

Wasserstoff & Brennstoffzellen

Die Technik von morgen

Sven Geitmann

H₂YDROGEIT
Verlag

INHALT

1 EINLEITUNG	14
2 AKTUELLER STAND BEI FOSSILEN ENERGIETRÄGERN	18
2.1 Energiebedarf	19
2.2 Heutige Energiequellen	22
2.2.1 Primärenergieverbrauch in Deutschland	22
2.2.2 Stromverbrauch in Deutschland	25
2.2.3 Welt-Energieversorgung	28
2.3 Begrenzte zeitliche Verfügbarkeit	29
2.4 Umweltbelastung	30
2.4.1 Limitierte Emissionen	32
2.4.2 Nichtlimitierte Emissionen	32
2.4.3 Schadstofffreisetzung	33
2.5 Kohlenstoff-Dioxid	34
2.6 Ausstieg aus der Atomenergie	37
2.7 Entwicklung	39
2.8 Solare Wasserstoffwirtschaft	43
2.9 Dezentralität	46
2.10 Förderung	47
3 WASSERSTOFF ALS ENERGIETRÄGER	53
3.1 Chemische & physikalische Eigenschaften	53
3.1.1 Knallgas-Probe	56
3.1.2 Flüchtiger Wasserstoff	56
3.2 Material-Wechselwirkungen	57
3.3 Wasserstoff-Konfiguration	59
3.4 Erfahrung mit Stadtgas	59
3.5 Wasserdampf-Bildung & Wasserstoff-Emission	60
4 HERSTELLUNG VON WASSERSTOFF	61
4.1 Elektrolyse	62
4.2 Dampfreformer	64

4.3 Partielle Oxidation	67
4.4 Autothermer Reformer	68
4.5 Kværner-Verfahren	69
4.6 Vergasung	69
4.7 Biochemische Herstellung	70
4.8 Chemische Herstellung	72
4.9 Dissoziation	73
4.10 Nachreinigung	74
4.10.1 Entschwefelung	76
4.10.2 Ent- oder Befeuchtung	77
4.10.3 Silizium-Entfernung	77
4.11 Verflüssigung	77
4.12 Herstellungskosten	79
5 GESPEICHERTE ENERGIE	83
5.1 Druckbehälter	84
5.1.1 Niederdruck-Tank	84
5.1.2 Hochdruck-Tank	85
5.2 Kryogen-Behälter	88
5.3 Metallhydrid	94
5.4 Nano-Röhrchen	98
5.5 MTH-Speicher	99
5.6 Unterirdische Kavernen	100
6 TRANSPORT VON ENERGIE	102
6.1 Gastransport	102
6.2 Flüssigtransport	103
6.3 Rohrleitungssystem	104
7 LEITUNGEN & VENTILE	106
8 BETANKUNGSVORGANG	108
8.1 GH ₂ -Betankung	108

8.2 LH ₂ -Betankung	111
8.3 Wasserstoff-Tankstellen	114
9 SICHERHEIT	121
9.1 Vorsichtsmaßnahmen	121
9.2 Unfallgefahren	125
9.2.1 Pkw-Brand	125
9.2.2 Lkw-Unfall	126
9.2.3 Lachenbildung	127
10 DIE BRENNSTOFFZELLE	130
10.1 Funktionsweise einer BZ	133
10.2 Hohe Effizienz	139
10.3 Verschiedene Brennstoffzellen-Arten	142
10.3.1 AFC	142
10.3.2 DMFC	143
10.3.3 PEM-FC	145
10.3.4 PAFC	147
10.3.5 MCFC	148
10.3.6 SOFC	149
10.3.7 Mikrobielle BZ	152
10.3.8 Zink/Luft-Brennstoffzelle	153
10.4 Brennstoffe für Brennstoffzellen	154
10.4.1 Erdgas	154
10.4.2 Flüssiggas	156
10.4.3 Biogas	158
10.4.4 Methanol	159
10.5 Kostenfrage	161
10.6 Brennstoffzellen Vor- & Nachteile	164
10.6.1 Pro	164
10.6.2 Kontra	165
10.7 Entwicklung im BZ-Sektor	165

11 BRENNSTOFFZELLEN-EINSATZGEBIETE	168
11.1 Mikro- und Mini-Brennstoffzellen	168
11.2 Portable Einheiten	173
11.3 Hausenergie-Versorgung	180
11.4 Kraftwerksbetrieb	189
11.5 Fahrzeuge	194
11.5.1 Pkw	197
11.5.2 Busse	210
11.5.3 Lkw	214
11.6 Luftfahrt	215
11.7 Raumfahrt	217
11.8 Schienenfahrzeuge	218
11.9 Schifffahrt	218
12 DER WASSERSTOFF-MOTOR	220
12.1 Äußere Gemischbildung	221
12.2 Innere Gemischbildung	222
12.3 H ₂ -Motor Vor- & Nachteile	223
12.3.1 Umwelt-Verträglichkeit	223
12.3.2 Abmagerungsfähigkeit des Wasserstoff/Luft-Gemisches	224
12.3.3 Hoher Wirkungsgrad	224
12.3.4 Gewicht & Kosten	225
12.3.5 Unregelmäßige Verbrennung	225
12.3.6 Geringe Leistungsdichte durch Liefergrad-Verluste	227
12.3.7 Schlechte Schmier-Eigenschaften	228
12.3.8 Hoher Aufwand	229
12.4 Stickstoff-Emissionen	229
12.5 H ₂ -Anreicherung	230
12.6 Motorische Anwendungen	230
12.6.1 BMW	230
12.6.2 Ford	232
12.6.3 MAN	234

13 DER KATALYTISCHE BRENNER	236
14 GEGENÜBERSTELLUNG	238
14.1 Kraftstoff-Vergleich	238
14.2 BZ-Verbrennungskraftmaschine	243
14.3 Schadstoff-Vergleich	247
15 AUSBLICK	252
15.1 Die weitere Entwicklung	252
15.2 Wasserdampf-Bildung	255
15.3 Klimatische Auswirkungen	256
15.4 Elektrolyse-Plattform	257
15.5 Das Wasserstoff-Haus	257
15.6 Insel-Energieversorgung	259
15.7 Island-Modell	260
16 ZUSAMMENFASSUNG	263
17 ANHANG	270
17.1 Abkürzungen	270
17.2 Einheiten/Formelzeichen	271
17.3 Elemente	273
17.4 Geschichte	274
17.5 Chemische Eigenschaften	280
17.6 H ₂ -Sicherheitsmaßnahmen	282
17.7 Regenerative Energien	284
LITERATUR	286
INDEX	295
AUTOR	299