

DIN EN 62282-2-100
(VDE 0130-2-100)
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 27.070

Einsprüche bis 2019-03-11

Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 62282-2
(VDE 0130-2):2013-01

Entwurf

Brennstoffzellentechnologien –
Teil 2-100: Brennstoffzellenmodule –
Sicherheit
(IEC 105/683/CDV:2018);
Deutsche und Englische Fassung prEN 62282-2-100:2018

Fuel cell technologies –
 Part 2-100: Fuel cell modules –
 Safety
 (IEC 105/683/CDV:2018);
 German and English version prEN 62282-2-100:2018

Technologies des piles à combustible –
 Partie 2-100: Modules à piles à combustible –
 Sécurité
 (IEC 105/683/CDV:2018);
 Version allemande et anglaise prEN 62282-2-100:2018

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2019-01-11 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 88 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn dieser Norm ist

Nationales Vorwort

Die Deutsche Fassung des europäischen Dokuments prEN 62282-2-100:2018 „Brennstoffzellentechnologien – Teil 2-100: Brennstoffzellenmodule – Sicherheit“ (Entwurf in der Umfrage) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden.

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. Dem entsprechend ist das internationale Dokument IEC 105/683/CDV:2018 „Fuel cell technologies – Part 2-100: Fuel cell modules – Safety“ unverändert in den Entwurf prEN 62282-2-100:2018 übernommen worden.

Da die Deutsche Fassung noch nicht endgültig mit der Englischen und Französischen Fassung abgeglichen ist, ist die englische Originalfassung des IEC-CDV entsprechend der diesbezüglich durch die IEC erteilten Erlaubnis beigefügt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen IEC-Text.

Das internationale Dokument wurde vom TC 105 „Fuel cell technologies“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet.

Bei der Abstimmung zu dem Europäischen Schluss-Entwurf bei CENELEC und dem Internationalen Schluss-Entwurf bei IEC [Final Draft International Standard (FDIS)] sind jeweils nur „JA/NEIN“-Entscheidungen möglich, wobei „NEIN“-Entscheidungen fundiert begründet werden müssen. Dokumente, die bei CENELEC als Europäische Norm angenommen und ratifiziert werden, sind unverändert als Deutsche Normen zu übernehmen.

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium K 384 „Brennstoffzellen“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

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.

Änderungen

Gegenüber **DIN EN 62282-2 (VDE 0130-2):2013-01** wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Verweise auf IEC 60050-485 als Ersatz für **IEC/TS 62282-1**.

- b) Aktualisierung der normativen Referenzen.
- c) Aktualisierung der Begriffe, insbesondere derjenigen für das Brennstoffzellen-Modul für den Normalbetrieb.
- d) Leckagewerte werden bei normalem und anomalem Betrieb berücksichtigt.
- e) Verzögerte Entzündungsprüfung wurde aufgenommen;
- f) Schutzmaßnahmen zur Begrenzung von Gasleckagen wurden aufgenommen.
- g) Die Anforderungen an die Isolierung zwischen spannungsführenden Teilen und SELV wurden aktualisiert.
- h) Die allgemeine Sicherheitsstrategie wurde angepasst, um den unterschiedlichen Anwendungsnormen gerecht zu werden. Die Anpassungen stehen im Einklang mit gleichartigen Änderungen in [EN 62282-3-100](#).
- i) Der Abschnitt „Elektrische Komponenten“ wurde angepasst, um den unterschiedlichen Anwendungsnormen gerecht zu werden. Die Anpassungen stehen im Einklang mit gleichartigen Änderungen in [EN 62282-3-100](#).
- j) Schutzerdung als Teil des Moduls bzw. eine Verbindung als Maßnahme innerhalb der Installation wurde eingeführt.
- k) Die Prüfung auf Spannungsfestigkeit wurde nach IEC 62744-1 für Spannungen bis 1 000 V AC/1 500 V DC vollständig aktualisiert.
- l) Die Druckabfallmethode wurde als neues Dichtheitsprüfverfahren eingeführt.
- m) Begriffe wie normal und anomal, z. B. in Verbindung mit Betriebsbedingungen, werden einheitlicher verwendet.
- n) Aufnahme von Definitionen für Gefährdungen und Gefährdungsbereiche auf Basis der Normenreihe EN 60079.
- o) Der Abschnitt „Kennzeichnungen und Anleitungen“ wurde erweitert, um Systemintegratoren notwendige Informationen beizustellen.
- p) Neuer [Anhang A](#), der die in dieser Norm behandelten wesentlichen Gefährdungen, Gefährdungssituationen und Ereignisse behandelt. Diese Liste ist mit [Abschnitt 4.1](#) Grundsätzliche Sicherheitsstrategie verknüpft.
- q) Allgemeine redaktionelle Verbesserungen.

**Brennstoffzellentechnologien –
Teil 2-100: Brennstoffzellenmodule –
Sicherheit**

Inhalt

Seite

Einleitung	3
1 Anwendungsbereich	4
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe	6
4 Anforderungen	10
4.1 Grundsätzliche Sicherheitsstrategie	10
4.2 Konstruktionsanforderungen	11
4.2.1 Allgemeines	11
4.2.2 Verhalten bei normalen und anomalen Betriebsbedingungen	11
4.2.3 Leckagen	11
4.2.4 Druckbetrieb	11
4.2.5 Feuer und Entflammbarkeit	12
4.2.6 Sicherheitsmaßnahmen	13
4.2.7 Rohre und Verbindungen	13
4.2.8 Elektrische Komponenten	15
4.2.9 Elektrische Anschlüsse und Verbindungen	15
4.2.10 Aktive Teile	15
4.2.11 Isoliermaterialien und Spannungsfestigkeit	16
4.2.12 Schutzerdung/Potentialausgleich	16
4.2.13 Stöße und Schwingungen	16
5 Typprüfungen	16
5.1 Allgemein	16
5.2 Stoß- und Schwingungsprüfung	17
5.3 Gasleckprüfung	17
5.3.1 Allgemeines	17
5.3.2 Durchflussmesserverfahren	17
5.3.3 Druckabfallmethode	18
5.4 Normalbetrieb	19
5.5 Prüfung des zulässigen Betriebsdrucks	19
5.6 Überdruckprüfung des Kühlsystems	20
5.7 Dauernde und kurzzeitige elektrische Bemessung	20
5.8 Überdruckprüfung	20
5.9 Isolationsprüfung (Prüfung der dielektrischen Durchschlagfestigkeit)	21
5.10 Differenzialdruck-Prüfung	22

	Seite
5.11 Gasleckprüfung (Wiederholung).....	22
5.12 Normalbetrieb (Wiederholung)	22
5.13 Prüfung der brennbaren Gaskonzentration	23
5.14 Prüfung unter anomalen Betriebsbedingungen.....	23
5.14.1 Allgemeines	23
5.14.2 Brennstoffmangel-Prüfung	24
5.14.3 Sauerstoff-/Oxidationsmittelmangel-Prüfung	24
5.14.4 Kurzschluss-Prüfung	24
5.14.5 Prüfung bei Ausfall/Reduzierung der Kühlung	24
5.14.6 Crossover-Überwachungssystem-Prüfung	25
5.14.7 Gefrier-Auftau-Zyklus-Prüfungen	25
6 Stückprüfungen	25
6.1 Allgemeines	25
6.2 Gasdichtheitsprüfung.....	26
6.3 Isolationsprüfung	26
7 Kennzeichnungen und Anleitungen.....	26
7.1 Typenschild	26
7.2 Kennzeichnung	26
7.3 Warnschilder.....	26
7.4 Dokumentation	27
7.4.1 Allgemeines	27
7.4.2 Installationshandbuch.....	28
7.4.3 Installationsdiagramm	28
7.4.4 Betriebshandbuch.....	29
7.4.5 Instandhaltungshandbuch	30
7.4.6 Stückliste	30
Anhang A (informativ) Signifikante Gefährdungen, gefahrbringende Situationen und Ereignisse, die in dieser Norm berücksichtigt werden	31
Anhang B (informativ) Zusätzliche Informationen zur Durchführung und Auswertung der Prüfungen	33
Anhang C (informativ) Besondere Bedingungen in bestimmten Ländern	40
Literaturhinweise.....	41
Bilder	
Bild 1 – Brennstoffzellen-Energiesystemkomponenten	5
Tabellen	
Tabelle 1 – Isolationsprüfung (Prüfung der dielektrischen Durchschlagfestigkeit).....	22
Tabelle A.1 – Typische gefahrbringende Situationen und Ereignisse.....	31
Tabelle B.1 – Viskosität von Gasen bei 1 Atmosphäre ^a	36

Einleitung

Brennstoffzellen-Module sind elektrochemische Einrichtungen, die Brennstoffe wie Wasserstoff oder wasserstoffreiche Gase, Alkohole, Kohlenwasserstoffe und Oxidationsmittel kontinuierlich in Gleichstrom, Wärme, Wasser und andere Nebenprodukte umwandeln.

Brennstoffzellen-Module sind Unterbaugruppen, die in verwendungsfertige Produkte integriert werden, bestehend aus einem oder mehreren **Brennstoffzellen**-Stacks und gegebenenfalls zusätzlichen Komponenten.

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil der Reihe IEC 62282 legt die Anforderungen an die Konstruktion, den Betrieb unter normalen und anomalen Bedingungen und die Prüfung von **Brennstoffzellen-Modulen** fest. Er gilt für **Brennstoffzellen-Module** mit folgender Elektrolyt-Chemie:

- alkalische;
- Polymerelektrolyt (einschließlich Direkt-Methanol-**Brennstoffzellen**)¹;
- Phosphorsäure;
- Schmelzkarbonat;
- Festoxid;
- wässrige Salzlösungen.

Brennstoffzellen-Module können mit oder ohne Gehäuse ausgeführt sein, wobei sie entweder auf signifikant erhöhtem Druckniveau oder nahe dem Umgebungsdruck betrieben werden können.

Diese Norm behandelt Zustände, die zu **Gefährdungen** für Personen und Schäden außerhalb der **Brennstoffzellen-Module** führen können. Der Schutz gegen Schäden innerhalb der **Brennstoffzellen-Module** ist nicht Gegenstand dieser Norm, solange diese nicht zu **Gefährdungen** außerhalb des Moduls führen.

Diese Anforderungen können durch andere Normen für Geräte, die **Brennstoffzellen-Module** enthalten, abgelöst werden, falls dies für besondere Anwendungen gefordert wird.

Diese Norm behandelt keine **Brennstoffzellen** Anwendungen in Straßenfahrzeugen.

Diese Norm beabsichtigt nicht, den technologischen Fortschritt zu be- oder zu verhindern. Ein Gerät, das Materialien beinhaltet oder in einer Art und Weise aufgebaut ist, die sich von den Anforderungen dieser Norm unterscheiden, darf nach der zugrunde liegenden Absicht dieser Anforderungen untersucht und geprüft werden. Wenn diese im Wesentlichen als gleichwertig befunden wurden, dürfen diese als übereinstimmend mit dieser Norm angenommen werden.

Die **Brennstoffzellen-Module** sind Komponenten eines Endprodukts. Diese Produkte müssen auf Einhaltung zutreffender Endprodukte-Sicherheitsanforderungen bewertet werden.

¹ Ebenso bekannt als Protonen-Austauschmembran-Brennstoffzelle.

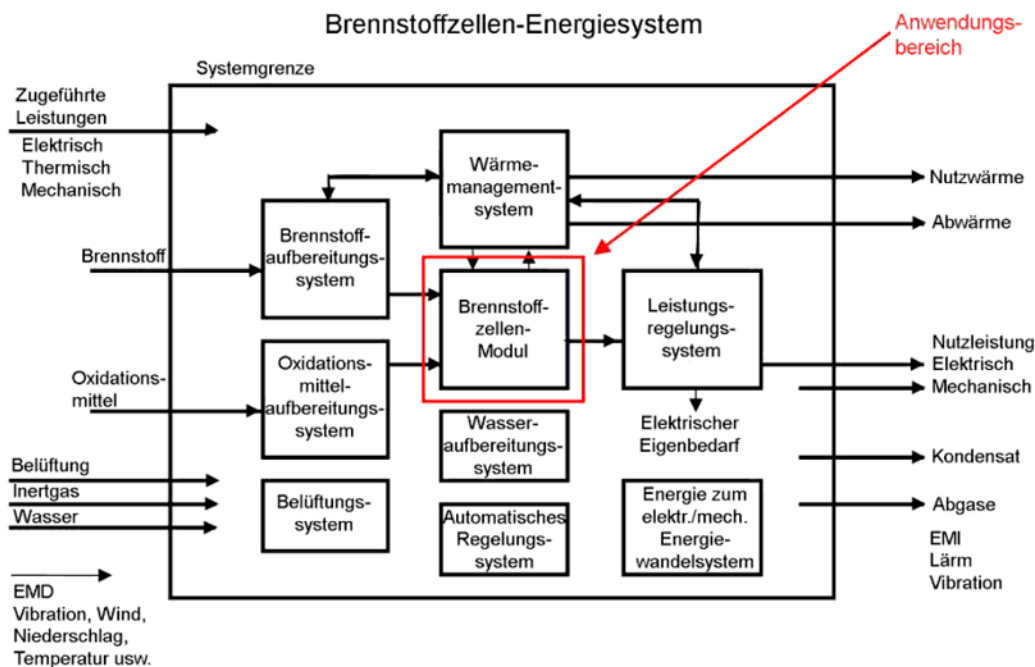


Bild 1 – Brennstoffzellen-Energiesystemkomponenten

Diese Norm gilt nur bis zum gleichstromseitigen Ausgang des **Brennstoffzellen-Moduls**.

Der Anwendungsbereich dieser Norm gilt nicht für die peripheren Geräte wie in Bild 1 dargestellt.

Diese Norm gilt nicht für die Brennstoff- und Oxidationsmittel-Versorgung und -Speicherung für das **Brennstoffzellen-Modul**.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. 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 60079-10-1, *Explosive atmospheres – Part 10-1: Classification of areas – Explosive gas atmosphere*

IEC 60204-1, *Safety of machinery – Electrical equipment of machines – Part 1: General requirements*

IEC 60335-1, *Household and similar electrical appliances – Safety – Part 1: General requirements*

IEC 60352 (alle Teile), *Solderless connections*

IEC 60512-15 (alle Teile), *Connectors for electronic equipment – Tests and measurements – Part 15: Connector tests (mechanical)*

IEC 60512-16 (alle Teile) *Connectors for electronic equipment – Tests and measurements – Part 16: Mechanical tests on contacts and terminations*

IEC 60529, *Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)*

IEC 60617, *Graphical symbols for diagrams*

IEC 60695 (alle Teile), *Fire **hazard** testing*

IEC 60730-1, *Automatic electrical controls for household and similar use – Part 1: General requirements*

IEC 62368-1, *Audio/video, information and communication technology equipment – Part 1: Safety requirements*

IEC 61508 (alle Teile), *Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems*

IEC 62040-1, *Uninterruptible power systems (UPS) – Part 1: General and safety requirements for UPS*

IEC 62061, *Safety of machinery – Functional safety of safety-related electrical, electronic and programmable electronic control systems*

IEC 62477-1 *Safety requirements for power electronic converter systems and equipment – Part 1: General*

ISO 13849-1, *Safety of machinery – Safety related parts of control systems – Part 1: General principles for design*

ISO 23550, *Safety and control devices for gas burners and gas-burning appliances – General requirements*

EN 50178, *Ausrüstung von Starkstromanlagen mit elektronischen Betriebsmitteln*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1

Abnahmeprüfung

vertraglich vereinbarte Prüfung zum Nachweis gegenüber dem Abnehmer, dass die Betrachtungseinheit bestimmte Anforderungen ihrer Spezifikation erfüllt

[QUELLE: IEC 60050-151, 151-16-23]

3.2

maximal zulässiger Differenzdruck

maximale vom Hersteller vorgegebene Druckdifferenz zwischen der Anodenseite und der Kathodenseite, der das **Brennstoffzellen-Modul** ohne Schäden oder dauerndem Verlust von funktionalen Eigenschaften ausgesetzt werden kann

[QUELLE: IEC 60050-485, 485-17-02, geändert durch Ergänzung von „Modul“ nach **Brennstoffzelle**]

3.3

zulässiger Betriebsdruck

maximaler vom Hersteller vorgegebener Druck, dem das **Brennstoffzellen-Modul** ohne Schäden oder dauerndem Verlust von funktionalen Eigenschaften ausgesetzt werden kann

Anmerkung 1 zum Begriff: Für **Brennstoffzellen-Module** mit Druckentlastungseinrichtungen wird dieser Druck normalerweise zur Festlegung des Auslösedrucks verwendet.

3.4

Umgebungstemperatur

Temperatur des Mediums, das ein Gerät, eine Einrichtung oder eine Anlage umgibt und die die Leistungswerte des Gerätes, der Einrichtung oder der Anlage beeinflussen kann

3.5

Konditionierung <bezogen auf Zellen und Stacks>

Herstellungsschritt, der für den ordnungsgemäßen Betrieb eines Brennstoffzellen-Moduls (3.8) notwendig ist, um eine gewünschte Leistung zu erreichen, der nach Herstellervorgabe ausgeführt wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Konditionierung kann in Abhängigkeit der verwendeten Brennstoffzellentechnologie reversible oder irreversible Prozesse enthalten.

[QUELLE: IEC 60050-485, 485-11-08, geändert durch Ergänzung von "Modul" nach **Brennstoffzelle**]

3.6

Brennstoffzelle

elektrochemische Einrichtung, die die chemische Energie eines Brennstoffs und eines Oxidationsmittel in Gleichstrom, Wärme und Reaktionsprodukte umwandelt

Anmerkung 1 zum Begriff: Brennstoff und Oxidationsmittel werden typischerweise außerhalb der **Brennstoffzelle** gelagert und erst unmittelbar vor Gebrauch in die **Brennstoffzelle** transportiert.

[QUELLE: IEC 60050-485, 485-08-01]

3.7

Brennstoffzellen-Stack

Anordnung von Zellen, Separatoren, Kühlplatten, Gasverteilern und -Sammlern und einer tragenden Struktur, die typischerweise Wasserstoff, wasserstoffreiche Gase und Luft in Gleichstrom, Wärme und andere Nebenprodukte umwandelt

[QUELLE: IEC 60050-485, 485-06-01]

3.8

Brennstoffzellen-Modul

Anordnung, die einen oder mehrere **Brennstoffzellen- Stack(s)** und gegebenenfalls Zusatzkomponenten enthält, die zur Integration in ein Energiesystem oder ein Fahrzeug gedacht ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein **Brennstoffzellen-Modul** besteht aus den folgenden Hauptkomponenten: einem oder mehreren **Brennstoffzellen-Stack(s)**, einem Leitungssystem zum Transport von Brennstoffen, Oxidationsmitteln und Abgasen, elektrischen Anschlüssen für die von dem(n) Stack(s) produzierte Energie und Einrichtungen zum Überwachen und Steuern oder beides. Darüber hinaus kann ein **Brennstoffzellen-Modul** beinhalten: Einrichtungen zum Transport zusätzlicher Medien (z. B. Kühlmitteln, Inertgas), Einrichtungen zum Erkennen normaler und/oder anomaler Betriebszustände, Gehäuse oder Druckkessel, Belüftungssysteme sowie die erforderlichen elektronischen Komponenten für den Modulbetrieb und die Leistungs-Konditionierung.

[QUELLE: IEC 60050-485, 485-09-03]

3.9

Bemessungsstrom

maximaler, kontinuierlicher, vom Hersteller festgelegter Laststrom, für den das **Brennstoffzellen-Modul** ausgelegt ist

[QUELLE: IEC 60050-485, 485-12-02, geändert durch Ersetzen von „Energiesystem“ durch „Modul“]

3.10

Crossover

Leckage

Leckage zwischen der Brennstoff-Seite und der Oxidations-Seite einer **Brennstoffzelle** in beiden Richtungen durch den Elektrolyten

[QUELLE: IEC 60050-485, 485-06-25]

3.11

Gasleckage

Summe aller Gase, die das **Brennstoffzellen-Modul** verlassen, mit Ausnahme der vorgesehenen Abgase

Anmerkung 1 zum Begriff: Gasleckage kann auftreten

- am **Brennstoffzellen-Stack**;
- an zugehörigen Überdruckeinrichtungen;
- an anderen gasleitenden und durchflusssteuernden Komponenten.

[QUELLE: IEC 60050-485, 485-06-24, geändert durch Ergänzung der Anmerkung 1 zum Begriff]

3.12

Gefährdung

potenzielle Quelle von Beschädigungen in Form einer körperlichen Verletzung der Gesundheit von Personen, von Sach- oder Umweltschäden

3.13

Gefährdungsbereich

Klassifizierter Bereich

Bereich oder Raum, in dem brennbare Stäube, entzündbare Fasern oder brennbare flüchtige Flüssigkeiten, Gase, Dämpfe oder Gemische in Mengen in Luft anwesend sind oder sein können, die ausreichend sind, um explosive oder entzündbare Gemische zu bilden

3.14

Wärmestandfestigkeit

Temperatur, bei der ein Standardprüfstab unter Last um eine festgelegte Strecke nachgibt

Anmerkung 1 zum Begriff: Sie wird zur Bestimmung der Kurzzeit-Wärmefestigkeit verwendet.

3.15

untere Zündgrenze

LFL

(en: **lower flammability limit**)

minimale Brennstoffkonzentration eines Brennstoff-Luft-Gemischs, bei der eine Verbrennung mit Hilfe einer Zündquelle gezündet werden kann

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein Brennstoff-Luft-Gemisch ist brennbar, wenn eine Verbrennung durch eine Zündquelle eingeleitet werden kann. Die Hauptkomponente ist das Verhältnis oder die Zusammensetzung des Brennstoff-Luft-Gemischs. Ein Gemisch mit weniger als einer kritischen Brennstoffmenge, die als die **untere Zündgrenze** (LFL) oder mit mehr als einer kritischen Brennstoffmenge, die als reichhaltiges Gemisch oder obere Zündgrenze (UFL) bekannt ist, ist nicht entflammbar.

3.16

maximaler Betriebsdruck

maximaler Manometerdruck, festgelegt vom Hersteller einer Komponente oder eines Systems, bei dem diese für den Dauerbetrieb ausgelegt ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Der **maximale Betriebsdruck** wird in Pa angegeben.

Anmerkung 2 zum Begriff: Bezieht sich auf alle normalen Betriebszustände, sowohl stationäre Zustände wie auch transiente Zustände.

[QUELLE: IEC 60050-485, 485-17-04, geändert durch Ergänzung der Anmerkung 2 zum Begriff]

3.17

Minimalspannung

niedrigste ständige Spannung, die ein **Brennstoffzellen-Modul** entweder bei seiner Bemessungsleistung oder bei den maximal zulässigen Überlastbedingungen abgeben kann, je nachdem, welche Spannung niedriger ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Die **Minimalspannung** wird in V angegeben.

[QUELLE: IEC 60050-485, 485-13-01]

3.18

natürliche Belüftung

Bewegung von Luft und ihr Austausch durch Frischluft aufgrund der Einflüsse von Wind oder Temperaturgradienten oder beides

[QUELLE: IEC 60050-485, 485-09-17]

3.19

Leerlaufspannung

OCV

Spannung zwischen den Anschlüssen eines **Brennstoffzellen-Moduls**, wenn Brennstoff und Oxidationsmittel vorhanden sind und kein äußerer Strom fließt

Anmerkung 1 zum Begriff: Die **Leerlaufspannung** wird in V angegeben.

[QUELLE: IEC 60050-485, 485-13-02]

3.20

Stückprüfung

Konformitätsprüfung jeder einzelnen Betrachtungseinheit während oder nach der Fertigung

[QUELLE: IEC 60050-151, 151-16-17]

Anmerkung 1 zum Begriff: Nicht zu verwechseln mit „Konformitätsprüfung“ [IEC 60050-151:2001, 151-16-15]: Prüfung zur Konformitätsbewertung oder „Konformitätsbewertung“ [IEC 60050-151:2001, 151-16-14]: Systematische Untersuchung, inwieweit ein Produkt, ein Prozess oder eine Dienstleistung festgelegte Anforderungen erfüllt.

3.21

Normalbedingungen

vorgegebene Prüf- oder Betriebsbedingungen, um bei einer Prüfung reproduzierbare und vergleichbare Prüfergebnisse zu erlangen

[QUELLE: IEC 60050-485, 485-22-08]

3.22

Sicherheitsmaßnahmen

auf der Überwachung des technischen Prozesses basierende Wirkungen der Leiteinrichtung mit dem Ziel, Prozesszustände zu vermeiden, die zu einer **Gefährdung** des Personals oder zu einer Beschädigung der **Brennstoffzelle** oder ihrer Umgebung führen könnten

[QUELLE: IEC 60050-485, 485-09-15]

3.23

Sicherheitskleinspannung

SELV

Spannung unter Normal- und Einzelfehlerbedingungen, die die Werte der jeweiligen, in 4.2.8 aufgeführten Anwendungsnorm nicht überschreiten

3.24

thermisches Gleichgewicht

stabiler Temperaturzustand, angezeigt dadurch, dass zwischen zwei Messungen im Abstand von 15 min der Temperaturunterschied entweder weniger als 3 K (5 °F) oder 1 % der absoluten Betriebstemperatur beträgt, je nachdem, welcher Wert der höhere ist

3.25

Bauartprüfung

Typprüfung

Baumusterprüfung

Konformitätsprüfung an einem oder mehreren für die Produktion repräsentativen Prüfmustern

[QUELLE: IEC 60050-151, 151-16-16]

Anmerkung 1 zum Begriff: Nicht zu verwechseln mit „Konformitätsprüfung“ [IEC 60050-151, 151-16-15]: Prüfung zur Konformitätsbewertung oder „Konformitätsbewertung“ [IEC 60050-151, 151-16-14]: Systematische Untersuchung, inwieweit ein Produkt, ein Prozess oder eine Dienstleistung festgelegte Anforderungen erfüllt.

3.26

Normalbetrieb

Betrieb des **Brennstoffzellen-Moduls** unter den vom Hersteller festgelegten normalen Bedingungen, wie z. B. Umgebungsbedingungen, das entsprechende Gas oder Stromnetz innerhalb der angegebenen Toleranzen

3.27

Selbstentzündungstemperatur

AIT

niedrigste Temperatur (einer heißen Oberfläche), bei der unter spezifischen Versuchsbedingungen eine Entzündung eines brennbaren Gases oder Dampfes in Mischung mit Luft erfolgt

[QUELLE: IEC 60079-20-1, 3.3]

4 Anforderungen

4.1 Grundsätzliche Sicherheitsstrategie

Der Hersteller muss eine Risiko-Analyse in schriftlicher Form durchführen, um sicherzustellen, dass:

- a) alle vernünftigerweise vorhersehbaren **Gefährdungen**, gefahrbringenden Situationen und Ereignisse für die ganze voraussichtliche Lebensdauer des **Brennstoffzellen-Energiesystems** identifiziert wurden ([Anhang A](#), zeigt eine Auflistung typischer **Gefährdungen**);
- b) das Risiko aller dieser **Gefährdungen** aufgrund der Kombination der Wahrscheinlichkeit ihres Eintretens und ihres vorhersehbaren Schweregrads abgeschätzt wurde;
- c) die beiden Einflussfaktoren, die jedes dieser abgeschätzten Risiken beschreiben (Eintrittswahrscheinlichkeit und Schweregrad), beseitigt oder auf ein praktikables und akzeptables Gefährdungspotential gemindert wurden
 - 1) durch inhärent sichere Auslegung der Konstruktion und deren Verfahren, oder
 - 2) durch passive Kontrolle der Energiefreisetzungen ohne Gefährdung der Umgebung (z. B. durch Berstscheiben, Entlastungsventile, thermische Sicherungen) oder durch sicherheitsbezogene Regelfunktionen und
 - 3) für verbleibende Risiken, die nach 1) und 2) nicht eliminiert werden konnten, muss durch Vorsehen von Beschriftungen, Warnhinweisen oder Anforderungen an spezielle Ausbildung sichergestellt werden, dass die Maßnahmen von den Personen verstanden wurden, die sich im **Gefährdungsbereich** aufhalten.

Für die funktionale Sicherheit müssen die erforderlichen Sicherheitsebenen, die Leistungsebenen oder die Klasse der Kontrollfunktionen nach

- IEC 62061 (bzw. ISO 13849-1) für Anwendungen nach IEC 60204-1,
- IEC 60730-1 oder Normenreihe ISO 23550 für Anwendungen nach IEC 60335-1,
- IEC 61508 (alle Teile) für andere Anwendungen aus- und festgelegt werden.

Für die Erstellung der Fehleranalyse (FMEA – en: failure mode and effects analysis) und der Fehlerbaum-Analyse können folgende Normen als Leitlinien dienen:

- IEC 60812 [4];
- SAE J1739 [5];
- IEC 61025 [6].

Die Abschätzung muss folgende Risikofaktoren beinhalten:

- Stack- oder Modultemperatur;
- Stack- oder Modul- und/oder Zellspannung;
- Druck der druckbeaufschlagten Anlagenteile.

Zusätzliche **Gefährdungen** gemäß [Anhang A](#) müssen berücksichtigt werden, wenn sie für die Auslegung relevant sind und in diesem Fall abgedeckt sein müssen.

4.2 Konstruktionsanforderungen

4.2.1 Allgemeines

Das **Brennstoffzellen-Modul** muss nach einer Risikobewertung durch den Hersteller des **Brennstoffzellen-Moduls** konstruiert sein. Alle Teile müssen

- a) für die auftretenden Temperaturen, Drücke, Durchflussraten, Spannungen und Ströme, denen sie während ihres bestimmungsgemäßen Gebrauchs ausgesetzt sind, geeignet sein und
- b) den Reaktionen, Prozessen und anderen Bedingungen, denen sie bei bestimmungsgemäßem Gebrauch ausgesetzt sind, widerstehen.
- c) Die Qualitäten und Stärken der im **Brennstoffzellen-Modul** verarbeiteten Materialien, ihre Verbindungs- und Anschlusselemente und die Verfahren der Montage der verschiedenen Teile müssen so ausgewählt werden, dass sich bauartbezogene und betriebsbezogene Charakteristika nicht wesentlich während der zu erwartenden Lebensdauer und unter normalen Bedingungen des Einbaus und der Nutzung ändern. Alle Teile des **Brennstoffzellen-Moduls** müssen den mechanischen, chemischen und thermischen Bedingungen widerstehen können, denen sie während der Nutzung durch den Endnutzer normalerweise ausgesetzt sind.

Brennstoffzellen-Modul-Gehäuse müssen nach Eindringenschutzart **IEC 60529** ausgeführt sein. Das **Brennstoffzellen-Modul** muss den entsprechenden IP-Code tragen.

ANMERKUNG Eine keinen Schutz anzeigende IP00-Schutzart darf geeignet sein, wenn das Endprodukt ein Schutzgehäuse aufweist.

4.2.2 Verhalten bei normalen und anomalen Betriebsbedingungen

Das **Brennstoffzellen-Modul** muss derart hergestellt werden, dass es allen normalen Betriebsbedingungen nach Spezifikation des Herstellers ohne Schaden widersteht. Anomale Betriebszustände müssen nach [4.1](#) behandelt werden.

4.2.3 Leckagen

Abhängig von der Konstruktion können Leckagen brennbarer Gase auftreten (Prüfung siehe [5.3](#)). Die Gasleckrate unter normalen und anomalen Betriebsbedingungen des **Brennstoffzellen-Moduls** muss im Spezifikationsdokument enthalten sein, so dass der **Brennstoffzellen-Systemintegrator** die erforderliche Mindestkapazität des Belüftungssystems bestimmen kann (siehe [7.4.1 r](#)).

Der Fehlerzustand „Crossover“ innerhalb eines Stacks muss Bestandteil der Risikobewertung nach [4.1](#) sein. Abhängig vom Ergebnis der Risikobewertung müssen Maßnahmen zur Erkennung oder Verhinderung von „Brennstoff-Crossover“, z. B. eine „Zellspannungs-Überwachungseinrichtung“, nach der in [4.1](#) genannten Norm ergriffen werden, um die Anforderungen an die funktionale Sicherheit zu erfüllen.

Wenn ein Schutz gegen Crossover nicht Teil des **Brennstoffzellen-Moduls** ist, muss die Produktdokumentation alle Schutzeinrichtungen oder Betriebsverfahren beschreiben, die vom Systemintegrator zur Verfügung gestellt werden müssen.

ANMERKUNG Bezüglich der Klassifizierung von Gefährdungsbereichen ist **IEC 60079-10-1** zu beachten.

4.2.4 Druckbetrieb

Wenn **Brennstoffzellen-Module** gasdichte und druckbeaufschlagte Gehäuse beinhalten, müssen diese Gehäuse den nationalen Vorschriften entsprechen.

Bedingungen des Druckbetriebs, die zu gefährdenden Bedingungen außerhalb des Moduls führen können, müssen identifiziert werden (siehe 4.1), wobei die Informationen dem Systemintegrator übermittelt werden müssen.

ANMERKUNG Die folgenden Module haben besondere Eigenschaften:

PE-Brennstoffzellen-Module

Für die Auslegung von PE(Polymer-Elektrolyt)-**Brennstoffzellen-Stacks** ist der Druck ein signifikanter Auslegungsfaktor. Die Dimensionierung, die Auswahl von Materialien und die Herstellungsregeln eines PE-Brennstoffzellen-Stacks basieren primär auf den Anforderungen für ausreichende Festigkeit, Steifheit und Stabilität, um die statischen, dynamischen und/oder anderen Betriebscharakteristiken zu erfüllen. Beispielsweise treten bei einer Konstruktion, die koaxiale Druckkräfte verwendet, Lecks auf, bevor es zum Bruch kommt.

PAFC-Brennstoffzellen-Module

PAFC(en: phosphoric acid fuel cell)-Module werden üblicherweise bei atmosphärischem Druck betrieben.

MCFC-Brennstoffzellen-Module

Zum Druckbetrieb eines MCFC(en: molten carbonate fuel cell)-Energiesystems muss das MCFC-Modul in einem MCFC-Energiesystem integriert werden. Dieses MCFC-Energiesystem umfasst das Gehäuse für das MCFC-Modul und muss nach den anwendbaren nationalen und internationalen Bestimmungen und Normen für Drucksysteme ausgelegt sein.

Eine **Gefährdung** infolge des Drucks im MCFC-Modul kann ausgeschlossen werden, weil das Gehäuse den entsprechenden Rechts- und Verwaltungsvorschriften entspricht.

SOFC-Brennstoffzellen-Module

Falls der Druckbetrieb eines SOFC(en: solid oxide fuel cell)-Energiesystems vorgesehen ist, wird das SOFC-Modul in einem SOFC-Energiesystem integriert. Für diese Anwendung wird das SOFC-Modul von einem Druckkessel umschlossen sein, der nach den anwendbaren nationalen und internationalen Bestimmungen und Normen für Drucksysteme ausgelegt, hergestellt und ausgestattet ist.

4.2.5 Feuer und Entflammbarkeit

4.2.5.1 Allgemein

Das **Brennstoffzellen-Modul** muss mittels Vorkehrungen (z. B. Belüftung, Gasdetektoren, kontrollierte Oxidation, Betriebstemperaturen über der Selbstentzündungstemperatur usw.) derart geschützt werden, dass austretende Gase aus dem **Brennstoffzellen-Modul** oder innerhalb des **Brennstoffzellen-Moduls** keine explosiven Konzentrationen erreichen können.

Sind diese Schutzmaßnahmen Teil des **Brennstoffzellen-Moduls**, so muss das Schutzniveau den Anforderungen der einschlägigen Normen gemäß 4.1 entsprechen.

Sind diese Schutzmaßnahmen nicht Bestandteil des **Brennstoffzellen-Moduls**, müssen die Auslegungskriterien für solche Mittel (z. B. erforderliche Belüftungsintensität) vom Hersteller des **Brennstoffzellen-Moduls** bereitgestellt werden.

Komponenten und Materialien innerhalb klassifizierter entflammbarer Atmosphären müssen so beschaffen sein oder es müssen solche Materialien verwendet werden, dass eine Ausbreitung von Feuer und Entflammbarkeit außerhalb des **Brennstoffzellen-Moduls** vermieden wird. Die Materialien müssen nach ihrer Brennbarkeit so ausgewählt werden, dass ein bestehendes Feuer nicht unterstützt wird, nachdem elektrische Energie sowie Brennstoff- und Sauerstoffversorgung unterbrochen wurden. Dies muss durch eine Auswahl von geeigneten Materialien nach V 0, V 1 oder V 2 nach IEC 60695 nachgewiesen werden. Die entsprechenden Informationen gemäß der Prüfung nach IEC 60695 müssen in 7.4.1, aa) angegeben werden.

ANMERKUNG Die Selbstentzündungstemperaturen, die im Allgemeinen in Normen wie **IEC 60079-20-1** [7] genannt werden, sind Minimaltemperaturen, bei denen ein entflammbares Gasgemisch zünden kann. Die tatsächlichen Selbstentzündungstemperaturen können durchaus über diesen Werten liegen, abhängig von der Oberflächengeometrie, dem Material und den tatsächlichen Gasgemischen. Diese Anforderung bezieht sich auf eine Selbstentzündungstemperatur, die entflammbares Gas unter allen Bedingungen der ausgewählten Materialien und der ausgewählten Geometrie entzünden wird.

Die Anforderungen der Anwendungsnorm nach 4.1 bezüglich der „Wärme- und Feuerstandfestigkeit“ müssen beachtet werden.

4.2.5.2 Ausnahmen

Membrane oder andere Materialien innerhalb des **Brennstoffzellen**-Stackvolumens, die weniger als 10 % der gesamten **Brennstoffzellen-Modul**-Masse ausmachen, werden als geringfügige Menge bewertet und sind ohne Einschränkungen der Brandausbreitungsrate zulässig. Wenn solche Materialien genutzt werden, sind sie in der Produkt-Spezifikation aufzuführen, so dass der Systemintegrator dies berücksichtigen kann.

Wenn die tatsächliche Temperatur in einem Bereich des **Brennstoffzellen-Moduls**, wo brennbare Gemische auftreten können, höher ist als die Selbstentzündungstemperatur, führt die Leckage von Brenngas in das Oxidationsmittel oder umgekehrt zu unmittelbarer Oxidation des brennbaren Gases. Es ist daher offensichtlich, dass sich keine größeren Konzentrationen von explosiven Gasen ansammeln können.

Sobald die Temperatur solcher Hochtemperatur-**Brennstoffzellen** niedriger ist als die **Selbstentzündungstemperatur**, z. B. während der Inbetriebnahme, muss das **Brennstoffzellen-Modul** in einen sicheren Zustand überführt werden (z. B. durch Spülen), um eine gefahrbringende Situation zu vermeiden. Eine verzögerte Entzündungsprüfung kann angewandt werden, um zu beurteilen, ob eine gefahrbringende Situation eintreten könnte.

4.2.6 Sicherheitsmaßnahmen

4.2.6.1 Allgemeines

Der Ausfall eines Bauteils innerhalb eines Sicherheitssteuerungssystems (siehe 4.1 c)) muss ein kontrolliertes Abschalten des **Brennstoffzellen-Moduls** bewirken. Die Auslegung der sicherheitsrelevanten Bauteile muss den anwendbaren Normen in 4.1 entsprechen, um den notwendigen Grad der **Sicherheitsmaßnahmen** zu gewährleisten (Sicherheits-Integritäts-Level (SIL), Ausführungs-Level oder Klasse der Regel- bzw. Überwachungsfunktion).

ANMERKUNG Das kontrollierte Abschalten darf zeitverzögert erfolgen oder die Beendigung eines Betriebszyklus erlauben, wenn das unmittelbare Abschalten ein höheres Risiko darstellt als es ausschließt. Ein Beispiel kann der Ausfall eines Gasdetektors in einem Brennstoffzellen-Modul darstellen, das Notleistung zur Verfügung stellt.

4.2.6.2 Schutzmaßnahme zur Begrenzung der Gasleckage

Sofern Schutzmaßnahmen zur Erkennung und Begrenzung von Gasleckagen Teil des Moduls sind, muss der Grenzwert der Gasleckage, bei der die Schutzmaßnahme den Betrieb stoppt, vom Modulhersteller festgelegt werden, siehe 7.4.4.

4.2.7 Rohre und Verbindungen

4.2.7.1 Allgemeines

Rohrverschraubungen von brennbare Gase führenden Leitungen und Verbindungen müssen der Normenreihe ISO 23550 entsprechen. Alle anderen Verbindungen müssen geschweißt sein oder zumindest eine Dichtung mit einer definierten Dichtfläche nach Herstellerspezifikation aufweisen. Verbindungen, die in Brenngas- oder Sauerstoffleitungen verwendet werden, müssen entweder Klauen-/Bajonettverschlüsse,

Flanschstutzen oder Druckverschraubungen mit einer gegenüber der Einwirkung von Brenngasen widerstandsfähigen Dichtung sein.

Die inneren Oberflächen von Rohren müssen sorgfältig gereinigt werden, um lose Partikel zu entfernen, und die Enden von Rohren müssen sorgfältig entgratet werden, um Grate und Blockierungen zu entfernen.

Flexible Anschlüsse und zugehörige Verbindungen, die für den Transport gasförmiger Brennstoffe verwendet werden, müssen für diesen Einsatz geeignet sein. Wasserstoffleitungen müssen einer besonderen Betrachtung hinsichtlich Alterungsverhalten, Versprödung, Porosität etc. unterzogen werden.

ANMERKUNG Informationen zur Übereinstimmung mit verschiedenen Anforderungen können in folgenden Normen gefunden werden: ISO 37 [8], ISO 188 [9], ISO 1307 [10], ISO 1402 [11], ISO 1436 [12] and ISO 4672 [13].

4.2.7.2 Nichtmetallische Rohrsysteme

Rohre, Schläuche und Bauteile aus Polymeren und Elastomeren sind unter den folgenden Bedingungen zugelassen.

Es muss nachgewiesen werden, dass die Materialien über die gesamte Lebensdauer für die gleichzeitig auftretenden maximalen Betriebstemperaturen und -drücke geeignet sind, sowie mit anderen Materialien und Chemikalien, mit denen sie während des Betriebs und der Wartung in Kontakt kommen, verträglich sind. Die entsprechende Materialfestigkeit muss nach 5.3 und 5.4 nachgewiesen werden.

Komponenten aus Kunststoffen oder Elastomeren müssen vor mechanischer Beschädigung innerhalb des **Brennstoffzellen-Moduls** geschützt werden. Abschirmungen dürfen als geeignetes Mittel zum Schutz von Komponenten vor Ausfall rotierender Einrichtungen oder anderer mechanischer Geräte, die innerhalb der Einheit untergebracht sind, verwendet werden.

Alle Einbauräume, die Brenngas führende Komponenten aus Kunststoff oder Elastomeren enthalten, müssen gegen mögliche Überhitzung geschützt werden.

Ein Kontrollsystem muss die Brennstoffzufuhr unterbrechen, bevor die Temperatur brennstoffführender Komponenten höchstens 10 K unterhalb der niedrigsten **Wärmestandfestigkeit** der verwendeten Materialien erreicht hat. Dieses Kontrollsystem muss die Anforderungen nach 4.1 erfüllen.

Kunststoffe oder elastomere Materialien, die in Gefährdungsbereichen verwendet werden, müssen elektrisch leitfähig oder so konstruiert sein, dass die Bildung von statischer Ladung anderweitig verhindert wird, z. B. durch Begrenzung der Durchflussrate oder andere Maßnahmen. Kunststoffe oder elastomere Materialien mit unzureichender elastischer Leitfähigkeit dürfen nur in Bereichen verwendet werden, die nicht **Gefährdungsbereiche** sind.

4.2.7.3 Metallische Rohrsysteme

Metallische Rohrsysteme müssen sowohl für die gleichzeitig auftretenden maximalen Betriebstemperaturen und -drücke geeignet als auch mit anderen Materialien und Chemikalien, mit denen sie während des Betriebs und der Wartung in Kontakt kommen, verträglich sein. Metallische Rohrsysteme müssen ausreichendes mechanisches Widerstandsvermögen aufweisen. Entsprechende Materialfestigkeit muss nach 5.5 und 5.6 nachgewiesen werden.

Metallische Rohrsysteme müssen den Dichtheitsanforderungen nach 5.3 entsprechen.

Gebogene Rohre dürfen keinen Ausfall durch den Umformprozess begünstigen und müssen Folgendem entsprechen:

- Bögen dürfen ausschließlich mittels Biegeeinrichtungen und nach entsprechenden Verfahrensweisen hergestellt werden.
- Alle Bögen müssen glatt und frei von Knicken, Rissen oder anderen Anzeichen mechanischer Schädigung sein.

- Die Längsschweißnaht des Rohres muss nahe der neutralen Achse des Bogens sein.
- Der Innenradius eines Bogens darf den vom Rohrerhersteller angegebenen minimalen Radius nicht unterschreiten.

4.2.8 Elektrische Komponenten

Die elektrische System-Auslegung und der Aufbau sowie die Anbindung der elektrischen und elektronischen Anlagenteile einschließlich elektrischer Motoren und Gehäuse müssen den Anforderungen der dazugehörigen Anwendungsnormen entsprechen. Zum Beispiel:

- IEC 60335-1 (z. B. Wohnbau, Gewerbe und Kleinindustrie);
- IEC 60204-1 (z. B. Großindustrie);
- IEC 62368-1 (z. B. Telekommunikation);
- IEC 62040-1 (z. B. unterbrechungsfreie Stromversorgung).

Die Auswahl der geeigneten Anwendung wird in der technischen Spezifikation beschrieben.

Vom Konstrukteur der **Brennstoffzellen**-Einheit müssen folgende **Brennstoffzellen**-Spezifika beachtet werden:

- Restladung des **Brennstoffzellen**-Stacks;
- **Gefährdung** durch Energie zwischen den Zellen.

Der **Brennstoffzellen**-Systemintegrator muss über die Eignung der elektrischen Komponenten unter Umgebungsbedingungen sowie über die Bereiche der **Umgebungstemperatur** und Feuchte während Betrieb und Lagerung informiert werden (siehe 7.4.1 i)).

Für elektrische Bauteile, die vom Systemintegrator bereitgestellt werden, muss die technische Spezifikation für diese Bauteile, soweit es die Einhaltung dieser Norm betrifft, in die technische Dokumentation des Moduls aufgenommen werden.

Falls ein umschlossenes **Brennstoffzellen-Modul** unterhalb der Selbstentzündungstemperatur des verwendeten Brenngases betrieben wird und die Entzündungsgrenzen nach 5.13 nicht erfüllt werden, müssen die elektrischen Bauteile innerhalb des Gehäuses nach den Vorschriften für klassifizierte gefährdete Bereiche nach IEC 60079-10-1 ausgewählt werden.

4.2.9 Elektrische Anschlüsse und Verbindungen

Leistungsanschlüsse zu externen Stromkreisen müssen

- a) an ihren Anschlüssen ohne Selbstlockerungsmöglichkeit befestigt sein,
- b) so konstruiert sein, dass die Leiter nicht von ihren Anschlüssen abrutschen können,
- c) so konstruiert sein, dass ein guter Kontakt ohne Beschädigung der Leiter, durch die deren Funktionsfähigkeit beeinträchtigt wird, gewährleistet ist,
- d) gegen Verdrehen, Biegen oder dauernde Verformung während der normalen Befestigung der Leiter gesichert sein.

Verbindungen direkt an der **Brennstoffzelle** dürfen durch die Bedingungen im normalen Betrieb nicht nennenswert beeinträchtigt werden. Elektrische Anschlüsse des **Brennstoffzellen-Moduls** müssen die Anforderungen nach IEC 60352, IEC 60512-15 (alle Teile) und IEC 60512-16 (alle Teile) und die Anforderungen an elektrische Anschlüsse und Verbindungen in den Anwendungsnormen nach 4.2.8 erfüllen.

4.2.10 Aktive Teile

Die technische Dokumentation des Herstellers muss den Anwendungsnormen nach 4.2.8 entsprechen:

- a) zugängliche, nicht stromführende Metallteile, die nicht von anderen spannungsführenden Teilen getrennt sind, als denen, die die Anforderungen für **SELV** erfüllen durch
 - i. Basisisolierung bei einer Konstruktion der Klasse I (mit PE) oder
 - ii. verstärkte Isolierung bei einer Konstruktion der Klasse II;
- b) zugängliche Teile, die über **SELV** versorgt werden, wenn die Anforderungen an verstärkte Isolierung zwischen spannungsführenden Teilen (nicht **SELV**) und **SELV** nicht erfüllt sind;
- c) zugängliche aktive Teile, die eine **Gefährdung** durch hohen Stromfluss bei Kurzschlüssen darstellen.

Der **Brennstoffzellen**-Systemintegrator muss für den Schutz dieser aktiven Teile gegen elektrischen Schlag verantwortlich sein.

4.2.11 Isoliermaterialien und Spannungsfestigkeit

Die Auslegung aller Isolierungen des **Brennstoffzellen-Moduls** zwischen aktiven Teilen und nicht stromführenden Metallteilen muss den zutreffenden Normen nach 4.2.8 für elektrische Ausrüstungsteile auf der zutreffenden Spannungsebene entsprechen.

Die mechanischen Materialeigenschaften, die die Funktion, z. B. Druckbelastbarkeit, beeinflussen, müssen für Temperaturen von mindestens 20 K oder 5 % (es gilt der höhere Wert) oberhalb der im Normalbetrieb auftretenden Maximaltemperatur, aber nicht weniger als 80 °C, geeignet sein.

Die Überprüfung muss aufgrund der vom Materialhersteller bereitgestellten Materialeigenschaften und -merkmale erfolgen.

4.2.12 Schutzterdung/Potentialausgleich

Solange die zutreffenden Anwendungsnormen nach 4.2.8 nichts anderes spezifizieren, gilt Folgendes:

Zugängliche nicht stromführende Metallteile, die durch einen elektrischen Fehler möglicherweise stromführend werden und dadurch zu einem elektrischen Schlag oder zu einer **Gefährdung** durch elektrische Energie führen können, müssen die Anforderungen an eine Schutzterdung erfüllen oder an einem gemeinsamen Punkt zu einem Potentialausgleich verbunden werden, sofern für das System zutreffend.

Um einen guten elektrischen Kontakt zu gewährleisten, müssen diese Verbindungen gegen Korrosion geschützt werden. Sie müssen auch so konstruiert sein, dass die Leiter gegen Lockerung und Verdrehung gesichert sind und dass der Kontaktdruck dauerhaft gewährleistet ist.

Es darf zwischen metallischen Teilen, die den Potentialausgleich bilden, bei den erwarteten Betriebs-, Lagerungs- und Transportbedingungen keine elektrochemische Korrosion auftreten. Eine Vermeidung elektrochemischer Korrosion kann durch geeignete Beschichtungen oder Auflagen erreicht werden.

4.2.13 Stöße und Schwingungen

Die Stoß- und Schwingungsgrenzwerte, für die das **Brennstoffzellen-Modul** ausgelegt ist, müssen in der Dokumentation des Herstellers enthalten sein.

5 Typprüfungen

5.1 Allgemein

Die Typprüfungen müssen, um die erforderlichen Betriebsbedingungen zu erreichen, in einem Prüfumfeld, welches das erwartete **Brennstoffzellen**-System nachbildet, durchgeführt werden oder im **Brennstoffzellen**-System selbst. Insbesondere kann das Prüfumfeld zur Durchführung der Typprüfung „Normalbetrieb“ jene **Konditionierungs**-Einrichtung sein, die für das erstmalige Anfahren eines **Brennstoffzellen-Moduls** verwendet wird. Es wird empfohlen, die Prüfungen in der nachstehenden Reihenfolge durchzuführen. Die Prüfung der anomalen Bedingungen darf zerstörend sein.

5.2 Stoß- und Schwingungsprüfung

Das **Brennstoffzellen-Modul** muss nach den in der Dokumentation des Herstellers angegebenen Stoß- und Schwingungsgrenzwerten geprüft werden.

ANMERKUNG Möglicherweise wurden vom Hersteller keine Grenzwerte für Stoß- und Schwingungsbelastungen festgelegt; in diesem Fall werden keine Prüfungen gefordert.

Die Prüfbedingungen sind erfüllt, wenn der Prüfling den vom Hersteller festgelegten Stoß- und Schwingungs-Bedingungen ohne ersichtlichen Schaden widersteht. Nach der **Konditionierung** arbeitet der Prüfling wie vorgesehen.

5.3 Gasleckprüfung

5.3.1 Allgemeines

Diese Prüfung ist nicht anwendbar für solche Gasleckagen der **Brennstoffzellen-Module** mit

- Betriebstemperaturen über der **Selbstentzündungstemperatur** des brennbaren Gases (siehe 4.2.5) oder
- **Brennstoffzellen** innerhalb eines gasdichten Kessels, für den nachgewiesen wurde, dass er den anzuwendenden nationalen Rechts- und Verwaltungsvorschriften entspricht.

Wenn die Verwendung eines gesamten Stacks nicht praktikabel ist, darf auch ein Stack mit reduzierter, aber nach wie vor repräsentativer Zellenzahl verwendet werden. Die Leckrate muss nach dem Verhältnis der Zellenzahlen berechnet werden.

Die in 5.3.2 oder 5.3.3 beschriebene Verfahren sind anzuwenden.

5.3.2 Durchflussmesserverfahren

Das **Brennstoffzellen-Modul** muss so lange betrieben werden, bis es bei der maximalen Betriebstemperatur und Bemessungsstrom das **thermische Gleichgewicht** erreicht hat.

Nach Erreichen dieser Bedingungen wird der Betrieb beendet und das **Brennstoffzellen-Modul** kann gespült werden und die Gasanschlüsse werden geschlossen; die Temperatur des **Brennstoffzellen-Moduls** muss auf die niedrigste spezifizierte Betriebstemperatur oder darunter abgekühlt werden. Der Druck im **Brennstoffzellen-Modul** muss dann entweder mit dem Anodennennngas oder Inertgas (z. B. Helium, Stickstoff) kontinuierlich bis zum vom Hersteller festgelegten **maximalen Betriebsdruck** erhöht und für eine Minute konstant gehalten werden.

Der Eingangsdruck muss während der Messzeit für die Dichtheit stabil und unverändert bleiben. Die Gasleckrate muss mit einem Durchflussmesser, der am Eingang des **Brennstoffzellen-Moduls** oberhalb einer Überdruckeinrichtung angeordnet ist und eine Genauigkeit von 2 % aufweist, gemessen werden. Wenn Inertgas als Prüfgas verwendet wird, muss die Leckrate wie folgt korrigiert werden (siehe Anhang B):

$$R = \text{Leckrate des Brenngases/Leckrate des Prüfgases} \quad (1)$$

Dabei ist

$$R = (TGSG / FGSG)^{1/2} \quad (2)$$

und

TGSG das spezifische Gewicht des Prüfgases;

FGSG das spezifische Gewicht des Brenngases;

oder

$$R = (\mu_{\text{test}} / \mu_{\text{fuel}}) \quad (3)$$

Dabei ist

μ_{test} die absolute Viskosität des Prüfgases;

μ_{fuel} die absolute Viskosität des Brenngases.

Es müssen beide Formeln zur Berechnung von R verwendet werden, und der schlechteste Fall, d. h. der größere Wert, muss angegeben werden.

Die Gasleckrate einschließlich der Gasdurchflussrate durch die Überdruckeinrichtung muss angegeben werden.

Wenn die Überdruckeinrichtung wegen z. B. Hysterese oder Auslösedrucks nicht mitgeprüft werden kann, muss die gesamte Leckrate aus folgender Summe berechnet werden: Leckrate der Überdruckeinrichtung alleine beim maximalen Brenngasdruck plus die in dieser Prüfung gemessene Leckrate.

Die Gasleckrate, korrigiert auf Standardbedingungen und Gasart, multipliziert mit 1,5, muss der Gasleckrate, die in der Dokumentation angegeben wird, entsprechen (siehe 7.4).

ANMERKUNG Es wird erwartet, dass diese Information zur Berechnung der Ventilation an den Hersteller des Endprodukts weitergegeben wird.

5.3.3 Druckabfallmethode

Das Anodengas oder Helium muss auf den Stack bei einem Druck aufgebracht werden, der höher ist als der **maximale Betriebsdruck**. Anschließend muss das Gaseinlassventil geschlossen und der Druck für einen Zeitraum von 1 min überwacht werden. Der Anfangsdruck muss so hoch eingestellt werden, dass der Gasdruck am Ende der Prüfung nicht unter dem 1,1fachen des **maximale Betriebsdrucks** liegt. Die Leckrate dV/dt muss aus dem überwachten Druckabfall und dem gesamten Gasvolumen des Stacks und aller Rohre nach Gleichung (4) berechnet werden.

$$dV / dt = \frac{dp * V_{\text{tot}}}{dt * P_G} \quad (4)$$

$$dV/dt = (dp * V_{\text{tot}}) / dt * (P_{\text{ini}} - P_G)$$

$$dV/dt = ((P_{\text{ini}} - P_{\text{end}}) * V_{\text{tot}}) / (dt * (P_{\text{ini}} - P_G))$$

Dabei ist

- dp der überwachte Druckabfall
- V_{tot} das gesamte Gasvolumen des Stacks und aller Leitungen
- dt die Zeit, in der der Druckabfall gemessen wurde
- P_G das Druckniveau außerhalb des Stacks

Die berechnete Leckrate s wird auf die normierte Standard-Leckrate $(dV/dt)_{\text{st}}$ übertragen.

Dies geschieht nach der folgenden Gleichung:

$$(dV / dt)_{\text{st}} = (dV / dt) * \frac{P_{\text{ini}}}{P_s} * \frac{T_s}{T_{\text{ini}}} \quad (5)$$

Dabei ist

- P_{ini} der Gasdruck zu Beginn der Prüfung

- P_s der Standarddruck von 101 325 Pa
- T_s die Standardtemperatur von 273,15 K
- T_{ini} die Stacktemperatur zu Beginn oder am Ende der Prüfung, je nachdem, welcher Wert niedriger ist.

Wenn die Überdruckeinrichtung wegen z. B. Hysterese oder Auslösedrucks nicht mitgeprüft werden kann, muss die gesamte Leckrate aus folgender Summe berechnet werden: Leckrate der Überdruckeinrichtung alleine beim maximalen Brenngasdruck plus die in dieser Prüfung gemessene Leckrate.

Die Gasleckrate, korrigiert auf Standardbedingungen und Gasart, multipliziert mit 1,5, muss der Glasleckrate, die in der Dokumentation angegeben wird, entsprechen (siehe 7.4).

ANMERKUNG Es wird erwartet, dass diese Information zur Berechnung der Ventilation an den Hersteller des Endprodukts weitergegeben wird.

5.4 Normalbetrieb

Der **Normalbetrieb** muss unter normalen Bedingungen erfolgen, insbesondere

- im Bereich der Ausgangsleistung in Bezug auf Spannung und Strom;
- im Bereich der Wärmeenergieabgabe in Bezug auf Temperatur und Durchfluss des Kühlmediums (falls zutreffend);
- im Temperaturbereich des **Brennstoffzellenmoduls**;
- im Bereich der Kraftstoffzusammensetzung;
- im Bereich der Durchflüsse von Anoden- und Kathodenmedien;
- im Druckbereich der Anoden- und Kathodenflüssigkeiten;
- bei der Änderungsgeschwindigkeit der Ausgangsleistung.

Für die Typprüfung **Normalbetrieb** muss das **Brennstoffzellenmodul** unter Normalbedingungen, wie oben definiert, betrieben werden, bis **thermisches Gleichgewicht** erreicht ist.

Die nachstehenden Parameter müssen gemessen, und die Ergebnisse an der Dokumentation, wie in 7.4 festgelegt, aufgezeichnet werden:

- a) Spannung an den Anschlüssen des **Brennstoffzellenmoduls** bei Bemessungsstrom;
- b) Temperaturen (**Brennstoffzellen**-Stack, Oberfläche des **Brennstoffzellenmoduls**, Umgebung, die Messpunkte müssen angegeben werden);
- c) Brennstoffdruck (Pegel) innerhalb –5 % bis +5 % oder ± 1 kPa (es gilt der höhere Wert);
- d) Brennstoff-Verbrauchsrate innerhalb –3 % bis +3 %;
- e) Oxidationsmittel-Verbrauchsrate innerhalb –5 % bis +5 % (sofern zutreffend);
- f) Oxidationsmittel-Druck innerhalb –5 % bis +5 % oder ± 1 kPa (es gilt der höhere Wert, sofern zutreffend);
- g) Kühlmittel-Ein- und Auslasstemperatur (sofern zutreffend);
- h) Kühlmittel-Durchflussrate (sofern zutreffend);
- i) Kühlmittel-Ein- und Auslassdruck (sofern zutreffend);
- j) Brennstoff- und Oxidationsmittel-Differenzdruck bzw. ist aus 5.4 c) und 5.4 f) zu berechnen.

Die Bedingungen sind erfüllt, wenn sich alle Messwerte innerhalb der durch den Hersteller spezifizierten Messbereiche befinden.

5.5 Prüfung des zulässigen Betriebsdrucks

Das **Brennstoffzellen-Modul** muss bei maximaler oder minimaler Betriebstemperatur geprüft werden, abhängig davon, welche die kritischere ist.

Während dieser Prüfung dürfen die Brenngas- und Luftseite des **Brennstoffzellen-Moduls** miteinander verbunden werden, wenn sie im Normalbetrieb den gleichen Druck aufweisen. Wenn das **Brennstoffzellen-Modul** ein Kühlsystem enthält, darf dieses System gleichzeitig und in derselben Weise mit Überdruck geprüft werden.

Der Druck im **Brennstoffzellen-Modul** (sowohl Anoden- als auch Kathodenkanäle) muss kontinuierlich auf nicht weniger als den 1,3-fachen **zulässigen Betriebsdruck** erhöht und für die Dauer von mindestens einer Minute konstant gehalten werden.

Wenn das **Brennstoffzellen-Modul** ein Überdruckventil enthält, darf es entfernt oder blockiert werden.

Diese Prüfung darf während der Leckprüfung oder der Normalbetriebsprüfung durchgeführt werden, vorausgesetzt, dass die Prüfparameter erreicht werden können.

Wenn die Prüfbedingungen (Temperatur) nicht erreicht werden können, darf das **Brennstoffzellen-Modul** bei Umgebungstemperatur und mindestens dem 1,5-fachen **zulässigen Betriebsdruck** geprüft werden.

Es dürfen keine Risse, Brüche, dauernden Verformungen oder anderen physikalischen Schäden am **Brennstoffzellen-Modul** auftreten.

5.6 Überdruckprüfung des Kühlsystems

Diese Prüfung muss durchgeführt werden, wenn das Kühlsystem nicht während der Prüfung des **zulässigen Betriebsdrucks** geprüft wurde.

Das **Brennstoffzellen-Modul** muss sich auf der gleichen Temperatur wie bei der Prüfung des **zulässigen Betriebsdrucks** befinden.

Der Druck des Kühlsystems des **Brennstoffzellen-Moduls** muss auf das 1,3fache des **zulässigen Betriebsdrucks** des Kühlsystems erhöht und für eine Dauer von mindestens 10 min konstant gehalten werden.

Wenn die Prüfbedingungen (Temperatur) nicht erreicht werden können, muss das Kühlsystem bei **Umgebungstemperatur** und dem 1,5-fachen **zulässigen Betriebsdruck** des Kühlsystems geprüft werden.

Es dürfen keine Risse, Brüche, dauernden Verformungen oder anderen physikalischen Schäden am Brennstoffzellen-Modul auftreten. Wenn das System ein flüssiges Kühlmittel verwendet, dürfen während der Prüfung keine Kühlmittlecks auftreten.

5.7 Dauernde und kurzzeitige elektrische Bemessung

Wenn der Hersteller einen kurzzeitigen Bemessungsstrom angibt, muss das **Brennstoffzellen-Modul** beim Bemessungsstrom stabilisiert werden. Dann muss der Strom auf den angegebenen kurzzeitigen Bemessungswert erhöht und für die vom Hersteller spezifizierte Zeit gehalten werden.

Es dürfen keine Risse, Brüche, dauernden Verformungen oder anderen physikalischen Schäden am Brennstoffzellen-Modul auftreten.

5.8 Überdruckprüfung

Wenn das **Brennstoffzellen-Modul** eine Überdruckschutzeinrichtung enthält, muss der Druck Schritt für Schritt auf einen Wert über dem Schwellenwert der Überdruckeinrichtung erhöht werden. Wenn notwendig, muss für diese Prüfung der Eingangsdruckregler des **Brennstoffzellen-Moduls** deaktiviert oder überbrückt werden. Die Überdruckeinrichtung muss in Betrieb sein, was zu einer Verringerung des Drucks entsprechend der Kennwerte der Überdruckeinrichtung führt oder das **Brennstoffzellen-Modul** muss in einen sicheren Betriebszustand gemäß 4.1 versetzt werden.

Falls die Konstruktion vorsieht, dass es bereits zu Leckagen kommt, noch bevor Brüche auftreten, darf die Prüfung zerstörend sein und darf unter 5.13 durchgeführt werden. Die Prüfdaten müssen dem Systemintegrator gemeldet werden, ebenso alle sich daraus ergebenden **Gefährdungen**.

5.9 Isolationsprüfung (Prüfung der dielektrischen Durchschlagfestigkeit)

Die Isolationsprüfung für **Brennstoffzellen-Module** bis einschließlich 1 000 V Wechselspannung bzw. 1 500 V Gleichspannung muss nach IEC 62477-1, 5.2.3.4 unter den folgenden Bedingungen durchgeführt werden:

- bei Betriebstemperatur und unter Verwendung von Kühlmedien;
- wenn das **Brennstoffzellen-Modul** nicht auf Betriebstemperatur gehalten werden kann, muss die Prüfung bei der maximal zulässigen Temperatur durchgeführt werden, wobei diese Temperatur aufgezeichnet werden muss;
- auf dem fertig montierten **Brennstoffzellen-Modul**, getrennt von der Brennstoffversorgung und mit Spülgas gespült.

Die Ergebnisse müssen Folgendes erfüllen:

- die Konformitätskriterien nach IEC 62477-1 und
- der Leckstrom darf 1 mA multipliziert mit dem Verhältnis aus Prüfspannung zu Leerlaufspannung nicht überschreiten. Wenn dieser Wert nicht erreicht werden kann, müssen diese Prüfergebnisse an den Systemintegrator berichtet werden. Alle sich ergebenden **Gefährdungen** müssen vom Systemintegrator reduziert werden.

Die Isolationsprüfung für **Brennstoffzellen-Module** über 1 000 V Wechselspannung bzw. 1 500 V Gleichspannung ist wie folgt durchzuführen:

- die Isolationsprüfung muss bei Betriebstemperatur und mit Kühlmedium durchgeführt werden;
- wenn das **Brennstoffzellen-Modul** nicht auf Betriebstemperatur gehalten werden kann, muss die Isolationsprüfung bei der maximal zulässigen Temperatur durchgeführt werden. Diese Temperatur muss aufgezeichnet werden;
- sie muss sie an einem vollständig zusammengebauten **Brennstoffzellen-Modul**, das von der Brennstoffversorgung getrennt ist und mit Spülgas gespült wurde, durchgeführt werden;
- die Prüfspannung muss zwischen den aktiven Teilen und nicht stromführenden Metallteilen angelegt werden. Die Prüfung muss entweder mit Gleichspannung oder mit im Wesentlichen sinusförmiger Wechselspannung mit einer Frequenz zwischen 48 Hz und 62 Hz durchgeführt werden. Die Spannung muss gleichmäßig bis zum angegebenen Wert erhöht und für mindestens 5 s konstant gehalten werden.

Die Ergebnisse müssen Folgendes erfüllen:

- Es gibt keinen Ausfall der Isolierung. Der Leckstrom darf 1 mA multipliziert mit dem Verhältnis aus Prüfspannung zu Leerlaufspannung nicht überschreiten. Wenn dieser Wert nicht erreicht werden kann, müssen diese Prüfergebnisse an den Systemintegrator berichtet werden. Alle sich ergebenden **Gefährdungen** müssen vom Systemintegrator reduziert werden.

ANMERKUNG Abhängig von der endgültigen Anwendung kann eine Prüfdauer von mehr als 5 s erforderlich sein.

Die Prüfspannungen aus Tabelle 1 sind anzuwenden.

Tabelle 1 – Isolationsprüfung (Prüfung der dielektrischen Durchschlagfestigkeit)

Spalte 1 Leerlaufspannung	Spalte 2 Prüfspannung, AC und DC, für Prüfkreise mit Basisisolierung und Kreisen mit Schutztrennung		Spalte 3 Prüfspannung, AC und DC, für Prüfungen zwischen Stromkreisen und zugänglichen Oberflächen (nichtleitende oder leitende, aber nicht mit Schutzterde verbunden)	
	AC effektiv kV	DC kV	AC effektiv kV	DC kV
$1\sqrt{2}$ kV = 1,41 kV	2,25	3,2	5,0	7,1
$1,5\sqrt{2}$ kV = 2,12 kV	3,0	4,2	6,4	9,1
$3\sqrt{2}$ kV = 4,24 kV	5,25	7,4	11,2	15,8
$6\sqrt{2}$ kV = 8,4 kV	9,75	13,8	17,5	24,8
$10\sqrt{2}$ kV = 14,14 kV	15,75	22,3	34,0	48,1
ANMERKUNG Interpolation über alle Bereiche ist zulässig.				

5.10 Differenzialdruck-Prüfung

Für **Brennstoffzellen-Module**, deren Anoden- und Kathodenkanäle innerhalb des Moduls getrennt sind, ist diese Prüfung anwendbar. Das **Brennstoffzellen-Modul** muss die maximale oder minimale Betriebstemperatur haben, abhängig davon, welche die kritischere ist. Der Druck im **Brennstoffzellen-Modul** muss mit einem geeigneten Gas entweder auf der Anoden- oder der Kathodenseite kontinuierlich erhöht und für eine Dauer von nicht weniger als einer Minute auf mindestens dem 1,3-fachen des **maximal zulässigen Differenzdrucks** gehalten werden. Falls die Prüfbedingungen nicht erreicht werden können, darf das **Brennstoffzellen-Modul** bei **Umgebungstemperatur** und für einen Zeitraum von nicht weniger als 1 min mit mindestens dem 1,5-fachen des **maximal zulässigen Differenzdrucks** geprüft werden.

Die Leckrate muss gemessen werden, z. B. mit einem Durchflussmesser, entweder kontinuierlich während der Prüfung oder, wenn dies nicht möglich ist, vor und nach der Druckbeaufschlagung auf den **maximal zulässigen Differenzdruck**.

Es dürfen keine Risse, Brüche, dauernden Verformungen oder anderen physikalischen Schäden am **Brennstoffzellen-Modul** auftreten. Die Leckrate zwischen Anoden- und Kathodenseite darf sich nicht aufgrund dieser Prüfung erhöhen und muss innerhalb der Herstellerspezifikation für die bei der Prüfung herrschende Temperatur liegen. Die Messergebnisse nach der Druckbeaufschlagung dürfen von den Ursprungswerten um nicht mehr als die Genauigkeit und Wiederholpräzision der Instrumente und des Prüfaufbaus abweichen. Diese Prüfung darf entfallen, falls relevante Differenzdrücke aufgrund der Zellenauslegung nicht aufgebracht werden dürfen.

5.11 Gasleckprüfung (Wiederholung)

Das **Brennstoffzellen-Modul** muss nochmals auf Undichtigkeit geprüft werden ohne die vorangehende **Konditionierungs-Phase**, aber bei denselben Prüfbedingungen wie in 5.3 beschrieben.

Die Gasleckrate darf die vom Hersteller spezifizierte nicht überschreiten und darf nicht mehr als 10 % vom ursprünglichen Wert oder 5 cm³/min, je nachdem, welcher Wert höher ist, abweichen.

5.12 Normalbetrieb (Wiederholung)

Die Prüfung **Normalbetrieb** muss wie in 5.3 beschrieben wiederholt werden. Die aufgezeichneten Messwerte müssen innerhalb der nach 5.3 geforderten Bemessungsabweichungen liegen.

5.13 Prüfung der brennbaren Gaskonzentration

Diese Prüfung ist nur für geschlossene Systeme mit Spülverfahren und integrierter Belüftung zur Vermeidung von zündfähigen Konzentrationen anwendbar, bei denen die Betriebstemperatur unterhalb der **Selbstentzündungstemperatur** des brennbaren Gases liegt.

Solche Belüftung und Spülverfahren hängen von den spezifischen Eigenschaften und Anforderungen des **Brennstoffzellen-Moduls** ab. Diese Prüfung muss die maximale Konzentration an brennbarem Gas innerhalb des Modulgehäuses bei normalem Betrieb bestimmen.

Das **Brennstoffzellen-Modul** muss innerhalb des Nenntemperaturbereichs betrieben werden, bis sich **thermisches Gleichgewicht** einstellt. Die Prüfung muss beim Luftdruck der Prüfstation und in einem Bereich ohne nennenswerte Zugluft durchgeführt werden.

Das Gehäuse des **Brennstoffzellen-Moduls** muss mit der festgelegten Belüftungsdurchflussrate betrieben werden (siehe 7.4).

Es müssen vier Messungen in ausreichender Entfernung von der Spülöffnung oder den Austrittsorten durchgeführt werden, so dass sichergestellt ist, dass die brennbare Konzentration innerhalb des Gehäuses bestimmt wird und nicht jene der Quelle.

Die Prüfungen müssen fortgeführt werden, bis vier aufeinanderfolgende Messungen zeigen, dass der Anstieg der Konzentration brennbarer Gase den Mittelwert dieser vier Messungen um nicht mehr als 5 % übersteigt.

Das Zeitintervall zwischen den Messungen muss mindestens 30 min betragen.

Die Prüfung muss mindestens zweimal durchgeführt werden.

Die Prüfung gilt als bestanden, wenn die Konzentration der brennbaren Gase unter 25 % der **unteren Zündgrenze** liegt. Wenn die Konzentration 25 % der **unteren Zündgrenze** überschreitet, müssen Maßnahmen nach 4.2.8 angewendet werden.

5.14 Prüfung unter anomalen Betriebsbedingungen

5.14.1 Allgemeines

Der Zweck der Prüfungen unter anomalen Betriebsbedingungen besteht darin, nachzuweisen, dass anomale Betriebsbedingungen gemäß 4.1 nicht zu einer **Gefährdung** oder zu Schäden außerhalb des **Brennstoffzellen-Moduls** führen. Diese Prüfungen dürfen zerstörend sein und sollten nach den zerstörungsfreien Prüfungen durchgeführt werden. Diese Prüfungen können auch an Teilmodulen des **Brennstoffzellen-Moduls**, die Modellcharakter haben, durchgeführt werden. Die Reihenfolge dieser Prüfungen darf je nach Typ des **Brennstoffzellen-Moduls** unterschiedlich sein; die Reihenfolge muss entsprechend der steigenden Gefahr der Zerstörung der verschiedenen Prüflinge gewählt werden.

Die Prüfungen unter anomalen Betriebsbedingungen müssen in einem wie für die Prüfungen unter normalen Betriebsbedingungen verwendeten Prüfumfeld durchgeführt werden. Die Prüfeinrichtung darf entsprechend den zu erreichenden vorhersehbaren anomalen Betriebsbedingungen angepasst werden.

Während der Prüfungen unter anomalen Betriebsbedingungen muss die maximale Oberflächentemperatur des Prüflings aufgezeichnet werden. Wenn diese Temperatur höher ist als die unter Normalbedingungen, muss sie an den Hersteller des Endprodukts weitergegeben werden.

Das Verhalten des **Brennstoffzellen-Moduls** im Fehlerfall darf keine **Gefährdung** von Personen oder Schäden außerhalb **Brennstoffzellen-Moduls** bewirken (dargestellt für die verschiedenen anomalen Betriebsszenarien in 5.14.1 bis 5.14.7). Der Schutz vor anomalen Betriebsbedingungen kann entweder durch Aktivitäten der Sicherheitssteuerung des **Brennstoffzellen-Moduls** oder durch Schutzmechanismen innerhalb der Endnutzer-Anwendung erfolgen. Im letzteren Fall muss dies dokumentiert werden, um den Systemintegrator auf die Notwendigkeit und die Art der Schutzmaßnahmen hinzuweisen. Wenn ein Prüfling

während der Prüfung der anomalen Bedingungen beschädigt wird, müssen die nachfolgenden Prüfungen an einem anderen Prüfling, der die normalen **Typprüfungen** nach 5.3 bereits bestanden hat, durchgeführt werden.

Falls das **Brennstoffzellen-Modul** wegen einer Leistungsminderung (nicht sicherheitsbedingte Regelfunktion) abschaltet, ist die Prüfung zu wiederholen, wobei die nicht sicherheitsbedingte Regelfunktion umgangen werden muss, so dass die sicherheitsbedingte Regelfunktion den Prozess abschaltet, noch bevor eine **Gefährdung** eintritt.

5.14.2 Brennstoffmangel-Prüfung

Das **Brennstoffzellen-Modul** muss bei Nennleistung und bei normalen Betriebsparametern bis zum Erreichen stationärer Bedingungen betrieben werden. Um den Brennstoffmangel herbeizuführen, wird der Brennstofffluss nach dem schlimmsten Fall reduziert, der in einer Risikobewertung nach 4.1 bestimmt wurde. Das Zellspannungs-Überwachungssystem oder eine andere sicherheitsbedingte Regelfunktion muss ein Signal zur Einleitung einer Prozedur abgeben, die das **Brennstoffzellen-Modul** in einen sicheren Zustand führt, bevor ein gefährdender Zustand erreicht wird.

5.14.3 Sauerstoff-/Oxidationsmittelmangel-Prüfung

Das **Brennstoffzellen-Modul** muss bei Nennleistung und bei normalen Betriebsparametern bis zum Erreichen stationärer Bedingungen betrieben werden. Um den Sauerstoff-/Oxidationsmittelmangel herbeizuführen, wird der Oxidationsfluss nach dem schlimmsten Fall reduziert, der in einer vom Hersteller des **Brennstoffzellen-Moduls** durchgeführten Risikobewertung bestimmt wurde. Das Zellspannungs-Überwachungssystem oder eine andere sicherheitsbedingte Regelfunktion muss ein Signal zur Einleitung einer Prozedur abgeben, die das **Brennstoffzellen-Modul** in einen sicheren Zustand führt, bevor ein gefährdender Zustand erreicht wird.

5.14.4 Kurzschluss-Prüfung

Das **Brennstoffzellen-Modul** muss bei Nennleistung und bei normalen Betriebsparametern bis zum Erreichen stationärer Bedingungen betrieben werden. Dann muss ein Kurzschluss mit möglichst geringem Widerstand und möglichst geringer Induktivität zwischen dem Plus- und dem Minuspol des **Brennstoffzellen-Moduls** mit einem geeigneten Hochstromschalter hergestellt werden. Der Kurzschlussstrom und die -spannung müssen beide mittels geeigneter Mittel gemessen werden, beispielsweise mit vorgetriggerten Pulsstrom- und Pulsspannungs-Überwachungsgeräten, um beide Werte zu messen. Diese Daten und alle sich ergebenden **Gefährdungen** müssen dem Systemintegrator zur Verfügung gestellt werden.

Falls der Hersteller eine Schutzmaßnahme, z. B. Sicherung, Trennschalter (als Teil der technischen Dokumentation für den Systemintegrator) zur Vermeidung von **Gefährdungen** durch diesen Kurzschluss festgelegt hat. Diese Schutzmaßnahmen sind bei dieser Prüfung einzubeziehen.

Die Prüfung wird abgebrochen, wenn die Schutzmaßnahme funktioniert hat oder wenn die Temperatur, nach Erreichen eines Maximums, unter die maximal zulässige Temperatur der betroffenen Teile gefallen ist.

Die Kurzschluss-Prüfung darf an einem verkleinerten Modul mit einer entsprechenden Berechnung für das eigentliche Produkt durchgeführt werden.

5.14.5 Prüfung bei Ausfall/Reduzierung der Kühlung

Während des Betriebs unter stabilen Bedingungen, die vom Hersteller spezifiziert sind, und bei der vom Hersteller angegebenen maximal zulässigen Leistung muss der Kühlmittelfluss, wenn er vom Oxidationsmittel getrennt ist, unmittelbar gestoppt werden, um einen Ausfall des Kühlsystems zu simulieren. Das **Brennstoffzellen-Modul** wird betrieben:

- für die zulässige vom Hersteller angegebene Zeitdauer, nachdem die Kühlung abgeschaltet wurde, oder
- das **Brennstoffzellen-Modul** schaltet sich infolge Leistungsver schlechterung ab, bevor die zulässige Temperatur der Konstruktionsmaterialien erreicht wurde oder