

JWG B3-35

Substation Earthing System Design Optimisation through the Application of Quantified Risk Analysis

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Lothar Fickert

**Institut für Elektrische Anlagen
Technische Universität Graz**

Hintergrund

Status quo (derzeitige Normen):

Stets Begrenzung der Berührungsspannung, dass die Wahrscheinlichkeit für Herzkammerflimmern maximal 50 % beträgt ... 100-%-iges Sicherheitsdenken

Keine Rücksicht,

- ob überhaupt und
- mit welcher *Wahrscheinlichkeit* tatsächlich ein *Kontakt* stattfindet

>>> (Speziell an entlegenen, geographisch exponierten Orten) keine praktikable Lösung oder/und hohe Investitionen.

Mit Berücksichtigung von

- Fehlerdauern
- Anwesenheitsdauern von Personen
- Wirksamkeit von weiteren Schutzmaßnahmen > **Risikobetrachtung.**

>>> **Optimierung von Erdungssystemen**

>>> **Balance zwischen Kosten, Funktionalität und Risikomanagement**

Weg und Ziel

Genehmigter Antrag an CIRED

„Es wird vorgeschlagen, den australischen Ansatz „EG-0 Power System Earthing Guide“ noch einmal zu analysieren, auf seine internationale Anwendbarkeit zu prüfen und ein IEC-Dokument mit dem Titel (Arbeitstitel) „Auslegung von Erdungsanlagen unter Berücksichtigung des Berührungsriskos“ zu erstellen.“

>>> CIGRE-CIRED Joint Working Group “JWG B5-35”

Struktur

CIGRE (Bill Carman, Manager Network Earthing at Ausgrid)... Chairman
CIRED (Lothar Fickert, TU Graz) ... Co-Ordinator CIRED

Laufzeit:

ab A2014 bis ca. M/E2016

Reports etc.

- 1.Stufe = technical report CIGRE/CIRED
- 2.Stufe --> IEC TC99 (Vorsitz = Th. Connor, Siemens)
- 3.Stufe IEC 61936-1
- 4.Stufe EN50522 mod. (bei Zustimmung in Europa CENELEC)

Risikoanalyse Australien

Voraussetzungen für die Berechnungen

Kenntnisse von

- individuellen und gesellschaftlich **akzeptablen Risikozielen**
- **Wahrscheinlichkeit** und **Dauer** der Erdfehler
- **Anwesenheit** von Personen bzw. Berührung mit unter Spannung stehenden Teilen
- **Wahrscheinlichkeit** von Herzkammerflimmern durch Berührungs- bzw. Schrittspannungen
- **seriellen Widerständen** (z.B. Schuhwerk, Beschaffenheit des Bodens)

Risikoanalyse Australien

$$P_{fat} = P_{coinc} \cdot P_{fib}$$

P_{fat} ... Wahrscheinlichkeit eines Todesfalls durch einen Erdfehler

P_{coinc} ... Wahrscheinlichkeit der Gleichzeitigkeit von Anwesenheit einer Person (Kontakt mit einem unter Spannung stehenden Teil) **UND** Auftreten eines Erdfehlers (einschließlich „societal risk-factor“)

P_{fib} ... Wahrscheinlichkeit von Herzkammerflimmern

Risikobereich	Wahrscheinlichkeit P_{fat}	Anmerkung
Hohes Risiko	$> 10^{-4}$	Untragbares Risikoniveau, Risikoreduktion erforderlich
Mittleres Risiko	10^{-4} bis 10^{-6}	ALARP-Bereich, Maßnahmen zur Risikoreduktion erforderlich
Geringes Risiko	$< 10^{-6}$	Allgemein zulässiges Risiko

ALARP ... As Low As Reasonable Practicable

Risikoanalyse Australien

Wahrscheinlichkeit der Gleichzeitigkeit P_{coinc}

$$P_{coinc} = CM \cdot n_f \cdot T$$

$$P_{coinc} = \frac{n_f \cdot n_b \cdot (t_f + t_b) \cdot T}{365 \text{ d} \cdot 24 \text{ h} \cdot 60 \text{ min} \cdot 60 \text{ s}}$$

P_{coinc} ... Wahrscheinlichkeit der Gleichzeitigkeit von Anwesenheit einer Person (Kontakt mit einem unter Spannung stehenden Teil) **UND** Auftreten eines Erdfehlers

CM ... Gleichzeitigkeitsfaktor

n_b ... Berührungshäufigkeit pro Individuum pro Jahr (1/Jahr)

n_f ... Fehlerhäufigkeit pro Jahr (1/Jahr)

t_f ... Fehlerdauer (Sekunden)

T ... Betrachtungszeitraum (i. A. 1 Jahr)

t_b ... Berührungsdauer (Sekunden)

Berührungs-Szenario	n_b 1/Jahr	t_b s	CM *10 ⁴ für Fehlerdauern t_f in s					
			0,1	0,2	0,3	0,8	0,9	1
Backyard	416	4	0,541	0,554	0,567	0,633	0,646	0,660
Urban interface	100		0,130	0,133	0,136	0,152	0,155	0,159
Remote	10		0,013	0,0133	0,0136	0,0152	0,0155	0,0159
MEN	2000		2,60	2,66	2,73	3,04	3,11	3,17

Risikoanalyse Australien

Maßnahmen zur Risikominderung

Reduzierte Wahrscheinlichkeit der Gleichzeitigkeit

$$P_{coinc\ red} = P_{coinc} \cdot CRF < P_{coinc\ zulässig}$$

CRF... Gleichzeitigkeits-Reduktionsfaktor (Coincidence Reduction Factor)

Reduktionsmethode	Reduktionsfaktor CRF
Errichtung eines Schutzzauns	0,1
Isolationsschicht (Boden) z.B. Schotter-, Asphaltsschicht	0,4
Beschränkter Zutritt	0,5
Anbringung eines Warnzeichens	0,8

Beispiel (laut EG-0)

Annahme: Jogger berührt Metallzaun/-tür neben 275-kV-Mast

Betrachtungszeitraum $T = 1$ Jahr

Fehler (275-kV-Mast)

Häufigkeit $n_f = 1 / 120$ Jahre

Dauer $t_f = 1$ Sekunde

Berührung (Jogger)

Häufigkeit $n_b = 365 / \text{Jahr}$

jeweilige Dauer $t_b = 1$ Sekunde



Wahrscheinlichkeit der Gleichzeitigkeit P_{coinc}



$$P_{coinc} = \frac{n_f \cdot n_b \cdot (t_f + t_b) \cdot T}{60 \text{ s} \cdot 60 \text{ min} \cdot 24 \text{ h} \cdot 365 \text{ d}}$$

$$P_{coinc} = \frac{1/120 \text{ a} \cdot 365/\text{a} \cdot (1 \text{ s} + 1 \text{ s}) \cdot 1 \text{ a}}{60 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 365}$$

$$P_{coinc} = 1,929 \cdot 10^{-7} \quad \Rightarrow \quad P_{coinc} < 2,857 \cdot 10^{-6} \quad (\text{mit } P_{fib}) \quad \checkmark$$

Forschungs-Projekt (Vorschlag)

Vertiefende Untersuchungen der Richtlinie „Energy Network Association Australia (ENA), EG-0 Power System Earthing Guide“

Inhalt

- Untersuchung der Statistik (Formeln, Monte-Carlo-Analyse)
- Anwendbarkeit für Österreich und Europa
- Realistische Beispiele für Österreich und Europa
- **Muster: Blitzschutznorm**

JWG B3-35

Substation Earthing System Design Optimisation through the Application of Quantified Risk Analysis

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Lothar Fickert

Institut für Elektrische Anlagen
Technische Universität Graz

Reserve

Bachelorarbeit Orhouzee

Sicherheitskriterien für die Auslegung von Erdungsanlagen in Hochspannungsnetzen

Vergleich der IEC/EN-Standards mit der Australischen Risikoanalyse gemäß „Energy Network Association Australia, EG-0 Power System Earthing Guide“

Bachelorarbeit



Institut für Elektrische Anlagen
Technische Universität Graz

Vorgelegt von
Sarah Orhouzee

Betreuer
Dipl.-Ing. Dr.techn. Martin Lindinger

Institutsleiter: Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Diotechn. Lothar Fickert

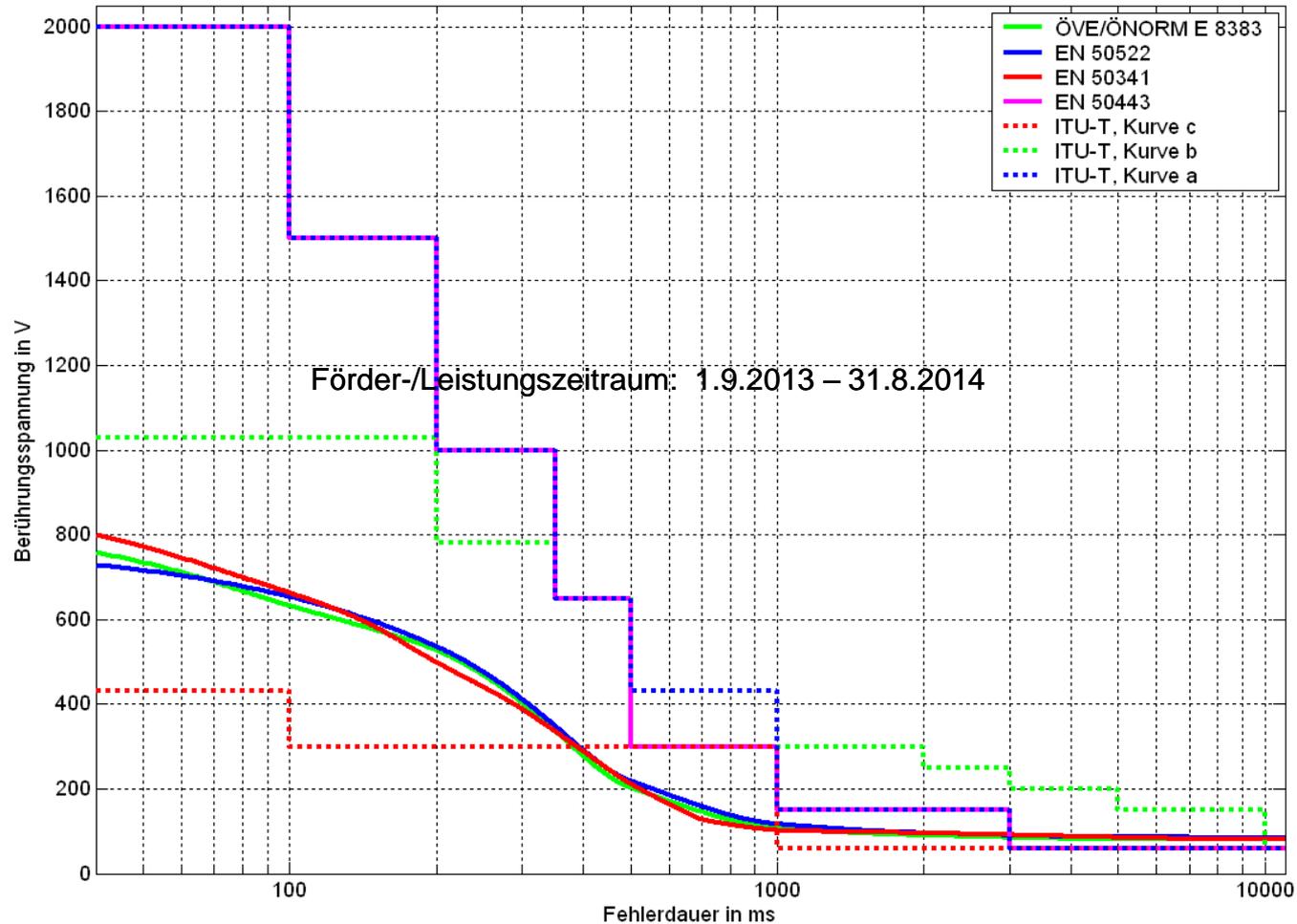
A - 8010 Graz, Inffeldgasse 18-1
Telefon: (+43 316) 873 - 7551
Telefax: (+43 316) 873 - 7553
<http://www.ifea.tugraz.at>
<http://www.tugraz.at>

Graz / August - 2012



Anhang

Vergleich der Berührungsspannungskurven:



„EN 50522, Europa“ vs. „EG-0, Australien“

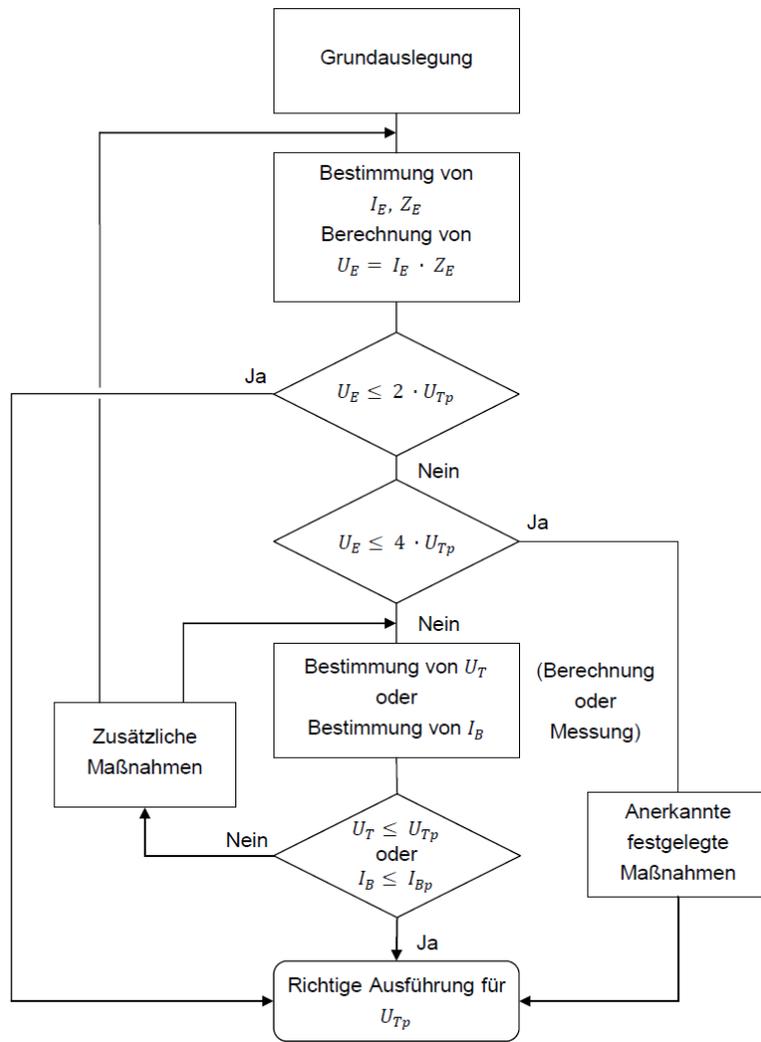


Bild 1 - Auslegung von Erdungsanlagen entsprechend der zulässigen Berührungsspannung nach EN 50522

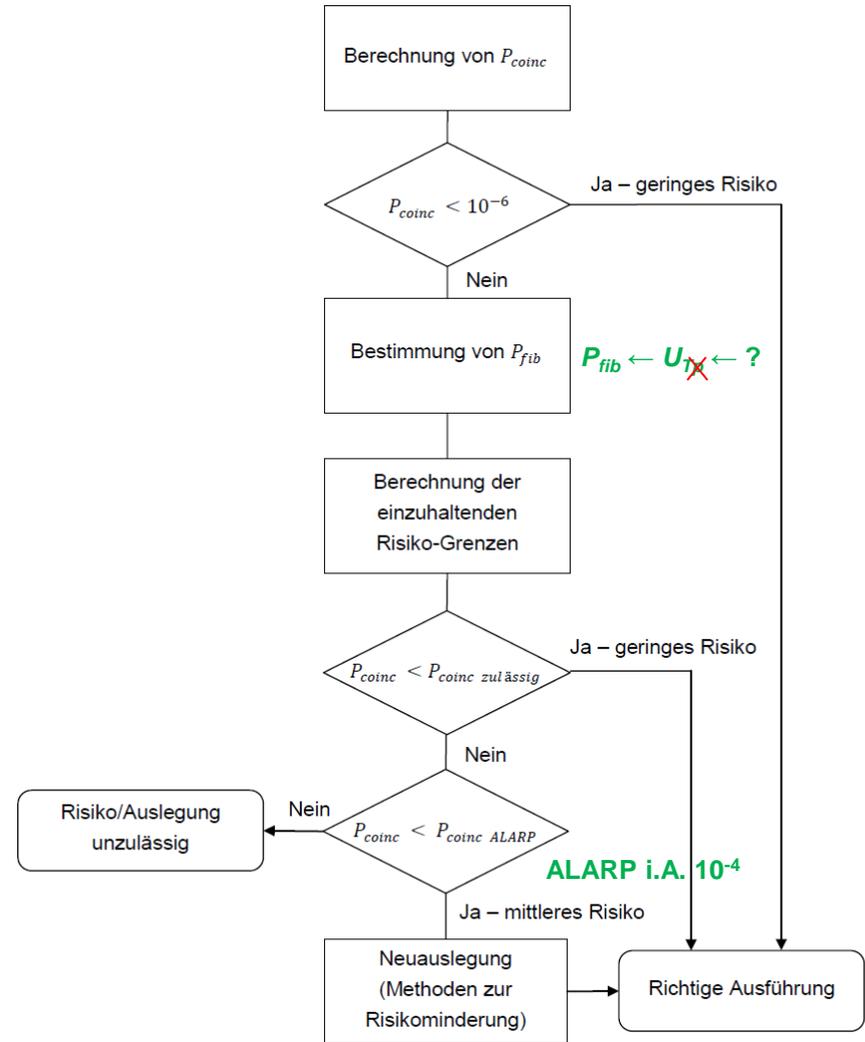


Bild 2 - Auslegung von Erdungsanlagen entsprechend des zulässigen Risikos nach EG-0 Power System Earthing Guide Australia

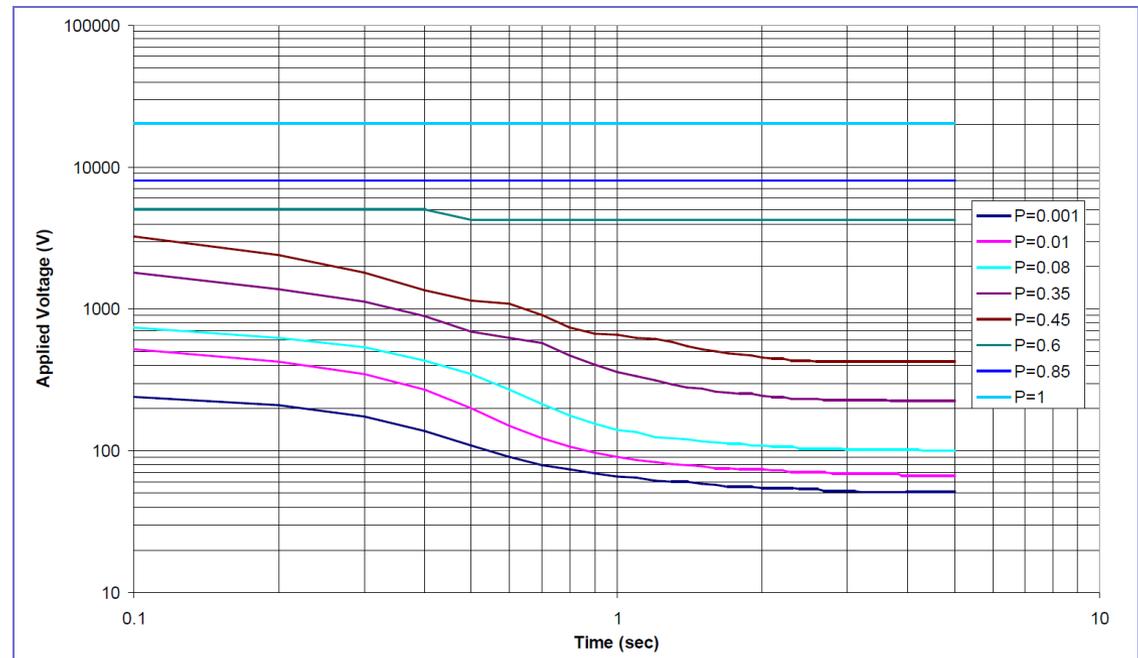
Risikoanalyse Australien

Wahrscheinlichkeit von Herzkammerflimmer P_{fib}

Abhängig von

- Berührungsspannung U_T für eine bestimmte Fehlerdauer
- zusätzlichen Serienwiderständen (Erdwiderstand, Schuhwerk etc.)

Konstante Werte
für P_{fib} aus
Berührungsspannungskurven



allg. typisches Schuhwerk, 100Ωm Erdboden, trocken

Risikoanalyse Australien

Risikogrenzen

- **Geringes Risiko**

Risikogrenze:
$$P_{coinc\ zulässig} = \frac{10^{-6}}{P_{fib}}$$

Bedingung:
$$P_{coinc} \leq P_{coinc\ zulässig}$$

- **Mittleres Risiko**

Risikogrenze:
$$P_{coinc\ ALARP} = \frac{10^{-4}}{P_{fib}}$$

Bedingung:
$$P_{coinc\ zulässig} < P_{coinc} \leq P_{coinc\ ALARP}$$

Gegenüberstellung

	EN 50522, Europa	EG-0, Australien
Wahrscheinlichkeit der Gleichzeitigkeit	Nicht berücksichtigt	$P_{coinc} = \frac{n_f \cdot n_b \cdot (t_f + t_b) \cdot T}{365 d \cdot 24 h \cdot 60 min \cdot 60 s}$
Wahrscheinlichkeit von Herzkammerflimmern	5 %	variabel
Wahrscheinlichkeit eines Todesfalls	Nicht berücksichtigt	$P_{fat} = P_{coinc} \cdot P_{fib}$
Wahrscheinlichkeit, dass die Körperimpedanz nicht überschritten wird	50 %	variabel
Berührungsspannung	Kurven gemäß IEC 60479	spezifische Kurven für konst. P_{fib}
Berührungsdauer	Nicht berücksichtigt	t_b
Fehlerhäufigkeit	Nicht berücksichtigt	n_f
Berührungshäufigkeit	Nicht berücksichtigt	n_b
Betrachtungszeitraum (Zeit, in der eine Person der Gefahr ausgesetzt ist)	Nicht berücksichtigt	Individuelles jährliches Risiko: $T = 1 a$; Indiv. Lebenszeit-Risiko: T variabel
Ort des Kontaktes (Berührungsszenario)	Nicht berücksichtigt	Backyard, Urban interface, Remote, MEN
Sicherheitskriterien für die Bewertung der Erdungsanlage	U_{Tp}, I_{Bp} zulässig	P_{coinc} zulässig

Argon – Analysis Software

Step A - Determine Probability of Coincidence (UNIFORM - Time Independent)

Fault Assumptions

1 Fault Frequency / year

0.2 Fault Duration (s)

No Coincidence Reduction ▲

Access Assumptions

Contact Scenario: MEN

Multiple contacts with items associated with the MEN on a daily basis

Individual | Societal

Contacts / Year: 2000

Contact Duration (s): 4

Override Coinc. Calcs

$P_{\text{coinc}} = 2.66\text{e-}4$

Step B - Determine Probability of Fibrillation

Probability of Fibrillation

Touch Voltage: Current Path

Standard Footwear: Footwear Type

Wet?

200 Soil Resistivity (Ω-m)

Surface Layer

Type: None

Resistivity: 0 Ω-m

Depth: 0 metres

Flashover Voltage: Not Specified volts

Auto Set Voltage 0.2 Fault Duration (secs)

480 Applied Voltage (volts)

$P_{\text{fibrillation}} = 0.0055$

Step C - Evaluate Target Risk Range

Individual | Societal

Design Curve (Individual Probability of Fatality = 1.47e-6)

Applied Voltage (volts)

1000

100

10

Fault Duration (seconds)

0.01

0.1

1

10

Design $P_{\text{fatality}} = P_{\text{coinc}} \times P_{\text{fibrillation}}$

$= 1.472\text{e-}6$

[View Design Curve](#)

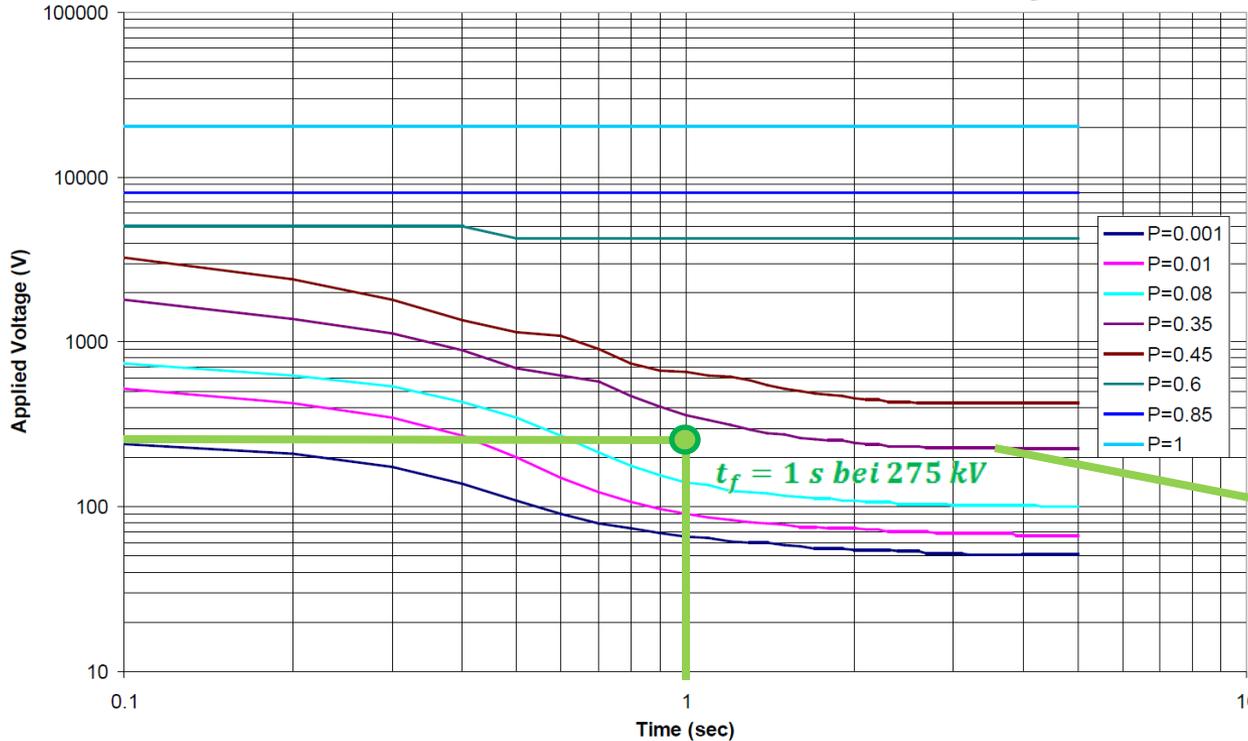
Negligible Risk $1\text{e-}6$ ALARA Region $1\text{e-}4$ Intolerable Risk

Design $P_{\text{fatality}} \uparrow 1.5\text{e-}6$

Beispiel (laut EG-0)

275-kV-Mast (Fehlerdauer = 1 Sekunde)

Wahrscheinlichkeit von Herzkammerflimmer P_{fib} und Risikogrenzen



$P_{fib} = 0,35$

$$P_{coinc\ zulässig} = 10^{-6} / P_{fib} \quad \Rightarrow \quad P_{coinc\ zulässig} = 2,857 \cdot 10^{-6}$$

$$P_{coinc\ ALARP} = 10^{-4} / P_{fib} \quad \Rightarrow \quad P_{coinc\ ALARP} = 2,857 \cdot 10^{-4}$$