



## Kühlkonzepte für Hochtemperatur-Polymerelektrolyt-Brennstoffzellen-Stacks

Jen Supra

Forschungszentrum Jülich GmbH  
Institut für Energie- und Klimaforschung  
Elektrochemische Verfahrenstechnik (IEK-3)

# Kühlkonzepte für Hochtemperatur- Polymerelektrolyt-Brennstoffzellen-Stacks

Jen Supra

Schriften des Forschungszentrums Jülich  
Reihe Energie & Umwelt / Energy & Environment

Band / Volume 209

---

ISSN 1866-1793

ISBN 978-3-89336-946-1

# Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Motivation und Zielsetzung .....	1
1.2	Vorgehensweise und Gliederung .....	3
2	Stand der Technik.....	5
2.1	Übersicht Kühlkonzepte .....	6
2.2	Literaturrecherche.....	7
2.2.1	Luftkühlung.....	7
2.2.2	Wärmeträgerflüssigkeitskühlung .....	8
2.2.3	Wasserkühlung.....	8
2.2.4	Externe Kühlung .....	9
3	Grundlagen zur Auslegung der Kühlkonzepte.....	13
3.1	Wärmeerzeugung in der HT-PEFC .....	13
3.2	Wärmetransportmechanismen.....	16
3.3	Energiebilanz für einen HT-PEFC-Stack.....	18
3.3.1	Adiabate Randbedingungen .....	20
3.3.2	Energiebilanz eines thermisch nicht isolierten Stacks .....	23
3.4	Wärmeübertragung an die Kühlkanäle des HT-PEFC-Stacks .....	27
3.5	Aufbau und Funktionsweise von Heatpipes .....	28
4	Messtechnik und Versuchsbedingungen.....	33
4.1	Teststand.....	33
4.2	Temperaturmessung.....	33
5	Wärmeträgerflüssigkeitskühlung .....	35
5.1	Interne Wärmeträgerflüssigkeitskühlung mittels integrierter Flowfields .....	35
5.1.1	Versuchsaufbau.....	36
5.1.1.1	Stackaufbau und Funktionsweise des Kühlsystems .....	36
5.1.1.2	Temperaturmessung .....	37
5.1.2	Ergebnisse der Temperaturverteilungsmessungen .....	38
5.1.3	Parameterstudie mit variierenden Eintrittsbedingungen .....	41
5.1.4	Beurteilung des Kühlkonzeptes .....	46
5.2	Interne Wärmeträgerflüssigkeitskühlung jeder dritten Zelle mit gekapselten Kühlzellen .....	48
5.2.1	Ansatz zur Berechnung der Temperaturdifferenz von Zelle zu Zelle .....	48
5.2.2	Validierung der Auslegung.....	54

5.2.3	Beurteilung des Kühlkonzeptes .....	56
5.3	Externe Wärmeträgerflüssigkeitskühlung mit Heatpipe-Unterstützung .....	58
5.3.1	Auslegung einer Heatpipe-unterstützten Kühlung mittels CFD .....	58
5.3.1.1	Modellbildung .....	59
5.3.1.2	Ergebnisse der CFD-Simulationen.....	60
5.3.1.3	Vorversuche anhand einer Heatpipe-Kühlzelle .....	65
5.3.2	Experimentelle Untersuchung einer Heatpipe-unterstützten Kühlung .....	66
5.3.2.1	Versuchsaufbau.....	66
5.3.2.2	Ergebnisse und Diskussion.....	68
5.3.3	Beurteilung des Kühlkonzeptes .....	75
6	Luftkühlung.....	77
6.1	Externe passive Kühlung mit freier Konvektion und Strahlung.....	77
6.1.1	Modellbildung und Geometrievariationen .....	78
6.1.2	Einfluss von Geometrievariationen auf die Energiebilanz .....	80
6.1.2.1	Einfluss von verschiedenen Isolationsdicken .....	80
6.1.2.2	Einfluss der Zellenzahl.....	82
6.1.2.3	Einfluss der aktiven Fläche .....	83
6.1.2.4	Einfluss des Seitenverhältnisses.....	84
6.1.3	Bestimmung der orts aufgelösten Temperaturverteilung .....	85
6.1.4	Beurteilung des Kühlkonzeptes .....	87
6.2	Interne Luftkühlung in separatem Kühlflowfield .....	87
6.2.1	Auslegung eines luftgekühlten HT-PEFC-Stacks.....	87
6.2.2	Versuchsaufbau .....	91
6.2.3	Ergebnisse und Diskussion .....	92
6.2.4	Beurteilung des Kühlkonzeptes .....	97
6.3	Kathodenluftkühlung.....	99
6.3.1	Berechnung des notwendigen Kathodenluftüberschusses .....	99
6.3.2	Beurteilung des Kühlkonzeptes .....	101
7	Wasserkühlung .....	103
7.1	Parameter der Auslegung einer Wasserkühlung .....	104
7.2	Wasserkühlung ohne Phasenwechsel.....	105
7.3	Wasserkühlung mit Phasenwechsel .....	106
7.4	Beurteilung des Kühlkonzeptes .....	109
8	Vergleich und Bewertung der untersuchten Kühlkonzepte.....	111

8.1	Anforderungen an die Kühlkonzepte .....	111
8.2	Einfluss des Wärmeträgermediums .....	112
8.3	Einfluss des Kühlkonzeptes .....	114
8.4	Einfluss des Systems.....	119
8.5	Wesentliche Vor- und Nachteile.....	122
9	Realisierung einer Kühlung für einen HT-PEFC-Stack der kW-Klasse .....	125
9.1	Auslegung der internen Wärmeträgerflüssigkeitskühlung mit gekapselten Kühlzellen .....	126
9.2	Experimenteller Versuchsaufbau .....	128
9.3	Beurteilung des Kühlkonzeptes.....	135
10	Diskussion der untersuchten Kühlkonzepte .....	137
10.1	Wärmeträgermedium .....	137
10.2	Temperaturverteilung in der Zell-Ebene.....	138
10.3	Temperaturverteilung von Zelle zu Zelle .....	140
10.4	Temperaturverteilung über die Stromdichte .....	141
10.5	Auswahl des Kühlkonzeptes .....	143
11	Zusammenfassung.....	145
	Literatur .....	149
	Nomenklatur .....	160
	Abbildungsverzeichnis .....	163
	Tabellenverzeichnis .....	168
	Anhang .....	170
	Anhang zu Kapitel 3 .....	170
	Anhang zu Kapitel 5 .....	173
	Anhang zu Kapitel 6 .....	175
	Anhang zu Kapitel 7 .....	179
	Anhang zu Kapitel 8 .....	182
	Anhang zu Kapitel 9 .....	184

Ein typischer Anwendungsbereich der Hochtemperatur-Polymerelektrolyt-Brennstoffzelle (HT-PEFC) ist die Bordstromerzeugung in mobilen Anwendungen. Die Betriebstemperatur liegt über 120 °C und ist aus Gründen der Festigkeitsgrenzen verwendeter Materialien und Lebensdauernanforderungen auf maximal 180 °C beschränkt. Aufgrund des hohen Temperaturniveaus kann die neben dem Strom erzeugte Wärme in dem System oder der Anwendung effizient weiterverwendet werden. Gegenstand dieser Arbeit ist die Untersuchung verschiedener möglicher Kühlkonzepte hinsichtlich ihrer Eignung für den Einsatz in der HT-PEFC, vor allem im Hinblick auf die Verwendung als Bordstromerzeugungseinheit im Verbund mit einem Brenngaserzeugungssystem.

**Autor:**

**Jen Supra** studierte an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen (RWTH Aachen) Maschinenbau mit der Studienrichtung Luftfahrttechnik. Von 2010 bis 2013 beschäftigte er sich am Institut für Energie- und Klimaforschung – Elektrochemische Verfahrenstechnik (IEK-3) im Forschungszentrum Jülich mit der Untersuchung von Kühlkonzepten für Hochtemperatur-Polymerelektrolyt-Brennstoffzellen-Stacks zur Anwendung in mobilen Brennstoffzellen-Systemen. Der Inhalt dieses Buches wurde von der RWTH Aachen als Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Ingenieurwissenschaften genehmigt.

**Institut:**

Die Forschungsaufgaben des Instituts für Energie- und Klimaforschung – Elektrochemische Verfahrenstechnik (IEK-3) sind auf die Realisierung von Hoch- und Niedertemperaturbrennstoffzellen sowie von entsprechenden Stacks oder Systemen für stationäre oder mobile Anwendungen ausgerichtet. Ferner umfassen die verfahrens- und systemtechnischen Entwicklungen die Bereitstellung von Apparaten zur Brenngaserzeugung. Diese Arbeiten werden von physikalisch-chemischen Grundlagenuntersuchungen sowie systemanalytischen Studien der Energieverfahrenstechnik begleitet.