

DIN EN 62282-8-102
(VDE 0130-8-102)
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 2018-08-15

Entwurf

Brennstoffzellentechnologien –
Teil 8-102: Energiespeichersysteme mit Brennstoffzellenmodulen im
Umkehrbetrieb –
Prüfverfahren zum Leistungsverhalten von Proton-Austausch-Membran-
Einzelzellen und -Stacks einschließlich Umkehrbetrieb
(IEC 105/678/CD:2018); Text Deutsch und Englisch

Fuel cell technologies –
 Part 8-102: Energy storage systems using fuel cell modules in reverse mode –
 Test procedures for proton exchange membrane single cell and stack performance including
 reversing operation
 (IEC 105/678/CD:2018); Text in German and English

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2018-06-15 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 69 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn dieser Norm ist ...

Inhalt		Seite
Nationales Vorwort.....		5
Einleitung		6
1 Anwendungsbereich		7
2 Normative Verweisungen		7
3 Begriffe und Symbole		7
3.1 Begriffe		7
3.2 Symbole.....		11
4 Allgemeine Sicherheitsbedingungen		13
5 Prüfumgebung		13
5.1 Allgemeines		13
5.2 Reversible PEM-Zelle.....		14
5.3 Geteilte reversible PEM-Zelle.....		14
5.4 Versuchsanordnung		15
5.4.1 Allgemeines		15
5.4.2 Brenngasregeleinrichtung		16
5.4.3 Oxidationsgasregeleinrichtung		17
5.4.4 Leistungsregeleinrichtung		17
5.4.5 Mess- und Datenerfassungseinrichtung.....		17
5.4.6 Sicherheitseinrichtung		17
5.4.7 Regeleinrichtung für mechanische Last		17
5.4.8 Gasdruckregeleinrichtung für die Brennstoff- und Oxidationsmittelelektrode		17
5.4.9 Prüfsystemregeleinrichtung		17
5.5 Parameterkontrolle und -messung		17
5.6 Messverfahren für TIP und TOP und Regelgenauigkeit		18
6 Messgeräte und Messverfahren.....		18
6.1 Allgemeines		18
6.2 Geräteunsicherheit		18
6.3 Empfohlene Messgeräte und Verfahren.....		19
6.3.1 Messgeräte und Messverfahren.....		19
6.3.2 Maßeinheiten.....		22
6.4 Referenzprüfbedingungen und Empfehlungen des Herstellers		22
6.4.1 Einschalt- und Abschaltbedingungen		22
6.4.2 Umfang der Prüfbedingungen		22
6.4.3 Stabilisierung, Initialisierungsbedingungen und stabiler Zustand		23
6.5 Datenerfassungsverfahren		23

7	Prüfverfahren und Berechnung der Ergebnisse.....	23
7.1	Allgemeines.....	23
7.2	Prüfung der Strom-Spannungs-Kennlinien (<i>i-V-Kennlinien</i>)	23
7.2.1	Zweck und Anwendungsbereich	23
7.2.2	Prüfverfahren	23
7.2.3	Nachbearbeitung der Daten	24
7.3	Beharrungszustandsprüfung	24
7.3.1	Zweck und Anwendungsbereich	24
7.3.2	Prüfverfahren	24
7.3.3	Nachbearbeitung der Daten	25
7.4	Beständigkeitsprüfung bei konstanter Last.....	25
7.4.1	Zweck und Anwendungsbereich	25
7.4.2	Prüfverfahren	25
7.4.3	Nachbearbeitung der Daten	25
7.5	Messung des Innenwiderstands (IR).....	25
7.5.1	Zweck und Anwendungsbereich	25
7.5.2	Prüfverfahren	26
7.6	Prüfung der Beständigkeit im Lastwechsel-Betrieb	27
7.6.1	Zweck und Anwendungsbereich	27
7.6.2	Prüfverfahren	27
7.6.3	Nachbearbeitung der Daten	27
7.7	Prüfung mit Druckbeaufschlagung	27
7.7.1	Zweck und Anwendungsbereich	27
7.7.2	Prüfverfahren	27
7.7.3	Nachbearbeitung der Daten	28
8	Prüfbericht	28
8.1	Allgemeines.....	28
8.2	Berichtspunkte.....	28
8.3	Beschreibung der Daten zur Prüfeinheit.....	28
8.4	Beschreibung der Prüfbedingungen.....	29
8.5	Beschreibung der Prüfdaten	29
8.6	Auswertung der Messunsicherheit.....	29
Anhang A (normativ)	Richtlinien für Prüfverfahren.....	30
A.1	Prüfungszweck und Anwendungsbereich	30
A.2	Prüfaufbau	30
A.3	Prüfung der Strom-Spannungs-Kennlinien (siehe 0)	30
A.3.1	Prüfeingangsparameter (TIP).....	30
A.3.2	Prüfausgangsparameter (TOP).....	31
A.3.3	Abgeleitete Größen	32

A.4	Beharrungszustandsprüfung (Unterabschnitt 0)	32
A.4.1	Prüfeingangparameter (TIP)	32
A.4.2	Prüfausgangparameter (TOP)	33
A.4.3	Abgeleitete Größen	33
Anhang B (normativ)	Formelsammlung	34
B.1	Leistung	34
B.2	Wirkungsgrad	34
Literaturhinweise		36

Bilder

Bild 1	– Schema einer reversiblen PEM-Zelle	14
Bild 2	– Schema einer geteilten reversiblen PEM-Zelle	15
Bild 3	– Schematische Darstellung einer vollständigen Prüfumgebung für eine PEM-Zelle	16
Bild 4	– Typisches Diagramm einer komplexen Impedanzauswertung	20
Bild 5	– Entwicklung der Zellenspannung im Verlauf der Zeit	26

Tabellen

Tabelle 1	– Symbole	11
Tabelle 3	– Geräteunsicherheit für jede zu messende Größe	19
Tabelle 4	– Parameter und Einheiten	22
Tabelle A.1	– Prüfeingangparameter (TIP) für die Prüfung der Strom-Spannungs-Kennlinien	31
Tabelle A.2	– Prüfausgangparameter (TOP) für die Prüfung der Strom-Spannungs-Kennlinien	31
Tabelle A.3	– Abgeleitete Größen für die Prüfung der Strom-Spannungs-Kennlinien	32
Tabelle A.1	– Prüfeingangparameter (TIP) für die Prüfung der Strom-Spannungs-Kennlinien	32
Tabelle A.2	– Prüfausgangparameter (TOP) für die Prüfung der Strom-Spannungs-Kennlinien	33
Tabelle A.3	– Abgeleitete Größen für die Prüfung der Strom-Spannungs-Kennlinien	33

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 105/678/CD:2018 „Fuel cell technologies – Part 8-102: Energy storage systems using fuel cell modules in reverse mode – Test procedures for proton exchange membrane single cell and stack performance including reversing operation“ (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 TC 105 „Fuel cell technologies“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet und den nationalen Komitees zur Stellungnahme vorgelegt.

Die 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 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.

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.

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.

**Brennstoffzellentechnologien –
Teil 8-102: Energiespeichersysteme mit Brennstoffzellenmodulen im
Umkehrbetrieb –
Prüfverfahren zum Leistungsverhalten von Proton-Austausch-Membran-
Einzelzellen und -Stacks einschließlich Umkehrbetrieb**

Einleitung

Diese Internationale Norm beschreibt Prüfverfahren für eine Einzelzelle und einen Stack (im Folgenden als „Zellen-/Stack-Einheit“ bezeichnet), die in einem Energiespeichersystem einzusetzen sind, das Protonen-Austausch-Membran-Brennstoffzellen (PEMFC) zusammen mit Protonen-Austausch-Membran-Elektrolyseuren für die Wasserelektrolyse (PEMWE) oder direkt Protonen-Austausch-Membran-Zellen (Re-PEM) verwendet.

PEMFC, PEMWE und Re-PEM sind in einer Vielzahl von Geometrien und Größen verfügbar. Als solche sind die Peripherien wie Stromabnehmer und Gasverteiler im Allgemeinen in jeder Zelle oder jedem Stack einzigartig und häufig in eine Zelle oder einen Stack integriert, um eine Einheit zu bilden. Zudem neigen sie dazu, einen wesentlichen Einfluss auf die Stromerzeugungseigenschaften der Zelle oder des Stacks zu haben. Diese Internationale Norm hat daher „Zellen-/Stack-Einbaueinheiten“ als Thema. Diese werden definiert als diejenigen Einheiten, die nicht nur eine Zelle oder einen Stack umfassen, sondern auch die Peripherien.

Ziel der Norm IEC 62282-8 ist die Entwicklung von Verfahren zur Prüfung des Leistungsverhaltens von Energiespeicher- und Puffersystemen basierend auf elektrochemischen Modulen (eine Kombination aus Elektrolyse und Brennstoffzellen, insbesondere regenerativen Brennstoffzellen) und unter Berücksichtigung der beiden Optionen Neuelektrifizierung und Stoff- (und Wärme-)Erzeugung für die nachhaltige Integration erneuerbarer Energiequellen.

IEC 62282-8 besteht unter dem allgemeinen Titel

Fuel cell technologies – Part 8: Energy storage systems using fuel cell modules in reverse mode aus den folgenden Teilen:

- **IEC 62282-8-101:** Fuel cell technologies – Part 8-101: Energy storage systems using fuel cell modules in reverse mode – Solid oxide single cell and stack performance including reversing operation
- **IEC 62282-8-102:** Fuel cell technologies – Part 8-102: Energy storage systems using fuel cell modules in 83 reverse mode - PEM single cell and stack performance including reversing operation
- **IEC 62282-8-103:** Fuel cell technologies – Part 8-103: Energy storage systems using fuel cell modules in reverse mode – Alkaline single cell and stack performance including reversing operation
- **IEC 62282-8-201:** Fuel cell technologies – Part 8-201: Energy storage systems using fuel cell modules in 87 reverse mode - Power-to-power systems – Performance
- **IEC 62282-8-202:** Fuel cell technologies – Part 8-202: Energy storage systems using fuel cell modules in reverse mode – Power-to-power systems – Safety
- **IEC 62282-8-301:** Fuel cell technologies – Part 8-301: Energy storage systems using fuel cell modules in reverse mode – Power-to-substance systems

Aus dem neu erwachsenden Industriebedarf und technischen Entwicklungsmöglichkeiten ergibt sich die Dringlichkeit, die Teile 8-101, 8-102 und 8-201 zusammen und so bald wie möglich in die Wege zu leiten. Diese Teile werden als Paket vorgelegt, um den Bedarf nach einem integrierten Ansatz bezüglich der Systemanwendung (d. h. einer Lösung zur Energiespeicherung) und deren grundlegenden einzelnen Bestandteile (d. h. Brennstoffzellen im Umkehrbetrieb) hervorzuheben.

Die Teile 8-103, 8-202 und 8-301 werden vorgeschlagen, können aber zu einem späteren Zeitpunkt in die Wege geleitet werden.

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil IEC 62282-8-102, bei dem es sich um eine Internationale Norm handelt, befasst sich mit PEM-Zellen-/Stack-Einbaueinheiten, Prüfsystemen, Messgeräten und Messverfahren sowie Prüfverfahren zur Prüfung des Leistungsverhaltens von PEM-Zellen und -Stacks im Brennstoffzellenbetrieb, bei der Elektrolyse und/oder im reversierbaren oder regenerativen Betrieb.

Diese Internationale Norm ist für den Datenaustausch bei kommerziellen Transaktionen zwischen den Herstellern von Zellen/Stacks und Systementwicklern oder für die Datenbeschaffung für eine Zelle oder einen Stack zu verwenden, um das Leistungsverhalten eines darauf aufgebauten Systems einzuschätzen. Anwender dieser Internationalen Norm dürfen aus den hier dargestellten Prüfungen diejenigen auswählen, die für ihre Zwecke geeignet sind.

2 Normative Verweisungen

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/TS 62282-1:2013 *Fuel cell technologies – Part 1: Terminology*

IEC/TS 62282-7-1 Ed.2: *Fuel cell technologies – Part 7-1: Test methods – Single cell performance tests for polymer electrolyte fuel cell (PEFC)*

ISO 4677-2: *Atmospheres for conditioning and testing -- Determination of relative humidity -- Part 2: Whirling psychrometer method*

ISO 8756: *Air quality – Handling of temperature, pressure and humidity data*

3 Begriffe und Symbole

3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

Zusätzlich zu den Begriffen aus den normativen Verweisungen, insbesondere aus der neuesten Version von **IEC/TS 62282-1** *Fuel cell technologies – Part 1: Begriffe*, müssen für die Anwendung dieses Dokuments die folgenden Begriffe gelten:

3.1.1

Anode

Elektrode (3.1.8), an der die Brennstoff-Oxidation (3.1.11) stattfindet

3.1.2

Katalysator

Substanz, die eine Reaktion beschleunigt (die Reaktionsrate steigert), ohne selbst verbraucht zu werden

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Katalysator senkt die Aktivierungsenergie einer Reaktion und sorgt damit für eine Steigerung der Reaktionsrate.

3.1.3

katalysatorbeschichtete Membran (CCM)

(in einer PEFC (3.1.24)) eine Membran, deren Oberflächen mit einer Katalysatorschicht (3.1.4) beschichtet sind, um die Reaktionszone der Elektrode (3.1.8) zu bilden

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe auch Membran-Elektroden-Einheit (MEA) (3.1.18).

3.1.4

Katalysatorschicht

an die beiden Seiten der Membran angrenzende poröse Oberfläche, die den Katalysator (3.1.2) enthält, typischerweise mit ionischer und elektrischer Leitfähigkeit

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Katalysatorschicht umfasst den Raum, innerhalb dessen die elektrochemischen Reaktionen stattfinden können.

3.1.5

Kathode

Elektrode (3.1.8), an der die Reduktion des Oxidationsmittels (3.1.23) stattfindet

3.1.6

Spannplatte (oder Druckplatte)

Rahmen, der dem Zusammenpressen der Zellkomponenten dient, um die elektrische Leitfähigkeit und Abdichtung sicherzustellen

3.1.7

Stromabnehmer

leitfähiger Werkstoff in einer Brennstoffzelle (3.1.12), der Elektronen von einer Anode (3.1.1) aufnimmt oder Elektronen zur Kathode (3.1.5) leitet

3.1.8

Elektrode

elektrischer Leiter (oder Halbleiter), durch den ein elektrischer Strom aufgrund einer elektrochemischen Reaktion in eine elektrochemische Zelle hinein- oder aus dieser hinausfließt

Anmerkung 1 zum Begriff: Eine Elektrode kann entweder eine Anode (3.1.1) oder eine Kathode (3.1.5) sein.

3.1.9

Elektrolyt

flüssiger oder fester Stoff mit beweglichen Ionen, die den Stoff ionenleitend machen

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Elektrolyt ist das wesentliche Unterscheidungsmerkmal zwischen verschiedenen Brennstoffzellentechnologien (z. B. Flüssigkeit, Polymer, Salzschnmelze, Festoxid) und bestimmt den nutzbaren Betriebstemperaturbereich.

3.1.10

Gasverteilerplatte

leitfähige Platte aus Metall, einem Werkstoff wie Graphit oder einem leitfähigen Polymer, das ein kohlenstoffhaltiger Verbundwerkstoff sein kann, mit integrierten Fließkanälen für die Versorgung mit Brennstoff (3.1.11) bzw. Oxidationsgas (3.1.23) und welche mit einer Elektrode (3.1.8) in elektrischem Kontakt steht

3.1.11

Brennstoff

Wasserstoff oder wasserstoffhaltiges Gas, das an der Anode (3.1.1) reagiert

3.1.12

Brennstoffzelle

elektrochemisches Gerät, das die chemische Energie eines Brennstoffs (3.1.11) und eines Oxidationsmittels (3.1.23) in elektrische Energie (Gleichstrom), Wärme und Reaktionsprodukte umwandelt

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Brennstoff und das Oxidationsmittel werden üblicherweise außerhalb der Brennstoffzelle gespeichert und der Brennstoffzelle nach Bedarf zugeführt.

3.1.13

Gasdiffusionselektrode (GDE)

Bestandteil auf der Seite der Anode (3.1.1) oder Kathode (3.1.5), der sämtliche elektrisch leitfähigen Elemente der Elektrode (3.1.8) enthält, d. h. die Gasdiffusionsschicht (3.1.14) und die Katalysatorschicht (3.1.4)

3.1.14

Gasdiffusionsschicht (GDL)

poröses Substrat, das zwischen der Katalysatorschicht (3.1.4) und der Gasverteilerplatte (3.1.10) als elektrischer Kontakt angeordnet ist und den Zustrom der Reaktanten in die Katalysatorschicht und den Abtransport der Reaktionsprodukte ermöglicht

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Gasdiffusionsschicht wird oft auch als poröse Transportschicht bezeichnet.

[QUELLE: IEC 62282-1:2013, 3.57]

3.1.15

Dichtung

Dichtungskomponente, die eine Leckage des Reaktionsgases aus einer Zelle verhindert

3.1.16

Innenwiderstand

ohmscher Widerstand in einer Brennstoffzelle (3.1.12) gemessen zwischen den Stromabnehmern (3.1.7), verursacht durch elektrische und ionische Widerstände der verschiedenen Bauteile (Elektroden, Elektrolyt, Gasverteilerplatten und Stromabnehmer)

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Begriff „ohmscher“ bezieht sich auf die Tatsache, dass die Beziehung zwischen dem Spannungsabfall und Strom linear ist und dem ohmschen Gesetz unterliegt.

3.1.17

begrenzende Stromdichte

maximale Stromdichte, die die Zelle unter einem vorgegebenen Satz Prüfbedingungen erreichen kann und bei der die Zell(en)spannung schlagartig auf nahezu null abnimmt

3.1.18

maximale Stromdichte

höchste vom Hersteller angegebene Stromdichte, die für eine kurze Zeit zulässig ist

3.1.19

Membran-Elektroden-Einheit (MEA)

Komponente einer Brennstoffzelle (3.1.12), üblicherweise PEFC (3.1.26), die aus einer Elektrolytmembran mit Gasdiffusionselektroden (3.1.13) auf jeder Seite besteht

3.1.20

minimale Zellenspannung

niedrigste zulässige Brennstoffzellenspannung, die vom Hersteller angegeben wird

3.1.21

maximale Zellenspannung

höchste zulässige Elektrolyseurspannung, die vom Hersteller angegeben wird

3.1.22

Quellenspannung (OCV)

Spannung zwischen den Anschlüssen einer Brennstoffzelle (3.1.12), wenn Brennstoff (3.1.11) und Oxidationsmittel (3.1.23) vorhanden sind und kein externer elektrischer Strom fließt

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Quellenspannung wird in V angegeben.

Anmerkung 2 zum Begriff: Wird auch als Leerlaufspannung bezeichnet.

3.1.23

Oxidationsmittel

Sauerstoff oder ein sauerstoffhaltiges Gas (z. B. Luft), der/das an der Kathode (3.1.5) reagiert

3.1.24

Reaktantenreinheit

Reinheit vom Oxidationsmittel und Wasserstoff im Oxidationsmitteltank oder Wasserstofftank

3.1.25

Polymerelektrolyt

polymeres Material mit beweglichen Ionen, die das Material ionenleitend machen

[QUELLE: 62282-1:2013, 3.34, modifiziert – „polymeres Material“ ersetzt „flüssiger oder fester Stoff“ und „das Material“ ersetzt „den Stoff“.]

3.1.26

Polymerelektrolyt-Brennstoffzelle (PEFC)

Brennstoffzelle (3.1.12), die ein Polymer mit Ionenaustauschfähigkeit als Elektrolyt (3.1.9) verwendet

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Polymerelektrolyt-Brennstoffzelle wird auch als Protonen-Austausch-Membran-Brennstoffzelle (PEMFC) und Festpolymer-Brennstoffzelle (SPFC) bezeichnet.

3.1.27

Polymerelektrolytmembran-Elektrolyseur

Elektrolyseur, der ein Polymer mit Ionenaustauschfähigkeit als Elektrolyt verwendet

3.1.28

Leistung

Energie je Zeiteinheit, berechnet durch Multiplikation der Spannung mit der Stromstärke

3.1.29

Leistungsdichte

Maß, das durch Division der Leistung durch die aktive Elektrodenfläche berechnet wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Einheit ist W/cm^2 .

3.1.30

Bemessungsstromdichte

maximale Stromdichte, die vom Hersteller der MEA (3.1.19) oder Einzelzelle (3.1.32) für den Dauerbetrieb angegeben wird

3.1.31

Bemessungsleistungsdichte

maximale Leistungsdichte, die vom Hersteller der MEA (3.1.19) oder Einzelzelle (3.1.32) für den Dauerbetrieb angegeben wird

3.1.32

Bemessungsspannung

minimale Zellenspannung, die vom Hersteller der MEA (3.1.19) oder Einzelzelle (3.1.32) für den Dauerbetrieb angegeben wird

3.1.33

Stöchiometrie

molares Verhältnis der Brennstoff- (3.1.11) oder Oxidationsmittel- (3.1.21) Gasflussmenge, die der Zelle zugeführt wird, zu derjenigen Menge, die für die chemische Reaktion erforderlich ist und aus dem Strom berechnet wird

3.1.34

reversible Protonen-Austausch-Membran-Zelle (RPEMC)

aus drei Funktionselementen bestehende Zelle: negative Elektrode, Protonen-Austausch-Membran-Elektrolyt und positive Elektrode

RPEMC können im Brennstoffzellenbetrieb (PEMFC) oder im Elektrolysebetrieb (PEMWE) verwendet werden.

3.1.35

PEM-Elektrolyseur (PEMWE)

im Elektrolysebetrieb, d. h. im umgekehrten Brennstoffzellenbetrieb, verwendete Protonen-Austausch-Membran-Zelle. Als Energiezufuhr wird Elektrizität verwendet

3.1.36

stabiler Zustand

Zustand einer Zellen-/Stack-Einbaueinheit, der stabil genug ist, dass jeder Regelparameter und die Ausgangsspannung oder der Ausgangsstrom der Einheit bezüglich Schwankungen innerhalb ihres Toleranzbereichs bleiben

3.1.37

Stack

besteht aus mehreren sich wiederholenden Einheiten. Üblicherweise werden zwei Endplatten (obere Platte und untere Platte) verwendet, um die Aufbringung einer Druckkraft auf alle sich wiederholenden Einheiten zu ermöglichen

3.1.38

Spülgas

nicht reagierendes Gas, das zur Abführung der im Brennstoffzellenbetrieb erzeugten Wärme oder des im Elektrolysemodus erzeugten O₂ durch die positive Elektrode fließt

Anmerkung 1 zum Begriff: Bei den Spülgasen handelt es sich üblicherweise um Stickstoff oder Luft.

3.1.39

Prüfeingangsparameter (TIP)

Parameter, deren Werte eingestellt werden können, um die Prüfbedingungen des Prüfsystems einschließlich der Betriebsbedingungen des Prüfobjekts festzulegen. TIP müssen steuerbar und messbar sein. TIP-Werte sind vor Durchführung der Prüfung bekannt. TIP können statisch oder variabel sein. Statische TIP bleiben konstant, während sich variable TIP während der Prüfung verändert werden

3.1.40

Prüfausgangsparameter (TOP)

Parameter, die die Antwort des Prüfsystems/Prüfobjekts als Ergebnis der Variation der TIP anzeigen. TOP-Werte sind vor Durchführung der Prüfung unbekannt und werden während der Prüfung gemessen. TOP müssen messbar sein

3.2 Symbole

Tabelle 1 zeigt die Symbole und Einheiten, die in dieser Internationalen Norm verwendet werden.

Tabelle 1 – Symbole (1 von 2)

Symbol	Definition	Einheit
A_{active}	Aktive Oberfläche der Zellen-/Stack-Elektrode(n)	m ²
a	Festgelegte Fehlergrenze aus der Spezifikation des Messgeräts	–
$q_{v,\text{neg}}$	Volumenstrom des Reaktanten der negativen Elektrode (NTP ^a)	m ³ /s
$q_{v,\text{pos}}$	Volumenstrom des Reaktanten der positiven Elektrode (NTP ^a)	m ³ /s
$q_{v,j}$	Volumenstrom der Reaktantenkomponente j (NTP ^a)	m ³ /s

Tabelle 2 (2 von 2)

I	Strom	A
J	Stromdichte	A/m ²
n	Anzahl der übertragenen Elektronen	–
N	Anzahl der Zellen in einer Reihenschaltung	–
p_{neg}	Absoluter Druck der negativen Elektrode	kPa
p_{pos}	Absoluter Druck der positiven Elektrode	kPa
P_{el}	Ausgangsleistung	W
P_{d}	Ausgangsleistungsdichte	W/m ²
t	Zeit	s
$T_{\text{neg,in}}$	Temperatur des Gases der negativen Elektrode am Zellen-/Stackeinlass	°C
$T_{\text{pos,in}}$	Temperatur des Gases der positiven Elektrode am Zellen-/Stackeinlass	°C
$T_{\text{neg,out}}$	Temperatur des Gases der negativen Elektrode am Zellen-/Stackauslass	°C
$T_{\text{pos,out}}$	Temperatur des Gases der positiven Elektrode am Zellen-/Stackauslass	°C
T_{cell}	Temperatur der Einzelzelle	°C
T_{av}	Durchschnittstemperatur des Stacks	°C
$U_{\text{gas,neg}}$	Gasnutzung an der negativen Elektrode (Brennstoffnutzung im Brennstoffzellenbetrieb)	–
$U_{\text{gas, pos}}$	Gasnutzung an der positiven Elektrode (Luftnutzung oder Sauerstoffnutzung)	–
V_{stack}	Spannung des Stacks	V
V_{cell}	Spannung der Einzelzelle	V
V_{av}	Durchschnittliche Spannung aller Zellen im Stack	V
V_{min}	Minimale Einzelzellenspannung	V
V_{max}	Maximale Einzelzellenspannung	V
F_{compr}	Auf die Zelle bzw. den Stack aufgebrachte Druckkraft	N
Q	Elektrische Ladung	C
$x_{i,\text{neg}}$	Stoffmengenanteil der Komponente i im Gasstrom der negativen Elektrode an der Zelle bzw. am Stack	% Stoffmengenanteil
$x_{i,\text{pos}}$	Stoffmengenanteil der Komponente i im Gasstrom der positiven Elektrode an der Zelle bzw. am Stack	% Stoffmengenanteil
$\eta_{\text{H}_2,\text{el}}$	Elektrischer Wirkungsgrad des Wasserstoffs	–
$\eta_{\text{H}_2,\text{produced}}$	Elektrischer Wirkungsgrad der Wasserstoffherzeugung	–
R	Widerstand	
ASR	Flächenbezogener Widerstand	m ²

^a NTP = Normaltemperatur und -druck: 0 °C und 101,325 kPa (absolut). Wenn nicht anders angegeben, wird NTP für den Durchfluss verwendet.

4 Allgemeine Sicherheitsbedingungen

Im Betrieb werden in einer PEM-Zelle oxidierende und reduzierende brennbare Gase eingesetzt. Diese Gase werden üblicherweise in Hochdruckbehältern gespeichert. Die PEM-Zelle selbst darf bei einem Druck oberhalb des Umgebungsdrucks eingesetzt werden.

Die Prüfer sind für Einholung und Befolgung aller anzuwendenden Sicherheitsvorschriften und allgemein gültigen Regeln der Technik in Bezug auf ihr Prüfsystem, die Einrichtung, die Brennstoffe (unter besonderer Beachtung komprimierter Gas) und die Abgase verantwortlich. Personen, die Prüfungen an PEM-Zellen durchführen, sollten hinsichtlich des Betriebs von Prüfsystemen und speziell in Sicherheitsverfahren unterwiesen und erfahren sein.

Während der Prüfungen müssen Werkstoffe verwendet werden, die für Gebrauch und Lagerung der Reaktionsgase geeignet sind. Lokale Sicherheitsvorschriften und Normen für den Umgang mit Wasserstoff sollten beachtet werden.

Dennoch können für die Durchführung der Versuchsprüfungen mehrere empirische Leitlinien für bewährte Verfahren gegeben werden, die bei der Ermittlung möglicher Gefährdungssituationen helfen können. Die Betriebsbedingungen der PEM-Zellen-/Stack-Einbaueinheit müssen gründlich überwacht werden, um Sicherheitsprobleme mithilfe eines geeigneten Notabschaltungssystems zu vermeiden.

- Gassensoren: Es wird empfohlen, in der Nähe des Prüfplatzes Gassensoren (insbesondere für H_2) zu platzieren, die an ein automatisches Notabschaltungssystem angeschlossen sind, welches die Brennstoffzufuhr zum Prüfplatz unterbricht, wenn Leckagen gefährlicher Gase gemessen werden.
- Schutzgas-Notversorgung: Für den Fall einer Notabschaltung wird der Einsatz einer Leitung mit einem reduzierenden Inertgas (d. h. Stickstoff) empfohlen, um die Seite der negativen Elektrode der PEM-Zellen-/Stack-Einbaueinheit zu spülen. Dies hilft dabei, entflammbare Reaktanten aus dem System zu entfernen und schützt gleichzeitig die negative Elektrode vor einer erneuten Oxidierung, die die Gasdichtheit der PEM-Zellen-Einbaueinheit beeinträchtigen könnte.
- Überwachung der Zellen-/Stackspannung: Eine niedrige Quellenspannung (OCV) ist unter Umständen ein Anzeichen für eine Gasleckage aus der Zellen-/Stack-Einbaueinheit. Während des Prüfbetriebs (mit geschlossenem Stromkreis) ist es ratsam, die Entladespannung der Zelle bzw. des Stacks zu überwachen und eine automatische Öffnung des Stromkreises zu implementieren, für den Fall, dass die gemessene Zellen-/Stackspannung außerhalb des vorher festgelegten Betriebsbedingungsfensters liegt.
- Am Oxidationsmittelauslass könnte auch ein Feuchtesensor verwendet werden, um einen Gasübertritt in der Zellen-/Stack-Einbaueinheit zu erkennen.
- Drucksensoren könnten auch helfen, die Überdrücke in der Zellen-/Stack-Einbaueinheit zu regeln und ein Versagen der Dichtheit zu verhindern.
- Bei der PEM-Zellen-/Stack-Einheit im Elektrolysebetrieb muss darauf geachtet werden, dass der erzeugte Wasserstoff angemessen gehandhabt wird. Die Reinheit des erzeugten Wasserstoffs und Sauerstoffs muss gemessen werden, um eine explosive Konzentration des Gemisches aus Wasserstoff und Sauerstoff zu verhindern.
- Diese Liste erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit oder Hinlänglichkeit bezüglich des sicheren Betriebs während Prüfungen. ISO/TR 15916 rät zwar zu „grundlegenden Betrachtungen für die Sicherheit der Wasserstoffsysteme“, jedoch müssen die Sicherheitserwägungen verpflichtend den lokalen rechtlichen Anforderungen entsprechen.

5 Prüfunggebung

5.1 Allgemeines

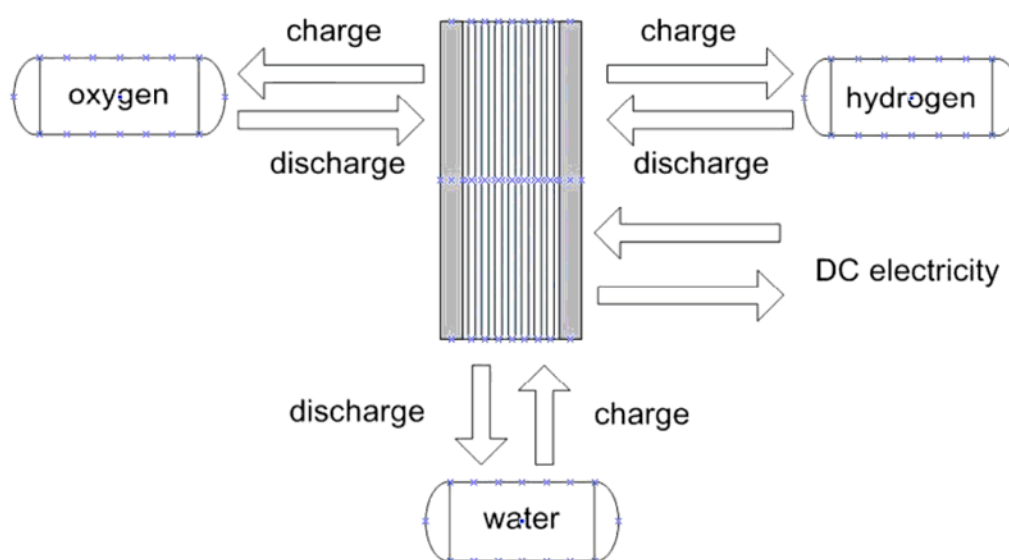
Die Prüfunggebung besteht aus dem Prüfobjekt (einer PEM-Zellen-/Stack-Einbaueinheit), das in der Versuchsanordnung befestigt ist. Die PEM-Zellen-/Stack-Einbaueinheit besteht aus einer Zelle oder einem Stack, einer Gasversorgung, Stromzuführungen und anderen Peripherien, die für Prüfungen der Energieerzeugung oder Lagerungsprüfungen erforderlich sind. Sie muss mit einzelnen oder mehreren Messpunkten für Temperatur und Spannung sowie mit einem Satz Stromzuführungspunkten ausgestattet werden, die alle vom Hersteller festzulegen sind.

Wenn die anderen Komponenten einer Zellen-/Stack-Einbaueinheit außer einer Zelle bzw. eines Stacks nicht vom Hersteller festgelegt sind, muss Folgendes im Prüfbericht beschrieben werden:

- zu prüfende Komponenten;
- Fließprofile und -richtungen vom Anoden- und Kathodengas;
- Stellen, an denen die Temperatur gemessen, die Last aufgebracht, die Spannung gemessen und Strom gewonnen wird;
- Größe der mechanischen Last;
- Konfiguration der Einbaueinheit und das Einbauverfahren.

5.2 Reversible PEM-Zelle

Bild 1 zeigt eine reversible PEM-Zelle als Baugruppe aus zwei Elektroden und dem PEM-Elektrolyt zwischen zwei Endplatten. Bei den Elektroden in der reversiblen PEM-Zelle handelt es sich um eine reversible Wasserstoffelektrode bzw. Sauerstoffelektrode.

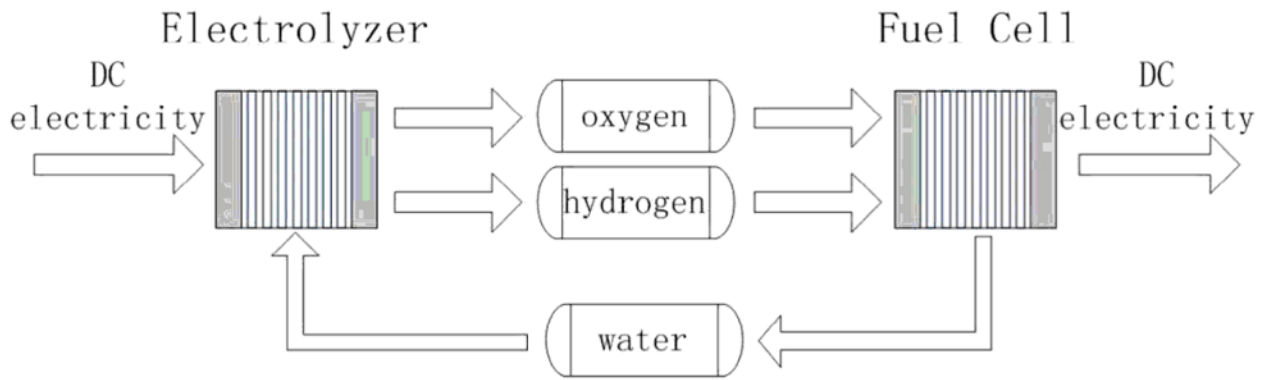


EN	DE
oxygen	Sauerstoff
charge	Laden
discharge	Entladen
hydrogen	Wasserstoff
DC electricity	Gleichstrom
water	Wasser

Bild 1 – Schema einer reversiblen PEM-Zelle

5.3 Geteilte reversible PEM-Zelle

Bild 2 zeigt das Schema einer geteilten reversiblen PEM-Zelle, bestehend aus einer Brennstoffzelle und einem Elektrolyseur, die durch einen Sauerstofftank, einen Wasserstofftank und einen Wassertank verbunden sind.



EN	DE
DC electricity	Gleichstrom
Electrolyzer	Elektrolyseur
oxygen	Sauerstoff
hydrogen	Wasserstoff
water	Wasser
Fuel cell	Brennstoffzelle

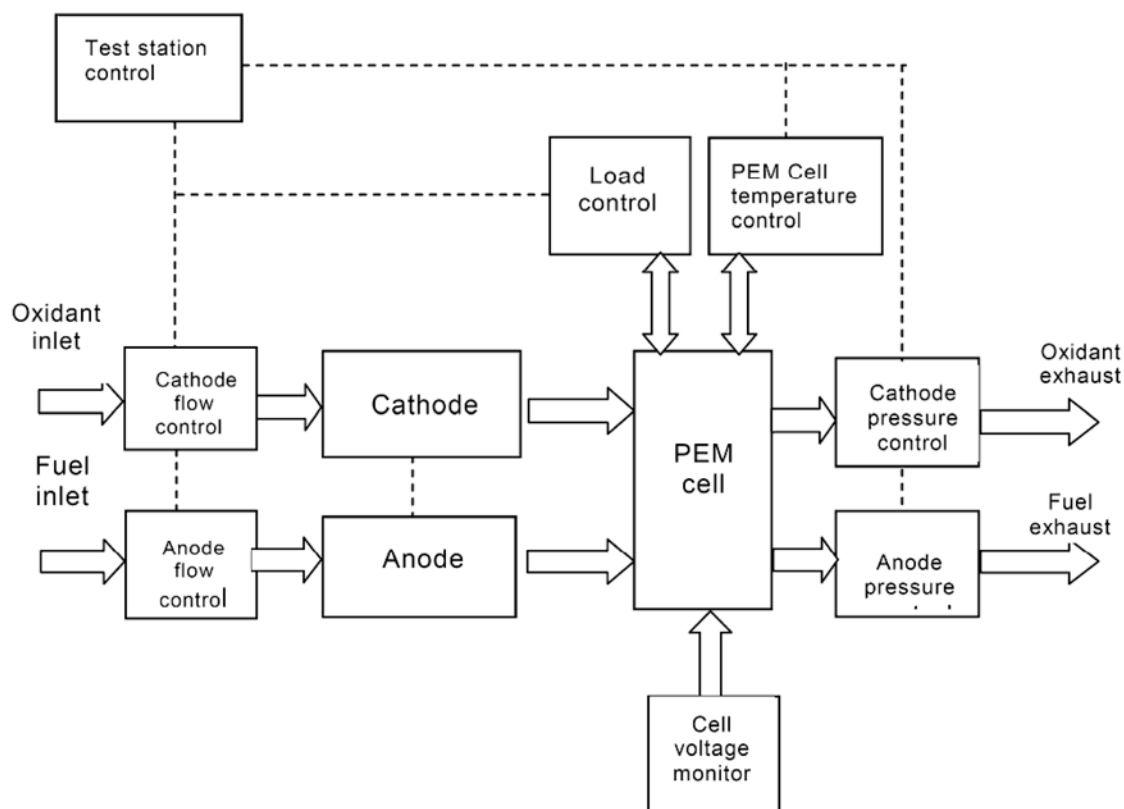
Bild 2 – Schema einer geteilten reversiblen PEM-Zelle

5.4 Versuchsanordnung

5.4.1 Allgemeines

Bild 3 zeigt eine vollständige Prüfumgebung, die aus der PEM-Zellen-/Stack-Einbaueinheit (Prüfobjekt) und der entsprechenden Prüf- und Regeleinrichtung – aufgeteilt in zwei verschiedene Teilsysteme – besteht. Das Prüfobjekt wird Prüfeingängen oder Betriebsbedingungen ausgesetzt und liefert Prüfausgänge oder Prüfergebnisse zum Objekt.

Bei der Betriebsart kann es sich um stationären Betrieb oder dynamische Betriebsbedingungen handeln.



EN	DE
Test station control	Versuchsstandregeleinrichtung
Oxidant inlet	Oxidationsmitteleinlass
Cathode flow control	Kathodenflussregelung
Fuel inlet	Brennstoffeinlass
Anode flow control	Anodenflussregelung
Cathode	Kathode
Anode	Anode
Load control	Lastregelung
PEM Cell temperature control	PEM-Zellen-Temperaturregelung
PEM cell	PEM-Zelle
Cell voltage monitor	Zellenspannungsüberwachung
Cathode pressure control	Kathodendruckregelung
Anode pressure	Anodendruckregelung
Oxidant exhaust	Oxidationsmittelauslass
Fuel exhaust	Brennstoffauslass

Bild 3 – Schematische Darstellung einer vollständigen Prüfumgebung für eine PEM-Zelle

5.4.2 Brenngasregeleinrichtung

Die Brenngasregeleinrichtung regelt den Durchfluss, die Zusammensetzung und die Temperatur des der Zellen-/Stack-Einbaueinheit zugeführten Brenngases.

5.4.3 Oxidationsgasregeleinrichtung

Das Teilsystem zur Oxidationsgasregelung regelt den Durchfluss, die Zusammensetzung und die Temperatur des der Zellen-/Stack-Einbaueinheit zugeführten Oxidationsgases.

5.4.4 Leistungsregeleinrichtung

Das Teilsystem zur Leistungsregelung regelt den Ausgangs-/Eingangsstrom oder die Ausgangs-/Eingangsspannung der Zellen-/Stack-Einbaueinheit.

5.4.5 Mess- und Datenerfassungseinrichtung

Die Mess- und Datenerfassungseinrichtung dient dem Erfassen und Aufzeichnen von Temperatur, Strom, Spannung, Brenngasflussmenge, Temperatur der Brenngaszusammensetzung, Oxidationsgasflussmenge, Temperatur der Oxidationsgaszusammensetzung und, optional, der Umgebungsbedingungen (Umgebungstemperatur, relative Feuchte und Atmosphärendruck) nach dem vorgeschriebenen Verfahren. Falls erforderlich, erfasst sie mit dem vorgeschriebenen Verfahren auch die auf die Zelle aufgebrachte mechanische Last, die Zusammensetzung und den Druck des Oxidationsgases, den Brenngasdruck, die Flussmenge, die Zusammensetzung, die Temperatur und den Druck von Brennstoff- und Oxidationsabgasen, Impedanzdaten der Zellen-/Stack-Einbaueinheit usw. und zeichnet diese auf. Die Brenngaszusammensetzung sollte aufgezeichnet werden, muss jedoch nicht in Echtzeit gemessen werden.

5.4.6 Sicherheitseinrichtung

Die Sicherheitseinrichtung muss aus Detektoren, Stellvorrichtungen und einem Alarmsystem zur Warnung bei Fehlfunktionen des Prüfsystems basierend auf zuvor festgelegten Parametern und Kriterien bestehen. Wenn sie einen schwerwiegenden Fehlzustand erkennt, muss sie das Prüfsystem automatisch in einen sicheren Zustand überführen. Der Brennstoff und das Oxidationsmittel sollten mit einem Inertgas wie Stickstoff gespült werden, das auch Wasserstoffbeimischungen unterhalb der unteren Zündgrenze enthalten kann.

5.4.7 Regeleinrichtung für mechanische Last

Die optionale Regeleinrichtung für mechanische Last regelt die mechanische Last, die aufgebracht wird, um den Kontakt zwischen den Komponenten in der Zellen-/Stack-Einbaueinheit zu erhöhen. Die Einrichtung sollte kräftig genug sein, um die unter den Prüfbedingungen erforderliche mechanische Last aufzubringen und diese im Langzeitbetrieb aufrechtzuerhalten.

5.4.8 Gasdruckregeleinrichtung für die Brennstoff- und Oxidationsmittelelektrode

Die optionale Gasdruckregeleinrichtung für Brenn- und Oxidationsgase regelt den Druck dieser Gase unter Verwendung eines Gegendruck-Regelventils usw.

5.4.9 Prüfsystemregeleinrichtung

Die Prüfsystemregeleinrichtung bietet integrierte Regelung für jede Regeleinrichtung und Datenerfassungseinrichtung.

5.5 Parameterkontrolle und -messung

Die relevanten Parameter für das Fluid am Zellen-/Stack-Einlass und/oder -Auslass sind

- Temperatur, T ;
- Durchfluss (Masse oder Volumen), q ;
- Druck, p ;
- Gaszusammensetzung, x .

Die elektrischen Schnittstellenparameter sind

- Zellen-/Stackstrom (ein übliches Synonym ist Stacklast), I ;

- Stackspannung, V_{stack} ;
- Spannung der Zelle oder der einzelnen sich wiederholenden Einheiten, V_{cell} oder $V_{\text{RU},i}$.

Die Wärmeschnittstellenparameter sind

- Wasseraustrittstemperatur, $T_{\text{water, out}}$;
- interne Zellen- oder Stacktemperatur, T_{cell} oder $T_{\text{stack, intern}}$.

Der mechanischen Schnittstellenparameter ist

- Zellen- oder Stack-Druckkraft, F_{compr} .

Idealerweise befindet sich die Position für die Einstellung/Überwachung der Eingangs-/Ausgangsparameter so nah wie möglich an der Grenze zwischen dem Prüfobjekt und der Versuchsanordnung.

5.6 Messverfahren für TIP und TOP und Regelgenauigkeit

Prüfeingangsparameter (TIP) sind regelbare/geregelte und messbare physikalische Größen, deren Werte eingestellt werden können, um die Prüfbedingungen des Prüfsystems einschließlich der Betriebsbedingungen des Prüfobjekts festzulegen. TOP, andererseits, sind messbare physikalische Größen, deren Werte durch die TIP-Werte beeinflusst werden. Die Bestimmung von *Präzision*, *Genauigkeit* und *Unsicherheit* von TIP- und TOP-Messungen ist ein umfassender Prozess, der über den Anwendungsbereich dieses Dokuments hinausgeht. Einzelheiten können dem ISO-Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen (GUM) entnommen werden.

- *Präzision* ist das Ausmaß der Übereinstimmung zwischen unabhängigen Messungen einer Größe unter den gleichen Bedingungen. Es handelt sich um ein Maß dafür, wie gut eine Messung ohne Bezug zu einem theoretischen oder wahren Wert durchgeführt werden kann, und hängt nur von der Verteilung der zufälligen Abweichungen ab.
- *Genauigkeit* ist das Ausmaß der Übereinstimmung zwischen einem gemessenen Wert und dem wahren Wert. Eine Abweichung ist die Differenz zwischen einem Messwert und dem wahren Wert der gemessenen Größe.
- *Unsicherheit* ist der Teil eines angegebenen Werts, mit dem der Wertebereich bezeichnet wird, innerhalb dessen der wahre Wert liegen soll. Eine Schätzung der Unsicherheit sollte sich mit Abweichungen durch alle möglichen Einflüsse (systematisch sowie zufällig) befassen und ist demnach das am besten geeignete Mittel zur Angabe der Genauigkeit von Ergebnissen.

Aus den obengenannten Definitionen geht deutlich hervor, dass die *Unsicherheit* der gemessenen Werte das am besten geeignete Mittel zur Angabe der TOP-Werte ist, während für TIP die *Regelgenauigkeit* (die üblicherweise messgerätspezifisch ist) angegeben werden sollte.

6 Messgeräte und Messverfahren

6.1 Allgemeines

Messgeräte müssen mindestens die Anforderung aus Abschnitt 6.2 erfüllen: die Flussmenge und Zusammensetzung der Brenn- und Oxidationsgase, die Spannung, der Strom und die Temperatur, der Zellen-/Stack-Einbaueinheit müssen gemessen werden. Zusätzliche Messungen müssen basierend auf den Prüfparametern und/oder Prüfbedingungen durchgeführt werden.

6.2 Geräteunsicherheit

Die in [Tabelle 3](#) aufgeführten Messparameter sollten mit einer Abtastrate aufgezeichnet und gespeichert werden, die schnell genug ist, um sicherzustellen, dass alle relevanten Änderungen der Parameter zur späteren Datenanalyse aufgezeichnet werden. Es wird empfohlen, dass die Frequenz der Abtastrate **1 Hz oder mehr** beträgt.

Die erweiterte Unsicherheit jedes Messgeräts (Erweiterungsfaktor $k = 2$, siehe GUM) zum Zeitpunkt der Kalibrierung oder die aus der Klasse des Messgeräts geschätzte Unsicherheit muss die folgenden Anforderungen erfüllen:

Tabelle 3 – Geräteunsicherheit für jede zu messende Größe

Symbol	Größe	Geräteunsicherheit
I	Strom	$\pm 1 \%$ bezogen auf den Nennwert
V	Spannung	$\pm 0,5 \%$ bezogen auf die Quellenspannung
T	Temperatur	$\pm 1 \%$ des abgelesenen Messwerts
$q_{\text{neg/pos, in/out}}$	Flussmenge	$\pm 2 \%$ des Nennwerts
x_i	Zusammensetzung	$\pm 2 \%$ Stoffmengenanteil für H_2 , H_2O und N_2 $\pm 1 \%$ Stoffmengenanteil für CO , CO_2 und CH_4
x_{O_2}	Zusammensetzung	$\pm 0,3 \%$ Stoffmengenanteil bezogen auf die O_2 -Konzentration (im Gleichgewicht mit N_2)
$p_{\text{neg/pos, in/out}}$	Druck	$\pm 1 \%$ des abgelesenen Messwerts

Jedes Messgerät muss hinsichtlich seiner letzte Kalibrierung, der Unsicherheit unter den Kalibrierbedingungen oder der aus der Klasse des Messgeräts geschätzten Unsicherheit und seiner Abhängigkeit von den Umgebungsbedingungen geprüft werden, um die Unsicherheit des Messgeräts zu schätzen. Das Verfahren und der Zyklus von Kalibrierung und Austausch müssen so ausgelegt sein, dass sichergestellt ist, dass die Messunsicherheit nicht erhöht wird.

6.3 Empfohlene Messgeräte und Verfahren

6.3.1 Messgeräte und Messverfahren

Die Messgeräte müssen entsprechend dem zu messenden Wertebereich ausgewählt werden. Die Messgeräte müssen regelmäßig kalibriert werden, um die in 6.3.1 beschriebene Messgenauigkeit einzuhalten. Alle Messgeräte müssen in Übereinstimmung mit den Anweisungen des Herstellers oder den relevanten nationalen oder internationalen Normen kalibriert werden.

6.3.1.1 Spannung

Ein Spannungsmessgerät muss mit den Gasverteilerplatten auf der Anoden- und Kathodenseite oder Stromabnehmern verbunden werden, um den Einfluss elektrischer Kontaktwiderstände zu minimieren. Die elektrischen Kontaktwiderstände zwischen den Anschlüssen des Spannungsmessgeräts und entweder der Gasverteilerplatte auf Anoden- und Kathodenseite oder den Ausgangsklemmen der Stromabnehmer an der Anode und Kathode sind zu messen und aufzuzeichnen, sofern sie nicht vernachlässigbar sind.

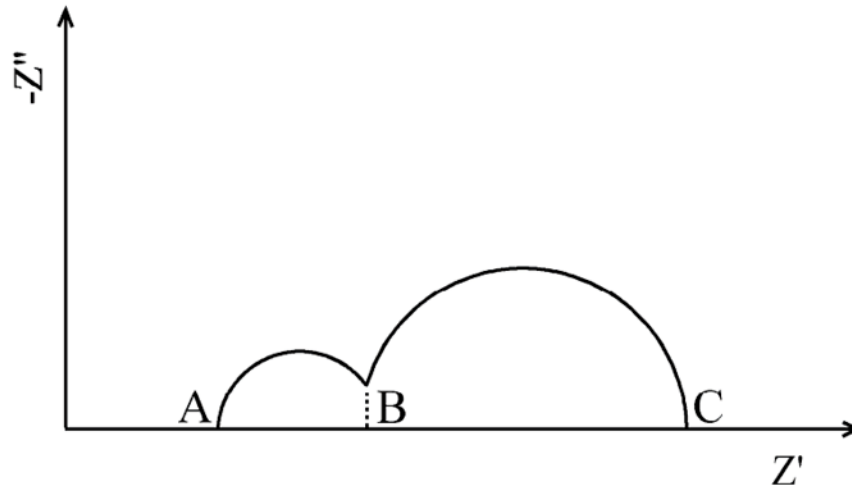
6.3.1.2 Strom

Ein Strommessgerät muss in dem Stromkreis der Zelle platziert werden. Das Strommessgerät darf ein niederohmiges Amperemeter sein oder ein kalibrierter Nebenwiderstand, der eine genau bekannte Spannung im Verhältnis zum fließenden Strom entwickelt. Der Strom darf auch durch die Nutzung der Eigenschaften einer elektronischen Last gemessen werden.

6.3.1.3 Innenwiderstand (internal resistance (IR))

Die empfohlenen Messverfahren für den Innenwiderstand (IR) sind das Stromunterbrechungsverfahren und die elektrochemische Impedanzspektroskopie (EIS).

Bild 4 zeigt ein typisches Diagramm der komplexen Impedanzauswertung. Der Schnittpunkt der realen Impedanzachse, im Allgemeinen zwischen 1 kHz und 20 kHz, wird durch den Punkt *A* wiedergegeben. Die am Punkt *A* gemessene oder darauf interpolierte Impedanz stellt den Innenwiderstand dar, der einer rein ohmschen Impedanz entspricht.



A: Endwert der hochfrequenten Impedanz

C: Endwert der niederfrequenten Impedanz

A–B: Bogenverlauf der hochfrequenten Impedanz

B–C: Bogenverlauf der niederfrequenten Impedanz

Z': Realteil der Impedanz

Z'': Imaginärteil der Impedanz

Bild 4 – Typisches Diagramm einer komplexen Impedanzauswertung

Bei der Auswahl der Frequenz ist darauf zu achten, dass die Impedanz keine imaginäre Komponente enthält. Die Frequenz des Milliohm-Widerstandsmessgeräts sollte angegeben werden.

Bei der Verwendung eines externen Wechselstromsignals parallel zu der Last sollte darauf geachtet werden, Interferenzen zu vermeiden.

Die Plus/Minus-Messleitungen dieser Messgeräte sind an die Ausgangsklemmen des Kathoden- bzw. Anoden-Stromabnehmers anzuschließen.

6.3.1.4 Elektrodengasflussmengen

Reaktanten- und Abgas-Durchflussmengen sind mit einem Volumenmessgerät, Massendurchflussmessgerät oder Turbinenradgaszähler zu messen. Sind diese Verfahren nicht durchführbar, wird der Einsatz von Düsen, Blenden oder Venturi-Rohren empfohlen. Ein Durchflussmessgerät muss vor dem Luftbefeuchter platziert werden.

Wenn ein Durchflussmessgerät einen Druckausgleich erfordert, muss der statische Druckmessanschluss unmittelbar vor dem zu korrigierenden Durchflussmessgerät platziert werden.

6.3.1.5 Elektrodengastemperatur

Für die direkte Temperaturmessung wird ein Thermoelement, ein Widerstandsthermometer mit Messumformer oder ein Thermistor empfohlen.

Der Temperaturfühler muss unmittelbar hinter der Einzelzelle angebracht werden. Es wird empfohlen, einen weiteren Messfühler unmittelbar vor der Einzelzelle anzubringen.

Sofern das Elektrodengas-Durchflussmessgerät einen Temperatenausgleich erfordert, muss der Messfühler für diese Korrektur unmittelbar vor dem Durchflussmessgerät angebracht werden.

6.3.1.6 Zelltemperatur

Für die direkte Temperaturmessung wird ein Thermoelement, ein Widerstandsthermometer mit Messumformer oder ein Thermistor empfohlen.

Der Temperaturfühler sollte so nahe wie möglich am Zentrum der aktiven Fläche der Kathode angebracht sein. Im Idealfall sollte er sich in der Mitte sowohl der kathodenseitigen als auch anodenseitigen Gasverteilerplatte befinden (siehe 5.5 sowie [Anhang A](#) für weitere Einzelheiten).

6.3.1.7 Elektrodengasdrücke

Zur Messung von Elektrodengasdrücken werden kalibrierte Druckmessumformer bevorzugt. Andere zulässige Verfahren schließen kalibrierte Überdruckmessgeräte, Überdruckmessgeräte mit Druckkompensation, Röhren-Federmanometer und andere Arten von Federmanometern ein.

Statische Druckmessanschlüsse müssen unmittelbar vor oder hinter der Einzelzelle angebracht sein. Elektrodengasdrücke dürfen entweder vor der Zelle (Eingangsdruckmodus) oder hinter der Zelle (Kondensatordruckmodus) geregelt werden.

Vor den Leistungsprüfungen ist sicherzustellen, dass die Verbindungsleitungen unter Betriebsbedingungen frei von Undichtigkeiten sind. Flüssiges Wasser in den Leitungen sollte vermieden werden.

Treten Druckschwankungen auf, sind geeignete Mittel zur Schwingungsdämpfung an einer wirksamen Stelle zu installieren.

Drücke sind als statische Drücke zu messen, wobei der Einfluss der Geschwindigkeit berücksichtigt und herausgerechnet werden muss.

6.3.1.8 Elektrodengasfeuchte

Zur Messung der Elektrodengasfeuchte in Abhängigkeit von der Brennstoff- und Oxidationsmitteltemperatur kann ein Taupunktspiegelhygrometer bzw. ein resistives oder kapazitives Absorptionshygrometer mit Aluminiumoxid oder Massepolymer eingesetzt werden.

Feuchte ist als Taupunkttemperatur oder relative Feuchte in % berechnet bei Brennstoffzellentemperatur anzugeben.

Ein Feuchtemessanschluss muss vor der Einzelzelle platziert oder ein Feuchtesensor kann in dem Reaktionsgas vor Prüfbeginn angeordnet werden. Falls Umgebungsluft oder synthetische Luft als Oxidationsmittel eingesetzt wird, ist der Taupunkt zu messen und aufzuzeichnen.

6.3.1.9 Umgebungsbedingungen

Es wird empfohlen, die Umgebungstemperatur, den Umgebungsdruck und die Umgebungsfeuchte zu messen und aufzuzeichnen.

Für die direkte Messung der Umgebungstemperatur werden Thermoelemente mit Messumformer oder ein Widerstandsthermometer mit Messumformer empfohlen.

Für die direkte Messung des Umgebungsdrucks wird ein Quecksilber-Barometer empfohlen.

Für die direkte Messung der Umgebungsfeuchte wird ein Hygrometer empfohlen.

6.3.1.10 Messung der Umgebungsbedingungen

Die Umgebungstemperatur, der Umgebungsdruck und die relative Umgebungsfeuchte müssen bei den Leistungsprüfungen gemessen werden. Die Abtastzeit muss dem in ISO 8756 festgelegten Wert entsprechen oder kürzer sein.