

Subjektive Gefährdungswahrscheinlichkeit als eine Kenngröße der Elektrosicherheit elektrischer Anlagen, Geräte und Werkzeuge – Eine alternative Bewertungskonzeption für Gutachter im Arbeits – und Unfallschutz

1. Ausgangsphilosophie und Ausgangsprämissen

- Die SWS wird in (1) als Glaubwürdigkeitsgrad interpretiert, ermittelt durch einen „Experten“, wenn die Basis für die Ermittlung objektiver Wahrscheinlichkeiten (OWS) nicht gegeben ist. Es handelt sich um eine indirekte Schätzwertmethode, so die Autoren.
- Die SWS gilt als Maß für die Sicherheit der persönlichen Einschätzung eines Sachverhaltes durch einen Experten, der numerisch in Form eines Überzeugungsgrades festgelegt wird (1) - (3).
- Grad der individuellen Überzeugung bezüglich Sicherheit (4).
- Nach (5) sollen SWS den „Grad der Gewissheit“ messen, mit der z.Bsp. eine Person das Eintreten eines zukünftigen Ereignisses erwartet, z.Bsp. einen Unfall.
- Die SWS hat ihre Natur in formulierten Hypothesen, die gegenüber der WS-Theorie von Laplace gleichberechtigt sind (6), (7).

SWS – Subjektive Wahrscheinlichkeit

SGWS – Subjektive Gefährdungswahrscheinlichkeit

OWS – Objektive Wahrscheinlichkeit

2. Die Subjektive Gefährdungswahrscheinlichkeit als Erwartungs- und Prognosewert

Auf der Grundlage der aufgeführten Definitionen und auf der Grundlage des Gefährdungsgrundmodelles (11),(12),(25),(26) sowie der Basisgleichungen der „Prospect-Theorie“ (8.4), der „Theoretischen Qualimetrie“ (10) bis (14) und der Prognoseverfahren der „Subjektiven Heuristik“, heuristische Programme zur Durchführung von Expertenbefragungen (22),(23), wurde vom Autor folgende modifizierte Gleichung als ein Bewertungsansatz formuliert:

$$P(G_S) = -P(A) \frac{1}{a} \ln(K_{ESG}) \quad (1)$$

Darin bedeuten:

$P(G_S)$ → Subjektive Gefährdungswahrscheinlichkeit

$P(A)$ → Anwesenheitswahrscheinlichkeit

a → Anlagenspezifischer Bewertungskoeffizient

K_{ESG} → Elektroschutzgüte

Für die Berechnung der komplexen Bewertungskenngröße „Elektroschutzgüte“ K_{ESG} kann auf der eines hierarchisch aufgebautem Struktur -bzw. Leitschemas von folgendem allgemeinen Gleichungssystem ausgegangen werden (13):

$$K_{ESG} = \sum \left(M |_1^{y-1} \left(\sum_1^n m k \right) \right) \quad (2a)$$

Als hinreichend wird nachstehendes Gleichungssystem betrachtet :

$$K_{ESG} = \sum_{j=1}^{j=N} \left(M_j \sum_{i=1}^{i=n} m_{ji} k_{ji} \right) \quad (2b)$$

Darin bedeuten:

K_{ESG} = Elektroschutzgüte ($0 \leq K_{ESG} \leq 1$)

M = Wichtungskoeffizient der jeweiligen Eigenschaftsgruppe

m = Wichtungskoeffizient der jeweiligen Einzeleigenschaft

k = Einzeleigenschaften ($0 \leq k \leq 1$)

y = Anzahl der Niveaustufen

n = Anzahl der Einzeleigenschaften

N = Anzahl der Eigenschaftsgruppen

Daraus folgt:

- Die Stufe 0 entspricht der komplexen Bewertungskenngröße.
- Die 1. Niveaustufe entspricht der Eigenschaftsgruppe (j).
- Die 2. Niveaustufe entspricht der Einzeleigenschaft (i).

Die Anzahl der Eigenschaftsgruppen und die Anzahl der Einzeleigenschaften innerhalb einer Eigenschaftsgruppe sollte die Zahl 10 grundsätzlich nicht überschreiten.

Festlegungen über die Bestimmungen der Wichtungskoeffizienten und Berechnungsmöglichkeiten:

Bei der Bestimmung der Wichtungskoeffizienten muß beachtet werden, dass die Summe der Wichtungskoeffizienten der Eigenschaftsgruppen sowie die Summe der Wichtungskoeffizienten der Einzeleigenschaften innerhalb einer Eigenschaftsgruppe jeweils gleich 1 sein muss. Es gilt folgende Gleichung:

$$m_i = \frac{\sum_{X=1}^r a_{ix}}{\sum_{i=1}^n \left(\sum_{X=1}^r a_{ix} \right)} \quad (3)$$

Darin bedeuten:

a – vom jeweiligen Experten gewählter Rang

r – Anzahl der Experten

n – Anzahl der jeweiligen Bewertungsgröße

Diese Gleichung gilt auch für die Bewertung der Eigenschaftsgruppen. Für m gilt M und für $i=j$.

Bei diesem Verfahren werden die Eigenschaften nach ihrer Wichtigkeit durch jeden Experten geordnet, wobei dem unwichtigsten Parameter der Rang 1 zuzuordnen ist, dem folgendem der Rang 2 usw. D.h., der wichtigsten Eigenschaft wird der höchste Rang zugeordnet.

3. Anwendungen:

Dazu zwei Musterbeispiele mit einer vom Autor ermittelten anlagenbezogenen Bewertungskonstante a für Anlagen, Betriebsmittel und Schutzeinrichtungen der elektrischen Energietechnik von 110.

1. Beispiel: Bewertung einer gekapselten Mittelspannungsanlage

Die qualimetrische Bewertung von Mittelspannungsanlagen auf der Grundlage des beschriebenen Verfahrens führte zu folgenden Ergebnissen:

1. Variante mit $K_{ESG}=0,85$
2. Variante mit $K_{ESG}=0,932$

Unter Anwendung der Gleichung (4) ergeben sich folgende „Gefährdungspotenziale“ p_{ESG} :

$$p_{ESG} = -\left(\frac{1}{a}\right) \ln K_{ESG} \quad (4)$$

1. Variante: $p_{ESG}=1,48 \cdot 10^{-3}$
2. Variante: $p_{ESG}=0,64 \cdot 10^{-3}$

Daraus ergibt sich nach Gleichung (5) in (13) für K_{ESG} ein gewichteter Mittelwert von 0,88. Gemäß Gleichung (4) folgt:

$$p_{ESG}=1,16 \cdot 10^{-3}$$

Auf der Grundlage des statistisch erfassten Störgeschehens von etwa 800 Mittelspannungsschaltzellen wurde eine Störlichtbogenwahrscheinlichkeit als Gefährdungspotenzial von

$$p_{LB}=1,25 \cdot 10^{-3} / a \cdot \text{Zelle}$$

ermittelt.

Die Einbeziehung der ermittelten Anwesenheitswahrscheinlichkeit von

$$P(A) = 6,4 \cdot 10^{-4} / a \cdot \text{Zelle} \cdot \text{Person}$$

liefert unter Anwendung des Gefährdungsgrundmodelles folgende Gefährdungswahrscheinlichkeiten:

- Objektive Gefährdungswahrscheinlichkeit

$$P(G)_o = p_{LB} \cdot P(A) = 0,8 \cdot 10^{-6} / a \cdot \text{Zelle} \cdot \text{Person}$$

- Subjektive Gefährdungswahrscheinlichkeit

$$P(G)_S = p_{ESG} \cdot P(A) = 0,74 \cdot 10^{-6} / a \cdot \text{Zelle} \cdot \text{Person}$$

2. Beispiel: Bewertung von ausgewählten Niederspannungsanlagen

Von einer Expertengruppe, bestehend aus sechs ausgewählten Experten wurden unter Anwendung der qualimetrischen Basisgleichung (2) sechs unterschiedliche NS-Anlagen bewertet.

Eine Transformation der Ergebnisse auf der Grundlage der Gleichung (4) führte zu folgenden Gefährdungspotenzialen als Schätz- bzw. Prognosewert (Wertigkeitsvergleich):

Variante 0:	$K_{ESG} = 0,63$	→	$p_{ESG} = 4,2 \cdot 10^{-3}$
Variante 1:	$K_{ESG} = 0,79$	→	$p_{ESG} = 2,1 \cdot 10^{-3}$
Variante 2:	$K_{ESG} = 0,77$	→	$p_{ESG} = 2,3 \cdot 10^{-3}$
Variante 3:	$K_{ESG} = 0,71$	→	$p_{ESG} = 3,1 \cdot 10^{-3}$
Variante 4:	$K_{ESG} = 0,91$	→	$p_{ESG} = 0,86 \cdot 10^{-3}$

Ergänzend wurden unabhängig davon ausgewählte Gebäudeausrüstungen (NS-Anlagen) durch eine Expertenkommission, bestehend aus sechs Experten mit 7, 8, 10 und 12 Jahren Berufserfahrung bewertet.

$$K_{ESG} = 0,92 \Rightarrow p_{ESG} = 0,76 \cdot 10^{-3}$$

Siehe dazu zum Vergleich Variante 4 als Neuanlage!

3. Beispiel: Bewertung ausgewählter Elektrowerkzeuge („Billigprodukte“)

Als Bezugsgerät wurde das Markenprodukt Schlagbohrmaschine von Black und Decker NL 500 R gewählt. Von der Expertengruppe wurde auf der Grundlage der Gleichungen (2a), (2b) und (3) ein Schutzgüteniveau von 0.94 als Bestwert ermittelt. Ordnet man dieser Kenngröße eine Gefährdungswahrscheinlichkeit von $10 \text{ hoch } -7$, akzeptabel für die breite Öffentlichkeit nach (27/2), zu, so ergibt sich unter Anwendung der Gleichung (1) mit $P(A) = 1$ eine Betriebsmittelkonstante a von $0,062 \times 10 \text{ hoch } 7$. Daraus ergeben sich für eine Auswahl von Importgeräten („Billigprodukte“), dessen Herkunftsland unbekannt ist (28), folgende Vergleichswerte (Subjektive Gefährdungswahrscheinlich-

keiten mit dem jeweiligen Faktor 10^{-7} und $P(A) = 1$ als Schätzwerte:

1. Handkreissäge mit $K(\text{ESG}) = 0,76$ $P(G) = 4,43 \times 10^{-7}$
2. Stichsäge und Exzentrerschleifer mit $K(\text{ESG}) = 0,75$ $P(G) = 4,64 \times 10^{-7}$
3. Elektrohobel mit $K(\text{ESG}) = 0,71$ $P(G) = 5,52 \times 10^{-7}$.

Als noch akzeptablen Wert wird eine Gefährdungswahrscheinlichkeit von 10^{-6} (27/2) angenommen. Daraus ergibt sich ein $K(\text{ESG})$ -Wert von 0,54. Gewählt werden 0,6.

$$0,6 < K(\text{ESG}) < 1 \quad \text{Siehe dazu Abschnitt 5.2.1 in (13)!}$$

Unter diesen Bedingungen ist die „Subjektive Gefährdungswahrscheinlichkeit“ der Importgeräte 4 bis 5-fach größer als die des Markenproduktes, befinden sich doch noch im zulässigen Wertigkeitsbereich in der „Faktorenskala“ von 1 bis 8,24 (noch zulässiger Grenzwert).

4. Zuverlässigkeitstests mittels Fuzzy – Modellen

Für Zuverlässigkeitstests (hinreichende Bewertung), bezogen auf qualimetrisch ermittelte Basiswerte (Q) gemäß Gleichungen (2b) und (3) werden auf der Grundlage zahlreicher Untersuchungen vom Autor Fuzzy – Modelle in Form gewichteter Summation nach

- Baas und Kwakernaak (B u.K)
- Dubois und Prade (D u.P)

und mittels Fuzzy – Operatoren (FO) empfohlen.

Testbeispiel:

Ein Test auf der Grundlage einer Zugehörigkeitsfunktion in Trapezform ergab folgende Werte: $(Q) = 0,8520$, $(B \text{ u.K}) = 0,8526$, $(D \text{ u.P}) = 0,8519$ und $(FO) = 0,8510$.
Der Mittelwert der Testergebnisse beträgt $= 0,8518$ gegenüber (Q) als Basiswert!

5. Bestwertermittlung auf der Grundlage des Prinzips der größten Wahrscheinlichkeit

Erfolgen quantitative qualimetrische ESG-Bewertungen mit von einander unabhängigen und abweichenden Ergebnissen, so kann der „Bestwert“ als gewichteter Mittelwert nach R. Taylor (Fehleranalyse, VCH, Weinheim, Ausgabe 1988, ISBN 3-527-26878-2) ermittelt werden. Auf dieser Grundlage wurden die im 1. Beispiel qualimetrisch ermittelten Werte von 0,85 und 0,932 für eine derartige Berechnung verwendet und ein gewichteter Mittelwert (Bestwert) von 0,89 mit einer Unsicherheit von 0,03 ermittelt.
Weitere Anwendungen siehe dazu Anlage 29 in (13)!

6. Quellen und Literaturempfehlungen

- (1) Laux, H.; Gillenkirch, R. M.; und Schenk – Mathes, H. Y.: Entscheidungstheorie, Abschnitte 10.2 und 10.3
Springer Gabler – Lehrbuch, 9. Auflage 2014, ISBN 978-3-642-55257-1
- (2) Lexikon der Economics 2013
- (3) Gabler: Wirtschaftslexikon
- (4) lexikon.stangl.eu/12025/
- (5) Krelle, W.: Präferenz – und Entscheidungstheorie, Abschnitt 6: SWS
J. C. B. Mohr (Paul Siebeck) Tübingen 1968, S.196-205.
- (6) Garrecht, A. und Trupka, B.: Die Regel von Bayes und der SWS

Ausarbeitung zum Vortrag im Blockseminar Stochastik im WS 2008/09, Abschnitte 2.4 und 2.5 an der Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg.

(7) Riemer, W.: Neue Ideen der Stochastik
BI – Wissenschaftsverlag Mannheim 1991

(8) Internetpräsentationen (Auswahl):

- SWS – Begriff – Wikipedia
- Sicherheit – Wikipedia
- Der Satz von Bayes – Wikipedia
- Prospect Theory – Wikipedia
- Entscheidungstheorie – Wikipedia

(9) Hochschularbeiten (Auswahl):

- Fels, F.: Der subjektivistische WS – Begriff
Arbeitspapier 51 der FH Hannover, Fachbereich Betriebswirtschaftslehre,
Wirtschaftsinformatik. Oktober 2000.
 - Hofmann, R.: Schätzen mit SWS
Hochschule für Technik und Wirtschaft Karlsruhe
 - Geßendorfer, J.: Subjekt Intervall – WS
Seminararbeit an der Ludwig-Maximilian-Universität München 2014, Abschnitt 2.3
„SWS“ und Schmid, Chr.: Der SWS – Begriff, Seminararbeit 2014.
- (10) Altmann, S.: Statistische Auswertung der Expertenbefragung zur Ermittlung der subjektiven Wahrscheinlichkeit „Elektrosicherheit“ einschließlich Interpretationsvarianten Wiss. Berichte der TH Leipzig (1985), H.13, S. 1-15.
- (11) Altmann, S.: Mathematische Methoden zur Bewertung der Sicherheit elektrotechnischer Anlagen 2. Kolloquium der Sektion Forschung der IVSS – Kriterien und Methoden für die Sicherheitsanalyse, Bonn-Hennef/Sieg (1985), Berichtsband S. 262-275, Abschnitt 2 (SWS).
- (12) Altmann, S.: Sicherheit elektrotechnischer Betriebsmittel – Entscheidungshilfe für eine quantitative Bewertung, Abschnitt 2.2 (Bewertung mittels subjektiver Wahrscheinlichkeiten) VDE-Fachbericht 50 (1996) mit 22 Seiten.
- (13) Altmann, S.: Elektrosicherheit – Angewandte subjektive Bewertungsverfahren mit Applikationsbeispielen aus der Elektrischen Energie- und Gerätetechnik; Herausgegeben im Selbstverlag 2016 unter ISBN 978-3-00-035816-6 (siehe <http://profaltmann.24.eu>). 115 Seiten und 29 Anlagen (98 Seiten) und Anlagenband (56 Einzelpublikationen).**
- (14) Altmann, S.: Qualimetrie – Eine kurze Entwicklungsgeschichte und Literaturrecherche, bezogen auf Anwendungen in der Elektrotechnik, CD-ROM (46 KB), 2016. <http://profaltmann.24.eu/assets/Qualimetrie-Wikipedia%201.doc> und Anlage 27 in (13).**

Ergänzende Literatur:

- (15) Obojski, J.: Ein Beitrag zur Objektivierung der qualimetrischen Sicherheitsbewertung von Niederspannungsanlagen (Clusteranalyse).
Dissertation an der TH Leipzig 1986, Mentor: S. Altmann.
- (16) Krüger, C.: Pfadanalyse als Methode zur quantitativen sicherheitstechnischen Bewertung elektrischer Anlagen.
Dissertation an der TH Leipzig 1988, Mentor: S. Altmann.
- (17) Veith, M. und Schröder, G.: Ein Beitrag zur Anwendung homogener Markovscher Ketten zur Berechnung von Gefährdungswahrscheinlichkeiten am Beispiel von Niederspannungsanlagen. ELEKTRIE 36 (1982), Heft 6, Seite 289-292.
- (18) Werner, F.-J.: Subjektive Parametererkennung und-bewertung für Planungs- und Betriebsprobleme in der Elektroenergieversorgung.
Dissertation B an der TH Leipzig 1985, Mentoren: E: Muschick (Zittau) und S. Altmann.
- (19) Muschick, E. und Müller, P.H.: Entscheidungspraxis – Ziele-Verfahren-Konsequenzen.

- Verlag Technik Berlin 1987, ISBN 3-341-00077-1, Abschnitt 8: Subjektiv festgelegte Parameter, Vorbereitung und Ablauf von Schätzungen (mathematische Modelle), Schätzgröße und Wichtungen (mathematische Modelle), Abschnitt 9.3: Entscheidungsfehler (quantitative und qualitative Analyse), Abschnitt 11.4.3: Personengefährdung (Risiko).
- (20) Balbir S. Dhillon: Zuverlässigkeitstechnik – Einfluss des Menschen.
VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim (BRD), 1988.
Inhaltsangaben (Auswahl):
- Methoden zur Analyse menschlicher Zuverlässigkeit
 - Berechnung der Zuverlässigkeit von Systemen in Bezug auf menschliches Fehlverhalten
 - Ausgewählte Formeln und mathematische Modelle zur Berechnung menschlicher Sicherheit
 - Daten zur menschlichen Zuverlässigkeit
 - Menschliche Faktoren in der Qualitätskontrolle-Kontrollbezogene mathematische Modelle
 - Einbeziehung menschlicher Faktoren in verschiedene Phasen des technischen Systems (menschliche Faktoren beim Entwurf).
- (21) Fischer, H. und Weißgerber, B.: Die Anwendung faktorspezifischer Gefährdungsbäume für die Analyse technischer und verhaltensbezogener Ursachen von Unfallgefährdungen.
Bericht der Bundesanstalt für Arbeitsschutz Dortmund, März 1995.
- (22) Unger, L. und Kurras, U.: Zur Auswahl der Experten und Bewertung ihrer Aussagen.
Energietechnik 23 (1973), Heft 6, Seite 280 -285.
- (23) Die Auswahl von Six-Sigma-Experten.
Symposium Publishing GmbH 2008, Düsseldorf (www.symposium.de
- (24) Häder, M.: Die Expertenauswahl bei Delphi- Befragungen (Struktur und Größe der Experten-
gruppe).
ZUMA How-to-do-Reihe, Nr.5, 2000, Zentrum für Umfragen und Analysen.
- (25) Bauer, H.: Zur Berechnung von Gefährdungen infolge Gleichzeitigkeit von Fehler und Bereit-
schaft. ELEKTRIE 32 (1978),Heft 5, Seite 234 -240.
- (26) Lange, P.: Verfahren zur quantitativen Bewertung der Elektrosicherheit beim Betreiben von
Elektroenergieanlagen. Dissertation an der TH Leipzig 1981, Mentor: S.Altmann.
- (27) Hasselbarth, K.: Gashochdruckleitungen: Sicherheit und Qualität, Vulkan -Verlag Essen
2001, ISBN 3-8027-5380-1
- (27/1) Veenger, M.: Zustandsbeschreibung und – bewertung alter und neuer Leitungssysteme
(Anlagenintegrität), Seite 226 - 238.
- (27/2) Klaus, E.-H.: Limit State Design Methods, Seite 93 -113 (Risikobereiche/a).
- (28) Zentralverband Elektrotechnik – und Elektroindustrie e.V. (ZVEI): Ratgeber Sicherheit,
Forderungen der Arbeitsgemeinschaft Sichere Produkte 1997.
- (29) Biegelmeier, G.: Schutz gegen elektrischen Schlag – Beurteilung der Grenfrisiken – Wertig-
keitsvergleiche, Gemeinnützige Privatstiftung Elektroschutz Wien, Schriftenreihe, Heft 4.
- (30) Schweizerische Akademie der Wissenschaften: Ethik für Ingenieure und technische Wissen-
schaften, Sonderdruck Bulletin SEV/VSE 83 (1992)/1, siehe Anhang in (29).
- (31) Mosler, K.: Entscheidungsregeln bei Risiko.
Habilitationsschrift an der Universität der Bundeswehr Hamburg (heute Helmut Schmidt Uni-
versität Hamburg) 1981.und Berlin (Springer) 1982 mit158 Seiten.

7. Abschlussbemerkungen

In der Entscheidungstheorie werden zur Lösung von Informationsmangel – Problemen bei unvoll-
ständiger Kenntnis (Ungewissheit) der Wahrscheinlichkeiten folgende Lösungswege behandelt (19):

- Schätzmethoden, wie Identifikationsmethoden (Methode der kleinsten Fehlerquadrate, An-
passungstests für Verteilungsfunktionen, Prognosemethoden)
- Stabilitätsanalysen
- Entscheidungsmethoden.

Die vorliegende Konzeption kann im Sinne dieser Klassifikation den Schätz – und Prognosemethoden zugeordnet werden.

Die formulierten Gleichungen können auch genutzt werden für quantitative Berechnungen der Schutzgüte, wie sie Helbing in seinem Buch „Handbuch der Fabrikprojektierung“, Springer-Verlag 2010, ISBN 978-3642016172, als ein spezifisches und erforderliches Qualitätsmerkmal beschreibt. Die Schutzgüte (SG) wird darin wie folgt definiert (Zitat):

„Qualitative und quantitative Aussage zu den Projektierungslösungen und über Vorbeugemaßnahmen zum Schutz von Personen, Objekten, Elementen und Systemen der Fabrik sowie der Fabrikumwelt gegen interne, ungewollte und gewollte (gewaltsame) Gefahren jeglicher Art“. Unterschieden wird zwischen Arbeitsschutzgüte, Techniksutzgüte, Projektierungsschutzgüte, Betriebs- und Fabriksschutzgüte und Gefahrenschutzgüte. Dabei ist zu unterscheiden zwischen zu projektierenden Gefahrenschutz und zu betreibenden sowie zu erhaltenen Gefahrenschutz (13). Das behandelte Berechnungsverfahren kann auch dem Sicherheitsbewertungskonzept mit subjektiver Wichtung nach (27/1) und (27/2) zugeordnet werden.

Bei dieser Ausarbeitung handelt es sich um einen Auszug aus Quelle (13) und um eine Studienanleitung für Studierende an Hoch- und Fachschulen im Rahmen des Direktstudiums und der Weiterbildung und um einen Bewertungsleitfaden für Gutachter im Arbeits- und Unfallschutz sowie für Qualitätsbewertungen (Auswahl).

Sie hat darüber hinaus den Charakter einer Konzeption für weitere Forschungsarbeiten auf diesem Gebiet, zum Beispiel an Hoch- und Fachschulen (Beleg- und Abschlussarbeiten) sowie an Universitäten (Dissertationen). als CD - ROM – Ausgabe mit 122 KB (2017).

Autor: Prof. Dr.-Ing.habil. Siegfried Altmann, Forschungs-und Transferzentrums (FTZ) e.V. der Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur (HTWK) Leipzig, Ehrenmitglied des VDE- Ausschusses „Sicherheits- und Unfallforschung (SUF)“ und Mitglied der Energietechnischen Gesellschaft (ETG) im VDE. Weitere Angaben: Wikipediapräsentation und Homepage Elektrosicherheit-Elektrische Bahnen und Anlagen (<http://profaltmann.24.eu>).