

# Öffentliche Energieversorgung und Hausenergiesysteme mit Brennstoffzellen

Technologie - Anlagentechnik - Marktentwicklung

Prof. Dr. Hartmut Wendt  
Dipl.-Ing. Fritz Brammer  
Dipl.-Ing. Wolfgang Weise

Mit 69 Bildern, 14 Tabellen und 20 Aufgaben



Kontakt & Studium  
Band 618

Herausgeber:  
Dr.-Ing. Michael Mettner  
Technische Akademie Esslingen  
Weiterbildungszentrum  
DI Elmar Wippler, expert verlag

Begründet von  
Prof. Dr. Eugen Kruppke t  
Prof. Dr. -Ing. Wilfried J. Bartz

**expertUp verlag®**

# Inhaltsverzeichnis

## Vorwort

<b>1.</b>	<b>Einführung: Grundlagen der Technik</b>	
	Hartmut Wendt	
1.1	Das Prinzip der Brennstoffzelle	1
1.2	Thermodynamik der Wasserstoffverbrennung / Theoretischer Zellwirkungsgrad	2
1.3	Brennstoffzellentypen	4
1.3.1	Alkalische Zellen	5
1.3.2	Membranbrennstoffzellen, proton exchange membrane fuel cells (PEMFC)	5
1.3.3	Phosphorsäure-Zellen, phosphoric acid fuel cells (PAFC)	6
1.3.4	Karbonatschmelzen-Zellen, molten carbonate fuel cells (MCFC)	8
1.3.5	Oxidkeramische Zelle, solid oxide fuel cell (SOFC)	8
1.4	Typische Stromspannungskurven von unterschiedlichen Brennstoffzellentypen	11
1.5	Gasdiffusionselektroden	12
1.6	Das Gesamtsystem	13
1.6.1	Der Brennstoffzellen-Stapel	13
1.6.2	Die Gasprozessanlage	14
1.6.3	Der Inverter	15
1.6.4	Wärmetauscher	16
1.6.5	Das Prozessleitsystem	16
1.7	Betriebsverhalten eines Brennstoffzellensystems	17
1.8	Emissionen	18
1.9	Vorteile von Brennstoffzellenanlagen für die Kraft/Wärme-Kopplung	18
1.10	Schrifttum Aufgaben	18 19
<b>2.</b>	<b>Das Brennstoffzellensystem ONSIPC25A/C</b>	<b>23</b>
	<i>Zelle - Gasprozesstechnik - Elektrik - Prozessleitsystem</i> Fritz A. Brammer	
2.1	Einführung	23
2.1.1	Netze	25
2.1.2	Verfügbare Versorgungsmodi	25
2.2	Funktion des Brennstoffzellen-Heizkraftwerks ONSI PC25	26
2.2.2	Gasprozess	28
2.2.3	Elektrochemische Umwandlung	30
2.2.4	Elektrizitätsaufbereitung	32
2.2.5	Kraftwerk-Leitsystem	34

2.3	Betriebserfahrungen	36
2.3.1	Elektrisches und thermisches Betriebsverhalten	36
2.3.2	Umweltverträglichkeit	39
2.3.3	Instandhaltung und Zuverlässigkeit	40
2.3.4	Alterung und Lebensdauer	42
	Literaturverzeichnis	44
<b>3.</b>	<b>Brennstoffzellen-Blockheizkraftwerke der Fa. ONSI, PC 25A und PC 25C, in Deutschland</b>	<b>45</b>
	<i>Pilotprojekt mit einer erdgas- und einer wasserstoffbetriebenen Brennstoffzelle in Hamburg</i>	
	Wolfgang Weise	
3.1	Einleitung	45
3.2	Brennstoffzellenprozess	45
3.3	Kühlung des Brennstoffzellenstapels	46
3.4	Abwärme Kathodenabgas	47
3.5	Wärmeauskopplung an das Heiznetz	47
3.6	PC 25-Anlagen in Deutschland	48
3.7	Brennstoffzellen-Projekt in Hamburg	49
3.7.1	Standortbedingungen für das Pilotprojekt Brennstoffzellen-BHKW in Hamburg	50
3.7.2	Abwasser-Wärmepumpenheizwerk „Lysenstraße“ in Hamburg	50
3.7.3	Einbindung der Brennstoffzellenanlage in das Heizwerk „Lysenstraße“	51
3.7.4	Erdgasbetriebene Brennstoffzellenanlage PC 25A	51
3.7.5	Wasserstoffbetriebene Brennstoffzellenanlage	54
3.7.6	Emissionen	54
3.7.7	Wasserstoffversorgung der PC 25C	54
3.8	Zusammenfassung	56
<b>4.</b>	<b>Inbetriebnahmevoraussetzungen und Genehmigungsverfahren für BZ-Blockheizkraftwerke</b>	<b>59</b>
	Wolfgang Weise	
4.1	Einleitung	59
4.2	EG-Richtlinien	60
4.2.1	Maschinen-Richtlinie	60
4.2.2	Druckgeräte-Richtlinie	64
4.2.3	Niederspannungs-Richtlinie	65
4.2.4	Gasgeräte-Richtlinie	68
4.3	Brennstoffzellen-BHKW	71
4.3.1	Gefahrenpotentiale	71
4.3.2	Richtlinien-Zuordnung	71
4.3.3	BZ-BHKW ohne CE-Kennzeichnung	72
4.4	Pilotprojekt Brennstoffzellen BHKW „Hamburg Lysenstraße“	72
4.4.1	Genehmigungsverfahren	72
4.4.2	Brennstoffzellen-BHKW	72
4.5	Flüssigwasserstoff Speicher	78
4.6	Zusammenfassung	79
	Literatur	

<b>5.</b>	<b>Häuserenergieversorgung mit Brennstoffzellen</b>	<b>80</b>
	Hartmut Wendt; Fritz A. Brammer	
5.1	Einleitung	81
5.2	Membranzellenanlagen kleiner Leistung	82
5.2.1	Membranbrennstoffzellenanlagen der Hamburger Gaswerke/HGW und von Vaillant	82
5.3	Anlage kleiner Leistung mit Oxidkeramischen Zellen (SOFC)	86
5.3.1	Entwicklungslinien	86
5.3.2	Der Elektrolyt	87
5.3.3	Die Elektroden	88
5.3.4	Vereinfachte Gasverfahrenstechnik in SOFC-Anlagen	88
5.3.5	Die Sulzer/HEXIS-Technik	89
5.4	Geschäftliche Möglichkeiten für lokale EVU und Gasversorger durch Betrieb von Brennstoffzellen für die Hausenergieversorgung	93
5.5	Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit der Hausenergieversorgung mit Brennstoffzellen	93
5.5.1	Methodik	93
5.5.2	Festlegung von Größe und Betriebsweise der BZ-Hausversorgung in Einzelhaushalten	94
5.5.3	Wärmebedarfsprofil	96
5.5.4	Festlegung der Größe und Betriebsweise von BZ-Hausenergieanlagen	97
5.5.5	Energiebilanz und Betriebskosten bei ström- bzw. wärmegeführtem Betrieb	100
5.5.6	Grobe Abschätzung der,aus den Ersparnissen finanzierbaren zusätzlichen Investitionskosten	101
5.5.7	Detaillierte Berechnung der finanzierbaren Kosten für Brennstoffzellen-Hausanlagen für Einfamilienhäuser mit 1 kW elektrischer Bemessungsleistung	102
5.5.8	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für eine Brennstoffzellenanlage im Mehrfamilienhaus	105
5.6	Das virtuelle Kraftwerk: Potential von Hausenergiesystemen für die Stromversorgung im überörtlichen Verbund	105
5.7	Emissionen	107
5.8	Schlussbemerkungen	108
5.9	Literatur	109

## Anhang

Tabellen	
Aufgabensammlung	

## Sachregister

## Autorenverzeichnis