Blitzstoßstromableiter und Überstrom-Schutzeinrichtungen

E. Hering, Dresden

Es wird die Wirkung der Blitzstoßströme und Folgeströme auf Überstrom-Schutzeinrichtungen (z. B. NH-Sicherungen) beschrieben. Die möglicherweise daraus resultierenden Nachteile, Schäden und Gefahren werden erörtert sowie Maßnahmen zu ihrer Vermeidung behandelt. Die damit im Zusammenhang stehenden Berechnungen werden dargelegt. Dafür erforderliche Kennwerte sind in Tafeln zusammengestellt.

1 Beanspruchung der Überstrom-Schutzeinrichtungen

Überstrom-Schutzeinrichtungen (z. B. NH-Sicherungen), die zwischen der Hausanschlußleitung und den Blitzstromableitern angeordnet sind, werden mindestens wie diese von Strömen durchflossen und beansprucht. Im Beispiel vom Bild ❶ betrifft das die Hausanschlußsicherung HAS und – sofern vorhanden – die Vorsicherung BAS [1][2][3].

Das bedeutet jedoch nicht, daß die Beanspruchung der Überstrom-Schutzeinrichtungen durch den Einsatz von Blitzstromableitern erhöht wird. Im Gegenteil. Wenn die Blitzstromableiter fehlen, können in der Anlage unkontrollierte Überschläge erfolgen, deren Fehlerlichtbögen erst durch das Ansprechen der Überstrom- Schutzeinrichtungen gelöscht werden.

1.1 Beanspruchung durch Blitzstoßströme

Ein Zweig-Stoßstrom I_Z als Anteil des gesamten Blitzstoßstroms I_G fließt über die Hausanschlußleitung. Das gilt

- sowohl bei einem Blitzeinschlag in das Versorgungsnetz (z. B. in einen Kabelverteiler) oder in eine damit verbundene Anlage (z. B. Blitzschutz- oder Verbraucheranlage)
- als auch bei einem Einschlag in den äußeren Blitzschutz des betrachteten Hauses gemäß Bild ❶.

Der zuletzt genannte Fall läßt im allgemeinen den größeren Anteil des Zweig-Stoßstroms I_Z vom gesamten Blitzstoßstrom I_G erwarten und wird somit der kritischere sein ([1], Abschn. 7.1). Er wird darum den weiteren Betrachtungen zugrundegelegt. Blitzstoßströme und ihre Zweigströme werden immer als Scheitelwerte angegeben; sie haben immer die Welle (10/350 µs). Der zu berücksichtigende maximale B1itzstoßstrom I_G ergibt sich nach Tafel ❶ aus der Blitz-Schutzklasse ([1], Abschn. 3; [3], Abschn. 3.2a). Davon fließt ein Anteil nach Gl. (1) als Zweig-Stoßstrom I_Z über den Hausanschluß.

$$I_Z = v \cdot I_G \qquad (1)$$

$$v = I_Z / I_G \qquad (2)$$

Der Verzweigungsquotient v (Benennung und Formelzeichen vom Verfasser) ergibt sich aus der Verzweigung des Blitzstoßstroms, die ihrerseits hauptsächlich von der Anzahl und den Eigenschaften der dafür vorhandenen Strompfade abhängt. Im Extremfall, wenn wie im Bild ❶ als Strompfade nur der Hausanschluß und der eigene Erder des Hauses zur Verfügung stehen, kann v bis zu etwa 0,5 betragen. Zusätzliche Strompfade setzen v herab. Darauf wird im Abschn. 4.4 zurückgekommen.

Der Zweig-Stoßstrom I_Z seinerseits teilt sich gemäß Gl. (3) und Tafel ❷ in die pro Leiter der Hausanschlußleitung fließenden Zweig-Stoßströme I_{ZZ} auf.

$$I_{ZZ} = I_Z / m \qquad (3)$$

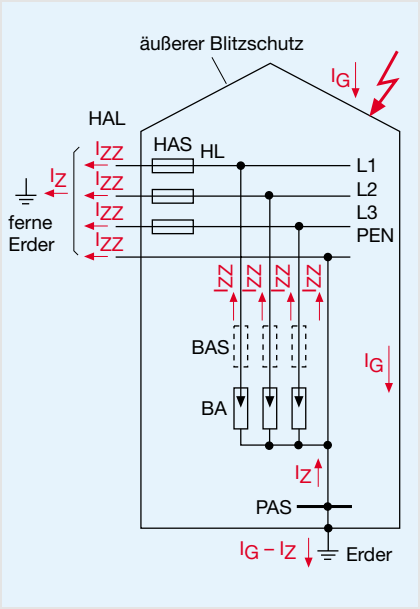
m = Anzahl der Leiter des Hausanschlusses.

Dieser Zweig-Stoßstrom I_{ZZ} belastet die von ihm durchflossenen Leiter, Blitzstromableiter und Überstrom-Schutzeinrichtungen (z. B. NH-Sicherungen), die zwischen dem Hausanschluß und dem Potentialausgleichssystem angeordnet sind. Er ist für die dynamische Beanspruchung direkt maßgebend.

Die thermische Beanspruchung erfolgt durch die spezifische Energie W/R. Das ist die auf den Widerstand bezogene Wärmemenge, die bei einer Durchströmung entsteht, während der wegen der Kurzzeitigkeit keine bedeutende Wärmeabgabe erfolgt. Sie ist gleich dem Stromquadrat-Zeit-Integral $\int i^2\,dt$. Ferner ist sie vergleichbar mit dem I^2t-Wert oder Durchlaßwert von Überstrom-Schutzeinrichtungen. Sie ergibt eine annähernd proportionale Temperaturerhöhung der

Autor

Dipl.-Ing. (FH) *Enno Hering* ist Mitglied des AK „Starkstromanlagen bis 1000 V“ des VDE-Bezirksvereins Dresden.



❶ **Verzweigung des Blitzstoßstroms beim Einschlag in den äußeren Blitzschutz eines Hauses mit Hauptleitung im TN-C- System (Die Richtungen der Strompfeile entsprechen den Ausbreitungsrichtungen der Stoßströme und Stoßspannungen.)**
BA Blitzstromableiter; BAS Vorsicherung für BA; HAL Hausanschlußleitung; HAS Hausanschlußsicherung; HL Hauptleitung; I_G gesamter Blitzstoßstrom; I_Z über die HAL fließender Zweig-Stoßstrom; I_{ZZ} pro Leiter der HAL, pro Blitzstromableiter und pro Sicherung fließender Zweig-Stoßstrom; PAS Potentialausgleichsschiene

Tafel ❶ Blitzstromparameter in Abhängigkeit von der Blitz-Schutzklasse

Blitz-Schutzklasse	I	II	III / IV
Gesamter Blitzstoßstrom I_G (Scheitelwert) in kA	200	150	100
Spezifische Energie $W/R = P$ in kA^{2}s	10.000	5.600	2.500
Die Werte sind aus VDE V 0185 Teil 100 [4] und VDE 0185 Teil 103 [5] entnommen.			

Tafel ❷ Zweig-Stoßströme in Abhängigkeit von der Blitz-Schutzklasse, der Verzweigung und der Leiterzahl

Blitz-Schutz-klasse	I	II	III/IV
I_Z in kA	v·200	v·150	v·100
I_{ZZ} in kA	(v·200)/m	(v·150)/m	(v·100)/m
I_Z Zweig-Stoßstrom im Hausanschluß; I_{ZZ} Zweig-Stoßstrom pro Leiter der Hausanschlußleitung; v Verzweigungsquotient, siehe Gl. (2) und Abschnitt 4.4.; m Anzahl der an der Stromleitung beteiligten Leiter der Hausanschlußleitung			

Tafel 3 Spezifische Energie in Abhängigkeit vom Stoßstrom mit der Welle (10/350 µs)

I_{imp}	P	I_{imp}	P	I_{imp}	P
4	4	18	81	40	400
6	9	20	100	50	625
8	16	22	121	60	900
10	25	24	144	70	1225
12	36	26	169	80	1600
14	49	28	196	90	2025
16	64	30	225	100	2500

I_{imp} Stoßstrom (Scheitelwert) in kA; P spez. Energie in kA²s. Wird I_{ZZ} eingesetzt, so ergibt sich P_{ZZ}.
Die Werte wurden mit der Gl. (7) errechnet.

Tafel 4 Spezifische Energie P_F durch Folgestrom in Abhängigkeit vom prospektiven Kurzschlußstrom bei einfachen Blitzstromableitern

I_K in kA	bei $I_F = I_K$ [a]	bei reduziertem I_F und P_F [b] Marke/Typ	
		DEHN/ DEHN-port 255 V	Phoenix/FLASHTRAB FLT 25-400, 60-400; F & G/VFB-1, -2; OBO/LA 25 B, 60 B
	Max. Wert von P_F in kA²s bei 230 V		
0,4	1,6	0	0,5
0,6	3,6	0	1,1
0,8	6,4	0	1,9
1,0	10,0	0	3,6
1,2	14,4	0	4,3
1,4	19,6	0	5,7
1,6	25,6	0	7,5
1,8	32,4	0	9,4
2,0	40,0	13,9	10,0
2,5	62,5	22,3	16,9
3,0	90,0	33,0	22,5
3,5	123	43,7	32,4
4,0	160	65,0	40 [c]

I_K prospektiver (unbeeinflußter) Kurzschlußstrom (Effektivwert); I_F Folgestrom (Effektivwert); P_F spezif. Energie durch Folgestrom;
a) $P_F = I_K^2 \cdot 0{,}01$ s; b) Reduzierung von I_F und P_F durch Reihenschaltung zweier Lichtbögen in bestimmten Geräten, Werte für P_F nach Angaben der Firmen DEHN u. Phoenix; c) Nur für FLT 60-400, VFB-2 und LA 60 B.

Tafel 5 Spezifische Energie P_F durch Folgestrom in Abhängigkeit vom prospektiven Kurzschlußstrom bei folgestrombegrenzenden Blitzstromableitern

I_K in kA	Marke/Typ	
	DEHN/ DEHNport Maxi	Phoenix/ FLASHTRAB FLT-PLUS [10]
	P_F in kA²s bei 230 V	
0,4	1,0	0,1
0,6	1,4	0,1
1	1,8	0,1
2	2,1	0,5
3	2,3	1,1
4	2,4	2,0
5	2,5	3,0
6	2,6	4,4
8	2,8	7,7
10	3,0	12
15	3,3	27
20	3,5	48

Werte für Maxi nach Diagramm in [9]. Werte für FLT-PLUS nach Angaben der Fa. Phoenix.

stromdurchflossenen Teile der Betriebsmittel (z. B. Leitungen, Sicherungen, Geräte). Im folgenden wird sie mit dem Formelzeichen P angegeben.

$$P = W / R = \int i^2 \, dt = I^2 t \quad (4)$$

$$1 \text{ J}/\Omega = 1 \text{ A}^2\text{s} \quad (5)$$

$$1 \text{ kJ}/\Omega = 10^3 \text{ A}^2\text{s} = 1 \text{ kA}^2\text{s} \quad (6)$$

Die spezifische Energie ist dem Quadrat des Blitzstoßstroms proportional. Das gilt auch für die Zweigströme des Blitzstoßstroms. Die pro Leiter und damit auch pro Überstrom-Schutzeinrichtung auftretende spezifische Energie P_{ZZ} ergibt sich aus I_{ZZ} wie folgt:

$$P_{ZZ} = 2500 \text{ kA}^2\text{s} \, (I_{ZZ} / 100 \text{ kA})^2 \quad (7)$$

Danach errechnete Werte enthält Tafel 3.

1.2 Beanspruchung durch Folgeströme

In den Blitzstromableitern zündet die Stoßspannung einen Lichtbogen, wodurch sie vom isolierenden in einen niederohmigen Zustand überführt werden und worauf ihre Wirkung als Überspannungs-Schutzeinrichtung beruht. Nach Wegfall der Stoßspannung fließt ein von der Wechselspannung getriebener Folgestrom I_F über die Lichtbögen und die vorgeordneten Anlageteile. Wegen des kleinen Widerstands der Lichtbögen wirkt der Folgestrom wie ein Kurzschlußstrom.
Durch das Verlöschen des Lichtbogens tritt der isolierende Zustand des Blitzstromableiters wieder ein. Das muß spätestens nach einer Halbwelle des Wechselstroms geschehen.
Darauf beruht die Tafel 4, die für einfache Blitzstromableiter die spezifische Energie P_F in Abhängigkeit vom prospektiven Kurzschlußstrom (Effektivwert) an der Einbaustelle angibt. Untersuchungen ergaben, daß beim überwiegenden Teil (um 80 %) der Hausanschlüsse der prospektive (unbeeinflußte) Kurzschlußstrom unter 4 kA liegt [8]. Der konkrete Wert muß jedoch von Fall zu Fall vom zuständigen EVU erfragt werden.
Bei prospektiven Kurzschlußströmen über 4 kA an der Einbaustelle sind nur folgestrombegrenzende Blitzstromableiter geeignet. Diese haben die wesentlich kleineren Werte der spezifischen Energie P_F nach der Tafel 5, weil sie den Folgestrom sowohl hinsichtlich seiner Größe als auch in seiner Dauer erheblich begrenzen ([1], Abschnitt 7.1).

1.3 Gesamte dynamische Beanspruchung

Die Scheitelwerte von Blitzstoßstrom und Folgestrom fallen zeitlich nicht zusammen, so daß die Wirkungen getrennt betrachtet werden können. Der höchste Scheitelwert der beiden Ströme ist für die Beanspruchung entscheidend.

Tafel 6 Grenzwerte des Stoßstroms I_{imp} (10/350 µs) zur Verhütung von Schäden an Überstrom-Schutzeinrichtungen

Nennstrom in A								
40	50	63	80	100	125	160	200	250
Grenzwert des Stoßstroms in kA, bis zu dem die NH-Sicherungen nicht explodieren								
(16)	(18)	20	(22)	25	(30)	50	70	75
Grenzwert des Stoßstroms in kA, bis zu dem die SHU-Schalter nicht zerstört werden								
17,5	20	20	22,5	22,5				

Nicht eingeklammerte Werte für NH-Sicherungen nach [12][13][14], eingeklammerte Werte nach vorsichtiger Schätzung durch den Verfasser. Werte für SHU-Schalter nach Angaben der Fa. ABB Stotz-Kontakt GmbH. Hinsichtlich der Verhütung von Schäden sind beide Arten von Überstrom-Schutzeinrichtungen mit Nennströmen ab 80 A geeignet, denn es genügen Werte über 20 kA, weil nach [4] (siehe Abschn. 4.4 dieses Beitrags) bei der Blitzschutzklasse I die Größe *v* für die Verzweigung des Blitzstroms kleiner ist als bei den anderen Blitzschutzklassen.

Tafel 7 Grenzwerte der spezifischen Energie P_S zur Vermeidung von Abschaltungen durch Überstrom-Schutzeinrichtungen

Nennstrom in A								
40	50	63	80	100	125	160	200	250
Grenzwert der spezifischen Energie für das Vermeiden des Abschmelzens von NH-Sicherungen in kA²s								
1,3	2,0	3,2	5	8	12	22	39	69
Grenzwert der spezifischen Energie für das Vermeiden des Ausschaltens von SHU-Schaltern in kA²s								
(33)	(38)	50	50	55				

Werte für NH-Sicherungen zur Anwendung empfohlen, Ermittlung siehe Text-Fußnote[1]. Nicht eingeklammerte Werte für SHU-Schalter nach Angabe der Fa. ABB Stotz-Kontakt GmbH. Eingeklammerte Werte nach vorsichtiger Schätzung durch den Verfasser.

1.4 Gesamte thermische Beanspruchung

Die Überstrom-Schutzeinrichtungen werden zunächst von der spezifischen Energie P_{ZZ} des Zweig-Stoßstroms I_{ZZ} und dann von der spezifischen Energie P_F des Folgestroms I_F erwärmt. Die gesamte Erwärmung entspricht der resultierenden spezifischen Energie P_R:

$$P_R = P_{ZZ} + P_F \qquad (8)$$

Dabei ist die durch den Betriebsstrom verursachte Vorerwärmung der Überstrom-Schutzeinrichtungen, an die außer den Blitzstromableitern auch die Verbraucheranlagen angeschlossen sind (z. B. HAS im Bild 1), noch nicht berücksichtigt.

2 Beanspruchbarkeit der Überstrom-Schutzeinrichtungen

Zwischen der Hausanschlußleitung und den Blitzstromableitern werden als Überstrom-Schutzeinrichtungen (z. Z. noch) überwiegend NH-Sicherungen eingesetzt. Alternativ können spannungsunabhängige selektive Haupt-Leitungsschutzschalter nach Entwurf zu VDE 0645 [11] („SHU-Schalter“) verwendet werden. Andere Leitungsschutzschalter sind auf diesem Strompfad nicht geeignet.

2.1 Grenzwerte zur Verhütung von Schäden

In der Tafel 6 sind die Grenzwerte des Stoßstroms zur Verhütung von Schäden an den Überstrom-Schutzeinrichtungen angegeben. Bei den NH-Sicherungen spielt die dynamische Beanspruchbarkeit keine Rolle, weil die thermische immer kleiner ist und somit die Grenze bestimmt. Bei den Schaltern liegt der Fall anders, denn sie sind thermisch höher beanspruchbar, und durch das Vorhandensein von Spulen können bedeutende magnetische Kräfte auftreten.

2.2 Grenzwerte zur Vermeidung von Abschaltungen

Wenn Abschaltungen vermieden werden sollen, muß die spez. Energie (Durchlaßwert) P_S der Überstrom-Schutzeinrichtungen mindestens so groß wie die resultierende spez. Energie P_R nach Gl. (8) im Abschn. 1.4 sein. Dabei ist immer die untere Grenze des Streubereichs maßgebend. Diese Grenzwerte sind in Tafel 7 zusammengestellt[1].

Von NH-Sicherungen und selektiven Haupt-Leitungsschutzschaltern wird eine strombegrenzende Wirkung verlangt, so daß sie das Auftreten des Höchstwerts sehr großer Stoßkurzschlußströme verhindern [15]. Bei NH-Sicherungen geschieht dies durch das schnelle Abschmelzen, was leider eine kleine spezifische Energie P_S und eine geringe Belastbarkeit durch Blitzstoßströme bedeutet. SHU-Schalter erfüllen die erwähnte Aufgabe durch das vorläufige Öffnen ihrer Schaltglieder (ohne endgültige Abschaltung). Dadurch weisen sie eine erheblich größere spez. Energie P_S auf.

3 Anforderungen

Im Hinblick auf das Auftreten von Zweig-Blitzströmen sind an die Überstrom-Schutzeinrichtungen und deren Schaltung sowie an die Gestaltung der übrigen Anlage folgende Anforderungen zu stellen:

a) Explosionen von NH-Sicherungen und Zerstörungen von Schaltern müssen verhütet werden, denn sie könnten zu Beschädigungen von Gehäusen, zu Verletzungen von Personen, zu Fehlerlichtbögen mit Brandfolge und zu längeren Versorgungsunterbrechungen führen.

b) Blitzstromableiter dürfen nicht dadurch unwirksam werden, daß Überstrom-Schutzeinrichtungen sie von der zu schützenden Anlage trennen.

c) Die Stromversorgung soll nach Möglichkeit nicht dadurch unterbrochen werden, daß Überstrom-Schutzeinrichtungen abschalten.

Ist das Abschalten durch Überstrom-Schutzeinrichtungen mit tragbarem Aufwand nicht absolut vermeidbar und können die Forderungen nach b) und c) nicht miteinander in Einklang gebracht werden, so muß für b) entschieden werden, denn die Aufrechterhaltung des Überspannungsschutzes hat unbedingten Vorrang vor der Versorgungszuverlässigkeit. Außerdem kann bei Gewitter die Versorgung schon vom Mittel- oder Niederspannungsnetz her ausfallen. Dort, wo keine längeren oder überhaupt keine Unterbrechungen tragbar sind, müssen Notversorgungsanlagen oder USV-Anlagen vorgesehen werden.

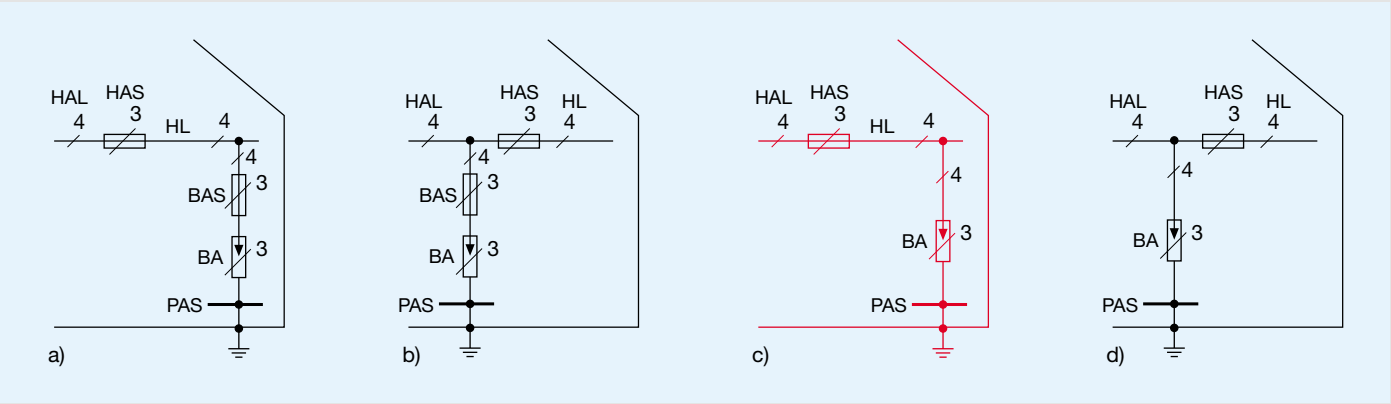
4 Maßnahmen

Zum Erfüllen der vorstehenden Anforderungen kommen folgende Maßnahmen in Frage. Meist werden mehrere von ihnen zusammen erforderlich sein.

4.1 Schaltung der Überstrom–Schutzeinrichtungen

Für sie – der Kürze wegen nachstehend „Sicherungen“ genannt – sind u. a. die Schaltungen von Bild 2 denkbar. Das Teilbild a) entspricht den Schaltungsbeispielen in Normen und Richtlinien [6][7]. Die Lösung hat u. a. den Nachteil, daß die Hausanschlußsicherung sowohl von den im Abschn. 1.4 genannten spezifischen Energien als auch vom Betriebsstrom beansprucht wird. Darum wurde schon die Schaltung nach Teilbild b) vorgeschlagen [13][14]. Diese Lösung ist jedoch nur dann anwendbar, wenn sich die Hausanschlußsicherung im oder direkt am Haus befindet. Der Hausanschlußkasten muß einen Ab-

1) Bei den NH-Sicherungen ist die spezifische Energie (der Durchlaßwert) von der Stromflußdauer abhängig. Eine Verkleinerung der Zeit *t* ergibt zwar eine Vergrößerung des Stroms *I*, jedoch nicht in dem Maße, daß das Produkt I^2t gleich bleibt. Bei sehr kurzzeitigen Beanspruchungen, insbesondere durch Zweig-Blitzströme, liegt die Ursache dafür hauptsächlich in der Stromverdrängung (im „Skineffekt“). Die Tabelle E im Abschnitt 7.8 von VDE 0636 Teil 201:1997-06 enthält die minimalen I^2t-Werte für Rechteckimpulse von 1 ms Dauer. Experten für NH-Sicherungen von der Firma Efen schlagen vor, für Zweig-Blitzströme mit der Welle (l0/350 µs) von diesen Werten jeweils die Hälfte als minimale Durchlaßwerte anzunehmen. Darauf beruhen die Angaben zu den NH-Sicherungen in der Tafel 7.



❷ Schaltungen der den Blitzstromableitern vorgeordneten Sicherungen
a) Blitzstromableiter mit eigener Sicherung BAS, Abzweig hinter der HAS; b) Wie a), jedoch Abzweig vor der HAS
c) Blitzstromableiter ohne eigene Sicherung, Abzweig hinter der HAS ; d) Wie c), jedoch Abzweig vor der HAS

zweig an den Eingangsklemmen und eine zusätzliche Leitungseinführung ermöglichen, wobei zu bedenken ist, daß er vom EVU beschafft wird.

Die bei a) und b) vorhandene Sicherung BAS muß verworfen werden, denn ihr Abschmelzen macht den Grobschutz und damit den gesamten Überspannungsschutz unwirksam [2]. Bei der Lösung nach Teilbild c) wird ihre Aufgabe von der Hausanschlußsicherung HAS übernommen. Hierbei sind Blitzstromableiter zu verwenden, für die die maximale Vorsicherung nicht kleiner als der Nennstrom der HAS angegeben ist. Ferner ist die Leitung für die Blitzstromableiter so zu bemessen, daß ihr Kurzschlußschutz von der HAS gewährleistet wird. Das Ansprechen der HAS führt zwar zu einem unerwünschten Stromausfall, jedoch bleibt dabei der Überspannungsschutz erhalten, weil die Blitzstromableiter nicht von der Anlage getrennt werden. Darum empfiehlt sich diese Lösung. Für die Schaltung nach d) gelten die bereits zu b) genannten Einschränkungen. Sie ist ferner nur anwendbar, wenn folgestrombegrenzende Blitzstromableiter eingesetzt werden und wenn der Kurzschlußschutz ihrer Zuleitung von den Sicherungen im Versorgungsnetz übernommen wird. Die Schaltung ist insofern ideal, als der Strompfad zwischen der Hausanschlußleitung und den Blitzstromableitern frei von Sicherungen ist und die damit verbundenen Probleme entfallen.

4.2 Wahl der Blitz-Schutzklasse

Die Blitz-Schutzklasse (siehe Tafel ❶ im Abschn. 1.1) hat zumindest rechnerisch großen Einfluß, weil die spezifische Energie dem Quadrat des Stoßstroms proportional ist. Aus dieser Sicht wird man evtl. eine niedrigere Schutzklasse zugrundelegen, wenn man die Nachteile in Kauf nimmt, die bei einer – mit geringer Wahrscheinlichkeit zu erwartenden – Überschreitung eintreten können.

4.3 Leiterzahl der Hausanschlußleitung

Auch wenn nur Einphasenwechselstrom benötigt wird (z. B. bei einer Mobilfunkstation), sollte ein Vierleiteranschluß vorgesehen werden, damit sich der Zweig-Stoßstrom I_Z auf vier Leiter aufteilen kann, siehe Gl. (3) im Abschn. 1.1. Beim Zweileiteranschluß müßte mit dem doppelten Zweig-Stoßstrom I_{ZZ} und der vierfachen spezifischen Energie P_{ZZ} gegenüber dem Vierleiteranschluß gerechnet werden.

4.4 Erdseitige Verzweigung des Blitzstoßstroms

Der gesamte Blitzstoßstrom I_G ist ein eingeprägter Strom, d. h. er läßt sich nicht reduzieren, auch nicht durch die Widerstände der Lichtbögen in gezündeten Blitzstromableitern, geöffneten Schalterkontakten und abgeschmolzenen NH-Sicherungen. Er kann jedoch durch Verzweigung geteilt werden. Die Widerstände der Zweig-Strompfade können dann die Anteile der Zweig-Stoßströme beeinflussen. Die Aufteilung auf möglichst viele Strompfade mit möglichst kleinen Widerständen im Bereich des Erders kann eine sehr wirksame Maßnahme zur Herabsetzung des Zweig-Stoßstromes I_Z in der Hausanschlußleitung sein, woraus eine Reduzierung des Zweig-Stoßstroms I_{ZZ} in den Blitzstromableitern und Sicherungen resultiert.

Solche Strompfade können neben dem eigenen Erder des Hauses (z. B. Blitzschutzerder in Form eines Fundamenterders) auch eingeführte metallene Rohrleitungen (Gas-, Wasser- und Fernheizungsleitungen) und Informationskabel sein. Das Isolierstück in der Gashauptleitung darf allerdings nur mit einer Trennfunkenstrecke ([1], Abschn. 6) überbrückt werden. Bei einer Wasserleitung ist die Überbrückung der Wasseruhr erforderlich (VDE 0100 Teil 540:1991-11, Abschn. 9.1.3).

Wenn die genannten Leitungen auch mit den Potentialausgleichssystemen und Erdern der Nachbarhäuser verbunden werden, ergibt sich eine sehr wirksame Verzweigung, d. h. die Größe v in der Gl. (1) vom Abschn. 1.1 dieses Beitrags wird erheblich kleiner als 0,5. Die Verzweigung kann grob näherungsweise ermittelt werden ([4], Abschn. 3.1.3, Anh. C und nationales Vorwort zu Anh. C)[3].

Sollten diese Leitungen fehlen oder unzuverlässig sein oder zu große Widerstände haben, dann ist es evtl. erforderlich, Potentialausgleichsverbindungen zu den Potentialausgleichssystemen der Nachbarhäuser herzustellen. Es besteht ohnehin die Tendenz, von Gebäude zu Gebäude Potentialausgleichsleiter („Ersatz- oder Entlastungs-Potentialausgleichsleiter“) zu verlegen, um die querschnittsschwachen Schirme der Informationskabel vor zu hohen Stoßströmen zu schützen [16]. Dafür wird zweckmäßigerweise Kabel NYY 1 x 50 mm² verwendet. Von der Belastung her würde ein Querschnitt von 16 mm² genügen; aber zur Erzielung eines kleinen Widerstandes sind 50 mm² besser. Evtl. von den Besitzern der Nachbarhäuser gehegte Bedenken können als unbegründet zerstreut werden, weil die Verbindung ihre Situation nicht verschlechtert, sondern auch bei ihnen die Sicherungen und Blitzstromableiter entlastet sowie eine Herabsetzung der Überspannung bewirkt. Bei einem direkten Einschlag in ihren eigenen äußeren Blitzschutz sind sie die Haupt-Nutznießer dieser Maßnahme.

Beim TT-System erhebt sich die Frage, ob direkte Verbindungen der Erder mehrerer Häuser durch die eingeführten Leitungen (z. B. metallene Rohrleitungen, Schirme der Informationskabel) und die vorstehend erwähnten Potentialausgleichskabel zulässig sind. Mit dem TT-System wird im allgemeinen die Vorstellung verbunden, daß

2) Das trifft schon für den Blitzschlag zu, der das Abschmelzen bewirkt hat [12][13][14]. Der Blitzstrom kann zwar in der abgeschmolzenen Sicherung noch über den Lichtbogen fließen, ruft jedoch an diesem einen sehr großen Spannungsfall hervor, der die Überspannung im Bereich des Grobschutzes untragbar erhöht.

3) Die dafür angegebenen „äquivalenten Erdungswiderstände“ mit der Einheit Ohm können sehr verwirren, denn sie sind in Wirklichkeit keine Widerstände, sondern eher Leitwerte. Außerdem ist jede Einheit überflüssig, weil sie sich herauskürzt. Die Rechnung berücksichtigt nicht die Eigenschaften des Erders und der eingeführten Leitungen. Der Verfasser empfiehlt, Informationskabel nur als halbe Einheiten für n_1 zu werten.



❸ **Beispiel eines Hausanschlußkastens mit SHU-Schaltern**

jedes Haus seinen eigenen Erder hat, der mit den Erdern anderer Häuser nicht verbunden ist. Die einschlägigen Normen VDE 0100 Teil 300 und Teil 410 sagen darüber jedoch nichts aus. Demnach sind direkte Verbindungen zulässig. Der Verfasser rät aber davon ab, denn ein Fehler in einem Haus (z. B. Versagen eines Schutzschalters oder ein Installationsfehler) würde sich in allen Häusern auswirken. Er empfiehlt, beim TT-System alle Verbindungen des Potentialausgleichssystems mit den von außen eingeführten metallen Rohrleitungen, Kabelschirmen und Potentialausgleichsleitern über Trennfunkenstrecken ([1], Abschn. 6) herzustellen.

4.5 Art der Blitzstromableiter

Durch günstige Wahl der Blitzstromableiter kann die mit dem Folgestrom einhergehende spezifische Energie P_F klein gehalten werden. Wie ein Vergleich der Tafeln ❹ und ❺ zeigt, gilt das besonders für die folgestrombegrenzenden Blitzstromableiter. Weitere Angaben über Blitzstromableiter enthält der Abschnitt 7 von [1].

4.6 Überstrom-Schutzeinrichtungen

Nicht zuletzt kommt es auf Art und Nennstrom der Überstrom-Schutzeinrichtungen an. Den nachstehenden Ausführungen liegt das Bild ❷ c) zugrunde, denn ❷ a) und ❷ b) werden vom Verfasser verworfen, und bei der Schaltung nach ❷ d) tritt das hier besprochene Problem nicht auf.

Sollte die spezifische Energie P_S der vorgesehenen Hausanschlußsicherung kleiner als die spezifische Energie P_R nach Gl. (8) im Abschn. 1.3 dieses Beitrags sein, so kann die Vergrößerung ihres Nennstroms einen Ausweg bieten, wenn und soweit die Netzverhältnisse das zulassen[4]. Der Querschnitt der Hauptleitung muß selbstverständlich an den höheren Sicherungsnennstrom angepaßt, also überdimensioniert werden. Die einmaligen Herstellungskosten, die das EVU vom Anschlußnehmer für die Leistungsbereitstellung fordert und die vom Nennstrom der Hausanschlußsicherung abhängen, werden höher ausfallen.

Eine weitere Möglichkeit der Steigerung von P_S besteht darin, SHU-Schalter (s. Abschnitte 2 und 2.2 dieses Beitrags) anstelle von NH-Sicherungen zu wählen. Man vergleiche die Werte innerhalb der Tafel ❼.

Bei der Entscheidung für SHU-Schalter ist zu beachten, daß der Hausanschlußkasten vom EVU beschafft wird. Dieses wird sicherlich dem Anschlußnehmer den Mehrpreis in Rechnung stellen. SHU-Schalter haben außer der größeren spezifischen Energie P_S (Durchlaßwert) den Vorteil, daß sie ein schnelleres und gefahrloseres Wiedereinschalten ermöglichen. Das vorläufige Öffnen der Schaltglieder (ohne endgültiges Abschalten) hilft dem Blitzstromableiter beim Löschen des Lichtbogens. Das Bild ❸ zeigt einen Hausanschlußkasten mit SHU-Schaltern und einer verschließbaren Bedienungsklappe. Die Entwicklung eines SHU-Schalters mit 125 A Nennstrom und den gleichen Abmessungen wie die Ausführungen bis 100 A ist beabsichtigt. Hinsichtlich der spezifischen Energie wird er voraussichtlich der NH-Sicherung 250 A mindestens gleichwertig sein.

5 Berechnungsbeispiel

Durch die Anlage vorgegebene Kennwerte:

- Blitz-Schutzklasse III;
- $v = 0{,}4$ (siehe Abschnitt 4.4);
- m = 4;
- $I_K = 2$ kA;
- Verwendung einfacher Blitzstromableiter mit Folgestromreduzierung des Typs FLASHTRAB FLT 25-400;
- vorgesehene HAS: NH-Sicherungen mit Nennstrom 100 A.

Ermitteln der Werte:

Aus Tafel ❶: $I_G = 100$ kA

Nach Gl. (1): $I_Z = 40$ kA

Nach Gl. (3): $I_{ZZ} = 10$ kA

Nach Gl. (7): $P_{ZZ} = 25$ kA^{2}s

Aus Tafel ❹: $P_F = 10$ kA^{2}s

Nach Gl. (8): $P_R = 35$ kA^{2}s

Aus Tafel ❼: $P_S = 8$ kA^{2}s

Auswertung: Die NH-Sicherungen mit Nennstrom 100 A und $P_S = 8$ kA^{2}s sind zu klein. Verwendbar sind NH-Sicherungen mit einem Nennstrom von 200 A, denn lt. Tafel ❼ haben sie $P_S = 39$ kA^{2}s. Bei der Verwendung von SHU-Schaltern genügt der vorgesehene Nennstrom von 100 A.

Literatur:

[1] *Hering, E.:* Blitzschutz-Potentialausgleich, Trennfunkenstrecken und Blitzstromableiter. Elektropraktiker, Berlin 53(1999)2, S. 122-126.

[2] *Hering, E.:* Magnetische Kräfte an den von Blitzstoßströmen durchflossenen Leitern. Elektropraktiker, Berlin 53(1999)3, S. 217-218.

[3] *Hering, E.:* Blitzstromableiter und Einsatzrichtlinie. Elektropraktiker, Berlin 53(1999)4, S. 302-305.

[4] **Vornorm** DIN V ENV 61 024-1/**VDE V 0185 Teil 100:1996-08** Blitzschutz baulicher Anlagen; Teil 1: Allgemeine Grundsätze (IEC 1024-1: 1990, modifiziert).

[5] DIN VDE 0185-103/**VDE 0185 Teil 103:1997-09** Schutz gegen elektromagnetischen Blitzimpuls; Teil 1: Allgemeine Grundsätze (IEC 1312-1: 1995; modifiziert).

[6] **Vornorm** DIN V VDE V 0100-534/**VDE V 0100 Teil 534:1999-08** Elektrische Anlagen von Gebäuden; Auswahl und Errichtung von Betriebsmitteln; Überspannungs-Schutzeineinrichtungen.

[7] VDEW (Herausgeber): Überspannungs-Schutzeinrichtungen der Anforderungsklasse B – Richtlinie für den Einsatz in Hauptstromversorgungssystemen. 1. Auflage. Frankfurt am Main: Verlags- und Wirtschaftsgesellschaft der Elektrizitätswerke mbH (VWEW) 1998.

[8] *Noack, F.; Pospiech, J.:* Kurzschluß-Kenngrößen von Niederspannungsnetzen. etz, Offenbach 116(1995)5, S. 38-42.

[9] *Raab, V.; Zahlmann, P.:* Kurzschlußschutz von Blitzstromableitern. Elektropraktiker, Berlin 52(1998)5, S. 454-457; und 6, S. 552-555.

[10] *Schimanski, J.; Scheibe, K.:* Einsatz von Blitzstromableitern mit hohem Netzfolgestrom-Löschvermögen. Aus dem VDE-Fachbericht 52 – Neue Blitzschutznormen in der Praxis. Berlin/Offenbach: VDE-Verlag 1997.

[11] Entwurf DIN VDE 0645/**VDE 0645:1996-05** Selektiver Haupt-Leitungsschutzschalter, spannungsunabhängig (SHU-Schalter).

[12] *Noack, F.; Schönau, J.; Schmidt, F.:* Störfestigkeit von Überstrom-Schutzeinrichtungen in Niederspannungsnetzen gegenüber Blitzeinwirkung. Elektrie, Berlin 51(l997)09/10, S. 347-351.

[13] *Noack, F.; Schönau, J.; Brocke, R.:* Einfluß der Blitzstromtragfähigkeit von Überstrom-Schutzeinrichtungen. etz, Offenbach 119(1998)3-4, S. 38-43.

[14] *Noack, F.; Schönau, J.; Brocke, R.:* Einfluß der Blitzstromtragfähigkeit von Überstrom-Schutzeinrichtungen auf den Blitzschutz in Niederspannungsnetzen. Aus dem VDE-Fachbericht 52 – Neue Blitzschutznormen in der Praxis. Berlin/Offenbach: VDE-Verlag 1997.

[15] *Kiefer, G.:* VDE 0100 und die Praxis. 8. Auflage. Berlin/Offenbach: VDEVerlag 1997.

[16] Entwurf DIN VDE 0800-2/A2/**VDE 0800-Teil 2/A2:1998-10** Informationstechnik; Potentialausgleich und Erdung; Ersatz- oder Entlastungs-Potentialausgleichsleiter. ■

4) Die erforderliche Nennstromabstufung gegenüber der vorgeordneten Sicherung im Versorgungsnetz ist einzuhalten. Am Ende der Hauptleitung muß der einpolige Kurzschlußstrom so groß (die Schleifenimpedanz so klein) sein, daß die vergrößerte Hausanschlußsicherung im Fehlerfall rechtzeitig abschaltet.