

Blitze mit Parametern oberhalb der genormten Blitzstromparameter

1	Anlass der Beratungen	2
2	Beratungsverlauf	2
3	Grundlagen	2
3.1	Physikalischer Hintergrund	2
3.1.1	Blitzentladungen.....	2
3.1.2	Blitzschutznormen	3
3.1.3	Blitznormwerte und „natürliche Obergrenze“	3
3.1.4	Blitzkugel-Verfahren und dynamisches elektro-geometrisches Modell (DEGM)	5
3.2	Spannungsberechnung	5
3.2.1	Spannungsfestigkeit der Leittechniksysteme.....	5
3.2.2	Grundlagen der Spannungsberechnung	6
4	Begründung der zugrundegelegten Grenzwerte	7
5	Konkrete Betrachtungen anhand einer Referenzanlage	7
6	Bewertung	9
6.1	Referenzanlage.....	9
6.2	Empfehlung	9
7	Beratungsunterlagen	11

1 Anlass der Beratungen

Entsprechend der RSK-Stellungnahme „Einschätzung der Abdeckung extremer Wetterbedingungen durch die bestehende Auslegung“ [1] sollen, internationalen Entwicklungen (ENSREG, RHWG/WENRA) folgend, Nachweise im Auslegungsbereich für die Beherrschung von Wetterbedingungen mit einer Wiederkehrhäufigkeit von $10^{-4}/a$ geführt werden. Sofern sich Einwirkungen von Wetterbedingungen in diesem Häufigkeitsbereich nicht mit hinreichender Aussagezuverlässigkeit ermitteln lassen, sollte mit ingenieurmäßigen Bewertungen deterministisch eine sichere Beherrschung von Einwirkungen aus diesen Wetterbedingungen ausgewiesen werden. Ergänzend wurde angeregt, im Sinne der Robustheit Ereignisse mit darüber hinausgehenden Einwirkungen mit ingenieurmäßigen Abschätzungen zur Ermittlung von Sicherheitsreserven zu berücksichtigen.

Die RSK bat den Ausschuss ELEKTRISCHE EINRICHTUNGEN (EE) um eine entsprechende Beratung zum Thema Blitz.

2 Beratungsverlauf

Zur Klärung der o. g. Fragen wurde der TÜV SÜD IS um diesbezügliche Informationen gebeten. Diese Berichterstattung erfolgte in der 231. Sitzung des EE am 18.09.2013 [2]. Mit Schreiben vom 20.11.2013 [3] wurde der VGB um weitere Informationen gebeten (siehe auch 233. Sitzung am 20.11.2013). Zur 239. Sitzung am 27.08.2014 lagen dem Ausschuss vom VGB Informationen zum aktuellen Stand der Blitzschutz- und Erdungskonzepte sowie der Störspannungsfestigkeit der eingesetzten Leittechniksysteme [4] vor. Mit Schreiben vom 01.09.2014 [5] hat der Ausschuss seine Fragen an den VGB weiter präzisiert. Der vom VGB hinzugezogene Sachverständige Prof. Kern stellte in der 240. Sitzung am 23.09.2014 Ausgangslage und mögliche Auswirkungen von Blitzen mit Parametern oberhalb der genormten Blitzstromparameter vor [6].

Der Ausschuss bat daraufhin, mit der im Vortrag dargelegten qualitativen Darstellung einen quantitativen Nachweis zu erbringen, wonach die Auslegung nach KTA 2206 [7] auch die Beherrschung von Blitzeinwirkungen mit einer Wiederkehrhäufigkeit von $10^{-4}/a$ beinhaltet [8]. Dieser Nachweis könne beispielhaft für den Kernkraftwerksstandort mit der höchsten Blitzdichte erbracht werden und sollte sich auf die beiden relevanten Blitzstromparameter (Scheitelwert und Steilheit) konzentrieren. In der 249. Sitzung am 11.02.2016 wurden die diesbezüglichen Ergebnisse dem Ausschuss dargelegt [9]. In der 253. Sitzung am 07.09.2016 fasste der Ausschuss die Ergebnisse in einem Stellungnahmeentwurf zusammen und legte diesen der RSK zur Beschlussfassung in der 488. Sitzung am 03.11.2016 vor.

3 Grundlagen

3.1 Physikalischer Hintergrund

3.1.1 Blitzentladungen

Gewitter entstehen, wenn warme Luftmassen mit hoher Feuchtigkeit in große Höhe transportiert werden. Unterschieden werden die Gewitterarten Wärmegewitter (erhitzter Boden), Frontgewitter (Kaltfronteinbruch) und orographische Gewitter (ansteigendes Gelände). Durch die hohen Vertikalgeschwindigkeiten in den

Gewitterwolken kommt es zur Ladungstrennung (positive Ladung im oberen Bereich, negative Ladung im unteren Bereich der Gewitterwolke). Ein Blitz ist ein Potentialausgleich innerhalb der Wolke (Wolkenblitz) oder zwischen dem Erdboden und der Wolke (Erdblitz). Dieser Potentialausgleich erfolgt durch einen Kanal ionisierter Luft, der durch den Blitz erzeugt wird. Für die dem Ausschuss EE vorgelegte Fragestellung von Bedeutung sind Blitze zwischen Wolken und Erde, wobei negative Wolke-Erde-Blitze ca. 90 % Anteil und positive Wolke-Erde-Blitze ca. 10 % Anteil an der Erdblitzanzahl haben [2]. Da die positiven Wolke-Erde-Blitze aus höheren Wolkenschichten entstehen und dadurch längere Blitzkanäle benötigen haben sie tendenziell auch höhere Scheitelwerte [12]. In dem Kanal, der durch einen Erstblitz entstanden ist, können insbesondere bei negativen Blitzen mehrere Folgestoßströme unterschiedlicher Stromstärken fließen (Folgeblitze). Da hier der Blitzkanal bereits vorhanden ist, erreichen diese Blitze die höchsten Stromsteilheiten.

3.1.2 Blitzschutznormen

In der Blitzschutznormung sind insgesamt vier Gefährdungspegel mit den entsprechenden Parametern zur Abdeckung der natürlichen Blitzereignisse definiert. So berücksichtigt der höchste Gefährdungspegel 98 % aller natürlichen Blitzereignisse; 1 % entfällt auf Blitze mit niedrigeren, 1 % entfällt auf Blitze mit höheren Parametern. Die unteren 1 % sind sicherheitstechnisch nicht relevant.

In der KTA-Regel 2206 [7] sind die Blitzstromparameter aufgeführt, die den Parametern des höchsten Gefährdungspegels der DIN EN 62305-1 Ed.2: 2011-02 [10] entsprechen. Zur Bestimmung der Einschlagpunkte und einschlaggeschützter Bereiche soll laut KTA 2206 das Blitzkugelverfahren mit einem Radius von 20 m für die Auslegung von Fangeinrichtungen angewendet werden (äußerer Blitzschutz). Davon unabhängig wird ein Blitzeinschlag an jedem Gebäude mit einem maximalen Scheitelwert von 200 kA (positiver Erstblitz) und einer maximalen mittleren Stromsteilheit von 200 kA/μs (negativer Folgeblitz) angesetzt für die Auslegung der Geräte (innerer Blitzschutz).

3.1.3 Blitznormwerte und „natürliche Obergrenze“

Von den vier Wirkungsparametern eines Blitzstromes sind für die Einwirkung auf elektrische Systeme in Kernkraftwerken der Blitzstromscheitelwert (auch Strommaximalwert) und die mittlere Stromsteilheit relevant. Die beiden anderen Parameter, die Impulsladung und die spezifische Energie, sind wesentlich für die Auslegung des äußeren Blitzschutzsystems [2], [6].

Der Scheitelwert ergibt sich aus der Potentialanhebung gegen ferne Erde. Bei fehlendem Potentialausgleich wird es zu einem Überschlag kommen (Blitzeinschlag). Die mittlere Stromsteilheit beschreibt die zeitliche Änderung des Stroms zwischen 10 % und 90 % des Stromanstiegs. Beide Parameter bestimmen die Höhe der elektromagnetisch induzierten Spannungen in offenen und für elektromagnetisch induzierte Ströme in geschlossenen Leiterschleifen. Dies gilt für Überspannungen auf die Leitungssysteme sowohl im Innen- als auch Außenbereich der Anlagen, abhängig u. a. von der Güte der Schirmung der baulichen Einrichtungen (Gebäude, Kabelkanäle) und der Kabel.

In den Blitznormen wird eine mittlere Stromsteilheit festgelegt, wobei der Wert der Stromsteilheit für einen relativ langen Zeitraum (einige 100 ns) gemittelt ist. Der maximale Wert der Stromsteilheit kann kurzfristig höher liegen. Hohe Stromsteilheiten mit Werten im Bereich $> 100 \text{ kA}/\mu\text{s}$ treten grundsätzlich nur bei (negativen) Folgeblitzen auf. Der in der KTA 2206 spezifizierte Maximalwert für die mittlere Stromsteilheit von $200 \text{ kA}/\mu\text{s}$ wird für negative Folgeblitze aus einem Anstieg des Stroms auf 50 kA über eine Zeitdauer von 250 ns hergeleitet.

Untersuchungen zu Blitzen mit hohen Scheitelwerten sind noch Gegenstand der Forschung. Dazu ist die Datenlage der derzeitigen Blitzforschung gering. Im Folgenden werden Aussagen aus unterschiedlichen Quellen zusammen gestellt.

Die Normwerte zu Blitzstrom-Scheitelwerten für Mitteleuropa basieren auf der CIGRE-Statistik¹.

Laut CIGRE-Report wurde bei direkten Blitzmessungen weltweit kein Scheitelwert $> 300 \text{ kA}$ für positive Blitze nachweisbar dokumentiert. International anerkannt ist, dass $\leq 10 \%$ aller Blitzentladungen des positiven Erstblitzes einen Norm-Stromscheitelwert $> 200 \text{ kA}$ aufweisen. Nach einer Quelle treten Werte $> 200 \text{ kA}$ nur bei Wintergewittern in Japan auf [9].

Bei negativen Blitzen liegt der Maximalwert bei $< 200 \text{ kA}$. Ca. 90 % der Blitze sind negativ und ca. 10 % positiv; damit ergibt sich für alle Blitzentladungen eine Eintrittswahrscheinlichkeit von $< 1 \%$ für Scheitelwerte $> 200 \text{ kA}$. Wegen der sehr geringen Zahl direkter Blitzmessungen und der damit verbundenen großen statistischen Unsicherheit ist eine Extrapolation dieses Parameters über den durch Messungen gesicherten Wertebereich hinaus wissenschaftlich nicht belastbar.

Mit der weltweiten Installation von Blitzortungssystemen (z. B. BLIDS der Siemens AG²) werden in den letzten Jahren immer wieder Ergebnisse aus diesen Systemen berichtet, die Scheitelwerte $> 500 \text{ kA}$ enthalten. In verschiedenen Veröffentlichungen (z. B. [12]-[15]) werden diese ermittelten Werte allerdings stark bezweifelt. Mehrere Autoren haben deshalb versucht, natürliche Obergrenzen für Blitzstromscheitelwerte mit mathematisch-physikalischen Modellen zu bestimmen. Dabei wurde basierend auf Messungen von Berger [16] und der Bestimmung eines maximalen elektrischen Feldes über Grund (150 kV/m) ein maximaler Scheitelwert von 450-500 kA für tropische Gebiete und 300 kA für mittlere Breiten abgeleitet [15]. Laut [9] gelten diese Grenzen sowohl für positive als auch negative Erstblitze. Diese Werte gelten aufgrund der Modellannahmen nur über großen Wasserflächen (Ozeanen). In Gebieten mit Vegetation und/oder Gebäuden wird das maximale elektrische Feld reduziert (Corona-Effekt) wodurch hier die maximalen Stromscheitelwerte kleiner werden.

Eine entsprechende Ableitung für eine natürliche Obergrenze für die Stromsteilheit ist aus der Literatur nicht bekannt.

¹ CIGRE-Report: „Lightning parameters for engineering applications” Report No. 549, August 2013. IISBN 978-2-85873-244-9

² <http://www.industry.siemens.com/services/global/de/blids/seiten/default.aspx>

3.1.4 Blitzkugel-Verfahren und dynamisches elektro-geometrisches Modell (DEGM)

Den in den Normen aufgeführten Berechnungen liegt das elektro-geometrische Modell (Blitzkugel-Verfahren) zugrunde. Das Modell basiert darauf, dass sich der Leitblitzkopf den Objekten auf der Erde bis auf die Enddurchschlagstrecke annähert. Es wächst dann von der Erde eine weitere, dem Leitblitz ähnliche „Leader“-Entladung in Richtung Leitblitzkopf entgegen, die sogenannte Fangentladung. Je mehr Ladung in dem Leitblitz enthalten ist, umso früher wird die Fangentladung ausgelöst und umso länger ist die Enddurchschlagstrecke. Dies entspricht dem Radius der Blitzkugel, deren Mittelpunkt der Leitblitzkopf repräsentiert. Je größer die Ladung des Leitblitzes und damit der Blitzstromscheitelwert ist, umso wahrscheinlicher sind Einschläge an exponierten Stellen einer baulichen Anlage zu erwarten. Diese exponierten Stellen werden in der Regel mit Fangstangen gesichert, die eine hohe Einfangwirksamkeit für Blitze besitzen. Allerdings verlangt die KTA 2206 entsprechend den höchsten Anforderungen des konventionellen Regelwerkes DIN EN 62305, dass die Einschlagpunkte nach dem Blitzkugelverfahren mit einem Kugelradius von 20 m ermittelt werden sollen.

In Ergänzung zum klassischen Blitzkugel-Verfahren arbeitet das dynamische elektro-geometrische Modell (DEGM) nicht mit Blitzkugeln mit konstanten Radien; vielmehr wird der Radius der Blitzkugel variiert (Collection Surface Method) [9]. Für das Verfahren werden in internationalen Normen anerkannte Ergebnisse, blitzphysikalische Grundlagen und Untersuchungen (z. B. Blitzstatistik aus CIGRE-Report) verwendet und auf diesen Grundlagen ein numerisches Verfahren erarbeitet. Die aus dem Blitzkugelmodell abgeleitete empirische Formel wird auf das diskretisierte Gesamtvolumen über den bebauten Flächen für verschiedene Volumenpunkte angewendet [9]. Damit kann die Wahrscheinlichkeit eines Einschlags an konkreten Stellen einer baulichen Anlage sowie der dort maximal mögliche Stromscheitelwert aus dem DEGM abgeleitet werden.

3.2 Spannungsberechnung

3.2.1 Spannungsfestigkeit der Leittechniksysteme

Bei Errichtung der deutschen Kernkraftwerke wurde die Spannungsfestigkeit der eingebauten Leittechniksysteme nicht explizit spezifiziert. Für die Leittechnik bestanden Anforderungen an den Schutz gegen galvanische, kapazitive oder induktive Einkopplungen. Nachfolgend wurde das EMV-Lastenheft des VGB „Nachweisführung Elektromagnetische Verträglichkeit für Altsysteme der Leittechnik“ (VGB-Lastenheft) initiiert, das eine EMV-Analyse mit Plausibilitätsnachweis und EMV-Prüfungen bzgl. Spannungsfestigkeit für die in den Anlagen in Betrieb befindlichen „Altsysteme der Leittechnik“ (bei der Errichtung der deutschen Kernkraftwerken eingesetzten Leittechniksysteme) darstellt. Anforderungen an diese Nachweise sind in der KTA 2206 und in der DIN EN 62305-2:2013 [11] beschrieben. Unterstellt wird, dass von den leittechnischen Altsystemen eine eingekoppelte Längsspannung von bis zu 500 V beherrscht wird. Für repräsentative Leittechnikbaugruppen der Altsysteme wurde der Nachweis für eine Spannungsfestigkeit von 500 V³ durch Prüfungen erbracht [4].

³ entspricht Prüfschärfegrad 1 gemäß DIN EN 61000-4-5 „Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) - Teil 4-5: Prüf- und Messverfahren - Prüfung der Störfestigkeit gegen Stoßspannungen

Für neuere Leittechniksysteme (ab TXS/TXP und andere) war der Nachweis der EMV (incl. der Spannungsfestigkeit > 500 V) bereits Bestandteil der Typprüfung.

3.2.2 Grundlagen der Spannungsberechnung

Blitzeinschläge führen zu Spannungsbelastungen an elektrischen und elektronischen Einrichtungen. Für die leittechnischen Einrichtungen in Kernkraftwerken sind vier Fälle zu unterscheiden:

- Spannungen im Inneren von Gebäuden, die direkt vom Blitz getroffen werden,
- Spannungen im Inneren von Gebäuden durch nahe Blitzeinschläge,
- Spannungen an Kabelstrecken in Kabelkanälen,
- Spannungen an geschirmten Erdkabeltrassen.

Im Innern von Gebäuden sind die in Kabelschleifen magnetisch induzierten Spannungen zu betrachten. Dazu ist die Stromsteilheit als bestimmender Blitzstromparameter heranzuziehen. Sowohl im Falle direkter Blitzeinschläge als auch im Falle naher Blitzeinschläge muss von einem Blitz ausgegangen werden, der in eine Gebäudestruktur einschlägt. Durch die Strukturresonanzen der Gebäude werden die hohen Stromsteilheiten „bedämpft“. Gemäß KTA 2206 ist eine unzulässig hohe blitzbedingte Spannungseinkopplung auf den Kabelstrecken innerhalb der Gebäude nicht zu besorgen, wenn die Schirmung der Gebäude und die Verlegung und Schirmung der Kabel entsprechend KTA 2206 ausgeführt ist.

In Kabelkanälen befinden sich die Kabel durch die bewehrte Betonstruktur in einem geschirmten Umfeld. Dabei sind die Kabelkanäle erdfühlig verlegt, d. h. bei Einschlag eines Blitzes wird der Blitzstrom über das Erdreich abgeleitet. Kabelpritschen, insbesondere wenn diese abgedeckt sind, wirken wie eine weitere Schirmung und erhöhen somit den Schutz. Für mögliche Spannungseinträge an Leittechnik-Kabeln in Kabelkanälen sind in KTA 2206 Berechnungsvorschriften enthalten. Hochfrequente Blitzeinwirkungen negativer Erstblitze und/oder negativer Folgeblitze stellen dabei die höchsten relevanten Belastungen dar. Üblicherweise werden an solchen Kabelstrecken bei zugrunde gelegten maximalen mittleren Stromsteilheit gemäß KTA 2206 (200 kA/μs für negative Folgeblitze bzw. 100 kA/μs für negative Erstblitze) Spannungen im Bereich von einigen 10 V bis wenige 100 V ermittelt.

Demgegenüber ist eine Erdkabeltrasse in der Regel ein PVC/PE-Rohr, in dem sich das/die Kabel mit Kabelschirm befinden. Der Kabelschirm ist an beiden Enden niederimpedant mit der Gebäudearmierung verbunden. Längs des Kabels kann durch die Isolierung mittels des PVC/PE-Rohres kein signifikanter Strom in Richtung Erdreich abfließen. Hochfrequente Blitzströme spielen damit keine Rolle, da Kabeltrassen aufgrund der hohen Induktivität wie ein Tiefpass wirken. Bei Kabeltrassen ist daher der maximale Blitzstromscheitelwert als Einwirkungspotential zu betrachten. In der KTA 2206 wird lediglich der positive Erstblitz zur Berechnung herangezogen, weil dieser aufgrund des höchsten Scheitelwertes die höchsten Spannungsinduktionen im Kabel verursacht. Die induzierte Spannung ist dabei direkt proportional zum Scheitelwert.

4 Begründung der zugrundegelegten Grenzwerte

Aufgrund der geringen Datenbasis ist es nicht möglich, die relevanten Blitzparameter für einen Blitzeinschlag mit einer Eintrittshäufigkeit von $10^{-4}/a$ empirisch zu ermitteln (siehe Abschnitt 3.1.3). Laut WENRA wird alternativ vorgeschlagen, dass, sofern sich Einwirkungen in diesem Häufigkeitsbereich nicht mit hinreichender Aussagezuverlässigkeit ermitteln lassen, mit ingenieurmäßigen Bewertungen deterministisch eine sichere Ereignisbeherrschung sowie eine hohe Robustheit ausgewiesen werden soll.

Nach Ansicht der RSK kann aufgrund der vorliegenden Messungen, Beobachtungen in gemäßigten Breitengraden und theoretischen Untersuchungen von einer natürlichen Obergrenze eines Blitzstromsichelwerts von 300 kA in gemäßigten Breitengraden ausgegangen werden. Dies entspricht dem 1,5-fachen Wert des in der KTA 2206 festgelegten Stromsichelwerts. Eine solche natürliche Obergrenze ist für die mittlere Stromsteilheit nicht bekannt. Für die weitere Betrachtung wurde in Analogie zum Stromsichelwert die mittlere Stromsteilheit um 50 % gegenüber dem Wert der KTA angehoben, d. h. ein Wert von 300 kA/ μ s angesetzt.

5 Konkrete Betrachtungen anhand einer Referenzanlage

Die beschriebenen Ansätze wurden für ein konkretes KKW angewendet. Als Referenzanlage wurde die Anlage gewählt, die aufgrund ihrer geografischen Lage die höchste Blitzdichte (ca. 3,6 /($\text{km}^2 \cdot a$)) aller deutschen KKW-Standorte aufweist. Bei der Fläche des Kernkraftwerks von ca. 0,44 km^2 ist demnach mit 1,6 Blitzeinschlägen pro Jahr zu rechnen. Bei den Berechnungen wurde konservativ die mögliche schützende Wirkung von nicht zur betrachteten Anlage gehörenden Gebäuden nicht berücksichtigt.

Für die nachfolgende Betrachtung wird davon ausgegangen, dass die Referenzanlage mit einer Schirmung gemäß KTA 2206 ausgerüstet ist. Deshalb wurden die induzierten Spannungen im Innern der Gebäude aufgrund direkten oder nahen Blitzeinschlags nicht betrachtet.

Die untersuchten Leittechnikabel wurden unter konservativen Gesichtspunkten (bzgl. Kabellängen und Verlegeart) ausgewählt. Für diese Kabel wurden die maximalen blitzinduzierten Längsspannungen für die Blitzstromnormwerte (200 kA; 200 kA/ μ s) und ebenfalls für die oben abgeleiteten erhöhten Blitzstromwerte (300 kA; 300 kA/ μ s) berechnet.

Für die Nachweisbetrachtungen wurden Leittechnik-Kabelstrecken in Kabelkanälen und in Erdkabeltrassen im Bereich der Blockgebäude bzw. innerhalb des äußeren Sicherheitsbereichs und zu peripheren Gebäuden außerhalb des äußeren Sicherheitsbereichs herangezogen. Untersucht wurde, inwieweit bei einem Einschlag eines Blitzes durch die induzierten Längsspannungen an den abgehenden Kabelstrecken (Kabelkanäle und Erdkabeltrassen) noch ein Abstand zu der nachgewiesenen Spannungsfestigkeit der Leittechniksysteme von 500 V erhalten bleibt.

Die einzelnen Gebäude wurden modelliert und die Blitzeinschlagwahrscheinlichkeiten und –stärken gemäß DEGM berechnet [9]. Mit dem Modell wurde sowohl die Wahrscheinlichkeit eines Blitzeinschlages in ein bestimmtes Gebäude als auch die maximal mögliche Stromsichelhöhe je Gebäude bestimmt. Für die

peripheren Gebäude (Nebenkühlwasserentnahmebauwerke 1UPD und 2UPD, sowie Nebenkühlwasserpumpenbauwerk 2UQB) wurde die Blitzeinschlagwahrscheinlichkeit nach DIN EN 62305-2:2013 [11] bestimmt und der maximale Blitzstromscheitelwert mit 300 kA angenommen, da hier keine schützende Gebäude vorhanden sind.

Aus der tabellarischen Zusammenstellung in [9] geht hervor, dass mit höchster Wahrscheinlichkeit und maximalem Blitzstromscheitelwert > 200 kA der Kamin (UKH), der Kühlturm (URA) und das Maschinenhaus (UMA), sowie die peripheren Nebenkühlwassergebäude (1UPD, 2UPD und 2UQB) getroffen werden. Alle anderen Gebäude (Lagergebäude, sonstige Versorgungsgebäude), für die ein Blitzstromscheitelwert > 200 kA ermittelt wurde, haben keine sicherheitstechnische Bedeutung. Wie zu erwarten war, können der Kamin ($N_D^4 = 0,4/a$) und der Kühlturm ($N_D = 0,8/a$) am häufigsten von Blitzen getroffen werden.

Im Weiteren erfolgten die Spannungsberechnungen an Leittechnik Kabeln in Kabelkanälen und Erdkabeltrassen.

Im Falle von blitzinduzierten Spannungen an Leittechnik Kabeln in Kabelkanälen wird die Berechnung nach KTA 2206 (Methodik und Maximalwerte) durchgeführt. In der Referenzanlage wurden im Rahmen der Umsetzung von KTA 2206 für alle Kabel in den Kabelkanälen Spannungswerte < 100 V ermittelt, d. h. weit unterhalb der Spannungsfestigkeit der leittechnischen Systeme [17]. Auch bei um 50 % erhöhten Werten für den Blitzstromscheitelwert und die Stromsteilheit treten keine untolerierbar hohen Spannungen an den LT-Einrichtungen auf.

Im Falle der geschirmten Kabel in Erdkabeltrassen wurde für die Analyse für jedes Gebäude mit sicherheitstechnisch wichtigen Einrichtungen mindestens eine Erdkabelstrecke unter konservativen Gesichtspunkten ausgewählt. Relevant sind insbesondere lange Kabelstrecken mit Erdkabeln. Hierzu wurde eine Tabelle erstellt, aus der die Länge der Kabeltrassen zwischen den einzelnen Gebäuden hervorgeht. Mit diesen Kabellängen und dem Strommaximalwert von 200 kA wurden für die Kabeltrassen zwischen Gebäuden, die sicherheitstechnisch wichtigen Einrichtungen enthalten, die Längsspannungen entsprechend KTA 2206 ermittelt. Für sechs Kabeltrassen ergaben sich Längsspannungen von > 500 V (bei Strommaximalwerten von 300 kA sind es acht Kabeltrassen).

Anschließend wurden die Längsspannungen mit den laut DEGM ermittelten maximalen Stromscheitelwerten (bis hin zu 300 kA) der Gebäude bestimmt. Mit diesem Ansatz ergibt sich, dass nur bei vier Kabeltrassen die eingekoppelten Längsspannungen den Wert von 500 V überschreiten.

Der VGB wies daraufhin, dass der Bedarf der Nachrüstung von Überspannungsschutzgeräten bereits im Vorfeld erkannt wurde. Durch die Analyse wurde der Bedarf bestätigt. Dabei enthalten zwei der vier Kabelstrecken sicherheitstechnisch wichtige Leittechnik Kabel der Störfallinstrumentierung, die u. a. die Messung der Gesamtaktivitätsabgabe und die Überwachung der Temperatur in den Pumpenräumen des Nebenkühlwassersystems betreffen. Für die Messung der Gesamtaktivitätsabgabe sind laut BHB bei Ausfall Ersatzmaßnahmen vorgesehen. Insgesamt sind die betroffenen Kabel sicherheitstechnisch wichtig, allerdings im Hinblick auf den Erhalt vitaler Funktionen nicht relevant.

⁴ N_D : jährliche Zahl der Blitzeinschläge

Es wird darauf hingewiesen, dass die Spannungsüberschreitung in diesen Kabeln sich bereits bei der Anwendung der Normblitzparameter nach KTA 2206 ergaben.

6 Bewertung

6.1 Referenzanlage

Die Auswahl der Referenzanlage ist aus Sicht der RSK aufgrund der geographischen Lage (hohe Blitzdichte) und der Fläche der Anlage nachvollziehbar. Die Methode der Nachweisführung, basierend auf der deterministischen Auslegung nach KTA 2206 mit den spezifizierten Normparametern ergänzt durch Anwendung variabler Blitzkugelradien (wie auch im DEGM herangezogen) mit Blitzparametern bis zu den angesetzten Obergrenzen, ist aus Sicht der RSK nachvollziehbar und entspricht dem derzeitigen Stand von Wissenschaft und Technik.

Im Falle von Spannungen an LT-Kabeln in Kabelkanälen wurde die Berechnung nach KTA 2206 durchgeführt. Im Falle der Referenzanlage ergeben sich für alle Blitzarten Längsspannungen von < 100 V. Man kann also davon ausgehen, dass auch bei Ansatz höherer Blitzstromscheitelwerte für die positiven Erstblitze bzw. höherer Stromsteilheiten für die negativen Folgeblitze nur tolerierbare Spannungen an den LT-Einrichtungen auftreten (< 150 V).

Bei den erdverlegten Kabeltrassen ergaben sich für vier Kabeltrassen Überschreitungen der zulässigen Werte der eingekoppelten Längsspannungen. Diese Überschreitungen ergaben sich schon bei der Zugrundelegung des maximalen Stromscheitelwerts nach KTA 2206 (200 kA).

Im Falle der Referenzanlage zeigt sich, dass mit Erfüllung der KTA 2206 auch der Nachweis der Beherrschung von Blitzeinschlägen mit Parametern mit den zugrunde gelegten Obergrenzen bei gleichzeitiger Anwendung variabler Blitzkugelradien geführt werden konnte.

Der Wert der mittleren Stromsteilheit spielt unter den Gegebenheiten der Referenzanlage keine Rolle. Als maximaler Stromscheitelwert wurde in den Betrachtungen dessen „natürliche Obergrenze“ nach [9] verwendet. Unter der Voraussetzung der Nachrüstung der Überspannungsschutzgeräte in den identifizierten Kabeltrassen kann die Einhaltung des Grenzwertes der Spannungsfestigkeit für alle sicherheitstechnisch wichtigen LT-Kabel gezeigt werden. Unter dieser Voraussetzung kann für die Referenzanlage sowohl deterministisch eine sichere Ereignisbeherrschung als auch eine hohe Robustheit attestiert werden.

6.2 Empfehlung

Eine generelle Übertragung der Ergebnisse der Analyse der Referenzanlage auf andere Anlagen ist aus Sicht der RSK nicht möglich. Inwiefern bei postulierten Blitzeinschlägen in Anlagen, die z. B. keinen Kühlturm haben, höhere Spannungen als bei der Referenzanlage induziert würden, erfordert aus Sicht der RSK eine anlagenspezifische Analyse. In den Analysen sind magnetisch induzierte Spannungen im Inneren der Gebäude zu berücksichtigen, falls Gebäude nicht mit einer Schirmung gemäß der Regel KTA 2206 ausgerüstet sind. Auch zeigte sich, dass Anordnung, Anzahl und Länge von Kabelkanälen bzw. Erdkabeltrassen mitbestimmend für die Nachweisführung sind.

Da sich die Einwirkungen von Blitzen im Häufigkeitsbereich bis $10^{-4}/a$ nicht mit hinreichender Aussagezuverlässigkeit ermitteln lassen, soll mit ingenieurmäßigen Bewertungen deterministisch eine sichere und robuste Beherrschung von Einwirkungen ausgewiesen werden. Die RSK empfiehlt dazu über die Anforderungen der Regel KTA 2206 hinaus, den Nachweis der Beherrschung von Blitzeinschlägen mit Blitzparametern der festgelegten Obergrenzen (300 kA; 300 kA/ μ s) zu führen. Letzteres kann anlagenspezifisch auf Basis der Berechnungsvorschriften der KTA 2206 oder alternativ mithilfe variabler Blitzkugelradien erfolgen.

7 **Beratungsunterlagen**

- [1] RSK-Stellungnahme „Einschätzung der Abdeckung extremer Wetterbedingungen durch die bestehende Auslegung“, 462. Sitzung der Reaktor-Sicherheitskommission am 06.11.2013

- [2] TÜV Süd IS, IS-ETL 1-MUC, Dr. Frentzel, „Blitze mit Parametern oberhalb der genormten Blitzstromparameter“, Bonn 17.07.2013, Folienvortrag

- [3] Schreiben der RSK/ESK-Geschäftsstelle an den VGB, „Blitze mit Parametern oberhalb der genormten Blitzstromparameter“ vom 20.11.2013, Az.:EE233\EE233_BR2013_VGB_Blitzschutz

- [4] VGB Powertech, Stellungnahme, Essen, 15.08.2014

- [5] Schreiben der RSK/ESK-Geschäftsstelle an den VGB, „Blitze mit Parametern oberhalb der genormten Blitzstromparameter“ vom 01.09.2014, Az.: EE239\EE239_BR2014_VGB_Robustheit Blitzschutz

- [6] Prof. Dr.-Ing. Alexander Kern, Fachhochschule Aachen, Campus Jülich, „Blitze mit Parametern oberhalb der genormten Blitzstromparameter - Ausgangslage und mögliche Auswirkungen“, RSK-EE, 23.09.2014, Foliensatz

- [7] KTA 2206 „Auslegung von Kernkraftwerken gegen Blitzeinwirkungen“, Fassung 2009-11

- [8] Schreiben an den VGB „Blitze mit Parametern oberhalb der genormten Blitzstromparameter“, Az.:EE241\EE241_BR2014_VGB_Robustheit Blitzschutz-11-2014 vom 12.11.2014

- [9] Prof. Dr.-Ing. Alexander Kern, Fachhochschule Aachen, Campus Jülich, „Nachweis der Beherrschung von Blitzeinschlägen mit Parametern oberhalb der Normung“, RSK-EE, 11.02.2016, VGB 02/2016, Foliensatz

- [10] DIN EN 62305-1 Ed.2:2011-10: „Blitzschutz“ - Teil 1: Allgemeine Grundlagen

- [11] DIN EN 62305-2:2013-02: “Blitzschutz” - Teil 2: Risiko-Management

- [12] Vernon Cooray, „On the Upper Limit of Peak Current in Return Strokes of Lightning Flashes”; Proceedings of the X International Symposium on Lightning Protection (SIPDA), November 2009, Curitiba, Brazil

- [13] G. Diendorfer, W. Schulz, “Critical Analysis of LLS Detected Very Large Peak Current Lightning Strokes”, Proceedings of the International Lightning Detection Conference (ILDC); Tucson, AZ, 2008

-
- [14] O. Pinto Jr., "Revisiting Lightning Data of Large Peak Current Negative Flashes Observed by the Brazilian Lightning Location Network", Proceedings of the 21st International Lightning Detection Conference (ILDC); Orlando, Florida, 2010
- [15] Vernon Cooray, Vladimir Rakov, „On the Upper and Lower Limits of Peak Current of First Return Strokes of Negative Lightning Flashes”; Atmospheric Research 117, pp. 12-17, 2012
- [16] K. Berger, R.B. Anderson, H. Kroninger, „Parameters of lightning flashes“, Electra 41, pp. 23-37, 1975
- [17] Alexander Kern, "Blitz- und Überspannungsschutz von Kernkraftwerken- Nachweisführung der ausreichenden Sicherheit für leittechnische Einrichtungen auch bei Blitzeinschlägen mit extremen Parametern", atw Vol. 61 (2016)/ Issue 8/9 - August/September