

Schutzkonzepte in Niederspannungsanlagen

Alfred Mörx¹

1 Sicherheit, höchstes vertretbares Risiko, Gefahr

Der Begriff der Sicherheit, als unverzichtbarer Basisbegriff für alle Überlegungen zur Schutztechnik in Niederspannungsanlagen und -betriebsmittel, ist heute als "Freiheit von unververtretbaren Schadensrisiken" weitestgehend anerkannt. *Sicherheit* und *Gefahr* sind komplementäre Begriffe, die einander grundsätzlich ausschließen.

Dies bedeutet, dass „Sicherheit“ jedes *unvertretbare* Schadensrisiko ausschließt und es erlaubt, eine Situation eindeutig als "Sicher" oder "Gefährlich" zu klassifizieren. Ziel der Planung, der Errichtung, des Betriebs, der Instandhaltung und Prüfung von Niederspannungsanlagen ist es, Sicherheit zu erreichen, zu erhalten und Gefahren auszuschließen. Natürlich gilt dies auch für jede Art von Niederspannungsbetriebsmittel.

Die Abgrenzung von Gefahr und Sicherheit ist durch die Einführung des Begriffs "Höchstes vertretbares Risiko" getroffen; diese Zusammenhänge sind in Bild 1-1 dargestellt.

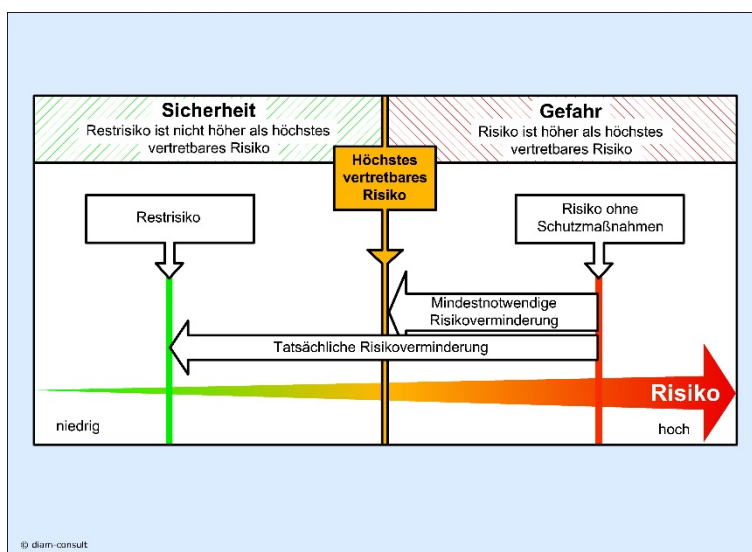


Bild 1-1 Grundsätze der Sicherheitsphilosophie für Niederspannungsanlagen und Niederspannungsbetriebsmittel aus risikotechnischer Sicht. Verringerung des Restrisikos durch zusätzliche Maßnahmen, die zur deutlichen Unterschreitung des höchsten vertretbaren Risikos („Grenzrisiko“) in Richtung hoher Sicherheit führen.

In der Praxis muss nun bei der Planung und Ausführung von elektrischen Anlagen und auch bei der Herstellung von Betriebsmitteln (z. B. Niederspannungs-Schaltgerätekombinationen) durch geeignete Maßnahmen sichergestellt werden, dass das Risiko, das nach Anwendung von Schutzmaßnahmen verbleibt, möglichst gering, in keinem Fall jedoch größer als das höchste vertretbare Risiko ist.

¹ Überarbeitete Kurzfassung eines Vortrages, gehalten anlässlich von Veranstaltungen der Eaton Industries (Austria) GmbH im Jänner, Februar und März 2018. Eur.-Phys. Dipl.-Ing. Alfred Mörx; ÖVE, IEEE Section Reliability; E-Mail: am@diamcons.com. Inhaber und Leiter von diam-consult, eines Ingenieurbüros für Physik mit dem Arbeitsschwerpunkt Risikoanalyse und Schutztechnik in komplexen technischen Systemen. Vorsitzender des Technischen Komitees Elektrische Niederspannungsanlagen und des Technischen Subkomitees Schutzschalter des ÖVE sowie Mitarbeiter in zahlreichen europäischen und internationalen Arbeitsgruppen.



Dieses „höchste vertretbare Risiko“, oft auch als das „Grenzrisiko“ bezeichnet, muss in jedem Fall unterschritten werden; insofern stellen alle Maßnahmen, die dazu beitragen, dass dieses *Grenzrisiko* erreicht wird, Minimalmaßnahmen zur Risikominderung dar. Die *in den anerkannten Regeln der Technik*² enthaltenen Anforderungen legen diese *schutztechnischen Minimalanforderungen*³ fest.

Dieses höchste vertretbare Risiko darf jedoch keinesfalls mit dem Begriff des Restrisikos (siehe Bild 1-1) verwechselt werden, da es ja das Bestreben jedes mit sicherheitsrelevanten Aufgaben beschäftigten Technikers sein muss, das auch bei Anwendung von technischen Maßnahmen niemals vollständig auszuschließende Restrisiko *möglichst weit unter die höchste vertretbare Grenze* zu drücken; d. h. möglichst weit in Richtung Sicherheit zu schieben.

In der mathematischen Betrachtung ist das Risiko, bezogen auf die betrachtete Gefahr, abhängig vom *Schweregrad der Verletzung (des Schadens)*, die sich aus der betrachteten Gefahr ergeben kann, und der *Wahrscheinlichkeit des Auftretens der Verletzung (des Schadens)*. Einfach dargestellt gilt:

$$\text{Risiko} = (\text{Schweregrad der Verletzung}) \cdot (\text{Wahrscheinlichkeit des Auftretens der Verletzung})$$

Dabei ist zu berücksichtigen, dass unter dem Begriff „Verletzung“ („Schaden“) die Beschädigung der Gesundheit von Personen oder Eigentum oder Umwelt verstanden wird⁴.

Die Tatsache, dass ein extrem seltenes Schadensereignis, jederzeit eintreten kann, verliert durch diese Sichtweise vordergründig den Charakter eines – für sich allein anwendbaren - schutztechnischen Arguments. Wenngleich der Ausdruck „extrem selten“ in allen Fällen kritisch betrachtet und wenn möglich quantifiziert werden muss.

Dass die alleinige Verwendung des Kriteriums „Schadenspotenzial“ für die Festlegung des „höchsten vertretbaren Risikos“ nicht ausreicht, ist aus der Literatur [4] seit vielen Jahren bekannt.

Insbesondere ist bei dem oben angesprochenen Ansatz der Definition zu berücksichtigen, dass sich verschiedene „Schäden“ auf numerischen Skalen nur unzureichend abbilden lassen. Diese Betrachtung gibt vor allem auf die Frage „wie sicher ist sicher genug“, also für die soziale Bewertung von Risiken, *keine Hinweise* [7].

Im Fachbereich der Elektrotechnik, wurden die Überlegungen zum Grenzrisiko über viele Jahrzehnte *auf die Betrachtung von tödlichen Unfällen* eingeschränkt (fokussiert).

Obwohl die Betrachtung des Risikos tödlicher Elektrounfälle auch heute noch von sehr großer Bedeutung ist (insbesondere unter dem Aspekt, dass einige Phänomene bei weitem noch nicht ausreichend untersucht sind), vor allem, weil die Sorglosigkeit mit dem Umgang elektrischer Energie (u.a. wegen

² Nationale anerkannte Regeln der Technik für die Errichtung und den Betrieb elektrischer Anlagen; Europäische anerkannte Regeln der Technik (EN) bzw. Internationale anerkannte Regeln der Technik (IEC), für die Herstellung von Betriebsmitteln.

³ In vielen Fällen ist es jedoch sinnvoll, höhere Anforderungen als die Minimalanforderungen der anerkannten Regeln der Technik einzuhalten. Siehe dazu auch [11], [12].

⁴ Siehe dazu in [6] die Definition von “harm: injury or damage to the health of people, or damage to property or the environment”



des bisher in den elektrischen Anlagen und bei der Benutzung von Betriebsmitteln in Österreich erreichten geringen Restrisikos für den schädlichen elektrischen Schlag⁵) zuzunehmen scheint, kommen zusätzliche Anforderungen an die Schutztechnik zur Vermeidung von „Schäden“ hinzu.

Diese zusätzlichen Anforderungen machen es notwendig, bisher angewandte Schutzkonzepte auf ihre Aktualität zu prüfen und gegebenenfalls weiterzuentwickeln.

2 Gesetzliche Anforderungen für elektrische Anlagen und Betriebsmittel

Die gesetzlichen Anforderungen an die elektrotechnische Sicherheit für elektrische Anlagen und Betriebsmittel sind im österreichischen Elektrotechnikgesetz (ETG) [9] enthalten. Es enthält eine klare Formulierung hinsichtlich der Gestaltung von Sicherheitsmaßnahmen auf dem Gebiete der Elektrotechnik.

Die in diesem Gesetzestext enthaltenen vier grundlegenden Sicherheitsziele sind im Bild 2-1 zusammengestellt.

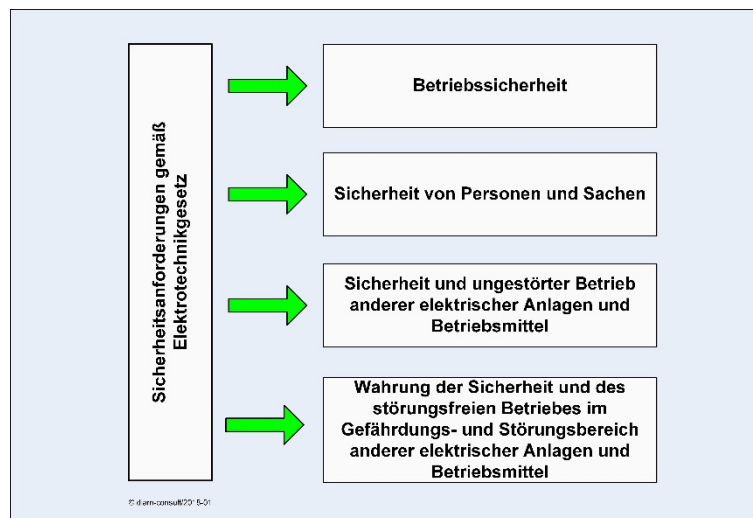


Bild 2-1 Sicherheitsanforderungen gemäß Elektrotechnikgesetz 1992, in der Fassung BGBl. I/27/2017 [9]

Anerkannte Regeln der Technik für die Herstellung von elektrischen Betriebsmitteln werden (als europaweit, weltweit oder national geltende Normen) im Zuge von Konformitätsbewertungsverfahren zur Erfüllung der grundlegenden Anforderungen der auf das Betriebsmittel zutreffenden Europäischen Richtlinien⁶ wirksam.

Anerkannte Regeln der Technik („Normen“) für das Errichten, Betreiben, Ändern und Instandhalten von elektrischen Anlagen werden in Österreich durch die so genannte „Elektrotechnikverordnung“ gesetzlich verbindlich zur Anwendung vorgeschrieben („verbindlich erklärt“) und wo erforderlich durch weitere, nicht verbindlich zur Anwendung vorgeschriebene, ergänzt. Darüber hinaus sind die technisch/organisatorischen Anforderungen einschlägiger Gesetze und Verordnungen einzuhalten (z. B. jene aus dem Bereich des ArbeitnehmerInnenschutzes).

⁵ Siehe dazu in [8] die Definition von „schädlicher elektrischer Schlag: elektropathologische Wirkungen, die vorübergehend oder dauernd die Gesundheit eines Menschen oder Nutztieres beeinträchtigen können. Sekundärwirkungen, wie Schreckreaktionen, z. B. Sturz von einer Leiter, sind ausgenommen.“

⁶ Beziehungsweise der nationalen Umsetzung der Europäischen Richtlinien.



3 Schutzkonzepte

Unter einem (elektrotechnischen) Schutzkonzept⁷ soll hier eine Zusammenstellung von Anforderungen bzw. Verfahren (Schutzebenen⁸) verstanden werden, die (einzeln oder in Kombination miteinander) in der Lage sind, Risiken, die von der Anwendung elektrischer Energie ausgehen, mindestens unterhalb des höchsten vertretbaren Risikos zu verschieben.

Damit wird durch ein Schutzkonzept ein wesentlicher Beitrag zur Formulierung von Handlungsanleitungen (z. B. in der Form von anerkannten Regeln der Technik) zur Erfüllung der gesetzlichen (und darüber hinausgehenden anlagenspezifischen) Anforderungen an die elektrotechnische Sicherheit erreicht. Anerkannte Regeln der Technik können auf Basis von Schutzkonzepten erarbeitet werden. Anlagenspezifische Schutzmaßnahmen können auf Basis von Schutzkonzepten geplant und ausgeführt werden.

Der Systemansatz im Bereich der elektrotechnischen Sicherheit ist nicht neu. Im Wesentlichen beruhen alle so genannten „Schutzmaßnahmen“ (dies ist ein im Bereich der Normung ein seit vielen Jahrzehnten eingeführter und bekannter Begriff) auf der Überlegung, dass die Schutzwirkung (Risikoverminderung) auf dem positiven Zusammenwirken von Teilen eines (Schutz-) Systems⁹ in einer elektrischen Anlage oder an Betriebsmitteln zustande kommt. So werden die Kombination von Basisschutz, Fehlerschutz und Zusatzschutz schon ab dem Jahr 1989 als „Drei-Stufiges-Schutzkonzept“ gegen schädlichen elektrischen Schlag bezeichnet¹⁰.

Ein ausführlicher Versuch einer näheren Beschreibung von einer Systematik der Schutzsysteme in der Niederspannungstechnik, seinerzeit primär auf Niederspannungs-Schaltanlagen fokussiert, wurde im Jahr 1998 in [10] unternommen.

Dieser Ansatz [10], vom Autor um Überlegungen des Schutzes von gesamten Niederspannungsanlagen erweitert und teilweise neu interpretiert, bietet die Möglichkeit, die schutztechnischen Anforderungen an Anlagen und Betriebsmittel im Überblick zu betrachten. Selbstverständlich erhebt diese Betrachtung nicht den Anspruch der Vollständigkeit und kann im Rahmen dieses Vortrags auch nur auszugsweise dargestellt werden.

3.1 Das kegelstumpfförmige Schutzkonzept

Ursprünglich in [10] als „kegelförmig“ bezeichnet, jedoch als Kegelstumpf dargestellt (was natürlich die Möglichkeit bietet, dieses auch über die „Ebene F“ hinaus für einen künftigen Bedarf weiterzuentwickeln) enthält das Gesamtkonzept (Bild 3-1) sowohl Schutzebenen, die Anforderungen für den

⁷ Das Wort *Konzept* kommt vom lateinischen *conceptum*, dieses wieder von *concipere* und bedeutet „(schöpferischer) Entwurf“ oder auch „das Zusammenfassen“.

⁸ Der Begriff „-ebene“ wird hier nicht in seiner mathematisch exakten Definition verwendet. Es handelt sich in der Darstellung um Kegelsegmente (siehe Bild 3-1).

⁹ Die Schutzwirkung ergibt sich dabei aus der Funktionsfähigkeit und Zuverlässigkeit des gesamten Systems unter Voraussetzung, dass die Planung und Ausführung der Schutzmaßnahme(n) normkonform, fachgerecht und unter Berücksichtigung der Herstellerangaben der einzelnen Systemkomponenten erfolgt und das System laufender Wartung, Instandhaltung und Prüfung unterzogen wird.

¹⁰ Daraus ist ersichtlich, dass die Erfüllung der Anforderungen einzelner Schutzebenen, des in Abschnitt 3.1 vorgestellten kegelstumpfförmigen Schutzkonzepts, in einigen Fällen die Verwendung von weiteren, detaillierteren „Schutzkonzepten“ erfordern kann.



Schutz gegen direkte Gefahren, die von der elektrischer Energie ausgehen, festlegen, wie auch gegen Gefahren, die bei der *Anwendung (Nutzung)* von elektrischer Energie entstehen.

In den anerkannten Regeln der Technik für die Errichtung und den Betrieb von elektrischen Anlagen, wird für das Erreichen eines konkreten Schutzziels, eine Auswahl aus den verschiedenen Schutzebenen getroffen. Dies mit dem Ziel der Reduzierung des Risikos (mindestens) auf einen Wert unterhalb des höchsten vertretbaren Risikos (siehe Bild 1-1).

Schutzkonzepte und die von diesen abgeleiteten, in Anlagen und Betriebsmitteln wirksamen, Schutzmaßnahmen sind jedoch nur ein Baustein zur Reduzierung des Risikos. Mindestens ebenso wichtig sind fachgerechte Planung, Errichtung, Instandhaltung, Instandsetzung, Prüfung und fachgerechter Betrieb.

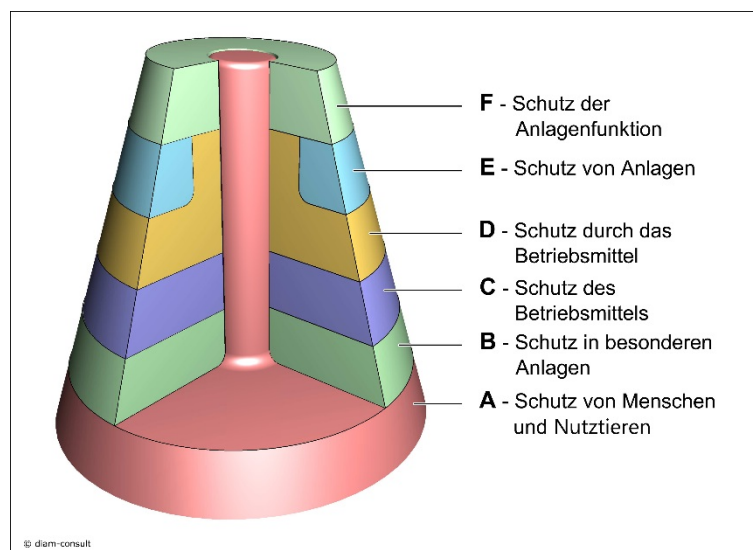


Bild 3-1 Kegelstumpfförmiges Schutzkonzept

Das kegelstumpfförmige Schutzkonzept berücksichtigt sowohl vom österreichischen Gesetzgeber für alle Anlagen verbindliche Anforderungen, als auch Anforderungen, die zwischen dem Planer bzw. Errichter der Anlage und dem Betreiber – je nach Anlagen- bzw. Betriebsmittelnutzung – auf Basis von anerkannten Regeln der Technik oder anlagenspezifischen technischen Festlegungen, gesondert vereinbart werden müssen. Einige dieser Anforderungen können auch über jene, die in anerkannten Regeln der Technik enthalten sind, hinausgehen.

Die Größe der Grundflächen der einzelnen Kegelsegmente bildet ein (grobes) qualitatives Maß dafür, wie weit die Anforderungen des jeweiligen Segments auch für den Schutz von elektrotechnischen Laien vor den Gefahren der Elektrizität von Bedeutung sind.

Schutzebene A beinhaltet alle grundlegenden Anforderungen, die dazu dienen, Menschen und Nutztiere zu schützen. Dazu zählen die „klassischen“ Schutzmaßnahmen gegen elektrischen Schlag, der Schutz beim Auftreten von Bränden, der Schutz beim Ausfall der allgemeinen Stromversorgung bis hin zum Arbeitsschutz und zur Auswahl von Schutzeinrichtungen und der Berücksichtigung der Fähigkeiten der die Anlage benutzenden Personen.



Diese Anforderungen der Schutzebene A - in Ausführungsvarianten - bilden Basis und Kern des Kegelstumpfes, da sie, praktisch unabhängig davon, welche weiteren Schutzebenen im konkreten Fall zu beachten sind, vorhanden sein müssen. Diese werden in der Praxis durch Anforderungen, die der **Schutzebene B** zugeordnet werden können, für den speziellen Typ von Anlagen (z. B. Räume mit Badewanne oder Dusche, medizinisch genutzte Räume) angepasst oder ergänzt.

Betriebsmittel müssen, damit sie ihre Funktion – sicher für den Benutzer - bestimmungsgemäß, erbringen können, vom Hersteller des Betriebsmittels oder vom Errichter der Anlage geschützt sein. Diese Anforderungen sind **Schutzebene C** zugeordnet. Dazu zählen z. B. die IP- oder IK-Schutzart des Betriebsmittels, der Kurzschluss- und Überlastschutz.

Eine große Zahl von elektrischen Betriebsmitteln „dienen“ der Risikominderung in dem sie – in eine Anlage (in einen Stromkreis) integriert und untereinander koordiniert - durch ihre bestimmungsgemäße Funktion andere Betriebsmittel schützen. Diese Anforderung *Schutz durch das Betriebsmittel* aus der Perspektive der Risikominderung betrachtet, bildet **Schutzebene D**. Dazu zählen z. B. Motorschutz, Brandschutz, Überstrom-Schutz, Fehlerschutz.

Schutzebene E sind alle Anforderungen zugeordnet, die dem Schutz der gesamten, oder einem Teil der Anlage dienen. In diese Ebene fallen z. B. der Blitzschutz¹¹, der Überspannungsschutz und auch alle Anforderungen an die Selektivität.

Schließlich zählen zu **Schutzebene F** alle Anforderungen, die dem Erhalt der Anlagenfunktion dienen. Für die gesamte elektrische Anlage oder Teile der Anlagen gedacht, fallen darunter neben den Anforderungen an den Schutz beim Ausfall der allgemeinen Stromversorgung vor allem Maßnahmen, die den Weiterbetrieb der Anlage nach dem Auftreten von Störlichtbogen in Haupt- oder Unterverteilungen in kürzester Zeit ermöglichen¹².

4 Ausgewählte Beispiele

4.1 Schutz von Menschen und Nutztieren

Die Anforderung, dass Menschen und Nutztiere¹³ geschützt werden müssen¹⁴, bedeutet, dass Maßnahmen getroffen werden müssen, die z. B. gegen elektrischen Schlag, beim oder bereits vor dem Auftreten von Bränden, beim Ausfall der allgemeinen Stromversorgung, in spezifischen Arbeitssituationen und unter Berücksichtigung der Fähigkeiten von Personen (Laien, Kinder, Menschen mit Assistenzbedarf, elektrotechnisch unterwiesene Personen, Elektrofachkräfte mit spezifischer Qualifikation) wirksam werden. Dies natürlich - je nach Nutzung der Anlage – in entsprechender Kombination.

¹¹ Der Blitzschutz ist ein gutes Beispiel dafür, dass Anforderungen, die einer Schutzebene zugeordnet werden, auch für die Erfüllung von Anforderungen in anderen Ebenen nötig sein können. Blitzschutz dient dem Schutz von Anlagen aber auch dem Schutz von Menschen und Nutztieren.

¹² Vermeidung von ungewolltem Anlagenstillstand (Stillstandskosten).

¹³ Dazu zählen nach Meinung des Autors auch Haustiere.

¹⁴ Schutzebene A



Für einen Teil der genannten Anforderungen – für den Schutz gegen schädlichen elektrischen Schlag – bedient man sich in der österreichischen elektrotechnischen Normung seit vielen Jahren eines eigenen dafür entwickelten Schutzkonzepts (Bild 4-1).

Dieses Konzept wird – angepasst an die speziellen Anforderungen - auch für den Schutz in besonderen Anlagen¹⁵, schon viele Jahre in der Normung angewandt.

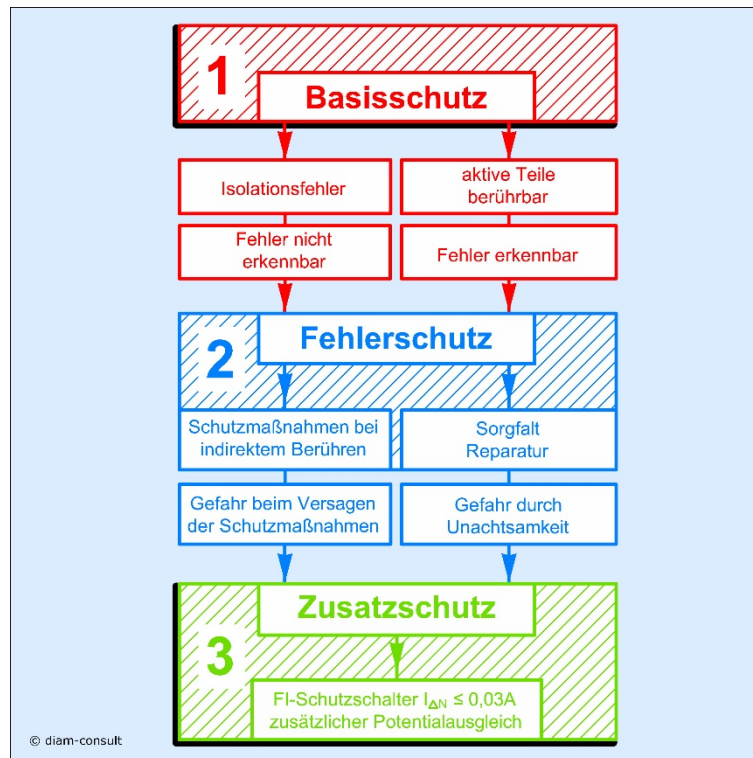


Bild 4-1 Basisschutz, Fehlerschutz und Zusatzschutz für den Schutz gegen schädlichen elektrischen Schlag

4.2 Schutz des Betriebsmittels

Der Schutz des Betriebsmittels¹⁶ dient mehreren Zielen. Einerseits sollen die Umgebung und die Benutzer der Betriebsmittel vor den Gefahren, die von diesen ausgehen können, geschützt werden.

Andererseits sollen die Betriebsmittel auch gegen die Beanspruchungen der Umgebung bei normalem Gebrauch und bei nach vernünftigem Ermessen zu erwartender Benutzung geschützt werden.

Dazu zählen z. B. Verschmutzung, mechanische Beanspruchung, Umgebungstemperatur des Betriebsmittels. Elektrische Betriebsmittel sind für den Einsatz in vom Hersteller festgelegten Umgebungstemperaturgrenzen konstruiert. Beim Einbau der Betriebsmittel z. B. in Niederspannungs-Schaltgerätekombinationen¹⁷ ist auf die zu erwartende (berechnete, gemessene) Temperatur im Inneren des Gehäuses zu achten (Bild 4-2).

¹⁵ Schutzebene B

¹⁶ Schutzebene C

¹⁷ Bzw. in jede andere Art von Gehäuse.

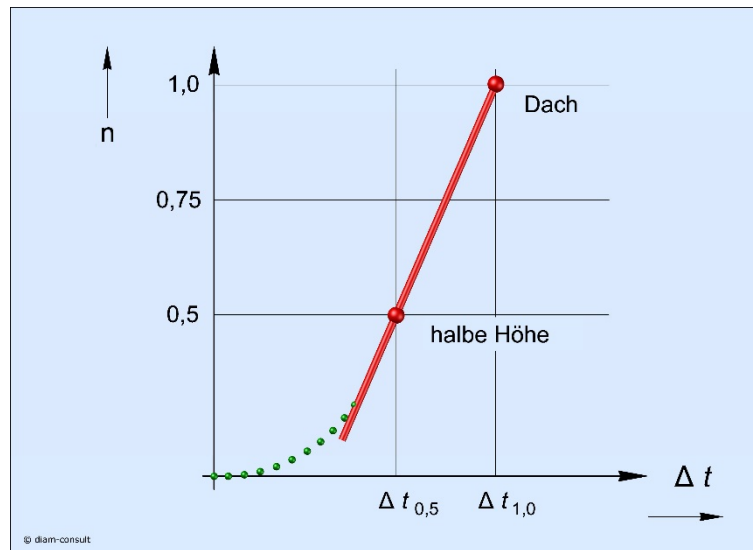


Bild 4-2 Vertikale Temperaturverteilung (Erwärmungs-Kennlinie) in einer Niederspannungs-Schaltgerätekombination wirk-same Kühlfläche $A_e > 1,25 \text{ m}^2$ schematische Darstellung; Δt ... Übertemperatur im Gehäuse; n ... Vielfaches der Gehäuse-höhe

4.3 Schutz durch das Betriebsmittel

Betriebsmittel entfalten ihre Schutzwirkung¹⁸ für Motoren, Generatoren, aber natürlich auch für Menschen und Tiere. Und in diesem Beispiel kann man sehen, dass es natürlich möglich ist, dass eine Klasse von Schutzgeräten (hier Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen) mehr als eine Anforderung erfüllen kann¹⁹.

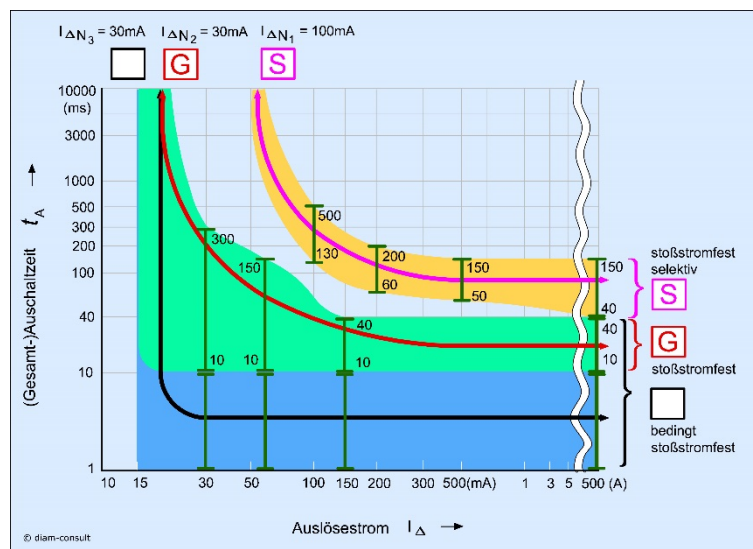


Bild 4-3 Selektivität von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen

Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen können gegen schädlichen elektrischen Schlag und gleichzeitig gegen das Auftreten von elektrisch gezündeten Bränden in Folge von Kriechströmen („Erdschluss-

¹⁸ Schutzebene D

¹⁹ Anders formuliert: Für die Erreichung von mehr als einem Schutzziel eingesetzt werden kann.



Brandschutz“) schützen. Durch den Einsatz von selektiven Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (Bild 4-3) kann auch ein wesentlicher Beitrag zum Schutz der Anlage²⁰ und der Anlagenfunktion²¹ geleistet werden.

4.1 Schutz von Anlagen

Für Anlagen und in diese eingebauten Betriebsmittel gelten u. a. Anforderungen hinsichtlich des Schutzes gegen direkte und indirekte Blitzeinwirkungen wie auch gegen transiente Überspannungen.

Am Beispiel in Bild 4-4 wird sichtbar, welche Bedeutung die Koordinierung von Betriebsmitteln (Überspannungsschutzeinrichtungen), deren Schutzeinrichtungen (Überstrom-Schutzeinrichtungen) für den Schutz von Anlagen hat.

In Abhängigkeit der Anordnung und Auswahl der Schutzeinrichtungen (F1, F2) für die Überspannungsschutzgeräte kann wahlweise entweder der Versorgungssicherheit (Weiterbetrieb der Anlage ohne wirksamen Überspannungsschutz möglich) oder dem Schutz der Anlage gegen transiente Überspannungen Priorität eingeräumt werden (Weiterbetrieb ohne wirksamen Überspannungsschutz nicht möglich).

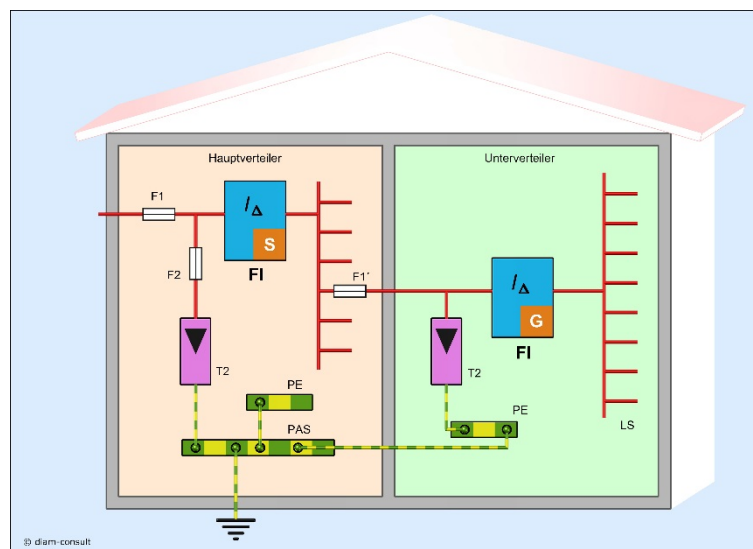


Bild 4-4 Anordnung von Überspannungsschutzgeräten der Type 2 im Hauptverteiler (TN-S-System), wie auch nach einer Fehlerstrom-Schutzeinrichtung der Bauart S im Unterverteiler; schematische Darstellung; FI ... Fehlerstrom-Schutzeinrichtung, F1 ... Sicherung, F1' ... Sicherung, F2 ... Sicherung, PAS ... Potenzialausgleichsschiene, PE ... Schutzleiter(schiene), T2 ... Überspannungsschutzgerät der Type 2, LS ...Leitungsschutzschalter

4.2 Schutz der Anlagenfunktion

Zum Anlagenfunktionsschutz zählen z. B. Anforderungen, die es ermöglichen, Teile der Anlage weiter zu betreiben, auch wenn andere Teile fehlerbedingt ausgefallen sind (Selektivität).

²⁰ Schutzebene E

²¹ Schutzebene F; es werden beim Auftreten von Fehlern nur jene Anlagenteile ausgeschaltet, die fehlerbehaftet sind. Die anderen Anlagenteile können weiterbetrieben werden.



Ebenso zählen zum Schutz der Anlagenfunktion²² Anforderungen an das Verhalten der Anlage beim Auftreten von Störlichtbogen im Hinblick auf die Möglichkeit eines raschen Weiterbetriebs der Anlage nach dem Auftreten von Störlichtbogen in Haupt- und/oder Unterverteilungen.

Störlichtbögen bewirken durch ihre hohe Energiedichte einen großen Schweregrad des Schadens²³ in der Anlage. Der Anstieg von Druck und Temperatur erfolgt innerhalb von 15 ms. Dabei erreicht der Druck in der Umgebung des Störlichtbogens mit bis zu $2 \cdot 10^5$ Pa seinen maximalen Wert. Nach weiteren 5 ms erreicht auch die Temperatur ihren Höchstwert. Die Schutzwirkung (zur Minimierung der zerstörerischen Kraft) entsteht durch das frühzeitige Ausschalten ($t_d \approx 2$ ms) des Störlichtbogens vor Erreichen seiner maximalen Werte.

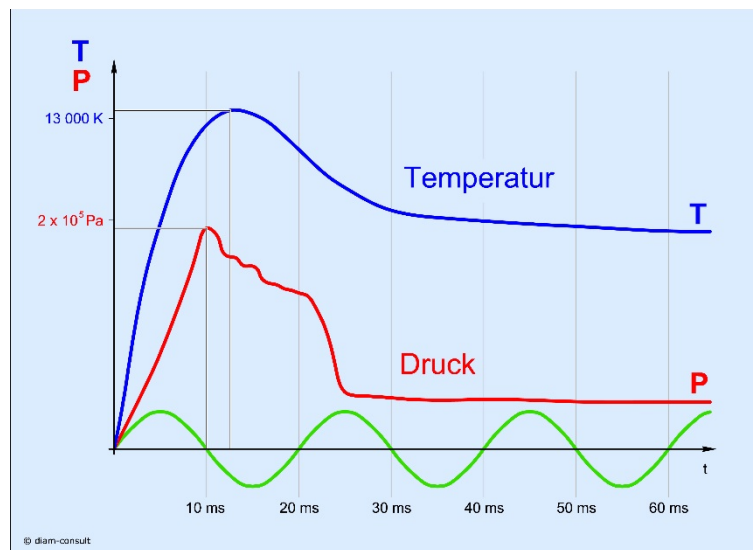


Bild 4-5 Druck- und Temperaturverlauf eines Störlichtbogens; schematische Darstellung

5 Zusammenfassung

Schutzkonzepte helfen bei der Formulierung und Anwendung von Maßnahmen zur Reduktion der Gefahren, die bei Anwendung elektrischer Energie entstehen können. Die detaillierten Anforderungen an die zu treffenden Maßnahmen, mit dem Ziel das Risiko (mindestens) unter das höchste vertretbare Risiko zu drücken, können mit Hilfe des kegelstumpfförmigen Schutzkonzepts formuliert werden.

Das Schutzkonzept kann wertvolle Grundlage für die Erarbeitung von anerkannten Regeln der Technik, von gesetzlichen Bestimmungen im Feld der elektrotechnischen Sicherheit, für die Planung und Ausführung von elektrischen Niederspannungsanlagen, die Herstellung von elektrischen Betriebsmitteln sowie die Erstellung von Gefährdungsbeurteilungen durch Anlagenverantwortliche sein.

6 Literaturhinweise

- [1] Ludwar, G., Mörx, A., Elektrotechnikrecht, Praxisorientierter Kommentar; ÖVE, FEEL, ON, Wien

²² Schutzebene F

²³ Störlichtbögen bewirken auch einen großen Schweregrad der Verletzung für Personen, die in der Nähe der Haupt- oder Unterverteilung Arbeiten an der Anlage durchführen. Dies zeigt die enge Verflechtung von Schutzebene F mit Schutzebene A.



- 2007, ISBN: 978-3-85133-044-1
- [2] BGBl. 106/1993; Elektrotechnikgesetz 1992, in der Fassung BGBl. I/129/2015, 6. November 2015
 - [3] Henschl, T., Mörx, A.; Elektroinstallation in Gebäuden, Neuauflage; Österreichischer Wirtschaftsverlag; 2012; ISBN 3-85212-116-5
 - [4] Hosemann, Gerhard; Aufgaben und Ziele der Schutztechnik; in: Forst, Hans-Josef (Hrsg.); Moderne Schutztechnik, vde-verlag GmbH, 1998; ISBN 3-8007-1604-6
 - [5] Börcsök, Josef; Funktionale Sicherheit, Grundzüge sicherheitstechnischer Systeme; Hüthig GmbH & Co. KG, Heidelberg, 2006; ISBN 978-3-7785-2985-0
 - [6] ISO/IEC Guide:51:2014; Safety aspects — Guidelines for their inclusion in standards
 - [7] Hammer, Volker; Risiko; Datenschutz und Datensicherheit 24 (2000)3, Seiten 167-168; Springer Gabler Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 65189 Wiesbaden
 - [8] ÖVE/ÖNORM E 8001-1:2010, Errichtung von elektrischen Anlagen mit Nennspannungen bis AC 1000 V und DC 1500 V Teil 1: Begriffe und Schutz gegen elektrischen Schlag (Schutzmaßnahmen)
 - [9] BGBl. 106/1993 in der Fassung BGBl. I/27/2017; Elektrotechnikgesetz 1992 - ETG 1992 und ETG 2017
 - [10] Esser, Wolfgang; Systematik der Schutzsysteme in der Niederspannungstechnik, Das Kegelmodell der Schutzsysteme; 1998; Klöckner-Moeller GmbH, Bonn
 - [11] Mörx, Alfred; Sicherheit und Gefahr in elektrischen Niederspannungsanlagen; Mai 2015; http://www.eaton.de/ecm/groups/public/@pub/@europe/@electrical/documents/content/pect_1595884.pdf
 - [12] Mörx, Alfred; Sicherheit und Gefahr in elektrischen Niederspannungsanlagen; Video; <https://www.youtube.com/watch?v=mGJyVAAUV7A&feature=youtu.be>
-