

	DIN EN IEC 62788-2-1 (VDE 0126-37-2-1)	DIN
	Diese Norm ist zugleich eine VDE-Bestimmung im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Präsidium beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter der oben angeführten Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der „etz Elektrotechnik + Automation“ bekannt gegeben worden.	VDE

ICS 27.160

Einsprüche bis 2021-04-05

Entwurf**Messverfahren für Werkstoffe, die in Photovoltaik-Modulen verwendet werden –****Teil 2-1: Polymerwerkstoffe –****Frontsheets und Backsheets - Sicherheitsanforderungen****(IEC 82/1653/CD:2019);****Text Deutsch und Englisch**

Measurement procedures for materials used in photovoltaic modules –

Part 2-1: Polymeric materials –

Frontsheet and backsheet - Safety requirements

(IEC 82/1653/CD:2019);

Text in German and English

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2021-02-05 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an dke@vde.com möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE, Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 57 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

Anwendungsbereich

Anwendungsbereich dieser Norm ist ...

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 82/1653/CD:2019-11 "Measurement procedures for materials used in photovoltaic modules – Part 2-1: Polymeric materials - Frontsheet and backsheet – Safety requirements" (CD, en: Committee Draft) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden. Dieser Norm-Entwurf enthält eine noch nicht autorisierte deutsche Übersetzung.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung des CD entsprechend der diesbezüglich durch die IEC erteilten Erlaubnis beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen IEC-Text.

Das internationale Dokument wurde vom IEC/TC 82 "Solar photovoltaic energy systems" der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet und unterliegt dem Copyright der IEC . Das Dokument wurde den nationalen Komitees zur Stellungnahme vorgelegt.

Die Internationale Elektrotechnische Kommission (IEC) und das Europäische Komitee für Elektrotechnische Normung (CENELEC) haben vereinbart, dass ein auf IEC-Ebene erarbeiteter Entwurf für eine Internationale Norm zeitgleich (parallel) bei IEC und CENELEC zur Umfrage (CDV-Stadium) und Abstimmung als FDIS (en: Final Draft International Standard) bzw. Schluss-Entwurf für eine Europäische Norm gestellt wird, um eine Beschleunigung und Straffung der Normungsarbeit zu erreichen. Dokumente, die bei CENELEC als Europäische Norm angenommen und ratifiziert werden, sind unverändert als Deutsche Normen zu übernehmen.

Da der Abstimmungszeitraum für einen FDIS bzw. Schluss-Entwurf FprEN nur 6 Wochen beträgt, und dann keine sachlichen Stellungnahmen mehr abgegeben werden können, sondern nur noch eine "JA/NEIN"-Entscheidung möglich ist, wobei eine "NEIN"-Entscheidung fundiert begründet werden muss, wird bereits der CD als DIN-Norm-Entwurf veröffentlicht, um die Stellungnahmen aus der Öffentlichkeit frühzeitig berücksichtigen zu können.

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium DKE/K 373 "Photovoltaische Solarenergie-Systeme" der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DKE (www.dke.de) und DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf ein Dokument ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils aktuellste Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe des Dokuments.

Der Zusammenhang der zitierten Dokumente mit den entsprechenden deutschen Dokumenten ergibt sich, soweit ein Zusammenhang besteht, grundsätzlich über die Nummer der entsprechenden IEC-Publikation. Beispiel: IEC 60068 ist als EN 60068 als Europäische Norm durch CENELEC übernommen und als DIN EN 60068 ins Deutsche Normenwerk aufgenommen.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. IEC ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Das Original-Dokument enthält Bilder in Farbe, die in der Papierversion in einer Graustufen-Darstellung wiedergegeben werden. Elektronische Versionen dieses Dokuments enthalten die Bilder in der originalen Farbdarstellung.

Inhalt

Seite

Einleitung	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Referenzen	5
3 Begriffe und Abkürzungen	6
4 Konstruktive Anforderungen und Entwürfe für Prüfbericht	7
4.1 Allgemeines	7
4.2 Aufschriften und Kennzeichnung	8
4.3 Gleichwertige Werkstoffe in Prüfungen	9
5 Prüfungen	10
5.1 Allgemeines	10
5.2 Sichtprüfung – FBST 01	11
5.3 Dicke – FBST 02	12
5.4 Abstände durch Isolierung (DTI) – FBST 03	14
5.5 Temperaturwechselprüfung – FBST 04	15
5.6 Vergleichszahl der Kriechwegbildung (CTI) – FBST 05	17
5.7 Spannungsfestigkeit – FBST 06	18
5.8 Zugfestigkeit/Bruchdehnung – FBST 07	19
5.9 Beschleunigte Alterungsprüfung	21
5.10 Überblick zum Prüfplan	24
6 Prüfbericht	24
Anhang A (informativ) Chemisch-analytische Identifizierung von Werkstoffen	26
A.1 Allgemeines	26
A.2 Beispiele für Fingerabdrucktechniken	26
Literatur	27
Bilder	
Bild 1 — Bewertung einzelner Schichten hinsichtlich RUI	14
Bild 2 — Prüflingsmaße und Markierungen bei der Zugfestigkeitsprüfung (ohne und mit Dehnung)	20
Tabellen	
Tabelle 1 — Mögliche Morphologien von Frontsheet oder Backsheet	11
Tabelle 2 — Minstdicke einer Isolierung in dünnen Schichten nach der Laminierung	15
Tabelle 3 — Plan für Typprüfungen mit Empfehlungen für Stückprüfungen und Stichprobenprüfungen	24

Einleitung

Dieses Dokument enthält Prüferfahren zur Sicherheitsqualifikation auf Komponentenebene (Bauteilebene) für Konstruktionen von Frontsheets und Backsheets aus Polymerwerkstoff, die in einem PV-Modul zum Zweck der Sicherheitsqualifikation auf Komponentenebene verwendet werden. Prüferfahren wurden anhand der Normenreihe IEC 61730 zusammengestellt, wobei Prüferfahren in IEC TS 62788-2 (Charakterisierung von Frontsheet und Backsheet) und IEC TS 62788-7-2 (Bewitterungsprüfung mit UV-Licht) und die Richtlinien für Wiederholungsprüfungen nach IEC TS 62915 berücksichtigt wurden. Eine Ausgliederung von Prüfungen auf der Komponentenebene in dieses Dokument wurde in Erwägung gezogen, um die Komplexität der Normenreihe IEC 61730 zu begrenzen, und auch angesichts der Implementierung der Prüferfahren im Rahmen des IEC-Systems für Konformitätsbewertungsprogramme für elektrische Betriebsmittel und Komponenten (IECEE).

Prüferfahren auf der Ebene von Komponenten und der Ebene von PV-Modulen unterscheiden sich aus praktischen Gründen. Auf der Ebene von Komponenten wird die Prüfung mit einem mit Tageslichtfiltern gefilterten Xenon-Lichtbogen (IEC TS 62788-7-2) für die UV-Bewitterung angewendet, welche zur Bewertung der Haltbarkeit von Polymerwerkstoffen unter Witterungsbedingungen im Freien als repräsentativer angesehen werden als die UVA-Prüfung nach IEC 61215-2. Letztere wurde mit Blick auf die Zweckmäßigkeit der Anwendung einer UV-Beanspruchung auf PV-Module in größerem Umfang entwickelt.

Dieses Dokument ist bezogen auf sicherheitsrelevante Eigenschaften von Frontsheets und Backsheets entsprechend den Anforderungen in IEC 61730.

Zur Prüfung des Abstands durch Isolierung (DTI), welche MST 04 auf Komponentenebene entspricht, müssen die Bedingungen des Laminierungsprozess verwendet werden, welche für die Kombination des Profils mit Höchstwerten für Temperatur, Druck und Zeit des Fertigungsprozesses des zugehörigen oder vorgesehenen PV-Moduls repräsentativ sind. Diese entsprechen dem ungünstigsten Szenario für die Messung eines potentiellen Versatzes von Werkstoff. Für eine allgemeine DTI-Prüfung dürfen sogar schärfere Bedingungen für den Laminierungsprozess ausgewählt werden, wie vom Hersteller von Frontsheet oder Backsheet empfohlen. Die DTI-Prüfung wird außerdem verwendet, um zusätzliche innere Schichten von Frontsheet oder Backsheet zu identifizieren, die möglicherweise potentiell aktive Teile berühren, und für welche eine Vergleichszahl der Kriechwegbildung (CTI) bestimmt werden muss.

In Bezug auf Anforderungen für Werkstoffidentifizierung im Zusammenhang mit den Richtlinien für Wiederholungsprüfungen (IEC TS 62915), werden in einem informativen Anhang Ansätze für „Fingerabdrücke“ erörtert.

Die Anforderungen in diesem Dokument dürfen im Zusammenhang mit der Qualitätssicherung in der Fertigung von Frontsheets oder Backsheets aus Polymerwerkstoff, wie in den Richtlinien nach IEC 62941 erklärt, verwendet werden.

Messverfahren für Werkstoffe, die in Photovoltaik-Modulen verwendet werden – Teil 2-1: Polymerwerkstoffe – Frontsheets und Backsheets – Sicherheitsanforderungen

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt die Sicherheitsanforderungen für flexible Konstruktionen von Frontsheets und Backsheets aus Polymerwerkstoff, die für die Verwendung als Komponenten (Bauteilen) von nach IEC 61730-1 bewerteten Photovoltaik-Modulen vorgesehen sind. Frontsheets/Backsheets müssen den Anforderungen in dieser Norm entsprechen, damit ein Modul den Konstruktionsanforderungen nach IEC 61730-1 entspricht. Die Prüfverfahren und Festlegungen in diesem Dokument sind im Allgemeinen für eine Anwendung auf der Komponentenebene in Bezug auf die Polymerwerkstoffkonstruktion von Frontsheet und Backsheet vorgesehen.

Deshalb enthält dieses Dokument die Anforderungen und Prüfungen von IEC 61730-1 und IEC 61730-2 in abgeänderter Form (unter Berücksichtigung von IEC TS 62788-2), sodass sie auf der Komponentenebene auf Frontsheets oder Backsheets angewendet werden können. Die entsprechenden Prüfverfahren decken mechanische, elektrische, visuelle und thermische Charakterisierungen im unbeanspruchten Zustand und/oder nach Alterung ab.

Die Einhaltung der Sicherheitsanforderungen für Frontsheet oder Backsheet auf Komponentenebene ersetzt nicht die Notwendigkeit einer Sicherheitsqualifikation des gesamten Moduls, in welchem Frontsheets oder Backsheets integriert sind. Die zweckmäßigen Anforderungen für Prüfungen und Qualifizierungen auf PV-Modul-Ebene sind in IEC 61730-1, Ed. 2 (oder IEC TS 62915, für Wiederholungsprüfungen) und IEC 61215-1 festgelegt, wobei Prüfverfahren in IEC 61730-2, Ed. 2 und IEC 61215-2, Ed. 2 enthalten sind.

2 Normative Referenzen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

IEC 60068-1, *Environmental testing – Part 1: General and guidance*

IEC 60112, *Method for the determination of the proof and comparative tracking indices of solid insulating materials*

IEC 60216-1:2013, *Electrical insulating materials – Properties of thermal endurance – Part 1: Ageing procedures and evaluation of test results*

IEC 60216-2:2013, *Electrical insulating materials – Thermal endurance properties – Part 2: Determination of thermal endurance properties of electrical insulating materials – Choice of test criteria*

IEC 60216-5, *Electrical insulating materials – Thermal endurance properties – Part 5: Determination of relative thermal endurance index (RTE) of an insulating material*

IEC 60243-1, *Electrical strength of insulating materials – Test methods – Part 1: Tests at power frequencies*

IEC 60243-2, *Electric strength of insulating materials - Test methods – Part 2: Additional requirements for tests using direct voltage*

IEC 61215-1, *Terrestrial photovoltaic (PV) modules - Design qualification and type approval - Part 1: Test requirements*

IEC 61215-2, *Terrestrial photovoltaic (PV) modules - Design qualification and type approval - Part 2: Test procedures*

IEC 61730-1, *Photovoltaic (PV) module safety qualification – Part 1: Requirements for construction*

IEC 61730-2, *Photovoltaic (PV) module safety qualification – Part 2: Requirements for testing*

IEC TS 61836, *Solar Photovoltaic Energy Systems – Terms, Definitions and Symbols*

IEC TS 62788-2:2017, *Measurement procedures for materials used in photovoltaic modules – Part 2: Polymeric materials – Frontsheets and backsheets*

IEC TS 62788-7-2, *Measurement procedures for materials used in photovoltaic modules – Part 7-2: Environmental exposures – Accelerated weathering tests of polymeric materials*

IEC TS 62915, *Photovoltaic (PV) modules – Type approval, design and safety qualification - Retesting*

ISO 291, *Plastics – Standard atmospheres for conditioning and testing*

ISO 527-3, *Plastics – Determination of tensile properties – Part 3: Test conditions for films and sheets*

UL 746B, *Standard for Polymeric Materials – Long Term Property Evaluations*

UL 746C, *Standard for Polymeric Materials – Use in Electrical Equipment Evaluations*

3 Begriffe und Abkürzungen

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach IEC TS 61836, *Photovoltaische Energiesysteme - Begriffe, Definitionen und Symbole* und die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- IEC Electropedia: verfügbar unter <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <http://www.iso.org/obp>

3.1

Luftseite

Frontsheet- oder Backsheet-Seite, die zur Außenseite des PV-Moduls hin, d. h. weg von der Zelle, gerichtet ist

3.2

Backsheet Rückseitenfolie

äußere Schicht(en) (Verbund äußerer Schichten) auf der Rückseite des PV-Moduls zum Schutz der inneren Komponenten des PV-Moduls vor Beanspruchung von außen und Witterungseinflüssen sowie als elektrische Isolierung

3.3

Durchschlagsspannung

über eine Schicht aus einem elektrisch isolierenden Stoff angelegte Spannung, die gerade ausreichend zum Auslösen einer zerstörenden Entladung ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Prüfungen der Durchschlagsspannung im Zusammenhang mit PV-Modulen und Komponentenwerkstoffen gelten für Gleichstrom (DC).

3.4

Vergleichszahl der Kriechwegbildung (CTI)

Indexzahlenwert mit Bezug zur höchsten Wechselspannung, der ein Werkstoff unter festgelegten Prüfbedingungen nach IEC 60112 ohne Bildung eines dauerhaft elektrisch leitfähigen Kohlenstoffpfads (Kriechweg) und ohne Auftreten einer dauerhaften Flamme widerstehen kann

Anmerkung 1 zum Begriff: Die erwähnte höchste Prüfspannung hat keinerlei Verbindung zu einer System- oder Betriebsspannung, sondern wird zur Bewertung der Werkstoffgruppen verwendet.

[QUELLE: IEC 60050-212:2010, 212-11-59, modifiziert – Verdeutlichung, dass der CTI ein Indexwert zur Bewertung der Werkstoffgruppe ist.]

3.5

Abstand durch Isolierung DTI (en: distance through insulation)

Dicke der verlässlichen Isolierung (RUI) in einem PV-Modul

3.6

Bruchdehnung

Dehnung, bei der ein untersuchter Prüfling bricht

Anmerkung 1 zum Begriff: Bruch legt den Punkt der Zugprüfung fest, bei welchem die Zugbeanspruchung unter 50 % des Höchstwerts fällt.

3.7

Frontsheet Frontseitenfolie

äußere Schicht (Verbund äußerer Schichten) an der Frontseite des PV-Moduls zum Schutz der inneren Komponenten des PV-Moduls vor Beanspruchung von außen und Witterungseinflüssen sowie als elektrische Isolierung

3.8

FBST

Sicherheitsprüfung von Frontsheet oder Backsheet nach IEC 62788-2-1

3.9

Innenseite (von Frontsheet oder Backsheet)

Frontsheet- oder Backsheet-Seite, die auf den Verkapselungsstoff laminiert ist

3.10

Prüfzahl der Kriechwegbildung (PTI)

Indexzahlenwert der höchsten Spannung, in Volt, der ein Isolierstoff unter festgelegten Prüfbedingungen nach **IEC 60112** entsprechend einer Prüfung der Kriechwegbildung widerstehen kann, die bei einer festgelegten Spannung ohne Bildung eines dauerhaft elektrisch leitfähigen Kohlenstoffpfads (Kriechweg) und ohne Auftreten einer dauerhaften Flamme durchgeführt wurde

Anmerkung 1 zum Begriff: Die erwähnte höchste Prüfspannung hat keinerlei Verbindung zu einer System- oder Betriebsspannung, sondern wird zur Bewertung der Werkstoffgruppen verwendet.

[QUELLE: IEC 60050-212:2010, 212-11-60, modifiziert – Verdeutlichung, dass der CTI ein Indexwert zur Bewertung der Werkstoffgruppe ist.]

3.11

verlässliche Isolierung RUI (en: relied upon insulation)

Isolierung, die einen Schutz gegen elektrischen Schlag bietet, wie in **IEC 61730-1**, MST 04, festgelegt

Anmerkung 1 zum Begriff: Bei Frontsheets oder Backsheets aus Polymerwerkstoff dürfen solche RUI in einem Stapel (Stack) mit zusätzlichen Schichten verwendet werden, welche keine verlässliche Isolierung bieten, jedoch andere Funktionen aufweisen (siehe [Bild 1](#)).

3.12

Zugfestigkeit Reißfestigkeit

höchste technische Beanspruchung, gemessen bei Zugdehnung eines Prüflings bis zum Bruch

3.13

Grenzabweichung

zulässige Abweichung zwischen dem deklarierten Wert und dem gemessenen Wert einer Größe

[QUELLE: IEC 411-36-19]

4 Konstruktive Anforderungen und Entwürfe für Prüfbericht

4.1 Allgemeines

Flexible Polymerwerkstoffe, die für Frontsheet- oder Backsheetfolien in PV-Modulen verwendet werden, müssen in ihrer Endanwendung die Anforderungen nach **IEC 61215-1** und **IEC 61730-1** erfüllen.

Prüfverfahren in diesem Dokument wurden übernommen, um die Anforderungen in **IEC 61730-1** wiederzugeben, wobei Prüfverfahren von IEC TS 62788-2 auf Komponentenebene aufgenommen wurden.

Einige Prüfungen von Frontseiten- und Rückseitenfolien werden am fertigen Folienprodukt durchgeführt, welches als ein Schichtenstapel aufgebaut sein darf (siehe [Bild 1](#)). Zur Bestimmung der Kennwerte des thermischen Langzeitverhaltens, Temperaturindex (TI) und relativer thermischer Lebensdauer-Index (RTE) eines Werkstoffs, in Übereinstimmung mit **IEC 60216-5** oder **IEC 60216-1**, ist ein Ansatz mit Prüfung eines einzelnen Werkstoffs im Zusammenhang mit der Bestimmung der Dicke für die verlässliche Isolierung (RUI) erforderlich. Maßgebliche relative Temperaturindexwerte (RTI), die nach UL 746B bewertet wurden, werden als Alternative zu RTE anerkannt.

Schichten von Frontseiten- und Rückseitenfolien, die als verlässliche Isolierung verwendet werden, müssen allen einschlägigen mechanischen, elektrischen, thermischen und umgebungsbedingten Beanspruchungen standhalten, wobei die Einhaltung dieser Anforderung auf der Werkstoff- oder der Komponentenebene nachzuweisen ist.

Schichten von Frontseiten- und Rückseitenfolien, die als verlässliche Isolierung verwendet werden, müssen die Anforderungen in 5.3.2 für eine Isolierung in dünnen Schichten erfüllen. Sie müssen außerdem einen Wert für entweder TI oder RTE (RTI) aufweisen, welcher mindestens dem 98^{ten} Perzentil der Betriebstemperatur (T_{98}) des Werkstoffs entspricht, wie im betreffenden Befestigungssystem und am Standort des geplanten Gebrauchs gemessen, wobei der Mindestwert jedoch 90 °C beträgt.

Schichten von Frontsheets und Backsheets, die einen Kriechweg (Kriechstrecke) aufweisen, müssen in eine Werkstoffgruppe eingeteilt werden, welche nach der CTI-Bemessung an der Schnittstelle entsprechend 5.7 bewertet ist.

Anmerkung IEC TS 62788-2 enthält zusätzliche Verfahren zur Charakterisierung hinsichtlich der Qualität und des Leistungsvermögens.

4.2 Aufschriften und Kennzeichnung

4.2.1 Aufschriften

Die folgenden Informationen müssen vom Hersteller vor dem Prozess der Werkstoffbewertung zur Verfügung gestellt werden.

- Name des Herstellers, Handelsmarke oder Ursprungskennzeichen (einschließlich Anschrift und Kontaktinformationen des Herstellers);
- Modell- oder Werkstoffbezeichnung;
- Dicke oder Breite;
- Dicke jeder Schicht und Dicke der vollständigen Mehrschichtfolie;
- Anzahl von Schichten, in jeder Schicht verwendete Werkstoffe (Basispolymer) und eine Strukturzeichnung;
- TI oder RTE (RTI) von Schichten zuverlässiger Isolierung [angegeben in 4.2.1 e)];
- CTI-Wert(e)
- Bemessungssystemspannung;
- Zugfestigkeit und Bruchdehnung, sofern zutreffend;
- DC-Durchschlagspannung (zur Angabe der Begrenzung durch höchste Gleichspannungsfestigkeit von Prüfeinrichtungen, sofern zutreffend);
- Herstellerempfehlungen für Lagerfähigkeit und Lagerungsbedingungen;
- Verweisung auf diese Norm, sofern zutreffend.

Die Kennzeichnung (oder Etikett) muss dauerhaft und gut lesbar sein. Die Kennzeichnung (oder Etikett) für die Verpackung von Frontsheets oder Backsheets müssen mindestens den Anforderungen nach 4.2.1 a), b), c), k), entsprechen.

Alle Informationen a) bis l), die nicht auf der Verpackung angegeben sind, müssen in der technischen Dokumentation des Herstellers angegeben werden.

Es wird empfohlen, dass die folgenden Informationen ebenfalls bereitgestellt werden, um die Prüflaboratorien über die Art und Weise der Prüfung von Werkstoffen zu informieren.

- Bereich von Bedingungen des vorgesehenen Laminierungsprozesses, einschließlich Temperatur, Vakuumzeit und Druck bei der Laminierung;
- Arten der Verkapselung (chemische Grundlage von Harz und Härter), die bei der Qualifizierung von Frontsheet oder Backsheet auf der Grundlage von Verfahren in diesem Dokument verwendet wurden;

ANMERKUNG 1 Gegenwärtig verwendete Verkapselungsmaterialien sind z. B. (i) Ethylen-Vinylacetat-Copolymer (EVA), einschließlich schnell und langsam härtende Arten, (ii) thermoplastische Polyolefine-Verkapselungsmaterialien (TPO), (iii) Silikon-Verkapselungsmaterialien, (iv) Verkapselungsmaterialien auf Basis von Polyvinylbutyral (PVB) und (v) Verkapselungsmaterialien auf Basis von Polyolefin-Elastomer (POE).

- Vorhandensein jeglicher UV-Filter im Verkapselungsmaterial oder im Glas bei der Qualifizierung der Innenseite von Backsheets auf der Grundlage von UV-Bewitterungsverfahren in diesem Dokument, die durch die in IEC 62788-2 festgelegte zugehörige UV-Grenzwellenlänge vorgegeben sind;

ANMERKUNG 2 Bei der UV-Bewitterungs-Prüfung der Innenseite von Backsheet wirkt die Kombination von Glas und Verkapselungsstoff in einem Probenabschnitt (z. B. GS/E/E/BS) möglicherweise als Sperrfilter.

- qualitative Informationen zum allgemeinen Aussehen des Produkts, einschließlich Beschreibung von Opazität (z. B. lichtundurchlässig, lichtdurchlässig, durchsichtig), Farbe (z. B. weiß, grau, gefärbt, schwarz) und Glasur (z. B. matt, satiniert, glänzend) von Luftseite und Innenseite, sofern zutreffend;
- Vorsichtshinweise zur Handhabung (Produktsicherheitsinformationen), sofern zutreffend.

4.2.2 Identifizierung

Der Hersteller darf die einheitlichen Daten zur Charakterisierung zu prüfender Frontsheets oder Backsheets entsprechend der Bewertung durch die betreffenden Prüfverfahren bereitstellen, die in IEC TS 62788-2, [Tabelle 3](#), als verbindlich aufgeführt sind. Diese Informationen dienen vorzugsweise als Bezugswerte für die in diesem Dokument aufgeführten Prüfungen.

Geeignete chemische Analyseverfahren müssen angewendet werden, um die Art des Werkstoffs in jedem Schichtenstapel zu bestimmen. [Anhang A](#) enthält Hintergründe zur Auswahl von Verfahren zur analytischen Identifizierung. Im Fall von Mehrschichtfolien-Konstruktionen (siehe [Bild 1](#)) muss die Identifizierung von Werkstoffen einzelner Schichten und/oder Folien berücksichtigt werden.

Bei keinen Frontsheets oder Backsheets dürfen Änderungen von Rezeptur oder Zusammensetzung, Dicke, oder Änderungen von Zusatzstoffen, Oberflächenbehandlungen, Klebstoffen und Grundierungen von Werkstoffschichten auftreten.

4.3 Gleichwertige Werkstoffe in Prüfungen

4.3.1 Allgemeines

Bei Frontsheets oder Backsheets mit einer Konstruktion aus gleichwertigen Werkstoffen, z. B. Bereich von Farben, Dichten, Schmelzfluss, Verstärkung und/oder Dicke, müssen Proben bereitgestellt werden, welche diese Bereiche und Variationen abbilden.

4.3.2 Variation von Dicken

Für gleichwertige Frontsheets oder Backsheets, welche einen Schichtenstapel aus dem gleichen Werkstoff aufweisen, sich jedoch bezüglich ihrer entsprechenden Schichtdicke unterscheiden, dürfen die Prüfungen reduziert werden. Die relative Dicke entsprechender Schichten muss ein Verhältnis unter 2 aufweisen, um als gleichwertig zu gelten.

Prüfungen dürfen wie folgt reduziert werden:

Für Prüfungen mit feuchter Wärme (siehe FBST 08) wird die dünnste Variante zu prüfender gleichwertiger Werkstoffe geprüft. Die Bewertungsergebnisse der dünnsten Variante können für dickere Varianten übernommen werden, ohne dass sich ein Bedarf für einzelne Prüfungen der dickeren Variante ergibt.

Die vollständigen Prüfungen des thermischen Langzeitverhaltens mit vier Temperaturpunkten (FBST 04) werden an der dünnsten Variante durchgeführt. Für die weiteren Varianten von Einzelschichten der gleichen Konstruktion (Basispolymer und Stabilisierungspaket) kann ein reduziertes Programm der Prüfung des thermischen Langzeitverhaltens mit zwei Temperaturpunkten gelten, um zu verifizieren, dass das thermische Langzeitverhalten mit der dünneren Variante vergleichbar ist. Die geltenden Normen zu Prüfungen des thermischen Langzeitverhaltens enthalten Einzelheiten zu Anforderungen für diesen Ansatz.

Messungen mit Bezug auf die Dicke, insbesondere einschließlich Nenndicke (FBST 02) und DTI (FBST 03), müssen für alle Dickevarianten der zu prüfenden gleichwertigen Werkstoffe durchgeführt werden, um die zweckmäßigen Dickemessungen zu verifizieren. Die UV-Bewitterungsprüfung (FBST 09) muss für jede Dickevariante wiederholt werden. Das Konzept der Gleichwertigkeit ist hier nicht anwendbar.

Die verbleibenden Eigenschaften können von den Ergebnissen für die dünnste Variante von Frontsheet oder Backsheet übernommen werden.

4.3.3 Gleichwertige Werkstoffe hinsichtlich der Farbe

Frontsheet oder Backsheet werden als gleichwertig in Bezug auf die Farbe angesehen, wenn sie Schichtenstapel aus dem gleichen Werkstoff aufweisen, sich jedoch nur aufgrund einer Variation von Färbungsmittel und/oder Trübungsmittel, hinsichtlich der Farbe unterscheiden, z. B. weiß, grau, gefärbt, schwarz oder lichtdurchlässig.

Der Aufwand bei Prüfungen gleichwertiger Werkstoffe hinsichtlich der Farbe darf wie folgt reduziert werden:

Die vollständigen Prüfungen des thermischen Langzeitverhaltens mit vier Temperaturpunkten (FBST 04) werden an der Variante mit dem höchsten Volumenanteil an zugefügtem Färbungsmittel und/oder Trübungsmittel durchgeführt. Für die weiteren Varianten von Einzelschichten (Einschichtfolien) der gleichen Konstruktion (Basispolymer und Stabilisierungspaket) kann ein reduziertes Programm der Prüfung des thermischen Langzeitverhaltens mit zwei Temperaturpunkten gelten, um zu verifizieren, dass das thermische Langzeitverhalten mit der Werkstoffvariante mit dem höchsten Volumenanteil an zugefügtem Färbungsmittel und/oder Trübungsmittel vergleichbar ist. Die geltenden Normen zu Prüfungen des thermischen Langzeitverhaltens enthalten Einzelheiten zu Anforderungen für diesen Ansatz.

Die Bewertung der Prüfung von CTI oder PTI (FBST 05) und der UV-Bewitterungs-Prüfung (FBST 09) muss an jede Farbvariante einzeln angewendet werden, wobei die verbleibenden Eigenschaften von den Ergebnissen der Werkstoffvariante mit dem höchsten Volumenanteil an zugefügtem Färbungsmittel und/oder Trübungsmittel übernommen werden können.

5 Prüfungen

5.1 Allgemeines

Sofern nicht anders festgelegt, müssen alle Prüfungen bei Normalklima für Messungen und Prüfungen nach **IEC 60068-1** durchgeführt werden.

Prüflinge für die Prüfung auf Komponentenebene sind Folien des Endprodukts oder Werkstoffschichten, aus welchen das Endprodukt konstruiert wird, sofern zutreffend. Zusätzlich muss möglicherweise ein Coupon (Probenabschnitt) nach IEC TS 62788-2, Tabelle F.1, für die UV-Bewitterungsprüfung laminiert werden.

In **Bild 1** ist ein schematischer Überblick von Schichtenkonstruktionen von Frontsheet- oder Backsheetfolien dargestellt, welche für die Probenahme von Werkstoffen berücksichtigt werden müssen, die für in diesem Abschnitt beschriebenen Prüfungen gefordert ist.

Teil a) von **Bild 1** beschreibt als Einzelschicht ausgelegte Frontsheets und Backsheets:

- Als „monolithische Schicht“ aufgebaute Frontsheets/Backsheets, **Bild 1 a1**), weisen eine homogene Rezeptur von Basispolymer und Additiv-Paket (Farbstoff, Füllstoff, Stabilisierungsmittel) über die gesamte Dicke der Schicht auf, und werden in einem Produktionsschritt gefertigt.
- Als „kombinierte Einzelschicht“ aufgebaute Frontsheets/Backsheets, **Bild 1 a2**), bestehen aus Schichten, die in einem Produktionsschritt derart kombiniert werden, dass sie nicht angemessen getrennt werden können, ohne dass ihre Eigenschaften, z. B. Restdehnung oder Kristallinität, grundlegend so verändert werden, dass dies ihr Betriebsverhalten in einem PV-Modul beeinträchtigt. Ein Beispiel für „kombinierte Einzelschichten“ sind koextrudierte Schichten mit dem selben oder untereinander mischbarem Basispolymer und/oder Verwendung unterschiedlicher Additiv-Pakete (Farbstoff, Füllstoff, Stabilisierungsmittel).

Teil b) von **Bild 1** beschreibt als Einzelschicht ausgelegte Frontsheets und Backsheets, die als Stapel mit mehreren Schichten ausgelegt sind, in denen mindestens eine Einzelschicht („Kernschicht“) im Stapel mit mehreren Schichten eine mechanische Festigkeit (Zugfestigkeit) bietet, während zusätzliche auf der Kernschicht aufgebrachte Schichten andere Funktionen haben dürfen (z. B. UV-Schutz oder Haftung am Verkapselungsstoff).

- In **Bild 1 b1**) ist ein beschichteter Mehrschichtenstapel dargestellt, mit einer beschichteten Schicht A in einer einzelnen „Kern“-Schicht B. Schicht A und Schicht B weisen üblicherweise unterschiedliche Rezepturen auf, d. h. Basispolymere, Stabilisierungspakete und unterschiedliche Grade der Färbung oder Füllung. Üblicherweise ist eine Beschichtung für eine bestimmte Funktion im Schichtenstapel ausgelegt, einschließlich UV-Schutz als Luftseitenschicht oder Innenseitenschicht, und die Anforderung an das thermische Langzeitverhalten für solche Beschichtungen dient der Aufrechterhaltung ihrer Integrität (keine Rissbildung). Ohne eine solche beschichtungsspezifische Bemessung des thermischen Langzeitverhaltens, kann eine Beschichtung nicht als verlässliche Isolierung qualifiziert werden (siehe **5.3.2**). Beschichtungsverfahren umfassen Düsenbeschichtung mit funktionellen Rezepturen oder Extrusionsbeschichtung mit Polymerschmelzen auf Schichten aus anderen Werkstoffen, die als Einzelschicht in einem anderen Prozessschritt gefertigt wurden. Die Unterteilung in aufeinander folgende Prozessschritte stellt einen Unterschied zu einer kombinierten Einzelschicht dar.
- In **Bild 1 b2**) ist ein lamierter Stapel mit mehreren Schichten dargestellt, mit Klebstoff zwischen Schicht A und Schicht B. Ein solcher Aufbau ist eine Kombination von mindestens zwei Einzelschichtwerkstoffen, jeweils gefertigt als Folie in einem getrennten Prozessschritt, die dann unter Verwendung von Klebstoffen in einem abschließenden Laminierungsvorgang zu einer laminierten Folie

kombiniert werden. Die Anforderung an das thermische Langzeitverhalten für solche Klebstoffschichten dienen der Aufrechterhaltung ihrer Funktion in einer Anwendung. Ohne eine solche für Klebstofffunktionen spezifische Bemessung des thermischen Langzeitverhaltens, kann eine Klebstoffschicht nicht als verlässliche Isolierung qualifiziert werden (siehe 5.3.2). Im Beispiel in Bild 1 b2) bildet (bilden) die Schicht(en) „x“ Werkstoffschichten ab, welche die Anforderungen an verlässliche Isolierung nicht erfüllen, wobei „x₁“ eine Klebstoffschicht zwischen Einzelschichten innerhalb einer laminierten Mehrschichtkonstruktion abbildet oder „x₂“ eine Klebstoffschicht zum Verbinden mit dem Verkapselungsstoff abbildet. In diesem Beispiel ist die Dicke solcher Nicht-RUI-Schichten „x“ nicht im Abstand durch Isolierung enthalten.

Tabelle 1 enthält einen Überblick über die möglichen Morphologien von Frontsheet oder Backsheet für die Zuordnung von Prüfverfahren in dieser Norm:

Tabelle 1 — Mögliche Morphologien von Frontsheet oder Backsheet

		Frontsheet / Backsheet			
Schicht	Einschichtfolie (Einzelschicht)		Mehrschichtfolie		
	Typ	monolithisch	Kombiniert	beschichtet	laminiert
Aufbau				Deckschicht mittels Extrusionsbeschichtung (aus Polymer-schmelze) oder Beschichtung mittels wasser- oder lösemittelbasierten Rezepturen Beschichtung, die üblicherweise einen UV-Schutz in der Anwendung bietet und/oder eine Funktion zur Verklebung mit dem Verkapselungsstoff aufweist	Klebstoffschicht zur Bildung einer dauerhaften Mehrschichtfolie in einem Laminierungsprozess bietet in der Anwendung üblicherweise eine Funktion zur Verklebung
		homogene Werkstoff-zusammen-setzung von Basispolymer und Additiv-Paket	gleicher oder verschiedener Basispolymer und Additiv-Paket kombiniert, üblicherweise mittels Co-Extrusion gefertigt	Einschichtfolie (Einzelschicht)	Einschichtfolie (Einzelschicht)
Prozess		Integrierter Fertigungsprozess in einem Schritt: Folie kann nicht aufgetrennt werden, ohne die Eigenschaften der Teilschichten zu verändern		Fertigungsprozess mit mehr als einem Schritt: Kombination von Einzelschichten durch Laminierung und/oder Aufbringen einer Deckschicht auf eine Einzelschicht	

5.2 Sichtprüfung – FBST 01

5.2.1 Allgemeines

Alle Sichtprüfungen müssen durch Prüfer mit (korrigiert auf) Normalsichtigkeit in einem Abstand von 30 cm bis 50 cm ausgeführt werden, bei Reflektion und unter Bestrahlungsstärkepegeln von mindestens 1 000 lx, sofern nicht anders festgelegt.

Für die Überprüfung auf Risse in Innenschichten laminierter Prüflinge muss ein Leuchtkasten (Lightbox) mit einem Lichtfluss von mindestens 1 500 cd/m² verwendet werden.

Das Endprodukt einer Frontsheet- und Backsheetfolie muss einer Sichtprüfung auf die folgenden Bedingungen/Zustände und/oder Fehler unterzogen werden:

- saubere und glatte Oberfläche;
- Blasen;
- Delaminierung (für Mehrschichtkonstruktionen);
- Falten;
- Risse;

- Unreinheiten oder signifikante Fehler;
- Schichten haften aneinander oder nicht.

Derartige Fehler können mittels einer Vorbehandlung, z. B. einem Laminierungsschritt, oder durch eine Alterungsprüfung eingebracht oder verändert werden. Deshalb muss eine Sichtprüfung nach jeder Vorbehandlung oder Alterungsprüfung wiederholt werden, wie gefordert.

5.2.2 Anforderungen

Es dürfen keine offensichtlichen Fehler vorhanden sein, wie z. B. Risse, Blassen, Blasenbildung oder Delaminierung, welche möglicherweise die Sicherheit beeinträchtigen.

Im Prüfbericht muss eine Liste mit jeglichen beobachteten Fehlern und eine Angabe zum Vorhandensein oder Nichtvorhandensein jeglicher zuvor erwähnter Fehler enthalten sein.

5.3 Dicke – FBST 02

5.3.1 Dicke eines Endprodukts

Die Dicke von Frontsheet oder Backsheet sowie die Dicke jeder einzelnen Schicht müssen in Übereinstimmung mit IEC TS 62788-2, 4.2.2, gemessen werden.

5.3.1.1 Anforderungen

Der arithmetische Mittelwert der Messung der Gesamtdicke des Endprodukts wird angegeben, auf 1 µm genau, und diese mittlere Dicke von Frontsheet und Backsheet wird im Prüfbericht angegeben.

Die Folie hat die Prüfung bestanden, wenn die gemessenen Werte innerhalb der Grenzabweichung von $\pm 10\%$ des festgelegten Nennwerts liegen.

5.3.2 Dicke der Isolierung

Die Schichten, welche die verlässliche Isolierung bilden, beschrieben in IEC 61730-1, 5.6.2 (CD2 von AM1 derzeit in Diskussion), müssen derart sein, dass die folgenden Anforderungen von jeder Schicht erfüllt werden.

a) Einzelschichtfolie [siehe Beispiel a1) und Beispiel a2) in Bild 1]

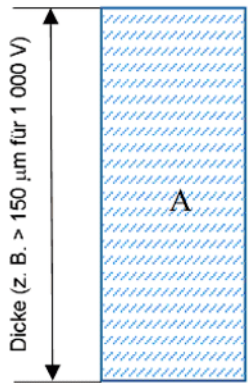
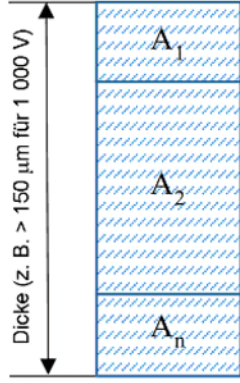
- Die Mindestdicke einer Einzelschichtfolie muss die Anforderung an den Abstand durch Isolierung entsprechend [Tabelle 1](#) in [5.4.3](#) (DTI-Prüfung) für eine entsprechende Spannungsklasse erfüllen, die vom Folgenden abhängig ist:
 - Als monolithische Schicht aufgebaute Frontsheets oder Backsheets, siehe [Bild 1 a1\)](#) müssen eine Mindestdicke von 30 µm auch bei Systemspannungen < 600 V aufweisen (Nadellöcher ausgenommen).
 - Für aus einer „kombinierten Einzelschicht“ aufgebaute Frontsheets oder Backsheets gilt die Mindestdicke von 30 µm bei Systemspannungen < 600 V nicht für eine einzelne Teilschicht, da Nadellöcher aufgrund des Aufbaus ausgeschlossen sind (Kombination von Schichten).
- TI oder RTE (RTI) unter zusätzlicher Berücksichtigung des thermischen Langzeitverhaltens der Bruchdehnung, wie in [5.5](#) gefordert;
- Spannungsfestigkeit von verstärkter Isolierung (2 000 V + 4-fache Systemspannung), sowohl im neuen als auch im gealterten Zustand, d. h. Prüfung mit feuchter Wärme (FBST 08) und Prüfung UV-Bewitterung (FBST 09).

b) Mehrschichtfolie [siehe Beispiel b1), Beispiel b2) und Beispiel b3) in Bild 1]

- Jede einzelne Schicht innerhalb von als Mehrschichtfolie aufgebauten Frontsheets oder Backsheets, siehe Beispiel b1), Beispiel b2) und Beispiel b3) in [Bild 1](#), die eine verlässliche Isolierung bietet, muss die folgenden Anforderungen erfüllen:
 - TI oder RTE (RTI) unter zusätzlicher Berücksichtigung des thermischen Langzeitverhaltens der Bruchdehnung in [5.5](#);
 - Spannungsfestigkeit von Basisisolierung (1 000 V + 2-fache Systemspannung).
 - Die zwei vorgenannten Kriterien gelten auch für Beschichtungen, [Bild 1 b1\)](#), und/oder Klebstoffschichten, [Bild 1 b2\)](#), die als Beitrag zur RUI vorgesehen sind, mit der Anforderung, dass die Bemessung des thermischen Langzeitverhaltens auf der Bewertung der spezifischen Funktion

der Beschichtung und/oder Klebstoffschicht beruht. Die Anforderung an Basisisolierung führt zu einer Mindestdicke für einen bestimmten Werkstoff einer Schicht.

- Die Summe der Dicke aller Schichten, die als verlässliche Isolierung angesehen werden, muss die Anforderung an den Abstand durch Isolierung entsprechend [Tabelle 1](#) in [5.4.3](#) (DTI-Prüfung) für eine entsprechende Spannungsklasse erfüllen. Außerdem muss die Summe der Schichten eine verstärkte Isolierung bieten, aber die Mindestanforderung von 30 µm (Nadellöcher ausgenommen) gilt nicht.
- [Bild 1 b3](#)) skizziert das Vorhandensein einer leitfähigen Schicht, z. B. einer Aluminiumschicht. Wenn die leitfähige Schicht berührbar ist oder innerhalb der Mindest-Kriechstrecke zum Rahmen liegt, muss Schicht B in [Bild 1 b3](#)) die Anforderungen für verstärkte Isolierung zwischen dem leitfähigen Werkstoff und aktiven Teilen erfüllen, d. h. die Dicke der leitfähigen Schichten und aller darüber liegenden Schichten ist nicht im Abstand durch Isolierung enthalten, wobei „darüber liegend“ in Richtung der äußeren Rückseite des Moduls (Luftseite der Rückseitenfolie) meint. Wenn die leitfähige Schicht nicht innerhalb der Kriechstrecken zwischen der leitfähigen Schicht und dem Rahmen oder berührbaren Oberflächen liegt, wie es durch die Isolationskoordination in [IEC 61730-1](#) beschrieben ist, muss Schicht A oder Schicht B die Anforderungen für verstärkte Isolierung erfüllen.
- In einer bestimmten Mehrschichtkonstruktion können mehr Schichten, als schematisch in [Bild 1, b1](#)), [b2](#)) und [b3](#)) dargestellt, und/oder Kombinationen dieser vorliegen.
- Die Mehrschichtfolie muss eine Spannungsfestigkeit für verstärkte Isolierung bieten, sowohl im neuen als auch im gealterten Zustand, d. h. nach Prüfung mit feuchter Wärme (FBST 08) und UV-Bewitterungsprüfung (FBST 09).

a) Einschichtfolie	
a1) monolythische Schicht	a2) kombinierte Schicht (koextrudiert)
 <p>Das Diagramm zeigt eine einzelne Schicht A, die mit schraffierter Textur dargestellt ist. Eine vertikale Doppelpfeil-Linie links neben der Schicht gibt die Dicke an: „Dicke (z. B. > 150 µm für 1 000 V)“.</p>	 <p>Das Diagramm zeigt eine kombinierte Schicht aus mehreren Schichten A₁, A₂ bis A_n, die übereinander gestapelt sind. Eine vertikale Doppelpfeil-Linie links neben der gesamten Schicht gibt die Gesamtdicke an: „Dicke (z. B. > 150 µm für 1 000 V)“.</p>
Bestanden, wenn Schicht A die Anforderungen nach 5.3.2 a) für verstärkte Isolierung einer Einzelschicht und den Abstand durch Isolierung erfüllt.	Bestanden, wenn die koextrudierte kombinierte Schicht A ₁ A ₂ . . . A _n die Anforderungen nach 5.3.2 a) für verstärkte Isolierung und den Abstand durch Isolierung erfüllt.

b) Mehrschichtfolie		
b1) beschichtete Mehrschichtfolie, entweder mit RUI- oder Nicht-RUI-Beschichtung	b2) laminierte Mehrschichtfolie mit Nicht-RUI-Klebstoffschichten „x“	b3) Mehrschichtfolie mit leitfähiger Schicht
<p>Links: Bestanden, wenn alle Schichten A und B die Anforderungen nach 5.3.2 b) für Basisisolierung und die kombinierten Mehrschichtfolien die Anforderungen nach 5.3.2 b) für verstärkte Isolierung und den Abstand durch Isolierung erfüllen.</p> <p>Rechts: wenn Beschichtung „x“ Nicht-RUI ist, entspricht dieser Fall a1</p>	<p>Bestanden, wenn alle Schichten A und B die Anforderungen nach 5.3.2 b) für Basisisolierung und die kombinierte Mehrschichtfolie die Anforderungen nach 5.3.2 b) für verstärkte Isolierung und den Abstand durch Isolierung mit Ausnahme der Schicht(en) „x“ erfüllen.</p>	<p>Bestanden, wenn Schicht B die Anforderungen nach 5.3.2 erfüllt, und einer beliebigen der Konstruktionen in a1), a2), b1) oder b2) entspricht, mit Ausnahme der leitfähigen Schichten und aller darüber liegenden Schichten in Richtung der Luftseite.</p> <p>(ANMERKUNG: Im Beispiel wird angenommen, dass eine leitfähige Schicht nichts selbst Luft- und Kriechstrecken einhält).</p>

Bild 1 — Bewertung einzelner Schichten hinsichtlich RUI

5.4 Abstände durch Isolierung (DTI) – FBST 03

5.4.1 Allgemeines

Diese Prüfung muss durchgeführt werden, um die Mindestdicke zuverlässiger Isolierung (RUI) für Frontsheets oder Backsheets nach dem Laminierungsprozess zu bewerten.

Die Mindestdicke von RUI muss nach IEC TS 62788-2, 4.5.2, bewertet werden.

ANMERKUNG 1 Dieses Verfahren stellt nicht sicher, dass Frontsheets oder Backsheets in der Endanwendung in Modulen IEC 61730-2, MST 04, entsprechen. Es bietet hingegen den geringstmöglichen Wert („Schlimmstfall“) für die DTI für die Anwendung von Backsheets/Frontsheets.

Die Anwendung von Bild 1 in dieser Norm ist verbindlich für die Bewertung der Dicke der Isolierung, weshalb nur Schichten als RUI angesehen werden, welche die Anforderungen als Isolierstoff erfüllen.

5.4.2 Prüfbericht

Alle Informationen, deren Aufnahme in den Prüfbericht nach IEC TS 62788-2, 4.5.2.5, gefordert ist, müssen aufgeführt werden.

5.4.3 Anforderungen

Zum Bestehen der Prüfung muss der gemessene DTI eine gemessene absolute Mindestdicke aufweisen, um den Zeilen zu 1 b) in IEC 61730-1, Ed. 2, Tabelle 3 oder Tabelle 4, zu entsprechen, wobei die festgelegte

Bemessungsspannung (Systemspannung) berücksichtigt wird. Nachgenannte Tabelle 2 enthält die maßgeblichen Werte, die aus den vorgenannt erwähnten Tabellen 3 oder 4 entnommen wurden.

Der Minstdickenwert der Querschnittsmessungen, von denen die Genauigkeit des Verfahrens gerundet auf 1 µm abgezogen wird.

Tabelle 2 — Minstdicke einer Isolierung in dünnen Schichten nach der Laminierung

Kategorie	System-Gleichspannung und geeignete Minstdicke in der Endanwendung						
Prüfgleichspannung [V]	< 35	100	150	300	600	1000	1500
Minstdicke einer Isolierung in der Endanwendung [mm]	0,01	0,01	0,01	0,01	0,06	0,15	0,30

Für Werkstoffe, welche die DTI-Prüfung nach den Anforderungen von Tabelle 2 nicht bestanden haben, gibt der Prüfbericht an „nicht bestanden“ (statt „versagt“) und die Dicke der Isolierung darf auf Modulebene bewertet werden (IEC 61730-2, MST 04)

5.5 Temperaturwechselprüfung – FBST 04

5.5.1 Allgemeines

Werte für TI oder RTE müssen unter Berücksichtigung besonderer Anforderungen bewertet werden, die für die Art der zu prüfenden Schicht in IEC 60216-2 angegeben sind. Als Alternative zu RTE werden die nach UL 746B bewerteten RTI-Werte akzeptiert.

Für Messungen des thermischen Langzeitverhaltens von Einzelschichten, Beschichtungen und/oder Klebstoffschichten werden Bewertungsverfahren angewendet, die spezifisch für deren Funktion in Frontsheet oder Backsheet sind. Thermisches Langzeitverhalten wird deshalb für Schichten, die als RUI in Frontsheet oder Backsheet angesehen werden, separat bewertet, entweder Einzelschicht(en), Beschichtung(en) oder Klebstoffschicht(en).

Anmerkung: Analyseanforderungen für thermisches Langzeitverhalten, einschließlich Qualität der linearen Anpassung in der Arrhenius-Bewertung, Mindestprüfdauern und extrapolierten Korrelationszeiten zur Bestimmung des thermischen Langzeitverhaltens sind in den Verfahren der geltenden vorgenannten Normen festgelegt.

Wenn eine Kombination verschiedener Polymerwerkstoffe geprüft werden muss (z. B. koextrudiert, beschichtet), muss bewertet werden, ob die Änderung der elektrischen oder mechanischen Eigenschaften der kombinierten Schicht den zugrundeliegenden Annahmen für die Analyse des thermischen Langzeitverhaltens auf Grundlage des Arrhenius-Ansatzes (siehe vorgenannte Anmerkung) entspricht.

Monolithische Einzelschichten und kombinierte Einzelschichten, wie in 5.1 und Bild 1, a1) und a2), festgelegt, werden als Einzelschichten (Einschichtfolien) geprüft (siehe 5.5.1.1). Bei Prüfungen der Zugfestigkeit von kombinierten Schichten (koextrudiert) bestimmt der erste Teilbruch die resultierende Zugfestigkeit und/oder Bruchdehnung.

Für die Prüfung des thermischen Langzeitverhaltens beschichteter Frontsheets / Backsheets, dargestellt in Bild 1 b1), müssen sowohl der Werkstoff einer unbeschichteten Einzelschicht für Prüfungen des thermischen Langzeitverhaltens des Werkstoffs einer Einschichtfolie selbst (siehe 5.5.1.1) als auch zusätzlich beschichtete Folien für die Prüfung der Beschichtung (5.5.1.2) bereitgestellt werden.

Im Fall einer laminierten Mehrschichtstapel-Konstruktion, wie in Bild 1 b2), müssen die RUI-Schichten als separate Folien (5.5.1.1) geprüft werden. Zur Bewertung des thermischen Langzeitverhaltens der Klebstoffschicht müssen zusätzlich Frontsheets oder Backsheets in laminierter Mehrschichtkonstruktion geprüft werden (5.5.1.3).

Bei Mehrschichtkonstruktionen, die Schichtwerkstoffe mit separat geprüften Werten von TI oder RTE (RTI) verwenden, wird die Bemessung des thermischen Langzeitverhaltens des Mehrschichtsystems vom kleinsten Wert aller Folienkomponenten abgeleitet.

Prüfling für die Prüfung des thermischen Langzeitverhaltens müssen vor Planung des Prüfprogramms vom Hersteller definiert werden, einschließlich des Schichtaufbaus, der Schichtdickenwerte und der Schichtwerkstoffe. Querschnittserstellung und mikroskopische Charakterisierung sind beispielsweise für die Beschreibung des Schichtenstapels geeignet (siehe die in IEC TS 62788-2, 4.5.3.2, beschriebenen Verfahren zur Beurteilung von DTI).

5.5.1.1 Thermisches Langzeitverhalten von Einzelschichtwerkstoffen

Die Werte für TI oder RTE von Einzelschichten müssen unter Berücksichtigung der besonderen Anforderungen für flexible Mehrschichtfolien nach IEC 60216-2 bewertet werden. Als Alternative zu RTE werden die nach UL 746B ermittelten entsprechenden RTI-Werte akzeptiert.

Anmerkung 1: Mechanische Werte für TI- oder RTE (RTI) werden bewertet für 50 % Erhalt der Zugfestigkeit und elektrische TI- oder RTE (RTI) für 50 % Erhalt der Spannungsfestigkeit.

Anmerkung 2: Der Voreinstellungswert für die Bewertungsdauer für TI entspricht 20 000 h (siehe IEC 60216-1). Korrelationszeiten für RTE (RTI) sind abhängig vom Vergleichswerkstoff und dürfen im Bereich von 20 000 h und 100 000 h liegen. Folglich dürfen RTE- und RTI-Indexwerte üblicherweise geringer sein als TI-Werte.

Anmerkung 3: UL 746B bietet eine Grundlage zur Auswahl primärer und sekundärer Bewertungsparameter für Werkstoffe mit einem unterschiedlichen relativen Temperaturindex auf der Grundlage einer elektrischen und mechanischen Bewertung.

Zur Ergänzung der Beurteilung des thermischen Langzeitverhaltens von Einzelschichten hinsichtlich einer Neigung zur Rissbildung muss die Bruchdehnung vor und nach einer „Prüfung der thermischen Ausfallsicherheit“ bei $(120 \pm 2)^\circ\text{C}$ für $(2000 - 0 / +24)$ h unter Anwendung des Verfahrens der Zugprüfung (FBST 07) bewertet werden. Vor der Prüfung der thermischen Ausfallsicherheit werden Proben anhand eines Zeit-Temperatur-Profiles vorbehandelt, welches repräsentativ für den vorgesehenen Laminierungszyklus ist. Am Ende der Beanspruchung hinsichtlich thermischer Ausfallsicherheit werden Probenstreifen für Prüfungen in beiden Richtungen, Extrusionsrichtung (MD; en: machine extrusion direction) und Querrichtung (TD; en: transverse machine direction), geschnitten. Die Bewertung der Bruchdehnung erfolgt für beide Richtungen und wird im Prüfbericht angegeben, wie in FBST 07 festgelegt. Maßgebliche Werte für TI- oder RTE (RTI), die auf 50 % Erhalt der Bruchdehnung beruhen, werden als Alternative für die Prüfung der thermischen Ausfallsicherheit akzeptiert.

Für die Probenahme von für die Fertigung repräsentativem koextrudiertem Werkstoff wird anerkannt, dass Eigenschaften des Endproduktes abhängig sind von der Kombination aus Prozessparametern und Werkstoffrezeptur, die im Labormaßstab nicht einfach getrennt oder nachgebildet werden können: technische Beurteilung ist möglicherweise erforderlich hinsichtlich der Verträglichkeit und Wechselwirkung (z. B. Kreuzmigration) kombinierter Werkstoffe und der Art und Weise, wie Prozessbedingungen Restspannungen und Kristallinität beeinflussen.

Thermisches Langzeitverhalten von beschichteten Frontsheets oder Backsheets wird in zwei Teilen bewertet: Der Werkstoff einer Einzelschicht, auf welcher die Beschichtung aufgebracht wird, wird ohne vorhandene Beschichtung geprüft. Wenn die Beschichtung als RUI angesehen werden muss, wird ihr thermisches Langzeitverhalten nach 5.5.1.2 bewertet.

Anmerkung 4: Die Deaktivierung von Beschichtungsprozessen (z. B. Düsenbeschichtung / Kaskadenbeschichtung oder gleichwertige Verfahren in Abhängigkeit von der Viskosität der Beschichtungsrezeptur und/oder Extrusionsbeschichtung) am Anfang oder am Ende einer Charge ist eine Möglichkeit eine Werkstoffprobe ohne Beschichtung zu fertigen.

Thermisches Langzeitverhalten von laminierten Frontsheets oder Backsheets wird in zwei Teilen bewertet: Werkstoffe einer Einzelschicht, die miteinander laminiert werden, werden einzeln ohne Vorhandensein der Klebstoffschicht geprüft. Wenn eine Klebstoffschicht als RUI angesehen werden muss, wird ihr thermisches Langzeitverhalten nach 5.5.1.3 bewertet.

Jede Schicht der vollständigen Folie muss die Sicherheitsanforderungen nach 5.2 und 5.3 erfüllen. Bei mechanischen Prüfungen von Frontsheets oder Backsheets in Konstruktion aus kombinierten Einzelschichten (koextrudiert) und aus Mehrschichtfolie wird das Bewertungsergebnis für Zugfestigkeit oder Bruchdehnung bestimmt durch die erste Schicht der Kombination, welche in der Zugprüfung bricht, siehe 5.8 (FBST 07).

Im Prüfbericht werden die relative Position und das Aussehen jeder Schicht im Stapel zusammen mit ihrer Dicke angegeben, und ob sie als RUI angesehen werden darf oder nicht.

5.5.1.2 Thermisches Langzeitverhalten beschichteter Schichten

Werte für TI oder RTE von beschichteten Schichten müssen unter Berücksichtigung der besonderen Anforderungen für Beschichtungen nach IEC 60216-2 bewertet werden. In IEC 60216-2 sind Bewertungsverfahren enthalten, um TI oder RTE von beschichteten Schichten einer Folie zu beurteilen, einschließlich einer „Tiefungsprüfung“ (ISO 1520).

Anmerkung des Projektleiters: Alternative Bewertungsverfahren werden derzeit in der FS/FB-Gruppe gemeinsam mit Prüflaboratorien untersucht. Prüfverfahren müssen die Neigung zur Rissbildung in Anwendungen berücksichtigen, z. B. Bewertung der Dichte der Rissbildung in Abhängigkeit von Dehnung (linear, durch Biegung, durch Tiefung) und den Grad kritischer Dehnung in der Endanwendung.

5.5.1.3 Thermisches Langzeitverhalten von Klebstoffschichten

Werte für TI oder RTE (RTI) von Klebstoffschichten müssen unter Berücksichtigung der besonderen Anforderungen für Klebstoffschichten nach IEC 60216-2 bewertet werden. Es gibt derzeit kein spezifisches Verfahren für die Qualifizierung des thermischen Langzeitverhaltens einer Klebstoffschicht.

Anmerkung des Projektleiters: Verfahren und Anforderungen für das thermische Langzeitverhalten von Klebstoffschichten werden derzeit in der FS/FB-Gruppe gemeinsam mit Prüflaboratorien untersucht. Prüfverfahren müssen die Neigung zur Rissbildung in Anwendungen berücksichtigen, z. B. Bewertung der Dichte der Rissbildung in Abhängigkeit von Dehnung (linear, durch Biegung, durch Tiefung) und den Grad kritischer Dehnung in der Endanwendung. Außerdem muss möglicherweise das thermische Langzeitverhalten der Klebefunktion berücksichtigt werden.

5.5.2 Anforderungen und Prüfbericht

5.5.2.1 Einzelschichten

Der erhaltene Wert von TI oder RTE (RTI) und der Erhalt von analysierten Eigenschaften (50 % Durchschlagsspannung, 50 % Zugfestigkeit) werden in den Prüfbericht aufgenommen. Es wird angegeben, ob die Prüfung auf der Ebene einzelner Werkstoffe oder an einer Kombination von Werkstoffen durchgeführt wurde.

Die Ergebnisse für Bruchdehnung (FBST 07) nach der Prüfung der thermischen Ausfallsicherheit (2 000 h bei 120 °C) werden in den Prüfbericht aufgenommen. Die Kriterien zum Bestehen der Prüfung (Annahmekriterien) sind abhängig von der Anfangs-Bruchdehnung:

- a) für Werkstoffe mit ε_{BO} (oder ε_{BG}) $\geq 50\%$ am Anfang, besteht der Werkstoff die Prüfung, wenn nach der Prüfung ε_{BO} (oder ε_{BG}) $\geq 25\%$ (absolute Bruchdehnung) ist;
- b) für Werkstoffe mit ε_{BO} (oder ε_{BG}) $< 50\%$ am Anfang, besteht der Werkstoff die Prüfung, wenn nach der Prüfung ε_{BO} (oder ε_{BG}) $\geq 50\%$ (erhaltene Bruchdehnung) ist.

Werte für TI- oder RTE (RTI), die auf einer Bewertung von 50% Erhalt der Bruchdehnung beruhen, werden als Alternative für die Prüfung der thermischen Ausfallsicherheit akzeptiert.

5.5.2.2 Beschichtete Schichten

Festlegung ausstehend

5.5.2.3 Laminierete Schichten

Festlegung ausstehend

5.6 Vergleichszahl der Kriechwegbildung (CTI) – FBST 05

5.6.1 Allgemeines

Die Vergleichszahl der Kriechwegbildung (CTI-Wert) von Frontsheet und Backsheet muss nach IEC 60112 bewertet werden. Alternative CTI-Werte, die nach UL 746C bewertet wurden, werden ebenfalls akzeptiert.

Alle Schichten, die möglicherweise einen Teil des Kriechwegs (der Kriechstrecke) repräsentieren, müssen einer Werkstoffgruppe zugeordnet werden. Zur Identifizierung von Schichten, die unter Laminierungsbedingungen potentiell in Kontakt mit aktiven Teilen kommen, wird die DTI-Prüfung (siehe 5.4) angewendet: für gewählte Laminierungsbedingungen der DTI-Prüfung, muss die Kriechstrecke für alle Schichten bewertet werden, die in Kontakt mit dem Lötendraht kommen, wie im Rahmen einer Sichtprüfung des Querschnitts nach der Laminierung festgestellt.

Anmerkung: Für weitere Hintergrundinformationen zur Identifizierung von Schichten siehe IEC TS 62788-2.

Isolierstoffe werden entsprechend ihrer Vergleichszahl der Kriechwegbildung (CTI) in vier Gruppen eingeteilt:

Werkstoffgruppe	I		CTI ≥ 600
Werkstoffgruppe	II	$400 \leq$	CTI < 600
Werkstoffgruppe	IIIa	$175 \leq$	CTI < 400
Werkstoffgruppe	IIIb	$100 \leq$	CTI < 175

Ein Isolierstoff darf in eine dieser vier Gruppen unter der Voraussetzung eingeordnet werden, dass seine Prüfzahl der Kriechwegbildung (PTI), verifiziert nach den Verfahren in IEC 60112 unter Verwendung von Lösung A, nicht kleiner als der untere für diese Gruppe festgelegte Wert ist.

5.6.2 Prüfbericht

In den Bericht werden aufgenommen:

- der CTI-Wert (oder PTI-Wert) und die Werkstoffgruppe jeder betreffenden Schicht;
- die Vorbereitung des Stapels für die Probe (Folien mit Stapelkonstruktion oder tafelartige Prüflinge einer Dicke von 3 mm), und
- Beobachtungen an der geprüften Schnittstelle während der Prüfung.

Außerdem wird die resultierende Werkstoffgruppe nach IEC 61730-1, B.2.2.4.1, für den (die) vorgenannte(n)Werkstoffe(n) im Prüfbericht angegeben.

Anmerkung: Es gibt kein Annahme-/Rücknahmekriterium für Frontsheet und/oder Backsheet auf Grundlage von CTI (oder der entsprechenden Werkstoffgruppe) an sich. Die Mindest-Kriechstrecke wird auf Modulebene bewertet und ist abhängig von der Bauart des Moduls, unter Berücksichtigung der Werkstoffgruppe und des Verschmutzungsgrades.

5.7 Spannungsfestigkeit – FBST 06

5.7.1 Allgemeines

Eine Messung der Spannungsfestigkeit wird am Endprodukt durchgeführt, indem die DC-Durchschlagspannung für eine spezifische Konfiguration von dielektrischem Werkstoff und Elektroden bestimmt wird. Eine Messung der Spannungsfestigkeit wird außerdem nach beschleunigten Alterungsprüfungen (Prüfung mit feuchter Wärme und UV-Bewitterungsprüfung) durchgeführt.

Die Prüfung der DC-Durchschlagspannung wird angewendet, um zu ermitteln, ob Frontsheets oder Backsheets, oder die einzelnen als RUI verwendeten Schichten, die elektrischen Anforderungen der Sicherheitsnorm in 10.6 von IEC 60243-1 und IEC 60243-2 erfüllen. Die Anforderungen für die Prüfung der DC-Durchschlagspannung von Frontsheets und Backsheets aus Polymerwerkstoff sind in IEC TS 62788-2 festgelegt. Die Anforderungen für die Prüf-Gleichspannungen für Basisisolierung, doppelte Isolierung oder verstärkte Isolierung sind in IEC 61730-1 in Abhängigkeit von der Spannungsklasse angegeben.

Während Gleichstromprüfungen hängt das Versagen hauptsächlich von der im Prüfling während der Gleichstrombeanspruchung erzeugten Wärme ab.

5.7.2 Prüfbericht

Bei der Aufnahme des gemessenen Werts der DC-Durchschlagspannung müssen das Vorhandensein von Nicht-RUI-Schichten in der Schichtenstruktur, welche der Prüfung der DC-Durchschlagspannung unterzogen wurden, und jegliches (teilweises) Durchdringen von RUI-Schichten, wie mit der DTI-Prüfung ermittelt, berücksichtigt werden. Die gemessene DC-Durchschlagspannung wird multipliziert mit (i) dem Verhältnis der Dicke von Schichten im Folienaufbau, die zur RUI beitragen (t_{RUI}), zur Gesamtdicke (t_{total}) der geprüften Folie, und (ii) dem Verhältnis der DTI-Dicke (5.4) der RUI-Schichten zur Gesamtdicke von RUI-Schichten (5.3). Jeder der beiden Faktoren ist kleiner als 1, sofern anwendbar, anderenfalls gleich 1. Für die bemessene Spannungsklasse darf kein dielektrischer Durchschlag auftreten, wobei die zwei Faktoren einbezogen werden, welche die wirksame DC-Durchschlagspannung reduzieren, sofern zutreffend.

Die Angabe der Mindest-DC-Durchschlagspannung für Basisisolierung oder verstärkte Isolierung wird als alternative Angabe im Prüfbericht akzeptiert. Wie vorgenannt erwähnt, gelten Korrekturfaktoren bei Vorhandensein von Nicht-RUI-Schichten und Schichten, welche eine (teilweise) Durchdringung von RUI-Schichten in der DTI-Prüfung aufweisen. Um das Annahmekriterium für die DC-Durchschlagspannung zu erhalten, wird die Mindest-DC-Durchschlagspannung, wie in IEC 61730-1 je Spannungsklasse festgelegt, multipliziert mit (i) dem Verhältnis der Gesamtdicke (t_{total}) der geprüften Folie zur Dicke von Schichten im Folienaufbau, die zur RUI beitragen (t_{RUI}), und (ii) dem Verhältnis der Gesamtdicke von RUI-Schichten (5.3)