

1	Ausblick auf zukünftige Anwendungen in der Luftfahrttechnik	1
	Andreas Westenberger	
1.1	Zukünftige Kraftstoffe für die Luftfahrt	1
1.1.1	Drop-in Kraftstoffe für den Antrieb	2
1.1.2	Alternative flüssige Kraftstoffe für den Antrieb	3
1.1.3	Alternative gasförmige Kraftstoffe für den Antrieb	3
1.2	Neue Energiewandler für Bordsysteme in Entwicklung	4
1.3	Aktivitäten im Bereich der Luftfahrt	6
	Literatur	6
2	Heutige und zukünftige Kraftstoffe für Brennstoffzellen in der Luftfahrt	7
	Ralf Peters	
	Nomenklatur	7
2.1	Chemische Zusammensetzung und Spezifikation von Flugturbinen-Kraftstoffen	8
2.1.1	Herstellung von Kerosin im Raffinerieprozess	8
2.1.2	Qualität von Flugturbinen-Kraftstoffen	10
2.1.3	Physiko-chemische Prozesseigenschaften von Kerosin	13
2.1.4	Eigenschaften und Einsatz von Flugbenzin	18
2.2	Einsatz von Biokraftstoffen im Luftverkehr	19
2.2.1	Definition und Einteilung von Biokraftstoffen	20
2.2.2	Pflanzenöle	24
2.2.3	Kraftstoffherstellung aus Pflanzenölen	27
2.2.4	Bio-to-liquid Kraftstoffe	33
2.2.5	Halophyten	38
2.2.6	Verwendung im Luftverkehr	40
2.3	Wasserstoff als Energieträger	43
2.3.1	Reformierung von Erdgas	44
2.3.2	Wasser-Elektrolyse	45
2.3.3	Biobasierte Wasserstofferzeugung	47

2.4	Anpassung und Veredlung von Kraftstoffen für den Luftverkehr	48
2.4.1	Biokraftstoffe für Flugturbinen	48
2.4.2	Wege zur industriellen Produktion von schwefelarmen Kerosinqualitäten	49
2.4.3	Kerosinentschwefelung für Brennstoffzellensysteme	54
2.5	Verfahrensanalytische Bewertung	75
2.5.1	Flächenspezifische Produktionsraten	75
2.5.2	Energie- und CO ₂ -Bilanzen der Kraftstoffherstellung	79
2.5.3	Flächenpotentiale für die Biokraftstoffproduktion	82
2.5.4	Speicherung	85
2.5.5	Mögliche Kraftstoffstrategien für die Luftfahrt	87
2.6	Zusammenfassung und Fazit	90
	Literatur	94
3	Hochtemperatur-Polymerelektrolyt-Brennstoffzellen	101
	Werner Lehnert, Uwe Reimer und Holger Janßen	
	Nomenklatur	101
3.1	Einleitung	101
3.2	Funktionsprinzip von Brennstoffzellen	104
3.3	Hochtemperatur-Polymerelektrolyt-Brennstoffzelle	115
3.3.1	Eigenschaften der Phosphorsäure	115
3.3.2	Das Polymer- Phosphorsäure-System	118
3.3.3	Einfluss der Phosphorsäure auf das Zellverhalten einer HT-PEFC	120
3.3.4	Einfluss des Brenngases auf das Betriebsverhalten einer HT-PEFC	126
3.3.5	Betriebsverhalten von HT-PEFC Stacks	131
3.4	Zusammenfassung	137
	Literatur	139
4	Stackentwicklung Hochtemperatur-Polymerelektrolyt-Brennstoffzellen ...	145
	Holger Janßen, Anne Bendzulla und Werner Lehnert	
	Nomenklatur	145
4.1	Einleitung	146
4.2	Grundlegender Betrieb und Aufbau	148
4.3	Stackauslegung	152
4.4	Stackkomponenten	155
4.4.1	Membran-Elektroden-Einheit	155
4.4.2	Bipolarplatte	160
4.5	Stackkonzepte	164
4.5.1	Spannkonzepte	164
4.5.2	Dichtkonzepte	166

4.5.3	Konzepte zum Stack-Wärmemanagement	170
4.5.4	Konzepte zur Medienverteilung auf Stack- und Zellebene	171
4.6	Fazit und Ausblick	175
	Literatur	177
5	Technische Entwicklung, Bau und Test von Brenngaserzeugungskomponenten	181
	Joachim Pasel	
5.1	Einleitung	181
5.2	Autothermer Reformier	183
5.2.1	Auswahl der Dralldruckdüse für die Kraftstoffeinspritzung	186
5.2.2	Strömungsdynamische Modellierungen zur Verbesserung der Verdampfungskammer	189
5.2.3	Katalysatoren	192
5.2.4	Experimentelle Validierung	195
5.3	Wasser-Gas-Shift Reaktor	213
5.3.1	Strömungsdynamische Modellierungen des Bereiches zwischen den beiden Reaktorstufen	215
5.3.2	Experimentelle Validierung	217
5.4	Katalytischer Brenner	221
5.4.1	Strömungsdynamische Modellierungen zur Verbesserung des Wärmeübergangs zwischen Wasserfilm und heißem Abgas	224
5.4.2	Experimentelle Validierung	226
5.5	Wesentliche Entwicklungen von anderen Forschergruppen	229
5.6	Danksagung	231
	Literatur	232
6	Reaktorentwicklung und Konstruktion	235
	Jan Meißner und Andreas Tschauder	
	Nomenklatur	235
6.1	Einleitung	235
6.2	Grundlagen	236
6.3	Randbedingungen	238
6.3.1	Verfahrenstechnische Randbedingungen	238
6.3.2	Äußere Randbedingungen	241
6.4	Konstruktion & Festigkeitsberechnungen	242
6.4.1	Wahl des Werkstoffes	242
6.4.2	Erster Entwurf	243
6.4.3	Berechnungen nach AD 2000	244
6.4.4	FEM-Berechnungen im Vergleich zum Regelwerk	262
6.4.5	Beispiel einer konstruktiven Detaillösungen	276
	Literatur	278

7	Entwicklung und Charakterisierung eines Gesamtsystems	281
	Remzi Can Samsun	
7.1	Einleitung	281
7.2	Technologieauswahl und Ziele	281
7.3	Systemkonzept	283
7.3.1	Basissystem	283
7.3.2	Integriertes System	285
7.4	Systemmodellierung	287
7.4.1	Pinch-Point-Analyse	287
7.4.2	Statistische Parametervariation	289
7.4.3	Detaillierte Systemauslegung mit Hilfe einer Prozesssimulation	292
7.4.4	Start-up-Strategie	295
7.4.5	Scale-up und multifunktionaler Systemeinsatz	296
7.5	Systemaufbau	298
7.5.1	Brenngaserzeugungssystem	298
7.5.2	Integriertes HT-PEFC-System mit Reformierung von GTL-Kerosin	301
7.6	Systemcharakterisierung	302
7.6.1	Systemtest Brenngaserzeugung in der 28 kW _{th} -Klasse	302
7.6.2	Test des integrierten HT-PEFC-Systems mit Reformierung in der 5-kW _e -Klasse	308
7.6.3	Analyse der Wärmerückgewinnung im System	322
7.6.4	Zusammenfassung der experimentellen Ergebnisse	323
7.7	Weitere Aktivitäten	325
7.8	Zusammenfassung und Ausblick	328
	Literatur	331
8	Brennstoffzellensysteme als Bestandteil eines multifunktionalen Systems	333
	Ralf Peters und Andreas Westenberger	
	Nomenklatur	333
8.1	Einsatzbedingungen	334
8.1.1	Stromproduktion	334
8.1.2	Wasserbedarf	339
8.1.3	Tankinertisierung und Brandbekämpfung	342
8.1.4	Tragflächenenteisung	344
8.2	Thermodynamische Aspekte	344
8.2.1	Stromerzeugung	344
8.2.2	Wasserproduktion	346
8.2.3	Tankinertisierung	358
8.3	Bewertung konkurrierender Systeme basierend auf flüssigen Turbinkraftstoffen	362
8.3.1	Systemoptimierung	362
8.3.2	Wichtungskriterien	363

8.4	Analyse der potentiellen Wasserproduktion in Brennstoffzellensystemen	364
8.4.1	Standortanalyse für die Produktion an Flughäfen	364
8.4.2	Missionsanalyse für die Produktion im Flugbetrieb	375
8.4.3	Dynamische Simulation eines multifunktionalen Brennstoffzellensystems im Flugbetrieb	379
8.5	Wasserstoff- oder Biokerosin – Optionen für zukünftige Brennstoffzellensysteme?	384
8.5.1	Entwicklungspotentiale für zukünftige Brennstoffzellensysteme	385
8.5.2	Massen- und Volumenbilanzen	388
8.5.3	Multifunktionalität	393
8.5.4	Ausblick	395
	Literatur	400
	Sachverzeichnis	405