

	DIN EN IEC 62282-7-2 (VDE 0130-7-2)	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 2021-01-27

EntwurfVorgesehen als Ersatz für
DIN IEC/TS 62282-7-2
(VDE V 0130-7-2):2015-06

**Brennstoffzellentechnologien –
Teil 7-2: Prüfverfahren –
Prüfungen zum Nachweis des Einzelzellen- und Stackleistungsverhaltens von
Festoxid-Brennstoffzellen (SOFC)
(IEC 105/786/CDV:2020);
Deutsche und Englische Fassung prEN IEC 62282-7-2:2020**

Fuel cell technologies –
Part 7-2: Test methods –
Single cell and stack performance tests for solid oxide fuel cells (SOFC)
(IEC 105/786/CDV:2020);
German and English version prEN IEC 62282-7-2:2020

Technologies des piles à combustible –
Partie 7-2: Méthodes d'essai –
Essais de performance de cellule élémentaire et de pile pour les piles à combustible à oxyde solide
(SOFC)
(IEC 105/786/CDV:2020);
Version allemande et anglaise prEN IEC 62282-7-2:2020

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2020-11-27 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 85 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 IEC 62282-7-2:2020-03 "Brennstoffzellentechnologien – Teil 7-2: Prüfverfahren – Prüfungen zum Nachweis des Einzelzellen- und Stackleistungsverhaltens von Festoxid-Brennstoffzellen (SOFC)" (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 105/786/CDV:2020-03 "Fuel cell technologies – Part 7-2: Test methods – Single cell and stack performance tests for solid oxide fuel cells (SOFC)" unverändert in den Entwurf prEN IEC 62282-7-2:2020 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 IEC/TC 105 "Fuel cell technologies" der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet und unterliegt dem Copyright der IEC . Das Dokument wurde den nationalen Komitees zur Stellungnahme vorgelegt.

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 DKE/K 384 "Brennstoffzellen" der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

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

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

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

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

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

Änderungen

Gegenüber **DIN IEC/TS 62282-7-2 (VDE V 0130-7-2):2015-06** wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) In den Literaturhinweisen und den normativen Verweisungen wurden Anpassungen vorgenommen;
- b) IEC TS 62282-1:2013 wurde durch IEC 60050-485:2019 bzw. den Eintrag im IEV ersetzt.

**Brennstoffzellentechnologien – Teil 7-2: Prüfverfahren – Prüfungen zum Nachweis
des Einzelzellen- und Stackleistungsverhaltens von Festoxid-
Brennstoffzellen (SOFC)**

Inhalt

Seite

Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe und Symbole	6
3.1 Begriffe	6
3.2 Symbole	8
4 Allgemeine Sicherheitsanforderungen	9
5 Zellen-/Stack-Einbaueinheit	10
6 Prüfsystem	10
6.1 Teilsysteme des Prüfsystems	10
6.2 Höchste Abweichung der Regelgrößen des Prüfsystems	12
7 Messgeräte und Messverfahren	13
7.1 Allgemeines	13
7.2 Geräteunsicherheit	13
7.3 Anodengas	13
7.4 Kathodengas	15
7.5 Ausgangsspannung	16
7.6 Ausgangsstrom	17
7.7 Temperatur der Zellen-/Stack-Einbaueinheit	17
7.8 Mechanische Last	17
7.9 Gesamtimpedanz	17
7.10 Umgebungsbedingungen	17
8 Vorbereitung der Prüfung	17
8.1 Allgemeines	17
8.2 Normprüfbedingungen und Prüfbereich	17
8.3 Komponenten und Verunreinigungen von Anoden- und Kathodengas	18
8.4 Grundlagen der Durchführung der Prüfung	18
8.5 Nachweis der Alterungsbedingungen für die Zellen-/Stack-Einbaueinheit	18
8.6 Nachweis der Kriterien des stationären Zustands	18
8.7 Verfahren der Datenaufnahme	18
9 Durchführung der Prüfung	19
9.1 Prüfaufbau	19
9.2 Anfängliche Konditionierung	19
9.3 Abschaltung	19
10 Prüfung des Leistungsverhaltens	19
10.1 Prüfung der Bemessungsleistung	19
10.2 Prüfung der Strom-Spannungs-Kennlinie	20
10.3 Prüfung der Abhängigkeit der effektiven Brennstoffnutzung	21
10.4 Prüfung der Langzeitstabilität	22
10.5 Prüfung der Temperaturwechselbeständigkeit	23
10.6 Prüfung der internen Reformierleistung	24
10.7 Identifikationsprüfung der Widerstandskomponenten	24

11	Prüfbericht	26
11.1	Allgemeines	26
11.2	Berichtspunkte	26
11.3	Beschreibung der Daten der Prüfeinheit	26
11.4	Beschreibung der Prüfbedingungen	27
11.5	Beschreibung der Prüfdaten	27
11.6	Bestimmung der Messunsicherheit	27
	Anhang A (informativ) Beispiel für eine Zellen-Einbaueinheit	28
	Anhang B (informativ) Berechnung der effektiven Brennstoffnutzung	29
B.1	Berechnungsverfahren	29
B.2	Berechnungsbeispiele	30
B.2.1	Berechnung der Anodengaszusammensetzung und des Durchflusses	30
B.2.2	Berechnung des Durchflusses des zugeführten H ₂ und H ₂ O	30
	Anhang C (informativ) Berechnung der effektiven Sauerstoffnutzung	31
C.1	Berechnungsverfahren	31
C.2	Berechnungsbeispiele	31
	Anhang D (informativ) Größte Breite der Spannungshysterese bei der Prüfung der I-V-Kennlinie	32
	Anhang E (informativ) Prüfung der Strom-Spannungs-Kennlinie bei konstanter effektiver Brennstoffnutzung	33
	Anhang F (informativ) Prüfbericht (Vorlage)	34
F.1	Allgemeine Informationen	34
F.2	Beschreibung der Daten der Prüfeinheit	34
F.3	Prüfbedingungen	34
F.4	Prüfung der Bemessungsleistung	35
F.5	Prüfung der Strom-Spannungs-Kennlinie	35
F.6	Prüfung der Abhängigkeit der effektiven Brennstoffnutzung	36
F.7	Prüfung der Langzeitstabilität	36
F.8	Prüfung der Temperaturwechselbeständigkeit	37
F.9	Prüfung der internen Reformierleistung	38
F.10	Identifikationsprüfung der Widerstandskomponenten	38
	Anhang G (informativ) Verfahren zur Bestimmung der Fehlergrenze der Messgeräte	40
	Literaturhinweise	41
Bilder		
	Bild 1 — Prüfsystem	11
	Bild 2 — Für eine SOFC typische Darstellung der komplexen Impedanz	26
	Bild A.1 — Beispiel für eine Zellen-Einbaueinheit	28
	Bild D.1 — Spannungshysterese bei einer vorgegebenen Durchlaufrate bei der Prüfung der Strom-Spannungs-Kennlinie	32
	Bild E.1 — Beispiel für die Aufzeichnung der Prüfung der Strom-Spannungs-Kennlinie bei konstanter effektiver Brennstoffnutzung	33
Tabellen		
	Tabelle 1 — Symbole	9
	Tabelle B.1 — η_j für bestimmte Brennstoffe	30
	Tabelle B.2 — Anodengaszusammensetzung, Durchfluss jeder Brennstoffkomponente f_j und $\eta_j f_j$	30
	Tabelle C.1 — Kathodengaszusammensetzung f_{O_2} und I_{theory}	31

Einleitung

Diese Technische Spezifikation beschreibt Prüfverfahren für einzelne Zellen und Stacks (nachfolgend als Zelle/Stack bezeichnet), die in Stromerzeugungssystemen mit Festoxid-Brennstoffzellen (SOFC, Solid Oxide Fuel Cells) eingesetzt werden.

SOFC haben ein breites Spektrum an Bauformen und Größen. Daher sind Peripheriegeräte wie Stromabnehmer und Gasverteiler im Allgemeinen für jede Zelle oder jeden Stack einzigartig und werden oft mit einer Zelle oder einem Stack zu einer integrierten Einheit verbunden. Zudem neigen sie dazu, die Stromerzeugungseigenschaften der Zelle oder des Stacks erheblich zu beeinflussen. Diese Technische Spezifikation thematisiert daher „Zellen-/Stack-Einbaueinheit, die als jene Einheiten definiert sind, welche nicht nur eine Zelle oder einen Stack, sondern auch Peripheriegeräte enthalten.

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von IEC 62282, bei dem es sich um eine Technische Spezifikation handelt, befasst sich mit SOFC-Zellen-/Stack-Einbaueinheit, Prüfsystemen, Messgeräten und Messverfahren sowie Prüfverfahren zur Prüfung des Leistungsverhaltens von SOFC-Zellen und -Stacks.

Diese Technische Spezifikation gilt nicht für kleine Knopfzellen, die für SOFC-Materialprüfungen gedacht sind, und legt keine praktischen Mittel für die Messung der Brennstoffnutzung fest.

Diese Technische Spezifikation 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 Technischen Spezifikation dürfen aus den hier beschriebenen 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 60584-1, *Thermocouples – Part 1: EMF specifications and tolerances*

IEC 60584-3, *Thermocouples – Part 3: Extension and compensating cables – Tolerances and identification system*

IEC 61515, *Mineral insulated thermocouple cables and thermocouples*

IEC 60050-485:2019, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 485: Fuel cell technologies*

ISO 5168, *Measurement of fluid flow – Procedures for the evaluation of uncertainties*

ISO 6141, *Gas analysis – Requirements for certificates for calibration gases and gas mixtures*

ISO 6142, *Gas analysis – Preparation of calibration gas mixtures – Gravimetric method*

ISO 6143, *Gas analysis – Comparison methods for determining and checking the composition of calibration gas mixtures*

ISO 6145-7, *Gas analysis – Preparation of calibration gas mixtures using dynamic volumetric methods – Part 7: Thermal mass-flow controllers*

ISO 6974 (all parts), *Natural gas – Determination of composition with defined uncertainty by gas chromatography*

ISO 7066-2, *Assessment of uncertainty in the calibration and use of flow measurement devices – Part 2: Non-linear calibration relationships*

ISO 8573-1, *Compressed air – Part 1: Contaminants and purity classes*

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

ISO 12185, *Crude petroleum and petroleum products – Determination of density – Oscillating U-tube method*

3 Begriffe und Symbole

3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach IEC 60050-485 und die folgenden Begriffe.

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

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

3.1.1

Zellen-/Stack-Einbaueinheit

Einheit mit einer Einzelzelle oder einem Stack sowie Teilen der Gasversorgung, Teilen des Stromabnehmers und anderen Peripherien, wie für die Prüfungen der Stromerzeugung erforderlich

3.1.2

aktive Elektrodenfläche

geometrische Elektrodenfläche, auf der elektrochemische Reaktionen stattfinden

Anmerkung 1 zum Begriff: Normalerweise ist das die kleinere der Anoden- und Kathodenfläche.

3.1.3

Stromdichte

Stromstärke dividiert durch aktive Elektrodenfläche

3.1.4

mittlere Zellenspannung

Spannung der Zellen-/Stack-Einbaueinheit dividiert durch die Anzahl der in dieser Zellen-/Stack-Einbaueinheit in Serie geschalteten Einzelzellen

3.1.5

Normaltemperatur und -druck

NTP (en: normal temperature and pressure)

0 °C bzw. 101,325 kPa

3.1.6

Anodengas

das dem Anodeneingang der Zellen-/Stack-Einbaueinheit zugeführte Gas

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein solches Gas entspricht einer der folgenden Kategorien:

- a) Reinwasserstoff oder Gemisch aus Wasserstoff als Hauptkomponente mit Wasserdampf oder Stickstoff;
- b) reformiertes Gas aus Rohbrennstoff für die SOFC, wie Methan oder Kerosin, gemischt mit Wasserdampf oder Luft als Oxidationsmittel;
- c) simuliertes Gas aus Reformat, welches als Hauptkomponenten Wasserstoff, Wasserdampf, Kohlenmonoxid, Kohlendioxid, Methan, Stickstoff usw. enthält;
- d) Methan, Alkohole oder andere Rohbrennstoffe, die in Reinform oder mit Wasserdampf und/oder Luft gemischt zugeführt werden.

3.1.7

Kathodengas

das dem Kathodeneingang der Zellen- bzw. Stack-Einbaueinheit zugeführte Gas

Anmerkung 1 zum Begriff: Hauptbestandteile sind Sauerstoff und Stickstoff.

3.1.8

Stromabnehmer

leitfähiges Material in einer Brennstoffzelle, das Elektronen von der Anodenseite aufnimmt oder Elektronen zur Kathodenseite leitet

3.1.9

stationärer Zustand

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

3.1.10

theoretischer Strom

Strom, bei der das gesamte zugeführte Anoden- und Kathodengas in elektrochemischen Reaktionen verbraucht wird, dividiert durch die Anzahl der in Serie geschalteten Zellen

3.1.11

effektive Brennstoffnutzung

Verhältnis des tatsächlichen Ausgangsstromes der Zellen-/Stack-Einbaueinheit zum theoretischen Strom

Anmerkung 1 zum Begriff: Gründe für einen suboptimalen Strom können in Verlusten durch Elektronenleitung innerhalb der Zellen-/Stack-Einbaueinheit, in Gasverlusten oder Gasdurchbrüchen liegen.

Anmerkung 2 zum Begriff: Das Verfahren zur Berechnung der effektiven Brennstoffnutzung wird in [Anhang B](#) dargestellt.

3.1.12

effektive Sauerstoffnutzung

Verhältnis des tatsächlichen Ausgangsstromes der Zellen-/Stack-Einbaueinheit zum theoretischen Strom

Anmerkung 1 zum Begriff: Das Verfahren zur Berechnung der effektiven Sauerstoffnutzung wird in [Anhang C](#) dargestellt.

3.1.13

höchste effektive Brennstoffnutzung

höchste effektive Brennstoffnutzung, die mit der Einheit erreicht werden kann, ohne unvermeidbare Degradation zu verursachen

Anmerkung 1 zum Begriff: Die vertretbare Degradation wird normalerweise vom Entwickler angegeben.

3.1.14

Mindestspannung der Zellen-/Stack-Einbaueinheit

niedrigste Spannung der Zellen-/Stack-Einbaueinheit nach Herstellerangabe

3.1.15

Quellenspannung

(en: open circuit voltage (OCV))

Spannung zwischen den Anschlüssen einer Brennstoffzelle, wenn Kathoden- und Anodengas vorhanden sind und kein externer elektrischer Strom fließt

Anmerkung 1 zum Begriff: Wird auch als Leerlaufspannung bezeichnet.

3.1.16

Leistungsdichte

Verhältnis der Leistung zur aktiven Elektrodenfläche einer Zellen-/Stack-Einbaueinheit

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Leistungsdichte wird aus der Spannung durch Multiplikation mit der Stromdichte errechnet ($P_d = V \times J$ mit J als Stromdichte).

3.1.17

Gesamtimpedanz

frequenzabhängige Verluste durch ohmsche Verluste sowie Aktivierungs-, Diffusions- und Konzentrationseffekte

3.1.18

Gesamtwiderstand

Realteil der auf niedrige Frequenzen beschränkten Gesamtimpedanz, welcher der Steigung der Tangenten an der I - V -Kurve entspricht

3.1.19

stöchiometrisches Verhältnis

Verhältnis zwischen der Molzahl des pro Zeiteinheit fließenden Reaktandengases zu der für die elektrochemische Reaktion benötigten Molzahl

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Begriffe „stöchiometrisches Verhältnis“ und „Reaktionsgasnutzung“ stehen in gegenseitiger Beziehung. Der Reziprokwert des Anteils der Gasnutzung entspricht dem stöchiometrischen Verhältnis.

3.2 Symbole

[Tabelle 1](#) zeigt die in dieser Technischen Spezifikation verwendeten Symbole und Einheiten.

Tabelle 1 — Symbole

Symbol	Definition	Einheit
a	Fehlergrenze nach Spezifikation des Messgeräts	**
f_a	Durchfluss des Anodengases	l/min (NTP)
f_c	Durchfluss des Kathodengases	l/min (NTP)
f_j	Durchfluss der Brennstoffkomponente j im Anodengas	l/min (NTP)
I	Strom	A
J	Stromdichte	A/cm ²
n	Anzahl der übertragenen Elektronen	
N	Anzahl in Serie geschalteter Zellen	
p_a	Absolutdruck des Anodengases	kPa
p_c	Absolutdruck des Kathodengases	kPa
P	Ausgangsleistung	W
P_d	Leistungsdichte am Ausgang	W/cm ²
t	Zeit	s, min, h
T_{op}	Betriebstemperatur der Zellen-/Stack-Einbaueinheit	°C
u_l	kombinierte Standardunsicherheit für Messgeräte	**
$u_{l,i}$	Standardunsicherheit für Messgerät i	**
U_f	effektive Brennstoffnutzung	%
U_{O_2}	effektive Sauerstoffnutzung	%
U_l	erweiterte Messunsicherheit des Messgerätes	**
V	Spannung	V
x_j	normierter Stoffmengenanteil der Komponente i	% Stoffmengenanteil
x_j^*	nicht-normierter Stoffmengenanteil der Komponente i	% Stoffmengenanteil
ξ_j	Kohlenwasserstoff-Konversionsrate der Kohlenwasserstoffkomponente j	%
** Bezeichnet, wo Einheit abhängig von Spezifikation veränderlich ist.		

4 Allgemeine Sicherheitsanforderungen

Eine Brennstoffzelle nutzt im Betrieb oxidierende und brennbare Gase. Diese Gase werden üblicherweise in Hochdruckbehältern vorgehalten. Die Brennstoffzelle selbst darf bei einem Druck oberhalb des Atmosphärendruckes betrieben werden. Personen, die Prüfungen an Zellen-/Stack-Einbaueinheiten durchführen, müssen hinsichtlich des Betriebs von Prüfsystemen und speziell in Sicherheitsverfahren, die elektrische Ausrüstung und reaktive Druckgase beinhalten, unterwiesen und erfahren sein.

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.

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, Kohlenwasserstoffen und Kohlenmonoxid sollten beachtet werden.

Insgesamt erfordert der sichere Betrieb einer Prüfanlage geeignete technische Ausbildung und Erfahrung sowie sichere Anlagen und Ausrüstung, welche sämtlich nicht im Anwendungsbereich dieser Technischen Spezifikation liegen.

5 Zellen-/Stack-Einbaueinheit

Die Zellen-/Stack-Einbaueinheit besteht aus einer Zelle oder einem Stack, einer Gasversorgung, Stromzuführungen und anderen Peripherien, die für Prüfungen der Energieerzeugung erforderlich sind. Sie muss nach Herstellerangaben mit Einzel- oder Mehrfach-Messpunkten für Temperatur und Spannung sowie einer Reihe von Stromanschlusspunkten ausgerüstet werden.

Wie in [Anhang A](#) angegeben, verläuft die Systemgrenze einer Zellen-/Stack-Einbaueinheit durch die Anodengaszuführung, die Kathodengaszuführung, den Temperaturmesspunkt, die Stromzuführungspunkte, die Spannungsmesspunkte und die mechanischen Lastaufnahmepunkte.

Manche Zellen-/Stack-Einbaueinheiten haben möglicherweise aufgrund der Anordnung der Zellen keine Abgasöffnung für das Anoden- oder Kathodengas. In solchen Fällen muss das Gasströmungsfeldmuster und dessen Material durch die vom Hersteller empfohlene Methode bestimmt werden. Das Verfahren zur Lastaufbringung muss ebenfalls auf den Herstellerempfehlungen beruhen. Die nach Herstellerangabe höchste Betriebstemperatur darf nicht überschritten werden.

Falls die Komponenten einer Zellen-/Stack-Einbaueinheit mit Ausnahme der Zelle oder des Stacks nicht durch den Hersteller festgelegt sind, muss im Prüfbericht mindestens Folgendes angegeben werden:

- a) Materialien und Geometrie der für die Prüfung zu benutzenden peripheren Komponenten;
- b) Fließprofile und -richtungen des Anoden- und Kathodengases;
- c) Stellen für die Temperaturmessung, die Aufbringung der mechanischen Last, die Spannungsmessung und die Stromzuführungen;
- d) Größe der mechanischen Last;
- e) Konfiguration der Einbaueinheit und das Einbauverfahren.

6 Prüfsystem

6.1 Teilsysteme des Prüfsystems

6.1.1 Allgemeines

Wie in [Bild 1](#) dargestellt, besteht ein Prüfsystem aus folgenden Teilsystemen: Anodengasregelung, Kathodengasregelung, Temperaturregelung der Zellen-/Stack-Einbaueinheit, Regelung der Leistungsabgabe, Messung und Datenerfassung und Sicherheit. Falls nötig, darf es zusätzlich ein Teilsystem zur mechanischen Lastregelung, ein Teilsystem zur Druckregelung von Anoden- und Kathodengas und/oder ein Teilsystem zur Regelung des gesamten Prüfsystems enthalten.

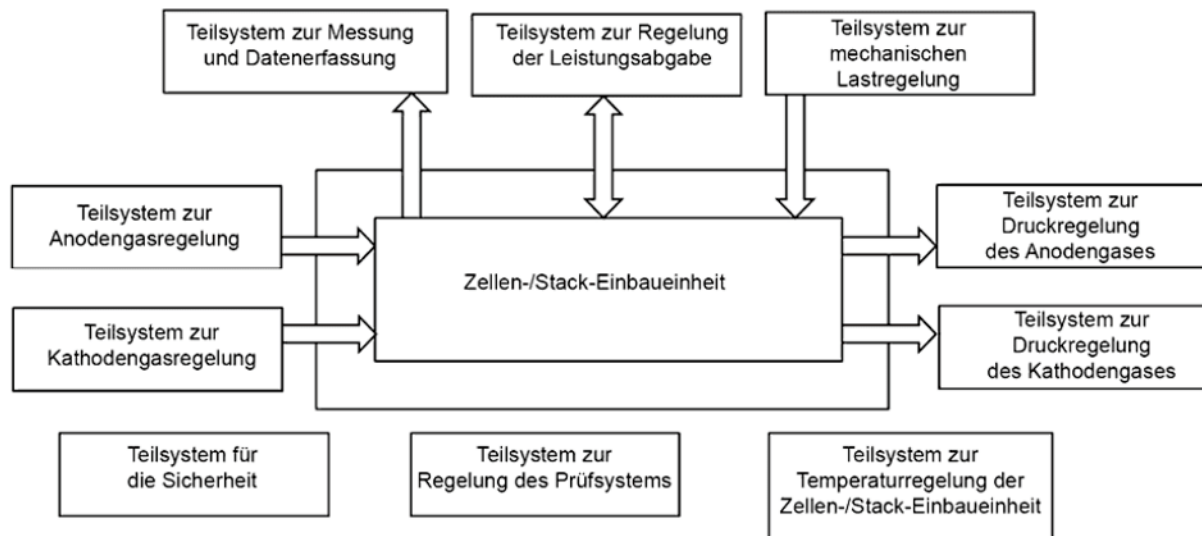


Bild 1 — Prüfsystem

6.1.2 Teilsystem zur Anodengasregelung

Das Teilsystem zur Anodengasregelung regelt den Durchfluss, die Zusammensetzung und die Temperatur des der Zellen-/Stack-Einbaueinheit zugeführten Anodengases. Wenn die Gaszusammensetzung in der gesamten Rohrleitung aufrechterhalten ist, müssen Material, Temperatur, Innendurchmesser und Länge der Rohrleitung beachtet werden. Wo notwendig muss die Rohrleitung beheizt und/oder wärmeisoliert werden, um die Kondensation von Wasserdampf zu verhindern.

Es sollte darauf geachtet werden, dass andere Erscheinungen wie Kohlenstoffablagerungen sowie Ausdampfungen und Transport unerwünschter Stoffe in den Gasströmen, wie z. B. Chrom, vermieden werden.

6.1.3 Teilsystem zur Kathodengasregelung

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

Es sollte darauf geachtet werden, dass andere Erscheinungen wie Kohlenstoffablagerungen sowie Ausdampfungen und Transport unerwünschter Stoffe in den Gasströmen, wie z. B. Chrom, vermieden werden.

6.1.4 Teilsystem zur Temperaturregelung der Zellen-/Stack-Einbaueinheit

Das Teilsystem zur Temperaturregelung der Zellen-/Stack-Einbaueinheit regelt mindestens die Temperatur der Elektroheizung oder der Einbaueinheit. Es hält die Betriebstemperatur aufrecht. Die Elektroheizung muss so ausgewählt werden, dass die Temperaturverteilung innerhalb der vorgeschriebenen Toleranzen bleibt. Es sollten Anstrengungen unternommen werden, um das elektrische Rauschen durch die Wärmelieferung der Elektroheizung so gering wie möglich zu halten. Aus Einfachheits- und Sicherheitsgründen wird angenommen, dass alle Prüfsysteme eine Elektroheizung nutzen.

6.1.5 Teilsystem zur Regelung der Leistungsabgabe

Das Teilsystem zur Regelung der Leistungsabgabe regelt den Ausgangsstrom oder die Ausgangsspannung der Zellen-/Stack-Einbaueinheit.

6.1.6 Teilsystem zur Messung und Datenerfassung

Das Teilsystem zur Messung und Datenerfassung erfasst und zeichnet die Temperatur, den Strom, die Spannung, die Anodengasfluss, die Kathodengasfluss der Zellen-/Stack-Einbaueinheit und optional die Umgebungsbedingungen (Umgebungstemperatur, relative Luftfeuchte und Atmosphärendruck) nach den vorgeschriebenen Verfahren auf. Falls erforderlich, erfasst und zeichnet es auch die auf die Zelle ausgeübte mechanische Belastung, die Temperatur, Zusammensetzung und den Druck des Anoden- und Kathodengases, den Durchfluss, die Zusammensetzung, Temperatur und Druck des Anoden- und

Kathodenabgases und die Impedanz der Zellen-/Stack-Einbaueinheit usw. nach dem vorgeschriebenen Verfahren auf .

6.1.7 Teilsystem für die Sicherheit

Das Teilsystem für die Sicherheit wirkt als Detektor und Alarmsystem für Fehlfunktionen des Prüfsystems basierend auf zuvor festgelegten Parametern und Kriterien. Wenn es einen schwerwiegenden Fehlzustand erkennt, muss es das Prüfsystem automatisch in einen sicheren Zustand überführen. Die Anode sollte mit einem Inertgas wie Stickstoff gespült werden, das auch Wasserstoff in Konzentrationen unterhalb der unteren Zündgrenze enthalten kann.

6.1.8 Teilsystem zur mechanischen Lastregelung

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

6.1.9 Teilsystem zur Druckregelung von Anoden- und Kathodengas

Das optionale Teilsystem zur Druckregelung von Anoden- und Kathodengas regelt den Druck dieser Gase mittels Gegendruckregelventil usw.

6.1.10 Teilsystem zur Regelung des Prüfsystems

Das Teilsystem zur Regelung des Prüfsystems bietet eine integrierte Regelung für jedes Regel-Teilsystem und Datenerfassungs-Teilsystem.

6.2 Höchste Abweichung der Regelgrößen des Prüfsystems

Die zulässige Abweichung der Regelgrößen im Prüfsystem muss innerhalb der folgenden Bereiche bleiben:

bei Stromregelung:	Strom: ± 1 % bezogen auf den Bemessungswert
bei Spannungsregelung:	Spannung: ± 1 % bezogen auf den Einstellpunkt
Temperatur:	$\pm 1,0$ % bezogen auf den Einstellpunkt

ANMERKUNG 1 Temperaturschwankungen am Einstellpunkt von weniger als ± 5 °C erhöhen die Reproduzierbarkeit.

Durchflüsse des Anoden- und Kathodengases:	± 1 % bezogen auf den Bemessungswert
Anodengaszusammensetzung:	$\pm 2,0$ % Stoffmengenanteil für H_2 , N_2 ; $\pm 2,0$ % Stoffmengenanteil für CO , CO_2 , CH_4 ; $\pm 5,0$ % Stoffmengenanteil für H_2O (Wasserdampfkonzentration)
bei Sprudler-/Sprinkler-Befeuchtung:	Taupunkttemperatur: ± 1 °C

ANMERKUNG 2 Ein Sprudlersystem (Sprühsystem) kann bei Wasserdampfkonzentrationen über 10 % Stoffmengenanteil eine höhere Unsicherheit verursachen.

Kathodengaszusammensetzung:	$\pm 1,0$ % Stoffmengenanteil des Sollwertes der O_2 -Konzentration
Falls Anoden- und Kathodengasdrücke zu regeln sind, Druck von Anoden- und Kathodengas:	± 1 % vom Bemessungsdruck, falls der Bemessungsdruck gleich oder größer als 0,3 MPa ist, und 3 kPa, falls der Bemessungsdruck kleiner als 0,3 MPa ist

7 Messgeräte und Messverfahren

7.1 Allgemeines

Messgeräte müssen den Anforderungen nach 7.2 genügen. Es müssen mindestens der Durchfluss und die Zusammensetzungen von Anoden- und Kathodengas, sowie Temperatur, Spannung und Strom der Zellen-/Stack-Einheit gemessen werden. Zusätzliche Messungen müssen basierend auf Prüfparametern und/oder Prüfbedingungen durchgeführt werden. Möglicherweise sind einige der in 7.3 oder 7.4 beschriebenen Größen nicht messbar, falls die Zellen-/Stack-Einbaueinheit keinen Anoden- oder Kathodenabgasöffnung besitzt.

7.2 Geräteunsicherheit

Die erweiterte Messunsicherheit jedes Messgerätes (Erweiterungsfaktor $k = 2$) muss zum Zeitpunkt der Kalibrierung oder nach Schätzung aus der Messgeräteklasse folgende Anforderungen erfüllen:

ANMERKUNG Der Erweiterungsfaktor ist in ISO/IEC Guide 98-3 definiert.

Strom:	$\pm 1 \%$ bezogen auf den Bemessungswert
Spannung:	$\pm 0,5 \%$ bezogen auf OCV
Temperatur:	$\pm 1,0 \%$ des abgelesenen Messwerts
Durchflüsse des Anoden- und Kathodengases:	$\pm 2 \%$ des Bemessungswertes
Druck von Anoden- und Kathodengas:	$\pm 1 \%$ des abgelesenen Messwertes
Anodengaszusammensetzung:	$\pm 2 \%$ Stoffmengenanteil für H_2 , H_2O und N_2 $\pm 1 \%$ Stoffmengenanteil für CO , CO_2 und CH_4
Kathodengaszusammensetzung:	$\pm 0,3 \%$ Stoffmengenkonzentration für O_2 (im Gleichgewicht mit N_2)

7.3 Anodengas

7.3.1 Anodengasfluss

Der Anodengasfluss muss mit Massendurchflussmessgeräten, Volumendurchflussmessgeräten oder Flügelrad-Durchflussmessgeräten gemessen werden. Bei der Auswahl des Durchflussmessgerätes müssen die im zugeführten Gas vorhandenen Spezies, der Bereich des Durchflusses und die zulässige Fehlergrenze des Messgerätes berücksichtigt werden. Falls die Messungen volumetrisch durchgeführt werden, müssen sie durch Messung der Gastemperatur und des Gasdruckes oder der Gasdichte in der Nähe des Durchflussmessgerätes auf den Massendurchfluss umgerechnet werden. Die Messunsicherheit für trockene Gase sollte in Übereinstimmung mit ISO 5168 oder ISO 7066-2 ermittelt werden.

7.3.2 Anodengaszusammensetzung

Die Anodengaszusammensetzung sollte während der Messung des Leistungsverhaltens der Zellen-/Stack-Einbaueinheit bestimmt werden. Ist dies jedoch nicht möglich, muss die Anodengaszusammensetzung während der Vorbereitung auf die Prüfung des Leistungsverhaltens unter den gleichen Bedingungen wie bei der Prüfung des Leistungsverhaltens der Zelle bestimmt werden.

Wenn das Anodengas nach einem der folgenden Verfahren a) bis d) zugeführt wird und die Gasversorgungsleitung keinerlei Reaktoren, wie z.B. ein Reformer, enthält und die Gaszusammensetzung nachweislich nur unwesentlich verändert, darf die Zusammensetzung aufgrund der vom Gaslieferanten veröffentlichten Zusammensetzungstabelle und der Messwerte eines jeden Durchflussmessgeräts nach ISO 6145-7 berechnet werden:

- a) ein Einkomponentengas wie Wasserstoff wird zugeführt;
- b) ein Mischgas mit bekannter Zusammensetzung wird zugeführt;
- c) ein Anodengas wird zugeführt, indem Gaskomponenten mittels mehrerer Durchflussmessgeräte kontrolliert gemischt werden;

d) eine Kombination der Gase unter b) und c) wird zugeführt.

Die Probennahme des Anodengases muss in der Nähe der Anodengaszuführung der Zellen-/Stack-Einbaueinheit erfolgen und mittels Infrarotspektroskopie, einem Massenspektrometer, Gaschromatographen oder einem vergleichbaren Gerät analysiert werden. Die Gasprobe muss von ihrem Ursprung so zum Ort der Analyse transportiert werden, dass Veränderungen der Zusammensetzung minimal ausfallen. Das Material, die Temperatur, sowie Durchmesser und Länge der Rohrleitung müssen daher mit Bedacht ausgewählt werden, um Änderungen der Zusammensetzung in der Verrohrung der Prüfeinrichtung so gering wie möglich zu halten. Falls notwendig, muss sie beheizt werden, um die Kondensation von Wasserdampf zu vermeiden.

Wenn die Messung durch Wasserdampf beeinträchtigt werden könnte, ist Wasser aus der Gasprobe zu entfernen oder die Gasprobe mit Argon oder einem ähnlichen Inertgas zu verdünnen.

Das Ergebnis einer solchen Analyse einer Gaskomponente i , angegeben als x_i^* (% Stoffmengenanteil) (nicht normierte Konzentration), muss nach folgender Gleichung normiert werden, um eine normierte Konzentration x_i (% Stoffmengenanteil) zu erhalten:

$$x_i = 100 \frac{x_i^*}{\sum_w x_w^*} \quad (1)$$

Dabei bezeichnet $\sum_w x_w^*$ die Summe der nicht normierten Konzentrationen aller Gaskomponenten in den Analysewerten.

Der Gasanalysator muss mittels eines Standardgases mit bekanntem Stoffmengenverhältnis kalibriert werden.

Die Messunsicherheit muss nach der Normenreihe ISO 6974, ISO 6141, ISO 6142 oder ISO 6143 bestimmt werden.

7.3.3 Anodengastemperatur

Die Gastemperatur muss in der Nähe der Anodengaszuführung der Zellen-/Stack-Einbaueinheit mittels Thermoelement oder ummanteltem Thermoelement und einer Messleitung des Typs und der Klasse nach IEC 60584-1, IEC 60584-3 oder IEC 61515 gemessen werden. Falls sich in der Versorgungsleitung ein Reaktor, wie z. B. ein Reformier, befindet, sollte auch die Gastemperatur am Ausgang des Reaktors gemessen werden.

ANMERKUNG Zwischen der Temperatur der Rohrwand und der Temperatur der Gasmasse können signifikante Unterschiede bestehen.

Falls die Messung der Gastemperatur während der Prüfung des Leistungsverhaltens der Zelle schwierig ist, muss die Anodengastemperatur während der Vorbereitung der Leistungsprüfung unter denselben Bedingungen wie bei der Leistungsprüfung gemessen werden.

7.3.4 Anodengasdruck

Der Anodengasdruck muss vor der Anodengaszuführung der Zellen-/Stack-Einbaueinheit mittels eines kalibrierten Drucksensors, Manometers, Bourdon-Rohrs oder dergleichen gemessen werden. Das Messgerät muss so angebracht werden, dass die Messunsicherheit bezüglich Druckverlust in der Verrohrung, Rohrleitungstemperatur und anderen Faktoren so gering wie möglich wird. Es muss darauf geachtet werden, dass Kondensation von Wasserdampf während der Messung vermieden wird. Eine Möglichkeit kann die Messung des Druckes durch eine Injektion einer sehr kleinen Menge trockenen Stickstoffgases oder eines ähnlichen Gases in die Leitung in der Nähe des Messgerätes sein.

7.3.5 Anodenabgasfluss

Der Anodenabgasfluss muss mit Massendurchflussmessgeräten, Volumendurchflussmessgeräten oder Flügelrad-Durchflussmessgeräten gemessen werden, nachdem eine Maßnahme zur Verhinderung der Beeinträchtigung der Stabilität des Anodengasstroms durch Wasserkondensation getroffen oder nachdem das Wasser aus dem Gasfluss entfernt worden ist. Falls die Messungen volumetrisch durchgeführt werden, müssen sie durch Messung der Gastemperatur und des Gasdruckes oder der Gasdichte in der Nähe des Durchflussmessgerätes auf den Massendurchfluss umgerechnet werden. Alternativ kann der Anodenabgasfluss aus den Komponentenkonzentrationen des Anodenabgases, der Tracer-Konzentration und dem Tracer-Durchfluss durch genaue Zugabe einer als Tracer verwendeten geringen Menge eines Gases, das nicht im Anodenabgas enthalten ist, bestimmt werden. Der Gasanalysator muss mittels eines

Standardgases mit bekanntem Stoffmengenverhältnis kalibriert werden. Die Messunsicherheit muss nach der Normenreihe ISO 6974, ISO 6141, ISO 6142 oder ISO 6143 bestimmt werden.

Das Abgas muss aus Sicherheits- und Umweltschutzgründen vorsichtig behandelt werden, da es noch Wasserstoff, Kohlenmonoxid und Kohlenwasserstoffe enthalten kann.

7.3.6 Anodenabgaszusammensetzung

Die Anodenabgasprobe muss in der Nähe der Anodenabgasöffnung der Zellen-/Stack-Einbaueinheit gezogen werden. Die Probe muss mittels eines Infrarotspektrometers, eines Massenspektrometers, Gaschromatographen oder dergleichen analysiert werden. Falls Wasserdampf die Messung beeinflussen kann, ist das Wasser aus der Gasprobe zu entfernen oder die Probe mit Argongas oder dergleichen zu verdünnen. Bei der Messung müssen Material, Temperatur, Innendurchmesser und Länge der Rohrleitung beachtet werden, um sicherzustellen, dass Änderungen der Gaszusammensetzung in der Verrohrung unerheblich sind. Wo erforderlich, muss die Rohrleitung beheizt werden, um die Kondensation von Wasserdampf in der Rohrleitung zu verhindern. Der Gasanalysator muss mittels eines Standardgases mit bekanntem Stoffmengenverhältnis kalibriert werden.

7.3.7 Anodenabgastemperatur

Die Gastemperatur muss in der Nähe der Anodenabgasöffnung der Zellen-/Stack-Einbaueinheit mittels Thermoelement oder ummanteltem Thermoelement und einer Messleitung des passenden Typs und der passenden Klasse nach IEC 61515, IEC 60584-1 oder IEC 60584-3 gemessen werden. Falls die Messung der Gastemperatur während der Prüfung des Leistungsverhaltens der Zelle schwierig ist, muss die Anodenabgastemperatur während der Vorbereitung der Leistungsprüfung unter denselben Bedingungen wie bei der Leistungsprüfung gemessen werden.

ANMERKUNG Zwischen der Temperatur der Rohrwand und der Temperatur der Gasmasse können signifikante Unterschiede bestehen.

7.3.8 Anodenabgasdruck

Der Anodenabgasdruck muss nach der Anodenabgasöffnung der Zellen-/Stack-Einbaueinheit mittels Drucksensor, Manometer, Bourdon-Rohr oder dergleichen gemessen werden. Das Messgerät sollte so angebracht werden, dass die Messunsicherheit bezüglich Druckverlust in der Verrohrung, der Rohrleitungs(gas)temperatur und anderen Faktoren so gering wie möglich ist. Es muss darauf geachtet werden, dass Kondensation von Wasserdampf während der Messung vermieden wird. Eine Möglichkeit darf die Messung des Druckes durch eine Injektion einer sehr kleinen Menge trockenen Stickstoffgases oder eines ähnlichen Gases in die Leitung in der Nähe des Messgerätes sein.

7.4 Kathodengas

7.4.1 Kathodengasfluss

Der Kathodengasfluss muss mit Massendurchflussmessgeräten, Volumendurchflussmessgeräten oder Flügelrad-Durchflussmessgeräten gemessen werden. Falls die Messungen volumetrisch durchgeführt werden, müssen sie durch Messung der Gastemperatur und des Gasdruckes oder der Gasdichte in der Nähe des Durchflussmessgerätes auf den Massendurchfluss umgerechnet werden. Bei der Auswahl des Durchflussmessgerätes müssen der erwartete Bereich des Durchflusses und die zulässige Fehlergrenze des Durchflussmessgerätes berücksichtigt werden. Die Messunsicherheit muss nach ISO 5168 oder ISO 7066-2 bestimmt werden.

7.4.2 Kathodengaszusammensetzung

Zur Messung der Kathodengaszusammensetzung muss die Sauerstoffkonzentration mit einem Gaschromatographen oder einem Sauerstoffkonzentrationsmessgerät bestimmt werden. Das Kathodengas sollte aus sauberer (ölfreier) komprimierter Luft oder aus Flaschengas bestehen. Falls eine Flaschengasmischung benutzt wird, können die Werte der Zusammensetzung des vom Gaslieferanten beigelegten Zertifikates genutzt werden. Die Fehlergrenze des Messgerätes muss nach der Normenreihe ISO 6974, ISO 6141, ISO 6142, ISO 6143 oder ISO 6145-7 bestimmt werden.

Falls die Messung der Luftfeuchte notwendig ist, muss ein Taupunktmessgerät, ein Wassergehaltmessgerät oder ein Gaschromatograph verwendet werden, wobei die Gastemperatur zu regeln ist, um die Kondensation von Wasserdampf zu verhindern.

7.4.3 Kathodengastemperatur

Die Gastemperatur muss in der Nähe der Kathodengaszuführung der Zellen-/Stack-Einbaueinheit mittels Thermoelement oder ummanteltem Thermoelement und einer Messleitung des passenden Typs und der passenden Klasse nach IEC 60584-1, IEC 60584-3 oder IEC 61515 gemessen werden.

ANMERKUNG Zwischen der Temperatur der Rohrwand und der Temperatur der Gasmasse können signifikante Unterschiede bestehen.

Falls die Messung der Gastemperatur während der Prüfung des Leistungsverhaltens der Zelle schwierig ist, muss die Kathodengastemperatur während der Vorbereitung der Leistungsprüfung unter denselben Bedingungen wie bei der Leistungsprüfung gemessen werden.

7.4.4 Kathodengasdruck

Der Kathodengasdruck muss vor der Kathodengaszuführung der Zellen-/Stack-Einbaueinheit mittels eines Drucksensors, Manometers, Bourdon-Rohrs oder dergleichen gemessen werden. Das Messgerät sollte so angebracht werden, dass die Messunsicherheit bezüglich Druckverlust in der Verrohrung, Rohrleitungstemperatur und anderen Faktoren so gering wie möglich ist.

7.4.5 Kathodenabgasfluss

Der Kathodenabgasfluss muss nach Kühlung des Gases mit einem Massendurchflussmessgerät, Volumendurchflussmessgeräten oder Flügelrad-Durchflussmessgeräten gemessen werden. Falls die Messungen volumetrisch durchgeführt werden, müssen sie durch Messung der Gastemperatur und des Gasdruckes oder der Gasdichte in der Nähe des Durchflussmessgerätes auf den Massendurchfluss umgerechnet werden. Bei der Auswahl des Durchflussmessgerätes müssen der erwartete Bereich des Durchflusses und die zulässige Fehlergrenze des Messgerätes berücksichtigt werden. Die Fehlergrenze des Messgerätes muss nach der Normenreihe ISO 6974, ISO 6141, ISO 6142, ISO 6143 oder ISO 6145-7 bestimmt werden.

7.4.6 Kathodenabgaszusammensetzung

Zur Messung der Kathodenabgaszusammensetzung muss die Sauerstoffkonzentration nach Kühlung des Gases mittels eines Gaschromatographen oder eines Sauerstoffkonzentrationsmessgerätes bestimmt werden. Falls die Messung einer extrem niedrigen Wasserkonzentration notwendig ist, muss ein Taupunktmessgerät, ein Wassergehaltmessgerät oder ein Gaschromatograph verwendet werden, wobei die Gastemperatur zu regeln ist, um die Kondensation von Wasserdampf zu verhindern.

7.4.7 Kathodenabgastemperatur

Die Kathodenabgastemperatur muss in der Nähe der Kathodenabgasöffnung der Zellen-/Stack-Einbaueinheit mittels Thermoelement oder ummanteltem Thermoelement und einer Messleitung des geeigneten Typs und der geeigneten Klasse nach IEC 60584-1, IEC 60584-3 oder IEC 61515 gemessen werden. Falls die Messung der Gastemperatur während der Prüfung des Leistungsverhaltens der Zelle schwierig ist, muss die Kathodengastemperatur während der Vorbereitung der Leistungsprüfung unter denselben Bedingungen wie bei der Leistungsprüfung gemessen werden.

ANMERKUNG Zwischen der Temperatur der Rohrwand und der Temperatur der Gasmasse können signifikante Unterschiede bestehen.

7.4.8 Kathodenabgasdruck

Der Kathodenabgasdruck muss nach der Kathodenabgasöffnung der Zellen-/Stack-Einbaueinheit mittels Drucksensor, Manometer, Bourdon-Rohr oder dergleichen gemessen werden. Das Messgerät sollte so angebracht werden, dass die Messunsicherheit bezüglich Druckverlust in der Verrohrung, Rohrleitungstemperatur und anderen Faktoren so gering wie möglich ist.

7.5 Ausgangsspannung

An die Spannungsmesspunkte muss ein Spannungsmessgerät angeschlossen werden, wie in [Abschnitt 5](#) beschrieben. Die an diesen Stellen gemessene Spannung muss als Zellen- oder Stackspannung angesehen werden. Das Verbindungskabel muss haltbar genug für die Prüfbedingungen sein. Dabei müssen thermoelektrische Kräfte an der Verbindung berücksichtigt werden.

7.6 Ausgangsstrom

Zur Strommessung muss ein Galvanostat oder eine elektrische Last, die mit den Stromzuleitungspunkten, wie in [Abschnitt 5](#) beschrieben, verbunden ist und/oder ein Stromsensor, wie z.B. ein Shuntwiderstand, der in den Stromkreis eingeschaltet ist, verwendet werden, indem sein Ausgangssignal an ein Mess-/Aufzeichnungsgerät weitergeleitet wird. Das Verbindungskabel muss unter Beachtung der Prüfbedingungen und des möglichen Spannungsabfalls im Kabel aus geeigneten Materialien bestehen und von entsprechender Geometrie sein.

7.7 Temperatur der Zellen-/Stack-Einbaueinheit

Ein Thermoelement oder ein ummanteltes Thermoelement und eine Messleitung des passenden Typs und der passenden Klasse nach IEC 60584-1, IEC 60584-2, IEC 60584-3 oder IEC 61515 müssen ausgewählt werden. Sie müssen entsprechend der Beschreibung in [Abschnitt 5](#) an den Temperaturmesspunkt angebracht werden und für die Messung mit einem Aufzeichnungsgerät oder dergleichen verbunden werden. Falls es mehr als einen Temperaturmesspunkt gibt, müssen die Temperatur der Einbaueinheit und deren Verteilung nach dem vom Hersteller empfohlenen Berechnungsverfahren bestimmt werden.

7.8 Mechanische Last

Eine nach den Empfehlungen des Herstellers aufgebrachte mechanische Last muss gemessen werden.

7.9 Gesamtimpedanz

Die Gesamtimpedanz der Zellen-/Stack-Einbaueinheit muss entweder mit dem Wechselstrom-Impedanzverfahren oder mit dem Stromunterbrechungsverfahren gemessen werden. Es muss eine geeignete Messleitung verwendet werden, um über den gesamten untersuchten Frequenzbereich hochqualitative Daten sicherzustellen.

7.10 Umgebungsbedingungen

Zur Beschreibung der Umgebungsbedingungen müssen Umgebungstemperatur, Druck und relative Luftfeuchte gemessen werden. Das Abtastintervall muss dem in ISO 8756 festgelegten Wert entsprechen oder kürzer sein.

8 Vorbereitung der Prüfung

8.1 Allgemeines

Der Typ der zu prüfenden Zellen-/Stack-Einbaueinheit, die Anzahl der Prüflinge, die Prüfparameter und die Prüfbedingungen müssen festgelegt werden.

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

Die Komponenten von Anoden- und Kathodengas und deren hauptsächliche Verunreinigungen müssen überprüft werden. Wie unter [Abschnitt 7](#) beschrieben, muss eine Vorprüfung der Gaszusammensetzung und der Temperatur vorgenommen werden, um sicherzustellen, dass sich die Gaszusammensetzungen innerhalb der erwarteten Unsicherheit befinden und dass die Temperatur der Gasversorgung die Temperatur der Zellen-/Stack-Einbaueinheit nicht beeinflusst. Darüber hinaus müssen auf der Basis der Ergebnisse der Vorprüfung und anderer Faktoren außerdem unter anderem das Prüfverfahren, die Prüfbedingungen und die Bewertungskriterien für den stationären Zustand festgelegt werden.

8.2 Normprüfbedingungen und Prüfbereich

Die Normprüfbedingungen und der typische Prüfbereich, die vom Hersteller empfohlen werden, müssen bezüglich der folgenden Parameter überprüft werden, um die Prüfbedingungen und den Prüfbereich festzulegen:

- a) Temperatur der Zellen-/Stack-Einbaueinheit;
- b) zulässige Temperaturverteilung der Zellen-/Stack-Einbaueinheit (bei mehreren Messpunkten);
- c) Anodengasfluss;

- d) Anodengaszusammensetzung;
- e) Anodengasdruck;
- f) Kathodengasfluss;
- g) Kathodengaszusammensetzung;
- h) Kathodengasdruck;
- i) effektive Brennstoffnutzung;
- j) effektive Sauerstoffnutzung;
- k) Strom oder Stromdichte;
- l) Mindestspannung der Zellen-/Stack-Einbaueinheit;
- m) Mindeststrom der Zellen-/Stack-Einbaueinheit (bei konstanter effektiver Brennstoffnutzung, Mindestbetriebslast, weitere Informationen siehe [Anhang E](#));
- n) Höchststrom der Zellen-/Stack-Einbaueinheit (bei konstanter effektiver Brennstoffnutzung). Schäden durch übermäßige Degradation sind über diesen Wert hinaus möglich;
- o) mechanische Last.

8.3 Komponenten und Verunreinigungen von Anoden- und Kathodengas

Falls Gase zur Erstellung des Anodengases genutzt werden, müssen der Reinheitsgrad der Komponenten und Hauptverunreinigungen jedes Gases anhand der vom Lieferanten des jeweiligen Gases veröffentlichten Zusammensetzungstabelle oder durch eine Gasanalyse überprüft werden. Falls das Anodengas aus flüssigem Brennstoff erzeugt wird, müssen dessen Dichte, dessen Gehalte an Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff sowie der Gehalt an Verunreinigungen, wie z.B. Schwefel, anhand der vom Gaslieferanten veröffentlichten Zusammensetzungstabelle oder durch Analyse nach ISO 12185 überprüft werden.

Die Reinheit der Komponenten und die Hauptverunreinigungen des Kathodengases müssen anhand der vom Gaslieferanten veröffentlichten Zusammensetzungstabelle oder durch Analyse überprüft werden. Falls ein Kompressor benutzt wird, muss die zugeführte Druckluft öl- und partikelfrei nach ISO 8573-1 sein.

Die Ergebnisse jeder Prüfung oder Analyse muss in den Prüfbericht aufgenommen werden.

8.4 Grundlagen der Durchführung der Prüfung

Die Einschaltbedingungen, wie z. B. die Aufheizgeschwindigkeit und die Umgebungsbedingungen während der Aufheizung, der Zustand der Anode (d. h. der Umfang der Reduktion des Nickeloxids zu Nickel) und die Abschaltbedingungen, wie z. B. die Abkühlgeschwindigkeit und die Umgebungsbedingungen während der Abkühlung, müssen auf den vom Hersteller empfohlenen Bedingungen oder auf den Ergebnissen der Vorprüfungen basierend gewählt werden.

8.5 Nachweis der Alterungsbedingungen für die Zellen-/Stack-Einbaueinheit

Die Alterungsbedingungen für die Zellen-/Stack-Einbaueinheit müssen aufgrund der Herstellerempfehlung und der durchzuführenden Vorprüfungen festgelegt werden, um sicherzustellen, dass die Abwanderung der Ausgangswerte über die Messzeit vernachlässigbar ist.

8.6 Nachweis der Kriterien des stationären Zustands

Für den Ausgangsstrom und die Ausgangsspannung der Zellen-/Stack-Einbaueinheit müssen die Toleranzbereiche der Abweichungen bestimmt werden und die Beurteilungskriterien für den stationären Zustand müssen durch Vorprüfungen oder dergleichen festgelegt werden.

Die Beurteilungskriterien für den stationären Zustand müssen in den Prüfbericht aufgenommen werden.

8.7 Verfahren der Datenaufnahme

Es müssen Vorprüfungen unter Berücksichtigung der Schwankung jedes Prüfparameters und der Abtastrate jedes Messinstruments durchgeführt werden, um u. A. das Abtastintervall sowie die Anzahl der Abtastungen und Messungen zu bestimmen. Das Abtastintervall (z. B. 1 s) muss kurz genug sein, um Schwankungen der Messparameter mit ausreichender Zeitauflösung beobachten zu können. Die Anzahl der Abtastungen und Wiederholungen einer einzelnen Messung müssen so gewählt werden, dass das gesamte Messzeitintervall hinreichend länger wird als der dominante Schwankungszyklus jedes Prüfparameters.

9 Durchführung der Prüfung

9.1 Prüfaufbau

Der Prüfaufbau muss wie folgt verlaufen:

- a) Jedes Regel- oder Messteilsystem auf mögliche Leckagen prüfen. Es gibt viele Methoden zur Leckprüfung, wie z. B. Druckhalte- oder Helium-Lecksuchgeräte. Die Wahl des Verfahrens hängt von der verwendeten Einrichtung ab. Der ordnungsgemäße Betrieb der Prüfeinrichtung sollte durch Vergleich ihres Leistungsverhaltens mit den in 7.2 angegebenen Parametern überprüft werden.
- b) Eine Zellen-/Stack-Einbaueinheit, bestehend aus einer oder mehreren Zellen, einem Gasweg, Verbindern, Stromabnehmern, einer Isolierung und anderen Komponenten, in Übereinstimmung mit der vom Hersteller empfohlenen Montagemethode und -prozedur vorbereiten. Vor Anschluss der Zelle/des Stacks an den Prüfstand den Widerstand zwischen den kathoden- und anodenseitigen Stromzuführungspunkten messen, um zu ermitteln, ob ein Kurzschluss vorliegt. Den Widerstand zwischen den Messpunkten für die Zellenspannung messen, um zu ermitteln, ob diese elektrisch isoliert sind. Die Widerstände von Zelle zu Zelle messen. Diese Werte sollten nicht auf einen Kurzschluss hindeuten, sondern denen gleichen, die vom Hersteller festgelegt wurden.
- c) Die Zellen-/Stack-Einbaueinheit in ein Teilsystem zur Temperaturregelung einbauen und die Verdrahtung für die Spannungsmessung und die Stromzuleitungen, die mechanische Last und die Thermoelemente sowie die Rohrleitungen für die Gaszuführung und -ableitung anbringen. Die Leitungen an ihre entsprechenden Teilsysteme anschließen. Eine ordnungsgemäße Isolierung zwischen Thermoelementen und Zelle/Stack sicherstellen. Zwischen der mechanischen Last und der/dem Zelle/Stack sollte ebenfalls eine elektrische Isolierung bestehen.
- d) Gasrohrverbindungen auf Leckagen prüfen (siehe 9.1 a)).
- e) Falls erforderlich, die Isolierung der Verdrahtung gegen Erde überprüfen. Es wird empfohlen, die Isolierung zu überprüfen, bevor das Teilsystem zur Regelung der Leistungsabgabe oder das Teilsystem zur Messung und Datenerfassung angeschlossen wird. Zudem muss die ordnungsgemäße Verdrahtung an Knotenpunkten überprüft werden.
- f) Wenn alle zuvor genannten Punkte durchgeführt wurden, wird das Teilsystem zur Messung und Datenerfassung auf ordnungsgemäßen Betrieb geprüft.

9.2 Anfängliche Konditionierung

Die Zellen-/Stack-Einbaueinheit muss mit der Erwärmungsgeschwindigkeit und unter den Umgebungsbedingungen nach 8.4 eingeschaltet und betrieben werden, bis sie nach Durchlaufen der Anodenreduktion und Konditionierung einen stationären Zustand erreicht.

9.3 Abschaltung

Das Abschaltverfahren muss mit der vorgeschriebenen Temperaturabfallgeschwindigkeit und unter den Umgebungsbedingung nach 8.4 eingeleitet werden. Wenn nicht anderweitig vorgeschrieben, muss die Temperatur unter den Bedingungen gesenkt werden, die der Anwender auf der Basis der Vorprüfungen festgelegt hat oder nach den Herstellervorgaben. Während dieser Zeit wird der Luftstrom zur Lufterlektrode aufrechterhalten und mit Stickstoff (oder einem anderen Inertgas) verdünnter Wasserstoff fließt zur Brennstoffelektrode. Die Konzentration von Wasserstoff in diesem Gasgemisch muss unter der unteren Explosionsgrenze liegen.

10 Prüfung des Leistungsverhaltens

10.1 Prüfung der Bemessungsleistung

10.1.1 Zweck

Zweck dieser Prüfung ist die Messung und der Nachweis der Leistungsabgabe der Zellen-/Stack-Einbaueinheit unter Bemessungsbedingungen.

10.1.2 Prüfverfahren

Alle Regelparameter müssen auf die Bemessungsbedingungen eingestellt werden und nachdem die Zellen-/Stack-Einbaueinheit den stationären Zustand erreicht hat, müssen Spannung, Strom und andere Regelparameter wiederholt in dem Abtastintervall gemessen werden, bis die in 8.7 festgelegte Anzahl von

Abtastungen und Messungen erreicht ist. Der Mittelwert der Messungen muss als Messwert betrachtet werden. Optional kann die Standardabweichung der Messwerte angegeben werden.

10.1.3 Darstellung der Ergebnisse

Die Messergebnisse müssen zur Berechnung der Bemessungsleistung verwendet werden und zusammen mit Spannung, Strom und anderen Messwerten für die Prüfbedingungen in den Prüfbericht aufgenommen werden.

10.2 Prüfung der Strom-Spannungs-Kennlinie

10.2.1 Zweck

Zweck dieser Prüfung ist die Bestimmung der Abhängigkeiten der Strom-Spannungs-Kennlinie von Temperatur, Druck, Gaszusammensetzung, Gasfluss und effektiver Gasnutzung.

10.2.2 Prüfverfahren

10.2.2.1 Prüfung bei konstantem Durchfluss

Der Regelparameter, dessen Abhängigkeit gemessen werden soll, muss auf seinen Ausgangswert gesetzt werden, während Anoden- und Kathodengasfluss sowie andere Regelparameter auf die Werte der Prüfbedingungen eingestellt werden müssen. Die Einheit muss betrieben werden, bis der stationäre Zustand unter Leerlaufbedingungen erreicht ist und die Strom-Spannungs-Kennlinie wird durch schrittweise Änderung des Stromes oder der Spannung oder durch gleitenden Durchlauf mit konstanter Geschwindigkeit gemessen. Nach der Messung wird der Regelparameter auf den nächsten Wert eingestellt und die Messung muss innerhalb des Messbereiches nach 8.2 wiederholt werden.

- Wenn die Änderung des Stroms stufenweise erfolgt, muss die Zellen-/Stack-Einbaueinheit bis zum Erreichen des stationären Zustands (Temperatur und Spannung) betrieben und auf jeder Stufe Messungen über die Dauer des Abtastintervalls nach 8.7 vorgenommen werden. Der Mittelwert der Messungen muss als Messwert für diesen Schritt betrachtet werden.
- Wenn ein Stromdurchlauf verwendet wird, muss die Geschwindigkeit des Durchlaufes so festgelegt werden, dass die größte Breite der Spannungshysterese nicht die Spannungsschwankungen des stationären Zustands überschreitet.
- Bei Verwendung der Spannungsregelung müssen Schritt a) oder b) mit Spannungsschritten bzw. Spannungsdurchlauf ausgeführt werden.

ANMERKUNG Die Bedeutung der größten Breite der Spannungshysterese wird in [Anhang D](#) erläutert.

10.2.2.2 Prüfung unter konstanter effektiver Brennstoff- und/oder Sauerstoffnutzung oder unter konstantem stöchiometrischem Verhältnis

Der Regelparameter, dessen Abhängigkeit gemessen werden soll, muss auf seinen Ausgangswert gesetzt werden, während die effektive Brennstoffnutzung und/oder die effektive Sauerstoffnutzung sowie andere Regelparameter auf die Werte der Prüfbedingungen nach 8.2 eingestellt werden müssen. Die Einheit muss bei Mindeststrom nach Herstellerangabe betrieben werden, bis sie den stationären Zustand erreicht hat, und die Strom-Spannungs-Kennlinie muss durch schrittweise Änderung des Stromes oder der Spannung gemessen werden. Die Einheit muss bei jedem Schritt bis zum Erreichen des stationären Zustands betrieben werden, wobei die Messungen über die Dauer mit der in 8.7 vorgeschriebenen Abtastrate vorgenommen werden. Der Mittelwert der Messungen muss als Messwert für diesen Schritt betrachtet werden. Nach der Messung wird der Regelparameter auf den nächsten Wert eingestellt und die Messung muss innerhalb des Messbereiches nach 8.2 wiederholt werden.

[Anhang E](#) zeigt ein Beispiel für einen Prüfbericht der *I*-*V*-Kennlinie bei konstanter effektiver Brennstoffnutzung.

10.2.3 Darstellung der Ergebnisse

Die Ergebnisse müssen in einer zweidimensionalen Kurve dargestellt werden, wobei die horizontale Achse die Stromdichte oder die effektive Brennstoffnutzung oder eine Kombination aus beiden darstellt und die vertikale Achse die Spannung der Zellen-/Stack-Einbaueinheit. Diese Kurve muss zusammen mit anderen Prüfbedingungen in den Prüfbericht aufgenommen werden. Alternativ zur Stackspannung dürfen auch die

gemessenen Zellenspannungen oder die mittlere Zellenspannung gegen die Stromdichte aufgetragen werden. Die Angabe der Standardabweichung der Messwerte ist optional.

10.3 Prüfung der Abhängigkeit der effektiven Brennstoffnutzung

10.3.1 Zweck

Der Zweck dieser Prüfung besteht darin, die Abhängigkeit des Leistungsverhaltens der Zellen-/Stack-Einbaueinheit von der effektiven Brennstoffnutzung zu untersuchen und die höchste effektive Brennstoffnutzung unter verschiedenen Betriebsbedingungen zu bestätigen.

10.3.2 Prüfverfahren

10.3.2.1 Allgemeines

Die höchste Brennstoffnutzung sowie die Bedingungen, unter denen dieser Wert erreicht wird, müssen vom Hersteller bezogen oder zwischen Hersteller und Prüfer vereinbart werden.

Die Prüfung muss entweder durch Verringerung des Anodengasflusses bei konstantem Strom oder durch Erhöhung des Stromes bei konstantem Anodengasfluss durchgeführt werden.

10.3.2.2 Prüfung bei konstantem Strom

Folgende Prüfschritte müssen durchgeführt werden:

- Die Zellen-/Stack-Einbaueinheit auf die vorgeschriebenen Prüfbedingungen nach 8.2 einstellen, in Betrieb nehmen und überprüfen, ob sie den stationären Zustand erreicht hat.
- Den Anodengasfluss schrittweise verringern bis die Zellen-/Stack-Einbaueinheit die, nach Herstellerangabe höchste effektive Brennstoffnutzung erreicht hat. Für jeden Schritt prüfen und aufzeichnen, dass die Spannung den stationären Zustand erreicht hat.
- Sobald die effektive Brennstoffnutzung den Höchstwert erreicht hat, den Anodengasfluss schrittweise wieder auf den ursprünglichen Wert zurückstellen und die Spannung aufzeichnen. Der Vergleich dieser Spannung mit der Spannung vor diesem Schritt gibt Auskunft darüber, ob die höchste effektive Brennstoffnutzung nach Herstellerangabe durch die Zellen-/Stack-Einbaueinheit erreicht werden kann oder nicht, wenn auch nur für eine kurze Dauer. Dies ist eine unterschiedliche Aussage zu der unter 10.4.

10.3.2.3 Prüfung bei konstantem Anodengasfluss

Folgende Prüfschritte müssen durchgeführt werden:

- Die Zellen-/Stack-Einbaueinheit auf die vorgeschriebenen Prüfbedingungen einstellen, in Betrieb nehmen und überprüfen, ob sie den stationären Zustand erreicht hat.
- Den Strom schrittweise erhöhen, bis die Zellen-/Stack-Einbaueinheit die höchste effektive Brennstoffnutzung erreicht hat. Für jeden Schritt prüfen und aufzeichnen, dass die Spannung den stationären Zustand erreicht hat.
- Sobald die effektive Brennstoffnutzung den Höchstwert erreicht hat, den Strom schrittweise wieder auf den ursprünglichen Wert zurückzustellen und die Spannung aufzeichnen. Der Vergleich dieser Spannung mit der Spannung vor diesem Schritt gibt Auskunft über die höchste effektive Brennstoffnutzung, die durch die Zellen-/Stack-Einbaueinheit erreicht werden kann, wenn auch nur für eine kurze Dauer. Dies ist eine unterschiedliche Aussage zu der unter 10.4.

Um Leistungsabfall oder Schäden an der Zellen-/Stack-Einbaueinheit zu vermeiden, sollten im Voraus Kriterien für das Aussetzen dieser Prüfung entweder durch Vorprüfungen oder Übereinkunft mit dem Hersteller festgelegt werden.

10.3.3 Darstellung der Ergebnisse

Die Ergebnisse müssen in einer zweidimensionalen Kurve dargestellt werden, wobei die horizontale Achse im Fall 10.3.2.2 die effektive Brennstoffnutzung oder eine Kombination aus Anodengasfluss und der effektiven Brennstoffnutzung darstellt und im Fall 10.3.2.3 die effektive Brennstoffnutzung oder eine Kombination aus Stromdichte und effektiver Brennstoffnutzung und die vertikale Achse stellt die Spannung der Zellen-/Stack-Einbaueinheit dar. Diese Kurve muss zusammen mit anderen Prüfbedingungen in den Prüfbericht aufgenommen werden.

Die Spannung der Zellen-/Stack-Einbaueinheit kann durch die mittlere Zellenspannung ersetzt werden. Alternativ dürfen die gemessenen Zellenspannungen in Abhängigkeit von der Stromdichte grafisch dargestellt werden.

10.4 Prüfung der Langzeitstabilität

10.4.1 Zweck

Zweck dieser Prüfung ist die Bewertung des Leistungsabfalls der Zellen-/Stack-Einbaueinheit, wenn diese über eine lange Dauer bestimmten Prüfbedingungen ausgesetzt wird, und die Untersuchung der Auswirkung von Temperatur, Strom, Gaszusammensetzung, Gasverunreinigungen und anderen Faktoren auf die Haltbarkeit der Zellen-/Stack-Einbaueinheit.

10.4.2 Prüfverfahren

10.4.2.1 Allgemeines

Die Prüfung muss unter für die Dauer der Prüfung konstant gehaltenen Prüfbedingungen durchgeführt werden, entweder durch Messung der Spannungsänderung der Zellen-/Stack-Einbaueinheit bei konstantem Strom oder durch Messung der Spannungsänderung der Einheit zusammen mit dem Gesamtwiderstand. Der Gesamtwiderstand muss in einem bestimmten Intervall (100 h bis 500 h) anhand der *I-V*-Kurve nach 10.2 oder das Impedanzspektrum nach 10.7 gemessen werden.

10.4.2.2 Prüfung der Spannungsänderung

Alle Regelparameter auf die vorgeschriebenen Prüfbedingungen einstellen und die Spannung der Zellen-/Stack-Einbaueinheit in regelmäßigen Zeitabständen messen. Die Messwerte müssen verwendet werden, um die Geschwindigkeit der Spannungsänderung für die gesamten Prüfdauer oder die spezifische Dauer zu ermitteln.

10.4.2.3 Prüfung der Spannungsänderung und der Änderungen des Gesamtwiderstandes

Diese Prüfung darf während der Prüfung nach 10.4.2.2 durchgeführt werden.

Folgendes Verfahren muss zur Prüfung des Gesamtwiderstandes angewendet werden:

- Die gesamte *I-V*-Kennlinie zwischen 0 und dem Höchststrom nach 8.2 oder Teile der *I-V*-Kennlinie nahe dem Haltestrom messen, beides in ähnlicher Weise, wie in 10.2 beschrieben.
- Die Tangente der *I-V*-Kurve beim Haltestrom durch Verbinden von zwei Punkten der *I-V*-Kurve nahe dem Haltestrom näherungsweise ermitteln und die Steigung der Tangenten bestimmen. Die Steigung als Gesamtwiderstand notieren.
Die Wahl der Punkte nahe dem Haltestrom erfordert Umsicht. Wenn die Krümmung der *I-V*-Kurve groß ist, sollten die Punkte näher zum Haltestrom liegen. Die Unsicherheit der Spannungs- und Stromesswerte sollte so klein wie möglich gehalten werden.
- Nach Aufnahme der *I-V*-Kurve die Werte der Prüfbedingungen auf die ursprünglichen Werte zurückstellen und bis zum folgenden Messzyklus die Spannung messen.
- Diese Messung über die gesamte Prüfdauer in einem bestimmten Intervall wiederholen.

Die Ergebnisse müssen genutzt werden, um daraus die Geschwindigkeit der Spannungsänderung und die Änderung des Gesamtwiderstandes während der gesamten Prüfdauer oder einer spezifische Dauer innerhalb der Prüfdauer zu ermitteln.

Es ist auch möglich, die in 10.7 beschriebene Gesamtimpedanz zum Zeitpunkt der Messung des Gesamtwiderstandes zu messen.

10.4.3 Darstellung der Ergebnisse

Im Fall 10.4.2.2 müssen die Ergebnisse in einer zweidimensionalen Kurve dargestellt werden, wobei die horizontale Achse die Zeit darstellt und die vertikale Achse die Spannung, und zusammen mit der Spannungsänderungsgeschwindigkeit und den Prüfbedingungen in den Prüfbericht aufgenommen werden. Im Fall 10.4.2.3 muss die vertikale Achse die Spannung und den Gesamtwiderstand darstellen und die Kurve muss zusammen mit der Spannungsänderungsgeschwindigkeit, der Änderungsgeschwindigkeit des Gesamtwiderstandes und den Prüfbedingungen in den Prüfbericht aufgenommen werden.

Die Spannung der Zellen-/Stack-Einbaueinheit darf durch die mittlere Zellenspannung ersetzt werden. Alternativ dürfen die gemessenen Zellenspannungen in Abhängigkeit von der Zeit grafisch dargestellt werden.

ANMERKUNG Diese Ergebnisse können auch als flächenspezifischer Widerstand (oder flächenspezifische Impedanz) dargestellt werden. In diesem Fall ist der flächenspezifische Widerstand (die flächenspezifische Impedanz) gleich dem Produkt aus gemessenem Widerstand (gemessener Impedanz) und aktiver Elektrodenfläche.

10.5 Prüfung der Temperaturwechselbeständigkeit

10.5.1 Zweck

Der Zweck dieser Prüfung ist die Bewertung der Temperaturwechselbeständigkeit der Zellen-/Stack-Einbaueinheit. Die Temperaturwechsel müssen nach den Spezifikationen des Herstellers ausgeführt werden.

10.5.2 Prüfverfahren

10.5.2.1 Allgemeines

Für diese Prüfung müssen die folgenden Prüfbedingungen vom Hersteller bereitgestellt oder durch Vereinbarung zwischen Hersteller und Prüfer im Voraus festgelegt werden.

Die Betriebstemperatur muss die Temperatur der Normprüfbedingungen sein.

- a) Anzahl der Temperaturwechsel;
- b) Abkühlgeschwindigkeit;
- c) Aufheizgeschwindigkeit;
- d) Mindesttemperatur;
- e) Betriebsbedingungen bei Betriebstemperatur;
- f) Dauer des Haltens der Betriebstemperatur;
- g) Dauer des Haltens der Mindesttemperatur;
- h) gesamte Prüfdauer;
- i) Gasfluss und Gaszusammensetzung bei Aufheiz- und Abkühlbedingungen bzw. Mindesttemperatur.

10.5.2.2 Durchführung der Prüfung

In Übereinstimmung mit den genannten Prüfbedingungen muss entweder das Verfahren der Messung von Spannungsänderungen der Zellen-/Stack-Einbaueinheit bei Betriebstemperatur oder die Messung des Gesamtwiderstandes zusammen mit der Spannung der Zellen-/Stack-Einbaueinheit gewählt werden. Falls der Gesamtwiderstand gemessen wird, ist nach dem Verfahren in 10.4.2.3 vorzugehen. Die Spannungsmessung muss dann über die vorgeschriebene Dauer durchgeführt werden. Nach einer bestimmten Dauer bei der Betriebstemperatur muss die Temperatur der Zellen-/Stack-Einbaueinheit durch Leerlaufbetrieb unter vorgeschriebenen Bedingungen auf die Mindesttemperatur gesenkt werden und die Mindesttemperatur muss für die vorgeschriebene Dauer beibehalten werden. Anschließend muss die Temperatur der Zellen-/Stack-Einbaueinheit unter den vorgeschriebenen Betriebsbedingungen wieder auf die Betriebstemperatur angehoben werden und die Messung muss fortgesetzt werden.

Diese Messungen müssen wiederholt werden, bis die vorgeschriebene Anzahl erreicht ist. Mit den erhaltenen Ergebnissen müssen die Geschwindigkeit der Spannungsänderung und der Änderung des Gesamtwiderstandes über der gesamten Prüfdauer oder eine spezifische Dauer innerhalb der Prüfdauer ermittelt werden.

10.5.3 Darstellung der Ergebnisse

Die Ergebnisse müssen in einer zweidimensionalen Kurven dargestellt werden, wobei die horizontale Achse entweder (a) die Zeit oder (b) die Anzahl der Wechsel darstellt. Die Prüfbedingungen müssen außerdem im Prüfbericht angegeben werden.

Für (a) müssen die Spannung der Einheit, der Gesamtwiderstand (optional) und die Temperatur auf der vertikalen Achse grafisch dargestellt werden.

Für (b) müssen die Spannung der Einheit und der Gesamtwiderstand (optional) auf der vertikalen Achse grafisch dargestellt werden.

10.6 Prüfung der internen Reformierleistung

10.6.1 Zweck

Der Zweck dieser Prüfung ist die Bewertung der internen Reformierleistung der Zellen-/Stack-Einbaueinheit unter Leerlaufbedingungen oder Bemessungsbedingungen in Bezug auf im Anodengas enthaltene Kohlenwasserstoffe (HC) wie Methan.

10.6.2 Prüfverfahren

10.6.2.1 Allgemeines

Diese Prüfung muss entsprechend der Herstellerempfehlung oder der Abstimmung zwischen Hersteller und Prüfer in Bezug auf die Fähigkeit der Zellen/des Stacks zur internen Reformierung von HC durchgeführt werden; manche Zellen-/Stack-Einbaueinheiten sind dazu möglicherweise nicht in der Lage.

ANMERKUNG Abhängig von der Zusammensetzung und von thermodynamischen Gleichgewichten können in HC-haltigen Anodengasen viele komplexe Reaktionen ablaufen. Diese Reaktionen haben Auswirkungen auf die Temperaturgradienten in Zelle und Stack.

Diese Prüfung ist anwendbar, wenn Probennahmen von Anodengas und Anodenabgas ohne jegliche Vermischung mit Kathodengas oder Kathodenabgas möglich sind.

10.6.2.2 Durchführung der Prüfung

Der Zellen-/Stack-Einbaueinheit muss HC-haltiges Anodengas zugeführt werden. Nachdem die Einheit im Leerlauf oder unter Bemessungsbedingungen den stationären Zustand erreicht hat, müssen Anodengas und Anodenabgas auf ihre Zusammensetzungen analysiert werden; diese werden zur Berechnung der HC-Konversionsrate genutzt, die die interne Reformierungscharakteristik beschreibt.

Die HC-Konversionsrate für ein spezifisches Kohlenwasserstoff HC_j , ξ_j (%) wird wie folgt berechnet:

$$\xi_j = 100 (f_{\text{HC},j,\text{in}} - f_{\text{HC},j,\text{out}}) / f_{\text{HC},j,\text{in}} \quad (2)$$

Dabei sind $f_{\text{HC},j,\text{in}}$ und $f_{\text{HC},j,\text{out}}$ die Durchflüsse des jeweiligen Kohlenwasserstoffes HC_j am Anodeneingang bzw. Anodenausgang, die aus dem Anodengasfluss und dessen HC-Konzentration bzw. aus dem Anodenabgasfluss und dessen HC-Konzentration berechnet werden.

10.6.3 Darstellung der Ergebnisse

Die Zusammensetzungen und Durchflüsse des Anodengases und des Anodenabgases sowie die HC-Konversionsrate müssen zusammen mit den Prüfbedingungen in den Prüfbericht aufgenommen werden.

10.7 Identifikationsprüfung der Widerstandskomponenten

10.7.1 Zweck

Der Hauptzweck dieser Prüfung ist die Identifikation und Bewertung der ohmschen und nicht-ohmschen Widerstandskomponente des Gesamtwiderstandes der Zellen-/Stack-Einbaueinheit.

10.7.2 Prüfverfahren

10.7.2.1 Allgemeines

Die Aufteilung der Widerstandskomponenten der Zellen-/Stack-Einbaueinheit muss entweder mit dem Wechselstrom-Impedanzverfahren oder mit dem Stromunterbrechungsverfahren gemessen werden.

10.7.2.2 Elektrochemisches Wechselstrom-Impedanzverfahren

Die folgenden Prüfbedingungen müssen im Voraus durch Durchführung von Vorprüfungen bestimmt werden.

a) Frequenzmessbereich:

Im komplexen Impedanzdiagramm sollte die höchste Frequenz etwa den Punkt A festlegen und die niedrigste Frequenz sollte etwa den Punkt C festlegen (siehe Bild 2).

b) Anzahl der Messpunkte:

Pro Größenordnung der Frequenz müssen 4 bis 20 Punkte vorhanden sein (möglichst gleichmäßig logarithmisch verteilt); sie müssen zahlenmäßig ausreichen, um die Gestalt der Impedanzkurven eindeutig zu beschreiben. Grund- und Oberschwingungen der elektrischen Netzfrequenz sind möglichst zu vermeiden.

Die Prüfung muss nach dem folgenden Verfahren durchgeführt werden:

- a) Die Prüfbedingungen festlegen;
- b) Sicherstellen, dass der stationäre Zustand erreicht ist;
- c) Den Gleichstrom oder die Gleichspannung mit sinusförmigen Wechselspannungswellen überlagern und die Messungen starten. Die sinusförmigen Wechselspannungswellen den vorgeschriebenen Frequenzbereich durchlaufen lassen und für jede Frequenz die zugehörige Impedanz messen.

Die Amplitude des Wechselstromsignals für die Messung muss groß genug sein, um die Zelle zu aktivieren, darf sie aber nicht übermäßig polarisieren. Die Amplitude je Zelle darf durch Division der gesamten Spannungsamplitude durch die Anzahl der in Serie geschalteten Zellen bestimmt werden. Optional muss die Gültigkeit des Impedanzspektrums anhand geeigneter Nachweisbeziehungen wie die Kramers-Kronig-(KK-)Beziehung oder Z-HIT nachgewiesen werden.

10.7.2.3 Stromunterbrechungsverfahren

Falls dieses Verfahren angewendet wird, müssen mittels Vorprüfungen die Kennlinie der Stromunterbrechung und die Abtastrate so festgelegt werden, dass die Ermittlung der Zieleigenschaften der Zellen-/Stack-Einbaueinheit ermöglicht wird. Die Messungen müssen nach Sicherstellung des stationären Zustands unter Prüfbedingungen durchgeführt werden.

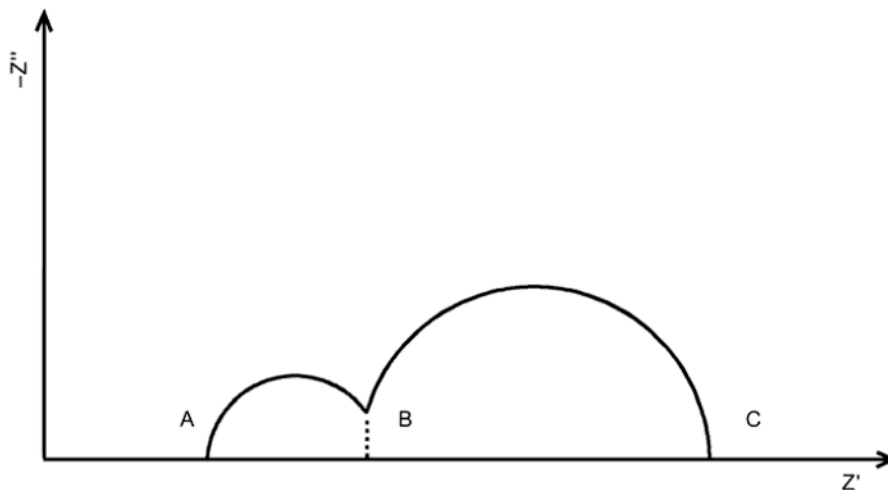
10.7.3 Darstellung der Ergebnisse

a) Wechselstrom-Impedanzverfahren

Die Prüfergebnisse müssen als ein komplexes Impedanz- oder Cole-Cole-Diagramm (Darstellung der charakteristischen Frequenzen) oder als Bode-Diagramm (ein Diagramm der Impedanzkomponenten in Abhängigkeit vom Logarithmus der gemessenen Frequenz) angegeben werden. Die anhand der aktiven Fläche nach 3.1.2 berechnete Impedanz je Flächeneinheit muss grafisch dargestellt werden.

b) Stromunterbrechungsverfahren

Die vor und nach der Stromunterbrechung beobachteten Wellenformen der Stromstärke (der Stromdichte) und der Spannungsantwort müssen gegenüber der Zeitachse aufgetragen werden. Die Abtastrate muss zur Bestimmung der ohmschen Widerstandskomponente geeignet sein. Die so erhaltene ohmsche Widerstandskomponente muss zusammen mit den Prüfbedingungen in den Prüfbericht aufgenommen werden.



Legende

A	Endwert der Impedanz bei Hochfrequenz
C	Endwert der Impedanz bei Niederfrequenz
A-B	Hochfrequenzimpedanzbogen
B-C	Niederfrequenzimpedanzbogen
Z'	Realteil der Impedanz
Z''	Imaginärteil der Impedanz

Bild 2 — Für eine SOFC typische Darstellung der komplexen Impedanz

ANMERKUNG Diese Ergebnisse können auch als flächenspezifischer Widerstand (oder flächenspezifische Impedanz) dargestellt werden. In diesem Fall ist der flächenspezifische Widerstand (die flächenspezifische Impedanz) gleich dem Produkt aus gemessenem Widerstand (gemessener Impedanz) und aktiver Elektrodenfläche.

11 Prüfbericht

11.1 Allgemeines

Die Prüfberichte müssen genau, deutlich und objektiv ausreichende Informationen darlegen, um nachzuweisen, dass alle Prüfziele erreicht worden sind. [Anhang F](#) enthält eine Vorlage für den Prüfbericht.

11.2 Berichtspunkte

Der Prüfbericht muss mindestens folgende Informationen enthalten:

- Titel des Prüfberichts;
- Autoren des Prüfberichts;
- Datum des Prüfberichts;
- Referenz-/Identifikationsnummer des Prüfberichts;
- Ort, Datum und Zeitpunkt der Prüfung (Prüfbeginns);
- verwendete Prüfeinrichtung;
- Daten der geprüften Zellen-/Stack-Einbaueinheit (Einzelheiten siehe 11.3);
- Prüfbedingungen (Einzelheiten siehe 11.4);
- Prüfdaten (Einzelheiten siehe 11.5).

11.3 Beschreibung der Daten der Prüfeinheit

Die Beschreibung der Daten der Prüfeinheit muss mindestens enthalten:

- Produktbezeichnung und Markenname der Zellen-/Stack-Einbaueinheit;
- aktive Elektrodenfläche;