

Auswertung der Ergebnisse des Forschungsvorhabens Isko_Neu
Dipl.-Ing. D. Haub*, Prof. Dr.-Ing. W. Pfeiffer und Dipl.-Ing. E. Schneider*

***) Bender GmbH Grünberg**

1. Prüfablauf

Diese Auswertung beruht auf den nach 100 Tagen Beanspruchungsdauer mit Gleichspannungen im Bereich von 200 V bis 1000 V erhaltenen Ergebnissen.

Eine Zeitraffung wird dadurch erreicht, dass die Klimabeanspruchung nach IEC 6068-2-38 [1] während der Beanspruchung wesentlich härter als die des Verschmutzungsgrades 2 und wohl auch noch härter als die des Verschmutzungsgrades 3. Es wird angenommen, dass dadurch die bei einer maximalen Lebensdauer von 20 Jahren möglichen Beanspruchungen hinreichend abgedeckt sind (Zeitraffung um den Faktor 73).

Im Verlauf des Forschungsvorhabens hat sich gezeigt, dass diese hohe Zeitraffung nur dann erreicht wird, wenn das in den Klimaschränken verwendete destillierte Wasser eine ausreichende Mindestleitfähigkeit besitzt. In der Normenreihe IEC 60068-2-X für Umweltsimulation wird allerdings nur ein Höchstwert der Leitfähigkeit des Wassers von in der Regel 20 $\mu\text{s}/\text{cm}$ festgelegt (Ausnahme IEC 60068-2-67 mit 2 $\mu\text{s}/\text{cm}$). Es ist zu vermuten, dass dieser Höchstwert der Leitfähigkeit eher dem Schutz der Klimaprüfschränke als einer gezielten Beanspruchung der Isolierungen der Prüflinge dient.

Durch die Versuche hat sich nun bestätigt, dass bei Verwendung von destilliertem Wasser mit etwa dem Höchstwert der in der Normenreihe IEC 60068-2-X für Umweltsimulation festgelegten Leitfähigkeit die gewünschte Zeitraffung erreicht wird. Dagegen ist die Verwendung von destilliertem Wasser mit einer Leitfähigkeit von nur $< 1 \mu\text{s}/\text{cm}$ für den beabsichtigten Zweck ungeeignet. Die nachfolgenden Versuchsergebnisse beziehen sich daher auf die Verwendung von destilliertem Wasser mit einer Leitfähigkeit von etwa 20 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

Die Bilder 1 und 2 zeigen die detaillierten Prüfintervalle, die gemäß IEC 60068-2-38 [1] zur Anwendung kommen. Dabei wird die Temperatur im Bereich von $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ bis $65 \text{ }^\circ\text{C}$ variiert bei einer relativen Feuchte von 93 % im Bereich der hohen Temperatur (geregelter Bereich).

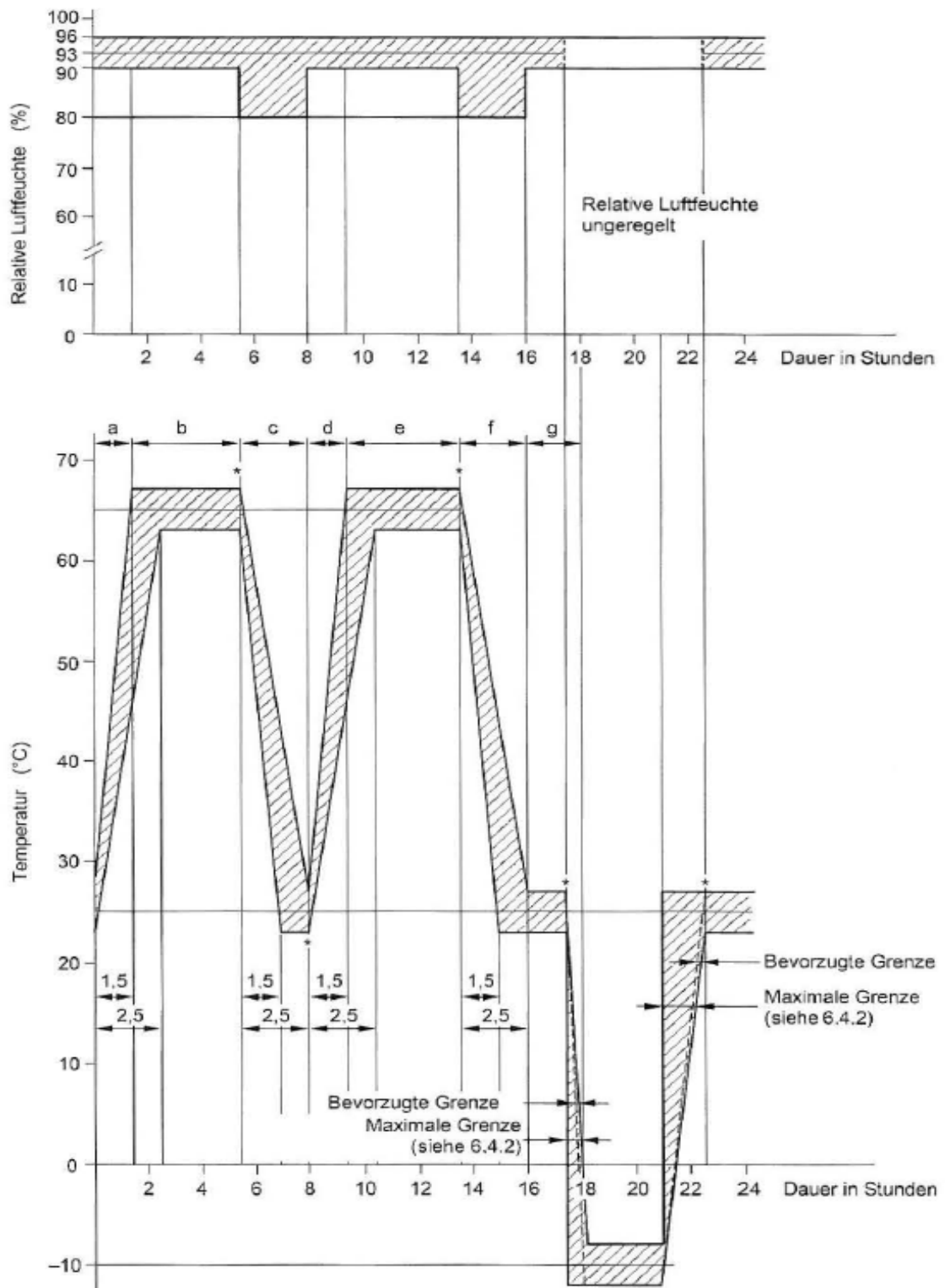


Bild 1: Beanspruchung mit Feuchte und Kälte einschließlich Betauung

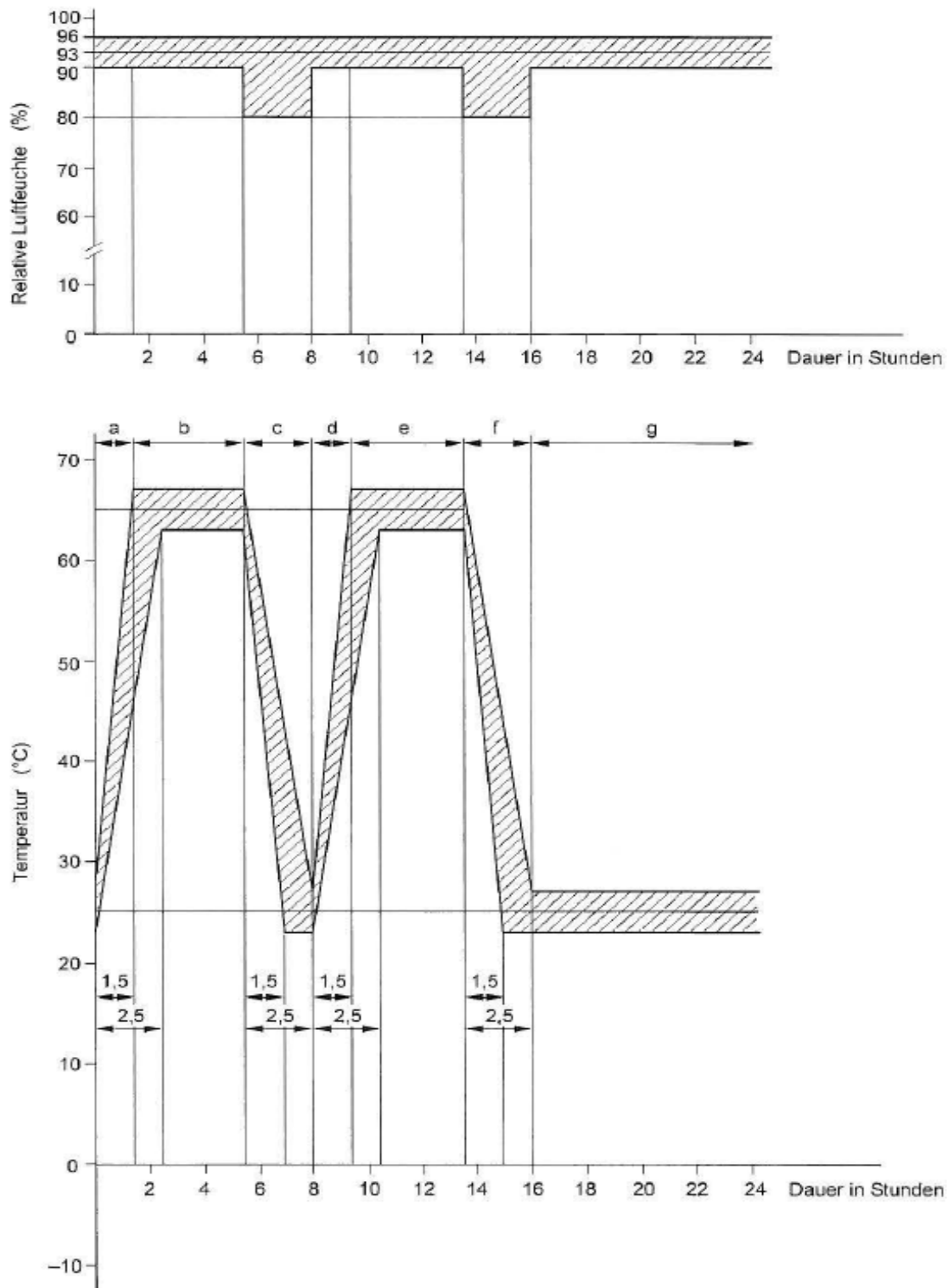


Bild 2: Beanspruchung mit Feuchte

Die Vorbehandlung wurde gemäß normativer Festlegung [1] bei 55 °C und 20 % r.H. für 24 h durchgeführt. Nach der Vorbehandlung wurde der Klimaschrank für 2 h auf 25 °C bei 60 % r.H. heruntergeregelt, wonach der Anfangswert des Isolationswiderstands jeder Kriechstrecke mit 1000 V_{DC} gemessen wurde (siehe die Bilder 3 und 4).

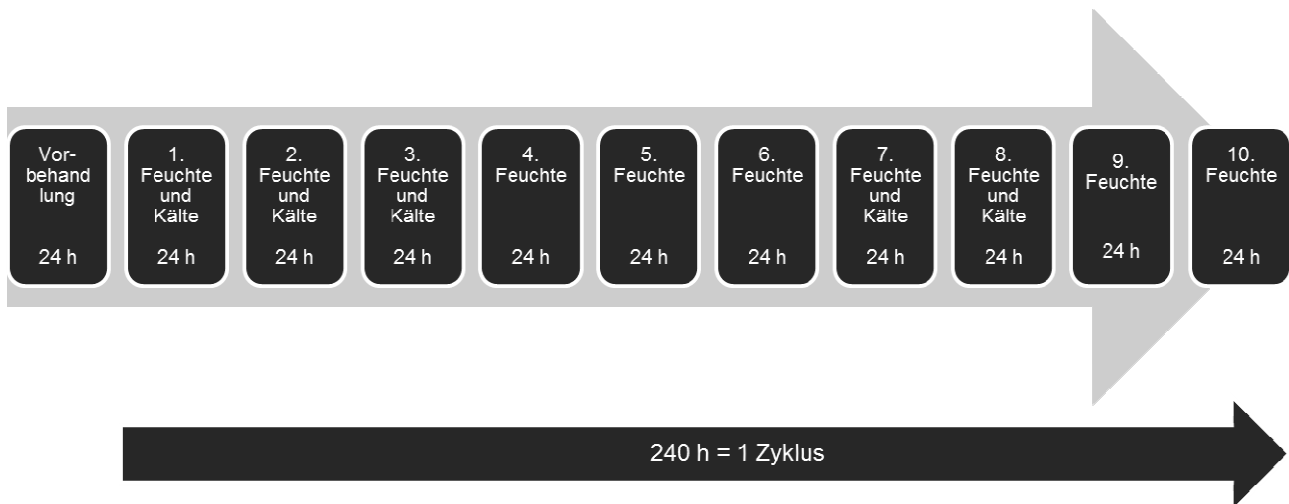


Bild 3: Ablauf eines Prüfzyklus

Die Messung des Isolationswiderstands wurde nach genau festgelegten Zeiten durchgeführt und zwar immer dann, wenn der Klimaschrank eine Temperatur von 25 °C, bei dem Profil „Beanspruchung mit Feuchte“, am Ende eines Zyklus hat (siehe Bild 2). Der Isolationswiderstand wurde jeweils mit 1000 V_{DC} gemessen.

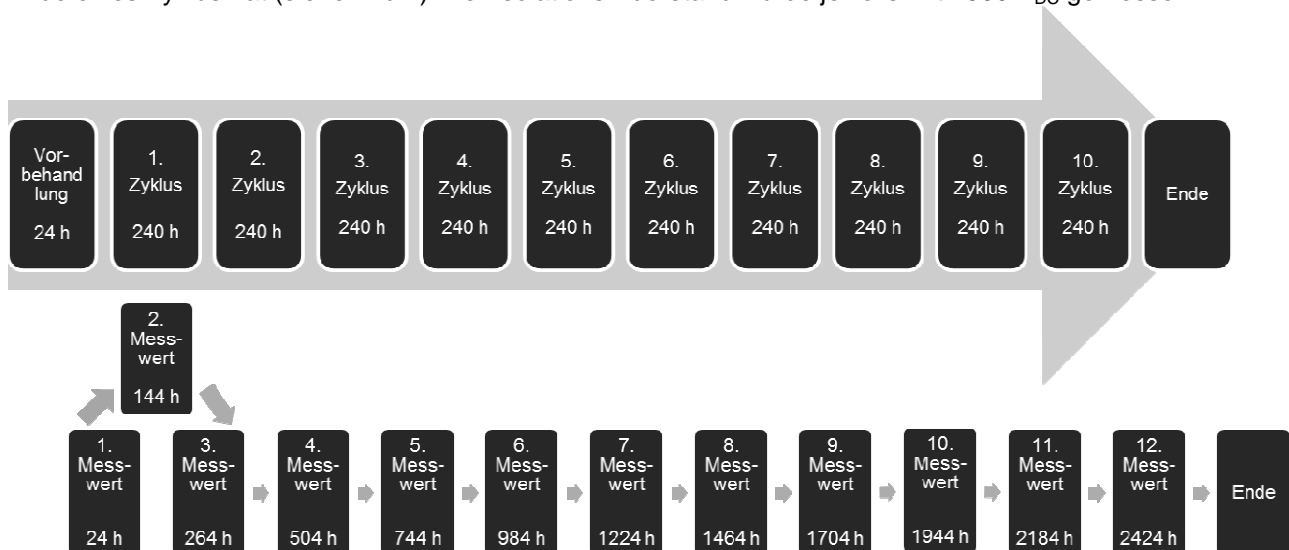


Bild 4: Gesamtprüfung und Messintervalle

Während der erheblichen Beanspruchung mit Klima und der anliegenden Gleichspannung sinkt der Isolationswiderstand mehr oder weniger ab. Als Ausfallkriterium wird ein Isolationswiderstand von 100 M Ω (siehe auch IEC 60664-3 [3]) angesehen. Bei einer Messspannung von 1000 V_{DC} entspricht das einem Isolationsstrom von 10 μ A.

2. Prüflinge und Prüfergebnisse

Der Versuch wurde an Leiterplatten mit zwei verschiedenen Basismaterialien (Isolierstoffgruppe II bzw. IIIa) mit Nennabständen zwischen den Leiterbahnen von 0,5 bis 7,5 mm durchgeführt (siehe Bild 5).

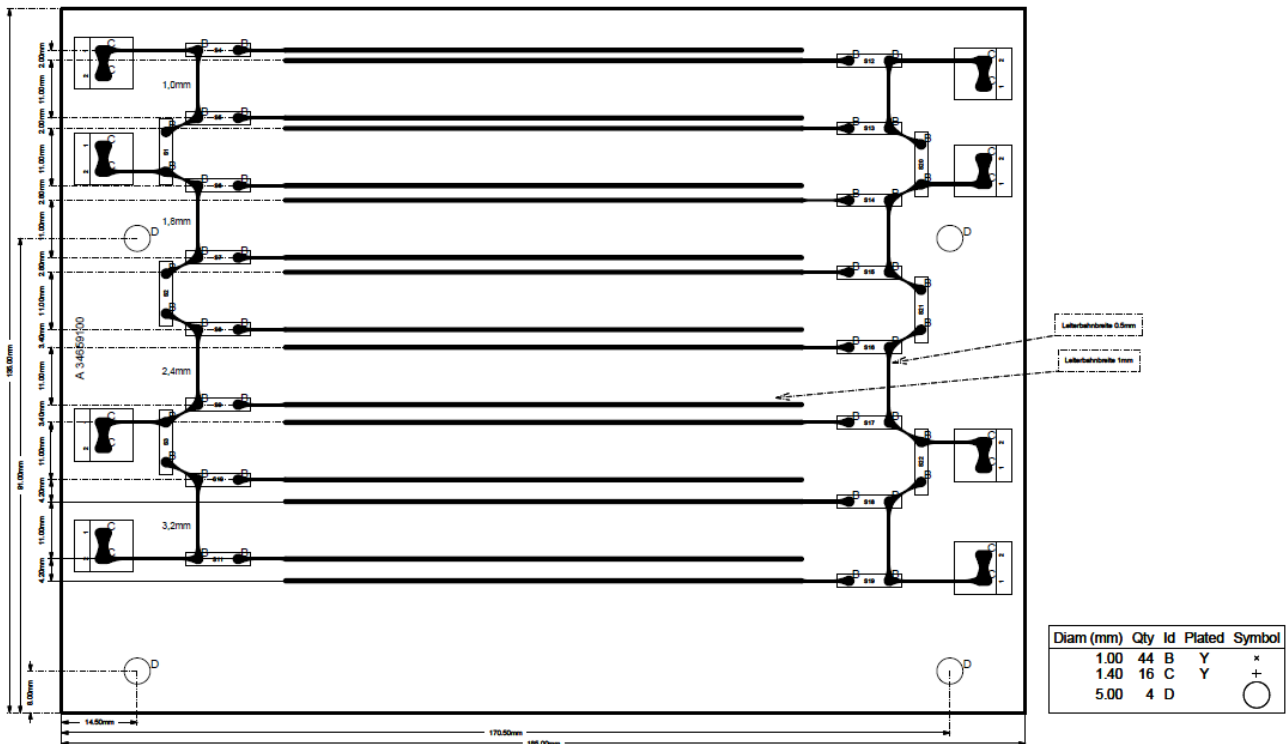
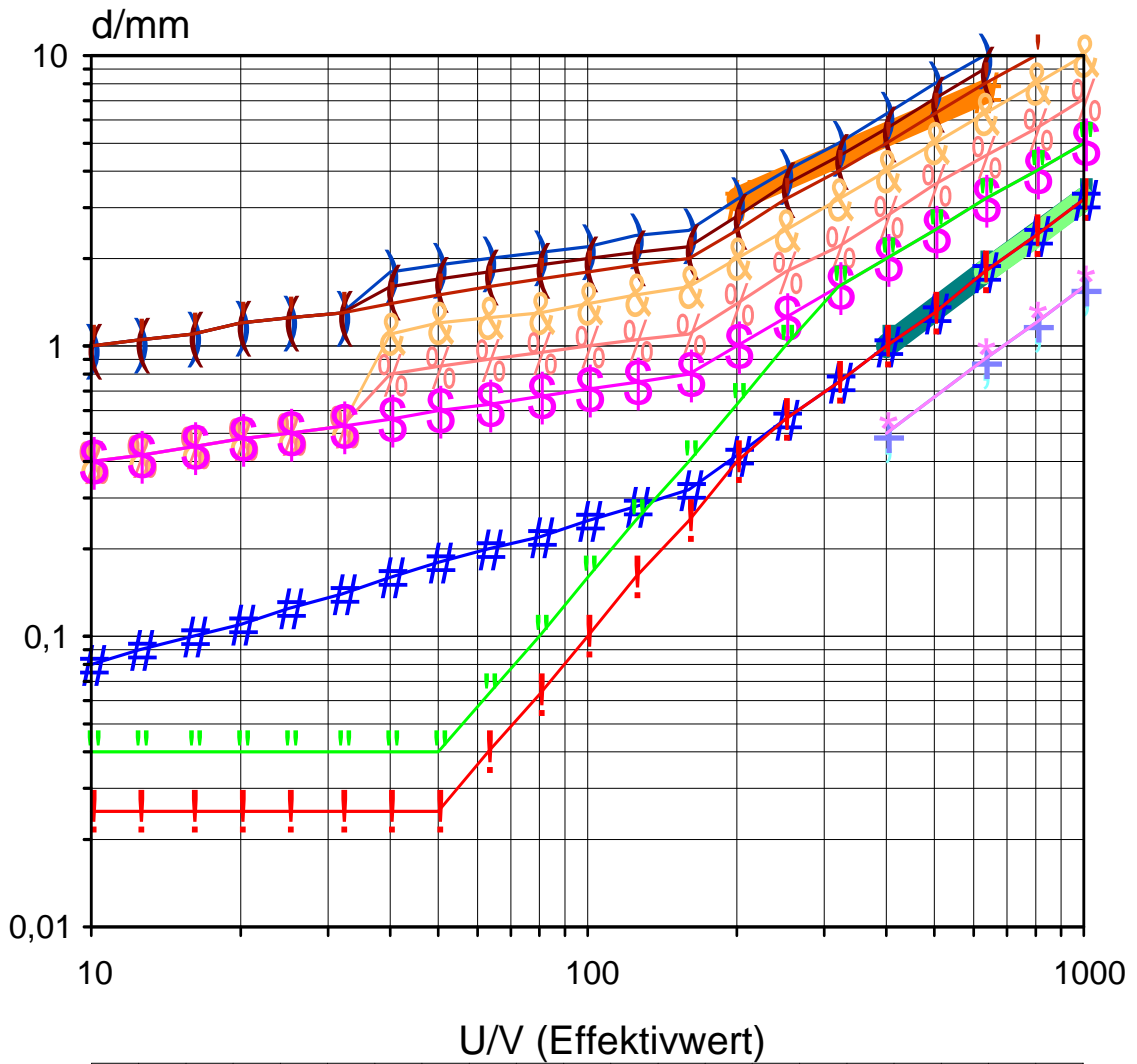


Bild 5: Layout der Testleiterplatte

Es wurden ungeschützte Leiterplatten, mit Lötstopplack geschützte Leiterplatten, mit Lötstopplack und einer zusätzlichen Beschichtung nach IEC 60664-3 Typ 1 [3] geschützte Leiterplatten, durch ein Gehäuse der Klassifizierung IP 67 nach IEC 60529 [4] und mit Lötstopplack sowie durch ein Gehäuse der Klassifizierung IP 67 nach IEC 60529 [4] und mit Lötstopplack und einer zusätzlichen Beschichtung nach IEC 60664-3 Typ 1 [3] geschützte Leiterplatten verwendet. Die dabei erzielten Ergebnisse mit ausreichendem Isolationswiderstand sind in Bild 6 zusammen mit den gegenwärtig gültigen Bemessungsregeln für Kriechstrecken nach IEC 60664-1 [2] aufgetragen. Bild 6a enthält außerdem eine Datentabelle, Bild 6b eine entsprechend vergrößerte Darstellung.

Die erhaltenen Mindestkriechstrecken zur Aufrechterhaltung eines Isolationswiderstands von etwa 100 M Ω sind in Tabelle 1 angegeben. Dabei ergibt sich für geschützte Kriechstrecken ein durchgängig günstiges Ergebnis, während das Ergebnis für ungeschützte Kriechstrecken sehr ungünstig ist. Insofern bestätigen sich auch hier die Ergebnisse des Forschungsvorhabens „Kriechstrecken“, die ein sehr unzuverlässiges Verhalten von Kriechstrecken unter etwa 2 mm unter dem Einfluss hoher Feuchtigkeit gezeigt hatten [5 – 8].



	10	12,5	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250	320	400	500	630	800	1000
VS 1/GS	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,04	0,063	0,1	0,16	0,25	0,4	0,56	0,75	1	1,3	1,8	2,4	3,2
VS 2/GS	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,063	0,1	0,16	0,25	0,4	0,63	1	1,6	2	2,5	3,2	4	5
VS 1	0,08	0,09	0,1	0,11	0,125	0,14	0,16	0,18	0,2	0,22	0,25	0,28	0,32	0,42	0,56	0,75	1	1,3	1,8	2,4	3,2
VS 2/IG I	0,4	0,42	0,45	0,48	0,5	0,53	0,56	0,6	0,63	0,67	0,71	0,75	0,8	1	1,25	1,6	2	2,5	3,2	4	5
VS 2/IG II	0,4	0,42	0,45	0,48	0,5	0,53	0,8	0,85	0,9	0,95	1	1,05	1,1	1,4	1,8	2,2	2,8	3,6	4,5	5,6	7,1
VS 2/IG III	0,4	0,42	0,45	0,48	0,5	0,53	1,1	1,2	1,25	1,3	1,4	1,5	1,6	2	2,5	3,2	4	5	6,3	8	10
VS 3/IG I	1	1,05	1,1	1,2	1,25	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,5	3,2	4	5	6,3	8	10	
VS 3/IG II	1	1,05	1,1	1,2	1,25	1,3	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,8	3,6	4,5	5,6	7,1	9		
VS 3/IG III	1	1,05	1,1	1,2	1,25	1,3	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,4	2,5	3,2	4	5	6,3	8	10		
GS+IP67+IG II+Lötst.+Besch.																		0,5	0,9	1,2	1,6
GS+IP67+IG II+Lötst.																		0,5	0,9	1,2	1,6
GS+IG II+Lötst.+Besch.																		0,5	0,9	1,2	1,6
GS+IG II+Lötst.																			1,8	2,4	3,2
GS+IG IIIa+Lötst.																	1		1,8		3,2
GS+IG IIIa														3,2					7,5		

- + VS 1/GS
- || VS 2/GS
- # VS 1
- \$ VS 2/IG I
- % VS 2/IG II
- & VS 2/IG III
- VS 3/IG I
- VS 3/IG II
- VS 3/IG III
- GS+IP67+IG II+Lötst.+Besch.
- GS+IP67+IG II+Lötst.
- GS+IG II+Lötst.+Besch.
- GS+IG II+Lötst.
- GS+IG IIIa+Lötst.
- GS+IG IIIa

Bild 6a: Mindestkriechstrecken zur Vermeidung des Versagens durch Kriechwegbildung, Isko_Neu im Vergleich zu IEC 60664-1:2007 (bis 10 mm bzw. 1000 V); VS – Verschmutzungsgrad, IG – Isolierstoffgruppe, GS – Gedruckte Schaltung, IP 67 – Schutz durch entsprechendes Gehäuse nach IEC 60529; Lötst. – Lötstoplack, Besch. – Schutzschicht nach IEC 60664-3 Typ 1.

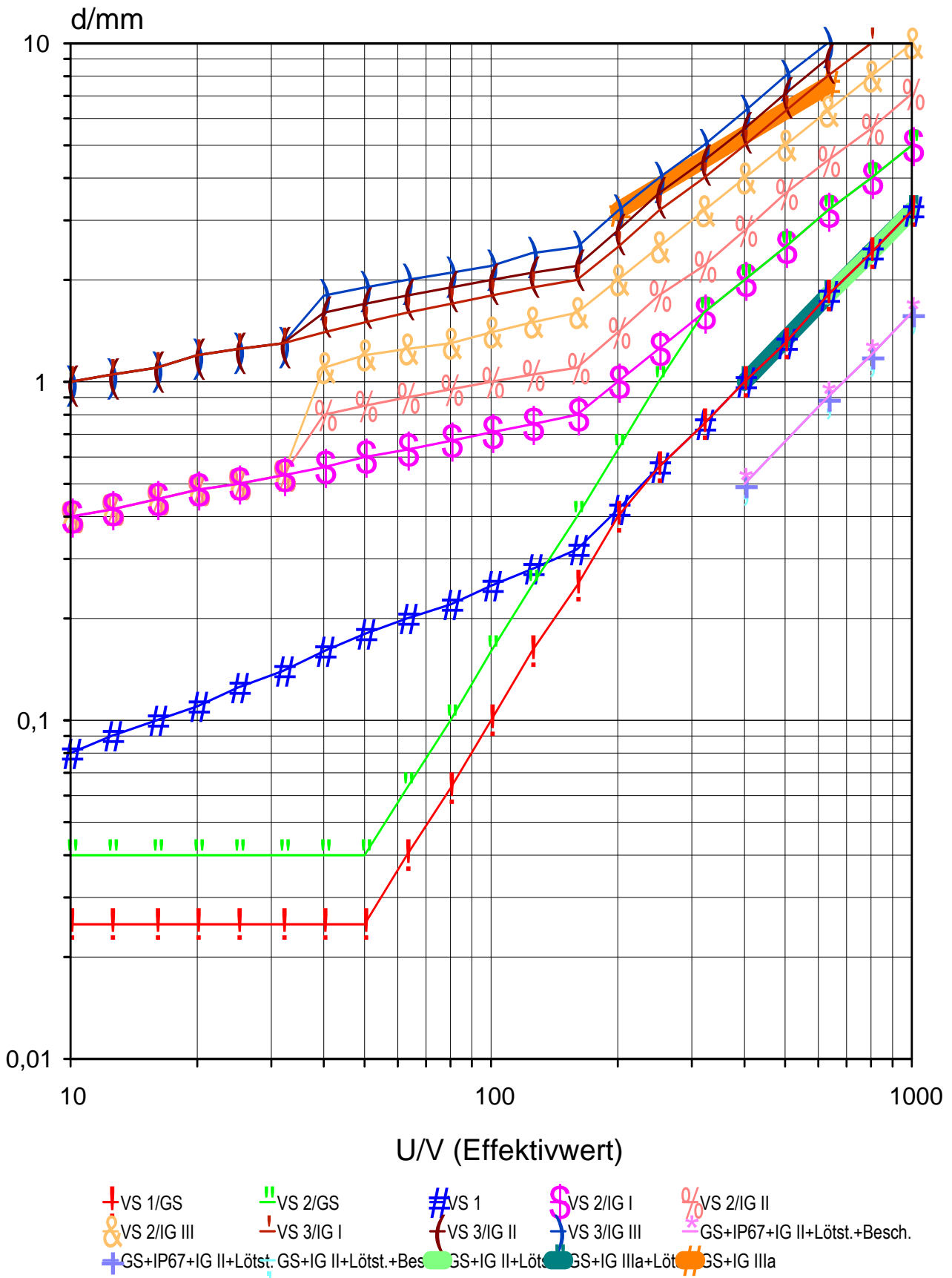


Bild 6b: Mindestkriechstrecken zur Vermeidung des Versagens durch Kriechwegbildung, Isko_Neu im Vergleich zu IEC 60664-1:2007 (bis 10 mm bzw. 1000 V); VS – Verschmutzungsgrad, IG – Isolierstoffgruppe, GS – Gedruckte Schaltung, IP 67 – Schutz durch entsprechendes Gehäuse nach IEC 60529; Lötst. – Lötstoplack, Besch. – Schutzschicht nach IEC 60664-3 Typ 1.

Spannung Effektivwert V	Mindestkriechstrecken ¹⁾					
	Schutz durch Gehäuse IP 67, Lötstopplack und zusätzliche Beschichtung	Schutz durch Gehäuse IP 67 und Lötstopplack	Schutz durch Lötstopplack und zusätzliche Beschichtung	Schutz durch Lötstopplack	Schutz durch Lötstopplack	Kein Schutz
	Isolierstoffgruppe					
	II mm	II mm	II mm	II mm	IIIa mm	IIIa mm
200						3,2
250						
320						
400	0,5	0,5	0,5		1	
500						
630	0,9	0,9	0,9	1,8	1,8	7,5*
800	1,2	1,2	1,2	2,4		
1000	1,6	1,6	1,6	3,2	3,2	
¹⁾ – Für einen Mindestisolationswiderstand von 100 MΩ.						
* – Dieser Abstand war bei 1000 V gerade nicht mehr ausreichend, es wird angenommen, dass dieser bei 630 V bestanden hätte.						

Tabelle 1: Mindestkriechstrecken auf Leiterplatten mit ausreichendem Isolationswiderstand.

3. Auswertung der Ergebnisse

Bezogen auf die bisherigen Bemessungsregeln für Kriechstrecken auf Leiterplatten ergibt sich damit folgende Situation:

1. Bei Schutz durch Gehäuse mit IP 67, Lötstopplack und einer zusätzlichen Beschichtung nach IEC 60664-3 Typ 1 [3] kann mit der Hälfte der für Verschmutzungsgrad 1 erforderlichen Kriechstrecken ein ausreichender Isolationswiderstand erzielt werden. Die Bemessung der Kriechstrecken nach Verschmutzungsgrad 1 ist daher in jedem Fall ausreichend.
2. Bei Schutz durch Gehäuse mit IP 67 und Lötstopplack kann mit der Hälfte der für Verschmutzungsgrad 1 erforderlichen Kriechstrecken ein ausreichender Isolationswiderstand erzielt werden (1 Ausreißer bei 400 V/1 mm). Die Bemessung der Kriechstrecken nach Verschmutzungsgrad 1 ist daher ausreichend.
3. Bei Schutz durch Lötstopplack und eine zusätzliche Beschichtung nach IEC 60664-3 Typ 1 [3] kann mit der Hälfte der für Verschmutzungsgrad 1 erforderlichen Kriechstrecken ein ausreichender Isolationswiderstand erzielt werden. Die Bemessung der Kriechstrecken nach Verschmutzungsgrad 1 ist daher in jedem Fall ausreichend.
4. Bei Schutz durch Lötstopplack kann mit den für Verschmutzungsgrad 1 erforderlichen Kriechstrecken ein ausreichender Isolationswiderstand erzielt werden (1 Ausreißer bei 400 V/1 mm). Die Bemessung der Kriechstrecken nach Verschmutzungsgrad 2 ist daher ausreichend, wenn das Basismaterial mindestens zur Isolierstoffgruppe IIIa gehört.
5. Ohne Schutz müssten die Kriechstrecken auf Leiterplatten für Verschmutzungsgrad 3 bemessen werden. Die Kriechstrecken für Verschmutzungsgrad 2 und Isolierstoffgruppe IIIa halten jedenfalls einer wiederholten Betauung unter Spannung nicht stand.

Daraus folgt, dass in der IEC 60664-1 vermutlich folgende Annahme bezüglich der Definition des Verschmutzungsgrades 2 falsch ist:

— Verschmutzungsgrad 2 (alt)

Es tritt nur nicht leitfähige Verschmutzung auf. **Gelegentlich muss jedoch mit vorübergehender Leitfähigkeit durch Betauung gerechnet werden.**

Offensichtlich halten die ungeschützten Kriechstrecken bei den Versuchen aber der Betauung unter Spannung nicht hinreichend stand. Die wirksamste Lösung wäre es, die Definition des Verschmutzungsgrades 2 wie folgt zu ändern (siehe EN 50178 [9] bzw. IEC 62103 [10]):

— Verschmutzungsgrad 2 (neu)

Im Normalfall tritt nur nicht leitfähige Verschmutzung auf. **Gelegentlich ist jedoch eine Leitfähigkeit kurzer Dauer durch Betauung zu erwarten, wenn das Gerät außer Betrieb ist.**

Darüber hinaus muss bei der Anwendung der reduzierten Werte der Kriechstrecken auf Leiterplatten immer ein Schutz gegen Verschmutzung verwendet werden. Ein Lötstopplack hoher Qualität ist hierfür jedoch ausreichend.

In diesem Zusammenhang erscheint auch die Definition des Verschmutzungsgrads 3 nicht im Einklang mit den Ergebnissen des Forschungsvorhabens zu stehen. Insbesondere ist der Unterschied zum Verschmutzungsgrad 2 viel zu krass.

Es wird daher folgende Änderung vorgeschlagen:

— Verschmutzungsgrad 3(alt)

Es tritt leitfähige Verschmutzung auf oder trockene, nicht leitfähige Verschmutzung, **die leitfähig wird, da Betauung zu erwarten ist.**

— Verschmutzungsgrad 3(neu)

Es tritt leitfähige Verschmutzung auf oder trockene, nicht leitfähige Verschmutzung, **die bei Betauung leitfähig wird. Gelegentlich kann dies auch im Betrieb des Geräts geschehen.**

4. Erforderliche Anpassung der Norm IEC 60664-1

Für die Bemessung der Kriechstrecken unter den Verschmutzungsgraden VS 1 – VS 3 und den Isolierstoffen IG I – IG III sowie auf Leiterplatten mit mindestens IG IIIa ergeben sich aus den Versuchsergebnissen die Notwendigkeit der in Tabelle 2 zusammengefassten Normänderungen.

Bedingung	Definition VS / Schutzmassnahmen	Kriechstrecken
VS 1, GS (min. IG IIIa)	– / Mindestens Lötstoplack erforderlich	unverändert
VS 2, GS (min. IG IIIa)	Keine Betauung unter Spannung / Mindestens Lötstoplack erforderlich	unverändert
VS 2, IG I	Keine Betauung unter Spannung / –	unverändert
VS 2, IG II	Keine Betauung unter Spannung / –	unverändert
VS 2, IG III	Keine Betauung unter Spannung / –	unverändert
VS 3, IG I	Betauung unter Spannung nur gelegentlich / –	unverändert
VS 3, IG II	Betauung unter Spannung nur gelegentlich / –	unverändert
VS 3, IG III	Betauung unter Spannung nur gelegentlich / –	unverändert

Tabelle 2: Neue Bemessung der Kriechstrecken unter geänderten Randbedingungen

Bestätigt werden kann die Schutzwirkung von Beschichtungen nach IEC 60664-3 vom Typ 1 [3]. Unter diesen Beschichtungen dürfen die Kriechstrecken auf Leiterplatten nach Verschmutzungsgrad 1 bemessen werden. Gesichert ist dies allerdings nur für Isolierstoffe mit mindestens IG IIIa.

Bestätigt werden kann auch die Schutzwirkung von Gehäusen mit hohem Schutzgrad von mindestens IP 67. Bereits bei Verwendung von Lötstoplack dürfen die Kriechstrecken auf Leiterplatten nach Verschmutzungsgrad 1 bemessen werden. Gesichert ist dies allerdings nur für Isolierstoffe mit mindestens IG IIIa.

Literatur:

- [1] IEC 60068-2-38 (2009): Environmental testing – Part 2-38: Tests – Test Z/AD: Composite temperature/humidity cycling test.
DIN EN 60068-2-38 (2010-06): Umgebungseinflüsse – Teil 2-38: Prüfverfahren – Prüfung Z/AD: Zusammengesetzte Prüfung, Temperatur/Feuchte, zyklisch (Deutsche Fassung EN 60068-2-38:2009).
- [2] IEC 60664–1 (2007): Insulation coordination for equipment within low-voltage systems – Part 1: Principles, requirements and tests.
DIN EN 60664 (2008-01): Isolationskoordination für elektrische Betriebsmittel in Niederspannungsanlagen; Teil 1: Grundsätze, Anforderungen und Prüfungen (Deutsche Fassung EN 60664-1:2007).
- [3] IEC 60664-3 (2003) + A1 (2010): Insulation coordination for equipment within low-voltage systems – Part 3: Use of coating, potting or moulding for protection against pollution.
DIN EN 60664–3 (2010-10): Isolationskoordination für Betriebsmittel in Niederspannungsanlagen; Teil 3: Anwendung von Beschichtungen, Eingießen oder Vergießen zum Schutz gegen Verschmutzung (Deutsche Fassung EN 60664-3:2003 + A1:2010).
- [4] IEC 60529 (1989) + A1 (1999) + A2 (2013): Degrees of protection provided by enclosures (IP Code).
DIN EN 60529 (2014-09): Schutzarten durch Gehäuse (IP-Code) (Deutsche Fassung EN 60529:1991 + A1:2000 + A2:2013).
- [5] P. v.Schau: Forschungsgemeinschaft „Kriechstrecken“, Ein Vorhaben der deutschen Elektroindustrie zur Erarbeitung neuer Bemessungsregeln für Kriechstrecken, ETZ Bd.102(1981), S.290-293.
- [6] K. Stimper: Kriechstromsichere Bemessung von Isolierungen bei Niederspannung, Forschungsbericht der Forschungsvereinigung Elektrotechnik beim ZVEI, Mai 1989.
- [7] W. Pfeiffer, F. Uhlemann: Kurzzeitspannungsfestigkeit kleiner Isolierstrecken unter dem Einfluss natürlicher Umgebungsbedingungen, Forschungsbericht der Forschungsvereinigung Elektrotechnik beim ZVEI, Mai 1989.
- [8] IEC TR 63040 (2016): Guidance concerning clearances and creepage distances in particular for distances equal or less than 2 mm – Test results of researches conducted on influencing parameters.
- [9] DIN EN 50178 (1998-04): Ausrüstung von Starkstromanlagen mit elektronischen Betriebsmitteln (Deutsche Fassung EN 50178:1997).
- [10] IEC 62103 (2003-07): Electronic equipment for use in power installations.