

**Brennstoffzellentechnologien –
Teil 8-101: Energiespeichersysteme mit Brennstoffzellenmodulen im
Umkehrbetrieb –
Testprozeduren für Festoxid-Brennstoffzellen, Einzelzellen oder Stack zur Ermittlung
des Leistungsverhalten einschließlich Umkehrbetrieb**

Inhalt		Seite
Einleitung		6
1 Anwendungsbereich		7
2 Normative Verweisungen		7
3 Begriffe und Symbole		8
3.1 Begriffe		8
3.2 Symbole		15
3.3 Normaldruck und -temperaturwerte (en: SPT, standard pressure and Temperature) für Gastemperatur und -druck		19
4 Allgemeine Sicherheitsbedingungen		19
5 Prüfumgebung		20
5.1 Allgemeines		20
5.2 Zelle		20
5.3 Stack		21
5.4 Versuchsanordnung		22
5.4.1 Elektrodengas-Regeleinrichtung		23
5.4.2 Temperaturmanagementeinrichtung		24
5.4.3 Stromversorgung/Lastregeleinrichtung		24
5.4.4 Mess- und Datenerfassungseinrichtung		24
5.4.5 Sicherheitseinrichtung		24
5.4.6 Druckkraft-Regeleinrichtung		24
5.4.7 Druckregeleinrichtung		24
5.5 Schnittstelle zwischen Prüfobjekt und Versuchsanordnung		24
5.6 Parameterkontrolle und -messung		26
5.7 Messunsicherheit von TIP und TOP		27
5.8 Einbau des Prüfobjekts in die Versuchsanordnung		27
5.9 Stabilitätskriterien		28
6 Messgeräte und Messverfahren		28
6.1 Allgemeines		28
6.2 Geräteunsicherheit		29
6.3 Empfohlene Messgeräte und Verfahren		29
6.3.1 Messung des Elektrodengasflusses am Einlass		29
6.3.2 Messung der Elektrodengaszusammensetzung		29
6.3.3 Messung der Elektrodengastemperatur		30

	Seite
6.3.4	Messung des Elektrodengasdrucks 31
6.3.5	Messung des Elektrodenabgasflusses..... 31
6.3.6	Spannungsmessung an der Zellen-/Stack-Einbaueinheit 31
6.3.7	Strommessung an der Zellen-/Stack-Einbaueinheit..... 31
6.3.8	Temperaturmessung an der Zellen-/Stack-Einbaueinheit..... 32
6.3.9	Messung der Druckkraft 32
6.3.10	Messung der Gesamtimpedanz 32
6.3.11	Messung der Umgebungsbedingungen 32
6.4	Prüfbedingungen und Empfehlungen des Herstellers..... 32
6.4.1	Einschalt- und Abschaltbedingungen..... 32
6.4.2	Umfang der Prüfbedingungen 32
6.4.3	Stabilisierung, Initialisierungsbedingungen und stabiler Zustand 33
6.4.4	Verweilzeit, Gleichgewichtszeit, Erfassungszeit 33
6.5	Datenerfassungsverfahren 33
7	Prüfverfahren und Berechnung der Ergebnisse 34
7.1	Allgemeines 34
7.2	Prüfung der Strom-Spannungs-Kennlinie..... 34
7.2.1	Zweck und Anwendungsbereich 34
7.2.2	Prüfverfahren..... 34
7.2.3	Nachbearbeitung der Daten 35
7.3	Prüfung der effektiven Nutzung des Reaktanten 35
7.3.1	Zweck und Anwendungsbereich 35
7.3.2	Prüfverfahren..... 35
7.3.3	Nachbearbeitung der Daten 36
7.4	Beständigkeitsprüfung..... 36
7.4.1	Zweck und Anwendungsbereich 36
7.4.2	Prüfverfahren..... 36
7.4.3	Nachbearbeitung der Daten 37
7.5	Prüfung der Temperaturempfindlichkeit 37
7.5.1	Zweck und Anwendungsbereich 37
7.5.2	Prüfverfahren..... 37
7.5.3	Nachbearbeitung der Daten 38
7.6	Prüfung der Teilung der Widerstandskomponenten mittels elektrochemischer Impedanzspektroskopie..... 38
7.6.1	Zweck und Anwendungsbereich 38
7.6.2	Prüfverfahren..... 39
7.6.3	Nachbearbeitung der Daten 39
7.7	Prüfung der Strombelastbarkeit..... 40
7.7.1	Zweck und Anwendungsbereich 40

	Seite
7.7.2 Prüfverfahren	40
7.7.3 Nachbearbeitung der Daten	41
7.8 Temperaturwechselprüfung	41
7.8.1 Zweck und Anwendungsbereich	41
7.8.2 Prüfverfahren	41
7.8.3 Nachbearbeitung der Daten	41
7.9 Prüfung mit Druckbeaufschlagung	42
7.9.1 Zweck und Anwendungsbereich	42
7.9.2 Prüfverfahren	42
7.9.3 Nachbearbeitung der Daten	43
8 Prüfbericht	43
8.1 Allgemeines	43
8.2 Berichtspunkte	43
8.3 Beschreibung der Daten zur Prüfeinheit	43
8.4 Beschreibung der Prüfbedingungen	43
8.5 Beschreibung der Prüfdaten	44
8.6 Auswertung der Messunsicherheit	44
Anhang A (normativ) Detailliertes Prüfverfahren	45
A.1 Prüfungszweck und Anwendungsbereich	45
A.2 Prüfaufbau	45
A.3 Prüfung der Strom-Spannungs-Kennlinie (7.2)	46
A.3.1 Prüfeingangsparameter (TIP)	46
A.3.2 Prüfausgangsparameter (TOP)	46
A.3.3 Abgeleitete Größen	47
A.3.4 Messung der Strom-Spannungs-Kennlinie	47
A.4 Prüfung der effektiven Nutzung des Reaktanten	50
A.4.1 Prüfeingangsparameter (TIP)	50
A.4.2 Prüfausgangsparameter (TOP)	52
A.4.3 Abgeleitete Größen	52
A.4.4 Messung der effektiven Nutzung des Reaktanten	53
A.5 Beständigkeitsprüfung (7.4)	53
A.5.1 Prüfeingangsparameter (TIP)	53
A.5.2 Prüfausgangsparameter (TOP)	54
A.5.3 Abgeleitete Größen	55
A.5.4 Messung der Beständigkeit	55
A.6 Prüfung der Temperaturempfindlichkeit (7.5)	56
A.6.1 Prüfeingangsparameter (TIP)	56
A.6.2 Prüfausgangsparameter (TOP)	57

	Seite
A.6.3 Abgeleitete Größen	57
A.6.4 Messung der Temperaturempfindlichkeit	57
A.7 Prüfung der Teilung der Widerstandskomponenten mittels elektrochemischer Impedanzspektroskopie (7.6)	58
A.7.1 Prüfeingangsparameter (TIP)	58
A.7.2 Prüfausgangsparameter (TOP)	59
A.7.3 Abgeleitete Größen	60
A.7.4 Messung der Widerstandskomponenten über die EIS	60
A.8 Prüfung der Strombelastbarkeit (7.7)	60
A.8.1 Prüfeingangsparameter (TIP)	60
A.8.2 Prüfausgangsparameter (TOP)	61
A.8.3 Abgeleitete Größen	62
A.8.4 Messung der Strombelastbarkeit	62
A.9 Temperaturwechselprüfung (7.8)	66
A.9.1 Prüfeingangsparameter (TIP)	66
A.9.2 Prüfausgangsparameter (TOP)	67
A.9.3 Abgeleitete Größen	67
A.9.4 Messung des Temperaturwechsels	68
A.10 Prüfung mit Druckbeaufschlagung (7.9)	70
A.10.1 Prüfeingangsparameter (TIP)	70
A.10.2 Prüfausgangsparameter (TOP)	71
A.10.3 Abgeleitete Größen	71
A.10.4 Messung mit Druckbeaufschlagung	71
Anhang B (informativ) Leitfaden für die elektrochemische Impedanzspektroskopie (EIS)	73
B.1 Allgemeine Grundsätze	73
B.1.1 EIS-Prüfeinrichtung und -aufbau	75
B.2 Darstellung der Ergebnisse	75
B.3 Analyse- und Simulationsdaten	77
Anhang C (normativ) Gleichungen	78
C.1 Allgemeingültige Gleichungen	78
C.2 Wirkungsgrad	78
C.2.1 SOFC-Betrieb	78
C.2.2 SOEC-Betrieb	79
C.3 Degradation	79
C.4 Flächenbezogener Widerstand (ASR)	80
C.5 Temperaturen	80
Literaturhinweise	81
Tabellen	
Tabelle 1 – Symbole	15

	Seite
Tabelle 2 – Stabilitätskriterien für TIP und TOP als Referenzwerte.....	28
Tabelle 3 – Geräteunsicherheit für jede zu messende Größe	29
Tabelle A.1 – Prüfeingangparameter (TIP) für die Prüfung der Strom-Spannungs-Kennlinie	46
Tabelle A.2 – Prüfausgangparameter (TOP) für die Prüfung der Strom-Spannungs-Kennlinie	47
Tabelle A.3 – Abgeleitete Größen für die Prüfung der Strom-Spannungs-Kennlinie.....	47
Tabelle A.4 – Prüfeingangparameter (TIP) für die Prüfung der Nutzung des Reaktanten der negativen Elektrode	51
Tabelle A.5 – Prüfeingangparameter (TIP) für die Prüfung der Nutzung des Reaktanten der positiven Elektrode.....	51
Tabelle A.6 – Prüfausgangparameter (TOP) für die Prüfung der effektiven Nutzung des Reaktanten	52
Tabelle A.7 – Abgeleitete Größen für die Prüfung der effektiven Nutzung des Reaktanten.....	52
Tabelle A.8 – Prüfeingangparameter (TIP) für die Beständigkeitsprüfung.....	53
Tabelle A.9 – Prüfausgangparameter (TOP) für die Beständigkeitsprüfung.....	54
Tabelle A.10 – Abgeleitete Größen für die Beständigkeitsprüfung bei konstanter Last	55
Tabelle A.11 – Prüfeingangparameter (TIP) für die Prüfung der Temperaturempfindlichkeit.....	56
Tabelle A.12 – Prüfausgangparameter (TOP) für die Prüfung der Temperaturempfindlichkeit.....	57
Tabelle A.13 – Abgeleitete Größen für die Prüfung der Temperaturempfindlichkeit	57
Tabelle A.14 – Prüfeingangparameter (TIP) für die EIS-Prüfung.....	59
Tabelle A.15 – Prüfausgangparameter (TOP) für die EIS-Prüfung.....	59
Tabelle A.16 – Abgeleitete Größen für die EIS-Prüfung	60
Tabelle A.17 – Prüfeingangparameter (TIP) für die Prüfung der Strombelastbarkeit in einer einzigsten Betriebsart (Brennstoffzellenbetrieb oder Elektrolysebetrieb).....	61
Tabelle A.18 – Prüfeingangparameter (TIP) für die Prüfung der Strombelastbarkeit in beiden Betriebsarten (Brennstoffzellen- und Elektrolysebetrieb).....	61
Tabelle A.19 – Prüfausgangparameter (TOP) für die Prüfung der Strombelastbarkeit.....	62
Tabelle A.20 – Abgeleitete Größen für die Prüfung der Strombelastbarkeit.....	62
Tabelle A.21 – Prüfeingangparameter (TIP) für den Temperaturwechsel	66
Tabelle A.22 – Prüfausgangparameter (TOP) für den Temperaturwechsel.....	67
Tabelle A.23 – Abgeleitete Größen für die Temperaturwechselprüfung.....	68
Tabelle A.24 – Prüfeingangparameter (TIP) für die Prüfung mit Druckbeaufschlagung.....	71
Tabelle A.25 – Prüfausgangparameter (TOP) für die Prüfung mit Druckbeaufschlagung	71
Tabelle A.26 – Abgeleitete Größen für die Prüfung mit Druckbeaufschlagung	71
Tabelle C.1 – Allgemeingültige Gleichungen	78