem verursachenden Blitz und dem Schadensort sind nur bei 5 Datenbeständen gegeben. Nur diese Datenbestände, die im Folgenden mit A, B, C, D und E bezeichnet werden, konnten daher analysiert werden.

Die einzelnen Datenbestände unterscheiden sich hinsichtlich der Anzahl der Datensätze. Jeder Bestand enthält ein Feld mit Namen Ergebnis, das die Entfernung zwischen dem möglicherweise verursachenden Blitzeinschlag und dem Schadensort auflistet. Diese Entfernungsangabe ist mit Fehlern behaftet und zwischen den Datenbeständen gibt es Unterschiede hinsichtlich der Genauigkeit der Messung dieser Entfernung. Die Entfernungsangabe ist jeweils in 100m-Schritten angegeben. Konnte kein Blitz im Umkreis von 15km dem Schadensort in einem entsprechenden Zeitraum zugeordnet werden, wurde im Ergebnisfeld die Zahl 500 eingetragen.

Tabelle 10.1: Prozentsatz mit Eintrag 500 im Ergebnisfeld pro VG

A	B	C	D	E
10,69%	14,28%	6,88%	10,83	20,04%

Es wurde von den einzelnen VGs nicht überprüft, ob die in den Datenbeständen gelisteten Schadensfälle auch tatsächlich durch einen Blitzeinschlag verursacht wurden. In der Tat zeigen die Schadensmeldungen mit dem Eintrag 500 im Ergebnisfeld, dass ein Teil der Schäden nicht durch einen Blitz verursacht wurde. Darüber hinaus besteht auch bei den Fällen, bei denen ein Blitzeinschlag zugeordnet werden konnte, keine absolute Sicherheit darüber, ob der Schaden tatsächlich auch durch einen Blitz verursacht wurde.

Bei den Datenbeständen handelt es sich also jeweils um eine Mischung aus Schadensfällen, die durch einen Blitz verursacht wurden und durch andere Fälle. Ein genauer Prozentsatz, der das Mischungsverhältnis zwischen den wirklichen und den vermeintlichen Überspannungsschäden angibt, liegt nicht vor.

Aus einer weiteren Datenquelle, die auf der BLUES - Sitzung am 06.02.2006 überreicht wurde, lässt sich aber zumindest eine grobe Schätzung für dieses Mischungsverhältnis gewinnen. Dort wurden 1903 Schadensfälle genau untersucht. Es stellte sich dabei heraus, dass nur 1562 dieser Fälle tatsächliche Überspannungsschäden waren. Mithin haben rund 18% der gemeldeten Schäden keinen Blitzeinschlag als Ursache. Leider enthält diese Datenquelle keine weiteren Angaben über die Entfernung zwischen Blitz und Schadensort, sodass aus diesem Datenbestand keine weiteren Rückschlüsse über die Verteilung der falschen Schadensmeldungen hinsichtlich der Entfernung zum vermeintlichen Blitzeinschlag gezogen werden können.

Vergleicht man den prozentualen Anteil der Fälle, bei denen kein Blitzeinschlag zugeordnet werden konnte (Eintrag 500 im Ergebnisfeld) mit diesen 18%, so sind diese Anteile, zumindest für die Datenbestände A, B, C und D, deutlich unter diesen 18% falscher Schadensmeldungen. Dies legt die Vermutung nahe, dass sich über die Fälle hinaus, bei denen kein Blitzeinschlag zugeordnet werden konnte, noch weitere Falschmeldungen in den einzelnen Datenbeständen befinden.

In den Analysen wurden alle Fälle zugrunde gelegt, bei denen ein konkreter Eintrag im Ergebnisfeld (also nicht 500) vorliegt. Zwischen 40 und 20000 Datensätze, je nach Datenbestand, ist damit die Datengrundlage auf der die entsprechenden Analysen beruhen.

Da die angegebenen Distanzen zu den einzelnen Schadensfällen in diskretisierter Form vorliegen, die angewandten Methoden häufig aber davon ausgehen, dass alle Daten (Distanzen) unterschiedlich sind, wurde auf jede Distanz noch ein zufälliger Fehler addiert. Die Größe dieses Fehlers wurde dabei so gewählt, dass sich durch anschließende Rundung (Diskretisierung) wieder die gleiche Ausgangsdistanz ergab.

10.2.3 Methodik

Die Datenbestände sind jeweils eine Mischung aus Fällen, denen tatsächlich ein Blitzeinschlag zugrunde liegt und solchen, die durch andere Faktoren verursacht wurden. Um über einen statistischen Anpassungstest die vorgenommene Modellannahme abzusichern, müsste zunächst ein Entmischen der Daten durchgeführt werden. Bevor diese Entmischung in Abschnitt 2 durchgeführt wird, wird zunächst auf

Basis theoretischer Überlegungen eine adäquate Verteilungsklasse zur Beschreibung der echten Blitzschäden identifiziert. Hierzu wurden die folgenden Annahmen gemacht:

- Die Wahrscheinlichkeit, dass es bei einem VN nach einem Blitzeinschlag zu einem ÜS kommt, fällt mit wachsendem Abstand zum BE.
- Blitze haben unterschiedliche Stärke, d.h. mit steigenden Blitzstromparametern nimmt bei gleichem Abstand zum BE die Wahrscheinlichkeit des ÜS beim VN zu.
- VN-Dichte ist homogen.

Die ersten beiden Annahmen sind gegenläufig zueinander. Diese Gegenläufigkeit kann mit der Gamma-Verteilung modelliert werden. Bezeichne hierzu x die Entfernung zwischen dem BE und dem Versicherungsort, dann wird durch

$$f(x; \alpha, \sigma) = \begin{cases} x^{\alpha-1} \exp(-x/\sigma) / (\sigma^\alpha \Gamma(\alpha)) & : x > 0 \\ 0 & : x \leq 0 \end{cases} \quad (\text{Gl. 10.1})$$

die Dichtefunktion der Gamma-Verteilung zu den Parametern $\alpha > 0$ und $\sigma > 0$ an der Stelle x beschrieben, mit

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} t^{\alpha-1} \exp(-t) dt .$$

Der erste Faktor $x^{\alpha-1}$ beschreibt die Veränderung der Anzahl der VN mit wachsender Entfernung zum BE. Der Parameter α modelliert dabei die Homogenitätsannahme der VN-Dichte zu dem jeweils betrachteten Datenbestand. Der zweite Faktor, $\exp(-x/\sigma)$, gibt die Abnahme der Blitzstärke mit wachsender Entfernung zum BE und auch die unterschiedlichen Blitzstärken wieder. Ist α größer als 1, dann steigt die zugehörige Dichte der Gamma-Verteilung zunächst an, erreicht ein Maximum und fällt anschließend exponentiell gegen 0. Bei einem Parameter $\alpha \leq 1$ fällt die Dichte exponentiell gegen 0.

Das Histogramm sowie eine nichtparametrische Schätzung der Dichte eines der Datenbestände ist in Abbildung 10.1 dargestellt. Deutlich erkennt man zunächst einen Anstieg bis zu einem Maximum und den folgenden starken Abfall gegen 0. Dieses Verhalten legt ebenfalls die Vermutung nahe, dass die Daten einer Gamma-Verteilung mit Parameter $\alpha > 1$ entstammen könnten.

Die Schätzung der Parameter α und σ wurden mit dem Maximum-Likelihood (ML) Ansatz durchgeführt, d.h. die geschätzten Werte für α und σ maximieren die Likelihood Funktion:

$$L_n(\alpha, \sigma) = \prod_{i=1}^n f(x_i; \alpha, \sigma) \quad (\text{Gl. 10.2})$$

wobei n die Anzahl der Daten des Datenbestandes und x_i die Entfernung zwischen BE und Schadensort des i -ten Datensatzes im betrachteten Datenbestand bezeichnen.

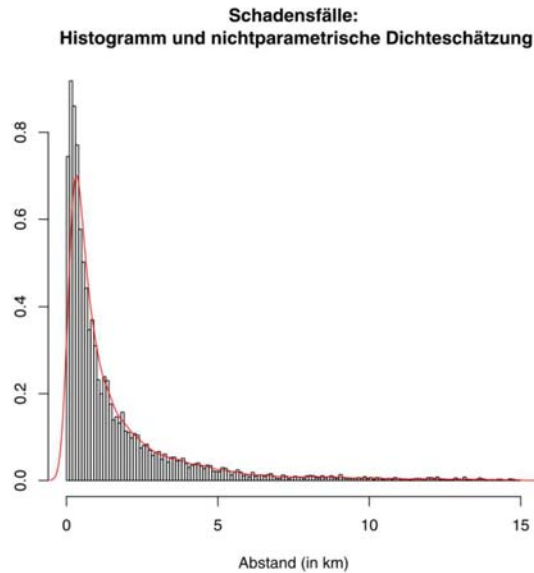


Abbildung 10.1: Verteilung der Schadensfälle eines Datenbestandes.

Die gesamte Untersuchung wurde mit dem frei erhältlichen Statistikpaket R, siehe www.r-project.org, durchgeführt.

10.2.4 Untersuchungsergebnisse

Die folgenden Abbildungen zeigen für jeden einzelnen Datenbestand die relativen Häufigkeiten und die mit dem ML-Ansatz geschätzte Gamma-Verteilung.

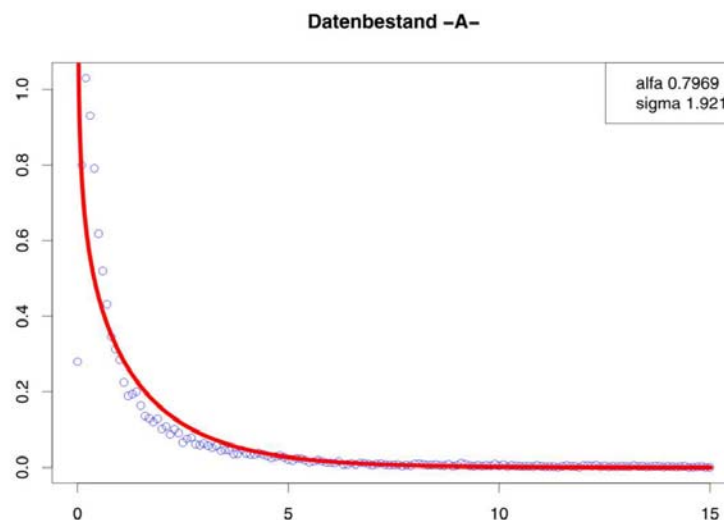


Abbildung 10.2: Relative Häufigkeiten und angepasste Gamma-Verteilung zum Datenbestand A.

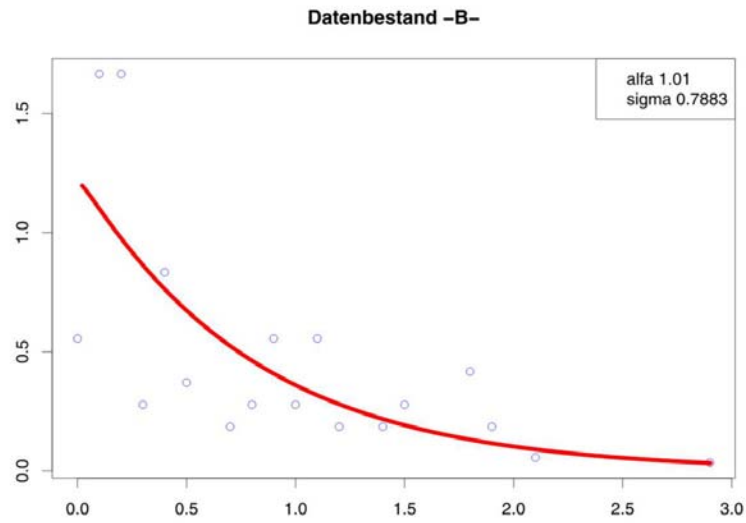


Abbildung 10.3: Relative Häufigkeiten und angepasste Gamma-Verteilung zum Datenbestand B.

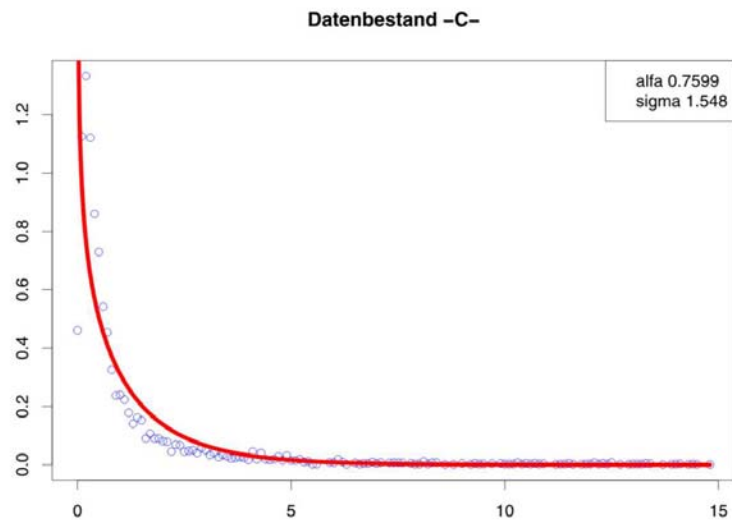


Abbildung 10.4: Relative Häufigkeiten und angepasste Gamma-Verteilung zum Datenbestand C.

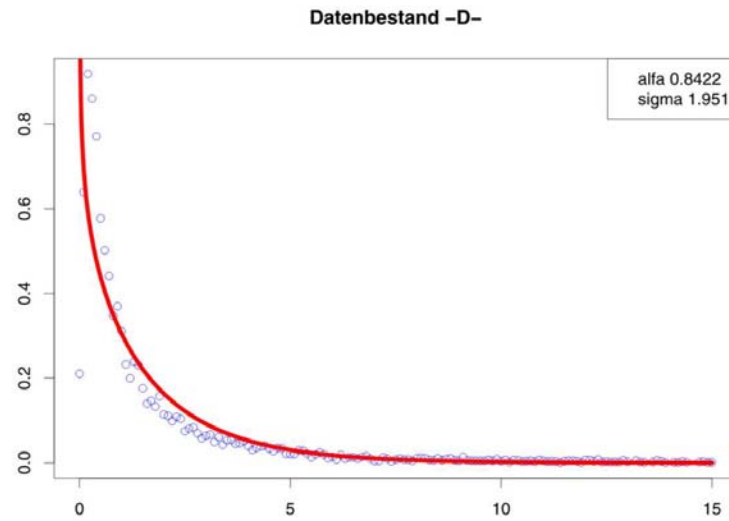


Abbildung 10.5: Relative Häufigkeiten und angepasste Gamma-Verteilung zum Datenbestand D.

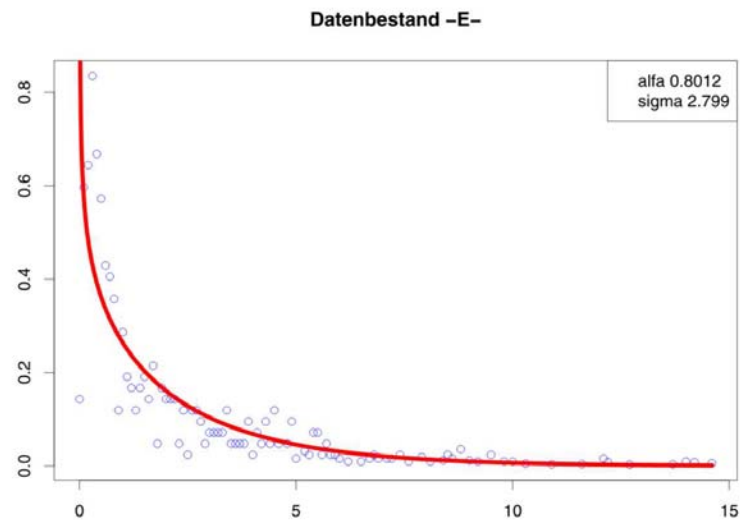


Abbildung 10.6: Relative Häufigkeiten und angepasste Gamma-Verteilung zum Datenbestand E.

Tabelle 10.2: Geschätzte Parameter der Gamma-Verteilung mit dem ML-Ansatz.

Parameter	Datenbestände				
	A	B	C	D	E
α	0,80	1,01	0,76	0,89	0,8
σ	1,99	0,79	1,55	1,95	2,8

Die Datenbestände A, C und D sind von ihrer Größe her vergleichbar und haben teilweise den 500-fachen Umfang der Datensätze B und E, die nur sehr wenig Datensätze enthalten. Zur Interpretation werden deshalb nur die Resultate der Datenbeständen A, C und D heran gezogen.

1. Die geschätzten Parameter α und σ sind bei allen drei Datenbeständen ähnlich groß.
2. Die relativen Häufigkeiten liegen bei jedem Datenbestand für die Distanzen 0,2km - 0,9km oberhalb und für die Distanzen 1,0km - 4,0km unterhalb der geschätzten Dichten. Dies zeigt eindeutig, dass die Daten insgesamt betrachtet nicht einer Gamma-Verteilung genügen.
3. Der geschätzte Parameter α ist bei allen drei Datenbeständen kleiner als 1. Dieses Ergebnis ist negativ zu bewerten, denn die Histogramme (vgl. Abb. 10.1) zeigen deutlich ein Maximum, das nur bei einem Parameter $\alpha > 1$ möglich ist.
4. Die relativen Häufigkeiten zu den Distanzen, die größer als 5km sind liegen jeweils oberhalb der geschätzten Dichte. Auch dieses Ergebnis zeigt, dass die Daten der Datenbestände A, C und D jeweils nicht Gamma-verteilt sind.
5. Hier nicht näher erläuterte Anpassungstests (Kolmogorov-Smirnov und χ^2) zeigen deutlich, dass keiner der betrachteten Datenbestände zu einer Gamma-Verteilung passt.

10.2.5 Zusammenfassung

Wie schon in der Datenbeschreibung angemerkt, kann man davon ausgehen, dass die Datenbestände nicht zu einer reinen Verteilung gehören sondern sich aus einem Gemisch von mehreren Verteilungen zusammensetzen.

Die durchgeführte Untersuchung hat gezeigt, dass eine Entmischung der Daten vorgenommen werden muss, bevor man eine qualitativ hochwertige statistische Aussage über die Verteilung der tatsächlichen Schäden über die Entfernung zum verursachenden BE machen kann.

Auf diese Entmischungsproblematik wird im nächsten Abschnitt detailliert eingegangen.

10.3 Entmischung

10.3.1 Einführung

Im ersten Abschnitt wurden reine Gamma-Verteilungen zur Modellierung der Verteilung der Distanzen zwischen Blitzeinschlag (BE) und Ort des Schadens an die Datenbestände angepasst. Die Gamma-Verteilung wurde gewählt, da sich diese Verteilung aus den physikalischen Gegebenheiten als geeignet erweist.

Die angepassten Gamma-Verteilungen pro Datenbestand zeigen Diskrepanzen zu den Histogrammen der Datenbestände auf, sodass insgesamt die Qualität der Anpassungen nicht überzeugend ist. Als Hauptursache für den Mangel dieser Anpassungsqualität wurde

die "Verunreinigung" der Datenbestände durch Schadensmeldungen, die nicht ursächlich auf einen BE zurückgeführt werden, angesehen. Selbst bei vorbereinigten Datenbeständen, d.h. Entfernung der Fälle mit dem Eintrag 500 im Ergebnisfeld, konnte von 8%-10% weiteren nicht auf BE zurückzuführenden Fälle in den Beständen ausgegangen werden. Da diese Fälle aber in den Datenbeständen nicht kenntlich gemacht sind, können sie auch nicht direkt entfernt werden.

Als Hauptziel der Untersuchungen für den zweiten Teil des Projekts wurde die Entmischung der Datenbestände betrachtet, um damit die Anpassungsqualität der Modelle zu erhöhen. Ferner wurden dabei nur noch die Datenbestände A, C und D betrachtet, da nur diese ausreichend viele Schadensfälle für die Modellierung enthalten.

10.3.2 Entmischung der Datenbestände

Um eine Entmischung durchführen zu können, muss man zunächst wissen, aus welchen unterschiedlichen Verteilungen die Datenbestände zusammengesetzt sind. Hierzu wurden folgende Annahmen gemacht:

- Es gibt zwei Netztypen (Einkopplungen), die zu unterschiedlichen Reichweiten bzw. Gefährdungen der zugehörigen Geräte bei einem BE führen.
- Es gibt Schadensfälle, die durch einen BE verursacht sein könnten, da der VN einen BE in der "Nähe" wahrgenommen hatte. Der Schaden wurde aber nicht durch einen BE verursacht.
- Es gibt Schadensmeldungen, bei denen der VN keinen BE wahrgenommen hat, aber der Schaden bei der Reparatur Anzeichen aufwies, die einen ÜS nahe legen. Auch hier war kein BE Ursache des Schadens.

Eine Schadensmeldung, die tatsächlich eine BE als Ursache hat, stammt dann aus einer der beiden Grundgesamtheiten, die den beiden Netztypen entsprechen. Hier bietet sich zur Modellierung jeweils eine Gamma-Verteilung

$$f(x; \alpha, \sigma) = \begin{cases} x^{\alpha-1} \exp(-x/\sigma) / (\sigma^\alpha \Gamma(\alpha)) & : x > 0 \\ 0 & : x \leq 0 \end{cases}, \quad \Gamma(\alpha) = \int_0^\infty t^{\alpha-1} \exp(-t) dt.$$

zu den unbekanntenen Parametern (α_1, σ_1) bzw. (α_2, σ_2) besitzen.

Für die Grundgesamtheiten die nicht auf einem BE beruhen, wird im Folgenden jeweils eine Normalverteilung

$$f(x; \alpha, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{(x-\alpha)^2}{2\sigma^2}\right)$$

zu den unbekanntenen Parametern (α_3, σ_3) bzw. (α_4, σ_4) angenommen.

Zusammengefasst bestehen die Datenbestände aus einer Mischung von vier Verteilungen mit den Dichten $f_i(x) = f(x; \alpha_i, \sigma_i)$, $1 \leq i \leq 4$, wobei f_1, f_2 Gamma-Verteilungen und f_3, f_4 Normalverteilungen sind.

Neben diesen vier Verteilungen bestimmen die unbekanntenen Mischungsanteile

$$\Psi = (\psi_1, \psi_2, \psi_3, \psi_4), \quad \psi_i = P(\text{Schadensfall ist vom Typ } f_i)$$

die Gesamtverteilung jedes einzelnen Datenbestands. Da es sich hierbei um Wahrscheinlichkeiten handelt gilt:

$$0 \leq \psi_i \leq 1, \quad 1 = \psi_1 + \psi_2 + \psi_3 + \psi_4$$

Unter diesen Voraussetzungen lässt sich die Mischverteilung eines Datenbestands durch die Dichte

$$f(x; \Psi, \Theta) = \sum_{k=1}^4 \psi_k f_k(x; \Theta_k), \quad \Theta = (\Theta_1, \Theta_2, \Theta_3, \Theta_4), \quad \Theta_k = (\alpha_k, \sigma_k), \quad 1 \leq k \leq 4$$

beschreiben.

Das Ziel ist nun, die Parameter Θ und die Mischungsanteile Ψ zu bestimmen.

Dazu wurde der Expectation-Maximisation Algorithmus (EM) von Dempster, Laird und Rubin (DLR), siehe auch McLachlan und Krishnan, angewandt.

Nach der Anpassung einer Mischverteilung an einen Datenbestand wurde jeweils ein X^2 -Anpassungstest durchgeführt. Hierzu wurden die Schadensfälle in die 15 Klassen

0.00km - 0.35km
0.35km - 0.75km
0.75km - 1.15km
.
.
.
5.15km - 5.55km
5.55km - ∞

nach den Entfernungsangaben aufgeteilt. Diese Häufigkeiten wurden mit denen verglichen, die gemäß der Anpassung zu erwarten waren.

Für jeden durchgeführten X^2 -Test wurde der zugehörige p-Wert ermittelt. Dieser Wert gibt die Wahrscheinlichkeit an, dass eine X^2 -verteilte Größe einen Wert annimmt, der oberhalb des beobachteten Wertes liegt; d.h. kleiner p-Wert (etwa 0.05 oder kleiner) bedeutet, dass es signifikante Unterschiede zwischen den Daten und dem angepassten Modell gibt.

10.3.3 Untersuchungsergebnisse

Die folgenden Abbildungen zeigen für die Datenbestand A, C und D die relativen Häufigkeiten und die mit dem EM-Ansatz geschätzten Verteilungen.

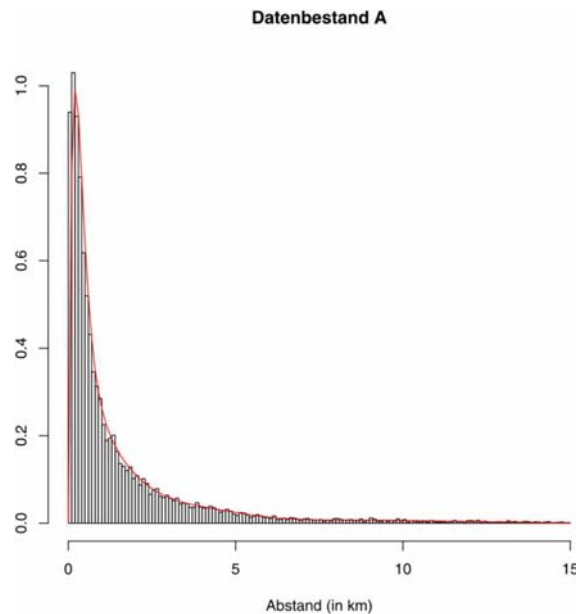


Abbildung 10.7: Relative Häufigkeiten und **angepasste Misch-Verteilung** zum Datenbestand A nach dem EM-Algorithmus.

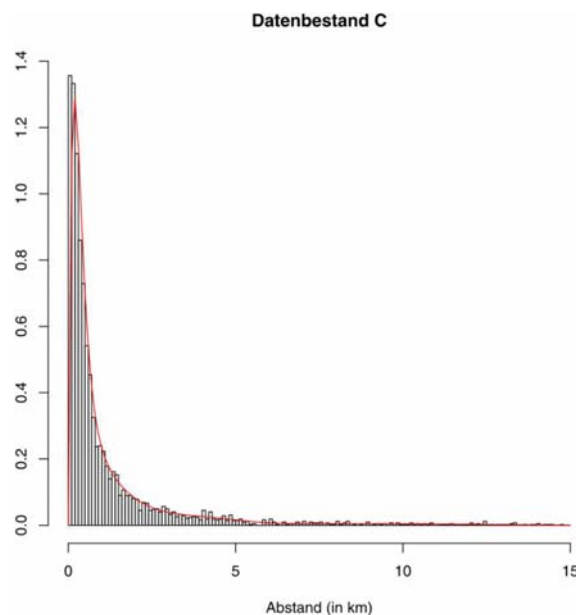


Abbildung 10.8: Relative Häufigkeiten und **angepasste Misch-Verteilung** zum Datenbestand C nach dem EM-Algorithmus.

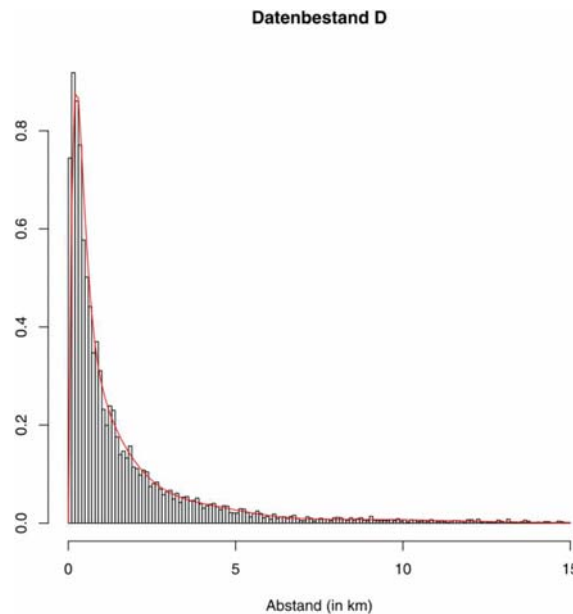


Abbildung 10.9: Relative Häufigkeiten und **angepasste Misch-Verteilung** zum Datenbestand D nach dem EM-Algorithmus.

Tabelle 10.3: Mischungsanteile in den Datenbeständen A, C und D

Datenbestand	Parameter			
	ψ_1	ψ_2	ψ_3	ψ_4
A	0.3161	0.5872	0.0449	0.0518
C	0.4002	0.5258	0.0348	0.0392
D	0.2501	0.6459	0.0486	0.0554

Tabelle 10.3 zeigt die Anteile, mit denen die einzelnen Verteilungen sich an der Mischung beteiligten. Summiert man jeweils die letzten beiden Anteile (die nicht durch einen BE verursacht wurden) pro Datenbestand auf, so erhält man die Werte: 9.67%, 7.4% und 10.4%.

Nach Abschnitt 10.1 kann man davon ausgehen, dass rund 18% der gemeldeten Schäden nicht durch einen BE verursacht wurden. In diesen 18% sind aber auch die Fälle enthalten, bei denen im Datenbestand im "Ergebnisfeld" der Eintrag 500 gemacht wurde. Um diese Fälle sind die hier analysierten Datenbestände aber schon bereinigt (vgl. Tabelle 10.1). Mithin enthalten die einzelnen hier analysierten Datenbestände jeweils ungefähr zwischen 7% und 12% an Schadensfällen, die nicht durch einen BE verursacht wurden. Dies passt aber ausgezeichnet zu den durch den EM-Algorithmus ermittelten Anteilen.

Tabelle 10.4: Geschätzte Parameter der vier an der jeweiligen Mischung beteiligten Verteilungen pro Datenbeständen A, C und D.

Datenbestand	Parameter der einzelnen Dichten							
	α_1	σ_1	α_2	σ_2	α_3	σ_3	α_4	σ_4
A	2.39	6.49	1.20	0.89	9.04	2.84	4.23	1.30
C	2.35	6.93	1.09	1.01	8.99	2.99	4.09	1.09
D	2.75	7.39	1.26	0.93	8.99	2.81	4.35	1.30

Vergleicht man die Parameter der einzelnen Verteilungen in Tabelle 10.4, so lassen sich kaum signifikante Unterschiede zwischen den Datenbeständen hinsichtlich der Parameter korrespondierender Dichten finden. Dies bekräftigt die Annahme der gemachten Mischverteilung.

Offensichtlich passen diese Modelle wesentlich besser zu den Datenbeständen als die reinen Gamma-Verteilungen. Dies zeigen auch die durchgeführten χ^2 -Anpassungstests.

Tabelle 10.5: p-Werte des χ^2_3 -Tests zu den angepassten Mischverteilungen

	Datenbestand		
	A	C	D
p-Werte	0.230	0.071	0.027

Die Anpassung der Mischverteilung an den Datenbestand A zeigt mit einem p-Wert von rund 23% eine ausgezeichnete Qualität. Auch beim Datenbestand C zeigt der p-Wert des χ^2 -Tests (rund 7%) noch keine signifikanten Abweichungen. Lediglich der p-Wert zum Datenbestand D zeigt mit 2.7% signifikante Abweichungen der Daten zum angepassten Modell. Beachtet man aber, dass der χ^2 -Test kein exakter sondern ein asymptotischer Test ist und darüber hinaus der Datenbestand D weniger als die Hälfte an Fällen im Vergleich zum Datenbestand A enthält, so sollte diese signifikante Abweichung zwischen Modell und Daten beim Datenbestand D nicht überbewertet werden.

10.3.4 Entmischte Modelle

Es wurde hier nur der Datenbestand A weiter betrachtet, da sich die anderen beiden Datenbestände (C und D) nur unwesentlich von diesem unterscheiden (vgl. Tabelle 10.4).

Nach der Anpassung können pro Datenbestand die beteiligten Verteilungen isoliert werden. Die folgende Abbildung zeigt die vier Verteilungen, die an der Modellierung des Datenbestands A beteiligt sind.

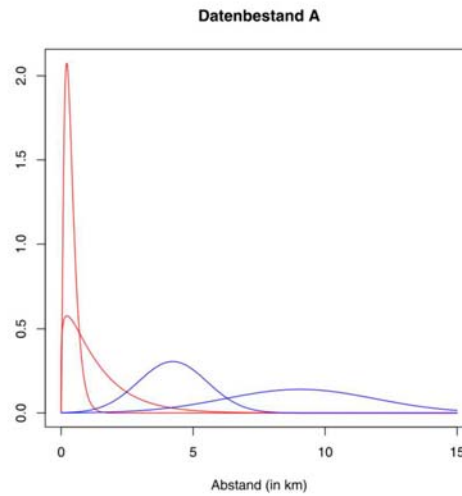


Abbildung 10.10: Ungewichtete Dichtefunktionen der isolierten Verteilungen (f_1 und f_2 sowie f_3 und f_4) zum Datenbestand A nach dem EM-Algorithmus.

Die ersten beiden Verteilungen (f_1 und f_2) modellieren dabei die Distanzen zu den tatsächlichen ÜS. In der folgenden Abbildung sind diese beiden Gamma-Verteilungen für den Datenbestand A visualisiert.

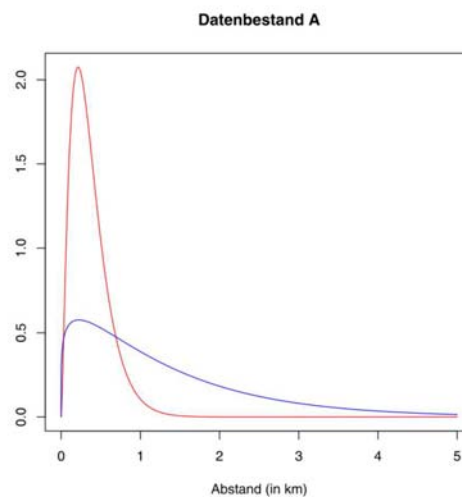


Abbildung 10.11: Ungewichtete Dichtefunktionen der angepassten Gamma-Verteilungen, f_1 und f_2 zum Datenbestand A nach dem EM-Algorithmus.

Eindeutig erkennt man hier zwei unterschiedliche Verläufe. Die erste Verteilung zeigt den (theoretischen) Verlauf von tatsächlichen Schadensfällen, die sich auf die kurze Distanz bis zu 1 km verteilen. Die zweite Gruppe von tatsächlichen Schadensfällen ist weiter gestreut und lässt eine größere Reichweite des BE zu.

Mischt man die beiden Gamma-Verteilungen gemäß dem im EM-Algorithmus errechneten Verhältnisse zu einer Verteilung zusammen, so ergibt sich für den

Datenbestand A der in Abbildung 10.12 dargestellte Verlauf. Dieser kann jetzt als ein Modell für die Verteilung der echten Schadensfälle über die Distanz zum BE herangezogen werden.

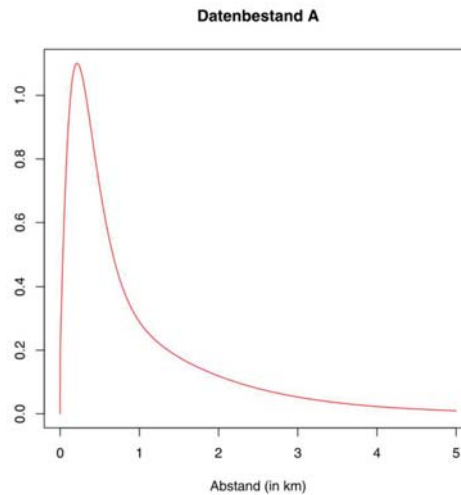


Abbildung 10.12: Gewichtete Dichtefunktionen der angepassten Gamma-Verteilungen zum Datenbestand A nach dem EM-Algorithmus.

In der folgenden Tabelle sind einige markante Punkte dieser Verteilung für den Datenbestand A aufgelistet.

Tabelle 10.5: Markante Punkte der Verteilung der tatsächlichen Schadensfälle des Datenbestands A.

Anteile (in %) mit Distanz zum BE größer als					
0.5km	1.0km	1.5km	2.0km	2.5km	3.0km
55.6	33.1	21.8	14.5	9.6	6.3

10.3.5 Zusammenfassung

Die wesentlichen Untersuchungsergebnisse dieses Abschnitts lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Datenbestände A, C und D konnten mittels des EM-Algorithmus von den Schadensfällen, die nicht durch einen BE verursacht wurden, bereinigt werden.
- Die angepassten Modelle geben die tatsächliche Verteilung der Schadensfälle über die Distanzen zum BE eindrucksvoll wieder.
- Die beiden isolierten Gamma-Verteilungen eignen sich aus statistischer Sicht ausgezeichnet als weitere Arbeitsgrundlage, aus der schließlich ein

handlungsfähiges Konzept für die VGs zur Beurteilung eingereicherter Schäden abgeleitet werden könnte.

Im nächsten Abschnitt wird das hier erhaltene Modell auf Abhängigkeiten hinsichtlich der Versicherten- bzw. Besiedlungsdichte untersucht bzw. die Frage diskutiert, ob und inwieweit sich einzelne Gerätetypen den Gamma-Verteilungen des Modells zuordnen lassen.

10.4 Abhängigkeiten des Modells von der Versicherten- bzw. Besiedlungsdichte

10.4.1 Einführung

In den ersten beiden Projektphasen der statistischen Untersuchung wurde eine parametrische Modellierung der Verteilung der Schäden über die Distanzen zwischen Blitzeinschlag (BE) und Ort des Schadens durchgeführt.

Im dritten Teil des Projekts wurden Abhängigkeiten dieses Modells hinsichtlich der Versichertendichte und der Besiedlungsdichte betrachtet. Darüber hinaus wurde untersucht, ob sich einzelne Gerätetypen den beiden Gamma-Verteilungen zuordnen lassen.

10.4.2 Beschreibung der Daten

Die oben beschriebenen Datenbestände von 5 VGs wurden hier zu einem großen Bestand mit insgesamt 35710 Fällen zusammengelegt.

Neben dem Datenmaterial zu den Schadensfällen der einzelnen VGs wurde vom GDV eine umfangreiche Liste von Hausratversicherungen pro Postleitzahl zur Verfügung gestellt. Diese Liste beruht auf den Daten des Jahres 2003 und enthält für 8255 Postleitzahlen die jeweilige Anzahl an zugeordneten Hausratversicherungen.

Zur Untersuchung von Modellabhängigkeiten hinsichtlich der Besiedlungsdichte wurde zunächst die Webseite der Post benutzt. Dort wurde die Rubrik "Online Service" für "Geschäftskunden" befragt, um zu einigen Postleitzahlen die zugehörigen "Haushaltszahlen" zu erhalten. Sie werden wie folgt klassifiziert:

- A = hohe Haushaltsanzahl
- B = mittlere Haushaltsanzahl
- C = geringe Haushaltsanzahl

Da die Ermittlung dieser Tarifgruppen für jede Postleitzahl einzeln, d.h. per Hand, durchgeführt werden musste, wurden hier auch nicht alle Postleitzahlen abgefragt. Insgesamt wurden 650 Abfragen durchgeführt. Diese ergaben 35 Postleitzahlen, die der

Tarifgruppe A zugeordnet werden. 650 Datensätzen aus dem globalen Datenbestand gehören zu diesen 35 Postleitzahlen. Diese Datensätze wurden zu einem Datenbestand zusammengefasst, der die Schadensfälle aus dicht besiedelten Gebieten definiert.

Des Weiteren standen uns die Daten der elektrotechnischen Falluntersuchungen zur Verfügung.

Tabelle 10.6: Datenbestand aus den elektrotechnischen Geräteuntersuchungen.

Bezeichnung	Type	Anzahl
GK 1	weiße Ware	52
GK 2	braune Ware	86
GK 4	IT-Geräte	144
GK 5	Steuerungen	68

Diese Daten beruhen auf den Schadensakten, die von Herrn Krichel analysiert wurden (Abschnitt 8). Es konnte bei dieser Aktenstudie nicht geklärt werden, ob es sich bei den jeweiligen Fällen um tatsächliche oder nur vermeintliche durch BE verursachte Schäden handelt, d.h. diese Datenbestände sind verunreinigt.

Zu einem späteren Zeitpunkt lieferte der GDV genauere Daten zur Besiedlungsdichte (MACON-Datei). Diese Datei enthält zu jeder Postleitzahl (PLZ) das zugehörige Gebiet in qkm und die Anzahl der Einwohner. Als Besiedlungsdichte (BD) wurde der Quotient Bewohner durch Gebiet definiert. Die folgende Abbildung zeigt ein Histogramm zu dieser BD.

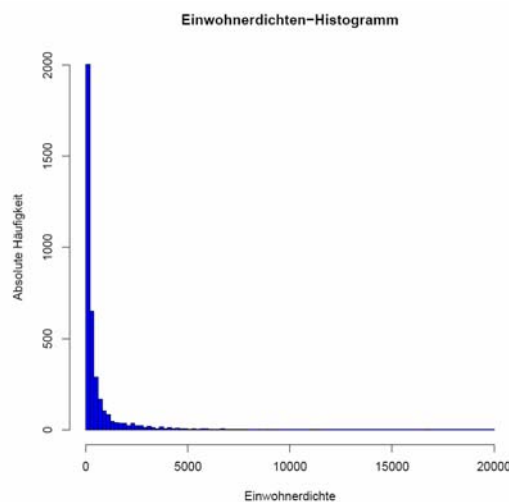


Abbildung 10.13: Absolute Häufigkeiten der PLZs nach Besiedlungsdichte.

Zwangsläufig haben wir hier wieder sehr viele PLZs, die zu sehr kleinen BDs gehören und sehr wenige PLZs mit sehr großen BDs.

Die drei Kategorien wurden nun wie folgt festgelegt:

- Stadt: BD größer oder gleich 1000 (2153 Schadensfälle)
- Vorstadt: BD zwischen 100 und 999 (16677 Schadensfälle)
- Dorf: BD kleiner als 100 (11561 Schadensfälle)

Eine Festlegung dieser Art ist immer kritisierbar, denn wo genau soll die Trennlinie zwischen Dorf und Vorstadt bzw. zwischen Vorstadt und Stadt gezogen werden? Hier sind sicherlich unterschiedliche Auffassungen möglich. Des Weiteren muss man auch davon ausgehen, dass es einen "Graubereich" an den Rändern der einzelnen Kategorien gibt. Solche Graubereiche führen dann natürlich bei der Analyse zu "Verschmierungen" der eigentlichen Konturen der Modelle, d.h. zu Angleichungen der vier Verteilungen und auch der Mischungsanteile. Natürlich ist dies nicht erwünscht.

Bei der Wahl der Trennlinien wurde die Verteilung der Schadensfälle über die BDs angeschaut und versucht, an geeigneter Stelle die Bereiche zu trennen. Dabei musste auch berücksichtigt werden, dass die einzelnen Kategorien noch ausreichend Datensätze enthalten, damit anschließend der EM-Algorithmus noch angewandt werden kann. In den folgenden Abbildungen sind die gewählten Bereiche mit ihrer Umgebung illustriert.

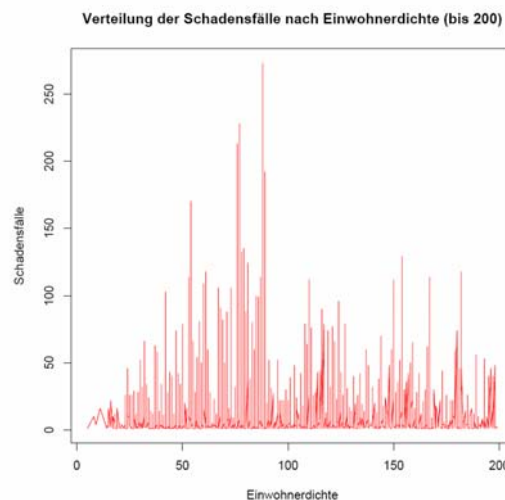


Abbildung 10.14: **Schadensfälle** nach Besiedlungsdichte im Bereich bis BD=200.

Abbildung 10.14 erweckt den Eindruck, dass sich die Verteilung der Schadensfälle vor BD=100 anders verhält als nach BD=100. Da hinreichend viele Schadensfälle mit $BD \leq 99$ vorhanden sind, haben wir hier zwischen Dorf und Vorstadt getrennt.

Etwas schwieriger gestaltet sich die Trennung zwischen Vorstadt und Stadt, die bei $BD=1000$ vorgenommen wurde. Die Abbildung 10.15 zeigt den Bereich der Verteilung der Schadensfälle von $BD=550$ bis $BD=1450$. Da es insgesamt sehr wenig Schadensfälle zu den großen BDs gibt (siehe Abbildung 10.16) galt es bei der Wahl dieser Trennlinie insbesondere eine hinreichend große Menge an Schadensfällen mit großen BDs sicherzustellen, da sonst die Anwendung des EM-Algorithmus fragwürdig

wird. Hier haben wir als Trennlinie $BD=1000$ gewählt, was auch durch die Abbildung 10.15 illustrativ unterstützt wird.

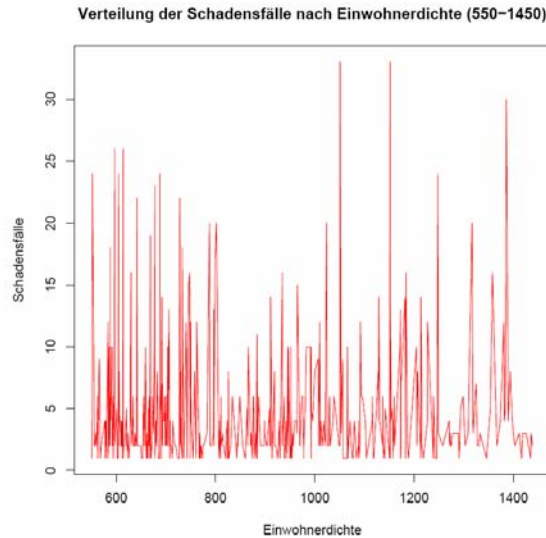


Abbildung 10.15: Schadensfälle nach Besiedlungsdichte im Bereich bis BD 550-1450.

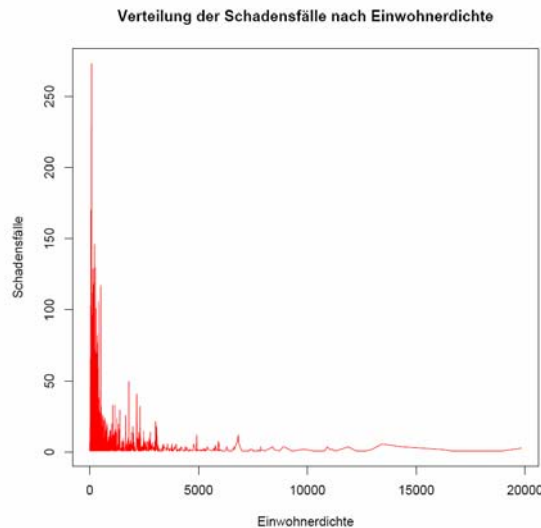


Abbildung 10.16: Schadensfälle nach Besiedlungsdichte.

10.4.3 Globales Modell

Zunächst wurde wie oben beschrieben eine Entmischung des globalen Datenbestandes durchgeführt. Das Ergebnis, eine Mischung zweier Gamma-Verteilungen und zweier Normalverteilungen, stellt dann ein parametrisches Modell für die verunreinigten Daten dar. Dieses Modell hat die Form:

$$f(x; \Psi, \Theta) = \sum_{k=1}^4 \psi_k f_k(x; \Theta_k).$$

Hierbei bezeichnen f_1 und f_2 die beiden Gamma-Dichten, f_3 und f_4 beiden Dichten der Normalverteilungen. Die Mischungsanteile sind durch die Parameter

$$\Psi = (\psi_1, \psi_2, \psi_3, \psi_4)$$

gegeben.

Entfernt man die beiden Normalverteilungen aus dieser Mischung und bestimmt die entsprechenden Anteile der beiden Gamma-Verteilungen neu, so ergibt sich ein Modell für die Verteilung der tatsächlichen Schadensfälle über die Distanzen:

$$f_{g,\text{mod}}(x) = \frac{\psi_1}{\psi_1 + \psi_2} f_1(x; \Theta_1) + \frac{\psi_2}{\psi_1 + \psi_2} f_2(x; \Theta_2)$$

10.4.4 Abhängigkeit des globalen Modells von der Versichertendichte

Der globale Datenbestand enthält pro Schadensfall auch die Postleitzahl des zugehörigen Ortes. Darüber hinaus stand uns die Datei mit den Hausratsversicherungen pro Postleitzahl zur Verfügung, sodass wir den globalen Datenbestand um diese Information erweitern konnten, d.h. jeder Datensatz wurde durch ein Feld erweitert, in dem die Anzahl der Hausratsversicherungen steht, die zur Postleitzahl des Datensatzes gehört.

Anschließend wurde der globale Datenbestand aufsteigend nach diesem Feld sortiert und in drei Teile zerlegt. Diese wurden dann folgendermaßen interpretiert:

- Schadensfälle aus dünn versicherten Gebieten: Die ersten 10246 Fälle des sortierten globalen Datenbestandes.
- Schadensfälle aus dicht versicherten Gebieten: Die letzten 10230 Fälle des sortierten globalen Datenbestandes.

Der mittlere Teil, der 15234 Fälle des globalen Datenbestandes umfasst, wurde nicht weiter betrachtet. Er diente im Wesentlichen zur Trennung zwischen den Daten aus dicht bzw. dünn versicherten Gebieten.

Die beiden so erhaltenen Datenbestände wurden, jeweils für sich, wieder mit dem EM-Algorithmus analysiert und die Ergebnisse anschließend miteinander verglichen. Ursprünglich sollte mit diesem Verfahren das globale Modell auf seine Abhängigkeit hinsichtlich der Besiedlungsdichte untersucht werden, da man eigentlich davon ausgehen kann, dass Postleitzahlen mit hoher bzw. niedriger Anzahl an Hausratsversicherungen auch zu dicht bzw. dünn besiedelten Gebieten gehören sollten. Sortiert man allerdings die Datei mit den Hausratsversicherungen pro Postleitzahl fallend nach der Anzahl der Versicherungen und ordnet anschließend (per Hand) einigen Postleitzahlen die zugehörigen Gebiete zu, so zeigt sich ein ganz anderes Bild,

d.h. hohe Anzahl an Hausratsversicherungen und hohe Besiedlungsdichte sind nicht miteinander vergleichbar. Daher konnten leider keine weiteren Rückschlüsse hinsichtlich einer Abhängigkeit des Modells von der Besiedlungsdichte aus diesen Daten abgeleitet werden.

10.4.5 Abhängigkeit des globalen Modells von der Besiedlungsdichte

Zur Untersuchung des globalen Modells auf eine Abhängigkeit hinsichtlich der Besiedlungsdichte wurde der zunächst der auf den Post-Daten basierende kleine Datenbestand von 650 Datensätzen, die zu den Schadensfällen aus Gebieten mit hoher Haushaltsanzahl gehören, mit dem EM-Algorithmus untersucht. Das Ergebnis wurde dann mit dem globalen Modell verglichen.

In einem zweiten Schritt wurden die Untersuchungen mit genaueren MACON Datensatz wiederholt.

10.4.6 Zuordnung der Geräteklassen zu den Gamma-Verteilungen

Die Anzahl an untersuchten Schäden pro Geräteklasse war bei weitem zu klein, um hier eine Anpassung mittels EM-Algorithmus durchführen zu können. D.h. eine Bereinigung der Daten war auf dieser Basis nicht möglich. Auf Grund der geringen Anzahl an Daten lieferten auch die zugehörigen Histogramme wenig Information über die zugrunde liegenden Verteilungen bzw. über die Mischungsverhältnisse dieser Verteilungen.

Um hier einen EM-Algorithmus sinnvoll durchzuführen, sollten die Datenbestände wesentlich mehr Fälle enthalten, was durch eine Aktenstudie der Schadensfälle aber zeitlich kaum noch machbar ist.

Wir haben uns für zwei unterschiedliche Untersuchungsmethoden entschieden, um die Verteilung der Schäden in Abhängigkeit der Geräteklassen zu analysieren.

Die erste Methode beruht auf einem parametrischen Ansatz. Dabei wird angenommen:

- Die Daten sind bereinigt.
- Die zugrunde liegende Verteilung ist eine Mischung der beiden Gamma-Verteilungen des Modells für die tatsächlichen Schadensfälle, d.h. eine Mischung aus $f_1(., \Theta_1)$ und $f_2(., \Theta_2)$, wobei Θ_1 bzw. Θ_2 exakt die Parameter sind, die zuvor für das allgemeine Modell bestimmt wurden.
- Die Geräteklasse beeinflusst nur das Mischungsverhältnis der beiden Gamma-Verteilungen.

Offensichtlich sind die Daten zu den einzelnen Geräteklassen nicht bereinigt, d.h. die erste Voraussetzung ist verletzt. Die zweite Voraussetzung muss auch nicht erfüllt sein, denn es kann durchaus eine Abhängigkeit der Parameter Θ_1 und Θ_2 von der Geräteklasse vorliegen.

Insgesamt haben wir unter diesen Voraussetzungen die folgende Verteilungsannahme, für jede Geräteklasse gesondert, gemacht:

$$f_{gk}(x; \gamma) = \gamma f_1(x) + (1 - \gamma) f_2(x).$$

γ gibt dabei den Anteil an, zu dem die erste Gamma-Verteilung an der Mischung beteiligt ist. $(1 - \gamma)$ bestimmt den Anteil der zweiten Gamma-Verteilung. Basierend auf diesen Annahmen, wurde jetzt durch einen bedingten Maximum-Likelihood Ansatz das optimale Mischungsverhältnis für jede Geräteklasse bestimmt.

Die so pro Geräteklasse geschätzten prozentualen Anteile der beteiligten Gamma-Verteilungen geben jetzt einen groben Anhaltspunkt zur Beurteilung, ob ausschließlich ein BE in die Versorgungsleitung zu Schäden bei dem betrachteten Gerätetyp führt oder ob beide Mechanismen zur Schädigungen beitragen.

Neben diesem parametrischen Ansatz wurden (nicht-parametrische) geglättete Dichteschätzungen (Nadaraya-Watson Typ) vorgenommen. Diese wurden anschließend grafisch miteinander verglichen und interpretiert.

10.4.7 Untersuchungsergebnisse

Bestimmung eines globalen Modells

Tabelle 10.7 zeigt die Anteile, mit denen sich die einzelnen Verteilungen an der Mischung beteiligten. Dabei sind die beiden letzten Zahlen die Anteile, die zu den Normalverteilungen gehören, d.h. also Anteile an Schadensfällen, die nicht durch einen BE verursacht wurden.

Tabelle 10.7: Mischungsanteile beim globalen Datenbestand.

Parameter			
ψ_1	ψ_2	ψ_3	ψ_4
0.3127	0.5985	0.0442	0.0446

Die folgende Abbildung zeigt für den globalen Datenbestand die relativen Häufigkeiten und die mit dem EM-Ansatz geschätzte Verteilung. Die Ergebnisse sind sehr ähnlich zu denen in Abschnitt 10.3.

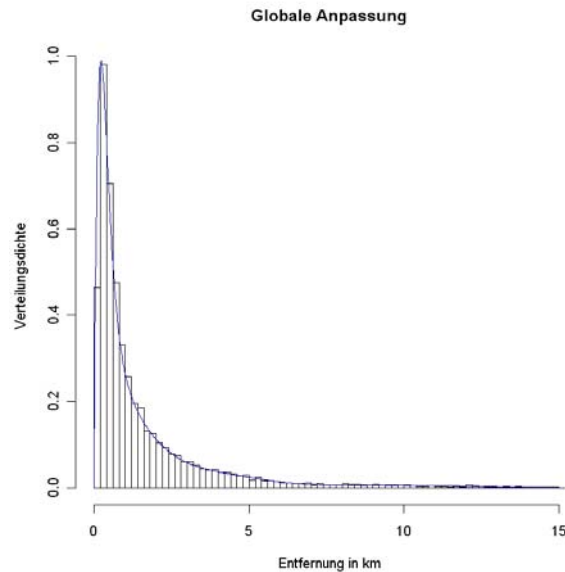


Abbildung 10.17: Relative Häufigkeiten und **angepasste Mischverteilung** zum globalen Datenbestand.

Tabelle 10.8: Geschätzte Parameter der vier an der Mischung beteiligten Verteilungen zum globalen Datenbestand.

Parameter der einzelnen Dichten							
α_1	$1/\sigma_1$	α_2	$1/\sigma_2$	α_3	σ_3	α_4	σ_4
2.44	6.56	1.17	0.86	9.08	2.83	4.34	1.24

Tabelle 10.8 zeigt die Parameter der einzelnen Verteilungen. Auch hier sind die Ergebnisse, wie erwartet, sehr ähnlich zu den entsprechenden Ergebnissen Abschnitt 10.3.

Das Modell für die Verteilung der tatsächlichen Schadensfälle hat nun die explizite Form:

$$f_{g,\text{mod}}(x) = 0.3432 \cdot f_1(x; (2.44, 1/6.56)) + 0.6568 \cdot f_2(x; (1.17, 1/0.86)).$$

In der folgenden Tabelle sind einige markante Punkte dieser Verteilung aufgelistet.

Tabelle 10.9: Markante Punkte der Verteilung $f_{g,\text{mod}}$ der tatsächlichen Schadensfälle.

Anteile (in %) mit Distanz zum BE größer als					
0.5km	1.0km	1.5km	2.0km	2.5km	3.0km
56.0	33.5	22.3	14.9	10.0	6.6

Abhängigkeit des globalen Modells von der Versichertendichte

Tabelle 10.10 zeigt die Anteile der einzelnen Verteilungen, die an der Mischung beteiligt sind. Es fällt auf, dass die beiden Normalverteilung nicht so stark gewichtet sind wie beim gesamten Datenbestand, siehe Tabelle 10.7.

Anders als im dünn versicherten Fall ist die zweite Normalverteilung im dicht versicherten Fall kaum noch in der Mischung vertreten. Allerdings ist dafür die zweite Gamma-Verteilung im dicht versicherten Fall stärker repräsentiert als im dünn versicherten Fall.

Tabelle 10.10: Mischungsanteile in den Datenbeständen der dicht bzw. dünn versicherten Gebiete.

Datenbestand	Parameter			
	ψ_1	ψ_2	ψ_3	ψ_4
dicht versichert	0.3409	0.6176	0.0339	0.0076
dünn versichert	0.3741	0.5585	0.0358	0.0316

Ein Vergleich der Parameter der ersten Gamma-Verteilung zwischen den beiden Modellen deutet auf eine stärkere Konzentration des dicht versicherten Datenbestandes im blitznahen Bereich hin.

Tabelle 10.11: Geschätzte Parameter der vier an der jeweiligen Mischung beteiligten Verteilungen jeweils für den Datenbestand der dicht bzw. dünn versicherten Gebiete.

Datenbestand	Parameter der einzelnen Dichten							
	α_1	$1/\sigma_1$	α_2	$1/\sigma_2$	α_3	σ_3	α_4	σ_4
dicht besiedelt	2.90	7.31	1.14	0.76	8.95	2.81	4.79	0.36
dünn besiedelt	2.28	6.29	1.07	0.76	9.83	2.58	4.57	1.40

In der folgenden Tabelle sind einige markante Punkte dieser beiden Verteilungsmodelle aufgelistet. Dabei definiert sich jedes Modell jeweils wieder nur aus der Mischung der beiden zugehörigen Gamma-Verteilungen (tatsächliche Schäden). Insgesamt zeigt sich, dass diese beiden Verteilungen die des globalen Modells einschließen. Lediglich im extremen Bereich, d.h. bei Distanzen größer als 3km, ist das nicht mehr der Fall.

Tabelle 10.12: Markante Punkte der nach Versichertendichte angepassten Verteilungen der tatsächlichen Schadensfälle.

Datenbestand	Anteile (in %) mit Distanz zum BE größer als					
	0.5km	1.0km	1.5km	2.0km	2.5km	3.0km
dicht besiedelt	57.7	35.0	24.3	17.0	11.9	8.3
dünn besiedelt	52.2	30.8	20.9	14.4	10.0	6.9

Insgesamt ist dieser Teil der Analyse wenig hilfreich und auch nicht aussagekräftig im Zusammenhang mit den elektrotechnischen Untersuchungen. Darüber hinaus lassen die Ergebnisse leider auch keine Rückschlüsse auf eine Abhängigkeit des globalen Modells von der Besiedlungsdichte zu, denn die Versichertendichte sagt nichts über die Besiedlungsdichte aus.

Abhängigkeit des globalen Modells von der Besiedlungsdichte, Post-Daten

Zunächst muss angemerkt werden, dass der globale Datenbestand auch die Fälle enthält, die im Datenbestand zu den dicht besiedelten Gebieten enthalten sind. D.h. man kann hier eigentlich nicht mit allzu starken Unterschieden rechnen wie beispielsweise bei einem Vergleich zweier Datenbestände die zu dünn bzw. dicht besiedelten Gebieten gehören. Ferner ist der Datenbestand zu den dicht besiedelten Gebieten relativ klein, um einen EM-Ansatz durchzuführen, d.h. die Ergebnisse müssen mit einem gewissen Vorbehalt bewertet werden.

Tabelle 10.13: Mischungsanteile in dem Datenbestand der dicht besiedelten Gebiete im Vergleich zum globalen Datenbestand.

Datenbestand	Parameter			
	ψ_1	ψ_2	ψ_3	ψ_4
dicht besiedelt	0.4177	0.4865	0.0565	0.0393
global	0.3127	0.5985	0.0442	0.0446

In der Tabelle 10.13 werden die Anteile der einzelnen vier Verteilungen bei der Anpassung an die Datenbestände durch den EM-Algorithmus aufgelistet. Die beiden Normalverteilungen, die ja jeweils die Verunreinigung im Datenbestand charakterisieren, sind zusammengenommen jeweils bei etwa 9%; also etwa identisch. In dem dicht besiedelten Datenbestand hat die erste Gamma-Verteilung (Induktion) einen höheren Anteil als die erste Gamma-Verteilung bei der Anpassung an den globalen Datenbestand. Dies ist sicherlich bemerkenswert und sollte nach Möglichkeit im Rahmen der elektrotechnischen Untersuchungen noch näher erklärt werden. Bei den dünn besiedelten Gebieten hat die zweite Gamma-Verteilung (bedingt durch die größere Reichweite der Wirkung des BE in die Versorgungsleitung) ein höheres Gewicht in der Mischung als im dicht besiedelten Bereichen.

Tabelle 10.14: Geschätzte Parameter der vier an der Mischung beteiligten Verteilungen für den Datenbestand der dicht besiedelten Gebiete, im Vergleich zur globalen Anpassung

Datenbestand	Parameter der einzelnen Dichten							
	α_1	$1/\sigma_1$	α_2	$1/\sigma_2$	α_3	σ_3	α_4	σ_4
dicht besiedelt	3.01	8.87	1.16	0.91	7.52	2.69	3.90	0.24
dünn besiedelt	2.44	6.56	1.17	0.86	9.08	2.83	4.34	1.24

Tabelle 10.14 zeigt die einzelnen geschätzten Parameter der beteiligten Verteilungen. Insbesondere der Vergleich der beiden Parameter $\frac{1}{\sigma_2}$, d.h. der zweiten Parameter in den beiden zweiten Gamma-Verteilungen, genauer 0.91 im Falle der dicht besiedelten Gebiete zu 0.86 im Fall der globalen Anpassung, ist hier von großem Interesse. Dieses Resultat deutet darauf hin, dass die zweite Gamma-Verteilung (BE in die Versorgungsleitung) im dicht besiedelten Gebieten eine kürzere Reichweite hat als beim globalen Modell, das ja auf allen Schäden beruht, auch auf denen aus dünn besiedelten Gebieten. Dies steht auch wieder im Einklang mit den Ergebnissen der elektrotechnischen Untersuchungen, bei denen von einer weiteren Reichweite der Auswirkungen eines BE in die Versorgungsleitungen in dünn besiedelten Gebieten ausgegangen wird.

In der folgenden Tabelle 10.15 sind einige markante Punkte der Mischung aus den beiden Gamma-Verteilungen zum dicht besiedelten Datenbestand im Vergleich zur Verteilung des globalen Modells aufgelistet (Modellierung der tatsächlich durch BE verursachten Schäden).

Tabelle 10.15: Markante Punkte der nach hoher Besiedlungsdichte angepassten Verteilung der tatsächlichen Schadensfälle (Mischung der beiden Gamma-Verteilungen) im Vergleich zum globalen Modell.

Datenbestand	Anteile (in %) mit Distanz zum BE größer als					
	0.5km	1.0km	1.5km	2.0km	2.5km	3.0km
dicht besiedelt	50.3	27.8	18.3	12.2	8.2	5.4
globaler	56.0	33.5	22.3	14.9	10.0	6.6

Auch diese Tabelle zeigt deutlich die kürzere Reichweite im dicht besiedelten Bereich im Vergleich zur globalen Verteilung.

Abhängigkeit des globalen Modells von der Besiedlungsdichte, MACON-Daten

In der folgenden Tabelle werden die Ergebnisse des EM-Algorithmus dargestellt.

Tabelle 10.16: Mischungsanteile in den einzelnen Datenbeständen im Vergleich zum globalen Datenbestand.

Datenbestand	Parameter			
	ψ_1	ψ_2	ψ_3	ψ_4
Dorf	0.3871	0.5862	0.0210	0.0059
Vorstadt	0.3478	0.5648	0.0473	0.0401
Stadt	0.4963	0.4051	0.0274	0.0712
global	0.3127	0.5985	0.0442	0.0446

In Übereinstimmung mit dem globalen Datenbestand entspricht die Summe der Mischungsanteile der beiden Normalverteilungen für die Kategorien "Vorstadt" und

”Stadt” jeweils etwa 9%. Anders verhält es sich bei der Kategorie ”Dorf”, hier ergibt diese Summe nur 2.6%.

Die Anteile der ersten beiden Gamma-Verteilungen in der Kategorie ”Dorf” sind vergleichbar mit den entsprechenden Anteilen in der Kategorie ”Vorstadt”. Beide weichen aber gravierend von den entsprechenden Anteilen der Kategorie ”Stadt” ab. Insbesondere zeigt die Kategorie ”Stadt” einen wesentlich höheren Anteil der ersten Gamma-Verteilung (Induktion) im Vergleich zu den anderen beiden Kategorien.

Tabelle 10.17: Geschätzte Parameter der vier an der Mischung beteiligten Verteilungen für die einzelnen Datenbestände im Vergleich zur globalen Anpassung

Datenbestand	Parameter der einzelnen Dichten							
	α_1	$1/\sigma_1$	α_2	$1/\sigma_2$	α_3	σ_3	α_4	σ_4
Dorf	2.17	4.64	1.17	0.62	10.17	2.58	4.32	0.26
Vorstadt	2.54	7.32	1.13	0.93	9.17	2.74	4.30	1.22
Stadt	2.07	6.57	1.23	1.02	9.25	1.94	4.08	1.33
global	2.44	6.56	1.17	0.86	9.08	2.83	4.34	1.24

Tabelle 10.17 zeigt die einzelnen geschätzten Parameter der beteiligten Verteilungen. Betrachtet man als erstes zu jeder Kategorie die beiden Normalverteilungen, so sind diese von den geschätzten Parametern her sehr ähnlich. Lediglich die Standardabweichung der zweiten Normalverteilung zum Datenbestand ”Dorf” ist mit $\sigma_4=0.26$ augenfällig kleiner als bei den anderen Datenbeständen. Da diese Verteilung im Wesentlichen mit der zweiten Gamma-Verteilung konkurriert, werden mehr Schadensfälle aus diesem Datenbestand durch den EM-Algorithmus der zweiten Gamma-Verteilung zugeordnet und nur ein kleiner Teil der zweiten Normalverteilung. An diesen kleinen Anteil lässt sich dann offensichtlich sehr gut (da die Varianz sehr klein ist) die zweite Normalverteilung anpassen. Diese Interpretation erklärt auch den schon angesprochenen insgesamt geringeren Anteil der beiden Normalverteilungen der Kategorie ”Dorf” im Vergleich zu den anderen beiden Kategorien.

Die geschätzten Parameter der beiden Gamma-Verteilungen sind ähnlich, wenn man die beiden Kategorien ”Vorstadt” und ”Stadt” miteinander vergleicht. Sie weichen aber gravierend von denen der Kategorie ”Dorf” ab. Insbesondere der Parameter $1/\sigma_2$ bedeutet eine wesentlich größere Reichweite der zweiten Gamma-Verteilung bei der Kategorie ”Dorf” im Vergleich zu den anderen beiden Kategorien. Dies steht im Einklang mit den elektrotechnischen Untersuchungen, wenn diese zweite Gamma-Verteilung die Schadensfälle beschreibt, die durch BE in die Versorgungsleitungen verursacht werden, da man bei dünn besiedelten Gebieten auch von längeren Versorgungsleitungen ausgehen kann.

In der folgenden Tabelle sind einige markante Punkte der Mischung aus den beiden Gamma-Verteilungen zu jedem Datenbestand im Vergleich zur Verteilung des globalen Modells aufgelistet (Modellierung der tatsächlich durch BE verursachten Schäden).

Tabelle 10.18: Markante Punkte der nach Kategorien angepassten Verteilungen der tatsächlichen Schadensfälle (Mischung der beiden Gamma-Verteilungen) im Vergleich zum globalen Modell.

Datenbestand	Anteile (in %) mit Distanz zum BE größer als					
	0.5km	1.0km	1.5km	2.0km	2.5km	3.0km
Dorf	63.04	39.84	28.65	21.39	16.04	12.01
Vorstadt	50.37	28.45	18.16	11.69	7.50	4.79
Stadt	50.06	28.77	18.04	11.32	7.06	4.38
global	56.00	33.50	22.27	14.93	9.98	6.64

Auch diese Tabelle zeigt deutlich die kürzere Reichweite beim Bestand "Dorf" im Vergleich zu den anderen beiden Kategorien. Des Weiteren sind die Ergebnisse zu den beiden Modellen der Kategorien "Vorstadt" und "Stadt" fast identisch. Ferner liegen die Ergebnisse des globalen Modells zwischen den jeweiligen Ergebnissen der Modelle der betrachteten Kategorien, was auch nicht anders zu erwarten war.

Zuordnung der Geräteklassen zu den Gamma-Verteilungen

In der Tabelle 10.19 sind die Anteile der beiden Gamma-Verteilungen des globalen Modells pro Geräteklasse gelistet. Auch wenn der gewählte Ansatz einige Mängel aufweist und die Anzahl der untersuchten Geräte für statistische Zwecke recht klein ist, zeigt diese Untersuchung noch sehr deutlich, dass die Fälle zu Geräte vom Typ 1, also weiße Ware, eindeutig durch die zweite Gamma-Verteilung beschrieben werden.

Die zweite Gamma-Verteilung, so wird vermutet, beschreibt die Verteilung der Schäden durch BE in die Versorgungsleitungen. Falls man daher von elektrotechnischer Seite davon ausgehen kann, dass weiße Ware fast ausschließlich auf diese Art durch einen BE geschädigt werden kann, dann würde dieses Ergebnis eine weitere Bestätigung für diese Modellierungsannahme (Vermutung) darstellen.

Tabelle 10.19: Geschätzte Anteile der beiden Gamma-Verteilungen zum Datenbestand aus den elektrotechnischen Geräteuntersuchung.

Bezeichnung	Type	Anzahl	Anteil in %	
			erste	zweite
GK 1	weiße Ware	52	0.04	99.96
GK 2	braune Ware	86	6.03	93.97
GK 4	IT-Geräte	144	6.84	93.16
GK 5	Steuerungen	68	11.46	88.54

Bei den Geräteklassen 2,4 und 5, so zeigt die Tabelle 10.19, sind wohl beide Gamma-Verteilungen an der Modellierung beteiligt.

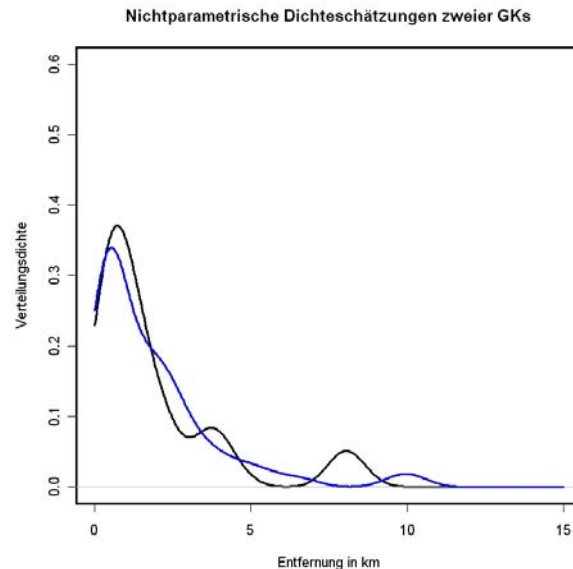


Abbildung 10.18: Nicht-parametrische Dichteschätzungen für GK1 und [GK5](#).

In Abbildung 10.18 werden die nicht-parametrisch geschätzten Dichten zu den Datenbeständen der Geräteklassen GK1 und GK5 dargestellt. Gemäß Tabelle 10.19 sind das diejenigen Geräteklassen, die sich hinsichtlich des Anteils der ersten Gamma-Verteilung am stärksten voneinander unterscheiden. Beide geschätzten Dichten weisen, jeweils rechts im Bild, lokale Maxima auf, die auf eine mögliche Verunreinigung der Daten hindeuten, denn diese kleinen Datenbestände konnten nicht mit dem EM-Algorithmus bereinigt werden. Ein Vergleich der beiden ersten Maxima zeigt eine leichte Verschiebung nach links des zu GK5 gehörenden Maximums gegenüber dem von GK1. Dies passt zu den geschätzten Anteilen der jeweils ersten Gamma-Verteilungen in beiden Geräteklassen (siehe Tabelle 10.19), da die erste Gamma-Verteilung bei der GK5, die ja ihr Maximum links vom Maximum der zweiten Gamma-Verteilung hat, anteilmäßig nur bei der GK5 vorkommt.

10.4.8 Zusammenfassung

Im Folgenden sind die wesentlichen Untersuchungsergebnisse dieses Abschnitts zusammengefasst dargestellt.

- Die Datenbestände aller VGs wurden zu einem globalen Datenbestand zusammengelegt. Dieser konnte mittels des EM-Algorithmus von den Schadensfällen, die nicht durch einen BE verursacht wurden, bereinigt werden.
- Das angepasste Modell gibt die tatsächliche Verteilung der Schadensfälle über die Distanzen zum BE eindrucksvoll wieder.

- Die Mischung aus den beiden isolierten Gamma-Verteilungen zum globalen Datenbestand bietet ein gutes Modell für die Verteilung der durch BE verursachten Schäden.
- Die erste Gamma-Verteilung scheint die durch Induktion verursachten Schäden zu modellieren.
- Die zweite Gamma-Verteilung scheint ein gutes Modell für die durch BE in die Versorgungsleitung verursachten Schäden darzustellen.
- Es scheint ein Unterschied bzgl. der Auswirkungen eines BE zwischen dünn und dicht besiedelten Gebieten zu geben. In dünn besiedelten Gebieten scheint ein BE in die Versorgungsleitung eine weitere Reichweite zu besitzen als in dicht besiedelten Gebieten.
- Der globale Datenbestand wurde nach Besiedlungsdichte, die der MACON Datei entnommen war, in die Datenbestände "Dorf", "Vorstadt" und "Stadt" zerlegt. Diese Zerlegung ist sicherlich anfechtbar doch unter dem vorhandenen Datenmaterial als sinnvoll zu erachten.
- Die angepassten Modelle an die einzelnen kategorisierten Datenbestände passen sehr gut zu den elektrotechnischen und den bisher erzielten Ergebnissen.
- Die Ergebnisse zeigen, dass die geschätzten Modellverteilungen bei den Kategorien "Stadt" und "Vorstadt" keine nennenswerten Unterschiede aufweisen. Man sollte hier also keine Unterscheidung machen.
- Die Ergebnisse zur Kategorie "Dorf" sind stark verschieden zu denen der anderen beiden Kategorien. Die Verteilung zum angepassten Modell der beiden Gamma-Verteilungen zeigt bei der Kategorie "Dorf" eine gravierend größere Reichweite als bei den anderen beiden Kategorien.
- Insgesamt legt diese Untersuchung eine Unterteilung hinsichtlich "dörflich" und "städtisch" nahe, wobei jetzt unter "städtisch" die Daten aus den Kategorien "Vorstadt" und "Stadt" zusammengelegt zu betrachten sind.
- Geräte der Klasse GK1, d.h. weiße Ware, scheinen nur durch BE in die Versorgungsleitung geschädigt zu werden. Bei anderen Geräteklassen spielt auch die Induktionswirkung des BE eine Rolle.
- Eine Modellierung der Schadensverteilung unter Einbeziehung der Versichertendichte brachte für dieses Forschungsprojekt keine sinnvollen Ergebnisse.

10.5 Verwendete Abkürzungen

BE Blitzeinschlag

EM Expectation Maximisation (statistisches Verfahren)

ÜS Überspannungsschaden

VG Versicherungsgesellschaft

VN Versicherungsnehmer

11. Statistische Auswertung der Schadensfälle aus 2006

11.1 Einleitung

In diesem Teil der Untersuchung wird das auf der Basis der Schadensfälle in 2005 (Abschnitt 10) entwickelte globale Verteilungsmodell anhand der Schadensfälle aus 2006 überprüft.

Die Verteilung der Entfernung zwischen Blitzeinschlag (BE) und Schadensort, die an die Schadensfälle aus 2005 angepasst wurde, basiert auf einer Mischung von vier Verteilungen, genauer aus zwei Gamma- und zwei Normalverteilungen. Die beiden Gamma-Verteilungen dienen in diesem Modell zur Beschreibung der durch Induktionseinwirkung (konzentriert auf kurze Entfernung) bzw. durch Einschlag in die Versorgungsleitung (weiter gestreute Entfernungen) hervorgerufenen Schäden. Des Weiteren werden die beiden Normalverteilungen in diesem Modell benutzt, um diejenigen Fälle zu beschreiben, die nicht durch einen BE verursacht wurden.

Betrachtet man nun die beiden Gamma-Verteilungen mit ihren entsprechenden Mischungsanteilen, dann beschreibt ihre Mischung eine neue Verteilung, die als das globale Modell für die Verteilung der tatsächlichen Schäden über die Entfernung zum BE definiert wurde.

11.2 Beschreibung der Daten

Es wurden uns Schadensfälle aus 2006 von zwei Versicherungsgesellschaften (VG) zur Verfügung gestellt. Insgesamt umfasst dieser Datenbestand 40829 Schadensfälle. Von diesen enthalten 2431 (6%) eine 500 im Ergebnisfeld, d.h. diesen Schadensfällen konnte kein BE zugeordnet werden. Insgesamt umfasst damit der nutzbare Datenbestand 38398 Fälle, die als eine Einheit analysiert wurden. Vgl. hierzu auch Kapitel 2 des ersten Zwischenberichts Dikta [25].

Es sei hier angemerkt, dass sich der globale Datenbestand in 2005 aus den Schadensfällen dreier VGs zusammensetzt, während der globale Datenbestand in 2006 aus den Schadensfällen zweier VGs besteht. Dies ist eine Inhomogenität, die ggf. zu leicht unterschiedlichen Anpassungen führen kann.

11.3 Methodik

An den Datenbestand aus 2006 wurde wieder mittels des EM-Algorithmus ein Verteilungsmodell angepasst, das aus einer Mischung zweier Gamma-Verteilungen und zweier Normalverteilungen besteht. Aus den beiden isolierten Gamma-Verteilungen wurde, entsprechend zum Vorgehen beim Datenbestand aus 2005, ein globales Modell für das Jahr 2006 definiert.

Anschließend wurde diese Anpassung mit der aus 2005 verglichen. Dieser Vergleich geschah durch Gegenüberstellung der Modellparameter und anschließender tabellarischer Auflistung der beiden globalen Verteilungsmodelle für ausgewählte Entfernungen.

11.4 Untersuchungsergebnisse

Tabelle 11.1: Mischungsanteile der vier Verteilungen zu den beiden Datenbeständen.

Datenbestand	Parameter			
	ψ_1	ψ_2	ψ_3	ψ_4
2005	0.3127	0.5985	0.0442	0.0446
2006	0.3488	0.6159	0.0062	0.0291

In Tabelle 11.1 sind die Mischungsanteile zu den beiden Datenbeständen gelistet. Auffallend ist hier, dass die beiden Normalverteilungen zum Datenbestand 2006 geringer gewichtet werden als beim Datenbestand 2005. Darüber hinaus enthält der Datenbestand 2005 ungefähr 10% Schadensfälle, denen kein BE zugeordnet werden konnte (Eintrag 500), während dies beim Bestand 2006 in nur 6% der Schäden zutrifft. D.h. beim Datenbestand 2006 werden prozentual mehr Schadensfälle auf einen tatsächlichen BE zurückgeführt.

Da die entsprechenden globalen Modelle nur auf den Gamma-Verteilungen beruhen, erhalten diese jetzt die folgenden Anteile:

Tabelle 11.2: Mischungsanteile der beiden Gamma-Verteilungen im jeweiligen globalen Modell zu den beiden Datenbeständen.

Datenbestand	Anteile im globalen Modell aus	
	erster Gamma-Verteilung	zweiter Gamma-Verteilung
2005	0.3432	0.6568
2006	0.3616	0.6384

Tabelle 11.2 zeigt, dass es hinsichtlich der Anteile der jeweiligen Gamma-Verteilungen zwischen den globalen Modellen kaum einen Unterschied gibt.

Die einzelnen geschätzten Parameter der beteiligten Dichten zu den beiden Datenbeständen sind in der Tabelle 11.3 gelistet.

Im Wesentlichen treten hier Unterschiede bei den Parametern der Normalverteilungen auf. Da die beiden Normalverteilungen aber zur Modellierung der Fälle dienen, die nicht auf einen BE zurückzuführen sind, haben sie keinerlei Einfluss auf die entsprechenden globalen Modelle. Darüber hinaus wurde auch schon angemerkt, dass die beiden Datenbestände hinsichtlich ihrer Zusammensetzung (in 2005 sind 3 VGs und in 2006 sind 2 VGs beteiligt!) leicht inhomogen sind, was sich u. a. in den Parametern und auch in den Anteilen der Normalverteilungen widerspiegeln könnte.

Tabelle 11.3: Geschätzte Parameter der vier an der Mischung beteiligten Verteilungen zu den globalen Datenbeständen.

Datenbestand	Parameter der einzelnen Dichten							
	α_1	$1/\sigma_1$	α_2	$1/\sigma_2$	α_3	σ_3	α_4	σ_4
2005	2.44	6.56	1.17	0.86	9.08	2.83	4.34	1.24
2006	2.27	6.06	1.02	0.71	13.22	1.10	7.39	2.47

Vergleicht man die beiden Datenbestände hinsichtlich der geschätzten Parameter der beiden Gamma-Verteilungen, so lassen sich hier keine nennenswerten Unterschiede feststellen.

In der folgenden Abbildung 11.1 werden die geschätzten Dichten der beiden globalen Modelle visualisiert.

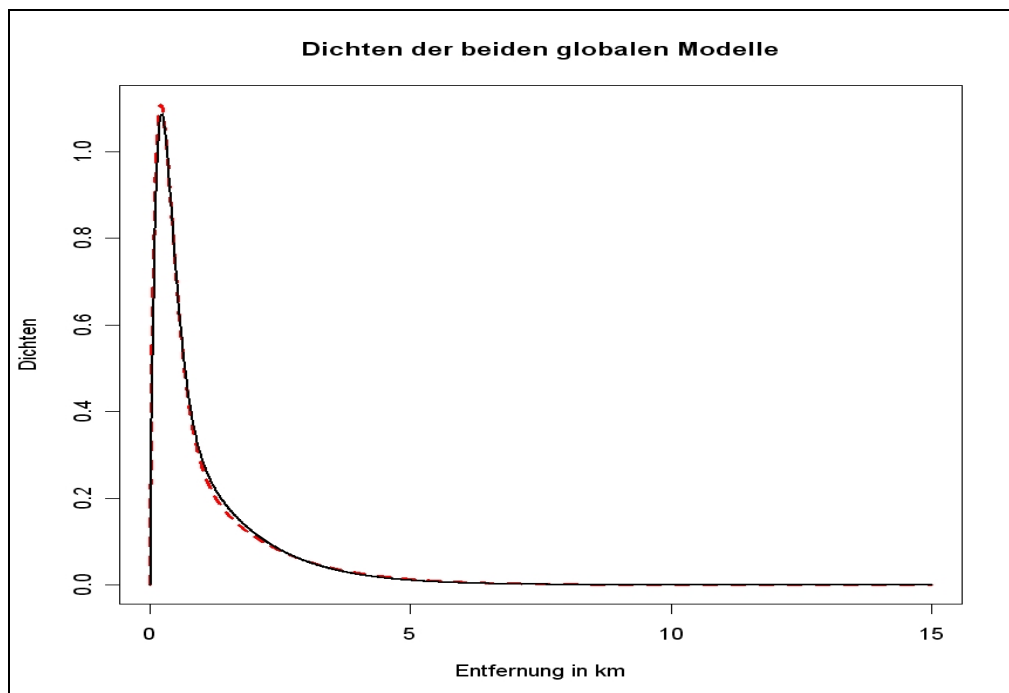


Abbildung 11.1: Dichten der globalen Modelle basierend auf dem Datenbestand 2005 bzw. auf dem Datenbestand 2006 (gestrichelt).

Es bestehen hier offensichtlich kaum Unterschiede zwischen diesen beiden Dichten, d.h. der Datenbestand aus 2006 führt fast zum gleichen globalen Modell wie der Datenbestand aus 2005! Dies wird insbesondere auch durch die exakten Werte beider Verteilungen im Bereich zwischen 0 und 4.9 km wiedergegeben, die in Tabelle 11.4 explizit aufgelistet sind.

Tabelle 11.4: Vergleich der Anteile (in %) mit Distanz zum BE größer als x km (im Bereich von x = 0km bis x = 4.9km) zwischen den beiden globalen Modellen.

	Datenbestand									
	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006
	0 km		1 km		2 km		3 km		4 km	
+0.0 km	100.00	100.00	33.50	32.62	14.93	14.51	6.64	6.45	2.92	2.84
+0.1 km	94.22	94.18	30.78	29.95	13.78	13.39	6.12	5.95	2.69	2.61
+0.2 km	84.15	83.88	28.35	27.57	12.71	12.36	5.64	5.48	2.47	2.41
+0.3 km	73.45	72.91	26.14	25.42	11.73	11.40	5.19	5.05	2.28	2.21
+0.4 km	63.91	63.16	24.12	23.45	10.82	10.52	4.79	4.65	2.10	2.04
+0.5 km	56.00	55.11	22.27	21.65	9.98	9.70	4.41	4.28	1.93	1.88
+0.6 km	49.61	48.65	20.56	19.99	9.20	8.94	4.06	3.95	1.78	1.73
+0.7 km	44.43	43.46	18.98	18.45	8.48	8.24	3.74	3.63	1.63	1.59
+0.8 km	40.18	39.22	17.53	17.04	7.82	7.60	3.44	3.35	1.50	1.46
+0.9 km	36.59	35.67	16.18	15.73	7.21	7.00	3.17	3.08	1.38	1.35

11.5 Zusammenfassung

Die Untersuchung mit dem EM-Algorithmus der Schadensmeldungen aus dem Jahr 2006 führt zu nahezu dem gleichen globalen Modell wie bei den Schadensmeldungen aus dem Jahr 2005. Dies ist bemerkenswert, da beide Datenbestände als nicht vollständig homogen angesehen werden können.

Es gibt lediglich Unterschiede hinsichtlich der angepassten Normalverteilungen. Diese gehen allerdings nicht in das globale Modell ein und dienen nur der Entmischung.

12. Mathematisches Modell zu den Schadensszenarien

12.1 Grundlagen

Zentrales Ziel des FuE-Projektes ist die Erarbeitung eines „mathematischen Modells“ zu den Schadensszenarien, womit die Wahrscheinlichkeit eines Blitz- bzw. Blitzüberspannungsschadens in Abhängigkeit von Einflussfaktoren, insbesondere von der Entfernung zwischen Schadensort und Blitzeinschlagsort, angegeben werden soll.

Dieses Modell beruht auf folgenden Bausteinen bzw. berücksichtigt die folgenden Gesichtspunkte:

- Ergebnisse der statistischen Auswertung von Schadensfällen 2005 [25, 26, 27], siehe auch Abschnitt 10;
- Grundüberlegungen und Grundannahmen zu elektromagnetischen Einkopplungsmechanismen [2, 4, 28], siehe auch Abschnitte 5 und 6;
- Normative Festlegungen aus der neuen Blitzschutz-Norm DIN EN 62305-2 (VDE 0185-305-2:2006): Blitzschutz – Teil 2: Risikomanagement [4], siehe auch Abschnitt 7.2;
- Ergebnisse von numerischen Simulationen der Schadenshäufigkeit [29], siehe auch Abschnitt 7;
- Räumliche Ortungsgenauigkeit bei der Blitzerfassung durch das Blitzortungssystem, siehe Abschnitt 4;
- Überprüfung mit anhand der statistischen Auswertung von Schadensfällen 2006 siehe Abschnitt 11.

12.2 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Aus den in 12.1 genannten Bausteinen lassen sich die folgenden Ergebnisse und Schlussfolgerungen ableiten:

1. Aus den statistischen Auswertungen lassen sich zwei unterschiedliche Verläufe von Schadensfällen unterscheiden, wenn die Schadensfälle, die mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht durch einen Blitzeinschlag ausgelöst wurden, ausgeblendet werden (Abschnitte 10 und 11):
 - **Verteilung 1**, bei der sich die Schadensfälle auf kurze Entfernung zwischen Blitzeinschlagsort und Schadensort verteilen;
 - **Verteilung 2** mit weiterer Streuung und signifikanten Anteilen bis zu ca. 3 km Entfernung zwischen Blitzeinschlagsort und Schadensort.
2. Die beiden Verteilungen lassen sich elektromagnetisch gut interpretieren [2, 4, 28, 29]:
 - Verteilung 1 gibt die Schäden durch Induktionswirkung bei **nahen Blitzeinschlägen** wieder
 - Verteilung 2 gibt die Schäden durch **Einwirkung auf die Versorgungsleitungen** wieder, die in die bauliche Anlage eingeführt werden.

3. Die untersuchten Schadensfälle werden sechs Geräteklassen zugeordnet:
 - Haushaltswaren („weiße Ware“);
 - Unterhaltungselektronik („braune Ware“);
 - IT-Geräte (Computer, Telekommunikation);
 - Industrieelektronik („graue Ware“);
 - Steuerungen (z.B. Heizungssteuerungen);
 - PV-Anlagen.

4. Diese Geräte können zwei Grundkategorien zugeordnet werden (Abschnitte 8 und 9):
 - **Kategorie A** mit externen Anschlüssen an nur **ein Versorgungsnetz** (Stromversorgung), üblicherweise Haushaltsgeräte und PV-Anlagen;
 - **Kategorie B** mit externen Anschlüssen an **mehr als ein Versorgungsnetz** (Stromversorgung und Antennenkabel/Telekommunikationskabel/etc.), üblicherweise Unterhaltungselektronik, IT-Geräte, Industrieelektronik und Steuerungen.

5. Wird für die Spannungsfestigkeit der Geräte ein Wert von ca. 1 kV angenommen (1,5 kV ist der niedrigste Wert im Rahmen der Isolationskoordination, berücksichtigt aber nicht die Datenanschlüsse; 0,5 kV dagegen erscheint zu niedrig), und geht man dafür von einer rel. großen Induktionsschleife von 50 m² aus, so treten signifikante induktive Einkopplungen durch **nahe Blitzeinschläge** bis zu einer Entfernung Blitzeinschlagsort zu Schadensort von **700 m** auf (Abschnitt 7.3). Dieser Wert ist in erster Näherung unabhängig von der Bebauungsdichte; jedoch kann bei dichter Bebauung von einer geringen Abschirmwirkung des Schadensortes zum Blitzstrom-Kanal durch zwischenliegende Gebäude ausgegangen werden, so dass in der Stadt bzw. der Vorstadt tendenziell noch etwas geringere Werte auftreten werden (angesetzt werden können hier wohl maximal **500 m**).

6. Unmittelbar um eine getroffene bauliche Anlage herum kann es wegen des durch den Blitzstrom entstehenden Spannungstrichters auch zu Schrittspannungen kommen (siehe auch Bild 6.1). Diese Schrittspannungen können grundsätzlich auch elektrische Geräte beeinflussen. Allerdings ist dieser Störeinfluss auf nur einige 10 m (Stadt/Vorstadt) bis maximal wenige 100 m (Dorf) um den Blitzeinschlagsort herum begrenzt, abhängig vom spezifischen Erdbodenwiderstand und insbesondere auch von den im Erdreich befindlichen Erdungsanlagen baulicher Anlagen. Diese Entfernungen sind stets geringer als die in Pos. 5 genannten Bereiche induktiver Einkopplungen durch nahe Blitzeinschläge, so dass der Störeinfluss Schrittspannungen mit den o.g. Werten 500 m – 700 m mit abgedeckt ist. Dies ist auch der Grund, warum dieser Störeinfluss in der Risikoabschätzung nach DIN EN 62305-2:2006-10 [4] nicht gesondert berücksichtigt wird.

7. Bei Einwirkungen über die Versorgungsleitungen kann dagegen grundsätzlich eine Spannungsfestigkeit von 1,5 kV angenommen werden, da es sich hier zum großen Teil um die Stromversorgung handelt. Abhängig von der Bebauungsdichte können dann die Entfernungen Blitzeinschlagsort zu Schadensort nach Tabelle 12.1

angesetzt werden, bis zu denen von signifikanten Einwirkungen ausgegangen werden kann (Abschnitt 7).

Tabelle 12.1: Entfernung zum Blitzeinschlagsort, bis zu der noch eine signifikante Wahrscheinlichkeit besteht, dass ein Schaden durch einen Blitzeinschlag und durch den Einkopplungsweg über eine eingeführte Versorgungsleitung verursacht wird.

Dichte Bebauung (Stadt)	Lockere Bebauung (Vorstadt)	Dorf	„Sonderfall“ ¹⁾
200 m	500 m	1000 m	2000 m

¹⁾ z.B. freistehende Gehöfte mit Entfernungen von einigen km bis zur nächsten Bebauung bzw. bis zu den Trafostationen und Abschlusskästen (vgl. Abschnitte 7.4 und 7.5).

8. Für die Geräte der Kategorie A nach Pos. 4 ist grundsätzlich nur der Einkopplungsweg über die Versorgungsleitungen relevant, für die Geräte der Kategorie B sind beide Einkopplungswege, d.h. sowohl Induktionswirkung bei nahen Blitzeinschlägen als auch über die Versorgungsleitungen, wirksam. Dieses Ergebnis wird durch die statistische Auswertung der Schadensfälle qualitativ gestützt (Abschnitte 10 und 11).
9. Geht man davon aus, dass zwischen den Parametern Bebauungsdichte und Bevölkerungsdichte ein enger Zusammenhang besteht, so ergibt auch die statistische Auswertung der Schadensfälle, dass in dünn besiedelten Gebieten (ländlich) ein Blitzeinschlag in eine eingeführte Versorgungsleitung eine größere Reichweite hat (Abschnitte 10 und 11). Insoweit wird die Aussage nach Pos. 7 qualitativ gestützt. Allerdings weisen auch in dicht besiedelten Gebieten (städtisch, vorstädtisch) ca. 10% der Schadensfälle noch Entfernungen zum Blitzeinschlagsort von größer als 2 km auf. Dies lässt sich möglicherweise durch zwei Effekte erklären:
 - durch die Ortungsgenauigkeit (räumlich und Wahrscheinlichkeit der Detektion) des Blitzortungssystems;
 - durch (wenige) Schadensfälle, die nicht durch Blitzeinschläge verursacht wurden, und die nicht in den beiden heraus gerechneten Normalverteilungen enthalten waren (d.h. die beiden Gamma-Verteilungen sind noch durch diese Fälle „verschmutzt“).
10. Der Anteil des Einkopplungswegs durch Induktionswirkung an allen Schadensfällen ist stets geringer als über die Versorgungsleitungen. Dies gilt sowohl für die Auswertungen des globalen Modells als auch für die einzelnen Geräteklassen bzw. -kategorien (Abschnitte 10 und 11). Im dicht besiedelten Bereich sind sowohl die Verteilung der Schäden durch Induktionswirkung als auch die Verteilung der Schäden über eingeführte Versorgungsleitungen „enger“, d.h. die Anzahl der Schäden für größere Entfernungen zum Blitzeinschlagsort ist geringer als bei dünner Besiedelung. Dies lässt sich elektrotechnisch gut erklären: Eine enge Bebauung führt zu einer tendenziell besseren „Abschirmung“ des Blitz-Magnetfeldes durch zwischen Blitzeinschlag und Schadensort befindliche Gebäude, wodurch die Induktionswirkungen mit wachsendem Abstand stärker

zurückgehen; gleichzeitig ist die wirksame Länge der Versorgungsleitungen bei enger Bebauung stark reduziert.

11. Im Falle einer dichteren Besiedelung ist der Anteil der Schäden durch Induktionswirkung tendenziell höher (Abschnitte 10 und 11). Dies ist ebenfalls elektrotechnisch gut zu begründen, da die Schäden über eingeführte Versorgungsleitungen zurückgehen (die wirksame Länge der Versorgungsleitungen ist stark reduziert).
12. Der Blitzeinschlagsort wird vom Blitzortungssystem mit einer begrenzten Ortungsgenauigkeit detektiert. Nach Abschnitt 4 beträgt der räumliche Fehler bei der Ortung für das bei den Untersuchungen verwendete Blitzortungssystem BLIDS jeweils weniger als 1000 m für ca. 90% der tatsächlichen Wolke-Erde-Blitze mit Blitzstromscheitelwerten ≥ 4 kA bzw. 95% mit Blitzstromscheitelwerten ≥ 10 kA. Im Folgenden wird deshalb ein Wert von **1000 m** zu den in Pos. 5 und 7 genannten Entfernungen addiert.
13. Damit ergibt sich für die Induktionswirkungen bei nahen Blitzeinschlägen eine maximale Entfernung von ca. 1500 m – 1700 m mit signifikanten Wahrscheinlichkeiten eines Zusammenhangs zwischen Blitzeinschlag und Schaden, für die Einwirkungen auf die Versorgungsleitungen von ca. 1200 m - 3000 m. Beides ist in sehr guter Übereinstimmung mit den statistischen Auswertungen der Schadensfälle 2005 (Abschnitt 10) und 2006 (Abschnitt 11).

12.3 Modell

Aus den Ergebnissen und Schlussfolgerungen gemäß Abschnitt 12.2 ergeben sich in Abhängigkeit von der Gerätekategorie, der Verteilung bzw. dem Einkopplungsweg und der Bebauungsdichte die folgenden maximalen Entfernungen zwischen Blitzeinschlagsort und Schadensort:

- Tabelle 12.2 noch ohne Berücksichtigung der Ortungsgenauigkeit des Blitzortungssystems BLIDS (siehe Pos. 12 unter Abschnitt 12.2);
- Tabelle 12.3 mit Berücksichtigung der Ortungsgenauigkeit des Blitzortungssystems BLIDS (siehe Pos. 12 und 13 unter Abschnitt 12.2).

Tabelle 12.2: Entfernungen (ohne Berücksichtigung einer Ortungsgenauigkeit eines Blitzortungssystems) zwischen Blitzeinschlagsort und Schadensort, bis zu der noch eine signifikante Wahrscheinlichkeit besteht, dass ein Schaden durch einen Blitzeinschlag verursacht wird.

Geräte-kategorie	Verteilung bzw. Einkopplung	Dichte Bebauung (Stadt)	Lockere Bebauung (Vorstadt)	Dorf	„Sonderfall“
Kategorie A	1 – Induktion	-	-	-	-
	2 – Vers.-leitung	200 m	500 m	1000 m	2000 m
Kategorie B	1 – Induktion	500 m	500 m	700 m	700 m
	2 – Vers.-leitung	200 m	500 m	1000 m	2000 m

Tabelle 12.3: Konsolidierte Entfernungen (mit Berücksichtigung der Ortungsgenauigkeit des Blitzortungssystems BLIDS) zwischen Blitzeinschlagsort und Schadensort, bis zu der noch eine signifikante Wahrscheinlichkeit besteht, dass ein Schaden durch einen Blitzeinschlag verursacht wird.

Geräte-kategorie	Verteilung bzw. Einkopplung	Dichte Bebauung (Stadt)	Lockere Bebauung (Vorstadt)	Dorf	„Sonderfall“
Kategorie A	1 – Induktion	-	-	-	-
	2 – Vers.-leitung	1200 m	1500 m	2000 m	3000 m
Kategorie B	1 – Induktion	1500 m	1500 m	1700 m	1700 m
	2 – Vers.-leitung	1200 m	1500 m	2000 m	3000 m

Wird letztendlich eine Unterscheidung in unterschiedliche Gerätekategorien aufgegeben und werden weiterhin die lokalen Klassifizierungen „Stadt“ und „Vorstadt“ zusammengelegt, ergeben sich die folgenden Entfernungen, bis zu dem der Zusammenhang zwischen Schaden und Blitzeinschlag als sehr wahrscheinlich bzw. wahrscheinlich bezeichnet werden kann:

Tabelle 12.4: Zusammengefasste und konsolidierte Entfernungen (mit Berücksichtigung der Ortungsgenauigkeit des Blitzortungssystems BLIDS) zwischen Blitzeinschlagsort und Schadensort, bis zu der noch eine signifikante Wahrscheinlichkeit besteht, dass ein Schaden durch einen Blitzeinschlag verursacht wird.

Dichte und lockere Bebauung (Stadt/Vorstadt)	Dorf	„Sonderfall“
1500 m	2000 m	3000 m

Diese Werte können zukünftig bei der Schadensbearbeitung herangezogen werden.

Bei größeren Entfernungen als in Tabelle 12.4 angegeben kann also davon ausgegangen werden, dass ein Blitzeinschlag als Ursache für einen Schaden unwahrscheinlich ist.

Es sei hier nochmals darauf hingewiesen, dass die in Tabelle 12.4 genannten Entfernungen zum Teil bzw. sogar zum großen Teil durch die Ortungsgenauigkeiten des Blitzortungssystems BLIDS beherrscht werden. Insofern sind auch keine exakteren Werte angebbbar, da die Detektionsrate des Blitzortungssystems ja gerade für stromschwächere Entladungen nur Werte von ca. 90% für Blitzstromscheitelwerte ≥ 4 kA bzw. 95% für Blitzstromscheitelwerte ≥ 10 kA beträgt.

Bei räumlich ausgedehnten baulichen Anlagen können elektrische Betriebsmittel an unterschiedlichen Stellen geerdet sein und es können insbesondere die externen Versorgungsleitungen an unterschiedlichen Stellen in die bauliche Anlage eingeführt werden. In solchen Fällen sind die in den Tabellen 12.2 – 12.4 genannten Werte zu interpretieren als die Entfernungen zwischen Blitzeinschlagsort und der dem Blitzeinschlagsort **nächstgelegenen** Ecke oder Stelle der baulichen Anlage (im Sinne einer worst-case Betrachtung). Dies gilt zwar überwiegend für industrielle und wirtschaftlich genutzte Anlagen, kann aber auch im Wohnbereich (Hausrat- und Wohngebäude-Versicherung) nicht ausgeschlossen werden.

Bei räumlich ausgedehnten baulichen Anlagen sind insbesondere auch elektrische und elektronische Systeme, deren einzelne Geräte und Einrichtungen große Entfernungen zueinander aufweisen, großen Überspannungsbelastungen ausgesetzt (z.B. Brandmeldeanlagen, Video- und Sicherheitstechnik, Gebäudesystemtechnik, etc.). Dafür sollte dann für die Schutzmaßnahmen der Geräte und Einrichtungen ein technisch/wirtschaftlich ausgewogenes, individuelles Blitz- und Überspannungskonzept nach DIN EN 62305-3:2006 [5] und DIN EN 62305-4:2006 [6] erarbeitet werden, ggf. als Ergebnis einer Risikoanalyse nach DIN EN 62305-2:2006 [4]. Es soll hierbei nicht unerwähnt bleiben, dass insbesondere die Planung und Ausführung der einzelnen Schutzmaßnahmen nach dem Blitz-Schutzzonen-Konzept [6] den Stand-der-Technik darstellt und bereits bei vielen solcher Anlagen erfolgreich umgesetzt wurde.

13. Hilfsmittel und Zusammenfassung

Wie bereits in Abschnitt 12 ausgeführt, werden die lokalen Klassifizierungen von Stadt und Vorstadt sinnvollerweise zusammengefasst und keine Unterscheidung zwischen der Gerätekategorie A und B getroffen. Damit ergibt sich für die Sachbearbeiter der Versicherungsunternehmen im Massengeschäft ein sehr einfacher und schnell durchzuführender Ablauf einer Schadensbearbeitung.

Dieser stellt sich wie folgt dar (siehe im Folgenden noch die Bemerkungen zu den einzelnen Positionen):

1. Abfrage des Blitzortungssystems, um herauszufinden in welchem Abstand zum Schadensort der nächstgelegene Blitz gewesen ist.
2. Lokale Klassifizierung des Schadensortes, entweder anhand der Postleitzahlendatenbank (MACON-Datenbank) oder der Auswertung eines Satellitenbildes (z.B. bei Google Earth).
3. Aufgrund der gefundenen lokalen Klassifizierung (Stadt/Vorstadt, Dorf und „Sonderfall“) wird der entsprechende Abstand gemäß Tabelle 13.1 genommen.
4. Zuschlag zum Abstand nach Tabelle 13.1 zur Berücksichtigung der Ortungsgenauigkeit des Blitzortungssystems.
5. Vergleich des berechneten Abstands nach Pos. 3 und 4 (aufgrund der lokalen Klassifizierung und nach Addition des Zuschlags) mit dem vom Blitzortungssystem gelieferten Abstand nach Pos. 1.:

Ist der berechnete Abstand größer als der vom Blitzortungssystem gelieferte, ist ein Zusammenhang zwischen Schaden und Blitzeinschlag plausibel (der geortete Blitzeinschlag liegt innerhalb des möglichen „Schadensradius“). Ist der berechnete Abstand größer, ist der Zusammenhang zwischen Schaden und Blitzeinschlag nicht plausibel.

Zu Pos. 1:

Unter Blitz wird hier im Regelfall nur der Wolke-Erde-Blitz verstanden, denn nur dieser Blitztyp führt mit hoher Wahrscheinlichkeit zu Schäden in baulichen Anlagen.

Die Blitzortungssysteme weisen jedoch eine gewisse Fehlerrate bei der Unterscheidung in Wolke-Erde- und Wolke-Wolke-Blitze auf (siehe Abschnitt 4: Selektivität zwischen Wolke-Erde-Blitzen und sonstigen Ereignissen). Wenn man diesen Effekt konservativ mit berücksichtigen will, kann man auch die detektierten Wolke-Wolke-Blitze mit heranziehen.

Anmerkung:

In vielen Fällen werden bei einem nächstgelegenen Blitz vom Typ Wolke-Wolke in der Umgebung weitere Blitze vom Typ Wolke-Erde detektiert, die sich ebenfalls innerhalb des maximal möglichen Abstands

(siehe Pos. 3 und 4) befinden. In diesen Fällen ist die Auswahl des nächstgelegenen Wolke-Erde-Blitzes wieder voll ausreichend und eine Berücksichtigung von Wolke-Wolke-Blitzen erübrigt sich.

Zu Pos. 2:

Die Kategorie Stadt/Vorstadt zeichnet sich durch eine durchgehende Bebauung mit üblicherweise mehrstöckigen Gebäuden und einer Bevölkerungsdichte größer 100 Personen/km² aus, während die Kategorie Dorf durch lockere und nicht flächige Bebauung bei einer Bevölkerungsdichte kleiner 100 Personen/km² gekennzeichnet ist. Der „Sonderfall“ ist ein Einzelgebäude, ohne Bebauung in der weiteren Umgebung.

Zwei Beispiele für das Gebiet „Stadt/Vorstadt“ sind in den folgenden Bildern 13.1 und 13.2 dargestellt. Hier sind typische Merkmale, wie z.B. üblicherweise mehrstöckige und dichte Bebauung, zu erkennen.

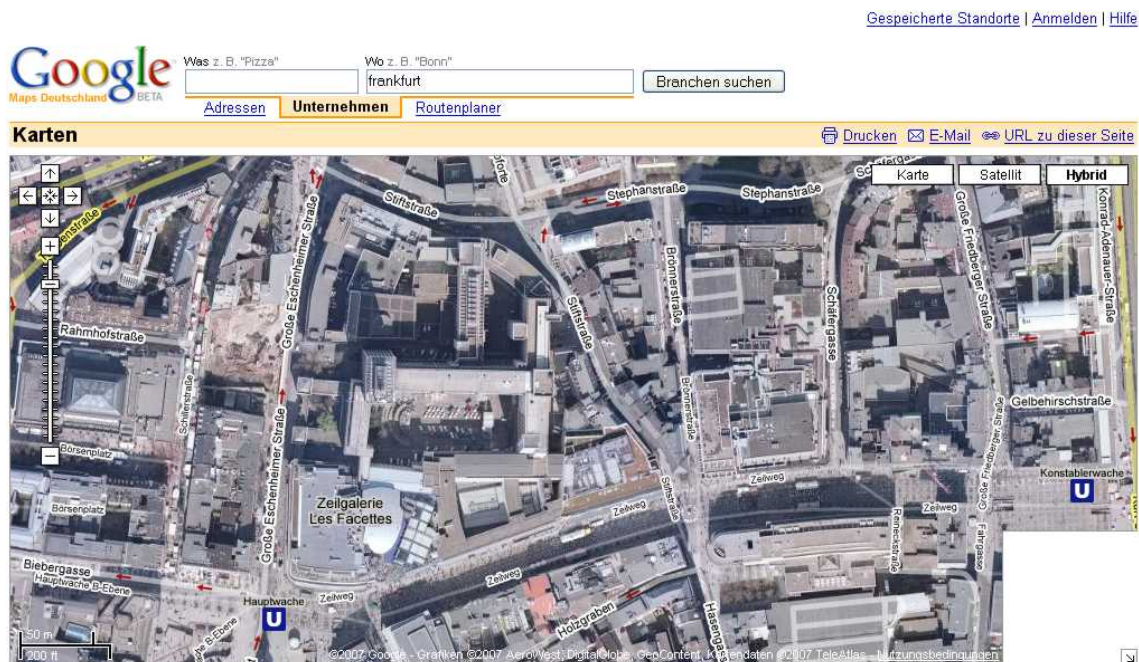


Bild 13.1: Satellitenbild der Frankfurter Innenstadt – Kategorie „Stadt“
(<http://www.google.de/maps>)

[Gespeicherte Standorte](#) | [Anmelden](#) | [Hilfe](#)

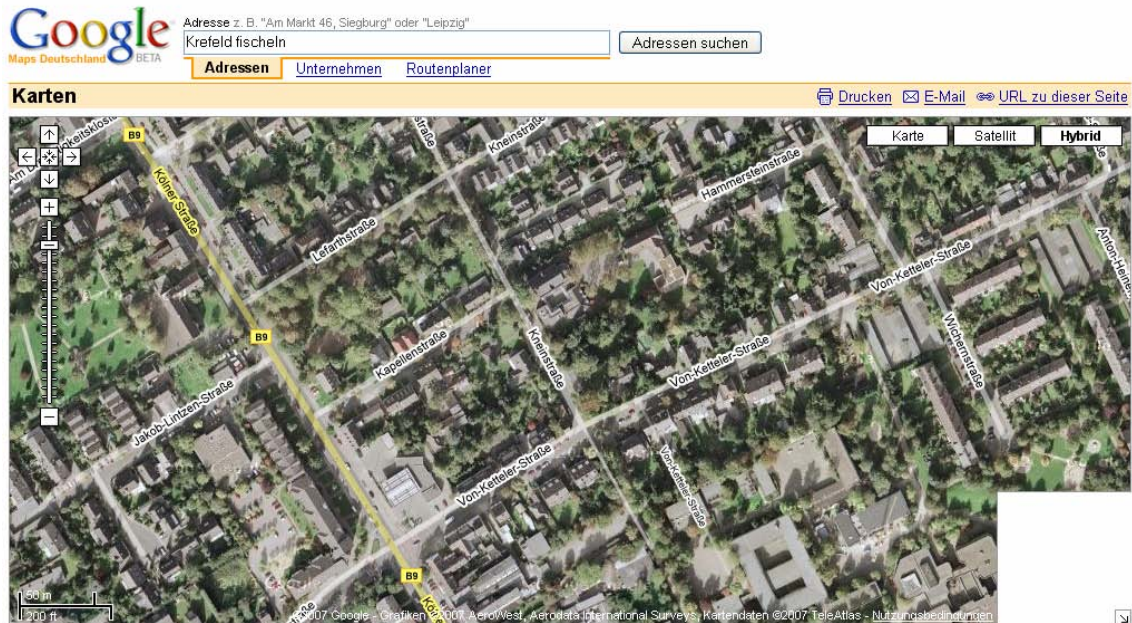


Bild 13.2: Satellitenbild des Krefelder Ortsteils Fischeln – Kategorie „Vorstadt“
(<http://www.google.de/maps>)

Die lokale Klassifizierung „Dorf“ ist durch aufgelockerte Bebauung mit üblicherweise einstöckiger Bebauung gekennzeichnet. **Bild 13.3** zeigt ein solches Beispiel.

[Gespeicherte Standorte](#) | [Anmelden](#) | [Hilfe](#)

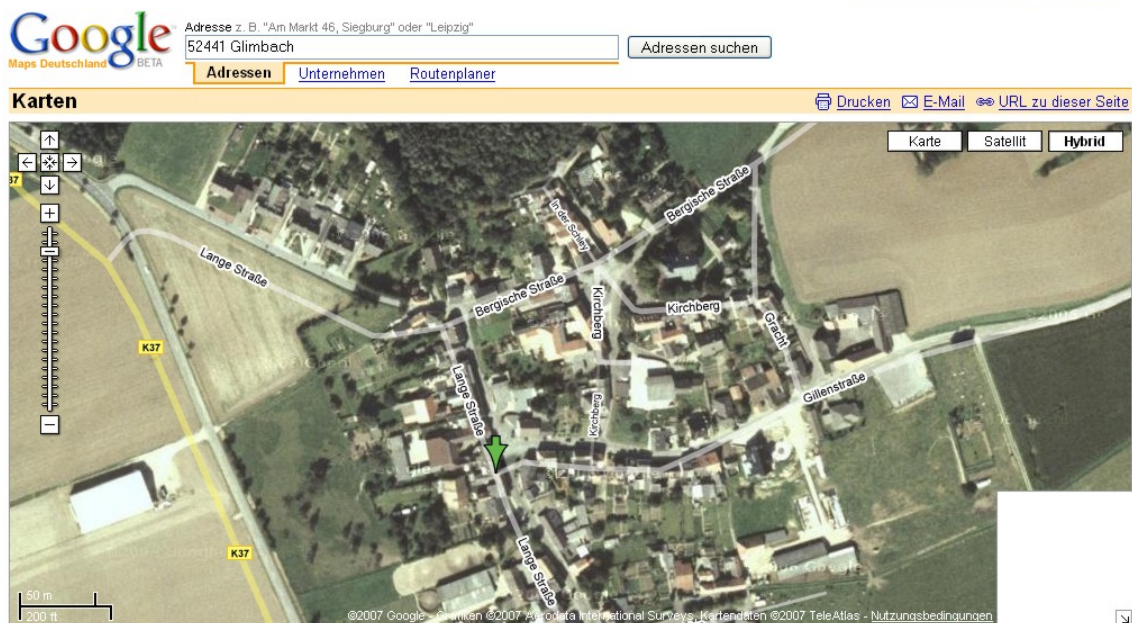


Bild 13.3: Satellitenbild des Linnicher Ortsteils Glimbach – Kategorie „Dorf“
(<http://www.google.de/maps>)

Der „Sonderfall“ ist eine einzelstehende bauliche Anlage, wie z.B. ein Gehöft, wie es in sehr dünn besiedelten Gebieten häufiger zu finden ist. Das in Bild 13.4 erkennbare Gehöft befindet sich zwischen der Stadt Linnich und der Stadt Jülich.

[Gespeicherte Standorte](#) | [Anmelden](#) | [Hilfe](#)



Bild 13.4: Satellitenbild des Gehöfts bei Kiffelberg zwischen Linnich und Jülich – Kategorie „Sonderfall“
(<http://www.google.de/maps>)

Zu Pos. 3:

Tabelle 13.1: Zusammengefasste Entfernungen zwischen Blitzeinschlagsort und Schadensort, bis zu der noch eine signifikante Wahrscheinlichkeit besteht, dass ein Schaden durch einen Blitzeinschlag verursacht wird (ohne Berücksichtigung der Ortungsgenauigkeit eines Blitzortungssystems).

Dichte und lockere Bebauung (Stadt/Vorstadt)	Dorf	„Sonderfall“
500 m	1000 m	2000 m

Zu Pos. 4:

Wie hoch der Zuschlag zur Berücksichtigung der Ortungsgenauigkeit eines Blitzortungssystems ist, hängt sowohl vom genutzten Blitzortungssystem, wie auch von der Höhe der noch akzeptierten Fehlaussagen des Systems ab.

Das System BLIDS von Siemens detektiert mit einem räumlichen Fehler bei der Ortung von weniger als 1000 m ca. 90% der tatsächlichen Wolke-Erde-Blitze mit Blitzstromscheitelwerten ≥ 4 kA bzw. 95% der Wolke-Erde-Blitze mit

Blitzstromscheitelwerten ≥ 10 kA. Somit kann davon ausgegangen werden, dass bezüglich aller, für Schäden relevanter Blitzeinschläge nur etwa jeder zehnte Fall einen größeren räumlichen Fehler bei der Ortung als 1000 m aufweist. Entscheidet man sich für diese Überlegung, was gemäß dieser Studie empfohlen werden kann, addiert man zu den Werten aus Tabelle 13.1 noch jeweils **1000 m** hinzu.

Für das zweite in Deutschland verfügbare Blitzortungssystem LINET ist eine solch detaillierte Aussage zur Zeit nicht möglich. Der Betreiber NowCast selbst gibt hier nur einen mittleren räumlichen Fehler bei der Ortung von 250 m an (50%-Wert); Untersuchungen mit höheren Wahrscheinlichkeiten (analog zu den o.g. 90%- bzw. 95%-Werten für BLIDS) sind noch nicht verfügbar.

Literaturverzeichnis

- [1] Ausschreibung einer Forschungsarbeit zum Thema „Blitzschlag - Auswirkungen auf die Elektroinstallation in Gebäuden und die angeschlossenen elektrischen Geräte unter Berücksichtigung einer Entfernungsabhängigkeit; Potentialdifferenzen im Erdreich/Boden als Folge von Blitzeinschlägen“. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V., 2005.
- [2] Hasse, P.; Wiesinger, J.; Zischank, W.: Handbuch für Blitzschutz und Erdung. Pflaum Verlag München, 5. Auflage 2006.
- [3] DIN EN 62305-1 (VDE 0185-305-1):2006-10: Blitzschutz – Teil 1: Allgemeine Grundsätze.
- [4] DIN EN 62305-2 (VDE 0185-305-2):2006-10: Blitzschutz – Teil 2: Risikomanagement
- [5] DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3):2006-10: Blitzschutz – Teil 3: Schutz von baulichen Anlagen und Personen.
- [6] DIN EN 62305-4 (VDE 0185-305-4):2006-10: Blitzschutz – Teil 4: Elektrische und elektronische Systeme in baulichen Anlagen.
- [7] <http://www.vaisala.com/businessareas/measurementsystems/thunderstorm/products>
- [8] <http://www.blids.de/>
- [9] Diendorfer, G. et al: Evaluation of Lightning Location Data Employing Measurements of Direct Strikes to a Radio Tower. Paper 33-206. CIGRE Session, Paris 2002.
- [10] Diendorfer, G.; Pichler, H.: Properties of Lightning Discharges to an Instrumented Tower and their Implication on the Location of those Flashes by Lightning Location Systems.
- [11] VDS Meteo-Info: Erkenntnisse zur Ortungsgenauigkeit des Siemens Blitz-Messnetzes (Informationsstand: 17.10.2006).
- [12] Vorträge und Diskussionen anlässlich des GDV-Workshops zu Blitzortungssystemen in Deutschland. Köln, 04.12.2006
- [13] <http://www.sferics.physik.uni-muenchen.de/>
- [14] <http://www.pa.op.dlr.de/linet/>
- [15] Betz, H.-D.; Schmidt, K.; Oettinger, W.P.; Wirz, M.: Total VLF/LF-Lightning and Pseudo 3D-Discrimination of Intra-cloud and Cloud-to-ground Discharges. 18th International Lightning Detection Conference (ILDC), Helsinki, 2004.

- [16] Schmidt, K. et al: A New Lightning Detection Network in Southern Germany. 27th Conference on Lightning Protection (ICLP), Avignon (FR), 2004.
- [17] Uman, M.: The lightning discharge. Academic Press, Orlando (FL), 1987.
- [18] DIN VDE 0100 Teil 300 (VDE 0100-300):1996-01: Errichten von Starkstromanlagen mit Nennspannungen bis 1000 V – Teil 3: Bestimmungen allgemeiner Merkmale.
- [19] Flisowski, Z.; Mazzetti, C.; D’Elia, B.: New approach to the assessment of frequency of electronic systems damage due to nearby lightning strokes. 11th International Symposium on High-Voltage Engineering (ISH), London 1999.
- [20] Rusck, S.: Protection of distribution lines, in “Lightning Protection”, Vol. 2, editor Golde, B., Academic Press Inc., London 1977.
- [21] LoPiparo, G.B.; Carrescia, G.: Protezione contro le sovratensioni (dt.: Schutz gegen Überspannungen). Edizioni TNE, Torino 2002.
- [22] Dempster, A.P., Laird, N.M., and Rubin, D.B. (1977). Maximum Likelihood from Incomplete Data via the EM Algorithm. Journal of the Royal Statistical Society, Series B, Vol. 39, p 1-38.
- [23] McLachlan, G.J. and Krishnan, T. (1997). The EM Algorithm and Extensions. Wiley Series in Probability and Statistics. John Wiley & Sons Inc.
- [24] R Projekt. WWW.R-Project.org.
- [25] Dikta, G.: Hilfestellungen zur einfacheren Beurteilung von Blitz- und Überspannungsschäden in der Schadensregulierung. Erste statistische Auswertung der Schadensfälle aus 2005. FuE-Projekt für den GDV. 27. März 2006.
- [26] Dikta, G.: Hilfestellungen zur einfacheren Beurteilung von Blitz- und Überspannungsschäden in der Schadensregulierung. Statistische Auswertung der Schadensfälle aus 2005 – Teil 2. FuE-Projekt für den GDV. 15. Mai 2006.
- [27] Dikta, G.: Hilfestellungen zur einfacheren Beurteilung von Blitz- und Überspannungsschäden in der Schadensregulierung. Statistische Auswertung der Schadensfälle aus 2005 – Teil 3. FuE-Projekt für den GDV. 10. Oktober 2006.
- [28] Kern, A.: Hilfestellungen zur einfacheren Beurteilung von Blitz- und Überspannungsschäden in der Schadensregulierung (1. Zwischenbericht). Simulation der Schadenshäufigkeit als Funktion der Entfernung zwischen Blitzeinschlag und Schadensort.

- [29] Kern, A.: Hilfestellungen zur einfacheren Beurteilung von Blitz- und Überspannungsschäden in der Schadensregulierung (2. Zwischenbericht). Simulation der Schadenshäufigkeit als Funktion der Entfernung zwischen Blitzeinschlag und Schadensort.
- [30] Hasse, P.; Landers, E.U.; Wiesinger, J.: EMV - Blitzschutz von elektrischen und elektronischen Systemen in baulichen Anlagen. VDE Verlag Berlin-Offenbach, 2004.
- [31] Schild, H.: Der indirekte Blitzschlagschaden (Vortrag an der Grazer Wechselseitigen Versicherungs AG), Graz, 17.01.1996.

Anhang A: Simulationsergebnisse für nahe, indirekte Blitzeinschläge

A.1 Induzierte Spannung als Funktion der Entfernung vom Schadensort zum Blitzeinschlagsort und für verschiedene Scheitelwerte des negativen Folgeblichtes

- 5%: $i_{\max} = 4,9 \text{ kA}$, daraus folgt: $i_{\max}/T_1 = 19,6 \text{ kA}/\mu\text{s}$ (nur 5% der natürlichen Blitze weisen noch geringere Werte auf);
- 50%: $i_{\max} = 11,8 \text{ kA}$, daraus folgt: $i_{\max}/T_1 = 47,2 \text{ kA}/\mu\text{s}$ (ca. 50% der natürlichen Blitze weisen geringere Werte auf);
- 95%: $i_{\max} = 28,6 \text{ kA}$, daraus folgt: $i_{\max}/T_1 = 114 \text{ kA}/\mu\text{s}$ (95% der natürlichen Blitze weisen geringere Werte auf bzw. nur 5% noch höhere Werte)
- 99%: $i_{\max} = 50 \text{ kA}$, daraus folgt: $i_{\max}/T_1 = 200 \text{ kA}/\mu\text{s}$ (99% der natürlichen Blitze weisen geringere Werte auf bzw. nur 1% noch höhere Werte)

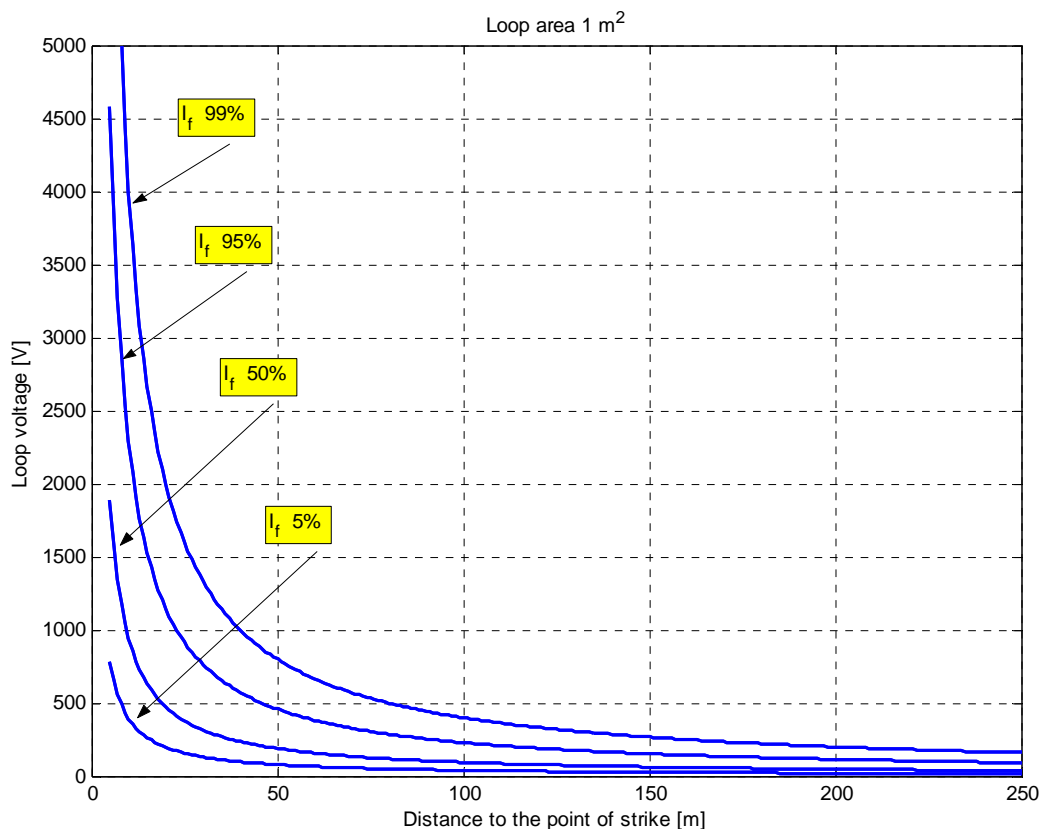


Bild A.1.1: Fläche der Induktionsschleife $S = 1 \text{ m}^2$

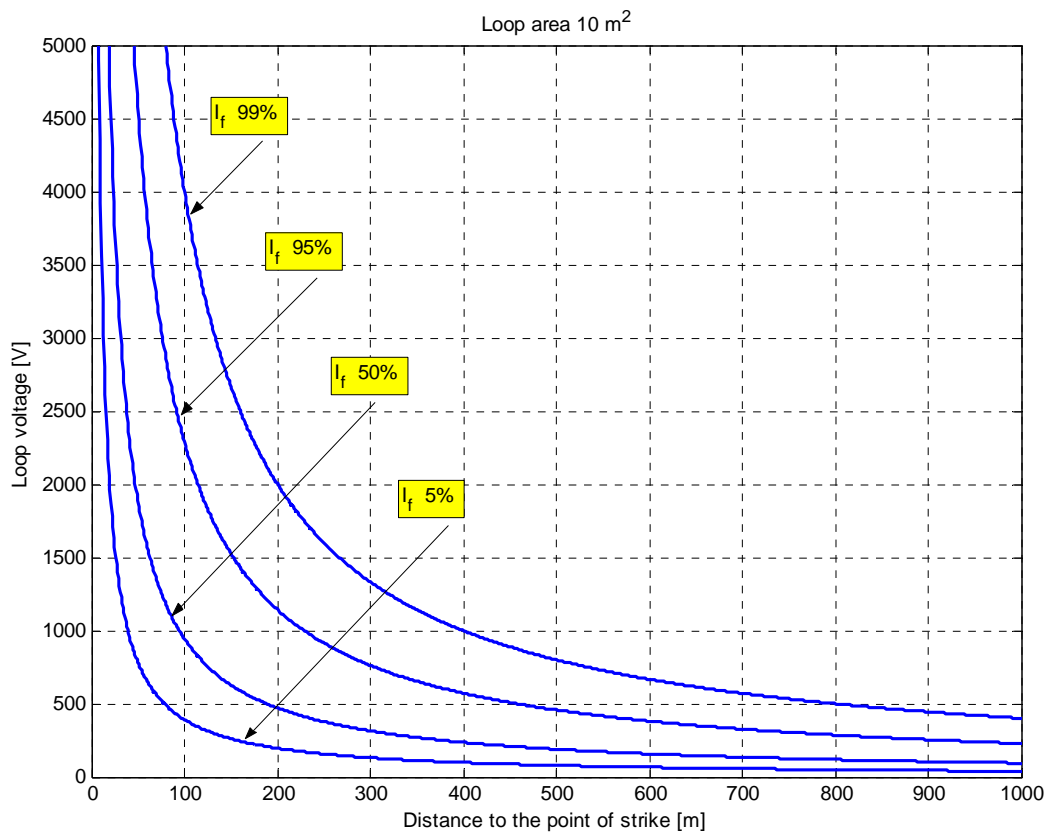


Bild A.1.2: Fläche der Induktionsschleife $S = 10 \text{ m}^2$

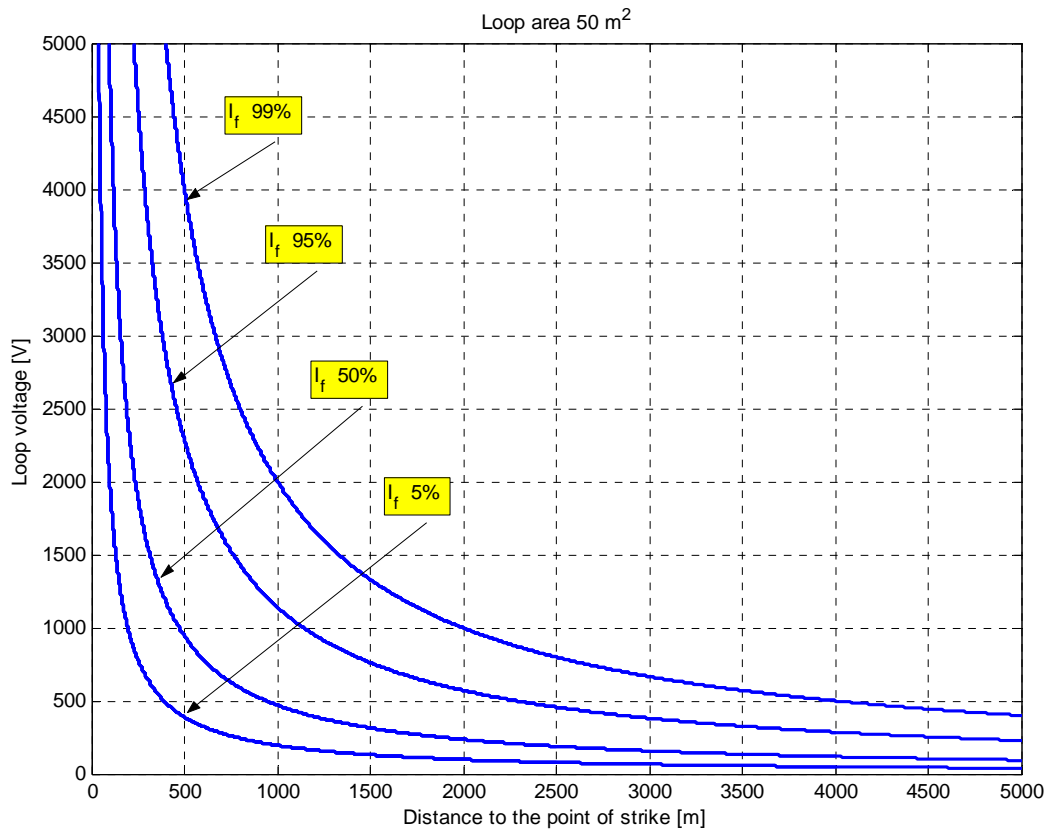


Bild A.1.3: Fläche der Induktionsschleife $S = 50 \text{ m}^2$

A.2 Erforderliche Schleifenfläche als Funktion der Entfernung vom Schadensort zum Blitzeinschlagsort und für verschiedene Scheitelwerte des negativen Folgeblichtes

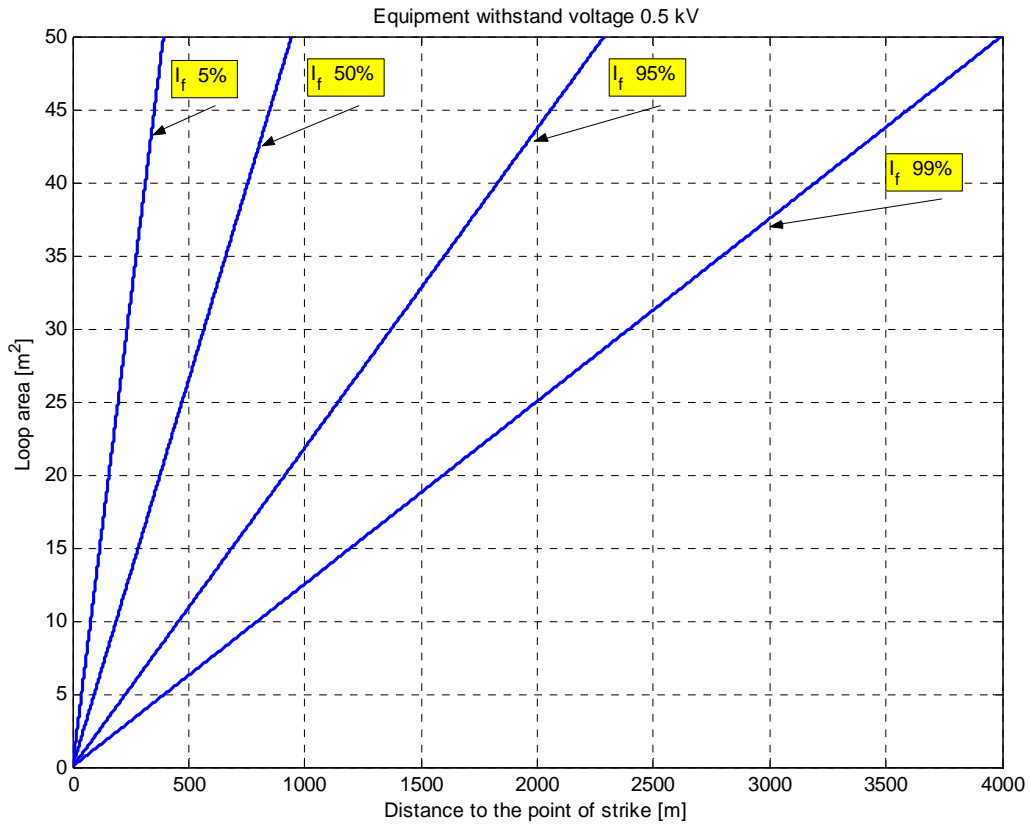


Bild A.2.1: Stoßspannungsfestigkeit $U_w = 0,5 \text{ kV}$

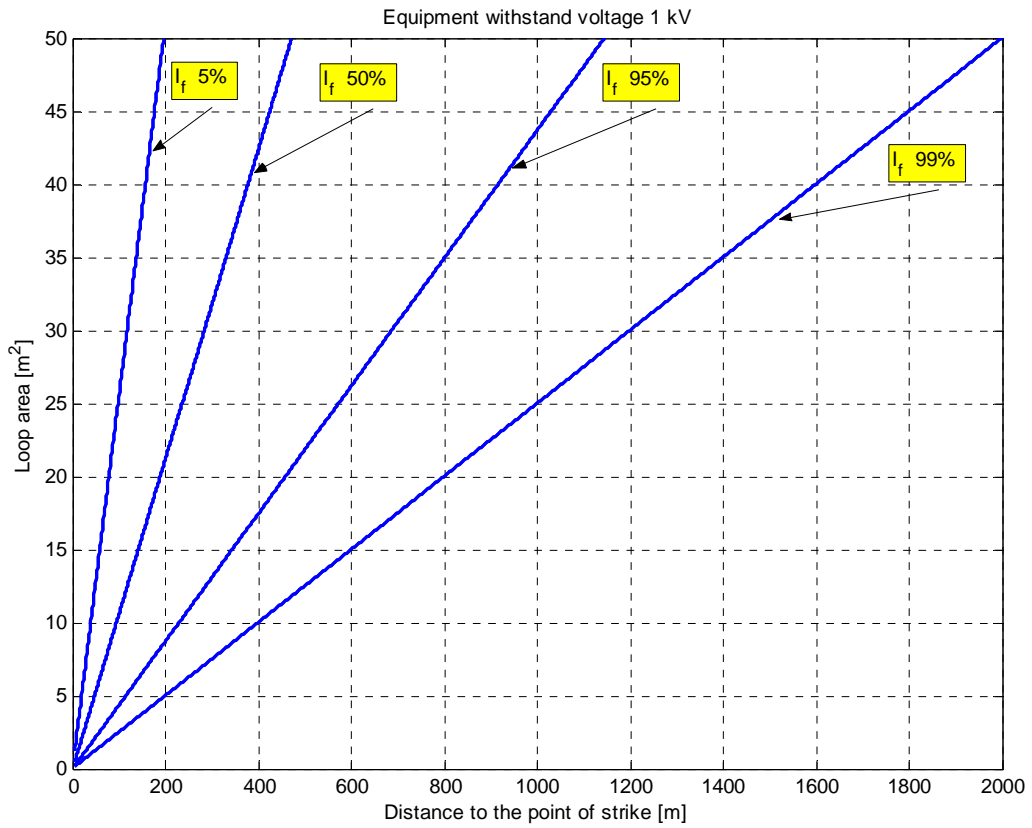


Bild A.2.2: Stoßspannungsfestigkeit $U_w = 1,0$ kV

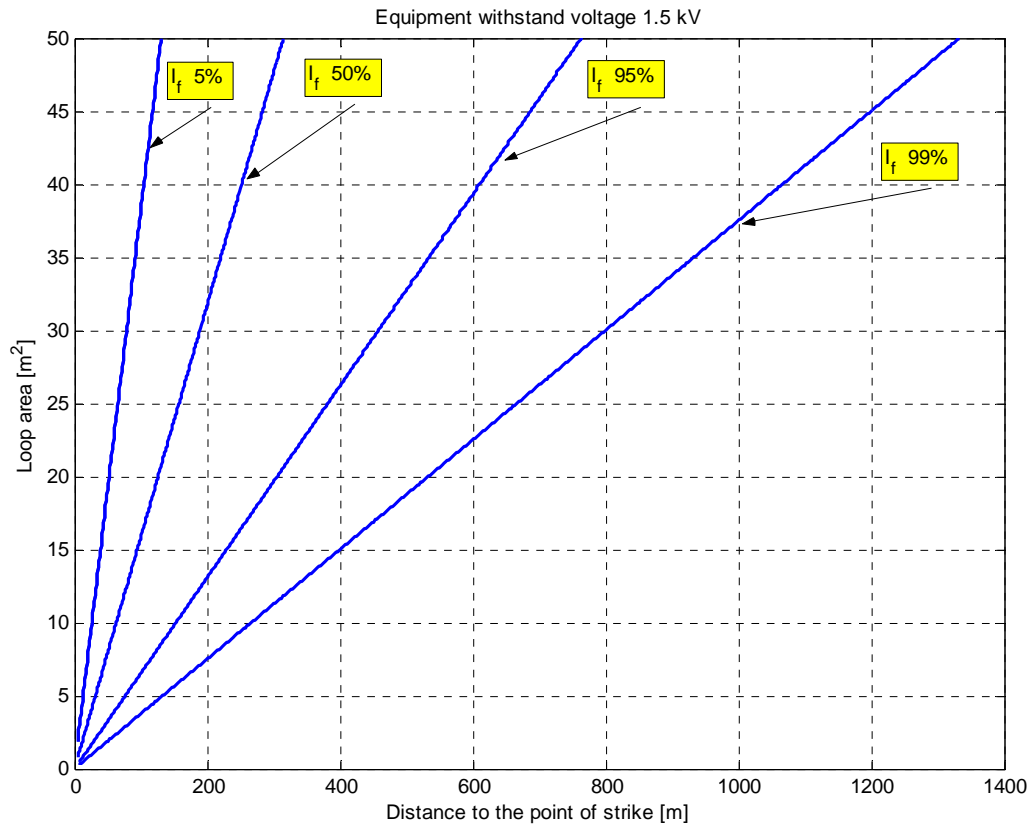


Bild A.2.3: Stoßspannungsfestigkeit $U_w = 1,5$ kV

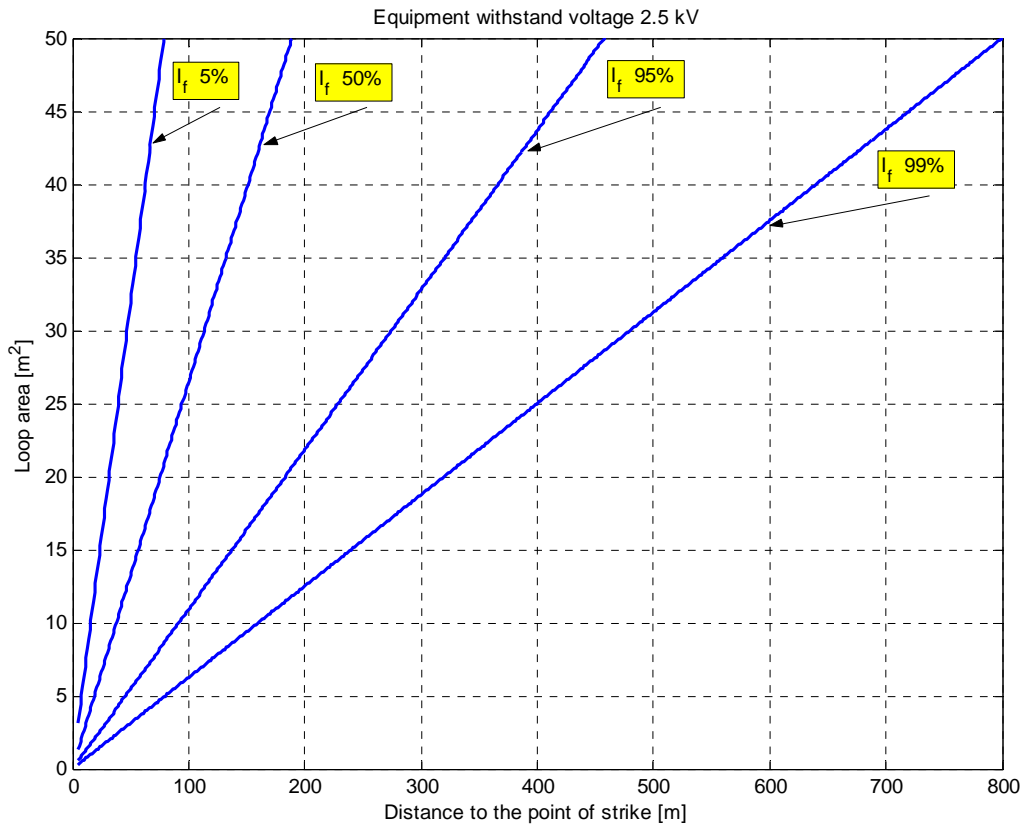


Bild A.2.4: Stoßspannungsfestigkeit $U_w = 2,5\text{kV}$

A.3 Schadenswahrscheinlichkeit P als Funktion der Entfernung vom Schadensort zum Blitzeinschlagsort und für verschiedene Schleifenflächen

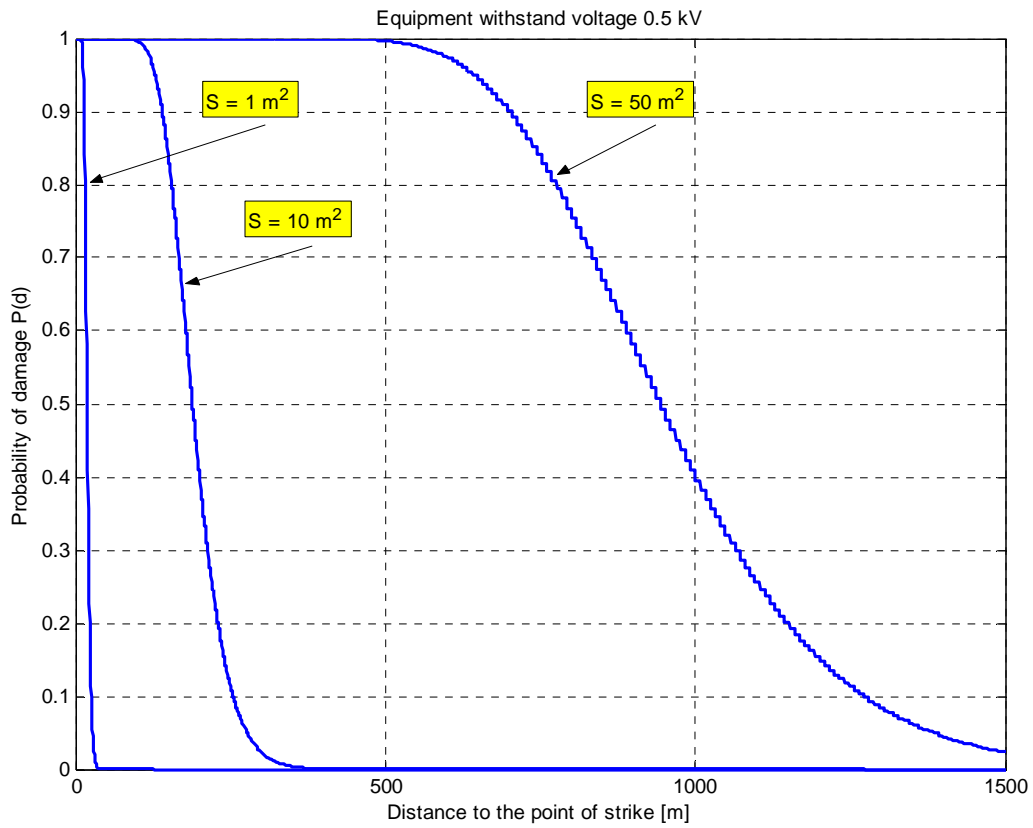


Bild A.3.1: Stoßspannungsfestigkeit $U_w = 0,5 \text{ kV}$

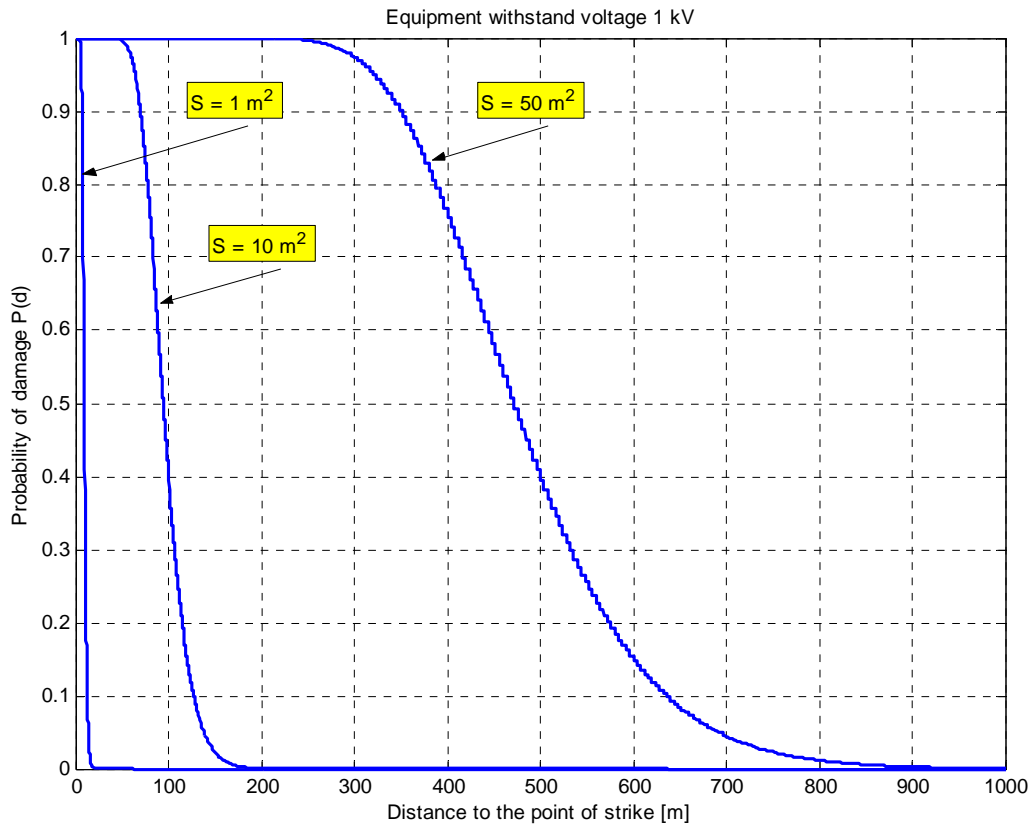


Bild A.3.2: Stoßspannungsfestigkeit $U_w = 1,0 \text{ kV}$

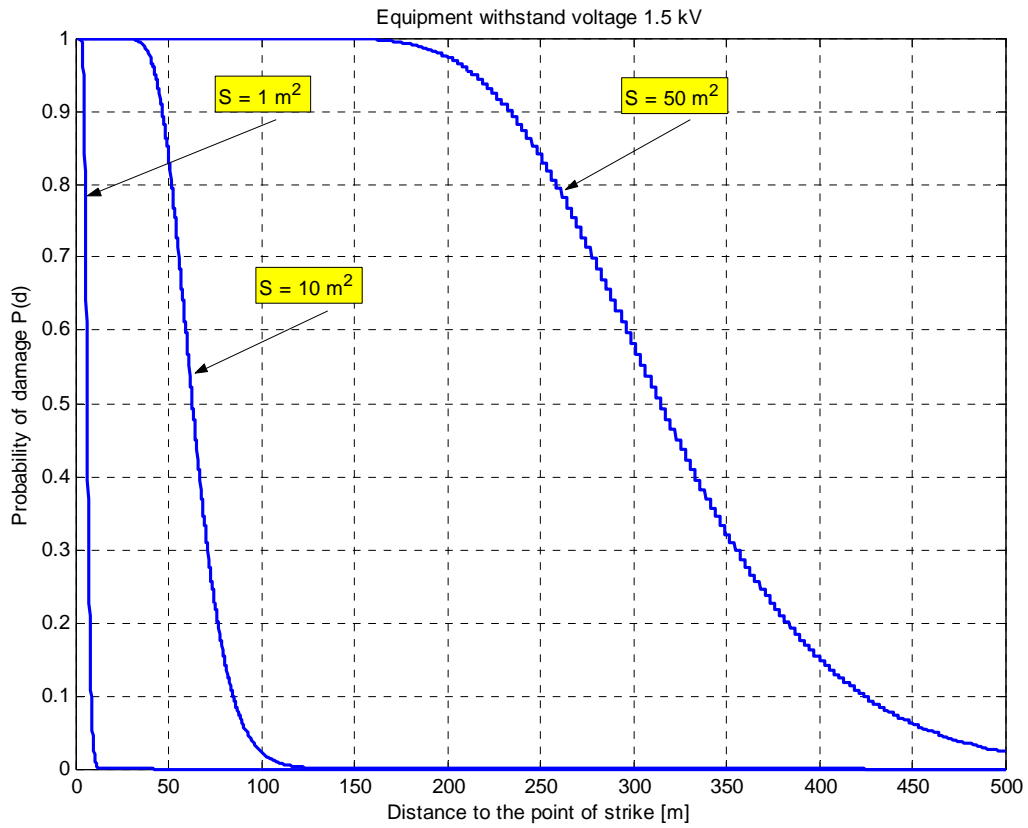


Bild A.3.3: Stoßspannungsfestigkeit $U_w = 1,5 \text{ kV}$

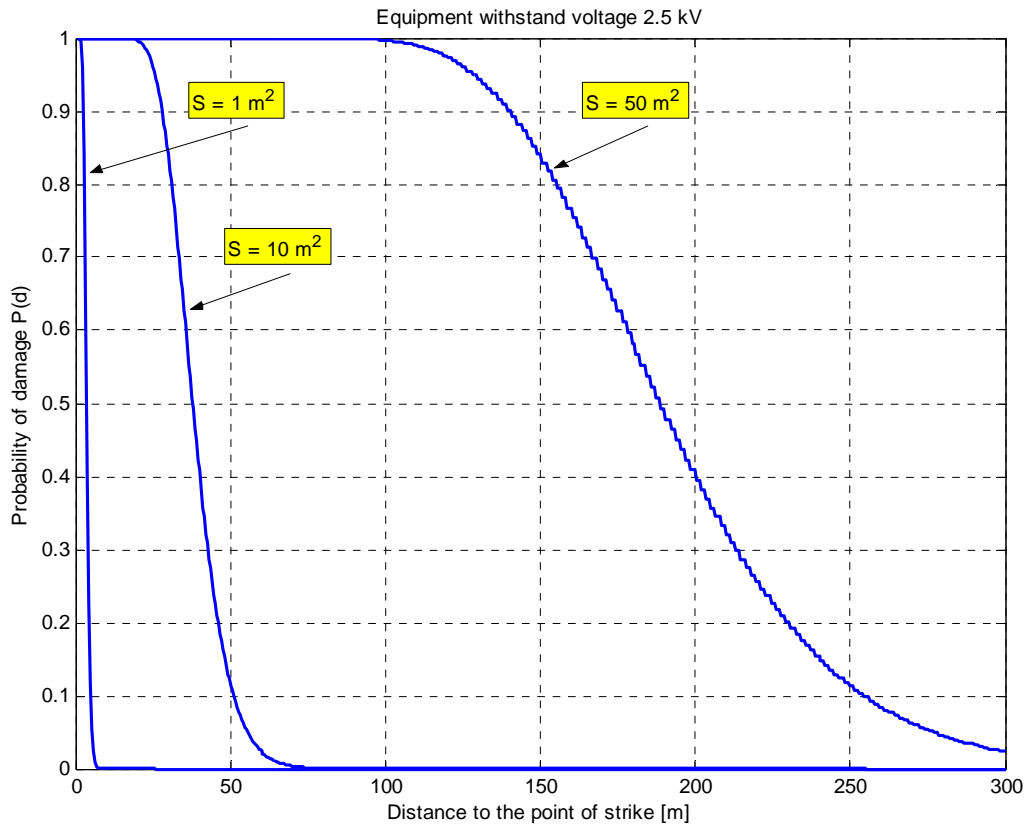


Bild A.3.4: Stoßspannungsfestigkeit $U_w = 2,5 \text{ kV}$

Anhang B: Simulationsergebnisse für Blitzeinwirkungen in eine Freileitung

B.1 Schadenshäufigkeit F_1 durch direkte Blitzeinschläge in die Freileitung

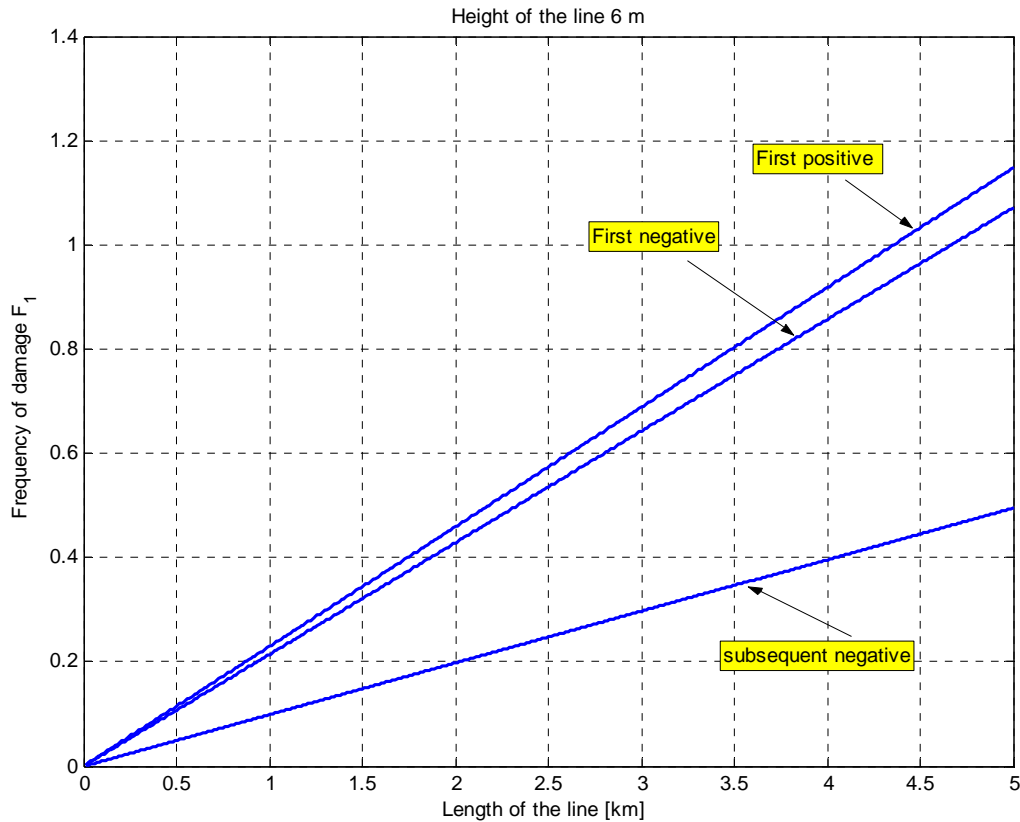


Bild B.1.1: F_1 für drei Blitzstromtypen und Leitungshöhe 6 m

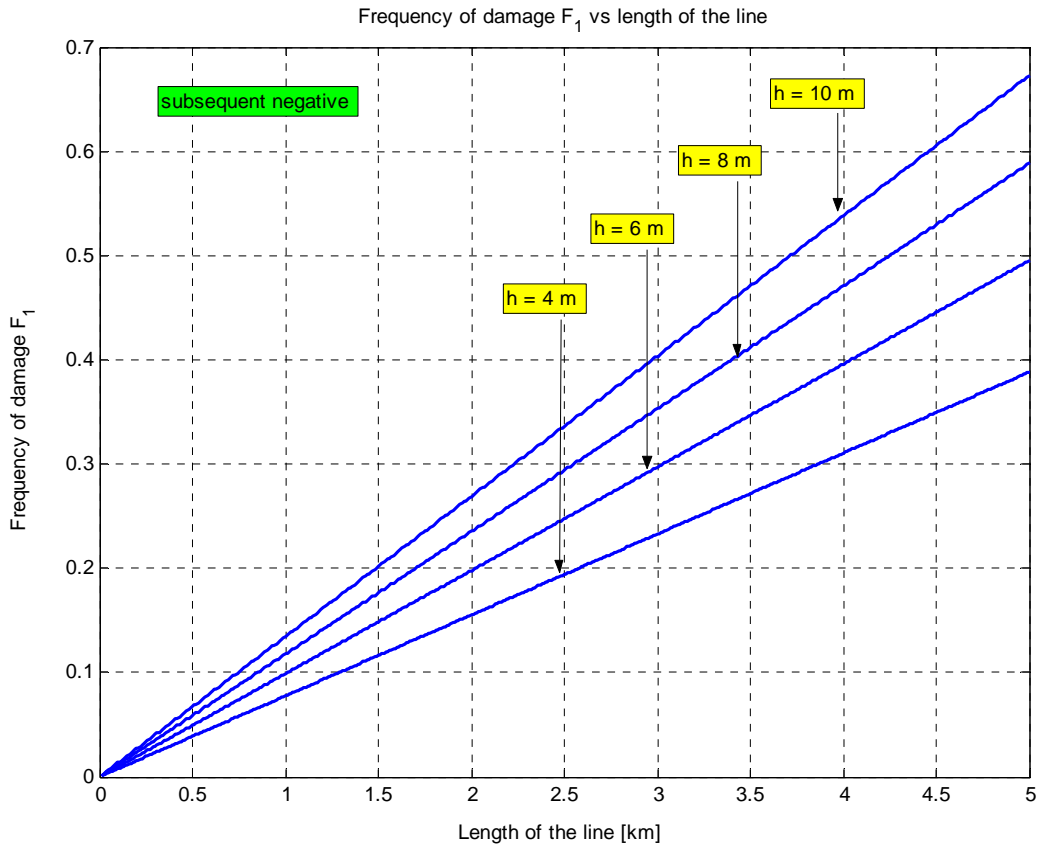


Bild B.1.2: F_1 für negative Folgeblitze und unterschiedliche Leitungshöhen

B.2 Schadenshäufigkeit F_2 durch Blitzeinschläge neben der Freileitung, die zu einem Überschlag der Leitungsisolierung führen

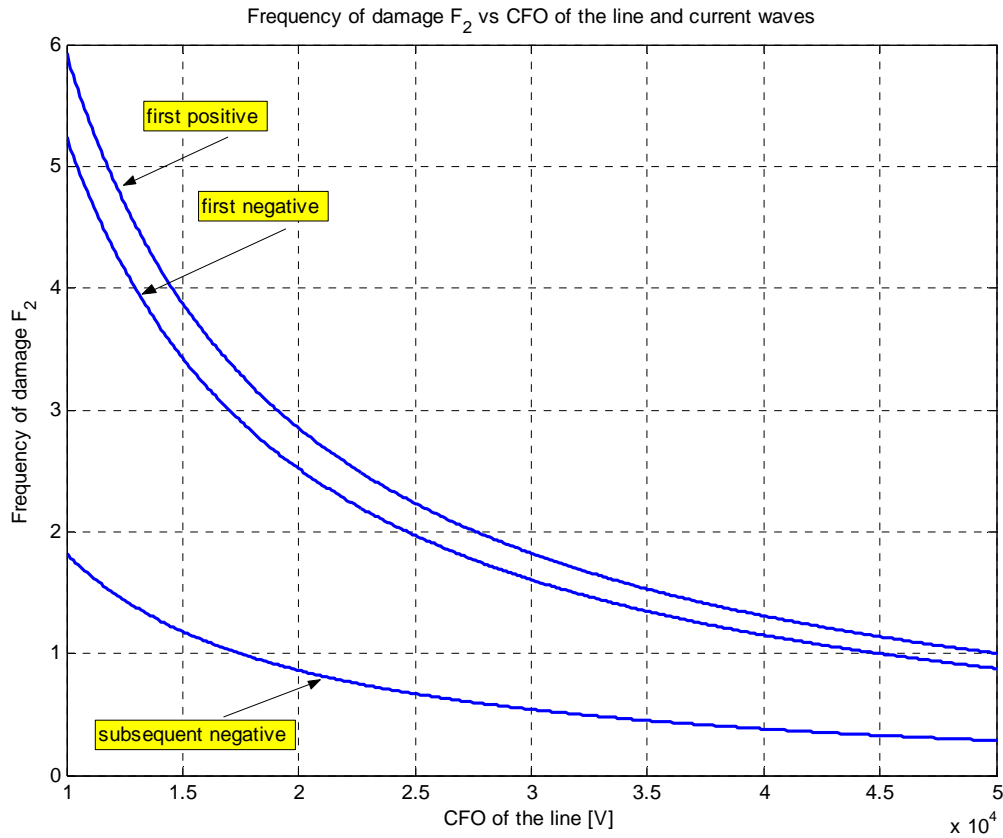
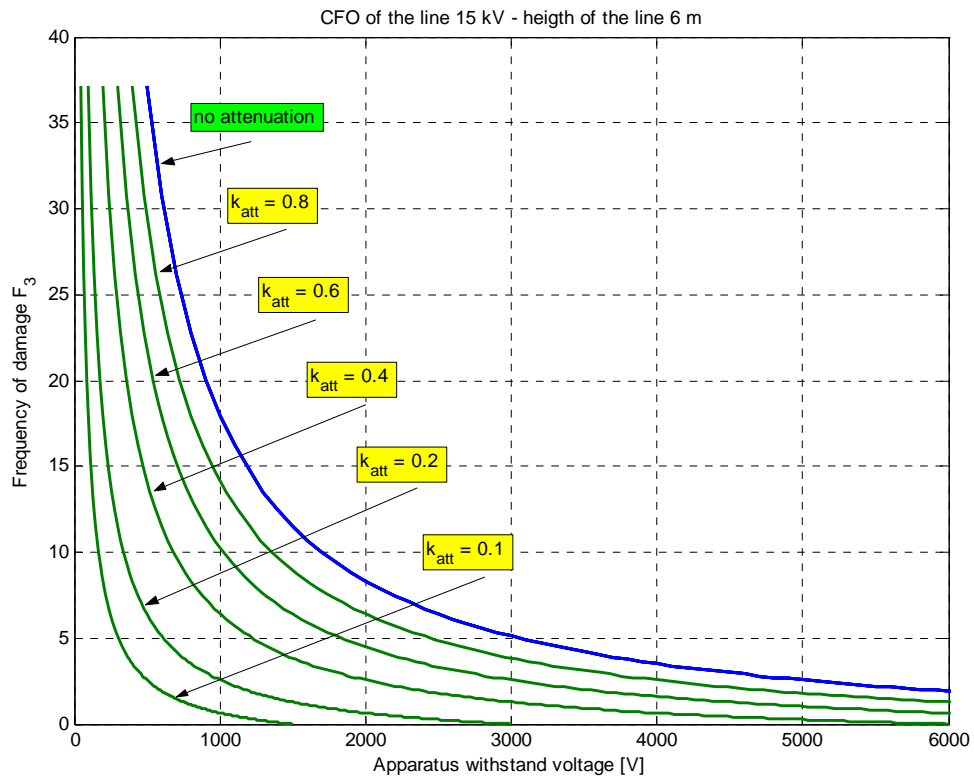


Bild B.2.1: F_2 für drei Blitzstromtypen und Leitungshöhe 6 m als Funktion der maximalen Spannungsfestigkeit der Leitungsisolierung CFO

B.3 Schadenshäufigkeit F_3 durch Blitzeinschläge neben der Freileitung, die zu Spannungen kleiner als Spannungsfestigkeit der Leitungsisolierung aber größer als Spannungsfestigkeit der angeschlossenen Geräte führen



k_{att}	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8
Γ_1 / Γ_2	19	9	4	2,33	1,5

Γ_1 : Wellenwiderstand der Freileitung

Γ_2 : Wellenwiderstand der elektrischen Verkabelung in der baulichen Anlage

Bild B.3.1: F_3 für negativen Folgeblitz als Funktion der maximalen Spannungsfestigkeit der angeschlossenen Geräte und für verschiedene Transmissionsfaktoren k_{att} (Leitungshöhe 6 m)

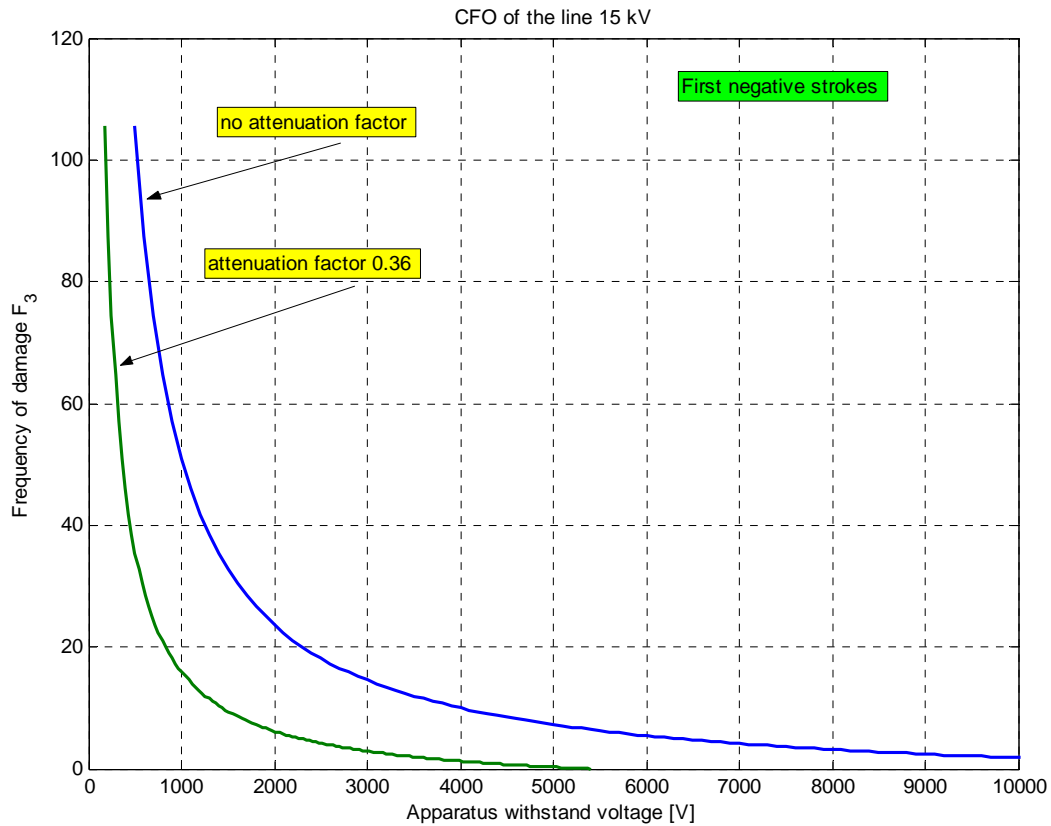


Bild B.3.2: F_3 für negativen Erstblitz als Funktion der maximalen Spannungsfestigkeit der angeschlossenen Geräte und für typischen Transmissionsfaktor (Leitungshöhe 6 m)

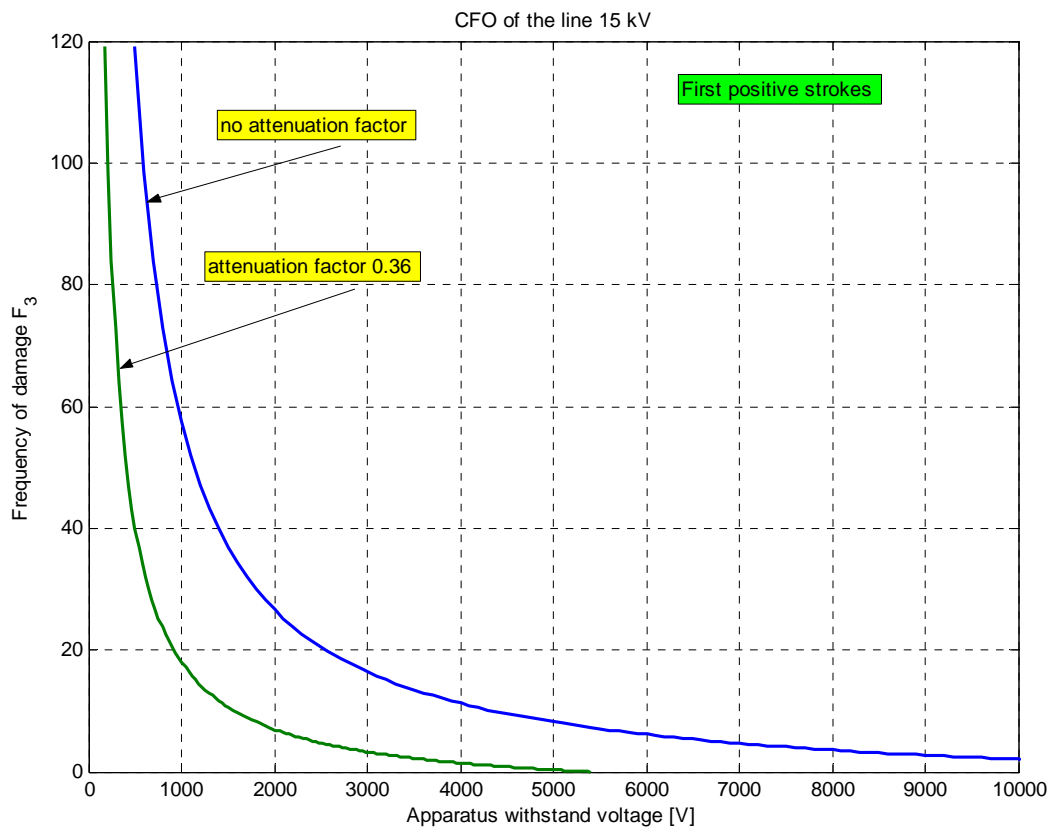


Bild B.3.3: F_3 für positiven Erstblitz als Funktion der maximalen Spannungsfestigkeit der angeschlossenen Geräte und für typischen Transmissionsfaktor (Leitungshöhe 6 m)

Anhang C: Simulationsergebnisse für Blitzeinwirkungen in ein erdverlegtes Kabel

C.1 Schadenshäufigkeit F_2 durch Blitzeinschläge in den Erdboden, die zu einem Überschlag der Kabelisolierung führen (direkte Blitzstrom Einkopplung)

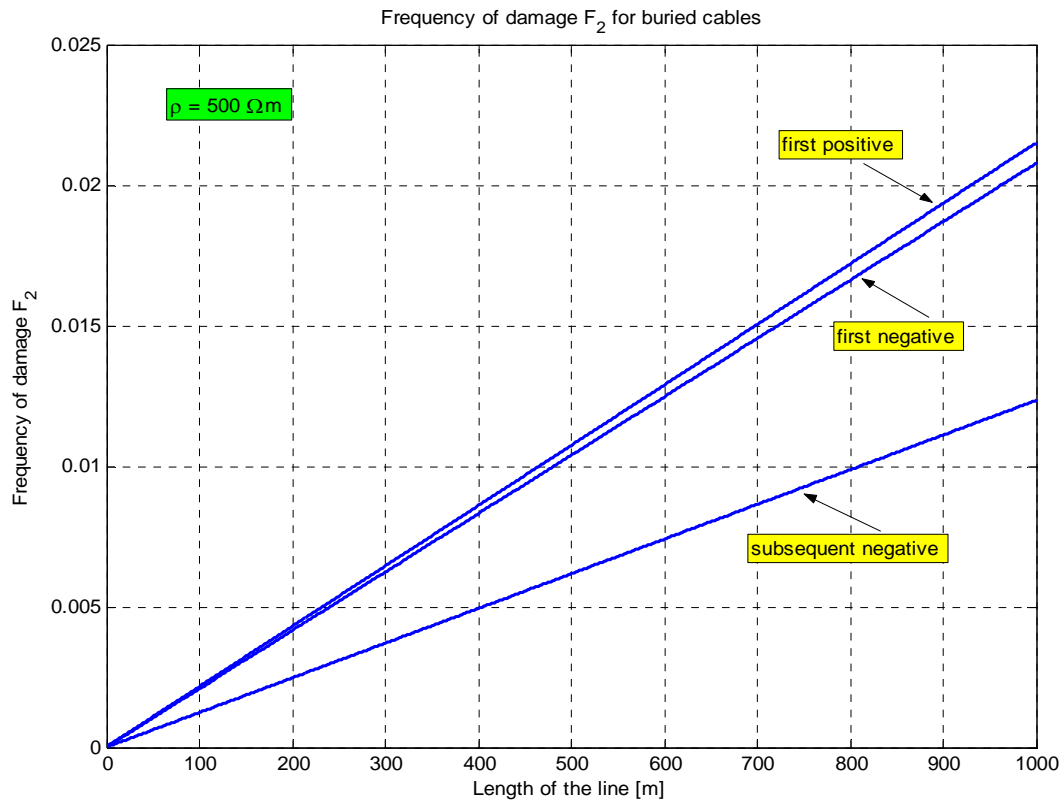


Bild C.1.1: F_2 für drei Blitzstromtypen und spezifischen Bodenwiderstand $\rho = 500 \Omega\text{m}$ als Funktion der Kabellänge

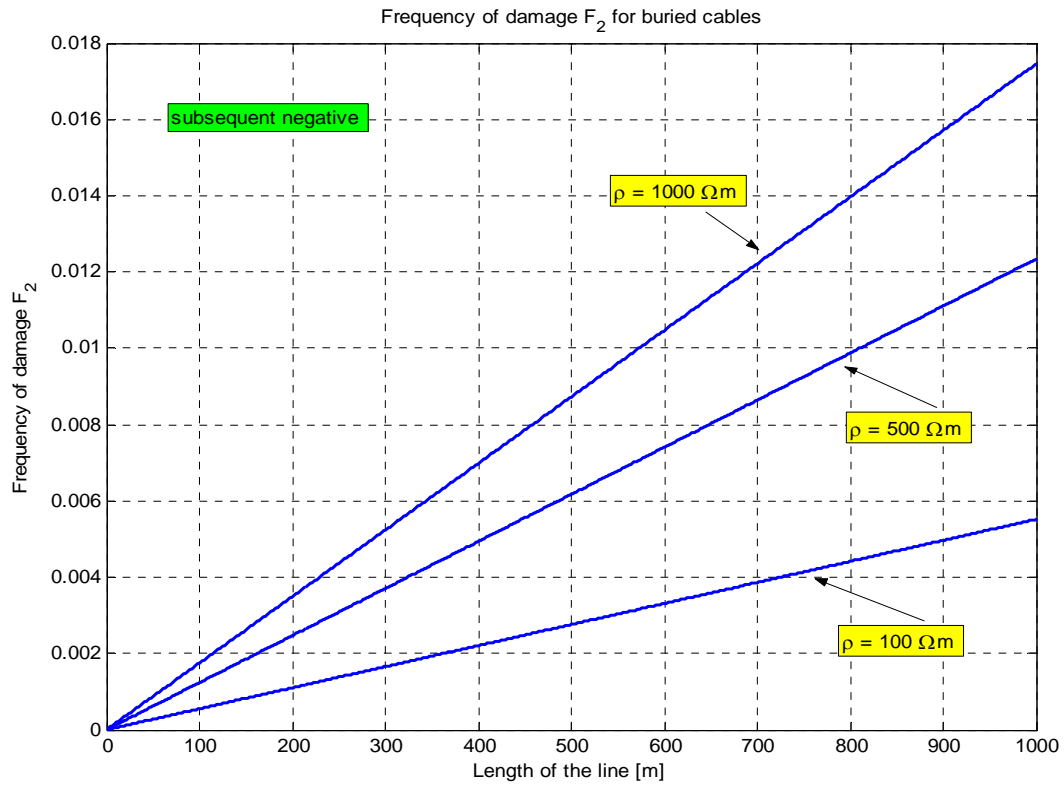


Bild C.1.2: F_2 für negativen Folgeblitz und verschiedene Bodenwiderstände ρ als Funktion der Kabellänge

C.2 Schadenshäufigkeit F_3 durch Blitzeinschläge in den Erdboden, die zu Spannungen kleiner als Spannungsfestigkeit der Kabelisolierung aber größer als Spannungsfestigkeit der angeschlossenen Geräte führen (Spannungseinkopplung)

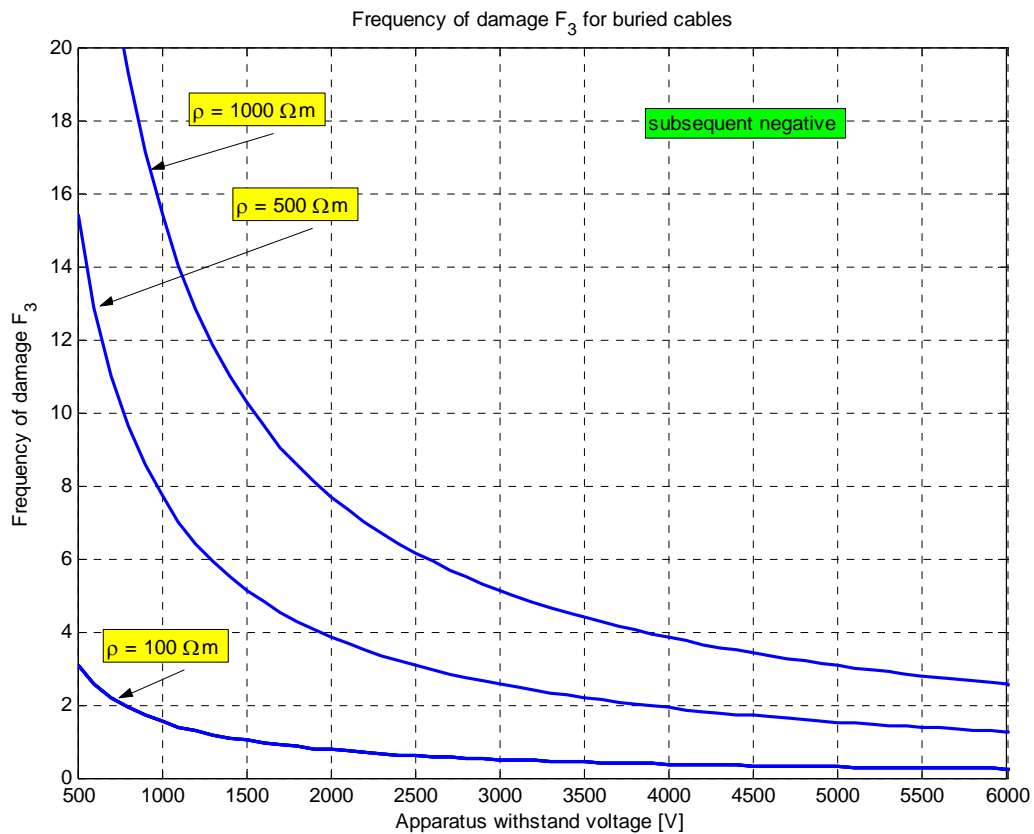


Bild C.2.1: F_3 für negativen Folgeblitz und verschiedene Bodenwiderstände ρ als Funktion der maximalen Spannungsfestigkeit der angeschlossenen Geräte

Anhang D: Fragebogen zur Geräteuntersuchung

Art und Bezeichnung des Gerätes (Geräteart/Hersteller/Typ/Gerätenummer)		
Alter des Gerätes	_____ Jahre	
Geräteeinteilung	neu oder neuwertig	<input type="checkbox"/>
	dem Alter entsprechend	<input type="checkbox"/>
	stark benutzt	<input type="checkbox"/>
	sehr stark benutzt	<input type="checkbox"/>
Gerätefunktion	Funktion eingeschränkt vorhanden	<input type="checkbox"/>
	Funktion nicht mehr vorhanden	<input type="checkbox"/>
Beschreibung des Defektes (falls möglich)		
Umgebungsbedingungen	stark mech. Beansprucht	<input type="checkbox"/>
	Kälte	<input type="checkbox"/>
	Hitze	<input type="checkbox"/>
	hohe Luftfeuchtigkeit	<input type="checkbox"/>
	starke Sonneneinstrahlung	<input type="checkbox"/>
	hohe Staubbelastung	<input type="checkbox"/>
	Nässeinwirkung feststellbar	<input type="checkbox"/>
mechanische Schäden an folgenden äußeren Stellen		
Schmauchspuren an folgenden äußeren Stellen	Netzeingang	<input type="checkbox"/>
	Antenneneingang	<input type="checkbox"/>
	Telekommunikationseingang	<input type="checkbox"/>
	elektrische Komponenten	<input type="checkbox"/>
	Gehäuse	<input type="checkbox"/>
Gerät ist am Schadenstag an zwei Netzen angeschlossen gewesen	ja	<input type="checkbox"/>
	nein	<input type="checkbox"/>
Abschmelzungen an folgenden metallenen inneren Stellen		
Korrosionserscheinungen an metallenen Teilen	ja	<input type="checkbox"/>
	nein	<input type="checkbox"/>
Korrosionserscheinungen an elektr. Kontakten	ja	<input type="checkbox"/>
	nein	<input type="checkbox"/>
Leiterbahnen sind an- oder durchgeschmolzen	ja	<input type="checkbox"/>
	nein	<input type="checkbox"/>
mechanische/elektrische Schäden folgender Elemente	Varistor	<input type="checkbox"/>
	Sicherung	<input type="checkbox"/>
	integrierte Schaltung (IC)	<input type="checkbox"/>
	Widerstand	<input type="checkbox"/>
	Kondensator	<input type="checkbox"/>
	Spule/Transformator	<input type="checkbox"/>
	sonstiges elektronisches Bauteil	<input type="checkbox"/>
Spulen und/oder Transformatoren haben perlenförmige Schmelzerscheinungen	ja	<input type="checkbox"/>
	Nein	<input type="checkbox"/>
folgende Baugruppe ist defekt (falls Bestimmung möglich ist)	Tuner	<input type="checkbox"/>
	Netzteil	<input type="checkbox"/>
	Netzwerkkarte (PC)	<input type="checkbox"/>
	sonstige Baugruppe	<input type="checkbox"/>
Kausalität: entdeckter Defekt in kausalem Zusammenhang mit Blitz- und Überspannung	eher wahrscheinlich	<input type="checkbox"/>
	eher unwahrscheinlich	<input type="checkbox"/>
besondere Auffälligkeiten, z. B. durch Zerkratzen unterbrochene Leiterbahnen, durchtrennte Anschlüsse/Leiter	ja	<input type="checkbox"/>
	nein	<input type="checkbox"/>
im Rahmen des Schadensvorgangs zum vorliegenden Gerät wurden weitere defekte Betriebsmittel gemeldet	nein	<input type="checkbox"/>
	ja, welche	<input type="checkbox"/>