

Blitz

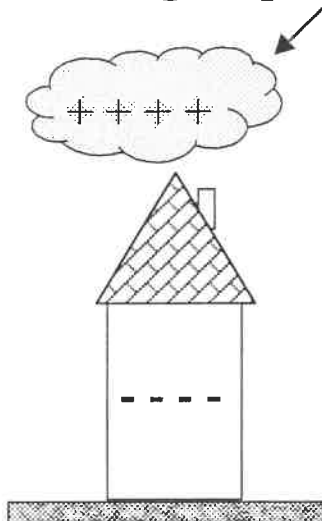
- Allgemeines -

In den Wolken erfolgt eine **Ladungstrennung**

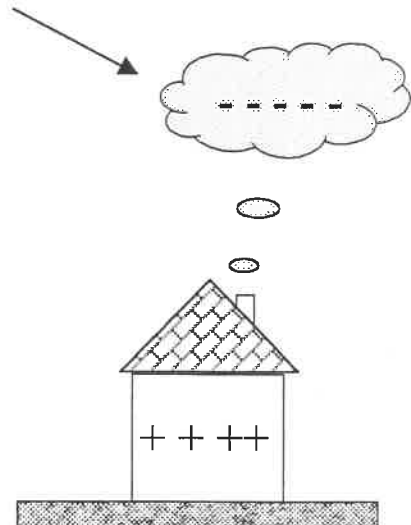
daraus folgen Funkenentladungen

- zwischen verschieden aufgeladenen Wolken
- zwischen Wolken und Erde

Es gibt **positive** Blitze und **negative** Blitze



- Eine einzige Entladung
- hoher Stromstärke und geringem di/dt
- Einschlag häufiger in hohe Bauwerke



- Erstblitz mit mittlerem di/dt und mittlerer Stromstärke
- Mehrere Folgeblitze mit hohem di/dt und geringer Stromstärke

Blitz

- Ablauf Blitzentladung -

Ausgehend von der Gewitterwolke **schiebt sich ein Ladungsschlauch** zur Erde vor (ms bis einige 100 ms).

Aufbau eines elektrostatischen Bodenfeldes.

Wenn sich der Leitblitz bis auf einige 10 m der Erde genähert hat, startet von der Erde **ausgehend eine Fangentladung**.

Die Fangentladung **frißt sich in den** mit Ladung angefüllten Schlauch des Leitblitzes hinein.

Abführung der gespeicherten Ladung in einigen ms, ebenso **schlagartiger Abbau** des elektrischen statischen Feldes (Hauptentladung).

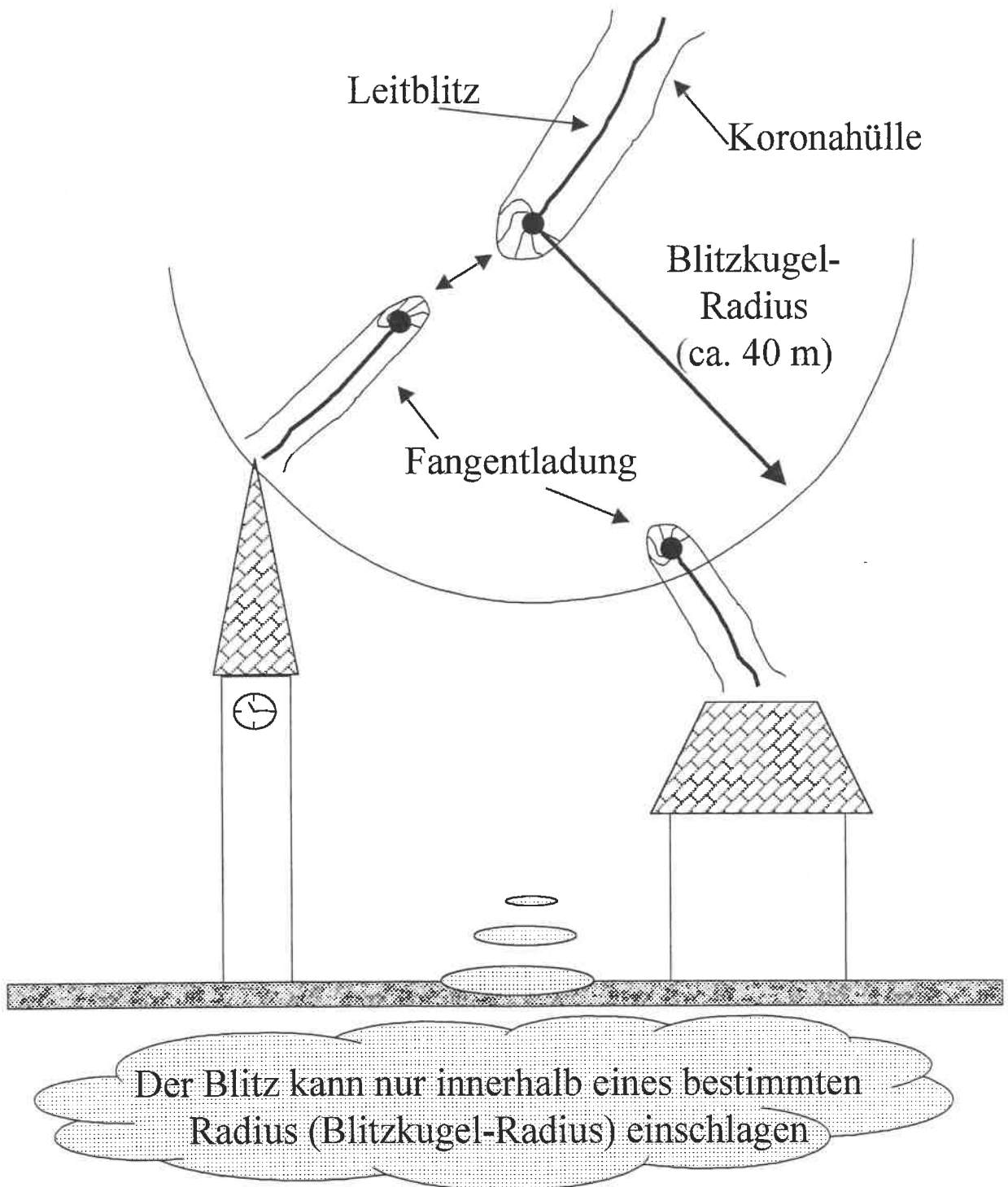
Der aus dem Leitblitzschlauch zur Erde fließende Strom verursacht große Feldänderungen, die als induzierte Ströme und Spannungen **Störungen und Zerstörungen an elektrischen Bauteilen und Installationen verursachen können**.



Blitzentladungen sind
weitgehend eingeprägte Ströme

Blitz

- Blitzentladung in der Enddurchschlagsstrecke -



Blitz

- Schutzklassen -

Blitzschutzanlagen werden nach ihrer Wirksamkeit in die Schutzklassen I, II, III, IV eingeteilt. Wobei die Wirksamkeit von I nach IV abnimmt.

Wirkungsgrad von Blitzschutzanlagen

Schutzklasse	Wirkungsgrad
I	0,98
II	0,95
III	0,9
IV	0,8

Kernkraftwerke, Flughafentower
Rechnerraum, Informationsanlagen
Montagehallen, kaum Vernetzung
Wohngebäude

Hier wird deutlich, daß selbst in Schutzklasse I kein 100 %- iger Schutz gewährleistet ist.

Blitz

- Blitzstrom-Parameter -

Erstblitz

	$\pm i_{in}$ kA	t_f in μs	t_d in μs	Q_s in C	W/R in MJ/ Ω
I	200	10	350	100	10
II	150	10	350	75	5,6
III-IV	100	10	350	50	2,5

Folgeblitz

	$-i_{in}$ kA	t_f in μs	t_d in μs	i/t_f in kA/ μs
I	50	0,25	100	100
II	37,5	0,25	100	75
III-IV	25	0,25	100	50

Langzeitblitz

	$\pm i_L$ in A	t_L in s	Q_L in C
I	400	0,5	200
II	300	0,5	150
III-IV	200	0,5	100

i = Scheitelwert des Stromes
 t_f = Anstiegszeit
 t_d = Halbwertbreite
 Q_s = Ladung
 Q_L = Ladung Langzeitstrom
 i_L = Amplitude Langzeitstrom
 W/R = spezifische Energie

Blitz

- Mögliche Blitzeinwirkungen -

- Erwärmung des stromführenden Leiters
- Kraftwirkungen auf benachbarte Leiter
- Anschmelzung durch den Lichtbogen im Einschlagspunkt
- Spannungsabfall über den Erdungswiderstand (Entstehung hoher Potentialunterschiede)
- Induzierung von Spannungen in Leiterschleifen



Blitz

- Temperaturerhöhung -

$$W/R = \int i^2 dt$$

Energie, die in einem Leiter umgesetzt wird, sie ist für die Erwärmung maßgeblich und erzeugt Kräfte auf Leitern

$$\Delta\vartheta = \frac{1}{\alpha} \left(e^{\frac{W/R * \alpha * \rho}{q^2 * \gamma * c_w}} - 1 \right)$$

$\Delta\vartheta$ = Temperaturerhöhung in K

α = Temperaturkoeffizienten des Widerstandes in 1/K

ρ = spezifischen ohmschen Widerstand in Ωm

q = Leiterquerschnitt in m^2

γ = Massendichte in kg/m^3

c_w = spezifische Wärmekapazität $J/(kg*K)$

Temperaturerhöhungen $\Delta\vartheta$ von einigen 100 K halten die Leiter kurzfristig aus

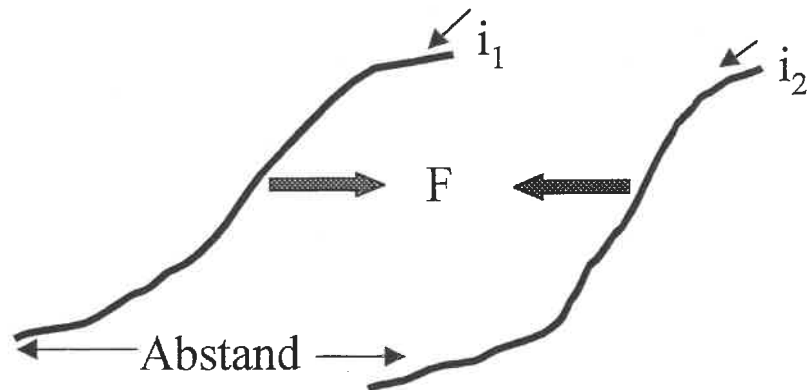
Z. B. Aluminium $q = 16^2 mm$ bei $W/R = 5.6 MJ/\Omega \longrightarrow \Delta\vartheta = 454 K$

Kupfer $q = 16^2 mm$ bei $W/R = 5.6 MJ/\Omega \longrightarrow \Delta\vartheta = 143 K$

Blitz

- spezifische Energie --> Kraftwirkung

$$W/R = \int i^2 dt$$



Kraftimpuls in Ns

$$\int F \cdot dt = \frac{10^{-7} * W/R}{\text{Abstand} * 4} * \text{Länge}$$

Z. B.

Abstand 0,1 m, $W/R = 5,6 \text{ MJ}/\Omega$, Länge = 10 m ---> 14 Ns

$$F = \frac{\mu * \text{Länge} * i_1 * i_2}{2 * \pi * \text{Abstand}} * \text{Länge}$$

Z. B.

Abstand 0,1 m, Länge = 1 m, $(i_1, i_2) = 10 \text{ kA}$ ---> 200 N

Schleifen werden bei gegengerichteten Strömen aufgeweitet!

Blitz

Die Ladungen bewirken Ausschmelzungen an

- Elektroden von Schutzfunkenstrecken
- Blitzableiterspitzen
- Aluminiumdächern
- Flugzeughüllen

$$V_{[m^3]} = \frac{Q_L * U_{A,K}}{\gamma * c_w * (\vartheta_s - \vartheta_u) + c_s}$$

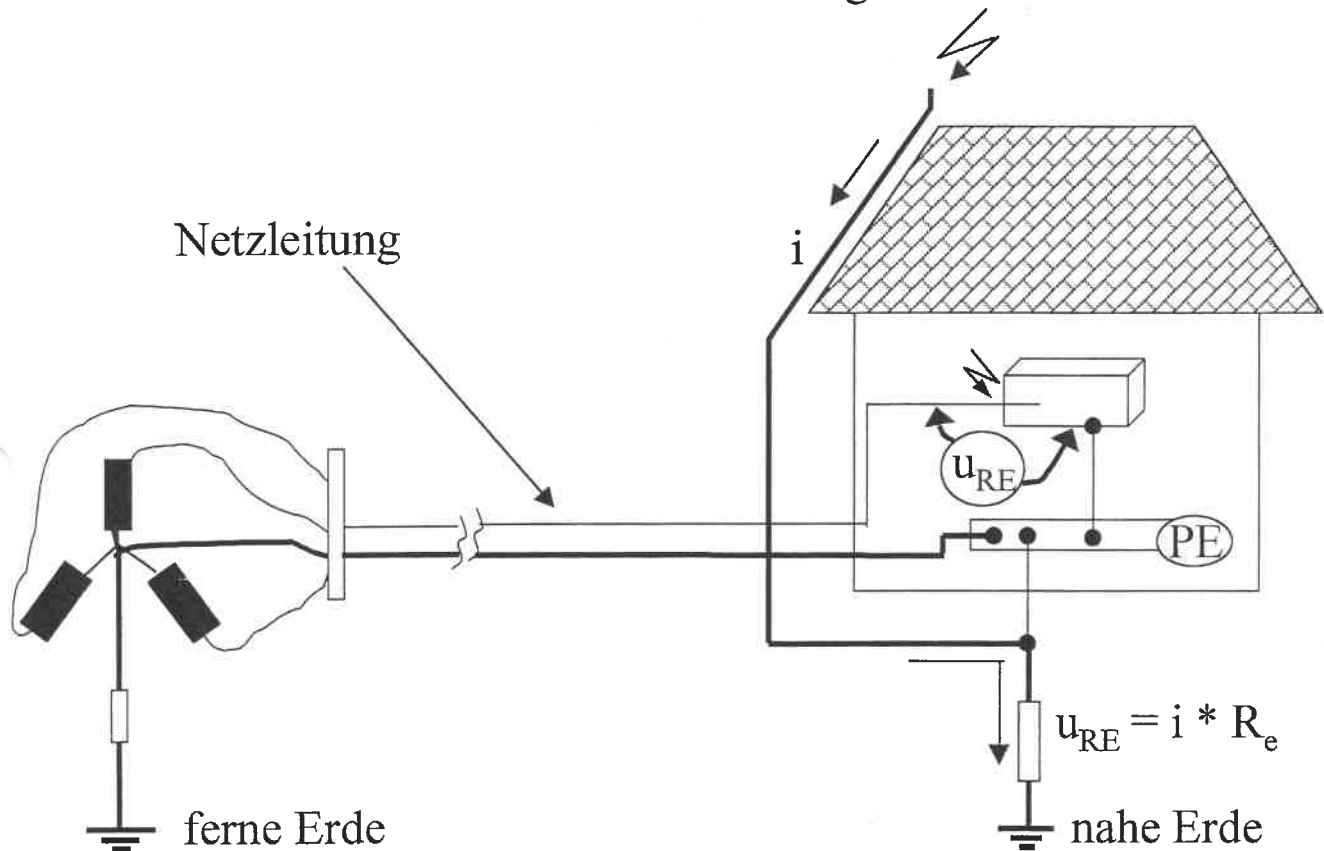
V	= Ausgeschmolzenes Metallvolumen in m ³
Q _L	= Ladung Langzeitstrom in As
U _{A,K}	= Anoden-/Kathodenfallspannung ca. 30 V
γ	= Massendichte in kg/m ³
c _w	= spezifische Wärmekapazität in J/(kg*K)
c _s	= spezifische Schmelzwärme in J/kg
ϑ _s	= Schmelztemperatur in Celsius
ϑ _u	= Umgebungstemperatur in Celsius (z.B.20°)

	Kupfer	Aluminium	Eisen
γ	8920	2700	7700
ϑ _s	1080	658	1530
c _s	209*10 ³	397*10 ³	272*10 ³
c _w	385	908	469

Q_L = 100 As werden Alu-Bleche von 2 mm Stärke durchlöchert!

Blitz

- Potentialanhebungen -

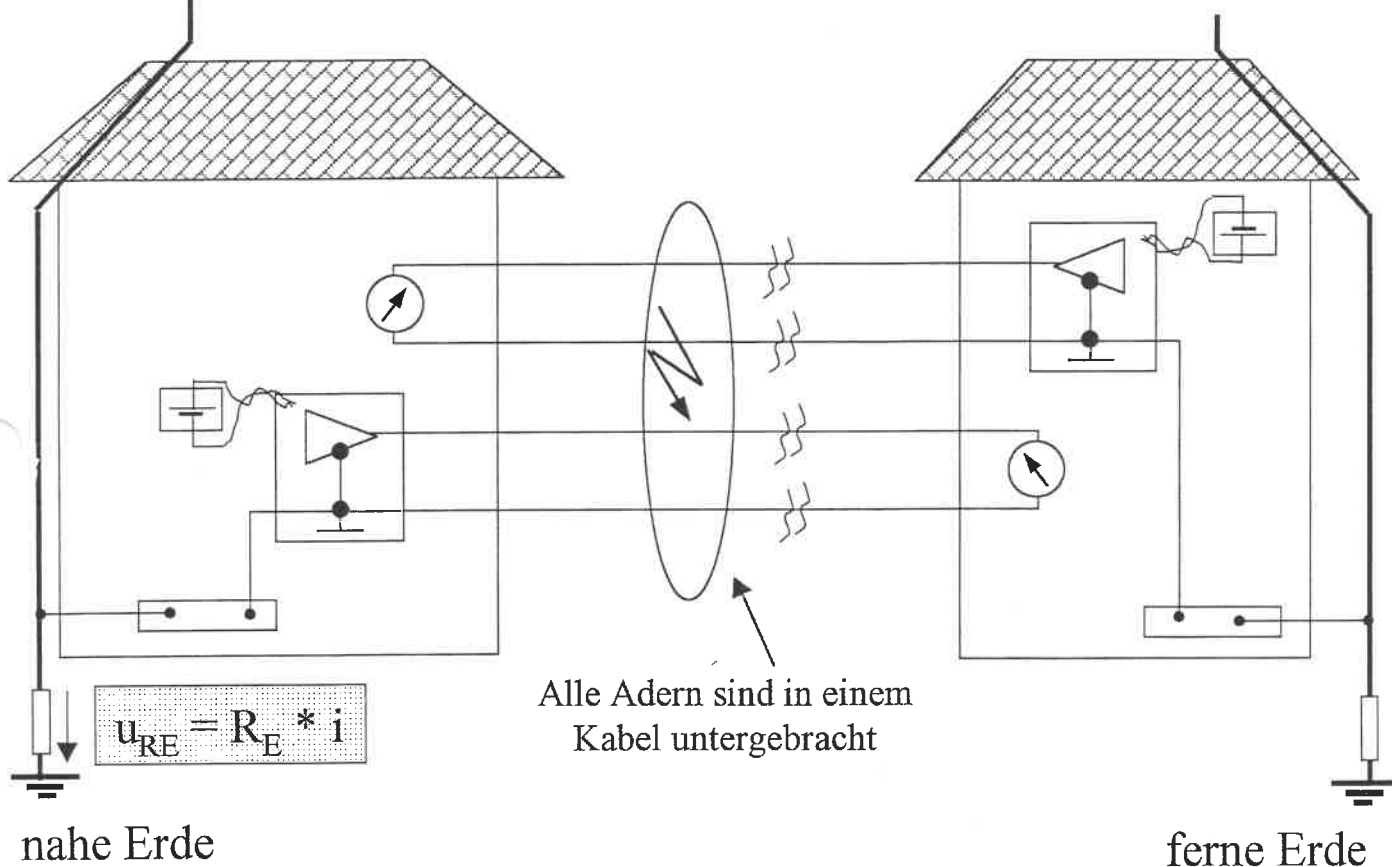


Der Blitzstrom erzeugt am Erdungswiderstand R_e ($0,5\Omega - 10\Omega$) einen Spannungsabfall u_{RE} . Gegenüber der fernen Erde wird das Potential-Ausgleichssystem (PE, Gehäusen etc.) um u_{RE} angehoben. Da die Netzleitung ihr Potential von der fernen Erde erhält, liegt u_{RE} nahezu zwischen Netzleitung und Gehäuse.

Falls Leitungen in ein Gebäude ein-/austreten, immer die Frage stellen, wo ist diese Leitung geerdet, bzw. mit Bezugspotential verbunden?

Blitz

- Potentialanhebungen -

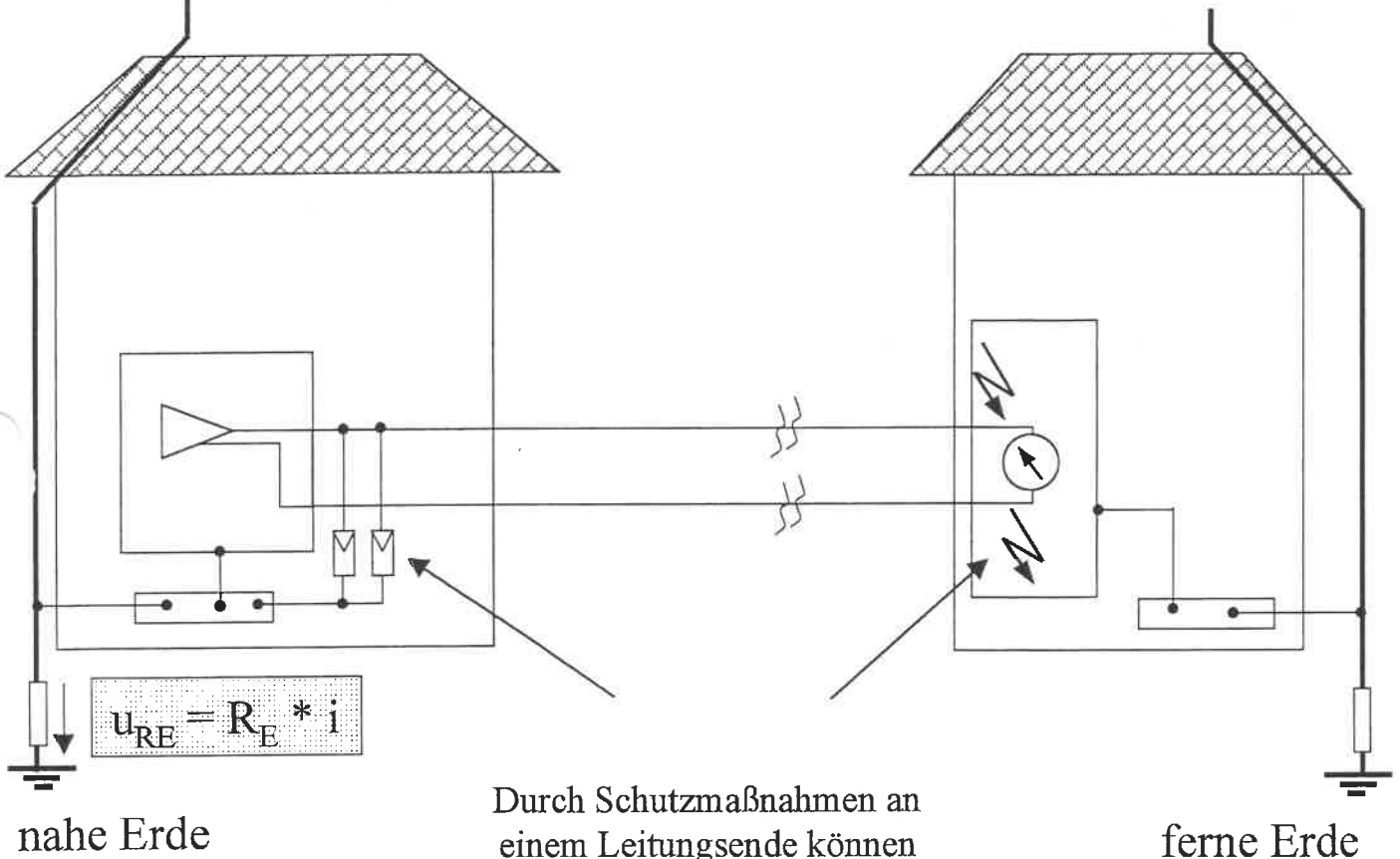


Die eine Meßleitung bekommt ihr Potential von der nahen Erde, die andere erhält ihr Potential von der fernen Erde. Zwischen den Meßleitungen stellt sich nahezu die Potentialdifferenz u_{RE} ein.

Immer darauf achten, daß zwischen den Gebäuden ein guter Potentialausgleich vorliegt.

Blitz

- Potentialanhebungen -

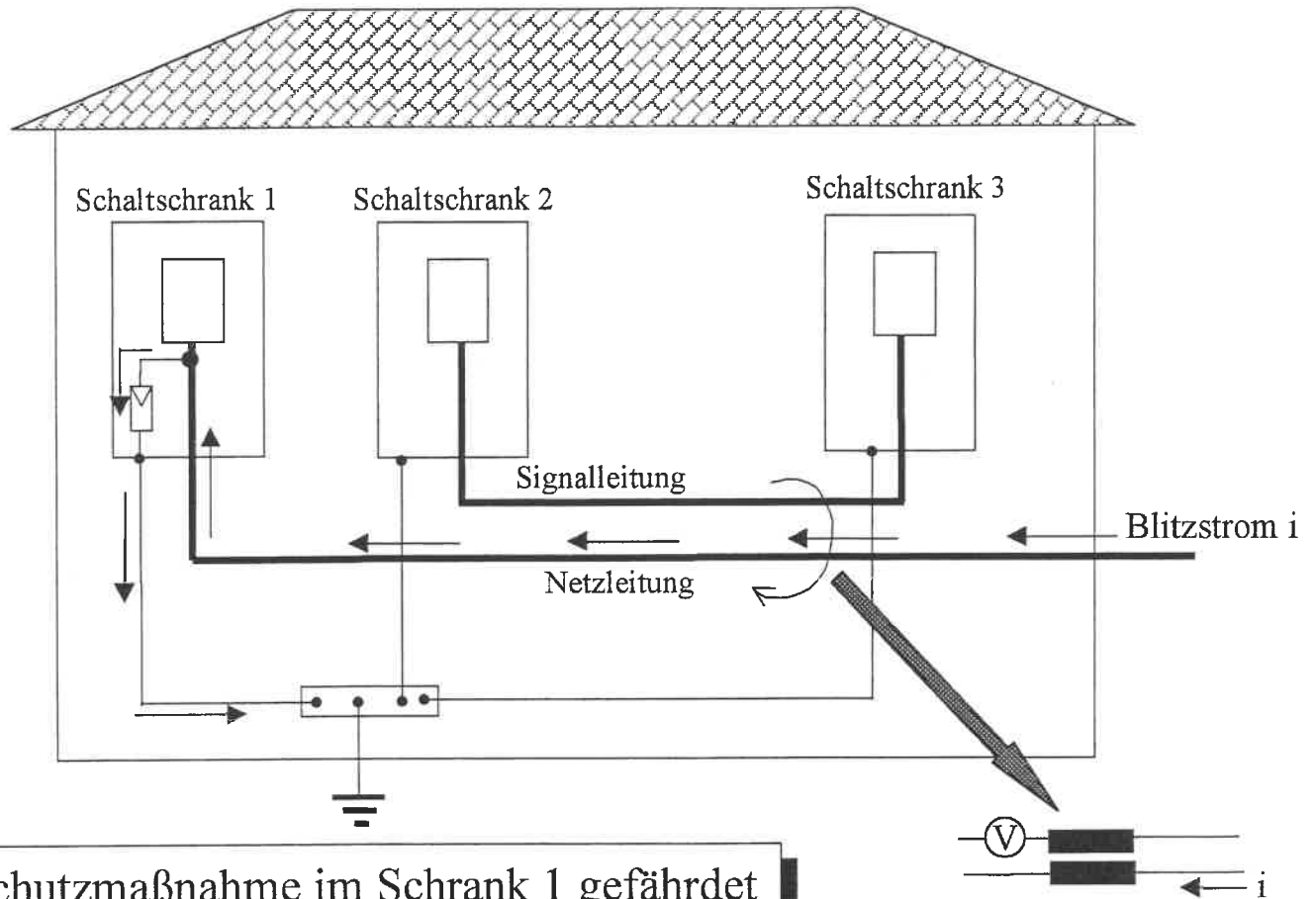


Durch Schutzmaßnahmen an einem Leitungsende können hohe Überspannungen am anderen Leitungsende entstehen!

Schutzmaßnahmen in der Regel immer an beiden Leitungsenden durchführen!

Blitz

- Übersprechen -



Schutzmaßnahme im Schrank 1 gefährdet
zusätzlich Geräte in den Schränken 2, 3!

Schnelle Strom- oder Spannungsänderungen, die
beim Ansprechen von Schutzelementen entstehen,
können in andere Stromkreise eingekoppelt werden!

Daher Blitzstromableiter
beim Gebäudeeintritt
installieren!

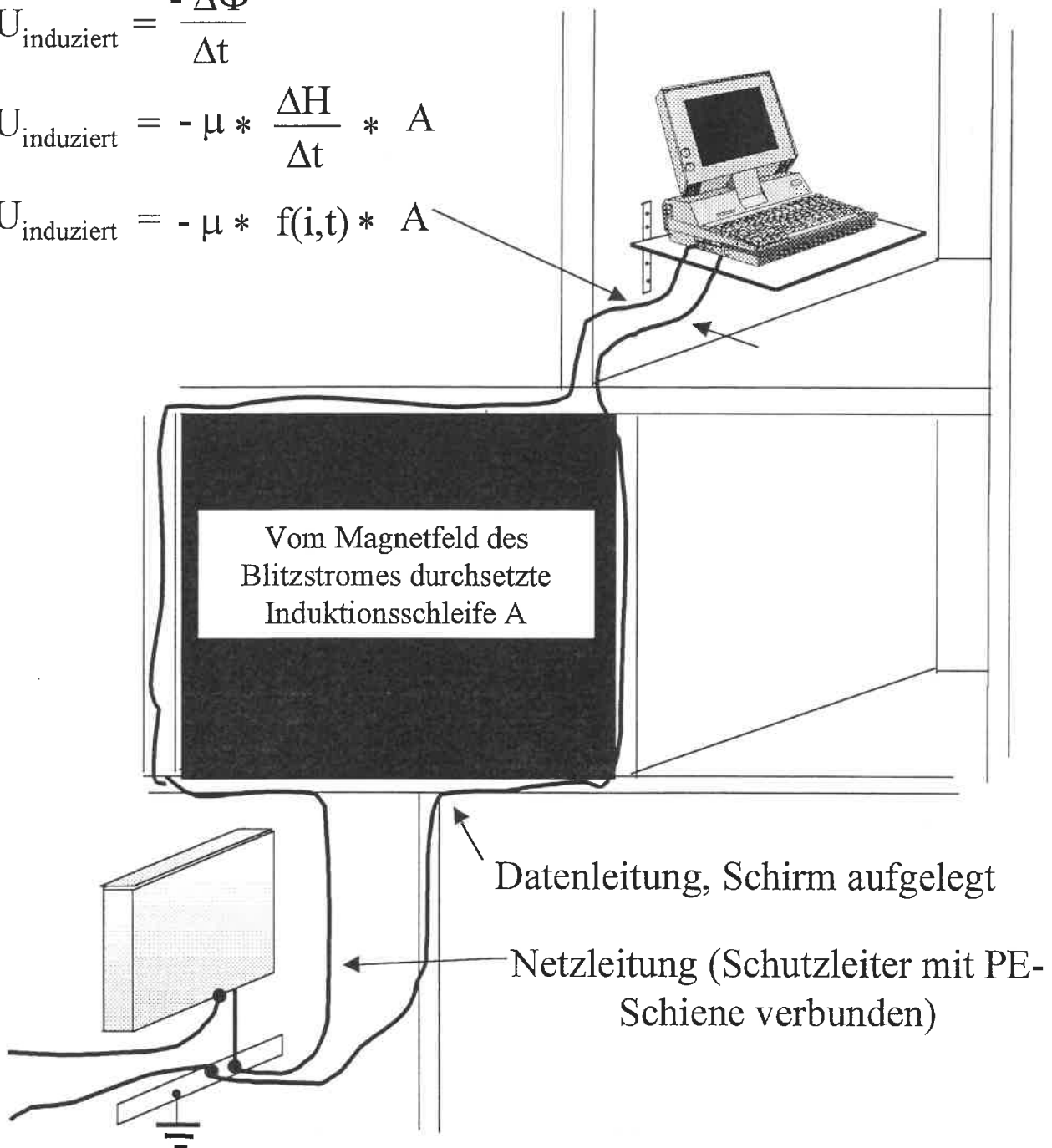
Blitz

- Überspannungen aufgrund von Induktionseffekten -

$$U_{\text{induziert}} = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

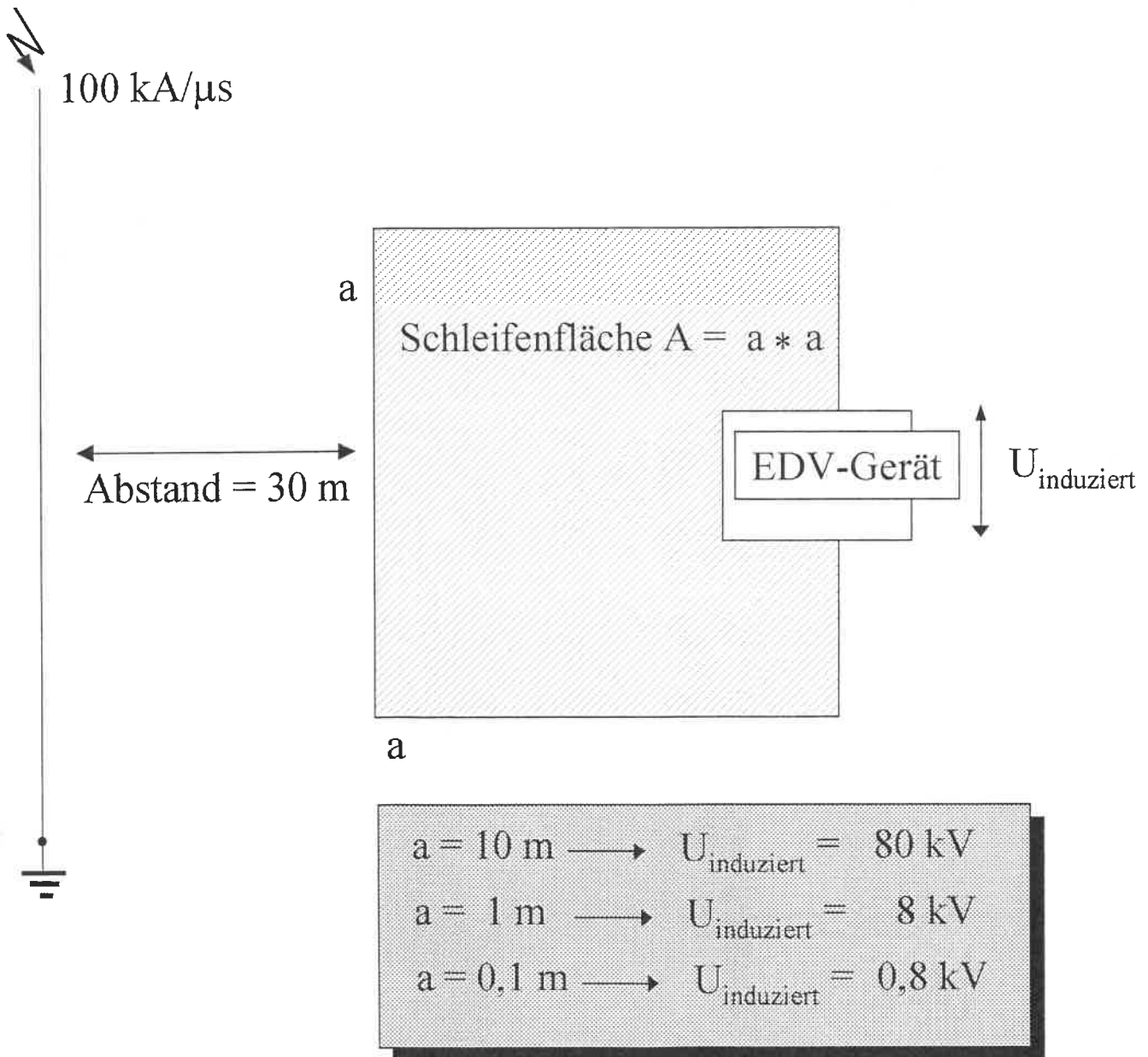
$$U_{\text{induziert}} = - \mu * \frac{\Delta H}{\Delta t} * A$$

$$U_{\text{induziert}} = - \mu * f(i,t) * A$$



Blitz

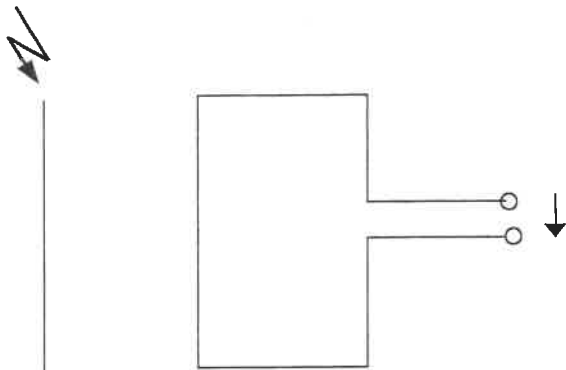
- Induzierte Überspannung aufgrund eines Blitzeinschlages in 30 m Entfernung -



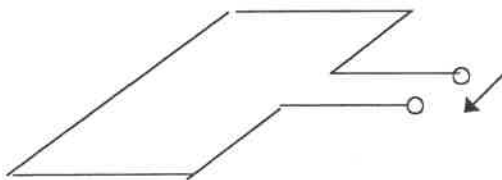
a = Länge

Blitz

- Induzierte Überspannung in Leiterschleife -



schlecht



besser

Leiterschleifen vermeiden

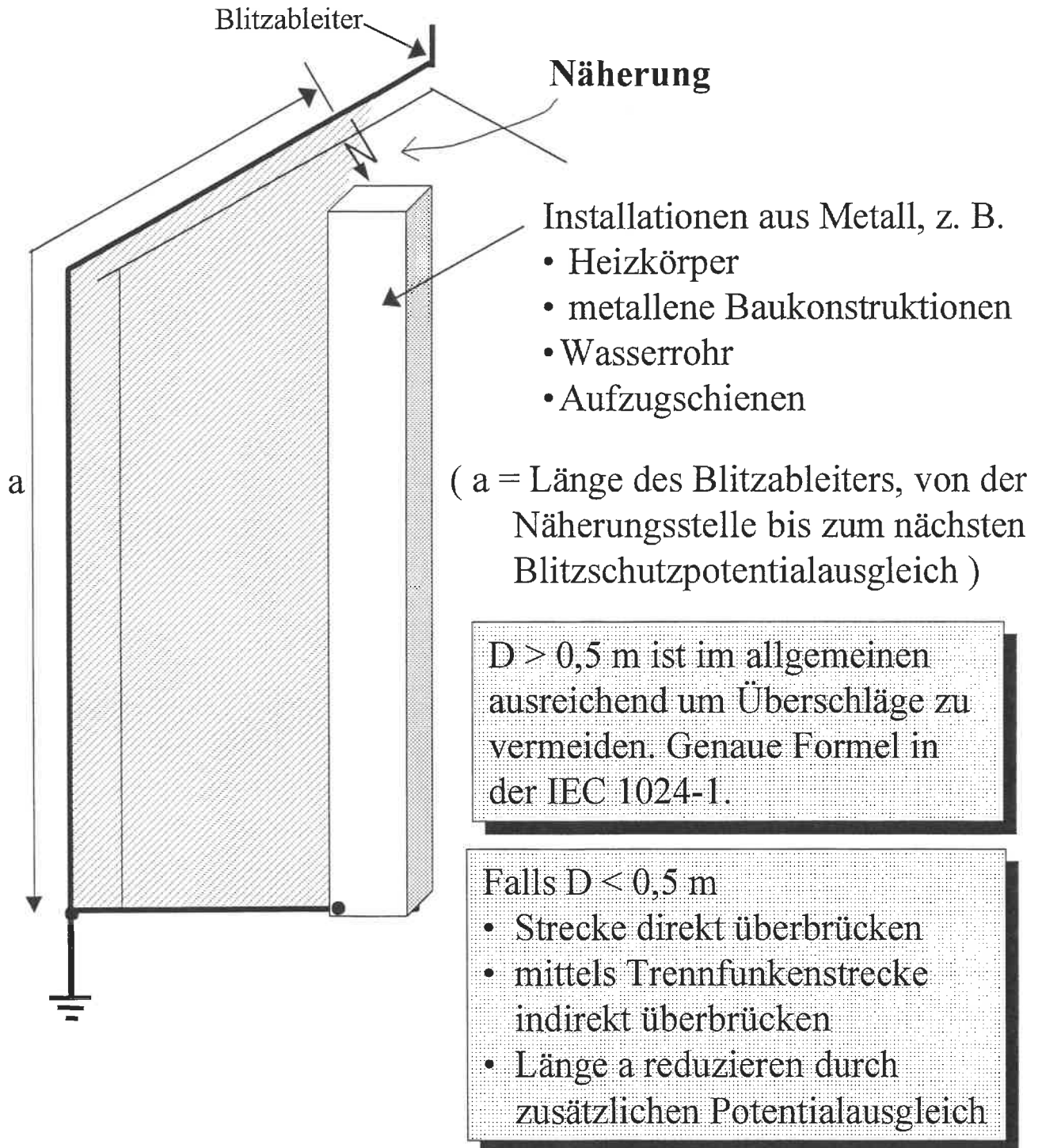
viel besser



Blitzableiter

Blitz

- Induzierte Überspannung in Leiterschleife (Näherung) -



Blitz

Eine Blitzschutzanlage besteht aus einem **äußeren** und **inneren** Blitzschutz.

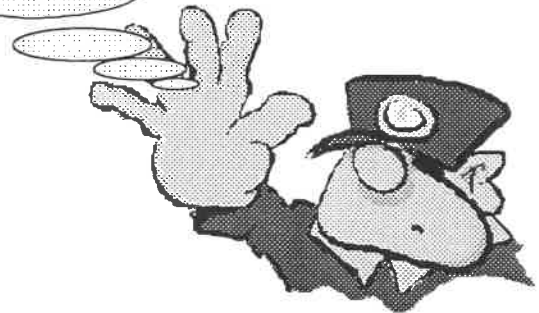
Äußerer Blitzschutz

Der äußere Blitzschutz ist die Gesamtheit aller außerhalb einer baulichen Anlage verlegten und bestehenden Einrichtungen zum Auffangen und Ableiten des Blitzstromes in die Erde.

Der **äußere Blitzschutz** besteht im wesentlichen aus

- Fangeinrichtung
- Ableitungen
- Erdungsanlage (Fundamenterder, Ringerder, Einzelerder)

Er leitet den originären
Blitzstrom (ca. 100 kA) ab.



Achtung!

Selbst ein **normgerecht** ausgeführter äußerer Blitzschutz bietet alleine keine Gewähr, daß Geräte, Systeme und Anlagen nicht beschädigt werden. Erst in Kombination mit dem **inneren** Blitzschutz entsteht der gewünschte Schutz.

Blitz

- Blitzschutzanlage -

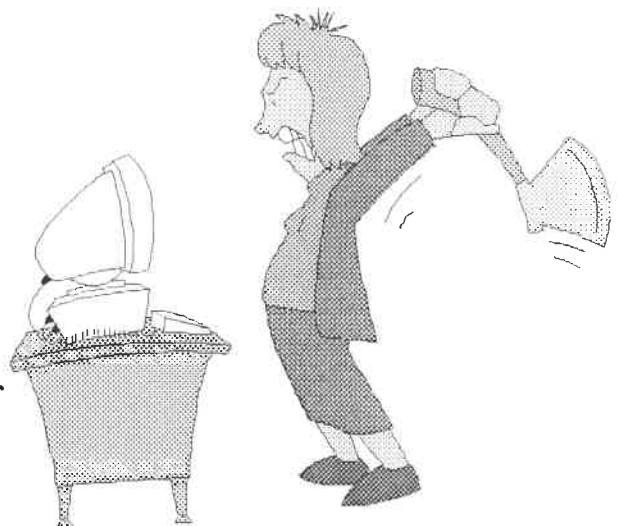
Innerer Blitzschutz

Der innere Blitzschutz beinhaltet Maßnahmen gegen die Auswirkungen des Blitzstromes, seiner elektrischen und magnetischen Felder auf metallene Installationen und elektrische Anlagen **im Bereich der baulichen Anlage**.

Der **innere Blitzschutz** besteht im wesentlichen aus

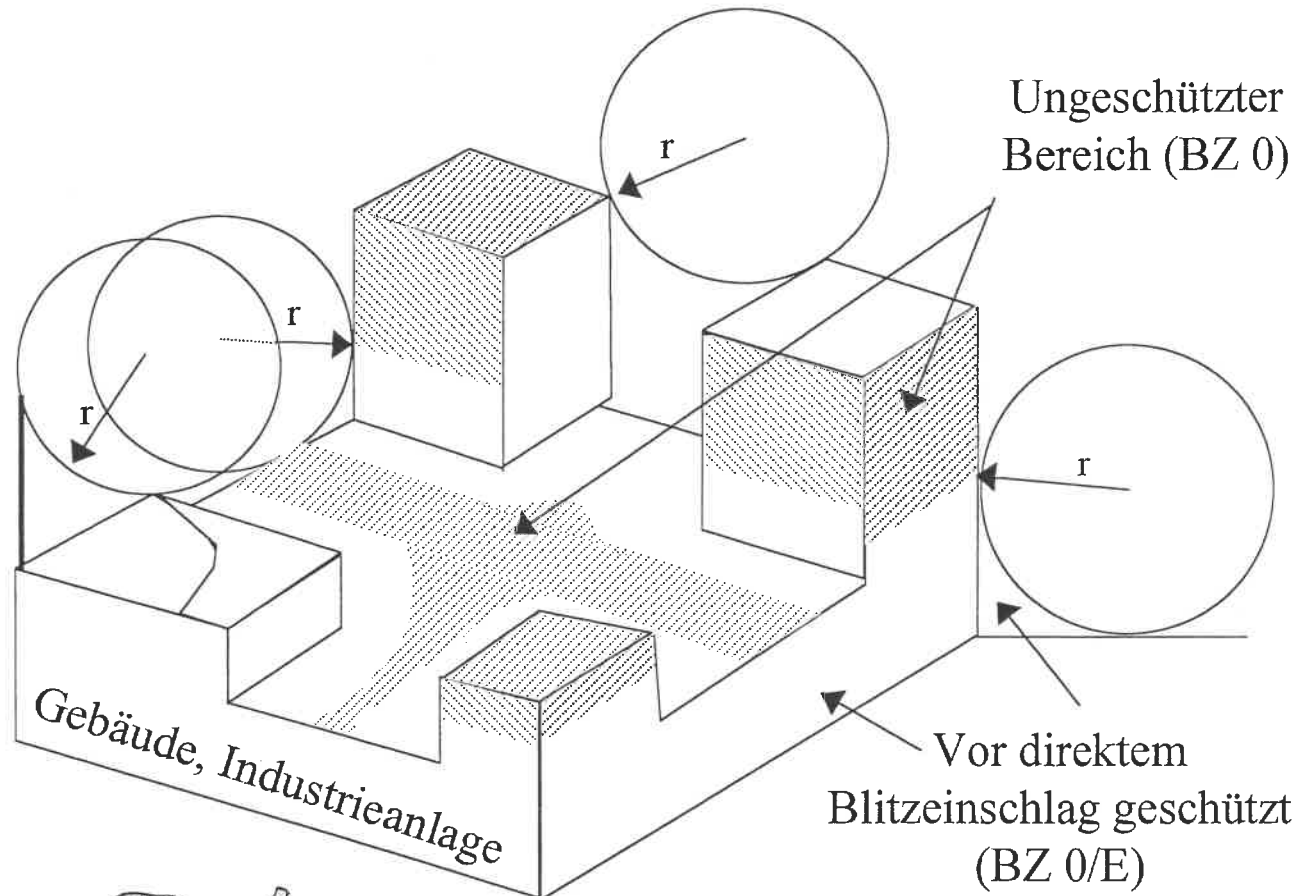
- Konsequentem Potentialausgleich
- Einsatz von Überspannungsableitern
- Kabelschirmung
- Symmetrierung der Signale
- Potentialtrennung

Trotz eines korrekt ausgeführten **äußeren** Blitzschutzes können Spannungen von ca. 4 kV und Ströme von ca. 2 kA im inneren weiterhin auftreten. Es ist Aufgabe des **inneren** Blitzschutzes diese auf ein systemverträgliches Maß herabzusetzen.



Blitz

- Blitzkugelradiusverfahren, Blitzschutzzonenkonzept -



Der Blitzkugelradius r ist entsprechend der Schutzklasse festgelegt (20m und 60m).



Starke Blitze haben einen größeren Blitzkugelradius, der geschützte Bereich (BZ 0/E) wird größer!

Blitz

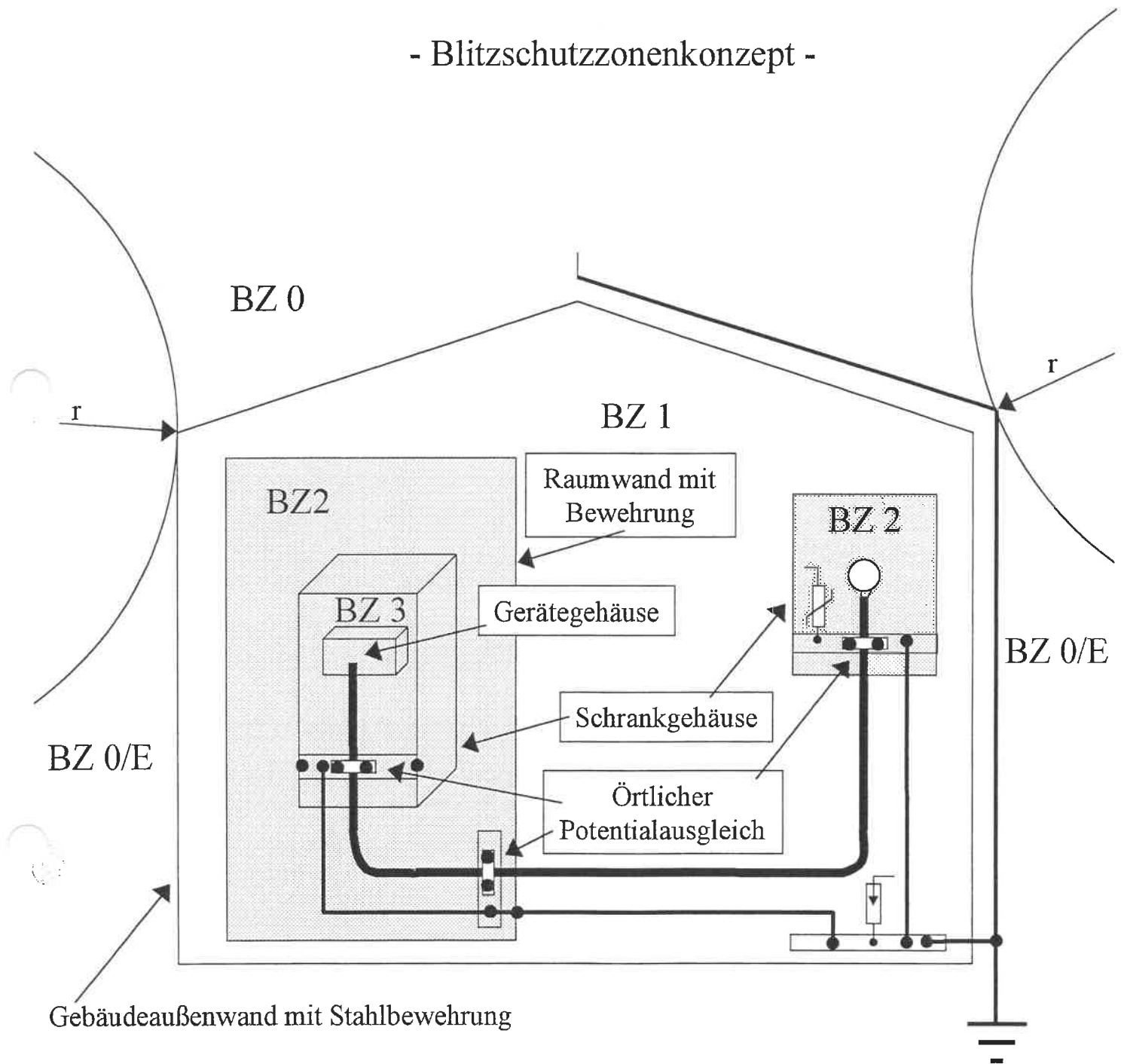
- Blitzschutzzonekonzept -

Das zu schützende Volumen wird in Blitzschutzzone unterteilt.

- An einer Zonengrenze sollen die Felder und/ oder leitungsgebundene Störungen um ca. Faktor 10 (20dB) bis 100 (40dB) reduziert werden.
- Zonengrenze kann sein: Bewehrung (Stahlbeton), Metallgitter, Blech, Metallgehäuse, Stahlrohr, Leitungsschirm, Abstand.
- Innerhalb einer Zone ist ein lokaler Potentialausgleich durchzuführen (Blitzschutz-Potentialausgleich kann auch mittels Trennfunkstrecken erfolgen).
- Schirme sind direkt an der Einführungsstelle in die neue Blitzschutzzone an den Potentialausgleich anzuschließen. Schirme dürfen nach Anschluß weitergeführt werden.
- Ein- und Ausgänge von geschirmten Leitungen sind dann mit Schutzelementen zu versehen, wenn Längs- und Querspannungen zu hohe Werte erreichen.

Blitz

- Blitzschutzzonenkonzept -

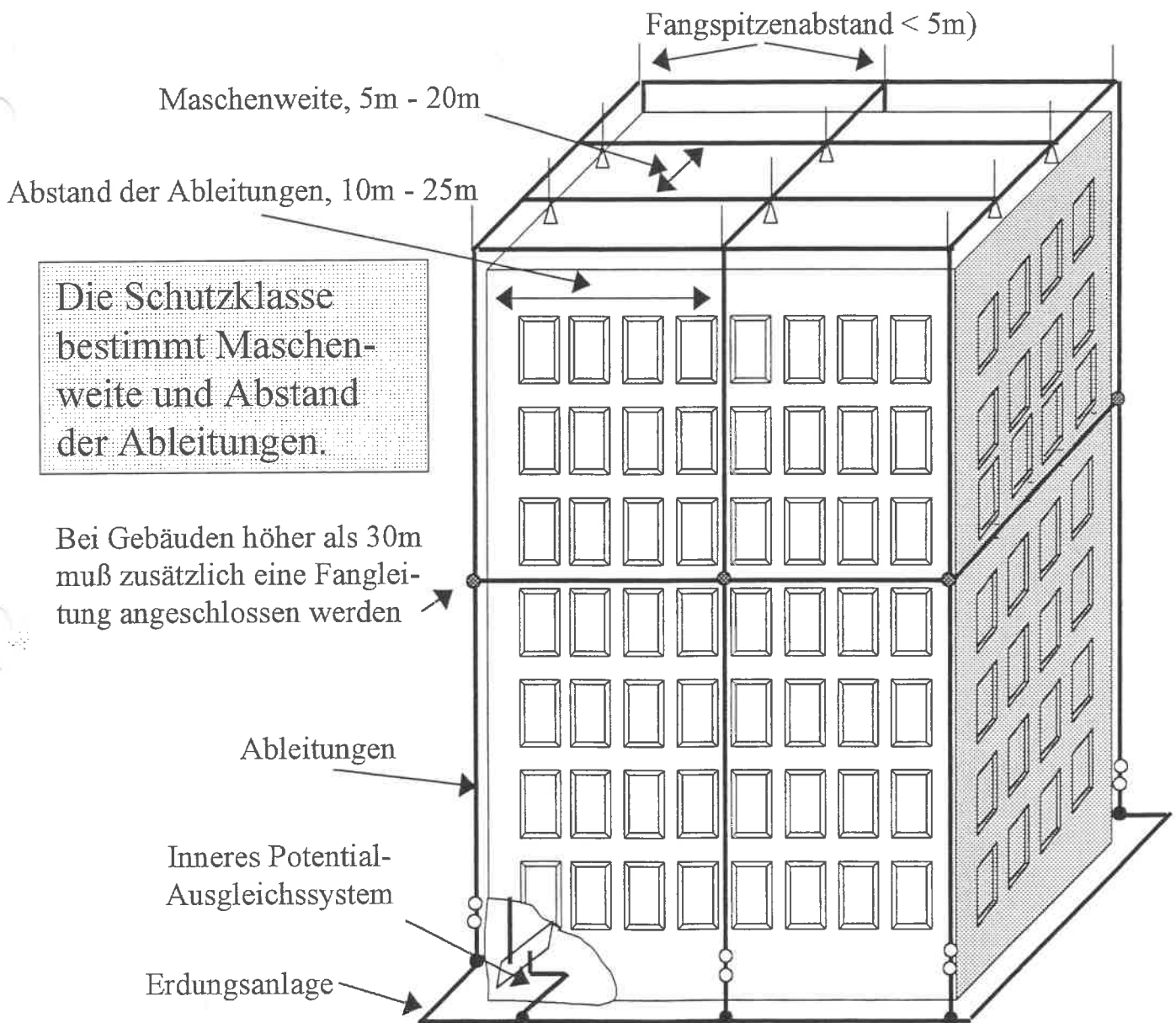


BZ -> Blitzschutzzone

Blitz

- Äußerer Blitzschutz, Fangeinrichtung -

Im Prinzip wird über das Gebäude ein Metallkäfig gelegt.



Blitz

- Äußerer Blitzschutz, Fangeinrichtung (IEC 1024) -

Schutzklasse	Gebäudehöhe h					Abstand zwischen den Ableitungen	Maschenweite w	Blitzkugelradius
	10	20	30	45	60			
Schutzwinkel α								
I	45°	25°	-	-	-	10	5	20
II	55°	35°	25°	-	-	15	10	30
III	60°	45°	35°	25°	-	20	10	45
IV	65°	55°	45°	35°	25°	25	20	60

Längenangaben in Meter

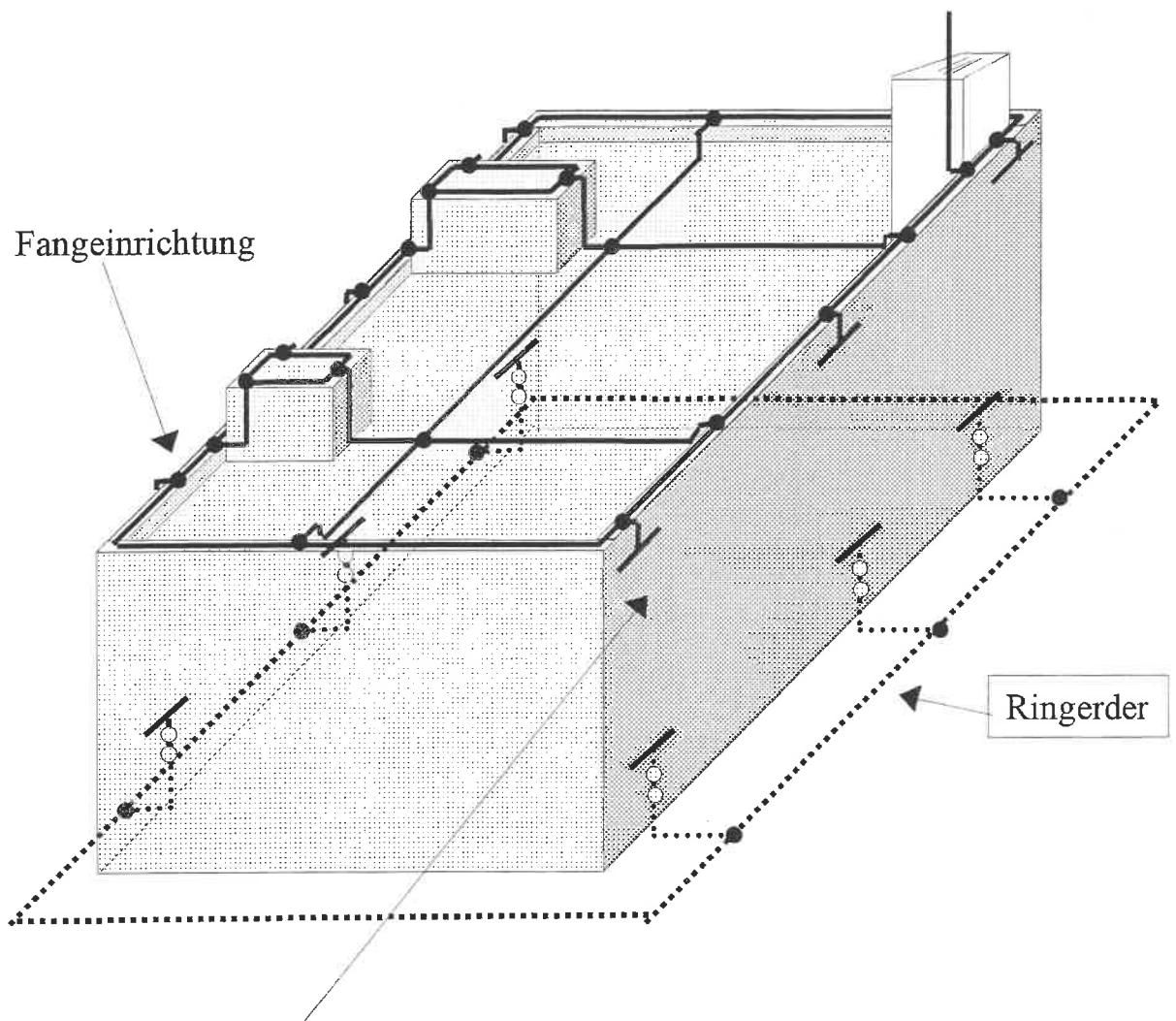
Mindestmaße von Blitzschutzmaterial

Material	Fangeinrichtung	Ableitung	Erder	Potentialausgleichsleiter
Kupfer	35mm ²	16mm ²	50mm ²	16mm ²
Alu	70mm ²	25mm ²	-	25mm ²
Stahl	50mm ²	50mm ²	80mm ²	50mm ²

Falls er keinen wesentlichen Teil des Blitzstromes führt

Blitz

- Äußerer Blitzschutz, Fangeinrichtung -



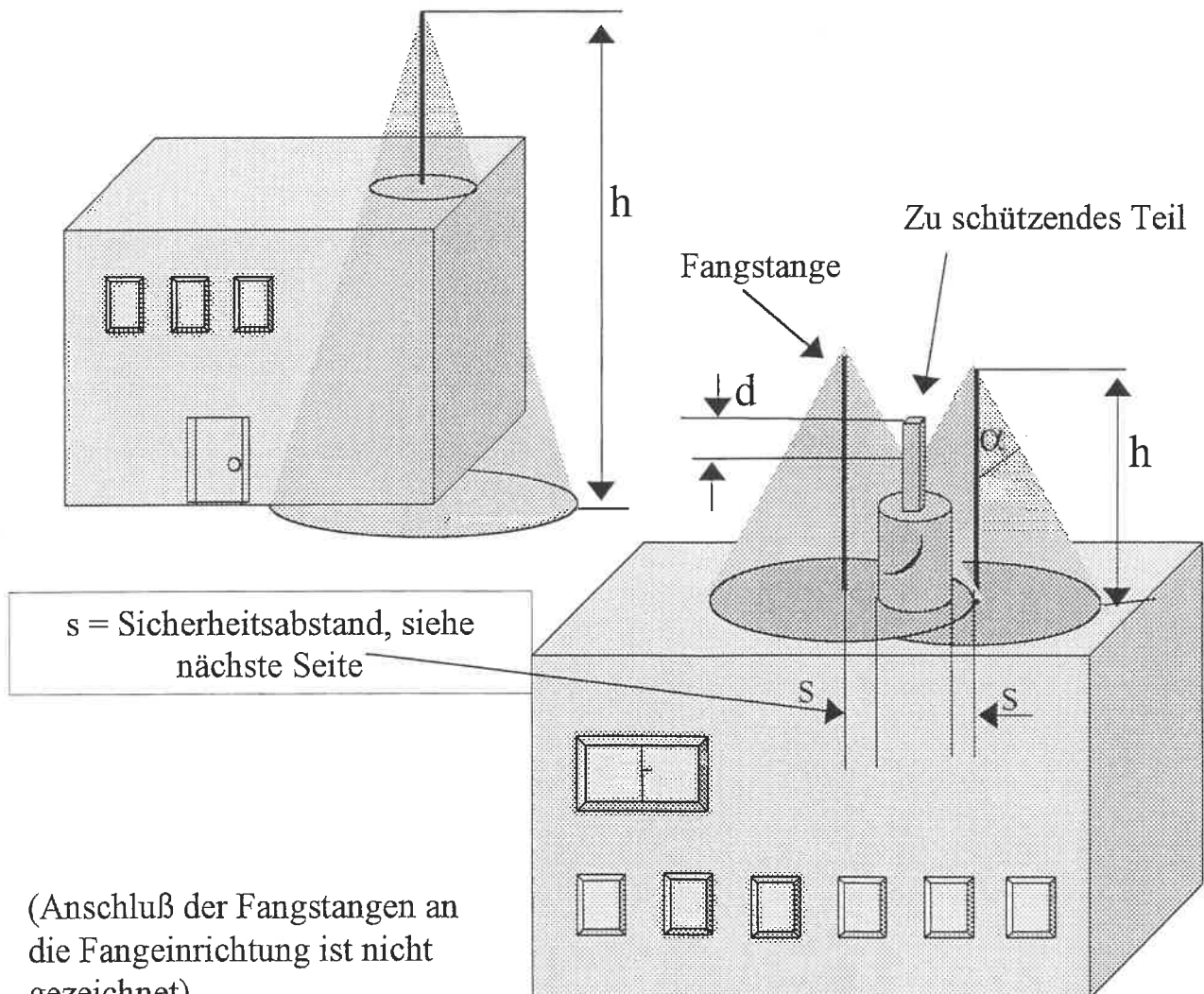
Blitz

- Äußerer Blitzschutz, Fangstangen -

Dachaufbauten dürfen höchstens $d = 0,3\text{m}$ aus dem Schutzbereich der Fangstangen herausragen.

Die Höhe h wird immer von der Fußfläche des zu bildenden kegelförmigen Schutzraumes gerechnet.

α , h sind abhängig von der gewählten Schutzklasse.
 $\alpha = 25^\circ - 65^\circ$, $h = 10\text{m} - 60\text{m}$



Blitz

- Äußerer Blitzschutz, Fangstangen -

Dachaufbauten aus Metall ohne Verbindung zu geerdeten Komponenten, wie z. B. Blechabdeckung, Dachfenster brauchen dann nicht an die Fangeinrichtung angeschlossen werden, wenn gilt:

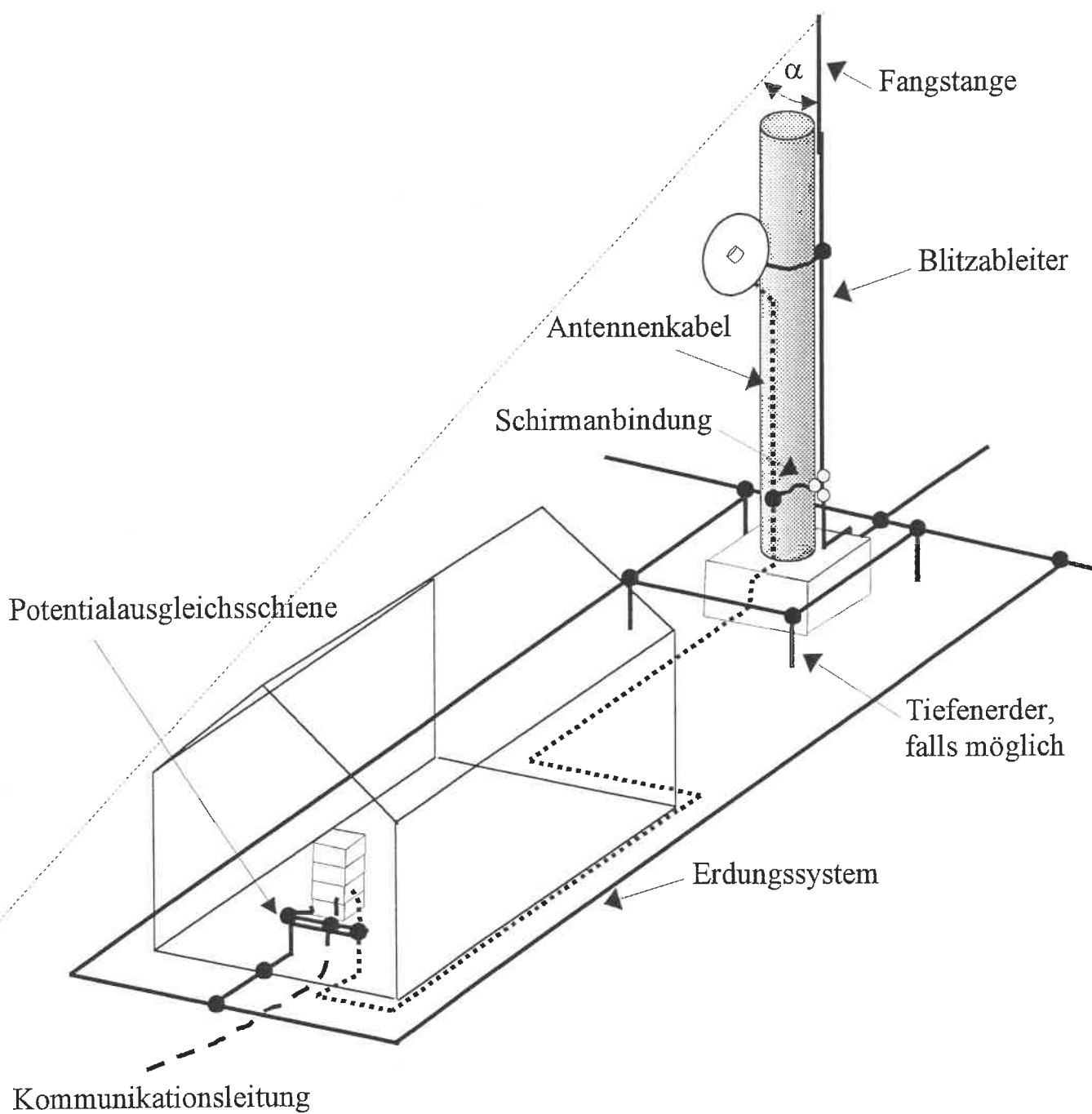
- Sie ragen maximal nur $d = 0,3\text{m}$ aus dem Schutzbereich hinaus
- Sicherheitsabstand $s > 0,5\text{m}$
- Fläche höchstens 1 m^2
- Länge höchstens 2 m

Bei **Dachaufbauten mit elektronischen Einrichtungen**, die in **das Gebäude führen** wie z. B. Überwachungskameras, Klimaanlage, Meßsysteme ist eine Fangeinrichtung vorzusehen.

Die Einrichtungen werden **nicht** an die Fangeinrichtung angeschlossen. Der Sicherheitsabstand $s > 0,5\text{m}$ ist einzuhalten.

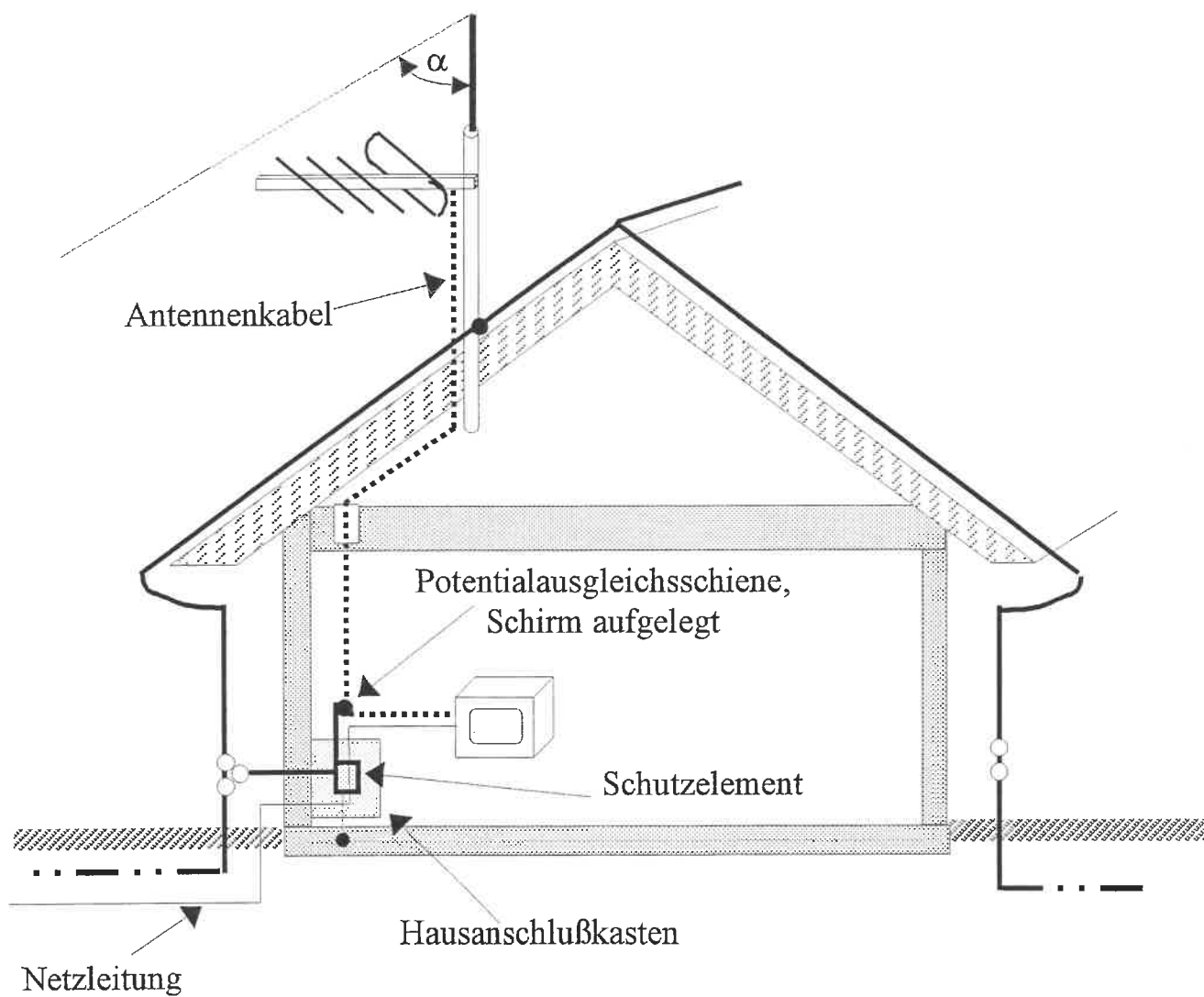
Blitz

- Äußerer Blitzschutz, Antennenmast -



Blitz

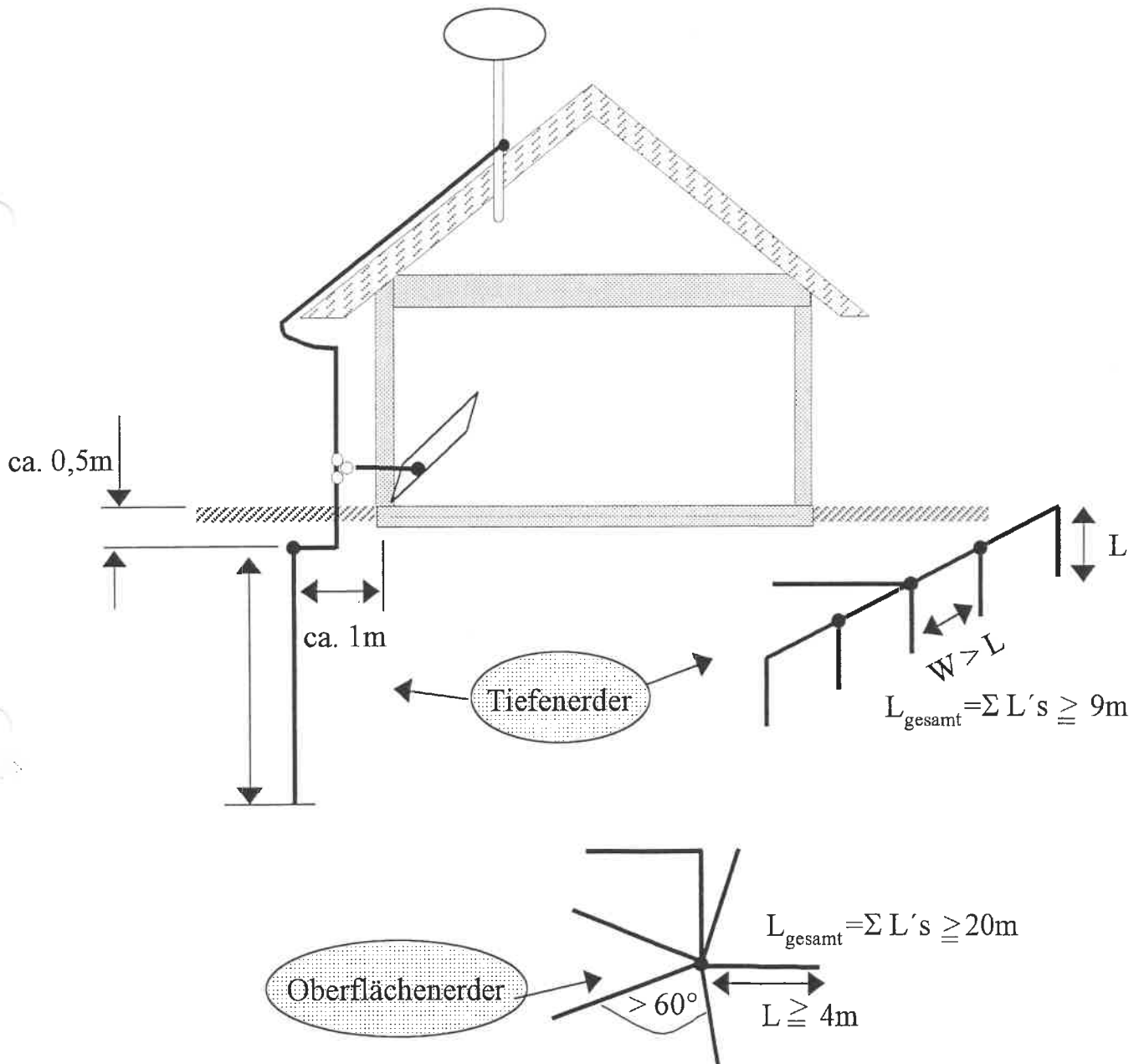
- Äußerer Blitzschutz, Antennenmast -



Blitz

- Äußerer Blitzschutz, Einzelerder -

Erdung einer Elektrosirene ohne Blitzschutzanlage und ohne Fundamenterder



Nach VDE 0185, T1

Blitz

- Innerer Blitzschutz, allgemeines -

Der innere Blitzschutz begrenzt die Längs- und Querspannungen auf ein systemverträgliches Maß

- Kabelschirme sind beidseitig an das örtliche Potentialausgleichssystem anzuschließen, jeweils an der Schnittstelle zweier Blitzschutzzonen.
- Stromtragfähige Gefechtschirme verwenden. Metallfolien- schirme sind nicht stromtragfähig und sollten zu diesem Zwecke nicht verwendet werden.
- Leitungen verlegen in geschlossenen Metallrohre, Kabel- pritschen, Stahlbetonkanäle.
- Metallenen Kabelpritschen gut leitend durchverbinden.
- Leitungen verwenden, in denen zusammengehörende Adern verdrillt sind.
- Schutzelemente an beiden Kabelenden einsetzen.
- Symmetrierung und Potentialtrennung der Signalübertragung.

Blitz

- Blitzschutzelemente -

Es wird unterschieden zwischen Blitzschutzelemente für

Energietechnisches Netz

Informationstechnisches Netz

Blitzstromableiter
(Grobschutz)

Überspannungsableiter*)
(Feinschutz)

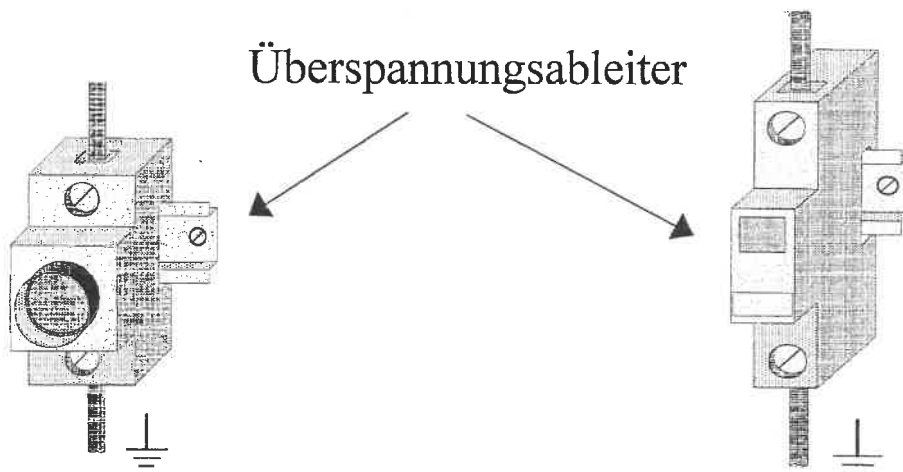
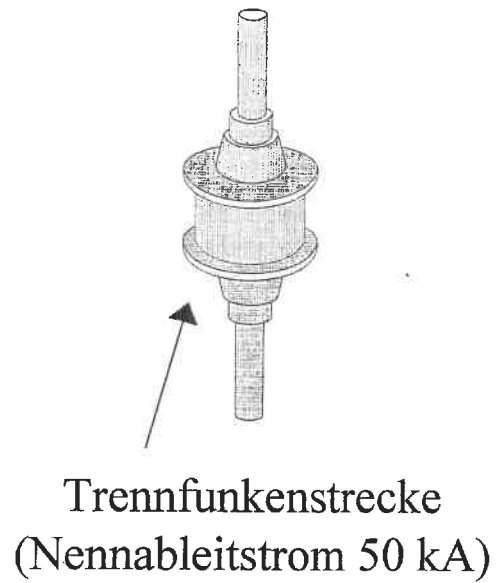
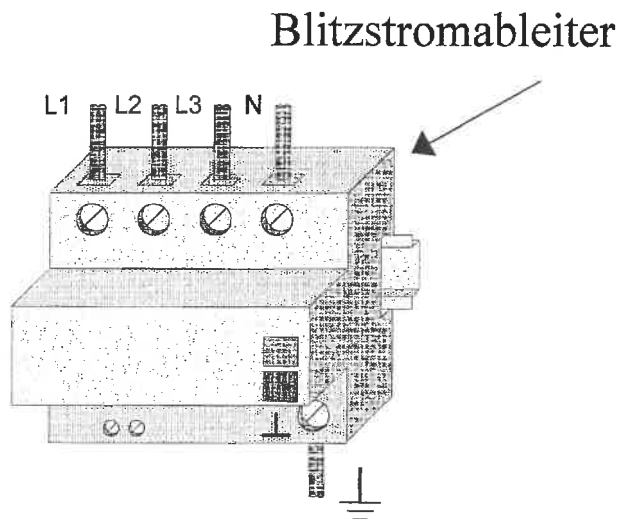
*) bzw. Überspannungsbegrenzer

Der **Blitzstromableiter** leitet den originären Blitzstrom ab. Er wird direkt an den Gebäudegrenzen installiert (Übergang BZ 0 bzw. BZ 0/E nach BZ 1).

Der **Überspannungsableiter** wird in der Regel an den zu schützenden Geräte installiert.

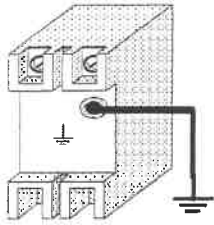
Blitz

- Blitzschutzelemente für energietechnisches Netz-



Blitz

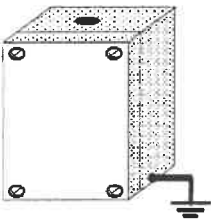
- Blitzschutzelemente für informationstechnisches Netz -



$$I_{SN} = 20\text{kA}$$

$$U_{SP} = \text{ca. } 800\text{V Ader-Ader}$$

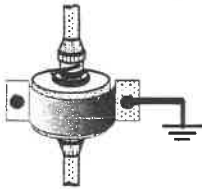
$$U_{SP} = \text{ca. } 600\text{V Ader-Erde}$$



$$I_{SN} = 10\text{kA}$$

$$U_{SP} = \text{ca. } 1\text{kV Ader-Ader}$$

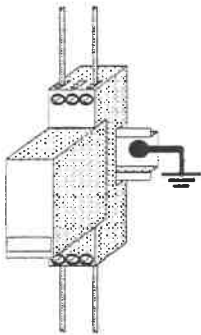
$$U_{SP} = \text{ca. } 600\text{V Ader-Erde}$$



$$I_{SN} = 15\text{kA}$$

$$U_{SP} = \text{ca. } 2\text{kV}$$

Blitzstromableiter

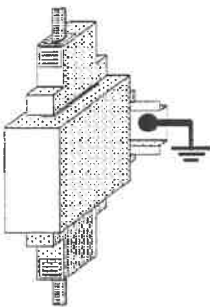


$$I_{SN} = 10\text{kA}$$

$$U_{SP} = 1,5 * U_{Nenn} \text{ Ader-Ader}$$

$$U_{SP} = 1,5 * U_{Nenn} \text{ Ader-Erde}$$

Überspannungsableiter



$$I_{SN} = 100\text{A}$$

$$U_{SP} = 20\text{V Ader-Ader}$$

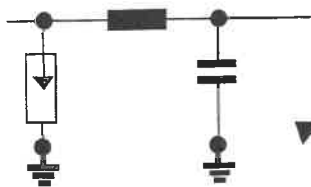
$$U_{SP} = 200\text{V Ader-Erde}$$

I_{SN} = Nennableitstrom

U_{SP} = Schutzpegel

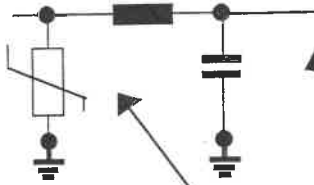
Blitz

- Blitzschutzelemente gemäß (EN 61000-5-5) Innenbeschaltung -

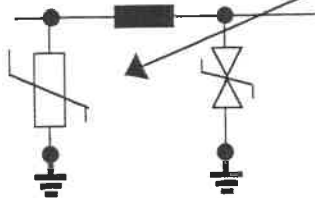


Sie werden für den Schutz in einadrigen Ein- und Ausgangsschaltungen verwendet

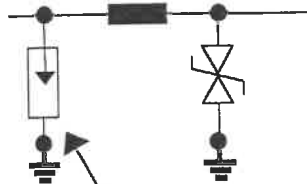
Sie müssen vom Bezugspotential (Masse) isoliert sein.



Wird in Leitungen eingesetzt, in denen das Verlöschen von Gasentladungsableitern wegen hoher Folgeströme nicht sichergestellt ist.



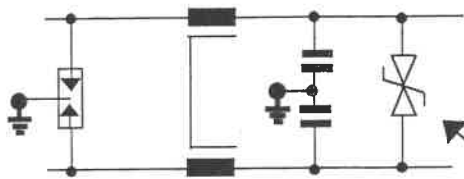
Sie sind vom Bezugspotential (Masse) **nicht** isoliert.



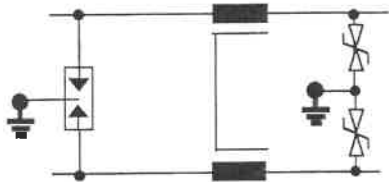
Gasentladungsableiter

Blitz

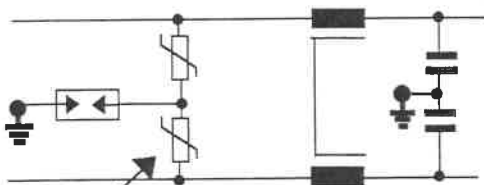
- Innenbeschaltung Blitzschutzelemente (EN 61000-5-5) -



Verwendung bei Niederspannungs-Stromversorgungsleitungen. Die Stromversorgung darf nicht geerdet sein. Für geerdete Systeme **Schutzdiode** entfernen.



Schützt symmetrische Telekommunikationsleitungen.

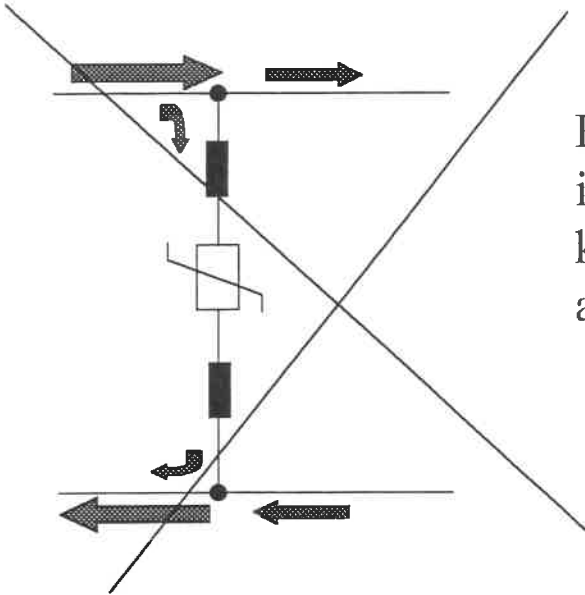


Wird zum Schutz von 230-V-Wechselstromversorgungsleitungen in beweglichen Einrichtungen eingesetzt.

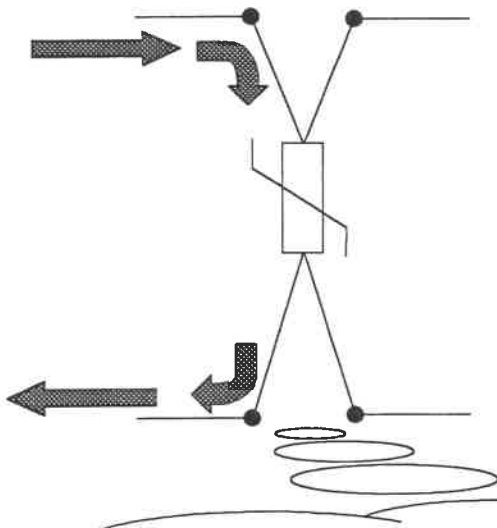
Metalloxid-Varistor (MOV)

Blitz

- Innerer Blitzschutz -



Bedingt durch die Zuleitungsinduktivitäten wird nur ein kleiner Teil des Störstromes abgeleitet!

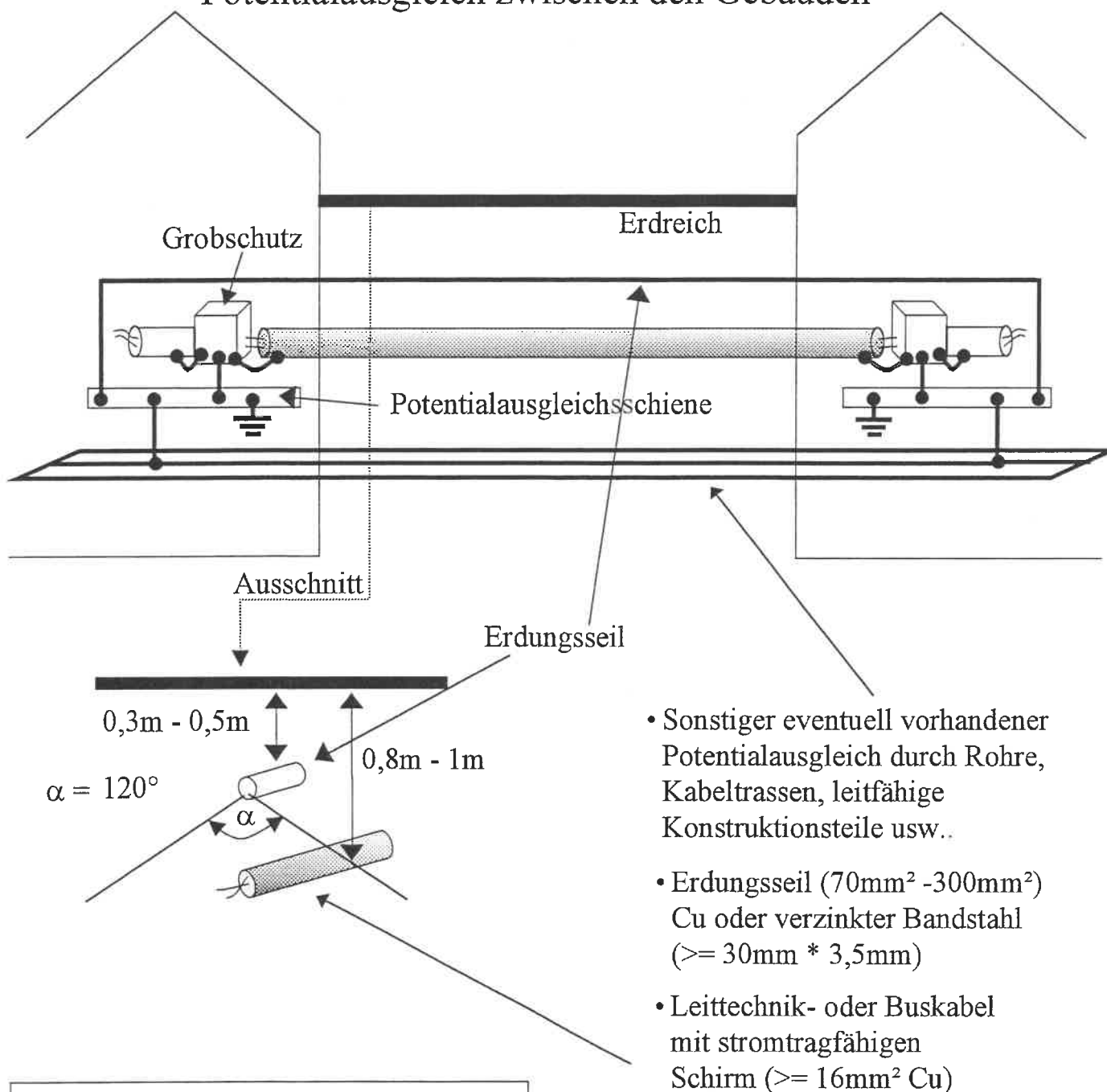


Durch die vier Anschlußbeinchen des Thyristors wird die Zuleitungsinduktivität eliminiert. Der Störstrom wird abgeleitet.

Diese Technik kann auch bei Dioden, Kondensatoren angewendet werden.

Blitz

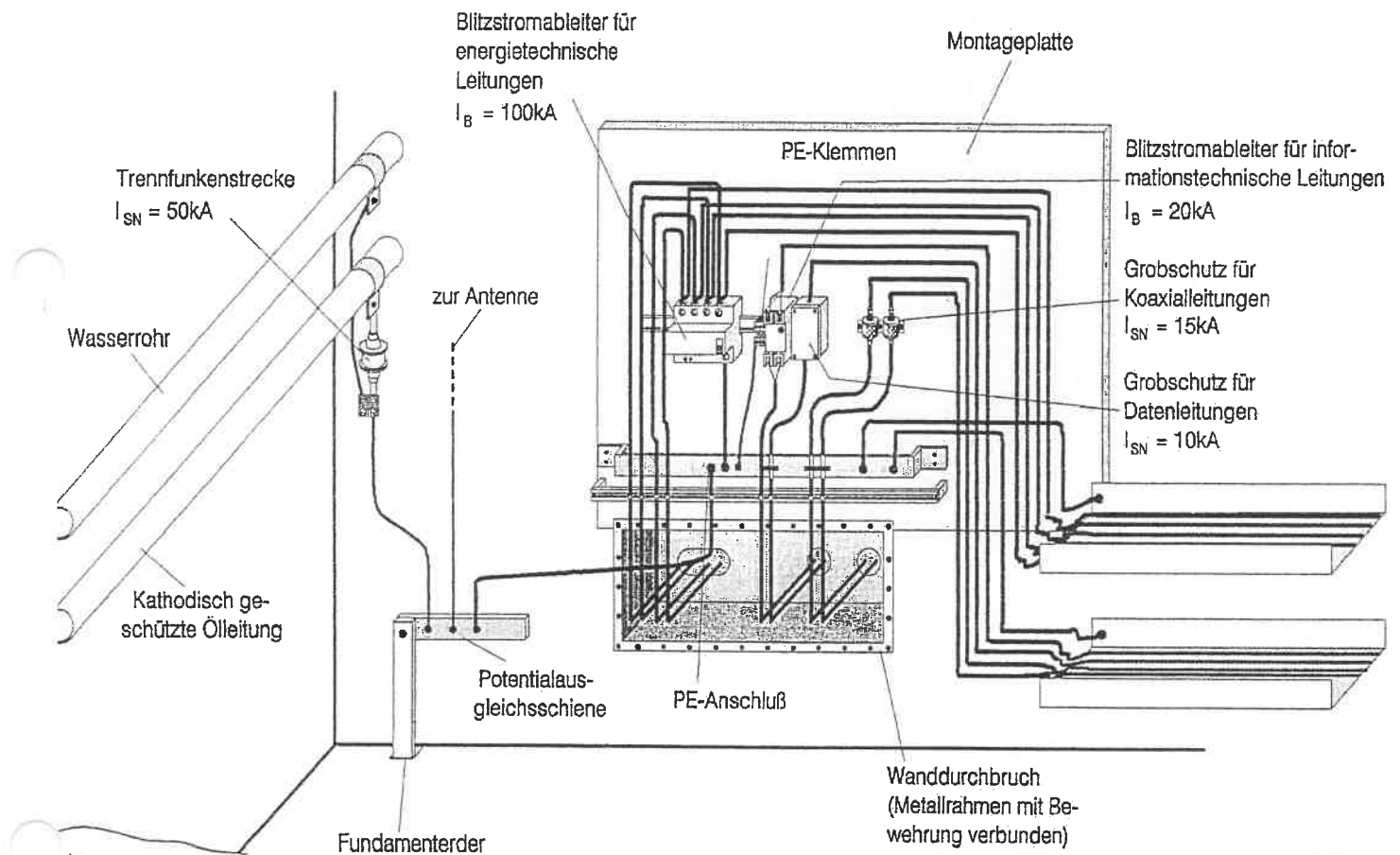
- Potentialausgleich zwischen den Gebäuden -



Die Kabeleinführung sollte
immer in der BZ 0/E erfolgen!

Blitz

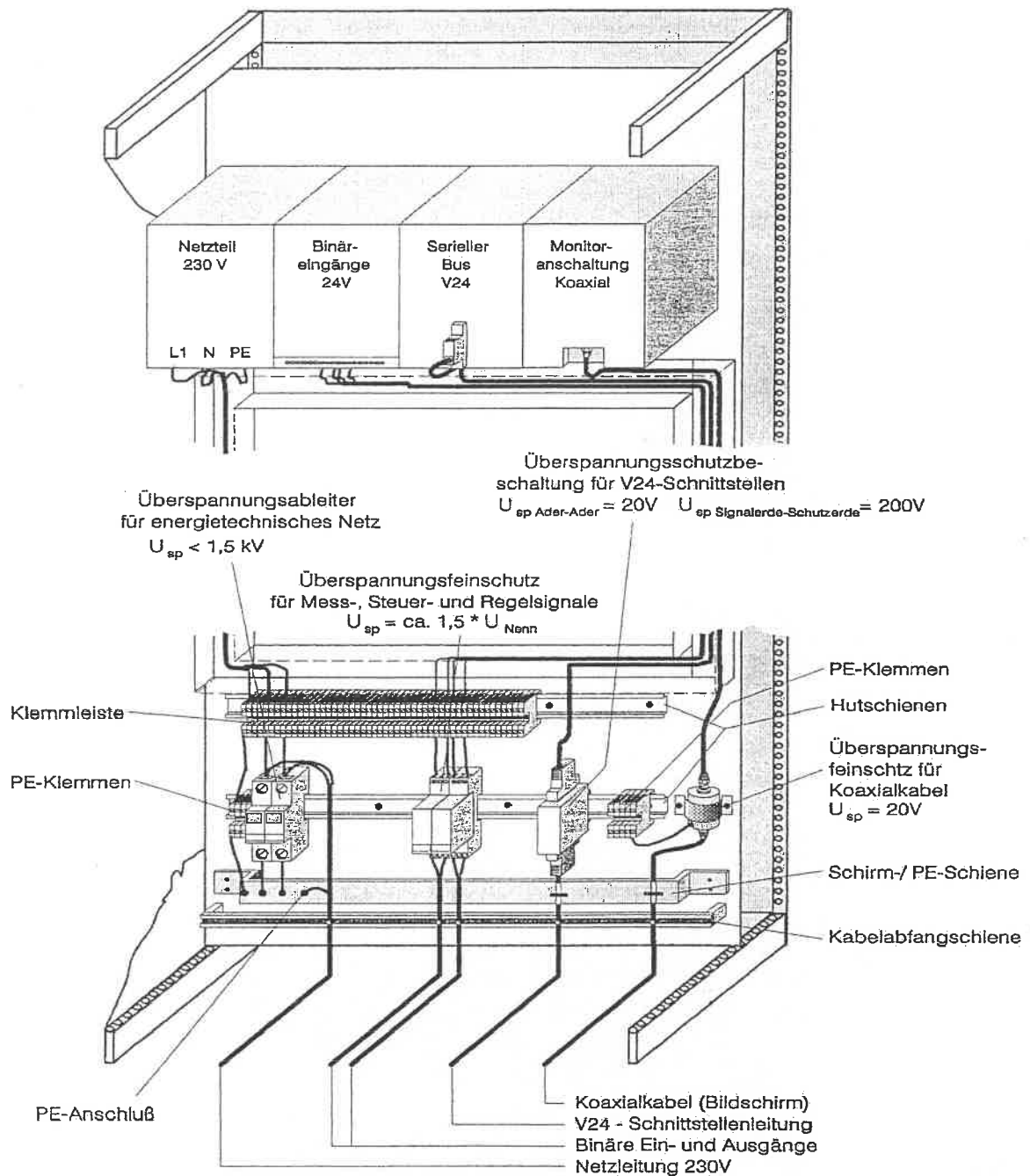
- Innerer Blitzschutz -



Grobschutz bei Gebäudeeintritt (Schnittstelle zwischen Blitzschutzzone BZ 0/E und BZ 1)

Blitz

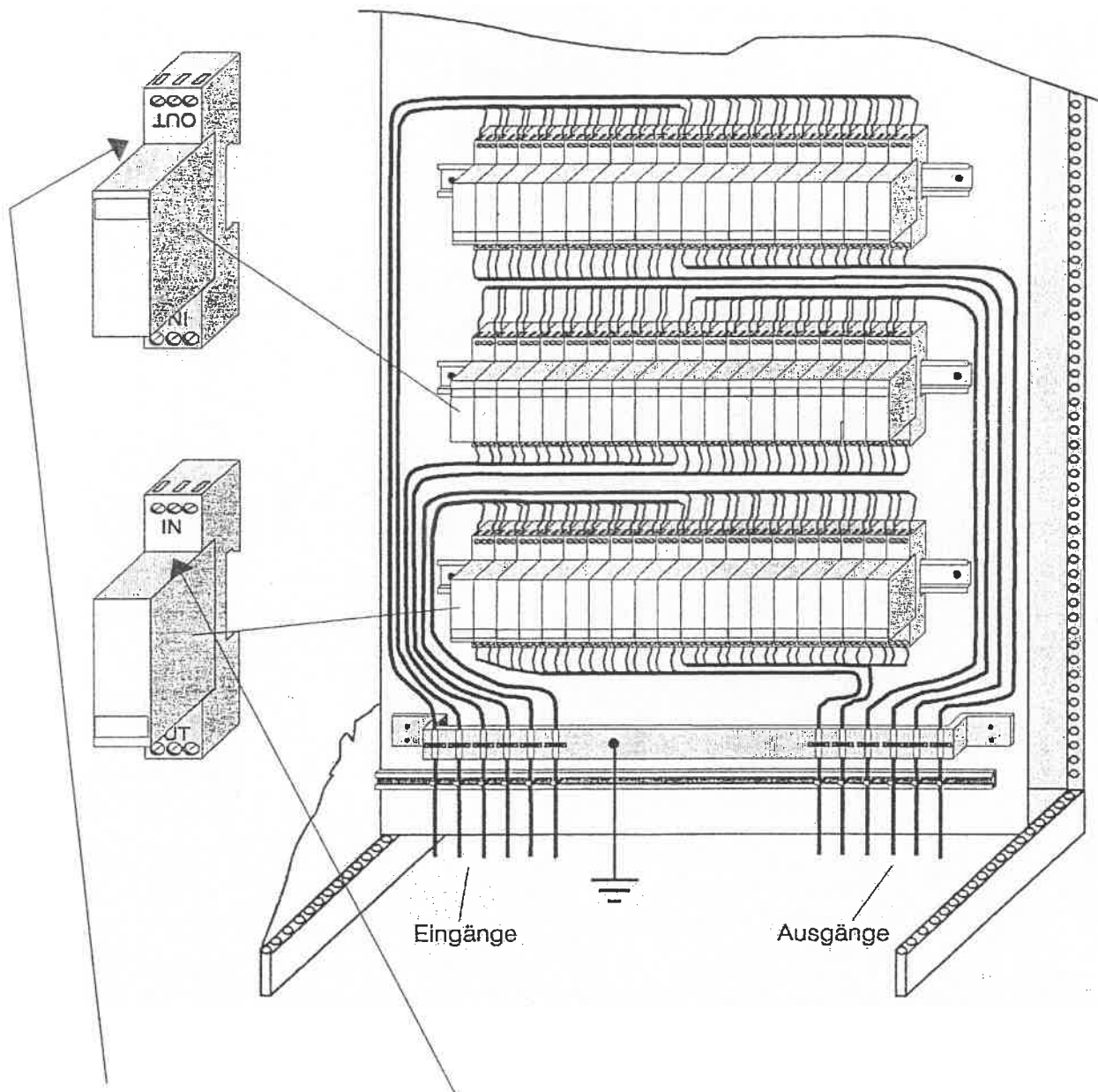
- Innerer Blitzschutz -



Feinschutz im Schaltschrank (Schnittstelle zwischen Blitzschutzzone BZ 1 und BZ 2)

Blitz

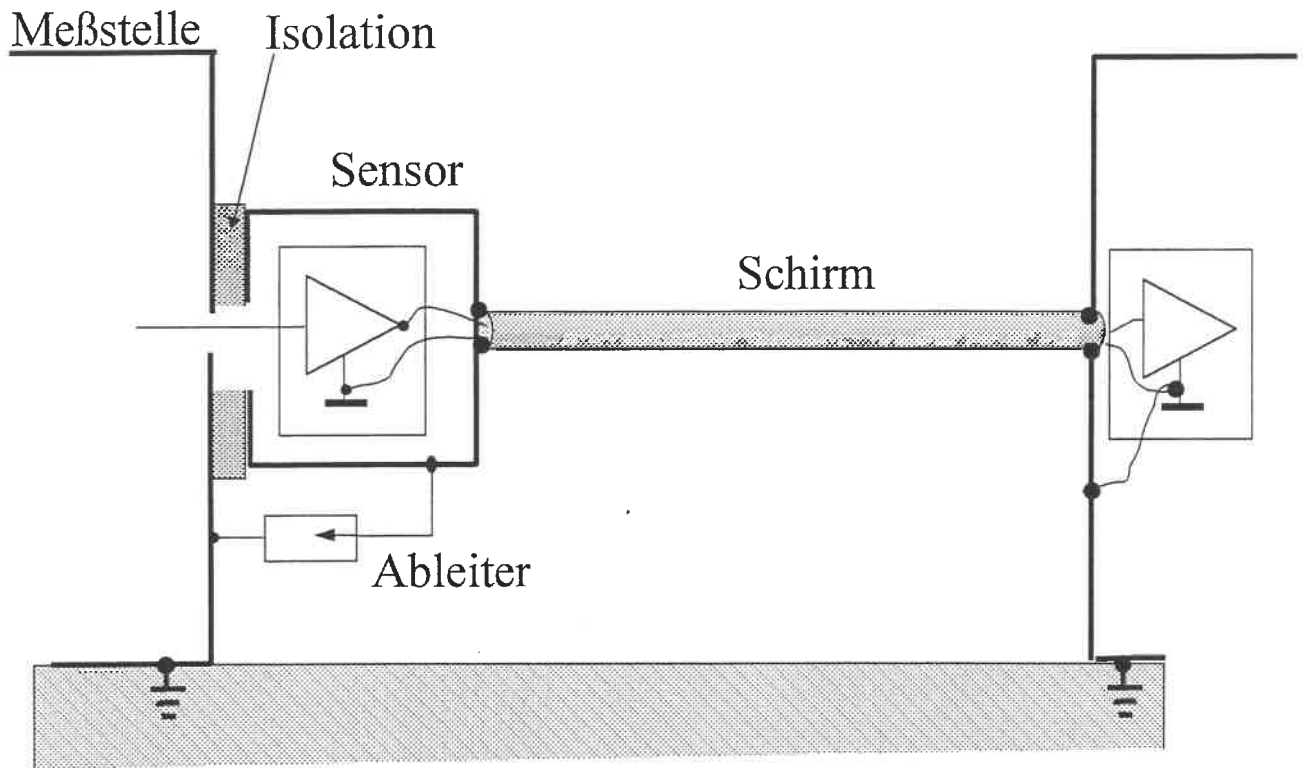
- Innerer Blitzschutz -



Durch entsprechende Anordnung der Schutzelemente wird Kopplung zwischen Ein- und Ausgangsleitungen verhindert.

Blitz

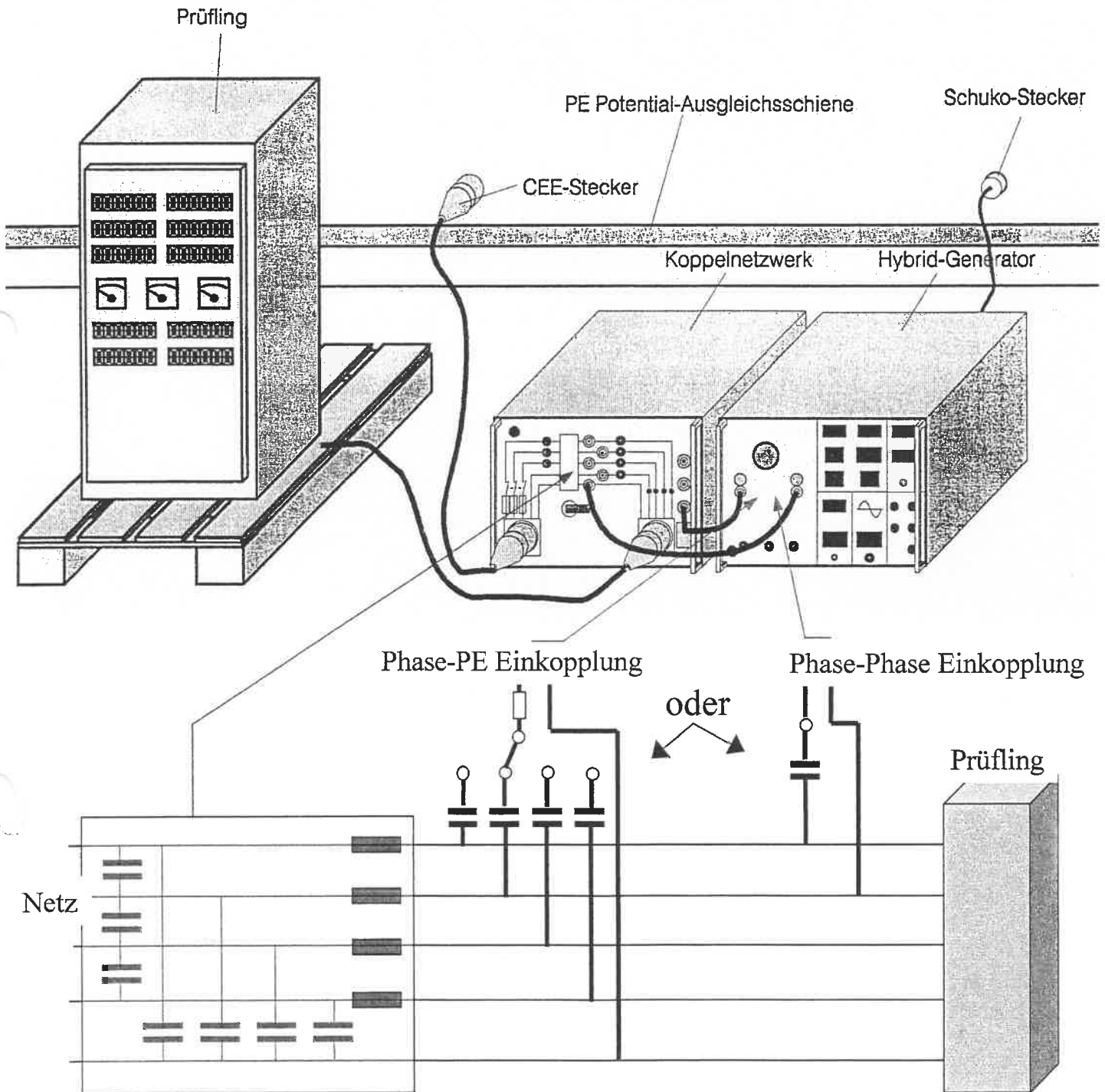
- Innerer Blitzschutz -



Der analoge Sensor ist isoliert eingebaut. Erst wenn der Ableiter anspricht wird der Schirm beidseitig auf Bezugspotential (Erde) gelegt und ist erst dann wirksam gegenüber Blitzeinwirkungen.

Blitz

- Energiereiche Einkopplung (IEC 61000-4-5) -



Blitz

- Normen, Richtlinien, Literatur -

Blitzschutzbedürftigkeit festgelegt in:

- Verordnungen/ Verfügungen der zuständigen Aufsichtsbehörden
- Unfallverhütungsvorschriften der Berufsgenossenschaften
- Empfehlung der Sachversicherer

Blitzausführungsbestimmungen:

- VDE 0185
- IEC 61024
- IEC 62066 Allgemeine Informationen bezüglich Blitzschutz
- Verband der Sachversicherer z. B. Merkblätter 2028, 2031
- Sicherheitstechn. Regeln des "Kerntechnischen Ausschusses" KTA
- Technische Anschlußbestimmungen der EVU's

Literatur

- Handbuch für Blitzschutz und Erdung (Hasse, Wiesinger, VDE-Verlag)
- Praxis des Überspannungs- und Störspannungsschutzes (Panzer, Vogel-Verlag)
- EMV und Blitzschutz leittechnischer Anlagen (Pigler, Siemens)
- Blitzschutzanlagen (Trommer, Hampe, Hüthig Verlag)