

D-A-CH - Sitzung, Bern, CH
27.-28. August 2009

Der Zusatzschutz

ein Plädoyer für die unbedingte Notwendigkeit
einer dritten Schutzebene bei Nullung und FI-Schutzschaltung

Ein Diskussionsbeitrag

Alfred Mörx



diam-consult
Ingenieurbüro für Physik
Pretschgasse 21/2/10
A-1110 Wien/Österreich

Tel.: +43-(0)1-769-67-50-12
Fax.: +43-(0)1-769-67-50-20
Email: management@diamcons.com
www.diamcons.com



Inhalt

1	EINLEITUNG	3
2	AKTUELLE SITUATION IN HD 60364-4-41.....	4
3	VERGLEICHENDE RISIKOBETRACHTUNG	5
3.1	Fehlerschutz.....	5
3.2	Zusatzschutz in Stromkreisen mit Steckdosen	6
4	LITERATURHINWEISE	9



1 Einleitung

Anerkannte Regeln der Technik für die Ausführung von Schutzmaßnahmen in Niederspannungsanlagen müssen, neben anderen Inhalten, Anforderungen

- ✚ für den Schutz gegen elektrischen Schlag, einschließlich Basisschutz (Schutz gegen direktes Berühren) und
- ✚ Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren) von Personen und Nutztieren und
- ✚ Anforderungen für die Anwendung des Zusatzschutzes (Schutz bei direktem Berühren)

beinhalten.

Die in diesem Zusammenhang wesentlichen Begriffe sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

<i>risk</i>	combination of the probability of occurrence of <i>harm</i> and the severity of that <i>harm</i>
<i>harm</i>	physical injury or damage to the health of people, or damage to property or the environment
<i>safety</i>	freedom from unacceptable <i>risk</i> <i>Safety</i> is achieved by reducing risk to a tolerable level (defined as: tolerable risk)
<i>tolerable risk</i>	risk which is accepted in a given context based on the current values of society Tolerable risk is achieved by the iterative process of risk assessment (risk analysis and risk evaluation) and risk reduction. Tolerable risk is determined by the search for an optimal balance between the ideal of absolute safety and the demands to be met by a product, process or service, and factors such as benefit to the user, suitability for purpose, cost effectiveness, and conventions of the society concerned. It follows that there is a need to review continually the tolerable level, in particular when developments, both in technology and in knowledge, can lead to economically feasible improvements <u>to attain the minimum risk compatible</u> with the use of a product, process or service.
<i>residual risk</i>	<i>risk</i> remaining after <i>protective measures</i> have been taken
<i>protective measure</i>	means used to reduce risk

Tabelle 1 Zusammenhänge zum Risikobegriff; entnommen ISO/IEC Guide 51, Second Edition 1999

Ebenso Anwendung und Koordinierung dieser Anforderungen in Beziehung zu äußeren Einflüssen darzustellen. Dabei ist von dem für die Erstellung dieser anerkannten Regeln der Technik verantwortlichen Personenkreis – in Übereinstimmung mit den Aussagen in ISO/IEC



Guide 51¹ - das vertretbare Risiko laufend zu hinterfragen und bei Bedarf anzupassen (siehe markierter Textauszug in Tabelle 1).

Werden mehrere Methoden (Möglichkeiten) für die Ausführung von Schutzmaßnahmen vorgeschlagen, sind diese hinsichtlich ihres Restrisikos, bezogen auf das zu erreichende Schutzziel, zu bewerten.

Insbesondere ist festzustellen, ob das Restrisiko nach Anwendung der jeweiligen Schutzmaßnahme unterhalb des (höchsten) vertretbaren Risikos² liegt und wie die Restrisiken der einzelnen Schutzmaßnahmen relativ zueinander zu bewerten sind.

Diese Bewertung ist vor allen deswegen erforderlich, weil alleine daraus für spezielle Niederspannungsanlagen (z. B. Anlagen mit besonderen Nutzungs- und Umgebungsbedingungen oder speziellen Berührungsmodellen) Schutzmaßnahmen besonders empfohlen („vorgeschrieben“) oder aber völlig ausgeschlossen („verboten“) werden können (müssen).

2 Aktuelle Situation in HD 60364-4-41

Eine³ mögliche Ausarbeitung der im Abschnitt 1 bezeichneten Aufgaben, die Anforderungen für den Schutz gegen elektrischen Schlag zu formulieren, liegt derzeit als europäisches Harmonisierungsdokument, als HD 60364-4-41⁴, vor⁵.

Der Anwendungsbereich des Teils 4-41 wird dabei definiert wie folgt (Hervorhebung Mörx):

Teil 4-41 von HD 60364 enthält wesentliche Anforderungen für den Schutz gegen elektrischen Schlag, einschließlich Basisschutz (Schutz gegen direktes Berühren) und Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren) von Personen und Nutztieren. Er behandelt die Anwendung und Koordinierung dieser Anforderungen in Beziehung zu äußeren Einflüssen.

Es werden ebenfalls Anforderungen für die Anwendung eines zusätzlichen Schutzes in bestimmten Fällen gegeben.

Von besonderer Bedeutung ist dabei, dass der elektrische Schlag und nicht ausschließlich der tödliche elektrische Schlag benannt ist. Die beiden Begriffe sind im IEV⁶ klar definiert. Der elektrische Schlag ist der umfassendere Begriff und bezieht jede Art von physiologischen⁷ Wirkungen mit ein.

Elektrischer Schlag (IEV 195-01-04)

Physiologische Wirkung, hervorgerufen von einem elektrischen Strom durch den Körper eines Menschen oder Tieres.

¹ ISO/IEC Guide 51: Safety aspects – Guidelines for their inclusion in standards; Second Edition 1999

² bezogen auf das jeweils gewählte (zutreffende) Berührungsmodell

³ Es darf dabei keinesfalls übersehen werden, dass es auch andere Ausarbeitungen in der einschlägigen Fachliteratur dazu gibt, u.a. sogar innerhalb des IEC-Normenwerkes [siehe 108/325/FDIS, (IEC 62368-1 Ed 1.0: Audio/Video, Information and Communication Technology Equipment - Part 1: Safety requirements)]

⁴ HD 60364-4-41, Januar 2007

⁵ Dieses europäische Harmonisierungsdokument enthält aus schutztechnischer (risikotechnischer) Sicht sicher noch Verbesserungspotential, das jedoch möglichen künftigen Weiterentwicklungen vorbehalten bleiben wird.

⁶ IEC 60050 in der geltenden Fassung 08/2009

⁷ physiologisch: die Lebensvorgänge im Organismus betreffend



Tödlicher elektrischer Schlag (IEV 195-03-06)

Elektrischer Schlag, der zum Tod führt

Dem Thema dieses Diskussionsbeitrags entsprechend wird im Folgenden nur auf zwei der derzeit gebräuchlichen Schutzmaßnahmen (des Fehlerschutzes) und den Zusammenhängen mit dem Zusatzschutz (auch: Schutz bei direktem Berühren aktiver Teile bzw. dritte Schutz-ebene genannt) eingegangen.

3 Vergleichende Risikobetrachtung

3.1 Fehlerschutz

Eine Möglichkeit der vergleichenden Risikobeurteilung für Schutzmaßnahmen, deren Wirksamkeit (primär) darauf beruht, dass, nach dem Auftreten eines Einzelfehlers, der fehlerbehaftete Stromkreis von der elektrischen Energieversorgung getrennt wird, kann mithilfe der sogenannten *Wirkfehlerspannung*⁸ erfolgen.

Die bis zur Ausschaltung auftretende Fehlerspannung kann als Maß für die mögliche physiologische Wirkung des Stromes auf den Körper eines Menschen oder Tieres unter vergleichbaren Bedingungen, herangezogen werden. In diesem Sinn ist diese Fehlerspannung, auch *Wirkfehlerspannung*⁹ genannt, ein Maß für den, nach dem Entstehen des Einzelfehlers auftretenden, Berührungsstrom¹⁰ und damit für den *elektrischen Schlag*.

Schutzmaßnahme (2. Schutzebene) in der Anlage	Wirkfehlerspannung U_{FA} unter normalen Bedingungen	Sonstige relevante ¹¹ risikomindernde Maß- nahmen im Fehlerstromkreis	Bewertung Restrisiko ¹²
FI-Schutzschaltung	≈ 200 V	keine	Mittleres Restrisiko
Nullung	≈ 90 V bedingt durch Netzform	Back-up-Schutz durch weitere Überstrom- Schutzeinrichtungen	Geringes Restrisiko

Tabelle 2 Wirkfehlerspannung U_{FL} , vergleichende Betrachtung von Schutzmaßnahme FI-Schutzschaltung und Schutzmaßnahme Nullung

⁸ Dies insbesondere auch deswegen, weil damit eine Abschätzung des Risikos beim Versagen von Schutzeinrichtungen möglich wird. Schaltet die Schutzeinrichtung nicht aus, kann die der Wirkfehlerspannung entsprechende Berührungsspannung an den Körpern der Betriebsmittel der Schutzklasse I in der Anlage „abgegriffen“ werden.

⁹ Wirkfehlerspannung U_{FA} (active fault voltage): Fehlerspannung, die unter gegebenen Bedingungen auftritt, beginnend vom Entstehen eines Einzelfehlers bis zur Ausschaltung durch die Schutzeinrichtung.

¹⁰ Unter dem Berührungsstrom I_T versteht man jenen Strom, der infolge einer Berührungsspannung U_T zum Fließen kommt. Es gilt: $U_T \leq U_F$ d.h. $U_T = \eta \cdot U_F$ mit $\eta \leq 1$.

¹¹ *relevant* bezogen auf diese vergleichende Betrachtung; Maßnahmen im Fehlerstromkreis, die bei beiden Schutzmaßnahmen idente risikomindernde Wirkung haben sind hier bewußt nicht dargestellt.

¹² Nach dem heutigen Stand des Wissens liegt sowohl das *mittlere wie auch das geringe Restrisiko unterhalb des höchsten vertretbaren Risikos* bezogen auf den tödlichen elektrischen Schlag beim Auftreten eines Einzelfehlers. Physiologische Wirkungen (z.B. Muskelreaktionen) und Sekundärufälle sind – in Abhängigkeit des Wertes von U_{FL} - jedoch nicht auszuschließen.

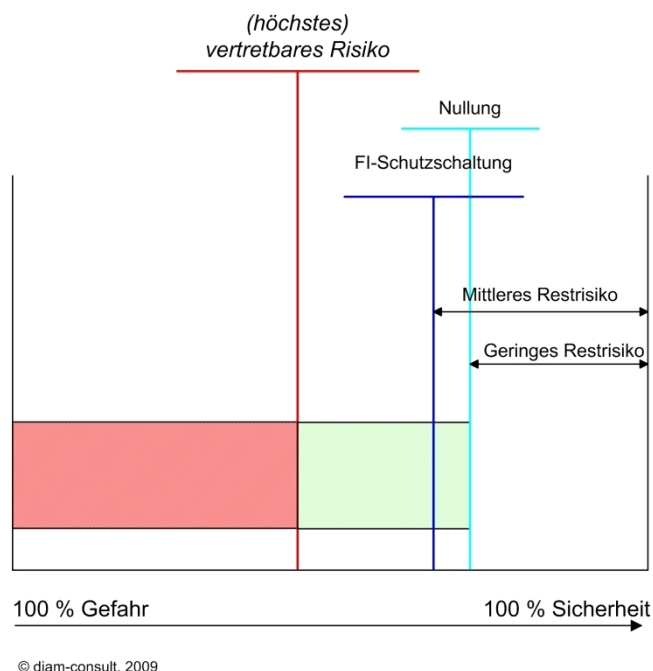


Bild 1 Wirkfehlerspannung U_{FL} , vergleichende Betrachtung von Schutzmaßnahme FI-Schutzschaltung und Schutzmaßnahme Nullung bezogen auf den elektrischen Schlag; alle Abstände und Relationen entlang der x-Achse qualitativ.

Derartige Untersuchungen sind aus der Literatur bekannt¹³ und eröffnen die Möglichkeit einer vergleichenden Bewertung des Restrisikos der Schutzmaßnahmen FI-Schutzschaltung und Nullung wie in Tabelle 2 resp. in Bild 1 dargestellt. FI-Schutzschaltung als Maßnahme des Fehlerschutzes ist demnach – bezogen auf das Risiko des elektrischen Schlages – mit *mittlerem Restrisiko*, die Schutzmaßnahme Nullung mit *geringem Restrisiko* einzustufen.

3.2 Zusatzschutz in Stromkreisen mit Steckdosen

Erweitert man nun die Betrachtung um den Zusatzschutz und vergleicht man die beiden Schutzmaßnahmen hinsichtlich des Restrisikos gegen elektrischen Schlag in einem Stromkreis mit Steckdosen mit $I_N \leq 16$ A so erhält man die Ergebnisse aus Tabelle 3.

Für die Ausformulierung der anerkannten Regeln der Technik für die Errichtung von Niederspannungsanlagen sind in diese Risikobetrachtungen nun auch die unterschiedlichen Zuverlässigkeiten der Schaltgeräte (insbesondere nach langen Missionszeiten ohne Wartung und Instandhaltung¹⁴ teilweise auch unter Missachtung der vom Hersteller des Schutzgerätes für den Betrieb vorgesehenen Umgebungs- und Einbaubedingungen) basierend auf den Erfahrungen und auch Feldversuchen¹⁵ in Europa¹⁶ und in den USA¹⁷ für die Wirksamkeit des

¹³ Biegelmeier, G.; Spindler, U.; Errichtungsnormen für den Schutz gegen elektrischen Schlag; etz Heft 18/2001 und etz Heft 19/2001

¹⁴ Siehe dazu auch IEC TR 62350:2006-12, Guidance for the correct use of residual current operated protective devices (RCDs) for household and similar use

¹⁵ Kieback D., Lappe U.; Zuverlässigkeit von FI-Schutzschaltern (RCCB); Elektropraktiker, Berlin 50(1996)6

¹⁶ Cantarella G., Carrescia R., Tommasini R.; Quality of Residual Current-Operated Circuit Breakers; ETEP Vol. 6.No.3. May/Jun3 1996



Fehlerschutzes und des Zusatzschutzes mit FI-Schutzeinrichtungen (Unterschiede in der Ausschaltzuverlässigkeit zwischen Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen und Überstrom-Schutzeinrichtungen) einzubeziehen. Dies vor allem deswegen, weil es um den *Schutz bei direktem Berühren* (Zusatzschutz) aktiver Teile durch Menschen oder Nutztiere geht.

Dadurch wird klar, dass die Bewertung des Restrisikos in einem Stromkreis mit Steckdosen (d.h. jenen Stromkreisen in denen zum Zeitpunkt der Errichtung der Anlage nur unbestimmte Vermutungen über die Art der an diese Steckdosen angeschlossenen Verbrauchsmittel und deren Verwendung bestehen!) bei Anwendung der Schutzmaßnahme FI-Schutzschaltung, verglichen mit der Anwendung der Schutzmaßnahme Nullung, nur dann mit „Geringes Restrisiko“ eingestuft werden kann, wenn der Zusatzschutz in Form

- ✚ einer nach gleichem oder
- ✚ diversitär¹⁸ arbeitenden

Funktionsprinzip (bezogen auf das Funktionsprinzip der Schutzeinrichtung für den Fehler-schutz) realisiert wird.

Bei Verzicht auf diese (weitere) Schutzeinrichtung (d.h. wenn „lediglich“ *eine* gemeinsame Fehlerstrom-Schutzeinrichtung für den Fehler- und Zusatzschutz verwendet wird) „verbleibt“ dieses Schutzsystem auf dem Bewertungsniveau „Mittleres Restrisiko“.

¹⁷ NEMA Ground Fault Personnel Protection Section, GFCI Field Test Survey Report, National Electrical Manufacturers Association, January 2001; USA

¹⁸ nach einem anderen physikalischen Prinzip



Schutzmaßnahme (2. Schutzebene) in der Anlage	Wirkfehlerspannung U_{FA} unter normalen Bedingungen	Sonstige relevante risikomindernde Maßnahmen im Fehlerstromkreis	Fehlerschutz realisiert durch	Zusatzschutz realisiert durch	Sonstige relevante Risiken	Bewertung Restrisiko
FI-Schutzschaltung	$\approx 200 \text{ V}$	keine	$I_{\Delta N}$ gemäß Ausschaltbedingung $R_A \leq \frac{65}{I_{\Delta N}}$ oder $Z_S \leq \frac{U_N}{5 \cdot I_{\Delta N}}$ und $R_A \leq 100 \Omega$ $Z_S \leq 100 \Omega$	$I_{\Delta N} \leq 30 \text{ mA}$	Ausfallrate FI- Schutzschalter $\lambda_{FI} = \alpha_1 \cdot \lambda_{LS}$ $\lambda_{FI} = \alpha_2 \cdot \lambda_{SI}$ mit: $\alpha_i > 1$	Geringes Restrisiko Schutz bei direktem Berühren aktiver Teile durch Zusatz- schutz vorhanden Achtung! Mittleres Restrisiko gemäß Tabelle 2, wenn keine 3. Schutzebene (Zusatz- schutz) redundant oder mit physikalisch unterschiedlichem Funktionsprinzip („Diversität“)
Nullung	$\approx 90 \text{ V}$ bedingt durch Netzform	Back-up-Schutz durch weitere Überstrom- Schutzeinrichtungen	Schmelzsicherung, I_A LS-Schalter, I_A Ausschaltbedingung $Z_S \leq \frac{U_N}{I_A}$	$I_{\Delta N} \leq 30 \text{ mA}$	Ausfallrate LS-Schalter λ_{LS} , Schmelzsicherung λ_{SI}	Geringes Restrisiko Schutz bei direktem Berühren aktiver Teile durch Zusatz- schutz vorhanden

Tabelle 3 Vergleichende Betrachtung von Schutzmaßnahme FI-Schutzschaltung und Schutzmaßnahme Nullung mit funktionsfähigem Anlagenerder (Minimalerlerder bei Anwendung der Schutzmaßnahme Nullung) in Stromkreisen mit Steckdosen mit $I_N \leq 16 \text{ A}$ bei Realisierung des Zusatzschutzes als getrennte Schutzebene mit Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen $I_{\Delta N} \leq 30 \text{ mA}$



4 Literaturhinweise

- [1] ... ISO/IEC Guide 51: Safety aspects – Guidelines for their inclusion in standards; Second Edition 1999
- [2] ... CLC HD 60364-4-41, Jänner 2007; Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 4-41: Schutzmaßnahmen - Schutz gegen elektrischen Schlag
- [3] ... 108/325/FDIS, (IEC 62368-1 Ed 1.0: Audio/Video, Information and Communication Technology Equipment - Part 1: Safety requirements
- [4] ... Kieback D., Lappe U.; Zuverlässigkeit von FI-Schutzschaltern (RCCB); Elektropraktiker, Berlin 50(1996)6
- [5] ... Cantarella G., Carrescia R., Tommasini R.; Quality of Residual Current-Operated Circuit Breakers; ETEP Vol. 6.No.3. May/Jun3 1996
- [6] ... NEMA Ground Fault Personnel Protection Section, GFCI Field Test Survey Report, National Electrical Manufacturers Association, January 2001; USA
- [7] ... Biegelmeier, G.; Basisschutz, Fehlerschutz, Zusatzschutz - neues Konzept für die Sicherheit der Elektrizitätsanwendung; etz etz.106(1985) H.18, S 968-971
- [8] ... Krefter, Karl-Heinz; Zusatzschutz - Dritte Schutzebene gegen gefährliche Körperströme, etz, Heft 3/1987, vde-verlag gmbh, Berlin und Offenbach
- [9] ... Biegelmeier, Kiefer, Krefter; Schutz in elektrischen Anlagen, Band 3: Schutz gegen gefährliche Körperströme; VDE-Schriftenreihe 82, VDE-Verlag GmbH, Berlin und Offenbach, 1998
- [10] ... Biegelmeier, Groiss J., Mörx A. und Wiborny S.: Normen für die Anwendung der Neutralleiter-Schutzerdung (Nullung) als Fehlerschutz in Niederspannungsanlagen. Österreichische Zeitung für Elektrizitätswirtschaft, VEÖ-Journal H. 11 (1996) S.50-62
- [11] ... Gabriel C., Mörx A.; Elektroinstallation in Gebäuden incl. Ergänzungslieferungen 1 bis 4, Österreichischer Wirtschaftsverlag, Wien, 2008
- [12] ... Biegelmeier G.; Gedanken über die Nullung (TN-System) als optimalen Fehlerschutz (Schutzmaßnahmen bei indirektem Berühren) in elektrischen Anlagen, ÖZE Jg. 37 1984 Heft 12.
- [13] ... Biegelmeier G., Mörx A.; Risikoverminderung für Elektrounfälle, Elektrie (1996), H. 9/10/11, S 334-346
- [14] ... Biegelmeier G., Mörx A.; Die Klassifikation der Netzsysteme nach IEC-Publikation 364 - ein fehlerhaftes Konzept, ÖZE 46(1993) 7/8, S 378 bis 382
- [15] ... Biegelmeier G., Kriterien für konventionelle Vereinbarungen über vertretbare Risiken beim Schutz gegen elektrischen Schlag. e&i 123(1996)12, S. 521-583
- [16] ... Biegelmeier G., Wirksamkeit des Potentialausgleichs als Fehlerschutz; Elektropraktiker, Berlin 54 (2000) 4
- [17] ... Bachl, H; Biegelmeier, G., Hirtler, R., Mörx, A; A new approach to protection against harmful electric shock based on tolerable risks and fault protection by automatic disconnection of supply for a.c. 50/60 Hz and for d.c.; Publication Series ESF-Vienna, 2008, Vienna



- [18] ... Biegelmeier, G., Spindler, U.; Errichtungsnormen für den Schutz gegen elektrischen Schlag; etz Heft 18/2001 und etz Heft 19/2001
- [19] ... Biegelmeier, G; Hirtler, R; Mörx; Neue Begriffsbestimmungen und Meßverfahren für die Maßnahmen zum Schutz gegen elektrischen Schlag; veö-journal 4/2000, Wien
- [20] ... Biegelmeier, G; Wirksamkeit des Potentialausgleichs als Fehlerschutz; Elektropraktiker, Berlin 54 (2000) 4
- [21] ... Biegelmeier, G; Schutz gegen elektrischen Schlag; Bulletin SEV/VSE 17/99
- [22] ... Mörx, A; Der Zusatzschutz, die dritte Schutzebene gegen gefährliche Körperströme als notwendige Maßnahme zur Einhaltung des höchsten vertretbaren Risikos in Niederspannungsanlagen; überarbeitete und ergänzte Fassung August 2009; Diskussionsbeitrag zur D-A-CH – Sitzung 2009, Bern.