

	DIN IEC 62282-3-2 (VDE 0130-302)	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

Entwurf

Einsprüche bis 2009-09-30

Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 62282-3-2
(VDE 0130-302):2007-02

Brennstoffzellentechnologien – Teil 3-2: Stationäre Brennstoffzellen-Energiesysteme – Leistungskennwerteprüfverfahren (IEC 105/211/CD:2009)

Fuel cell technologies –
Part 3-2: Stationary fuel cell power systems –
Performance test methods
(IEC 105/211/CD:2009)

Technologies des piles à combustible –
Partie 3-2: Systèmes à piles à combustible stationnaires –
Méthodes d'essai des performances
(CEI 105/211/CD:2009)

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2009-07-20 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

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

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise als Datei per E-Mail an **dke@vde.com** in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter **www.dke.de/stellungnahme** abgerufen werden
- oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE, Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main.

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

Gesamtumfang 165 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE

Beginn der Gültigkeit

Diese Norm gilt ab ...

Inhalt

	Seite
Nationales Vorwort.....	4
Nationaler Anhang NA (informativ) Zusammenhang mit Europäischen und Internationalen Normen	4
Nationaler Anhang NB (informativ) Literaturhinweise.....	6
Einleitung.....	8
1 Anwendungsbereich	8
2 Normative Verweisungen.....	9
3 Begriffe und Symbole.....	11
3.1 Begriffe.....	11
3.2 Symbole	14
4 Standardbedingung.....	17
4.1 Allgemeines	17
4.2 Temperatur und Druck.....	17
4.3 Heizwert-Basis	18
5 Gegenstand der Leistungsprüfung	18
6 Prüfvorbereitungen	19
6.1 Allgemeines	19
6.2 Messunsicherheitsuntersuchung	19
7 Messinstrumente und Messmethoden.....	20
7.1 Allgemeines	20
7.2 Messgeräte	20
7.3 Messmethoden	20
8 Ablaufplan der Prüfung	29
8.1 Allgemeines	29
8.2 Umgebungsbedingungen.....	29
8.3 Höchstzulässige Abweichungen in eingeschwungenen Betriebszuständen.....	30
8.4 Durchführung des Prüfbetriebs.....	31
8.5 Prüfdauer und Ablesehäufigkeit.....	31
9 Prüfmethode und Berechnung der Prüfergebnisse	32
9.1 Allgemeines	32
9.2 Wirkungsgradprüfung.....	32
9.3 Prüfung der Merkmale des dynamischen Last- und thermischen Übergangsverhaltens.....	44
9.4 Prüfung der Einschalt- und Abschalt-Charakteristik.....	55
9.5 Prüfung des Spülgasverbrauchs.....	56
9.6 Prüfung des Wasserverbrauchs	56
9.7 Abwärmeprüfung.....	56

	Seite
9.8 Prüfung der Abgasemissionen	57
9.9 Geräuschpegel	58
9.10 Vibrationen.....	58
9.11 Prüfung der Abwasserqualität	59
10 Prüfberichte	59
10.1 Allgemeines	59
10.2 Deckblatt.....	59
10.3 Inhaltsverzeichnis	59
10.4 Zusammenfassender Bericht.....	59
10.5 Ausführlicher Bericht	60
10.6 Vollständiger Bericht.....	60
Anhang A (normativ) Leitfaden zur Messunsicherheitsanalyse.....	61
Anhang B (normativ) Berechnung des Brennstoffheizwerts.....	79
Anhang C (normativ) Referenzgas	82
Literaturhinweise.....	84
Bilder	
Bild 1 – Diagramm Brennstoffzellensystem	9
Bild 2 – Symbol-Diagramm	17
Bild 3 – Betriebsverlaufsdarstellung des Brennstoffzellen-Energiesystems.....	45
Bild 4 – Steigungen der Flanken bei Lastwechseln	46
Bild 5 – Steigungen der Flanken bei Lastwechseln auf 90 %.....	47
Tabellen	
Tabelle 1 – Symbole	15
Tabelle 2 – Prüfkriterium und Einteilung der Prüfungen.....	18
Tabelle 3 – Prüfkriterien und Systemzustände.....	30
Tabelle 4 – Höchstzulässige Abweichungen der Betriebsbedingungen während einer Prüfung	31
Tabelle 5 – Korrekturfaktoren für Vibrationen.....	58
Tabelle A.1 – Zusammenfassung der Messparameter und deren Nennwerte.....	67
Tabelle A.2 – Nennwerte der berechneten Ergebnisse.....	67
Tabelle A.3 – Elementare Fehlerquellen für die unterschiedlichen Parameter	68
Tabelle A.4 – Absolute systematische Messunsicherheit (B_i) und absolute zufällige Messunsicherheit ($2S_{xi}$)	70
Tabelle A.5 – Empfindlichkeits-Koeffizienten für die Parameter P_i	72
Tabelle A.6 – Sich fortpflanzende systematische Messunsicherheit B_R und zufällige Messunsicherheit $2S_R$	73
Tabelle A.7 – Absolute Gesamtmessunsicherheit des Ergebnisses UR95 und prozentuale Messunsicherheit von UR95 des elektrischen Wirkungsgrades	76
Tabelle B.1 – Heizwerte für Erdgaskomponenten bei verschiedenen Verbrennungs- Standardbedingungen für ideales Gas.....	79
Tabelle C.1 – Referenzgas für Erdgas	83
Tabelle C.2 – Referenzgas für Propangas	83

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 105/211/CD:2009 „Fuel cell technologies – Part 3-2: Stationary fuel cell power systems – Performance test methods“ (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 beigefügt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen IEC-Text.

Das internationale Dokument wurde vom TC 105 „Fuel cell technologies“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet 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 prEN nur 2 Monate 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 diesen Norm-Entwurf ist das nationale Arbeitsgremium K 384 „Brennstoffzellen“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 62282-3-2 (VDE 0130-302):2007-02 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Harmonisierung mit ASME PTC50.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Zusammenhang mit Europäischen und Internationalen Normen

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

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

Eine Information über den Zusammenhang der zitierten Normen mit den entsprechenden Deutschen Normen ist in Tabelle NA.1 wiedergegeben.

Tabelle NA.1

Europäische Norm	Internationale Norm	Deutsche Norm	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
Normen der Reihe EN 60051	Normen der Reihe IEC 60051	Normen der Reihe DIN EN 60051	—
EN 60359:2002	IEC 60359:2001	DIN EN 60359:2002-09	—
EN 60688:1992	IEC 60688:1992	DIN EN 60688:1993-12	
EN 61000-4-7:2002	IEC 61000-4-7:2002	DIN EN 61000-4-7 (VDE 0847-4-7):2003-08	VDE 0847-4-7
EN 61000-4-13:2002	IEC 61000-4-13:2002	DIN EN 61000-4-13 (VDE 0847-4-13):2003-02	VDE 0847-4-13
EN 61028:1993	IEC 61028:1991	DIN EN 61028:1993-12	—
Normen der Reihe EN 61143	Normen der Reihe IEC 61143	Normen der Reihe DIN EN 61143	—
EN 61672:2003	IEC 61672-1:2002	DIN EN 61672-1:2003-10	
EN 61672-2:2003	IEC 61672-2:2003	DIN EN 61672-2:2004-08	
EN 62052-11:2003	IEC 62052-11:2003	DIN EN 62052-11 (VDE 0418-2-11):2003-11	VDE 0418-2-11
EN 62053-22:2003	IEC 62053-22:2003	DIN EN 62053-22 (VDE 0418-3-22):2003-11	VDE 0418-3-22
—	ISO 3648:1994	—	—
EN ISO 3744:1994	ISO 3744:1994	DIN EN ISO 3744:1995-11	—
—	ISO 4677-1:1985	—	—
—	ISO 4677-2:1985	—	—
EN ISO 5167	Normen der Reihe ISO 5167	Normen der Reihe DIN EN ISO 5167	—
—	ISO 5348:1998	DIN ISO 5348:1999-07	—
—	ISO 6060:1989	—	—
Normen der Reihe EN ISO 6326	Normen der Reihe ISO 6326	Normen der Reihe DIN EN ISO 6326	—
Normen der Reihe EN ISO 6974	Normen der Reihe ISO 6974	Normen der Reihe DIN EN ISO 6974	—
Normen der Reihe EN ISO 6975	Normen der Reihe ISO 6975	Normen der Reihe DIN EN ISO 6975	—
EN ISO 6976:2005	ISO 6976:1995 + Corrigendum 1:1997 + Corrigendum 2:1997 + Corrigendum 3:1999	DIN EN ISO 6976:2005-09	—
—	ISO 7934:1989 + A1:1998	DIN ISO 7934:2000-07 (zurückgezogen)	—
—	ISO 7935:1992	—	—
—	ISO 8217:1987	DIN ISO 8217:1993-12	—
—	ISO 9096:2003	—	—

Tabelle NA.1 (fortgesetzt)

Europäische Norm	Internationale Norm	Deutsche Norm	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
Normen der Reihe EN ISO 10101	Normen der Reihe ISO 10101	Normen der Reihe DIN EN ISO 10101	—
—	ISO 10396:2007	—	—
—	ISO 10523:2008	—	—
EN ISO 10707:1998	ISO 10707:1994	DIN EN ISO 10707:1998-03	—
—	ISO 10780:1994	—	—
—	ISO 10849:1996	—	—
—	ISO 11042-1:1996	—	—
—	ISO 11042-2:1996	—	—
EN ISO 11541:2002	ISO 11541:1997	DIN EN ISO 11541:2003-01	—
—	ISO 11564:1998 + Corrigendum 1:2000	—	—
—	ISO 14687:1999 + Corrigendum 1:2001	—	—
—	ISO 16622:2002	DIN ISO 16622:2003-03	—
—	ASTM D4809-00	—	—

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

Normen der Reihe DIN EN 60051, *Direkt wirkende anzeigende elektrische Messgeräte und ihr Zubehör – Messgeräte mit Skalanzeige* (IEC 60051; Deutsche Fassung EN 60051)

DIN EN 60359:2002-09, *Elektrische und elektronische Messeinrichtungen – Angabe zum Betriebsverhalten* (IEC 60359:2001); Deutsche Fassung EN 60359:2002

DIN EN 60688:1993-12, *Messumformer für die Umwandlung von Wechselstromgrößen in analoge oder digitale Signale* (IEC 60688:1992); Deutsche Fassung EN 60688:1992

DIN EN 61000-4-7 (VDE 0847-4-7):2003-08, *Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 4-7: Prüf- und Messverfahren – Allgemeiner Leitfadens für Verfahren und Geräte zur Messung von Oberschwingungen und Zwischenharmonischen in Stromversorgungsnetzen und angeschlossenen Geräten* (IEC 61000-4-7:2002); Deutsche Fassung EN 61000-4-7:2002

DIN EN 61000-4-13 (VDE 0847-4-13):2003-02, *Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 4-13: Prüf- und Messverfahren – Prüfungen der Störfestigkeit am Wechselstrom-Netzanschluss gegen Oberschwingungen und Zwischenharmonische einschließlich leitungsgeführter Störgrößen aus der Signalübertragung auf elektrischen Niederspannungsnetzen*; (IEC 61000-4-13:2002); Deutsche Fassung EN 61000-4-13:2002

DIN EN 61028:1993-12, *Elektrische Messgeräte – X-Y-Schreiber* (IEC 61028); Deutsche Fassung EN 61028

Normen der Reihe DIN EN 61143, *Elektrische Messgeräte – X-t-Schreiber* (IEC 61143; Deutsche Fassung EN 61143)

DIN EN 61672-1:2003-10, *Elektroakustik – Schallpegelmesser – Teil 1: Anforderungen (IEC 61672-1:2002); Deutsche Fassung EN 61672-1:2003*

DIN EN 61672-2:2004-08, *Elektroakustik – Schallpegelmesser – Teil 2: Baumusterprüfungen (IEC 61672-2:2003); Deutsche Fassung EN 61672-2:2003*

DIN EN 62052-11 (VDE 0418-2-11):2003-11, *Wechselstrom-Elektrizitätszähler – Allgemeine Anforderungen, Prüfungen und Prüfbedingungen – Teil 11: Messeinrichtungen (IEC 62052-11:2003); Deutsche Fassung EN 62052-11:2003*

DIN EN 62053-22 (VDE 0418-3-22):2003-11, *Wechselstrom-Elektrizitätszähler – Besondere Anforderungen – Teil 22: Elektronische Wirkverbrauchszähler der Genauigkeitsklassen 0,2 S und 0,5 S (IEC 62053-22:2003); Deutsche Fassung EN 62053-22:2003*

DIN EN ISO 3744:1995-11, *Akustik – Bestimmung der Schallleistungspegel von Geräuschquellen aus Schalldruckmessungen – Hüllflächenverfahren der Genauigkeitsklasse 2 für ein im Wesentlichen freies Schallfeld über einer reflektierenden Ebene (ISO 3744:1994); Deutsche Fassung EN ISO 3744:1995*

Normen der Reihe DIN EN ISO 5167, *Durchflussmessung von Fluiden mit Drosselgeräten in voll durchströmten Leitungen mit Kreisquerschnitt (ISO 5167; Deutsche Fassung EN ISO 5167*

DIN ISO 5348:1999-07, *Mechanische Schwingungen und Stöße – Mechanische Ankopplung von Beschleunigungsaufnehmern (ISO 5348:1998)*

Normen der Reihe DIN EN ISO 6326, *Erdgas – Bestimmung von Schwefelverbindungen (ISO 6326; Deutsche Fassung EN ISO 6326*

Normen der Reihe DIN EN ISO 6974, *Erdgas – Bestimmung der Zusammensetzung mit definierter Unsicherheit durch Gaschromatographie (ISO 6974; Deutsche Fassung EN ISO 6974*

Normen der Reihe DIN EN ISO 6975, *Erdgas – Erweiterte Analyse – Gaschromatographisches Verfahren (ISO 6975; Deutsche Fassung EN ISO 6975*

DIN EN ISO 6976:2005-09, *Erdgas – Berechnung von Brenn- und Heizwert, Dichte, relativer Dichte und Wobbeindex aus der Zusammensetzung (ISO 6976:1995 + Corrigendum 1:1997 + Corrigendum 2:1997 + Corrigendum 3:1999); Deutsche Fassung EN ISO 6976:2005*

DIN ISO 7934:2000-07 (zurückgezogen), *Erdgas – Berechnung von Brenn- und Heizwert, Dichte, relativer Dichte und Wobbeindex aus der Zusammensetzung (ISO 6976:1995 + Corrigendum 1:1997 + Corrigendum 2:1997 + Corrigendum 3:1999); Deutsche Fassung EN ISO 6976:2005*

DIN ISO 8217:1993-12, *Mineralölerzeugnisse; Kraft- und Brennstoffe (Klasse F); Anforderungen an Schiffahrtsbrennstoffe; Identisch mit ISO 8217:1987*

Normen der Reihe DIN EN ISO 10101, *Erdgas – Bestimmung des Wassergehaltes nach Karl Fischer (ISO 10101; Deutsche Fassung EN ISO 10101*

DIN EN ISO 10707:1998-03, *Wasserbeschaffenheit – Bestimmung der vollständigen aeroben biologischen Abbaubarkeit organischer Stoffe in einem wässrigen Medium – Verfahren mittels Bestimmung des biochemischen Sauerstoffbedarfs (geschlossener Flaschentest) (ISO 10707:1994); Deutsche Fassung EN ISO 10707:1997*

DIN EN ISO 11541:2003-01, *Erdgas – Bestimmung des Wassergehaltes unter hohem Druck (ISO 11541:1997); Deutsche Fassung EN ISO 11541:2002*

DIN ISO 16622:2003-03, *Meteorologie – Ultraschall-Anemometer/Thermometer – Abnahmeprüfverfahren für Messungen der mittleren Windgeschwindigkeit (ISO 16622:2002)*

Brennstoffzellentechnologien – Teil 3-2: Stationäre Brennstoffzellen-Energiesysteme – Leistungskennwerteprüfverfahren

Einleitung

Dieser Teil von IEC 62282 beschreibt die Leistungsmessung stationärer Brennstoffzellen-Energiesysteme für Haushalts-, kommerzielle, landwirtschaftliche und industrielle Anwendungen. Folgende Brennstoffzellen-Typen werden darin berücksichtigt: Alkalische Brennstoffzellen (AFC), Phosphorsäure-Brennstoffzellen (PAFC), Polymerelektrolyt-Brennstoffzellen (PEFC), Schmelzkarbonat-Brennstoffzellen (MCFC) und Fest-oxid-Brennstoffzellen (SOFC).

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von IEC 62282 umfasst die Betriebs- und Umwelt-Aspekte der Leistung von stationären Brennstoffzellen-Energiesystemen. Die Prüfverfahren betreffen folgende Bereiche:

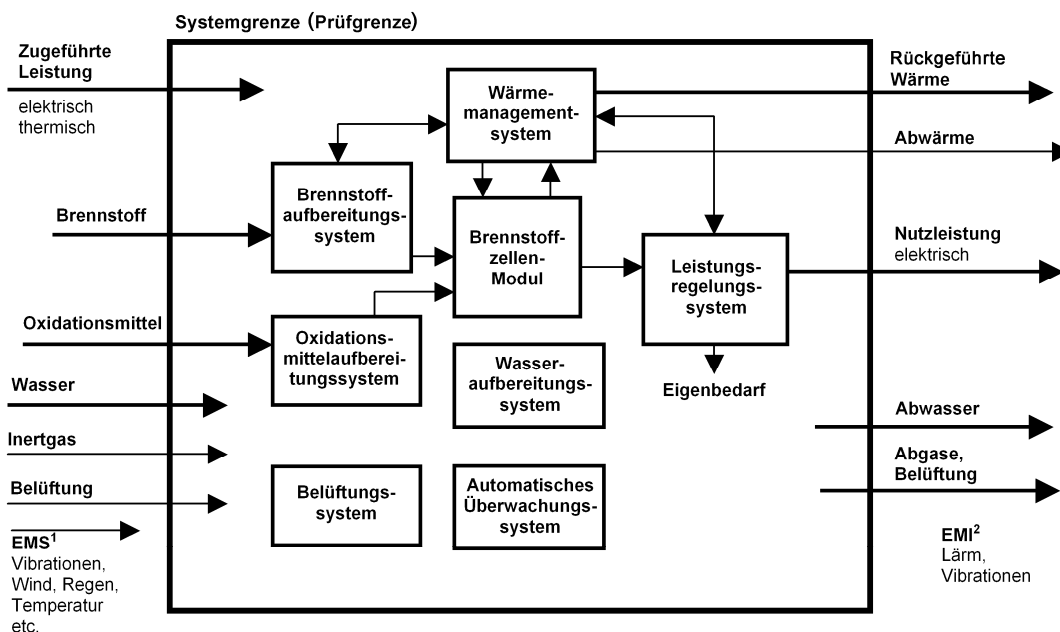
- Leistungsabgabe unter spezifizierten Betriebs- und Laständerungsbedingungen;
- elektrischer und thermischer Wirkungsgrad unter spezifizierten Betriebsbedingungen;
- Umwelteigenschaften; z. B. gasförmige Emissionen, Lärm usw. unter spezifizierten Betriebs- und Laständerungsbedingungen.

EMV wird in diesem Teil von IEC 62282 nicht behandelt.

Brennstoffzellen-Energiesysteme können in Abhängigkeit vom Typ der Brennstoffzelle und der jeweiligen Anwendung verschiedene Untersysteme haben, und sie haben unterschiedliche eingehende und ausgehende Stoff- und Energieströme. Gleichwohl wurden für die Bewertung des Brennstoffzellen-Energiesystems ein gemeinsames Systemdiagramm und eine Systemgrenze definiert (Bild 1). Folgende Punkte müssen bei der Festlegung der Prüfgrenzen des Brennstoffzellen-Energiesystems berücksichtigt werden:

- Alle Energierückgewinnungssysteme liegen innerhalb der Prüfgrenzen.
- Die Berechnung des Gesamtenthalpiestromes des zugeführten Brennstoffes (wie Erdgas, Propan, reiner Wasserstoff usw.) basiert auf dem Zustand des Brennstoffs an der Systemgrenze des Brennstoffzellen-Energiesystems.

Diese Norm berücksichtigt keine ein- oder austretende mechanische (Wellen-) Leistung oder mechanische Energie. Mechanische Systeme, die zum Betrieb der Brennstoffzellen erforderlich sind (z. B. Belüftung, Mikroturbinen, Verdichter), müssen innerhalb der Prüfgrenzen liegen. Die direkte Messung dieser mechanischen Systeme innerhalb der Prüfgrenzen ist nicht erforderlich. Gleichwohl wird die Wirkung dieser Systeme im Rahmen des Betriebs des Brennstoffzellen-Energiesystems berücksichtigt. Sofern mechanische (Wellen-) Leistung und Energie über die Prüfgrenzen treten, sind weitere Messungen und Berechnungen erforderlich.



Legende



Brennstoffzellen-Energiesystem einschließlich Untersystemen. Die Schnittstelle wird als gedankliche oder funktionale Schnittstelle verstanden anstelle einer Hardware-Schnittstelle, wie etwa ein Leistungsmodul.



Untersystem: Brennstoffzellenmodul, Brennstoffaufbereitung usw. Der Aufbau der Untersysteme ist abhängig von der Art des Brennstoffs, dem Typ der Brennstoffzelle oder dem System.



Schnittstellenpunkte an der Systemgrenze, die zur Ermittlung von Berechnungsdaten zu messen sind.

1 EMS: Elektromagnetische Empfindlichkeit

2 EMI: Elektromagnetische Beeinflussung

Bild 1 – Diagramm Brennstoffzellensystem

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

IEC 60051 (all parts), *Direct acting indicating analogue electrical measuring instruments and their accessories*

IEC 60359:2001, *Electrical and electronic equipment – Expression of performance* IEC 60688:1992, *Electrical measuring transducers for converting a.c. electrical quantities to analogue or digital signals*

IEC 60688:1992, *Electrical measuring transducers for converting a.c. electrical quantities to analogue or digital signals*

IEC 61000-4-7, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-7: Testing and measurement techniques – General guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation, for power supply systems and equipment connected thereto*

IEC 61000-4-13, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-13: Testing and measurement techniques – Harmonics and interharmonics including mains signalling at a.c. power port, low frequency immunity tests*

E DIN IEC 62282-3-2 (VDE 0130-302):2009-07

IEC 61028:1991, *Electrical measuring instruments – X-Y recorders*

IEC 61143 (all parts), *Electrical measuring instruments – X-t recorders*

IEC 61672-1, *Electroacoustics – Sound level meters – Part 1: Specifications*

IEC 61672-2, *Electroacoustics – Sound level meters – Part 2: Pattern evaluation tests*

IEC 62052-11, *Electricity metering equipment (AC) – General requirements, tests and test conditions – Part 11: Metering equipment*

IEC 62053-22, *Electricity metering equipment (a.c.) – Particular Requirements – Part 22: Static meters for active energy (classes 0,2 S and 0,5 S)*

ISO 3648, *Aviation fuels – Estimation of net specific energy*

ISO 3744:1994, *Acoustics – Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure – Engineering method in an essentially free field over a reflecting plane* ISO 4677-1, *Atmospheres for conditioning and testing – Determination of relative humidity – Part 1: Aspirated psychrometer method*

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

ISO 5167 (all parts), *Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full*

ISO 5348, *Mechanical vibration and shock – Mechanical mounting of accelerometers*

ISO 6060, *Water quality – Determination of the chemical oxygen demand*

ISO 6326 (all parts), *Natural gas – Determination of sulfur compounds*

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

ISO 6975 (all parts), *Natural gas – Extended analysis – Gas-Chromatographic method*

ISO 6976, *Natural gas – Calculation of calorific values, density, relative density and Wobbe index from composition*

ISO 7934, *Stationary source emissions – Determination of the mass concentration of sulfur dioxide – Hydrogen peroxide/barium perchlorate/thorin method*

ISO 7935, *Stationary source emissions – Determination of the mass concentration of sulfur dioxide – Performance characteristics of automated measuring methods*

ISO 8217, *Petroleum products – Fuel (class F) □ Specifications of marine fuels*

ISO 9096, *Stationary source emissions – Manual determination of mass concentration of particulate matter*

ISO 10101 (all parts), *Natural gas – Determination of water by the Karl Fisher Method*

ISO 10396, *Stationary source emissions – Sampling for the automated determination of gas concentrations*

ISO 10523, *Water quality – Determination of pH*

ISO 10707, *Water quality – Evaluation in an aqueous medium of the "ultimate" aerobic biodegradability of organic compounds – Method by analysis of biochemical oxygen demand (closed bottle test)*

ISO 10780, *Stationary source emissions – Measurement of velocity and volume flowrate of gas streams in ducts*

ISO 10849, *Stationary source emissions – Determination of the mass concentration of nitrogen oxides – Performance characteristics of automated measuring systems*

ISO 11042-1, *Gas turbines – Exhaust gas emission – Part 1: Measurement and evaluation*

ISO 11042-2, *Gas turbines – Exhaust gas emission – Part 2: Automated emission monitoring*

ISO 11541, *Natural gas – Determination of water content at high pressure*

ISO 11564, *Stationary source emissions – Determination of the mass concentration of nitrogen oxides – Naphthylethylenediamine photometric method*

ISO 14687:1999, *Hydrogen fuel – Product specification*

ISO 16622, *Meteorology – Sonic anemometer/thermometers – Acceptance test methods for mean wind measurements*

ASTM D4809-00, *Standard Test Method for Heat of Combustion of Liquid Hydrocarbon Fuels by Bomb Calorimeter (Precision Method)* ASME PTC50, *Performance Test Code 50 on Fuel Cell Power Systems Performance*

ASME PTC50, *Performance Test Code 50 on Fuel Cell Power Systems Performance*

3 Begriffe und Symbole

3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1.1

Geräuschpegel

durch das Brennstoffzellen-Energiesystem erzeugter Schalldruck, der in einem festgelegten Abstand bei sämtlichen Betriebszuständen gemessen wird

ANMERKUNG Der Schalldruck wird in Dezibel (dB) ausgedrückt und in der in diesem Dokument angegebenen Weise gemessen.

3.1.2

Hintergrund-Geräuschpegel

Schalldruck der Umgebungsgeräusche am Messpunkt

ANMERKUNG Diese Messung ist nach Anweisung dieses Dokuments durchzuführen, während sich das Brennstoffzellen-Energiesystem im kalten Zustand befindet.

3.1.3

Hintergrund-Vibrationspegel

mechanische Schwingungen, die durch die Umgebung verursacht werden und die Messung des Schwingungspegels beeinflussen

ANMERKUNG Hintergrundschwingungen werden gemessen, während sich das Brennstoffzellen-Energiesystem im kalten Zustand befindet.

3.1.4

kalter Zustand

Zustand eines Brennstoffzellen-Energiesystems bei Umgebungstemperatur, ohne dass Leistung zu- oder abgeführt wird

3.1.5

Abwasser

Wasser, das das Brennstoffzellen-Energiesystem verlässt

ANMERKUNG Abwasser stellt keinen Teil des Wärmerückgewinnungssystems dar.

3.1.6

Abgaszusammensetzung

Konzentrationen der gesamten Schwefeloxide (SO_x), Gesamt-Stickstoffoxide (NO_x), Kohlenstoffdioxid (CO_2), Kohlenstoffmonoxid (CO), Gesamt-Kohlenwasserstoffverbindungen und Abgaspartikel im Abgas

ANMERKUNG Gemessen an dem Punkt des Übertritts in die Umgebung, wie im vorliegenden Teil von IEC 62282 beschrieben.

3.1.7

Brennstoffzellen-Energiesystem

System, das chemische Energie durch einen elektrochemischen Prozess in elektrische Energie (Gleich- oder Wechselstrom) und Wärmeenergie umwandelt

ANMERKUNG Das Brennstoffzellen-Energiesystem setzt sich aus allen oder einem Teil der folgenden Unter Systeme zusammen: Einem oder mehreren Brennstoffzellenmodulen, einem Brennstoffaufbereitungssystem, einem Leistungsregelungssystem, einem Wärme-Managementsystem sowie weiteren erforderlichen Unter Systemen. Ein allgemeines Brennstoffzellen-Energiesystem ist in Bild 1 dargestellt.

3.1.8

Brennstoffverbrauch

Menge an Erdgas, Wasserstoff, Methanol, Benzin, Propan, Butan oder anderen Energieträgern, die unter spezifizierten Betriebsbedingungen vom Brennstoffzellen-Energiesystem verbraucht wird

3.1.9

Wirkungsgrad der Wärmerückgewinnung (eines Brennstoffzellen-Energiesystems)

Verhältnis der zurückgewonnenen Wärmeenergie zur gesamten durch Brennstoff und Oxidationsmittel (Luft) zugeführten Leistung zu einem bestimmten Zeitpunkt

3.1.10

Schnittstellenpunkt

Messpunkt an der Systemgrenze eines Brennstoffzellen-Energiesystems, an dem Stoffe und/oder Energie entweder zu- oder abgeführt werden

ANMERKUNG Diese Systemgrenze ist bewusst gewählt, um die Leistung des Systems genau messen zu können. Falls erforderlich, sollten die Systemgrenzen oder Schnittstellenpunkte am Brennstoffzellen-Energiesystem (Bild 1) in Abstimmung mit den Betroffenen gewählt werden.

3.1.11

Minimalleistung

minimale abgegebene Netto-Leistung, bei der das Brennstoffzellen-Energiesystem unter stabilen Betriebsbedingungen dauerhaft betrieben werden kann

3.1.12

Gesamtwirkungsgrad (eines Brennstoffzellen-Energiesystems)

Summe aus elektrischem Wirkungsgrad und dem Wirkungsgrad der zurückgewonnenen Wärme

3.1.13

Oxidationsmittelverbrauch (Luftverbrauch)

Menge an Sauerstoff, die unter spezifizierten Betriebsbedingungen vom Brennstoffzellen-Energiesystem verbraucht wird

3.1.13-2

elektrischer Wirkungsgrad (eines Brennstoffzellen-Energiesystems)

Verhältnis von abgeführter elektrischer Nettoleistung eines Brennstoffzellen-Energiesystems zu einem gegebenen Zeitpunkt zur gesamten demselben Brennstoffzellen-Energiesystem zum selben Zeitpunkt durch Brennstoff und Oxidationsmittel zugeführten Leistung

ANMERKUNG Wenn die elektrische Energie zur Versorgung des Eigenbedarfs des Brennstoffzellensystems von einer externen Quelle zugeführt wird, wird zur Berechnung des Wirkungsgrades diese Energiemenge von der abgegebenen elektrischen Energie des Brennstoffzellensystems abgezogen.

3.1.14

Eigenbedarf

Leistung für Hilfsaggregate, Steuerungssysteme und weitere Ausrüstung, welche notwendig ist, um ein Brennstoffzellen-Energiesystem zu betreiben

3.1.15

Lastwechsel-Reaktionszeit

Zeitdauer zwischen dem Zeitpunkt, zu dem eine Änderung der elektrischen oder thermischen Ausgangsleistung initiiert wird, und dem Zeitpunkt, zu dem die elektrische oder thermische Ausgangsleistung den Soll-Wert eingeschwungen innerhalb der entsprechenden Toleranz erreicht hat

3.1.16

90%-Lastwechsel-Reaktionszeit

Zeitdauer zwischen dem Zeitpunkt, zu dem eine Änderung der elektrischen oder thermischen Ausgangsleistung initiiert wird, und dem Zeitpunkt, zu dem die elektrische oder thermische Ausgangsleistung 90 % des Soll-Wertes erreicht hat

3.1.17

Spülgasverbrauch

Menge an Inertgas oder Verdünnungsgas, mit der das Brennstoffzellen-Energiesystem unter bestimmten Bedingungen versorgt wird, um es für Betrieb oder Abschaltung vorzubereiten

3.1.18

zurückgewonnene Wärme (eines Brennstoffzellen-Energiesystems)

Wärmeenergie, die vom Brennstoffzellen-Energiesystem zurückgewonnen wird

ANMERKUNG Die zurückgewonnene Wärme wird gemessen, indem die Temperaturen und Durchflüsse der fluiden Medien (Wasser, Dampf, Luft oder Öl usw.) ermittelt werden, die am Schnittstellenpunkt des Brennstoffzellen-Energiesystems in das Wärmemanagement-Untersystem eintreten oder aus diesem austreten.

3.1.19

Reaktionszeit bei Lastwechsel auf Bemessungsleistung

Zeitdauer zwischen dem Zeitpunkt der Initiierung eines schrittförmigen Lastwechsels auf Bemessungsleistung und dem ersten Moment, in dem dieser Wert erreicht wird

3.1.20

sekundäre Wärmeströme

zusätzliche Wärmeeinträge in die Systemgrenzen hinein, die zu berücksichtigen sind, wie z. B. Kreislauf-ergänzung oder Kondensatrückführung

3.1.21

Wellenarbeit

mechanische Energie, die die Systemgrenze der Energieanlage verlässt, um nutzbare Arbeit zu verrichten

3.1.22

Abschaltzeit

Zeitdauer zwischen dem Zeitpunkt der Trennung der Last bei Bemessungsleistung und dem Zeitpunkt der Beendigung der Abschaltprozedur, wie von Hersteller festgelegt

ANMERKUNG Abschaltvorgänge werden in normale Abschaltung und Notabschaltung unterschieden.

3.1.23

Bereitschaftszustand

Zustand, bei dem sich das Brennstoffzellen-Energiesystem auf Betriebstemperatur befindet und sich in einem Betriebsmodus befindet, aus dem heraus es unmittelbar in einen Betriebsmodus geschaltet werden kann, in dem es elektrische Nettoleistung abgibt

3.1.24

Anfahrenergie

Summe der elektrischen, thermischen und/oder chemischen (Brennstoff-) Energie, die während des Anfahrvorgangs erforderlich ist

3.1.25

Anfahrzeit

erforderliche Zeitdauer für den Übergang vom kalten Zustand in den Zustand der elektrischen Netto-Leistungsabgabe für Systeme, die für die Aufrechterhaltung des Lagerungszustandes keine externe Leistung benötigen. Für Systeme, die für die Aufrechterhaltung des Lagerungszustandes externe Leistung benötigen, ist dies die erforderliche Zeitdauer für den Übergang vom Lagerungszustand in den Zustand der elektrischen Netto-Leistungsabgabe

3.1.26

Prüflauf

Zeitraum, innerhalb dessen die Messwerte von Datenpunkten aufgezeichnet werden, die zur Berechnung der Prüfergebnisse erforderlich sind

ANMERKUNG Die aufgezeichneten Ergebnisse basieren auf diesen Datenpunkten

3.1.27

Lagerungszustand

Zustand des sich nicht in Betrieb befindlichen Brennstoffzellen-Energiesystems, bei dem unter vom Hersteller festgelegten Bedingungen die Zufuhr von Wärme oder elektrischer Energie erforderlich ist, um den Verschleiß von Bauteilen zu verhindern

3.1.28

Vibrationspegel

maximaler Messwert der mechanischen Schwingungen, den das Brennstoffzellen-Energiesystem während des Betriebs erzeugt

ANMERKUNG Dieser Wert wird in Dezibel (dB) nach Anweisung dieses Dokuments ausgedrückt.

3.1.29

Abwärme

abgegebene Wärme, die nicht zurückgewonnen wird

3.1.30

Wasserverbrauch

Wasser, mit dem das Brennstoffzellen-Energiesystem von außerhalb der Prüfgrenzen versorgt wird und das keine anfängliche Befüllung darstellt

3.2 Symbole

Symbole, die in diesem Teil der Norm IEC 62282 verwendet werden sowie deren Bedeutung, sind in Tabelle 1 mit den entsprechenden Einheiten aufgeführt.

Tabelle 1 – Symbole

Symbol	Begriff	Einheit
q_v	Volumenstrom	
Q_{vf}	durchschnittlicher Volumenstrom des Brennstoffs bei Durchschnittstemperatur t_f und Durchschnittsdruck p_f	m ³ /s
q_{vf0}	durchschnittlicher Volumenstrom des Brennstoffs bei Standardbedingungen	m ³ /s
q_{va}	durchschnittlicher Volumenstrom der Luft bei Durchschnittstemperatur t_a und Durchschnittsdruck p_a	m ³ /s
q_{va0}	durchschnittlicher Volumenstrom der Luft bei Standardbedingungen	m ³ /s
q_r	durchschnittlicher Volumenstrom des Wärmerückgewinnungsfluids	m ³ /s
q_{ve}	Volumenstrom des Abgases bei Abgastemperatur und -druck	m ³ /s
q_{vw}	Volumenstrom von Wasser bei Prozesstemperatur und -druck	m ³ /s
q_m	Massendurchfluss	
q_{mf}	durchschnittlicher Massenstrom des Brennstoffs	kg/s
q_{ma}	durchschnittlicher Massenstrom der Luft	kg/s
q_{mr}	durchschnittlicher Massenstrom des zur Wärmerückgewinnung eingesetzten Fluids	kg/s
q_{me}	Massenstrom des Abgases	kg/s
P	elektrische Wirkleistung	
P_{out}	durchschnittliche Wirkleistung der elektrischen Ausgangsleistung (einschließlich Gleichstrom)	kW
P_{in}	durchschnittliche Wirkleistung der elektrischen Eingangsleistung externer Leistungsquellen (einschließlich Gleichstrom)	kW
P_n	durchschnittliche abgegebene elektrische Netto-Leistung	
p	Druck	
p_0	Standarddruck	kPa
p_f	durchschnittlicher Brennstoffdruck	kPa
p_a	durchschnittlicher Druck des Oxidationsmittels (Luft)	kPa
p_{HR1}	Austrittsdruck des zur Wärmerückgewinnung eingesetzten Fluids	kPa
p_{HR2}	Eintrittsdruck des zur Wärmerückgewinnung eingesetzten Fluids	kPa
t	Temperatur	
t_0	Standardtemperatur	K
t_f	durchschnittliche Brennstofftemperatur	K
t_a	durchschnittliche Temperatur des Oxidationsmittels (Luft)	K
t_{HR1}	Austrittstemperatur des zur Wärmerückgewinnung eingesetzten Fluids	K
t_{HR2}	Eintrittstemperatur des zur Wärmerückgewinnung eingesetzten Fluids	K
ρ	Dichte	
ρ_{f0}	Dichte des Brennstoffs bei Standardbedingungen	kg/m ³
ρ_f	Dichte flüssigen Brennstoffs bei Temperatur t_f	kg/m ³
ρ_{a0}	Dichte des Oxidationsmittels (Luft) bei Standardbedingungen	kg/m ³
ρ_e	Massenkonzentration der Emissionen bei Abgastemperatur und -druck	kg/m ³
x_j	molarer Anteil der Komponente j	—

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Symbol	Begriff	Einheit
Q	thermische Größen	
Q_{HR}	Wärmestrom der zurückgewonnenen thermischen Energie	kJ/s
Q_{f0}	Heizwert des Brennstoffs bei Standardbedingungen	kJ/mol
Q_{fl}	Heizwert des Brennstoffs im flüssigen Zustand	kJ/kg
Q_{f0j}	Heizwert der Komponente j	kJ/mol
Q_{WH}	Abwärme	kJ/s
H, h	Enthalpie, spezifische Enthalpie	
h_{HR1}	Austrittsenthalpie des zur Wärmerückgewinnung eingesetzten Fluids	kJ
h_{HR2}	Eintrittsenthalpie des zur Wärmerückgewinnung eingesetzten Fluids	kJ
h_{hR1}	spezifische Enthalpie des zur Wärmerückgewinnung eingesetzten Fluids bei Temperatur t_{HR1} und Druck p_{HR1}	kJ/kg
h_{hR2}	spezifische Enthalpie des zur Wärmerückgewinnung eingesetzten Fluids bei Temperatur t_{HR2} und Druck p_{HR2}	kJ/kg
h_f	spezifische Enthalpie des Brennstoffs bei Durchschnittstemperatur t_f (kJ/mol)	kJ/mol
h_{f0}	spezifische Enthalpie des Brennstoffs bei Standardtemperatur t_0 (kJ/mol)	kJ/mol
h_a	spezifische Enthalpie des Oxidationsmittels (Luft) bei Durchschnittstemperatur t_a (kJ/mol)	kJ/mol
h_{a0}	spezifische Enthalpie des Oxidationsmittels (Luft) bei Standardtemperatur	kJ/mol
H_i	Durchschnittsenthalpie des Wärmeträgerfluids bei Eintritt in das System	kJ/kg
H_o	Durchschnittsenthalpie des Wärmeträgerfluids bei Austritt aus dem System	kJ/kg
E, Q, W	Eingangsenergie und -leistung	
E_{fv}	Energie des zugeführten Brennstoffs je Volumeneinheit	kJ/m ³
E_{fm}	Energie des zugeführten Brennstoffs je Masseneinheit	kJ/kg
E_{pf}	Druck-Energie des Brennstoffs	kJ/mol
E_{av}	Energie des zugeführten Oxidationsmittels (Luft) je Volumeneinheit	kJ/m ³
E_{pa}	Druck-Energie des Oxidationsmittels (Luft)	kJ/mol
Q_{in}	durchschnittliche Gesamt-Eintrittsenergie des Brennstoffs und des Oxidationsmittels	kJ/s
Q_{inf}	durchschnittliche Gesamt-Eintrittsenergie des Brennstoffs	kJ/s
Q_{ina}	durchschnittliche Gesamt-Eintrittsenergie des Oxidationsmittels	kJ/s
W_{si}	durchschnittliche eintretende mechanische Wellenarbeitsleistung	kJ/s
Q_{st}	durchschnittliche eintretende sekundäre Wärmeleistung	kJ/s
η	Wirkungsgrad	
η_e	elektrischer Wirkungsgrad	%
η_{th}	Wirkungsgrad der zurückgewonnenen Wärme	%
η_{total}	energetischer Gesamtwirkungsgrad	%
T, PR, QR	Reaktionszeit, Anstiegsrate	
T_{oben}	– Reaktionszeit von Minimalleistung auf Bemessungsleistung – Reaktionszeit von minimaler thermischer Leistung auf thermische Bemessungsleistung	s
T_{unten}	– Reaktionszeit von Bemessungsleistung auf Minimalleistung – Reaktionszeit von thermischer Bemessungsleistung auf minimale thermische Leistung	s

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Symbol	Begriff	Einheit
T_{oben90}	<ul style="list-style-type: none"> Reaktionszeit, bis die Leistung 90 % des spezifizierten oberen Anforderungswertes erreicht. Zeitdauer von T_{Start} bis $T_{\text{erreicht90}}$ (s) Reaktionszeit, bis die Leistung 90 % des spezifizierten oberen thermischen Anforderungswertes erreicht 	s
T_{unten90}	<ul style="list-style-type: none"> Reaktionszeit, bis die Leistung 90 % des spezifizierten unteren Anforderungswertes erreicht. Zeitdauer von T_{Start} bis $T_{\text{erreicht90}}$ (s) Reaktionszeit, bis die Leistung 90 % des spezifizierten unteren thermischen Anforderungswertes erreicht 	s
$PR_{\text{Bemessung}}$	Steigung von minimaler auf Bemessungsleistung	W/s, kW/s
PR_{min}	Steigung von Bemessungsleistung auf minimale Leistung	W/s, kW/s
PR_{oben90}	Steigung von minimaler elektrischer Leistung auf 90 % der elektrischen Bemessungsleistung	W/s, kW/s
PR_{unten90}	Steigung von elektrischer Bemessungsleistung auf die Leistung, die 90 % der gesamten abwärts gerichteten Differenz zwischen Bemessungsleistung und minimaler Leistung entspricht	W/s, kW/s
$QR_{\text{Bemessung}}$	Steigung von minimaler thermischer Leistung auf thermische Bemessungsleistung	kJ/s/s, W/s, kW/s
QR_{min}	Steigung von thermischer Bemessungsleistung auf minimale thermische Leistung	kJ/s/s, W/s, kW/s
QR_{oben90}	Steigung von minimaler thermischer Leistung auf 90 % thermische Bemessungsleistung	kJ/s/s, W/s, kW/s
QR_{unten90}	Steigung von thermischer Bemessungsleistung auf die thermische Leistung, die 90 % der gesamten abwärts gerichteten Differenz zwischen thermischer Bemessungsleistung und minimaler thermischer Leistung entspricht	kJ/s/s, W/s, kW/s
ANMERKUNG Wesentliche Symbole des Brennstoffzellen-Energiesystems sind in Bild 2 dargestellt.		

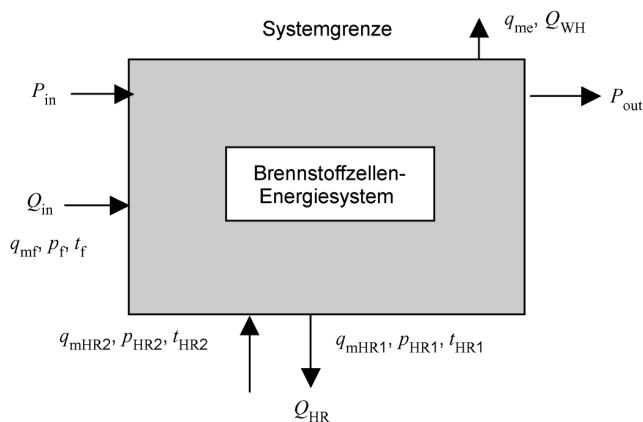


Bild 2 – Symbol-Diagramm

4 Standardbedingung

4.1 Allgemeines

Dieser Abschnitt enthält grundlegende Standardbedingungen zur Berechnung der Prüfergebnisse.

4.2 Temperatur und Druck

Die Standardbedingungen sind folgendermaßen spezifiziert:

Standardtemperatur: $t_0 = 288,15 \text{ K (15 °C)}$

Standarddruck: $p_0 = 101,325 \text{ kPa}$

4.3 Heizwert-Basis^{N1)}

Unter Heizwert des Brennstoffs wird grundsätzlich der untere Brennwert (LHV – lower heating value) verstanden.

$$\eta_e \text{ bzw. } \eta_{th} = XX \%$$

Im Fall der Anwendung des unteren Heizwerts (LHV) ist es nicht nötig, das Symbol „LHV“ hinzuzufügen.

Wird der obere Heizwert (Brennwert, HHV) verwendet, muss die Abkürzung „HHV“ zum Wert des Energiewirkungsgrades wie folgt hinzugefügt werden:

$$\eta_e \text{ bzw. } \eta_{th} = XX \% \text{ (HHV)}$$

ANMERKUNG LHV: Unterer Heizwert; HHV: Oberer Heizwert.

5 Gegenstand der Leistungsprüfung

Die Bewertung der Leistung des Brennstoffzellen-Energiesystems ist unter folgenden Gesichtspunkten zu betrachten:

- a) Betriebsaspekt: Leistungsprüfung des Systems bei normalem Betrieb sowie während betriebsbedingter Übergangszustände.
- b) Umweltaspekte: Prüfung, wie das System seine Umgebung beeinflusst.

Tabelle 2 führt die Prüfkriterien für die Leistungsprüfung im Betrieb sowie die Leistungsprüfung unter Umweltaspekten auf. Das Brennstoffzellen-Energiesystem ist den Prüfkriterien nach Tabelle 2 im Ganzen zu unterwerfen.

Sofern nicht anders angegeben, sind sämtliche Prüfungen für sämtliche Brennstoffzellentypen erforderlich. Unterschiede in Aufbau und Technologie des Systems können dazu führen, dass bestimmte Prüfungen ausgelassen werden können. (Beispielsweise erfordert ein System ohne Wärmerückgewinnung keine Messung der zurückgewonnenen Wärme.)

Tabelle 2 – Prüfkriterium und Einteilung der Prüfungen

Gegenstand	Prüfung
	Betriebsaspekte
1	Wirkungsgradprüfung
2	Prüfung der Anfahr- und Abschaltcharakteristik
3	Prüfung des Spülgasverbrauchs
4	Prüfung des Wasserverbrauchs
5	Prüfung der Abwärme
	Umweltaspekte
1	Abgasprüfung
2	Prüfung des Geräuschpegels
3	Prüfung des Vibrationspegel
4	Prüfung der Abwasserqualität

^{N1)} Nationale Fußnote: Im Deutschen ist die Bezeichnung unterer Heizwert (LHV) und oberer Heizwert (HHV) nicht mehr üblich. Es gibt nur noch die Bezeichnung Heizwert (LHV) und Brennwert (HHV).

6 Prüfvorbereitungen

6.1 Allgemeines

Dieser Abschnitt beschreibt typische Kriterien, die vor der Durchführung einer Prüfung zu berücksichtigen sind. Bei allen Prüfungen ist es erforderlich, die Messunsicherheit durch den Einsatz von Präzisionsmessgeräten und durch sachgerechte und detaillierte Planung der Prüfdurchführung zu minimieren. Detaillierte Prüfanleitungen, basierend auf diesem Teil der IEC 62282, sind von den Beteiligten vor der Prüfung vorzubereiten. Die Prüfanleitung muss in schriftlicher Form vorliegen. Zu berücksichtigende Prüfkriterien sind in Tabelle 3 aufgeführt.

Die Prüfanleitung muss Folgendes enthalten:

- a) Ziel;
- b) Prüfspezifikationen;
- c) Qualifikation des die Prüfung durchführenden Personals;
- d) Normen zur Qualitätssicherung (ISO 9000 oder andere vergleichbare Normen);
- e) einzuhaltende Messunsicherheiten (mit Bezug auf A.1 und A.2);
- f) Messgeräteausstattung (mit Bezug auf Abschnitt 7);
- g) abgeschätzter Bereich der Prüfparameter;
- h) Datenerfassungsplan (mit Bezug auf 6.2.2);
- i) Bezugnahme auf grundsätzliche Sicherheitsbetrachtungen für den Einsatz von Wasserstoff als Brennstoff (nach den Anweisungen in der vom Endgerätehersteller zur Verfügung gestellten Dokumentation), sofern anwendbar.

6.2 Messunsicherheitsuntersuchung

6.2.1 Untersuchung zu Messunsicherheitskriterien

Für die vier unten genannten Messgrößen ist eine Untersuchung der Messunsicherheit durchzuführen, um die Zuverlässigkeit der Prüfergebnisse zu definieren und um den Anforderungen des Kunden zu entsprechen. Die nachfolgend aufgeführten Prüfergebnisse sind zur Bestimmung der absoluten und relativen Messunsicherheit zu untersuchen. Eine Prüfung ist so zu planen, dass die Zuverlässigkeit der Ergebnisse für die folgenden Punkte ausgewertet werden kann:

- Elektrische Leistungsabgabe;
- elektrischer Wirkungsgrad;
- Wirkungsgrad der zurückgewonnenen Wärme;
- energetischer Gesamtwirkungsgrad.

6.2.2 Datenerfassungsplan

Das Datenerfassungssystem (d. h. die Dauer und Häufigkeit der Aufzeichnung), das erforderlich ist, um die einzuhaltende Messgenauigkeit zu erreichen sowie die zur Messwertaufzeichnung erforderliche Ausrüstung, die geeignet ist für die erforderliche Aufzeichnungshäufigkeit und -geschwindigkeit, sind vor Beginn der Leistungsprüfung vorzubereiten (siehe 8.2 und A.2).

7 Messinstrumente und Messmethoden

7.1 Allgemeines

Die Arten der eingesetzten Messinstrumente sowie die Messmethoden müssen den anwendbaren Internationalen Normen entsprechen und sind so auszuwählen, dass die Messunsicherheit innerhalb der vom Hersteller vorgegebenen Zielabweichungen liegen. Falls erforderlich, ist zusätzliche externe Ausrüstung mit den geforderten Genauigkeitswerten einzusetzen.

Die in 7.2 aufgeführten Messgeräte und -ausrüstungen werden normalerweise zur Messung der Leistung von Brennstoffzellen-Energiesystemen eingesetzt.

7.2 Messgeräte

- a) Messgeräte zur Messung der elektrischen Leistungsabgabe und -aufnahme:
 - Leistungsmessgerät, Spannungsmessgerät, Strommessgerät und weitere Ausrüstung;
- b) Messgeräte zur Messung der Brennstoffzuführung:
 - Brennstoffdurchflussmessgeräte, Drucksensoren, Temperatursensoren;
- c) Geräte zur Bestimmung des Heizwerts des Brennstoffs:
 - Gaschromatographen oder andere Geräte mit vergleichbarer Genauigkeit;
 - Kalorimeter oder andere Geräte mit vergleichbarer Genauigkeit;
- d) Messgeräte zur Messung des Durchflusses des Wärmeträgermediums der Wärmerückgewinnung:
 - Durchflussmessgeräte, Temperatursensoren, Drucksensoren;
- e) Messgeräte zur Messung der Zusammensetzung des Abgases und der Qualität des Abwassers:
 - Abgasanalysegeräte; beispielsweise für Staub, SO_x , NO_x , CO_2 , CO sowie Gesamt-Kohlenwasserstoffe;
 - Geräte zur Bestimmung der Wasserqualität; beispielsweise pH-Messgerät, elektrochemische Sonde;
- f) Messgeräte zur Messung des Geräuschpegels:
 - Geräuschmessgeräte, Mikrofone;
- g) Messgeräte zur Vibrationsmessung:
 - Schwingungsmessgeräte, Beschleunigungsmessgeräte, Abtaster;
- h) Messgeräte zur Messung der Umgebungsbedingungen:
 - Barometer, Hygrometer, Temperatursensoren.

7.3 Messmethoden

7.3.1 Elektrische Leistung

Die Messung der elektrischen Leistung kann herangezogen werden, um die elektrische Arbeit während der Prüfdauer zu berechnen.

Digitale Messgeräte für die elektrische Leistung können zur direkten Messung der elektrischen Leistungszuführung und -abführung zusätzlich zur Messungen der Spannung „U“ und des elektrischen Stroms „I“ eingesetzt werden.

Ist die direkte Messung der Leistung nicht möglich, können die folgenden Gleichungen zur Ermittlung der elektrischen Leistung bei Wechselstrom und bei bekanntem λ eingesetzt werden.

Für Drei-Phasen-Systeme

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \lambda$$

Für Ein-Phasen-Systeme

$$P = U \cdot I \cdot \lambda$$

Für Gleichstrom kann die folgende Gleichung genutzt werden:

$$P = U \cdot I$$

Die elektrische Leistung, Spannung, Strom und Leistungsfaktor sind nach IEC 60051, IEC 60359, IEC 62052-11, IEC 62053-22, IEC 60688, IEC 61028 und IEC 61143 zu messen.

Elektrische Messgeräte für die Messung von Leistung, Spannung, Strom und Leistungsfaktor müssen vor Beginn der Messung hinsichtlich Messgenauigkeit und Kalibrierung als geeignet ermittelt worden sein.

Die Messpunkte sind wie folgt zu wählen:

- a) um die elektrische Leistungsabgabe zu messen, sind ein elektrisches Leistungsmessgerät, ein Spannungsmessgerät, ein Strommessgerät sowie ein Messgerät für den Leistungsfaktor an der Schnittstelle der elektrischen Ausgangsleistung anzuordnen;
- b) um die elektrische Leistungsaufnahme für den Eigenbedarf aus einer externen Quelle zu messen, ist ein elektrisches Leistungsmessgerät, ein Spannungsmessgerät, ein Strommessgerät sowie ein Messgerät für den Leistungsfaktor an der Schnittstelle der elektrischen Eingangsleistung anzuordnen;
- c) die Messung des Leistungsfaktors ist durchzuführen, während das Brennstoffzellen-Energiesystem mit einer externen Last oder dem öffentlichen Stromnetz verbunden ist.

7.3.2 Messung der Brennstoffzuführung

7.3.2.1 Allgemeines

Es können, abhängig von der Spezifikation des geprüften Brennstoffzellen-Energiesystems, entweder gasförmige oder flüssige Brennstoffe eingesetzt werden. Der Heizwert des Brennstoffs muss während der gesamten Prüfzeit konstant gehalten werden (siehe Tabelle 4).

7.3.2.2 Messung gasförmiger Brennstoffe

7.3.2.2.1 Allgemeines

Die Charakterisierung des gasförmigen Brennstoffs muss die Bestimmung folgender Punkte umfassen:

- a) Heizwert;
- b) Temperatur;
- c) Druck;
- d) Dichte.

Der Heizwert des gasförmigen Brennstoffs ist nach 8.3.3.1 zu berechnen.

7.3.2.2.2 Messung der Zusammensetzung gasförmiger Brennstoffe

- a) Probe

Der gasförmige Brennstoff muss während des Betriebes des Brennstoffzellen-Energiesystems mit einer Häufigkeit und einer angemessenen Anzahl von Proben untersucht werden, welche den Anforderungen der Messunsicherheitsanalyse entspricht.

Bereits analysiertes, abgefülltes Gas darf Gasproben ersetzen, vorausgesetzt, die Messunsicherheit des analysierten Gases liegt innerhalb der zulässigen Messunsicherheit.

b) Messung der Brennstoffzusammensetzung

Erdgas besteht hauptsächlich aus Methan und kleinen Mengen höherer Kohlenwasserstoffe sowie nicht-brennbarer Gase. Andere gasförmige Brennstoffe dürfen andere Bestandteile enthalten.

Alle wesentlichen Bestandteile sind nach den aufgeführten Methoden der Normen ISO 6974 und ISO 6975 zu ermitteln:

- Methan;
- Ethan;
- Propan;
- Butan;
- Pentan;
- Hexan (mit Nebenbestandteilen anderer Kohlenwasserstoffe);
- Stickstoff;
- Kohlendioxid;
- Benzen.

Folgende Nebenbestandteile sind nach den aufgeführten Methoden der Normen ISO 6974 und ISO 6975 zu ermitteln:

- Wasserstoff;
- Sauerstoff;
- Kohlenmonoxid.

Der Schwefelanteil (einschließlich Geruchsstoffen) ist nach den Methoden der ISO 6326 zu messen.

Der Anteil an Wasserdampf ist nach den Methoden der ISO 10101 und ISO 11541 zu messen.

Sofern Wasserstoff als Brennstoff eingesetzt wird, ist die Probeentnahme und Ermittlung der Gaszusammensetzung nach ISO 14687 durchzuführen.

7.3.2.2.3 Messung des Brennstoffdurchflusses gasförmiger Brennstoffe

Die Messung des Brennstoffdurchflusses kann zur Berechnung des gesamten Brennstoffflusses durch Integration über die gesamte Prüfdauer heran gezogen werden.

Der Brennstoffdurchfluss ist entscheidend für die Messung des Wirkungsgrades des Brennstoffzellen-Energiesystems. Die Zuführung an gasförmigem Brennstoff kann entweder durch ein Volumenmessgerät, ein Massendurchflussmessgerät oder durch ein Turbinenraddurchflussmessgerät bestimmt werden. Falls keine dieser Methoden durchführbar ist, wird empfohlen, die Messung nach ISO 5167 mit Durchflusssdüsen, Blenden oder Venturi-Durchflussmessgeräten durchzuführen. Durchflussmessgeräte für Brennstoffe müssen für den Druck des benutzten Gases geeignet sein, und ihre Messunsicherheit muss mit der geforderten übereinstimmen. Vorsichtsmaßnahmen für die Anordnung des Durchflussmessgerätes und die Messung an sich werden im Folgenden beschrieben:

- a) Anordnung des Durchflussmessgerätes: Durchflussmessgeräte müssen nahe den Systemgrenzen angeordnet sein.
- b) Messbedingungen: Temperatur und Druck des Brennstoffs sind nahe des installierten Durchflussmessgerätes an der Systemgrenze zu messen.

7.3.2.2.4 Messung der Temperatur gasförmiger Brennstoffe

Empfohlene Messgeräte für die direkte Temperaturmessung sind:

- a) Thermoelemente mit Signalumformer;
- b) Widerstandsthermometer mit Signalumformer.

Temperatursensoren sind in Flussrichtung unmittelbar vor Durchflussmessgeräten anzubringen.

Sofern der Durchflussmesser eine Temperaturkorrektur erfordert, so ist der Temperaturfühler, der unmittelbar in Strömungsrichtung vor dem Durchflussmessgerät angeordnet ist, für diese Korrektur einzusetzen.

7.3.2.2.5 Messung des Drucks gasförmiger Brennstoffe

Es können kalibrierte Manometer, Totvolumenuhren, Bourdon-Röhren oder andere elastische Messgeräte eingesetzt werden. Alternativen schließen kalibrierte Drucksignalumformer mit ein. Messgeräte zur Druckmessung des Brennstoffs müssen für den jeweils während der Prüfung auftretenden Druck geeignet sein und die Messunsicherheit muss der Messunsicherheitsanalyse entsprechen.

Verbindende Rohrleitungen müssen unter Arbeitsbedingungen und vor Beginn der Leistungsprüfung auf Dichtheit überprüft werden.

Falls Druckschwankungen auftreten, muss ein geeignetes dämpfendes Element an einem geeigneten Ort eingesetzt werden.

Der gemessene Brennstoffdruck muss ein statischer Druck sein, und Strömungsgeschwindigkeitseffekte müssen berücksichtigt und ausgeschlossen werden.

7.3.2.3 Messungen flüssiger Brennstoffe

7.3.2.3.1 Allgemeines

Für die Ermittlung der Merkmale des Brennstoffs ist eine geeignete Probeentnahme anzuwenden. Dies schließt ein:

- a) Dichte (Masse je Volumeneinheit);
- b) Heizwert;
- c) Viskosität, sofern anwendbar;
- d) Temperatur;
- e) Zusammensetzung des flüssigen Brennstoffs.

Diese Merkmale sind nach den relevanten ISO-Normen (d. h. ISO 3648 und ISO 8217) zu bestimmen sowie durch Anwendung der ASTM D4809-00, soweit anwendbar, oder durch die Einschaltung eines Laboratoriums, welches mit diesen international genormten Verfahren vertraut ist.

7.3.2.3.2 Messung des Durchflusses flüssiger Brennstoffe

Die genaue Messung des Brennstoffflusses in das Brennstoffzellen-Energiesystem hinein ist entscheidend für die Bestimmung der Wärmeenergie rate des Brennstoffzellen-Energiesystems. Es wird die Verwendung von Durchflusssdüsen, Blenden oder Venturi-Durchflussmessgeräten empfohlen. Die verwendeten Instrumente müssen ISO 5167 entsprechen. Alternativen beinhalten Verdrängungsmessgeräte, Massenstrommessgeräte, Volumenmessgeräte, Turbinenraddurchflussmessgeräte, kalibrierte Flüssigkeitsmessgeräte und direkte Gewichtsmessungen. In jedem Fall muss die Messunsicherheit der benutzten Geräte zur Messung des Brennstoffflusses bekannt sein und muss der Messunsicherheitsberechnung entsprechen.

Brennstoffverlust oder -leckage hinter dem Messpunkt ist nicht zulässig.

Die Messung des Brennstoffdurchflusses kann zur Berechnung des gesamten Brennstoffflusses durch Integration über die gesamte Prüfdauer heran gezogen werden.

7.3.2.3.3 Temperaturmessung flüssiger Brennstoffe

Empfohlene Instrumente für die direkte Temperaturmessung sind:

- a) Thermoelemente mit Signalumformer;
- b) Widerstandsthermometer mit Signalumformer.

Vor Beginn der Messung ist zu prüfen, dass die Temperatursensoren in Bezug auf Messgenauigkeit geeignet sind und sie sind unmittelbar stromaufwärts des Durchflussmessgerätes anzubringen.

Sofern der Durchflussmesser eine Temperaturkorrektur erfordert, so ist der Temperaturfühler, der unmittelbar in Strömungsrichtung vor dem Durchflussmessgerät angeordnet ist, für diese Korrektur einzusetzen.

7.3.3 Messung der zurückgewonnenen Wärme

7.3.3.1 Allgemeines

Thermische Fluide können heißes Wasser, heiße Luft oder Kühlflüssigkeit wie z. B. Öl usw. sein. Eine Kombination dieser Fluide kann je nach Spezifikation des geprüften Brennstoffzellen-Energiesystems eingesetzt werden.

Temperatur und Druck der wärmeleitenden Flüssigkeiten sind gleichzeitig zu messen.

7.3.3.2 Durchflussmessung des Wärmerückgewinnungsfluids

Für jedes thermische Fluid muss eine geeignete Ausstattung verwendet werden. Die genaue Strömungsmessung des thermischen Fluids in und aus der thermischen Energienutzung/-speicherung ist nötig, um den Wärmewirkungsgrad des Brennstoffzellen-Energiesystems zu bestimmen. Die Verwendung von Durchflussdüsen, Blenden oder Venturi-Durchflussmessgeräten wird empfohlen; diese sind nach ISO 5167 anzuwenden. Massendurchflussmessgeräte sowie Turbinenraddurchflussmessgeräte dürfen ebenfalls eingesetzt werden.

Durchflussmessgeräte müssen vor Beginn der Messung in Bezug auf Messbereich und Messgenauigkeit auf Eignung überprüft werden.

Durchflussmessgeräte müssen nahe den Systemgrenzen des Brennstoffzellen-Energiesystems angeordnet werden.

Die Messung des Fluiddurchflusses kann zur Berechnung des gesamten Fluidflusses durch Integration über die gesamte Prüfdauer herangezogen werden.

7.3.3.3 Temperaturmessung des Wärmerückgewinnungsfluids

Empfohlene Messgeräte für die direkte Messung der Temperatur sind:

- a) Thermoelemente mit Signalumformer oder Widerstandsthermometer mit Signalumformer;
- b) geeignete Vorrichtungen zur Messung der Fluidtemperatur, die vor Beginn der Messung in Bezug auf Messbereich und Messgenauigkeit zu überprüfen sind;
- c) Fluidtemperaturmessgeräte, die nahe den Systemgrenzen des Brennstoffzellen-Energiesystems angeordnet sind;
- d) Thermometer, die in Fließrichtung unmittelbar vor dem jeweils zugeordneten Durchflussmessgerät angeordnet sind. Die Sensoren dürfen die Rohrleitung nicht berühren.

7.3.3.4 Druckmessung des Wärmerückgewinnungsfluids

Diese Messmethode gilt für gasförmige Fluide einschließlich Dampf.

- a) Messvorbereitung: Die Eignung der Druckmessgeräte ist vor Beginn der Messung in Bezug auf Messgenauigkeit zu überprüfen.
- b) Anordnung der Druckmessgeräte: Sensoren der Druckmessgeräte müssen direkt flussaufwärts des zugeordneten Durchflussmessgerätes nahe den Schnittstellenpunkten (Fluideintrits- und -austrittspunkte) einer fluidführenden Leitung angebracht werden. Eine angemessene Wärmeisolierung um die Rohrleitungen ist erforderlich.
- c) Ein angemessener Ausgleich für eventuelle Kondensation muss gegeben sein.

7.3.4 Messung des Spülgasflusses

Der Verbrauch an Spülgas ist mit den in 7.3.6 aufgeführten Mitteln zu bestimmen.

7.3.5 Messung der Oxidationsmittelzufuhr (Luft)

7.3.5.1 Allgemeines

Die folgenden Charakteristika des Oxidationsmittels sind zu messen:

- a) Temperatur;
- b) Druck;
- c) Zusammensetzung (Merkmale des Oxidationsmittels können die Brennstoffzellenleistung beeinflussen). Die Zusammensetzung des Oxidationsmittels (Luft) ist in dem Prüfbericht anzugeben;
- d) Dichte.

7.3.5.2 Durchflussmessung des Oxidationsmittels (Luft)

Die Durchflussrate des Oxidationsmittels (Luft) kann entweder durch ein Volumenmessgerät, ein Massendurchflussmessgerät oder durch ein Turbinenraddurchflussmessgerät bestimmt werden. Falls keine dieser Methoden durchführbar ist, wird empfohlen, die Messung mit Durchflusssdüsen, Blenden oder Venturi-Durchflussmessgeräten nach ISO 5167 durchzuführen. Durchflussmessgeräte müssen für den jeweiligen Druck des benutzten Gases geeignet sein, und die Messunsicherheit muss der Messunsicherheitsanalyse entsprechen.

Die Messung des Oxidationsmitteldurchflusses kann zur Berechnung des gesamten Oxidationsmitteldurchflusses durch Integration über die gesamte Prüfdauer herangezogen werden.

Vorkehrungen für die Anordnung des Durchflussmessgerätes und die Messung werden im Folgenden beschrieben:

- a) Anordnung des Durchflussmessgerätes;
- b) Durchflussmessgeräte müssen nahe den Systemgrenzen angeordnet sein.

7.3.5.3 Temperaturmessung des Oxidationsmittels (Luft)

Empfohlene Messgeräte für die direkte Temperaturmessung sind:

- a) Thermoelemente mit Signalumformer;
- b) Widerstandsthermometer mit Signalumformer.

Temperatursensoren müssen vor Beginn der Messung in Bezug auf Messgenauigkeit überprüft werden.

Sofern der Durchflussmesser eine Temperaturkorrektur erfordert, so ist der Temperaturfühler, der unmittelbar in Strömungsrichtung vor dem Durchflussmessgerät angeordnet ist, für diese Korrektur einzusetzen.

7.3.5.4 Druckmessung des Oxidationsmittels (Luft)

Kalibrierte Manometer, Totvolumenuhren, Bourdon-Röhren oder andere elastische Messbrücken dürfen benutzt werden. Alternativen schließen kalibrierte Drucksignalumformer mit ein. Messgeräte zur Druckmessung des Oxidationsmittels (Luft) müssen für den während der Prüfung auftretenden jeweiligen Druck geeignet sein und die Messunsicherheit muss der Messunsicherheitsanalyse entsprechen.

Verbindende Rohrleitungen müssen unter Betriebsbedingungen vor Beginn der Leistungsprüfung auf Dichtigkeit überprüft werden.

Falls Druckschwankungen auftreten, muss ein geeignetes dämpfendes Element an einer wirksamen Position eingesetzt werden.

Der gemessene Druck des Oxidationsmittels (Luft) muss ein statischer Druck sein, und Strömungsgeschwindigkeitseffekte müssen berücksichtigt und beseitigt werden.

7.3.5.5 Messung der Zusammensetzung des Oxidationsmittels (Luft)

Die Zusammensetzung des Oxidationsmittels (Luft) ist durch den Einsatz von Gaschromatographen oder anderen geeigneten Mitteln zu messen. Falls Luft als Oxidationsmittel benutzt wird, muss die Zusammensetzung (soweit nicht anders angegeben) als normale Luft angenommen werden.

7.3.6 Messung anderer Fluidströme

Sofern erforderlich, wird die Messung von Kühlwasser und Abwasser mit einer der folgenden Methoden durchgeführt:

- a) Durchflussdüsen oder Blenden;
- b) Verdrängungsmessgeräte;
- c) andere festgelegte Methoden wie z. B. Gewichtsmessung oder volumetrische Tanks, Massenflussmessgeräte usw.

7.3.7 Abgasemissionsmessung

7.3.7.1 Messung der Abgastemperatur

Empfohlene Messgeräte für die direkte Temperaturmessung sind:

- a) Thermoelemente mit Signalumformer;
- b) Widerstandsthermometer mit Signalumformer.

Die Abgastemperatur wird benutzt, um die Emissionsmenge zu bestimmen und die Emissionsrate bezüglich der Temperatur zu korrigieren.

Sofern der Durchflussmesser eine Temperaturkorrektur erfordert, so ist der Abgastemperaturfühler, der unmittelbar in Strömungsrichtung vor dem Abgasdurchflussmessgerät und vor dem Abgasanalysegerät angeordnet ist, für diese Korrektur einzusetzen.

7.3.7.2 Messung des Abgasdrucks

Kalibrierte Manometer, Totvolumenuhren oder andere elastische Messbrücken dürfen benutzt werden. Alternativen schließen kalibrierte Drucksignalumformer mit ein. Messgeräte zur Messung des Brennstoffdrucks müssen für den jeweiligen Druck während der Prüfung geeignet sein und die Geräte-Messunsicherheit muss der Messunsicherheitsanalyse entsprechen.

Verbindende Rohrleitungen müssen unter Arbeitsbedingungen vor Beginn der Leistungsprüfung auf Dichtheit überprüft werden.

Falls Druckschwankungen auftreten, ist ein geeignetes dämpfendes Element an einer wirksamen Position einzusetzen.

Der Abgasdruck wird benutzt, um die Emissionsmenge zu bestimmen und die Emissionsrate bezüglich des Drucks zu korrigieren.

Sofern der Durchflussmesser eine Temperaturkorrektur erfordert, so ist der Abgastemperaturfühler, der unmittelbar in Strömungsrichtung vor dem Abgasdurchflussmessgerät und vor dem Abgasanalysegerät angeordnet ist, für diese Korrektur einzusetzen.

7.3.7.3 Messung des Abgasflusses

Siehe ISO 10780. Für kleinere Leitungen, die durch ISO 10780 nicht abgedeckt werden (Leitungsdurchmesser < 30 cm), kann der Abgasdurchfluss dadurch berechnet werden, dass nicht nur ein Staudruckrohr eingesetzt wird, sondern zusätzlich ein hochpräzises Anemometer oder ein hochpräzises Hitzdrahtanemometer nach den Herstellerempfehlungen.

7.3.7.4 Messung der Staubkonzentration

Siehe ISO 9096, ISO 11042-1 und ISO 11042-2.

7.3.7.5 Messung der SO_x - und NO_x -Konzentrationen

SO_x -Konzentration:

Siehe ISO 7934, ISO 7935, ISO 11042-1, ISO 11042-2 und ISO 10396. Andere Methoden, die für diesen Zweck geeignet sind, dürfen zum Einsatz kommen, sofern sie der Messunsicherheitsanalyse entsprechen.

NO_x -Konzentration:

Siehe ISO 11564, ISO 10849, ISO 11042-1, ISO 11042-2 und ISO 10396. Andere Methoden, die für diesen Zweck geeignet sind, dürfen zum Einsatz kommen, sofern sie der Messunsicherheitsanalyse entsprechen.

7.3.7.6 Messung der CO_2 - und CO-Konzentrationen

CO_2 : Siehe ISO 11042-1, ISO 11042-2 und ISO 10396.

CO_2 kann auf Basis des Kohlenstoffgehalts des Brennstoffs berechnet werden.

CO: Siehe ISO 11042-1, ISO 11042-2 und ISO 10396.

7.3.7.7 Messung der Gesamtkonzentration an Kohlenwasserstoffen

Siehe ISO 11042-1 und ISO 11042-2.

7.3.7.8 Messung der Sauerstoffkonzentration

Siehe ISO 11042-1 und ISO 11042-2.

7.3.7.9 Messung der Wasserstoffkonzentration

Es ist ein Katherometer oder ein Gaschromatograph oder eine andere geeignete Methode einzusetzen, um die Wasserstoffkonzentration im Abgasstrom bzw. in den Abgasströmen zu messen.

7.3.8 Messung der Abwasserqualität

7.3.8.1 Allgemeines

Durch die Messung der Qualität des Abwassers des Brennstoffzellen-Energiesystems müssen die folgenden Größen bestimmt werden:

- Volumen des Abwassers;
- Temperatur des Abwassers;
- pH-Wert (Wasserstoffionenkonzentration);
- Biochemischer Sauerstoffbedarf (BOD) oder, falls erforderlich, Chemischer Sauerstoffbedarf (COD);
- Emissionsgrad anderer Substanzen, die aufgrund inländischer Gesetze beschränkt sind und vom Brennstoffzellen-Energiesystem abgegeben werden könnten.

7.3.8.2 Messung des Abwasservolumens

Siehe 7.3.6.

7.3.8.3 Messung der Abwassertemperatur

Empfohlene Messgeräte für die direkte Temperaturmessung sind:

- a) Thermoelemente mit Signalumformer;
- b) Widerstandsthermometer mit Signalumformer.

7.3.9 Messung des pH-Werts

Siehe ISO 10523.

7.3.10 Messung des Chemischen Sauerstoffbedarfs (COD)

Siehe ISO 6060.

7.3.11 Messung des Biochemischen Sauerstoffbedarfs (BOD)

Siehe ISO 10707.

7.3.12 Geräuschpegel

Das vom Brennstoffzellen-Energiesystem erzeugte Geräusch ist durch ein Schallleistungsmessgerät nach IEC 61672-1 und IEC 61672-2 zu messen. Die Messung ist nach ISO 3744 durchzuführen.

Die folgenden Daten werden nach ISO 3744 ermittelt:

- a) Messoberfläche (im Abstand vom Gehäuse des Brennstoffzellen-Energiesystems);
- b) Anzahl der Messpunkte;
- c) Einfluss von Hintergrundgeräuschen.

Der Geräuschpegel ist an den Orten und in den Abständen zu messen, auf die sich die Beteiligten verständigt haben.

7.3.13 Messung der Vibrationen

Vibrationen sind am Brennstoffzellen-Energiesystem zu messen, nachdem es nach den Installationsanweisungen des Herstellers installiert wurde und betrieben wird.

Vibrationen, die vom Brennstoffzellen-Energiesystem abgegeben werden, sind an den Verankerungspunkten wie nachstehend beschrieben zu messen.

Verankerungsmaterial, das vom Hersteller geliefert wird, ist zu verwenden, um die Einheit wie oben gefordert zu verankern. Der Verankerungspunkt ist der Übertragungspunkt, von dem Vibrationen von der Einheit auf den Grund, den Boden, die Wände, die Decke oder andere stützende Strukturen nach dem herstellerseitigen Aufbau übertragen werden. Sofern verschiedene Verankerungsvarianten vorgesehen sind, sind sämtliche Varianten zu messen.

- a) Messpunkte: Messungen sind an den Verankerungspunkten durchzuführen, die wesentlich auf dynamische Kräfte reagieren und die Gesamt vibration des Systems wiedergeben. Für Systeme ohne fixierte Verankerungspunkte ist eine dynamische Untersuchung oder eine vorläufige Prüfung erforderlich, um die maßgeblichen Messpunkte zu ermitteln.
- b) Um das Schwingungsverhalten an jedem Messpunkt zu ermitteln, ist es erforderlich, Messungen in drei zueinander senkrechten Richtungen durchzuführen.
- c) Befestigung von Beschleunigungsmessgeräten: siehe ISO 5348.

7.3.14 Messung der harmonischen Gesamtverzerrung

Für Brennstoffzellen-Energiesysteme, die Wechselstrom erzeugen, ist die Gesamtverzerrung zu messen und aufzuzeichnen. Siehe Messanleitungen in IEC 61000-4-7 und IEC 61000-4-13.

7.3.15 Messung der Umgebungsbedingungen

Es sind die Umgebungsfeuchte, Umgebungsluftbewegung, der Umgebungsdruck und die Umgebungstemperatur zu messen.

Siehe ISO 4677-1 und ISO 4677-2 bezüglich der Messung der Umgebungsfeuchte.

Siehe ISO 16622 bezüglich der Messung der Umgebungsluftbewegung.

Empfohlene Messgeräte für die direkte Umgebungstemperaturmessung sind:

- a) Thermoelemente mit Signalumformer;
- b) Widerstandsthermometer mit Signalumformer.

Temperaturaufnehmer müssen vor Messbeginn auf Eignung hinsichtlich ihrer Messgenauigkeit überprüft werden.

Empfohlene Messgeräte für die direkte Messung des Umgebungsdruckes sind:

- a) Quecksilberbarometer;
- b) Alkoholbarometer.

Drucksensoren müssen vor Messbeginn auf Eignung hinsichtlich ihrer Messgenauigkeit überprüft werden.

8 Ablaufplan der Prüfung

8.1 Allgemeines

Die Prüfkriterien nach Tabelle 2 sind unter unterschiedlichen Betriebsbedingungen in Abhängigkeit vom Zweck der Prüfung durchzuführen. Diese unterschiedlichen Bedingungen sind

- a) eingeschwungen bei Bemessungsleistung;
- b) eingeschwungen bei Teillast nahe dem mittleren Wert zwischen Bemessungsleistung und Bereitschaftsbedingungen;
- c) eingeschwungen in Bereitschaftszustand unter Bereitschaftsbedingungen (0 %);
- d) eingeschwungen bei minimaler Leistungsabgabe;
- e) eingeschwungen an Leistungspunkten, bei denen Maximalwerte gemessen wurden;
- f) Übergangsbedingungen.

Die Tabelle 3 gibt Informationen für sämtliche Prüfkriterien an.

8.2 Umgebungsbedingungen

Die folgenden Umgebungsbedingungen sind bei jedem Prüfdurchlauf zu messen:

- a) Umgebungstemperatur;
- b) barometrischer Druck;
- c) relative Luftfeuchte;
- d) Windgeschwindigkeit und -richtung.

Tabelle 3 – Prüfkriterien und Systemzustände

Gegenstand	Prüfung	Eingeschwungener Zustand					Übergangszustand
		(a) Bemessungsleistung	(b) Teillast	(c) Bereitschaftszustand	(d) Minimalleistung	(e) Höchstwerte	(f) Übergangszustand
	Betrieb						
1	Gesamtwirkungsgrad	X	(X)				
2	Prüfung der Reaktion der Leistungsabgabe						X
3	Prüfung der Anfahr-/Abschaltcharakteristik						X
4	Spülgasverbrauchsprüfung						X
5	Wasserverbrauchsprüfung	X	(X)	X	X	X	
6	Abwärmeprüfung	X	(X)				
	Umweltaspekte						
1	Prüfung der Abgasausstoßes	X	(X)			X	
2	Prüfung des Geräuschpegels	X	(X)	X	X	X	X
3	Prüfung des Vibrationspegels	X	(X)	X	X	X	X
4	Prüfung der Abwasserqualität	X	(X)	X			
^a Prüfungen sind gleichzeitig durchzuführen. ^b Übergangsprüfungen beinhalten Abschaltprüfungen. ^c Die Teillastprüfungen können in Abstimmung der Beteiligten durchgeführt werden.							

8.3 Höchstzulässige Abweichungen in eingeschwungenen Betriebszuständen

Die maximal zulässigen Abweichungen während der Durchführung der Prüfung sind in Tabelle 4 angegeben.

Tabelle 4 ist nicht für die Prüfung von Anfahr- und Abschaltvorgängen anwendbar.

Abweichungen jenseits der zulässigen Werte nach Tabelle 4 sind erlaubt, wenn die Ergebnisse der Berechnung der Gesamtmessunsicherheit der Prüfung für die Beteiligten akzeptabel sind.

Tabelle 4 – Höchstzulässige Abweichungen der Betriebsbedingungen während einer Prüfung

Parameter	Zulässige Abweichung während eines Prüfdurchlaufs
Systemstabilität, wie vom Hersteller angegeben und von sämtlichen Beteiligten vereinbart	Wie spezifiziert
Wirkleistungsabgabe, kW	$\pm 2 \%$
Gesamtleistung, kVA	$\pm 2 \%$
barometrischer Druck am Standort	$\pm 0,5 \%$
Temperatur der Zuluft	$\pm 3 \text{ K}$
Heizwert, bezogen auf das Volumen des Brennstoffs	$\pm 1 \%$
Druck gasförmiger Brennstoffe wie dem System zugeführt	$\pm 1 \%$
absoluter Abgasdruck	$\pm 0,5 \%$
Absolutdruck der Zuluft	$\pm 0,5 \%$
Verhältnis der nicht genutzten Wärme zur externen Kühlung	$\pm 2 \%$
Brennstofffluss	$\pm 2 \%$
Brennstofftemperatur	$\pm 2 \text{ K}$
Liefermenge sekundärer Wärmeenergiequellen	$\pm 2 \%$
Zuluft/Oxidationsmitteldurchflussrate	nicht spezifiziert
thermische Leistungsabgabe	$\pm 2 \%$
Gesamtverzerrung (THD) ^{a)}	$\pm 2 \%$
Diese Tabelle bezieht sich auf ASME-PTC50, <i>Instruments and Measuring Methods</i> .	
a) Nur für THD: Für eine THD mit einem Mittelwert von 5 % sind Werte zwischen 3 % und 7 % akzeptabel.	

8.4 Durchführung des Prüfbetriebs

Die folgenden Messungen im Rahmen der Wirkungsgradprüfung sind gleichzeitig durchzuführen:

- Brennstoffzuführung, Zuführung des sekundären Wärmeträgers, Zuführung des Oxidationsmittels, zugeführte elektrische Hilfsenergie, elektrische Ausgangsleistung und abgegebene Wärme;

ANMERKUNG Die Berechnung der elektrischen Wirkungsgrade, der Wärmerückgewinnung und des Gesamtwirkungsgrades in den Wirkungsgradprüfungen sowie das Abwärmeverhältnis in der Prüfung der Wärmerückgewinnung erfolgt auf der Grundlage der Werte, die wie oben dargestellt gemessen wurden.

Die folgenden Prüfungen sind in geeigneter Weise während der Durchführung der oben genannten Prüfungen durchzuführen:

- Wasserverbrauch, Dynamik der Leistungsabgabe, Anfahren/Abschalten und Spülgasverbrauch.

8.5 Prüfdauer und Ablesehäufigkeit

Eine geeignete Prüfdauer und Ablesefrequenz werden nach dem Typ des Brennstoffzellen-Energiesystems festgelegt. Eine hinreichende Zahl von Messungen und Anzahl von Messdurchläufen ist nach den Anforderungen aufgrund von Messschwankungen, der Beständigkeit von Durchschnittswerten und der Messsicherheitsanalyse festzulegen.

9 Prüfmethoden und Berechnung der Prüfergebnisse

9.1 Allgemeines

In diesem Dokument werden Typprüfungen sowie die Durchführung dieser Prüfungen dargestellt. Im Rahmen dieses Dokuments werden keine Stückprüfungen gefordert oder beschrieben, es werden weiterhin keine Leistungsziele angegeben.

9.2 Wirkungsgradprüfung

9.2.1 Allgemeines

Diese Prüfung dient der Ermittlung des elektrischen Wirkungsgrades, des Wirkungsgrades der Wärmerückgewinnung sowie des Gesamtwirkungsgrades bei Bemessungsleistung mittels Messung der dem Brennstoffzellen-Energiesystem chemisch, thermisch, mechanisch und elektrisch zugeführten Energie und der elektrischen und thermischen Ausgangsleistung aus dem System in eingeschwungenem Zustand bei Bemessungsleistung.

Die Wirkungsgradprüfung bei Teillast kann in Abstimmung mit den die Prüfung durchführenden Partnern ausgeführt werden.

9.2.2 Prüfverfahren

Die Wirkungsgradprüfung ist nach dem folgenden Verfahren durchzuführen:

- 1) Das System ist bei Bemessungsleistung zu betreiben (oder in elektrischem Teillastbetrieb).
- 2) Es ist nachzuweisen, dass das System den Kriterien für einen eingeschwungenen Betriebszustand nach Tabelle 4 entspricht.
- 3) Es sind die folgenden physikalischen Größen über einen Zeitraum von nicht weniger als 1 h (3 600 s) zu messen, wobei die Datenaufnahme häufiger als einmal je min erfolgen muss:
 - a) Brennstoffzuführungsrate (als Volumen oder Masse), Temperatur und Druck;
 - b) sekundäre Wärmezuführungsrate (als Volumen oder Masse), Temperatur und Druck;
 - c) Oxidationsmittelzuführungsrate (Luft) (als Volumen oder Masse), Temperatur und Druck;
 - d) Zuführung elektrischer Hilfsenergie;
 - e) Zuführung mechanischer Wellenleistung;
 - f) elektrische Ausgangsleistung, Spannung und Strom;
 - g) Ausgangsrate des Wärmerückgewinnungsfluids (als Volumen oder Masse), Temperatur und Druck;
 - h) Umgebungstemperatur und barometrischer Druck.

9.2.3 Berechnung der Eingangswerte

9.2.3.1 Brennstoffzuführung

9.2.3.1.1 Brennstoffzuführungsrate

9.2.3.1.1.1 Durchschnittliche Zuführungsrate des gasförmigen Brennstoffs

Die durchschnittliche Zufuhr rate des gasförmigen Brennstoffs kann entweder als volumetrische Brennstoffdurchflussrate q_{vf0} in m^3/s oder als Brennstoff-Massendurchflussrate q_{mf} in kg/s angegeben werden. Sie ist nach dem folgenden dargestellten Verfahren zu berechnen.

a) Volumetrische Durchflussrate

- 1) Das Gesamtvolumen in m^3 des zugeführten gasförmigen Brennstoffs während der Prüfungsdurchführung ist durch Integration der volumetrischen Durchflussrate in m^3/s zu ermitteln, die während des Prüfungsdurchlauf gemessen wird.
- 2) Die durchschnittliche volumetrische Durchflussrate des gasförmigen Brennstoffs unter Prüfbedingungen, q_{vf} in m^3/s , ist durch Division des Gesamtvolumens in m^3 durch die Prüfdauer in s zu ermitteln.
- 3) Die durchschnittliche volumetrische Durchflussrate des Brennstoffs unter Standardbedingungen, q_{vf0} in m^3/s , ist durch Anwendung der folgenden Gleichung zu errechnen. Es sind die Durchschnittswerte für Brennstofftemperatur und Druck anzuwenden, die während der Durchführung der Prüfung ermittelt wurden.

$$q_{\text{vf0}} = q_{\text{vf}} \cdot (t_0/t_f) \cdot (p_f/p_0)$$

Dabei ist

- q_{vf0} durchschnittliche volumetrische Durchflussrate des Brennstoffs unter Standardbedingungen (m^3/s);
- q_{vf} durchschnittliche volumetrische Durchflussrate des Brennstoffs bei Durchschnittstemperatur t_f und Durchschnittsdruck p_f (m^3/s);
- t_0 Standardtemperatur (288,15 K);
- p_0 Standarddruck (101,325 kPa);
- t_f Durchschnittstemperatur des Brennstoffs während des Prüfdurchlaufs (K);
- p_f durchschnittlicher Druck des Brennstoffs während des Prüfdurchlaufs (kPa).

b) Massendurchflussrate

Die durchschnittliche Massendurchflussrate, q_{mf} in kg/s , ist auf gleiche Weise wie unter Punkt 1) und 2) zu berechnen.

Soweit erforderlich, kann die durchschnittliche Massendurchflussrate, q_{mf} in kg/s , auf die durchschnittliche volumetrische Durchflussrate unter Standardbedingungen, q_{vf0} in m^3/s , durch Anwendung der folgenden Gleichung umgerechnet werden:

$$q_{\text{vf0}} = q_{\text{mf}} / \rho_{\text{f0}}$$

Dabei ist

- q_{vf0} durchschnittliche volumetrische Durchflussrate des Brennstoffs unter Standardbedingungen (m^3/s);
- q_{mf} durchschnittliche Massendurchflussrate des Brennstoffs (kg/s);
- ρ_{f0} Dichte des Ausgangsbrennstoffs unter Standardbedingungen (kg/m^3).

9.2.3.1.1.2 Durchschnittliche Zufuhr des flüssigen Brennstoffs

Die durchschnittliche Zufuhr rate des flüssigen Brennstoffs kann entweder als volumetrische Brennstoffdurchflussrate q_{vf0} in m^3/s oder als Brennstoff-Massendurchflussrate q_{mf} in kg/s angegeben werden. Sie ist nach dem nachfolgenden dargestellten Verfahren zu berechnen.

a) Volumetrische Durchflussrate

- 1) Das Gesamtvolumen in m^3 des zugeführten flüssigen Brennstoffs während der Prüfungsdurchführung ist durch Integration der volumetrischen Durchflussrate in m^3/s zu ermitteln, die während des Prüfungsdurchlauf gemessen wird.
- 2) Die durchschnittliche volumetrische Durchflussrate des flüssigen Brennstoffs unter Standardbedingungen, q_{vf0} in m^3/s , ist durch Division des Gesamtvolumens in m^3 durch die Prüfdauer in s zu ermitteln.

ANMERKUNG Die durchschnittliche volumetrische Durchflussrate des Brennstoffs unter Standardbedingungen wird als identisch mit der Durchflussrate unter Prüfbedingungen angenommen, da die Volumenänderung bei Flüssigkeiten recht gering ist.

b) Massendurchflussrate

Die durchschnittliche Massendurchflussrate, q_{mf} in kg/s , ist durch Division der Gesamtmasse während des Prüfdurchlaufs in kg durch die Prüfdauer in s zu berechnen.

Soweit erforderlich, kann die durchschnittliche Massendurchflussrate, q_{mf} in kg/s , auf die durchschnittliche volumetrische Durchflussrate unter Standardbedingungen, q_{vf0} in m^3/s , durch Anwendung der folgenden Gleichung umgerechnet werden:

$$q_{\text{vf0}} = q_{\text{mf}} / \rho_{\text{f0}}$$

Dabei ist

q_{vf0} durchschnittliche volumetrische Durchflussrate des Brennstoffs unter Standardbedingungen (m^3/s);

q_{mf} durchschnittliche Massendurchflussrate des Brennstoffs (kg/s);

ρ_{f0} Dichte des Ausgangsbrennstoffs unter Standardbedingungen (kg/m^3).

9.2.3.1.2 Zugeführte Brennstoffenergie

9.2.3.1.2.1 Durchschnittlich zugeführte Brennstoffenergie der gasförmigen Brennstoffe

Die durchschnittlich zugeführte Brennstoffenergie der gasförmigen Brennstoffe, Q_{inf} in kJ/s , ist nach dem nachfolgend dargestellten Verfahren für die volumetrische Durchflussrate oder für die Massendurchflussrate zu berechnen. Es sind die Durchschnittswerte für Brennstofftemperatur und Druck anzuwenden, die während der Durchführung der Prüfung ermittelt wurden.

a) Für volumetrische Durchflussrate:

- 1) Die zugeführte Brennstoffenergie je Volumeneinheit bei Durchschnittstemperatur t_{f} und Durchschnittsdruck p_{f} einer Mischung bekannter Zusammensetzung, E_{fv} in kJ/m^3 , ist nach folgender Gleichung zu berechnen:

$$E_{\text{fv}} = (Q_{\text{f0}} + h_{\text{f}} - h_{\text{f0}} + E_{\text{pf}}) / M_0$$

Dabei ist

E_{fv} Energie des zugeführten Brennstoffs je Volumeneinheit (kJ/m^3), nach Arbeitsblatt 1 in Anhang B;

Q_{f0} Heizwert des Brennstoffs unter Standardbedingungen (kJ/mol);

h_{f} spezifische Enthalpie des Brennstoffs bei Durchschnittstemperatur t_{f} (kJ/mol);

h_{f0} spezifische Enthalpie des Brennstoffs bei Standardtemperatur t_0 (kJ/mol);

E_{pf} Druckenergie des Brennstoffs bei Durchschnittsdruck p_{f} (kJ/mol);

M_0 molares Standardvolumen des idealen Gases ($2,3645 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3/\text{mol}$) (bei Standardtemperatur für diese Norm, $t_0 = 288,15 \text{ K}$).

Der Heizwert des Brennstoffs Q_{f0} in kJ/mol unter Standardbedingungen wird mittels folgender Gleichung berechnet:

$$Q_{f0} = \sum_{j=1}^N x_j \cdot Q_{f0j}$$

Dabei ist

- Q_{f0j} Heizwert der Komponente j bei Standardtemperatur t_0 (kJ/mol);
 x_j molarer Anteil der Komponente j nach Arbeitsblatt in Anhang B;
 j Komponente des Brennstoffs;
 N Anzahl der Brenngasbestandteile.

ANMERKUNG Numerische Werte für Q_{f0j} sind in Tabelle B.1 angegeben.

Die spezifische Enthalpie des Brennstoffs h_f (kJ/mol) wird mittels folgender Gleichung berechnet:

$$h_f = \sum_{j=1}^N x_j \cdot h_{fj}$$

Dabei ist

- h_{fj} spezifische Enthalpie der Komponente j bei Durchschnittstemperatur t_f (kJ/mol);
 x_j molarer Anteil der Komponente j ;
und h_{fj} (kJ/mol) ist gegeben durch folgende Gleichung:

$$h_{fj} = (A_j \cdot t_f + (B_j/2\,000) \cdot t_f^2 + (C_j/3 \cdot 10^6) \cdot t_f^3) \cdot 10^{-3}$$

Dabei ist

- A_j, B_j und C Konstanten der Komponente j , angegeben in Arbeitsblatt 1 in Anhang B;
 t_f Brennstofftemperatur unter Prüfbedingungen (K).

ANMERKUNG Die spezifische Enthalpie des Brennstoffs h_{f0} (kJ/mol) bei Standardtemperatur wird mittels vorstehender Gleichung für h_{fj} unter Ersetzung von t_f durch t_0 berechnet.

Die Druckenergie des Brennstoffs E_{pf} in kJ/mol wird mittels folgender Gleichung berechnet:

$$E_{pf} = R \cdot t_0 \cdot \ln(p_f/p_0)$$

Dabei ist

- E_{pf} Druckenergie des Brennstoffs bei Durchschnittsdruck p_f (kJ/mol)
 R universelle Gaskonstante (8,314 kJ/mol K);
 t_0 Standardtemperatur (288,15 K);
 p_0 Standarddruck (101,325 kPa);
 p_f durchschnittlicher Brennstoffdruck (kPa).

E DIN IEC 62282-3-2 (VDE 0130-302):2009-07

- 2) Die durchschnittliche Energiezufuhr gasförmiger Brennstoffe, Q_{inf} in kJ/s, ist mittels folgender Gleichung zu berechnen:

$$Q_{\text{inf}} = Q_{\text{fv0}} \cdot E_{\text{fv}}$$

Dabei ist

Q_{inf} durchschnittliche Brennstoffenergiezufuhr (kJ/s);

q_{vf0} durchschnittliche volumetrische Durchflussrate des Brennstoffs unter Standardbedingungen nach 9.2.3.1.1.1 (m^3/s);

E_{fv} Energieinhalt des Brennstoffs je Volumeneinheit (kJ/m^3).

b) Für Massendurchflussrate:

- 1) Die zugeführte Brennstoffenergie je Masseneinheit, E_{fm} in kJ/kg, ist nach folgender Gleichung zu berechnen:

$$E_{\text{fm}} = (Q_{\text{f0}} + h_{\text{f}} - h_{\text{f0}} + E_{\text{pf}}) / M_{\text{m}}$$

Dabei ist

E_{fm} zugeführte Brennstoffenergie je Masseneinheit (kJ/kg);

Q_{f0} Heizwert des Brennstoffs unter Standardbedingungen (kJ/mol);

h_{f} spezifische Enthalpie des Brennstoffs bei Durchschnittstemperatur t_{f} (kJ/mol);

h_{f0} spezifische Enthalpie des Brennstoffs bei Standardtemperatur t_0 (kJ/mol);

E_{pf} Druckenergie des Brennstoffs bei Durchschnittdruck p_{f} (kJ/mol);

M_{m} Molmasse des Brennstoffs (kg/mol), gemessen nach den Verfahren in ASTM F 2602-08e1.

- 2) Die durchschnittlich zugeführte Brennstoffenergie der gasförmigen Brennstoffe, Q_{inf} in kJ/s, ist nach folgender Gleichung zu berechnen:

$$Q_{\text{inf}} = (q_{\text{mf}} \cdot E_{\text{fm}})$$

Dabei ist

Q_{inf} durchschnittlich zugeführte Brennstoffenergie (kJ/s);

E_{fm} zugeführte Brennstoffenergie je Masseneinheit (kJ/kg);

q_{mf} durchschnittliche Massendurchflussrate des Brennstoffs nach 9.2.3.1.1.1 (kg/s).

9.2.3.1.2.2 Durchschnittlich zugeführte Brennstoffenergie der flüssigen Brennstoffe

Die durchschnittlich zugeführte Brennstoffenergie der flüssigen Brennstoffe, Q_{inf} in kJ/s, ist nach dem nachfolgend dargestellten Verfahren für die volumetrische Durchflussrate oder für die Massendurchflussrate zu berechnen.

a) Für volumetrische Durchflussrate:

- 1) Die zugeführte Brennstoffenergie je Volumeneinheit, E_{fv} in kJ/m^3 , bei Durchschnittstemperatur t_{f} ist nach folgender Gleichung zu berechnen:

$$E_{\text{fv}} = \rho_{\text{f}} \cdot Q_{\text{fl}}$$

Dabei ist

ρ_f Dichte des Brennstoffs bei Durchschnittstemperatur t_f in kg/m^3 , gemessen nach den anwendbaren Internationalen Normen;

Q_{fl} gemessener Heizwert des Brennstoffs (kJ/kg) bei Durchschnittstemperatur t_f , gemessen nach den Verfahren in ASTM D4809-00.

- 2) Die durchschnittliche zugeführte Energie des flüssigen Brennstoffs, Q_{inf} in kJ/s, ist nach folgender Gleichung zu berechnen:

$$Q_{inf} = q_{vf0} \cdot E_{fv}$$

Dabei ist

Q_{inf} durchschnittlich zugeführte Brennstoffenergie (kJ/s);

E_{fv} zugeführte Brennstoffenergie je Volumeneinheit (kJ/m^3);

q_{vf0} durchschnittliche volumetrische Durchflussrate des Brennstoff unter Standardbedingungen nach 9.2.3.1.1.2.

- b) Für Massendurchflussrate:

Die durchschnittlich zugeführte Energie des flüssigen Brennstoffs je Masseneinheit, Q_{inf} in kJ/s, ist nach folgender Gleichung zu berechnen:

$$Q_{inf} = q_{mf} \cdot Q_{fl}$$

Dabei ist

Q_{inf} durchschnittliche Brennstoffenergiezufuhr (kJ/s);

q_{mf} durchschnittliche Brennstoff-Massendurchflussrate nach 9.2.3.1.1.2 (kg/s);

Q_{fl} gemessener Heizwert des Brennstoffs (kJ/kg) bei Durchschnittstemperatur t_f , gemessen nach den Verfahren in ASTM D4809-00.

9.2.3.2 Sekundäre thermische Zufuhr

9.2.3.2.1 Sekundäre Zufuhr der thermischen Energie

Die gesamte Wärmezufuhr ist wie folgt unter Berücksichtigung der sekundären thermischen Zufuhren zu berechnen:

- (a) Für sekundäre thermische Zufuhren mit geschlossenen Kreisläufen wird die gesamte Wärmezufuhr in das Brennstoffzellen-Energiesystem Q_{tst} in kJ dadurch berechnet, dass die Messung der Änderung des Wärmeinhalts des Dampfes oder des Wärmeübertragungsfluids während dieses das System innerhalb der Systemgrenzen durchströmt multipliziert wird mit dem Gesamtdurchfluss des Dampfes oder des Wärmeübertragungsfluids durch das System innerhalb der Systemgrenzen.

$$Q_{tst} = M_{htf} \cdot [H_i - H_0]$$

Dabei ist

M_{htf} Masse des Dampfes oder Wärmeübertragungsfluids von der Quelle der sekundären Wärmeenergie in das bzw. aus dem Brennstoffzellen-Energiesystem hinein bzw. heraus während der Dauer der Prüfung (kg);

H_i durchschnittliche Enthalpie des Wärmeübertragungsfluids, das während des Versuchsdurchlaufs in das Brennstoffzellen-Energiesystem eintritt (kJ/kg);

- H_0 durchschnittliche Enthalpie des Wärmeübertragungsfluids, das während des Versuchsdurchlaufs aus dem Brennstoffzellen-Energiesystem austritt (kJ/kg);
- (b) für dampfförmige oder flüssige Wärmeströme, die die Systemgrenzen nicht verlassen, wird der gesamte Wärmezustrom $Q_{t_{st}}$ berechnet durch Messung des Wärmeinhalts des Wärmeübertragungsfluids, Multiplikation mit dem gesamten Strom des Wärmeübertragungsfluids in die Systemgrenze hinein und Korrektur dieses Wertes um die Bezugsenthalpie des gesättigten Wassers bei 15 °C = 62,99 kJ/kg.

$$Q_{t_{st}} = M_{htf} \cdot [H_i - 62.99 \text{ kJ/kg}]$$

Dabei ist

- M_{htf} Masse des Dampfes oder Wärmeübertragungsfluids von der Quelle der sekundären Wärmeenergie in das Brennstoffzellen-Energiesystem hinein während der Dauer der Prüfung (kg);
- H_i durchschnittliche Enthalpie des Dampfes oder Wärmeübertragungsfluids, das während des Versuchsdurchlaufs in das Brennstoffzellen-Energiesystem eintritt (kJ/kg);
- (c) für gasförmige Wärmeströme, die die Systemgrenzen nicht verlassen, wird der gesamte Wärmezustrom $Q_{t_{st}}$ berechnet durch Messung des Wärmeinhalts des eintretenden Gasstroms, Multiplikation mit dem gesamten Strom des Wärmeübertragungsfluids in die Systemgrenze hinein und Korrektur dieses Wertes um die Bezugsenthalpie trockener Luft bei atmosphärischem Druck und 15 °C = 33,0291 kJ/kg.

$$Q_{t_{st}} = M_{htf} \cdot [H_i - 33.0291 \text{ kJ/kg}]$$

Dabei ist

- M_{htf} Masse der Luft oder des gasförmigen Wärmeübertragungsfluids von der Quelle der sekundären Wärmeenergie in Brennstoffzellen-Energiesystem hinein während der Dauer der Prüfung (kg);
- H_i durchschnittliche Enthalpie der Luft oder des gasförmigen Wärmeübertragungsfluids, das während des Versuchsdurchlaufs in das Brennstoffzellen-Energiesystem eintritt (kJ/kg).

9.2.3.2.2 Durchschnittliche sekundäre Wärmeenergiezufuhr

Die durchschnittliche sekundäre Wärmeenergiezufuhr Q_{st} in kJ/s wird durch Division von $Q_{t_{st}}$ in kJ durch die Dauer der Prüfung in s berechnet.

9.2.3.3 Oxidationsmittel- (Luft-) Zufuhr

9.2.3.3.1 Durchschnittliche Oxidationsmittel- (Luft-) Zuführungsrate

Die durchschnittliche Zuführungsrate des Oxidationsmittels (bzw. Luft) kann entweder als volumetrische Durchflussrate des Oxidationsmittels (Luft), q_{va0} in m³/s, oder als Massendurchfluss des Oxidationsmittels (Luft), q_{ma} in kg/s, dargestellt werden. Sie ist nach nachstehendem Verfahren zu berechnen.

a) Volumetrische Durchflussrate

- 1) Das Gesamtvolumen des zugeführten Oxidationsmittels (Luft) während der Prüfungsdurchführung in m³ wird durch Integration der volumetrischen Durchflussrate über die Prüfungszeit ermittelt.
- 2) Die durchschnittliche volumetrische Durchflussrate des Oxidationsmittels (Luft) unter Prüfbedingungen, q_{va} in m³/s, wird durch Division des Gesamtvolumens in m³ durch die Prüfungszeit in s ermittelt.
- 3) Die durchschnittliche volumetrische Durchflussrate des Oxidationsmittels (Luft) unter Standardbedingungen, q_{va0} in m³/s, ist durch die folgenden Gleichungen zu berechnen. Es sind die Durchschnittswerte für die Temperatur und den Druck des Oxidationsmittels (Luft) anzuwenden, die während der Durchführung der Messung ermittelt wurden.

$$q_{va0} = q_{va} \cdot (t_0/t_a) \cdot (p_a/p_0)$$

Dabei ist

- q_{va0} durchschnittliche volumetrische Durchflussrate des Oxidationsmittels (Luft) unter Standardbedingungen (m^3/s);
- q_{va} durchschnittliche volumetrische Durchflussrate des Oxidationsmittels (Luft) bei Durchschnittstemperatur t_a und Durchschnittsdruck p_a (m^3/s);
- t_0 Standardtemperatur (288,15 K);
- p_0 Standarddruck (101,325 kPa);
- t_a Durchschnittstemperatur des Oxidationsmittels (Luft) während der Durchführung der Prüfung (K);
- p_a Durchschnittsdruck des Oxidationsmittels (Luft) während der Durchführung der Prüfung (kPa).

b) Massendurchflussrate

Die durchschnittliche Massen-Durchflussrate des Oxidationsmittels (Luft) q_{ma} in kg/s, wird durch Division der Gesamtmasse in kg durch die Prüfungszeit in s ermittelt.

Soweit erforderlich, kann die durchschnittliche Massendurchflussrate, q_{ma} in kg/s, auf die durchschnittliche volumetrische Durchflussrate unter Standardbedingungen, q_{va0} in m^3/s , durch Anwendung der folgenden Gleichung umgerechnet werden:

$$q_{va0} = q_{ma} / \rho_{a0}$$

Dabei ist

- q_{va0} durchschnittliche volumetrische Durchflussrate des Oxidationsmittels (Luft) unter Standardbedingungen (m^3/s);
- q_{ma} durchschnittliche Massendurchflussrate des Oxidationsmittels (Luft) (kg/s);
- ρ_{a0} Dichte des Oxidationsmittels (Luft) unter Standardbedingungen (kg/m^3).

9.2.3.3.2 Durchschnittliche Leistungszuführung durch das Oxidationsmittel (Luft)

Sofern das Brennstoffzellen-Energiesystem direkt mit heißem oder druckbeaufschlagtem Oxidationsmittel (Luft) versorgt wird, ist die Energie des Oxidationsmittels (Luft) auf der Grundlage des Zustands des Oxidationsmittels (Luft) an der Schnittstelle zum Brennstoffzellen-Energiesystem zu berechnen.

Die durchschnittliche Leistungszuführung durch das Oxidationsmittel (Luft), Q_{ina} in kJ/s, ist entweder für die volumetrischen Durchflussrate oder die Massendurchflussrate nach der nachfolgenden Anweisung zu berechnen. Es sind die durchschnittlichen Werte für Oxidationsmitteltemperatur (Lufttemperatur) und -druck zu verwenden, die während der Prüfungsdurchführung ermittelt wurden.

a) Für volumetrische Durchflussrate

- 1) Die Energie des Oxidationsmittels (Luft) je Volumeneinheit bei Durchschnittstemperatur t_a und Durchschnittsdruck p_a , E_{av} in kJ/m^3 , ist nach folgender Gleichung zu berechnen:

$$E_{av} = (h_a - h_{a0} + E_{pa})/M_0$$

Dabei ist

- E_{av} Energie des zugeführten Oxidationsmittels (Luft) je Volumeneinheit (kJ/m^3);
- h_a spezifische Enthalpie des Oxidationsmittels (Luft) bei Durchschnittstemperatur t_a (kJ/mol);
- h_{a0} spezifische Enthalpie des Oxidationsmittels (Luft) bei Standardtemperatur t_0 (kJ/mol);

E DIN IEC 62282-3-2 (VDE 0130-302):2009-07

E_{pa} Druckenergie des Oxidationsmittels (Luft) (kJ/mol);

M_0 molares Standardvolumen des idealen Gases ($2,3645 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3/\text{mol}$) (bei Standardtemperatur $t_0 = 288,15 \text{ K}$).

Die spezifische Enthalpie von Luft t_f bei Durchschnittstemperatur t_f , h_a in kJ/mol, wird mittels folgender Gleichung berechnet:

$$h_a = (A_a \cdot t_a + (B_a/2000) \cdot t_a^2 + (C_a/3 \cdot 10^6) \cdot t_a^3) \cdot 10^{-3}$$

Dabei ist

h_a spezifische Enthalpie von Luft bei Durchschnittstemperatur (kJ/mol);

A_a , B_a und C_a Konstanten des Oxidationsmittels (Luft). Numerische Werte für A_a , B_a und C_a (für Luft) sind im Arbeitsblatt 2 in Anhang B gegeben;

t_a Temperatur des Oxidationsmittels (K).

Die Druckenergie des Oxidationsmittels (Luft), E_{pa} in kJ/mol, wird mittels folgender Gleichung berechnet:

$$E_{pa} = R \cdot t_0 \cdot \ln(p_a / p_0)$$

Dabei ist

R universelle Gaskonstante (8,314 kJ/mol K);

t_0 Standardtemperatur (288,15 K);

p_0 Standarddruck (101,325 kPa);

p_a durchschnittsdruck des Oxidationsmittels (kPa).

- 2) Die durchschnittliche Energie des zugeführten Oxidationsmittels (Luft) ist nach folgender Gleichung zu berechnen:

$$Q_{ina} = q_{va0} \cdot E_{av}$$

Dabei ist

Q_{ina} durchschnittliche Energie des zugeführten Oxidationsmittels (kJ/s);

q_{va0} durchschnittliche volumetrische Durchflussrate des Oxidationsmittels (Luft) unter Standardbedingungen (m^3/s) aus 9.2.3.3.1;

E_{av} Eintrittsenergie des Oxidationsmittels (Luft) je Volumeneinheit (kJ/m^3).

b) Für Massendurchflussrate:

- 1) Die Eintrittsenergie des Oxidationsmittels (Luft) je Masseneinheit, E_{am} in kJ/m^3 , ist nach folgender Gleichung zu berechnen:

$$E_{am} = (h_a - h_{a0} + E_{pa}) / M_m$$

Dabei ist

E_{am} Eintrittsenergie des Oxidationsmittels (Luft) je Masseneinheit (kJ/kg);

h_a spezifische Enthalpie des Oxidationsmittels (Luft) bei Durchschnittstemperatur t_a (kJ/mol);

h_{a0} spezifische Enthalpie des Oxidationsmittels (Luft) bei Standardtemperatur t_0 (kJ/mol);

E_{pa} Druckenergie des Oxidationsmittels (Luft) (kJ/mol);

M_m Molmasse des Oxidationsmittels (Luft) (kg/mol).

- 2) Die durchschnittliche Leistungszuführung durch das Oxidationsmittel (Luft), Q_{ina} in kJ/s, ist nach folgender Gleichung zu berechnen:

$$Q_{ina} = q_{ma} \cdot E_{am}$$

Dabei ist

Q_{ina} durchschnittliche Leistungszuführung durch das Oxidationsmittel (kJ/s);

q_{ma} durchschnittliche Massendurchflussrate der Luft aus 9.2.3.3.1 (kg/s);

E_{am} Energiezuführung durch das Oxidationsmittel (Luft) je Masseneinheit (kJ/kg).

9.2.3.4 Durchschnittliche Hilfsenergiezuführung

Die durchschnittliche Hilfsenergiezuführung, P_{in} in kW, wird berechnet durch die Division aller elektrischen Zuflüsse in die Systemgrenzen hinein während der Dauer der Prüfung in kW/h durch die Dauer der Prüfung in h.

Dieser Wert wird von der durchschnittlich abgegebenen Leistung des Brennstoffzellen-Energiesystems abgezogen, um die durchschnittliche elektrische Nettoleistung zu berechnen.

9.2.3.5 Zugeführte Wellenarbeit

9.2.3.5.1 Energie der zugeführten Wellenarbeit

Die zugeführte Wellenarbeit, $W_{t_{si}}$ in kJ, ist unter Anwendung der Messungen von Drehmoment und Umdrehungszahl je min zu berechnen, deren Ergebnis ebenfalls auf kJ lauten muss. Sofern Drehmoment und Umdrehungszahl je min aufgrund der Systembeschaffenheit nicht ermittelt werden können, sind bei festen Betriebspunkten der zugeführte Brennstoffstrom, Dampf- oder Wärmeträgerstrom mit einer Genauigkeit von unter 1 % zu ermitteln und die Wellenarbeit daraus zu berechnen. Es ist kein Abschlag und keine Korrektur für den Wirkungsgrad von Turbinen oder primären Antrieben zulässig. Soweit möglich, ist der primäre Antrieb in die Systemgrenzen hinein zu verlegen, so dass Energiezufuhren zum primären Antrieb als Brennstoffzufuhr, thermische Hilfsenergie oder elektrische Hilfsenergie berücksichtigt werden können.

9.2.3.5.2 Durchschnittlich zugeführte Wellenarbeit

Die durchschnittlich zugeführte Wellenarbeit, W_{si} in kJ/s, ist durch Division der zugeführten Wellenarbeit, $W_{t_{si}}$ in kJ, durch die Dauer der Prüfung in s zu berechnen.

9.2.3.6 Durchschnittliche gesamte zugeführte Energie

Die durchschnittliche gesamte zugeführte Energie in das Brennstoffzellen-Energiesystem, Q_{in} in kJ, wird durch die folgende Gleichung ausgedrückt:

$$Q_{in} = Q_{inf} + Q_{ina} + W_{si} + Q_{st}$$

Dabei ist

Q_{in} durchschnittliche gesamte zugeführte Leistung (kJ/s);

Q_{inf} durchschnittliche zugeführte Brennstoffleistung aus 9.2.3.1.2 (kJ/s);

Q_{ina} durchschnittliche zugeführte Leistung des Oxidationsmittels aus 9.2.3.3.2 (kJ/s);

W_{si} durchschnittliche Wellenleistung aus 9.2.3.5.2 (kJ/s);

Q_{st} durchschnittliche sekundäre Wärmeleistung aus 9.2.3.2.2 (kJ/s).

9.2.4 Berechnung der Ergebnisse

9.2.4.1 Elektrische Ausgangsleistung

9.2.4.1.1 Durchschnittliche elektrische Ausgangsleistung

Die durchschnittliche elektrische Ausgangsleistung, P_{out} in kW, ist nach dem nachstehenden Verfahren zu berechnen.

- 1) Die gesamte während der Durchführung der Prüfung abgegebene elektrische Arbeit in kWh ist durch Integration der elektrischen Ausgangsleistung in kW über die Dauer der Prüfung zu ermitteln.
- 2) Die durchschnittliche elektrische Ausgangsleistung, P_{out} in kW, ist durch Division der abgegebenen elektrischen Arbeit in kWh durch die Dauer der Prüfung in h zu ermitteln.

9.2.4.1.2 Durchschnittliche abgegebene elektrische Netto-Leistung

Die durchschnittliche elektrische Ausgangsleistung ist zu mindern, um jegliche elektrische Hilfsleistungen zu berücksichtigen, die aus externen elektrischen Leistungsquellen stammen. Für die Berechnung des elektrischen Wirkungsgrades ist die durchschnittliche abgegebene elektrische Netto-Leistung nach folgender Gleichung anzugeben:

$$P_n = P_{\text{out}} - P_{\text{in}}$$

Dabei ist

- P_n durchschnittliche abgegebene elektrische Netto-Leistung (kW);
 P_{out} durchschnittliche aufgenommene elektrische Leistung aus 9.2.4.1.1 (kW);
 P_{in} durchschnittliche zugeführte elektrische Hilfsleistung aus 9.2.3.4 (kW).

9.2.4.2 Durchschnittliche zurückgewonnene thermische Leistung

Die durchschnittliche zurückgewonnene thermische Leistung, Q_{HR} in kJ/s, ist unter Anwendung des nachstehenden Vorgehens entweder für volumetrische Durchflussraten oder für Massendurchflussraten des Wärmerückgewinnungsfluids zu berechnen.

- a) Für volumetrische Durchflussrate:
 - 1) Die zurückgewonnene thermische Energie, $Q_{t_{\text{HR}}}$ in kJ, ist nach folgender Gleichung zu berechnen:

$$Q_{t_{\text{HR}}} = \sum [(t_{\text{HR1}} - t_{\text{HR2}}) \cdot q_T \cdot \rho_T] \cdot S$$

Dabei ist

- $Q_{t_{\text{HR}}}$ zurückgewonnene thermische Energie über die Dauer der Prüfung (kJ);
 Σ aufintegrierter Wert der einzelnen Messungen [];
 t_{HR1} Temperatur des austretenden Wärmerückgewinnungsfluids (K);
 t_{HR2} Temperatur des eintretenden Wärmerückgewinnungsfluids (K);
 q_T Durchflussrate des Wärmerückgewinnungsfluids (m^3/s);
 ρ_T Dichte des Fluids bei gemessenem Druck und Temperatur (kg/m^3);
 S spezifische Wärmekapazität des Wärmerückgewinnungsfluids ($\text{kJ}/\text{kg K}$).
 - 2) Die durchschnittliche zurückgewonnene Wärmeleistung, Q_{HR} in kJ/s, ist durch Division der zurückgewonnenen thermischen Energie, $Q_{t_{\text{HR}}}$ in kJ, durch die Dauer der Prüfung in s zu berechnen.

b) Für Messendurchflussrate:

- 1) Wird die Durchflussrate des Wärmerückgewinnungsfluids als Massenfluss gemessen, ist die während der Durchführung der Prüfung zurückgewonnene thermische Energie, $Q_{t_{HR}}$ in kJ, durch folgende Gleichung zu berechnen:

$$Q_{t_{HR}} = \sum [(t_{HR1} - t_{HR2}) \cdot q_{mr}] \cdot S$$

Dabei ist

q_{mr} Massendurchflussrate des Wärmerückgewinnungsfluids (kg/s).

- 2) Die durchschnittliche zurückgewonnene Wärmeleistung, Q_{HR} in kJ/s, ist durch Division der zurückgewonnenen thermischen Energie, $Q_{t_{HR}}$ in kJ, durch die Dauer der Prüfung in s zu berechnen.

9.2.5 Wirkungsgradberechnungen

9.2.5.1 Berechnung des elektrischen Wirkungsgrades

Der elektrische Wirkungsgrad, η_e in %, ist durch Division der durchschnittlichen abgegebenen elektrischen Netto-Leistung, P_n in kW, durch die durchschnittliche zugeführte Leistung, Q_{in} in kJ/s, zu berechnen.

ANMERKUNG Wird der Brennwert (HHV, Higher Heating Value) für Q_{in} angesetzt, ist 4.3 zu beachten.

$$\eta_e = \frac{P_n}{Q_{in}} \cdot 100$$

Dabei ist

η_e elektrischer Wirkungsgrad (%);

P_n durchschnittliche abgegebene elektrische Netto-Leistung aus 9.2.4.1.2 (kW = kJ/s);

Q_{in} durchschnittliche gesamte zugeführte Leistung aus 9.2.3.6 (kJ/s).

9.2.5.2 Berechnung des Wirkungsgrades der Wärmerückgewinnung (Thermischer Wirkungsgrad)

Der Wirkungsgrad der Wärmerückgewinnung, η_{th} in %, ist durch Division der durchschnittlichen zurückgewonnenen thermischen Leistung, Q_{HR} in kJ/s, durch die durchschnittliche zugeführte Leistung, Q_{in} in kJ/s, zu berechnen.

$$\eta_{th} = \frac{Q_{HR}}{Q_{in}} \cdot 100$$

Dabei ist

η_{th} Wirkungsgrad der Wärmerückgewinnung (%);

Q_{HR} durchschnittliche zurückgewonnene thermische Leistung aus 9.2.4.2.3 (kJ/s);

Q_{in} durchschnittliche zugeführte gesamte Leistung aus 9.2.3.6 (kJ/s).

9.2.5.3 Gesamter energetischer Wirkungsgrad

Der gesamte energetische Wirkungsgrad, η_{total} in %, wird wie folgt berechnet:

$$\eta_{\text{total}} = \eta_e + \eta_{\text{th}}$$

Dabei ist

η_{total} gesamter energetischer Wirkungsgrad (%);

η_e elektrischer Wirkungsgrad (%);

η_{th} Wirkungsgrad der Wärmerückgewinnung (%).

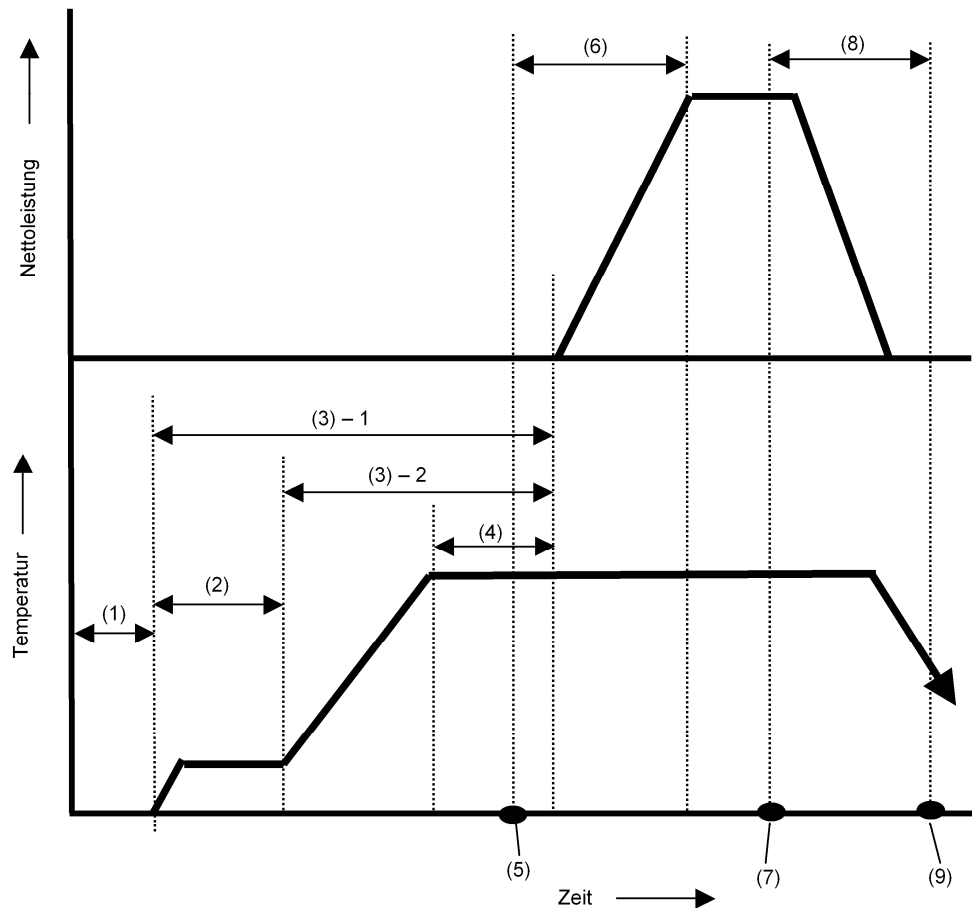
9.3 Prüfung der Merkmale des dynamischen Last- und thermischen Übergangsverhaltens

9.3.1 Allgemeines

Bild 3 enthält weitergehende Informationen zu den Begriffen in 3.1.10 bis 3.1.14.

Bild 4 enthält weitergehende Informationen zu den Prüfungen in 9.3.9.2.2, 9.3.9.3.2 und 9.3.9.4.2.

Bild 5 enthält weitergehende Informationen zu den Prüfungen in 9.3.9.2.3, 9.3.9.3.3 und 9.3.9.4.3.



Legende

- (1) kalter Zustand (Abschaltzustand), Umgebungstemperatur ohne Leistungszufuhr
- (2) Lagerungszustand

Anfahrzeit

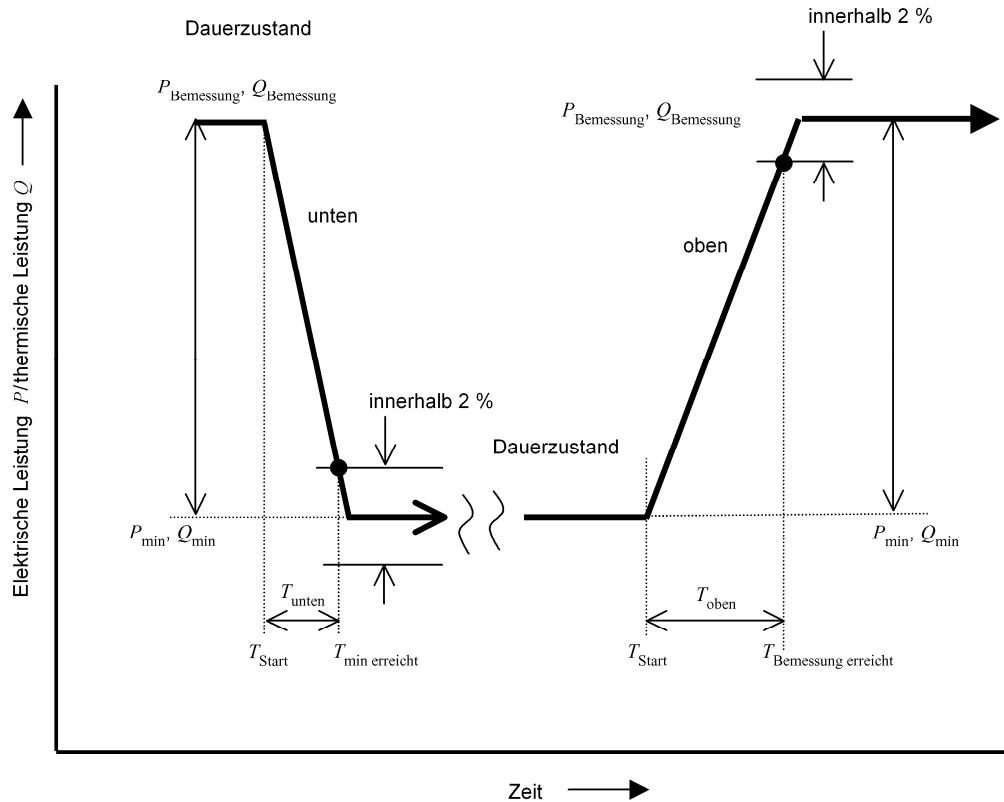
- (3)-1 Für Systeme, die im Lagerungszustand keine externe Leistung erfordern, wird diese vom kalten Zustand aus gemessen
- (3)-2 Für Systeme, die im Lagerungszustand externe Leistung erfordern, wird diese vom Lagerungszustand aus gemessen

- (4) Bereitschaftszustand
- (5) Einschaltvorgang eingeleitet
- (6) Reaktionszeit bis zur Erreichung der Bemessungsleistung
- (7) Abschaltvorgang eingeleitet
- (8) Abschaltzeit
- (9) Abschaltzustand erreicht

Funktionsablauf

Ablauf von (2) bis (8)

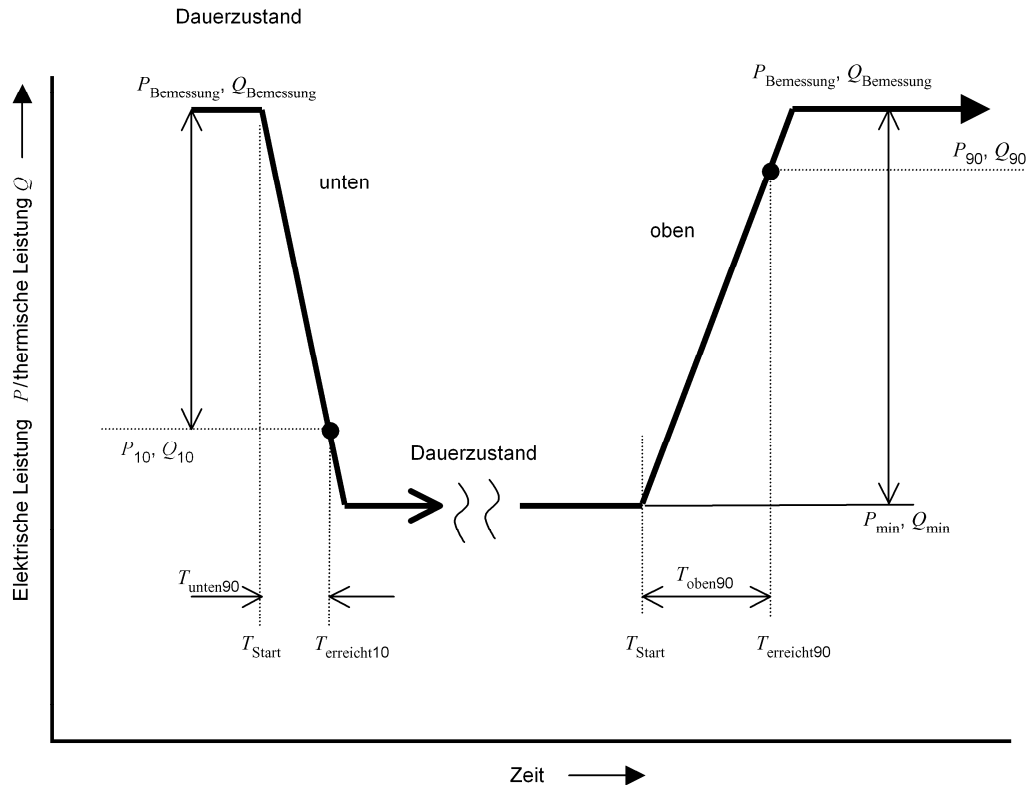
Bild 3 – Betriebsverlaufsdarstellung des Brennstoffzellen-Energiesystems



Legende

$P_{\text{Bemessung}}, Q_{\text{Bemessung}}$	Elektrische Bemessung-Ausgangsleistung, thermische Bemessung-Ausgangsleistung
$P_{\text{min}}, Q_{\text{min}}$	Elektrische Mindest-Ausgangsleistung, thermische Mindest-Ausgangsleistung
T_{Start}	Zeitpunkt, zu dem die Änderung der Ausgangsleistung erfolgt
$T_{\text{Bemessung erreicht}}$	Zeitraum, bis die Bemessung-Ausgangsleistung innerhalb einer Abweichung von 2 % erreicht wird
$T_{\text{min erreicht}}$	Zeitraum, bis die Bemessung-Ausgangsleistung innerhalb einer Abweichung von 2 % erreicht wird
T_{unten}	Zeitraum zwischen T_{Start} und $T_{\text{min erreicht}}$
T_{oben}	Zeitraum zwischen T_{Start} und $T_{\text{Bemessung erreicht}}$

Bild 4 – Steigungen der Flanken bei Lastwechseln



Legende

$P_{\text{Bemessung}}, Q_{\text{Bemessung}}$	Elektrische Bemessung-Ausgangsleistung und thermische Bemessung-Ausgangsleistung.
$P_{\text{min}}, Q_{\text{min}}$	Elektrische Mindest-Ausgangsleistung und thermische Mindest-Ausgangsleistung.
P_{10}, Q_{10}	P_{10} ist die elektrische Ausgangsleistung bei niedrigem Netz-Leistungsniveau, der eine Abnahme entsprechend 90 % der gesamten abwärts gerichteten Differenz zwischen Bemessungsleistung und minimaler Leistung darstellt (W, kW). Dieser Wert darf mehr als 10 % der Bemessungsleistung betragen und ist für jeden Gerätetyp auf der Grundlage der Bemessungsleistung und der minimalen Leistung nach den Herstellerangaben zu berechnen. Gleiches gilt für die thermische Ausgangsleistung Q_{10} (kJ/s, W, kW).
P_{90}, Q_{90}	Elektrische Ausgangsleistung bei 90 % der elektrischen Bemessung-Ausgangsleistung (W, kW), ebenso für die thermische Ausgangsleistung Q_{90} (kJ/s, W, kW).
T_{Start}	Zeitpunkt, zu dem das Signal zur Änderung der elektrischen oder thermischen Laständerung in jegliche Richtung erfolgt.
$T_{\text{erreicht90}}$	Zeitpunkt der Erreichung von P_{90} .
$T_{\text{erreicht10}}$	Zeitpunkt der Erreichung von P_{10} .
T_{unten90}	Erforderliche Antwortzeit, bis die angordnete Leistung zu 90% erreicht wurde (elektrische oder thermische Laständerung). Wird zum Beispiel eine Laständerung von Bemessungsleistung zu minimaler Leistung angefordert, entspricht dies der Zeit, bis das System 10% der Bemessung-Ausgangsleistung erreicht. An anderen Worten, es ist die Zeitdauer zwischen T_{Start} und $T_{\text{erreicht10}}$ (s).
T_{oben90}	Erforderliche Antwortzeit zum Erreichen von 90% der Bemessungsleistung oder der Zeitraum zwischen T_{Start} und $T_{\text{erreicht90}}$ (s).

Bild 5 – Steigungen der Flanken bei Lastwechseln auf 90 %

9.3.2 Laständerungsreaktionszeiten netzunabhängiger Systeme

9.3.2.1 Maximal zulässiger momentaner Transient der elektrischen Ausgangsleistung für netzunabhängige Systeme

Diese Prüfung ist für Brennstoffzellen-Energiesysteme vorgesehen, die für autonomen Betrieb (d. h. unabhängig vom elektrischen Netz) ausgelegt sind und ermittelt den maximalen Transienten der elektrischen Leistung, den das Brennstoffzellen-Energiesystem ohne Systemfehler oder Auslösen eines Alarms vollziehen kann. Die Prüfung ist unter Verwendung einer ohmschen Last durchzuführen.

Die elektrische Netto-Ausgangsleistung, gemessen nach 7.3.1, ist während der Prüfung fortlaufend aufzuzeichnen.

Ein Transient der elektrischen Leistung wird dann als für das Brennstoffzellen-Energiesystem akzeptabel erachtet, wenn der Wechsel der elektrischen Netto-Ausgangsleistung zwischen einem anfänglichen eingeschwungenen Wert (siehe 8.1 und Tabelle 4) und einem neuen Wert der elektrischen Netto-Ausgangsleistung innerhalb von 20 ms¹⁾ auftritt. Es wird nur die elektrische Netto-Ausgangsleistung aufgezeichnet; jegliche Instabilitäten oder anschließende Abweichung anderer Parameter nach Tabelle 4 wie auch die Systemstabilität betreffende Kenngrößen (nach Herstellerangabe) und Gesamtverzerrungen werden in dieser Prüfung vernachlässigt.

Vom Hersteller ist ein Ziel-Leistungsniveau vorzugeben. Beispielsweise darf ein Hersteller ein Ziel-Leistungsniveau (z. B. 57 %) als höchstmögliche Laständerung vorgeben. Die Prüfung beginnt mit dem Zielwert. Sofern die Prüfung erfolgreich verläuft, darf eine zusätzliche Prüfung auf einem höheren Leistungsniveau als vom Hersteller spezifiziert durchgeführt werden, um eine höhere Leistungsfähigkeit nachzuweisen. Sofern die anfängliche Prüfung fehlschlägt, sind weitere Prüfungen mit geringerem Leistungsniveauwechsel als vom Hersteller spezifiziert durchzuführen. Zumindest eine Prüfung muss erfolgreich absolviert werden, sodass ein Ergebnis festgehalten werden kann.

Eine Aufwärts-Transiente wird durchgeführt mit einer anfänglichen eingeschwungenen elektrischen Netto-Ausgangsleistung gleich 0 % Bemessung-Ausgangsleistung, während sich das System im Bereitschaftszustand befindet.

Eine Abwärts-Transiente wird durchgeführt mit einer anfänglichen eingeschwungenen elektrischen Netto-Ausgangsleistung gleich 100 % Bemessung-Ausgangsleistung.

9.3.2.2 Transient der elektrischen Netto-Ausgangsleistung bei netzunabhängigen Systemen

Für Brennstoffzellen-Energiesysteme, die für netzunabhängigen Betrieb ausgelegt sind, ist die Reaktionszeit auf Lastwechsel-Reaktionszeit nach 3.1.15 für elektrische Netto-Ausgangsleistung zwischen zwei eingeschwungenen Betriebszuständen zu ermitteln, unter Berücksichtigung der Gesamtstromverzerrung²⁾ und Gesamtspannungsverzerrung, wenn der in 8.3.9.2.1 definierte maximal zugelassene momentane Lastwechsel der elektrischen Ausgangsleistung vom Brennstoffzellen-Energiesystem bei Belastung durch eine ohmsche Last abgefordert wird.

Die Reaktionszeit der elektrischen Netto-Ausgangsleistung ist mittels folgender Gleichungen zu berechnen:

$$T_{\text{oben}} = T_{\text{Bemessung erreicht}} - T_{\text{Start}}$$

$$T_{\text{unten}} = T_{\text{min erreicht}} - T_{\text{Start}}$$

¹⁾ Dies entspricht einer Periode eines 50-Hz-Signals. Dieses Kriterium ist auch auf Brennstoffzellen-Energiesysteme anwendbar, die 60 Hz Wechselstrom abgeben und auf solche, die Gleichstrom produzieren. Für Systeme, für die diese Zeitgrenze aufgrund des Aufbaus nicht sinnvoll ist, darf der Hersteller eine abweichende Zeitgrenze spezifizieren und muss ausdrücklich auf diese Abweichung im Bericht hinweisen.

²⁾ Die Gesamtverzerrung entspricht der Quadratwurzel der Summe der Quadrate der Amplituden der harmonischen Spannungen bzw. Ströme (bis zur 50. Oberschwingung), geteilt durch die Größe der zugrunde liegenden Wellenform.

Dabei ist

T_{Start}	Zeitpunkt, zu dem ein Impuls zum Lastwechsel gegeben wird, unabhängig von der Richtung;
$T_{\text{Bemessung erreicht}}$	Zeitpunkt, zu dem die Abweichung des Wertes der Gesamtverzerrung den Wert nach Tabelle 4 erreicht hat, wobei dadurch ein neuer eingeschwungener Betriebszustand auf höherem Niveau definiert wird;
$T_{\text{min erreicht}}$	Zeitpunkt, zu dem die Abweichung des Wertes der Gesamtverzerrung den Wert nach Tabelle 4 erreicht hat, wobei dadurch ein neuer eingeschwungener Betriebszustand auf niedrigerem Niveau definiert wird.

- a) Netzunabhängiger Lastwechsel abwärts auf einen Zustand eingeschwungener Gesamtverzerrung
 - 1) Es ist sicherzustellen, dass sich das Brennstoffzellen-Energiesystem im eingeschwungenen Betriebszustand bei elektrischer Bemessung-Ausgangsleistung befindet.
 - 2) Es ist das Anforderungssignal für eine Reduzierung der elektrischen Leistung nach der in 8.3.9.2.1 ermittelten Schrittänderung an die Regelung der Widerstandslastbank zu senden.
 - 3) Das Brennstoffzellen-Energiesystem senkt seine elektrische Ausgangsleistung nach diesem Regelungssignal ab.
 - 4) Die Reaktion zwischen der Einleitung des Anforderungssignals der elektrischen Lastanforderung bis zu dem Zeitpunkt, zu dem die Abweichung des Wertes der Gesamtverzerrung den Wert nach Tabelle 4 erreicht hat, wobei dadurch ein neuer eingeschwungener Betriebszustand hinsichtlich der Gesamtverzerrung definiert wird, ist zu beobachten und aufzuzeichnen.
- b) Netzunabhängiger Lastwechsel aufwärts auf einen Zustand eingeschwungener Gesamtverzerrung
 - 1) Es ist sicherzustellen, dass sich das Brennstoffzellen-Energiesystem im eingeschwungenen Betriebszustand bei minimaler elektrischer Ausgangsleistung befindet.
 - 2) Es ist das Anforderungssignal für eine Erhöhung der elektrischen Leistung nach der in 8.3.9.2.1 ermittelten Schrittänderung an die Regelung der Widerstandslastbank zu senden.
 - 3) Das Brennstoffzellen-Energiesystems steigert seine elektrische Ausgangsleistung nach diesem Regelungssignal.
 - 4) Die Reaktion zwischen der Einleitung des Anforderungssignals der elektrischen Lastanforderung bis zu dem Zeitpunkt, zu dem die Abweichung des Wertes der Gesamtverzerrung den Wert nach Tabelle 4 erreicht hat, wobei dadurch ein neuer eingeschwungener Betriebszustand hinsichtlich der Gesamtverzerrung definiert wird, ist zu beobachten und aufzuzeichnen.

9.3.2.3 Netzunabhängige Reaktionszeit auf 90 % Leistung

Für Brennstoffzellen-Energiesysteme, die für netzunabhängigen Betrieb ausgelegt sind, ist die Lastwechsel-Reaktionszeit nach 3.1.15 für elektrische Netto-Ausgangsleistung zwischen zwei Betriebszuständen zu ermitteln, unter Berücksichtigung der Erreichung von 90 % der geforderten Leistung, wenn der in 8.3.9.2.1 definierte maximal zugelassene momentane Lastwechsel der elektrischen Ausgangsleistung vom Brennstoffzellen-Energiesystem bei Belastung durch eine ohmsche Last abgefordert wird.

Die Reaktionszeit auf eine 90%-Anforderung der elektrischen Netto-Ausgangsleistung ist mittels folgender Gleichungen zu berechnen:

$$T_{\text{unten90}} = T_{\text{erreicht10}} - T_{\text{Start}}$$

$$T_{\text{oben90}} = T_{\text{erreicht90}} - T_{\text{Start}}$$

Dabei ist

T_{Start}	Zeitpunkt, zu dem ein Signal zum Lastwechsel gegeben wird, unabhängig von der Richtung;
$T_{\text{erreicht unten}90}$	Zeitpunkt, zu dem die elektrische Netto-Ausgangsleistung 90 % des niedrigeren in 8.3.9.2.1 bestimmten Anforderungswertes erreicht;
$T_{\text{erreicht oben}90}$	Zeitpunkt, zu dem die elektrische Netto-Ausgangsleistung 90 % des höheren in 8.3.9.2.1 bestimmten Anforderungswertes erreicht.

- a) Netzunabhängiger Abwärts-Lastwechsel auf 90 % der maximalen momentanen Anforderung
- 1) Es ist sicherzustellen, dass sich das Brennstoffzellen-Energiesystem im eingeschwungenen Betriebszustand bei elektrischer Bemessung-Ausgangsleistung befindet.
 - 2) Es ist das Anforderungssignal für eine Reduzierung der elektrischen Leistung nach der in 8.3.9.2.1 ermittelten Schrittländerung an die Regelung der Widerstandslastbank zu senden.
 - 3) Das Brennstoffzellen-Energiesystem senkt seine elektrische Ausgangsleistung entsprechend diesem Regelungssignal ab.
 - 4) Die Reaktion zwischen der Einleitung des Signales zur Reduzierung der elektrischen Leistung und dem Zeitpunkt, zu dem die Netto-Ausgangsleistung 90 % des Anforderungswertes erreicht, ist zu beobachten und aufzuzeichnen.
- b) Netzunabhängiger Aufwärts-Lastwechsel auf 90 % der maximalen momentanen Anforderung
- 1) Es ist sicherzustellen, dass sich das Brennstoffzellen-Energiesystem im eingeschwungenen Betriebszustand bei minimaler Ausgangsleistung befindet.
 - 2) Es ist das Anforderungssignal für eine Erhöhung der elektrischen Leistung nach dem in 8.3.9.2.1 ermittelten Schritt an die Regelung der Widerstandslastbank zu senden.
 - 3) Das Brennstoffzellen-Energiesystems steigert seine elektrische Ausgangsleistung entsprechend diesem Regelungssignal.
 - 4) Die Reaktion zwischen der Einleitung des Signales zur Erhöhung der elektrischen Leistung und dem Zeitpunkt, zu dem die Netto-Ausgangsleistung 90 % des Anforderungswertes erreicht, ist zu beobachten und aufzuzeichnen.

9.3.3 Reaktionszeiten an das Netz angeschlossener Systeme

9.3.3.1 Allgemeines

Dieser Unterabschnitt befasst sich mit Brennstoffzellen-Energiesystemen, die für Netzbetrieb vorgesehen sind.

Die Lastwechsel-Reaktionszeit nach 3.1.15 ist während netzparallelem Leistungslastwechsel wie nachstehend definiert zu messen.

Die elektrische Ausgangsleistung ist während der Prüfung nach 7.3.1 fortlaufend zu messen.

9.3.3.2 Reaktion der elektrischen Netto-Ausgangsleistung auf Bemessungsleistung bei Netzbetrieb

Die Steigung der Rampe als Reaktion auf die Erhöhung der elektrischen Ausgangsleistung auf Bemessungsleistung und auf die Reduzierung von Bemessungsleistung ist mit Bezug auf Bild 4 unter Verwendung der folgenden Gleichung zu berechnen:

- a) Reaktion der elektrischen Ausgangsleistung bei Lastwechsel aufwärts

$$PR_{\min} = (P_{\text{Bemessung}} - P_{\min}) / (T_{\text{min erreicht}} - T_{\text{Start}}) = (P_{\text{Bemessung}} - P_{\min}) / T_{\text{unten}}$$