

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort .....	I
Teil I - Untersuchungsrahmen und Ergebnisse .....	1
1 Einleitung und Zielsetzung .....	3
1.1 Problemstellung und Hintergrund des Vorhabens.....	3
1.2 Zielsetzung des Vorhabens.....	4
1.3 Projektpartner und Kooperationen .....	5
1.4 Struktur des Berichts .....	5
2 Untersuchungsrahmen und Methodik.....	7
2.1 Bilanzierungsmethode .....	8
2.2 Funktion der Produktsysteme und funktionelle Einheit .....	9
2.3 Ausgewählte Produktsysteme.....	9
2.3.1 Brennstoffzellen .....	10
2.3.2 Photovoltaik .....	12
2.3.3 Multimegawatt Windenergieanlagen für den Offshore-Einsatz.....	13
2.3.4 Biomasse-Technologien der Stromerzeugung .....	14
2.3.5 Fossil gefeuerte Kraftwerke .....	15
2.4 Systemgrenzen.....	18
2.5 Allokationsfragen .....	18
2.6 Anforderungen an Daten und die Datenqualität.....	20
2.7 Annahmen und Einschränkungen.....	21
2.8 Qualitätssicherung .....	21
2.9 Veröffentlichung .....	21
3 Datenbasis und Sachbilanzen vorgelagerter Ketten .....	23
3.1 Erdgasbereitstellung für Deutschland im Jahr 2010.....	25
3.2 Steinkohlebereitstellung für Deutschland im Jahr 2010.....	29
3.3 Bereitstellung rheinischer Braunkohle im Jahr 2010 .....	32
3.4 Bereitstellung von Holzbrennstoffen im Jahr 2010.....	34
3.4.1 Brennstoffparameter.....	35
3.4.2 Bereitstellung von Waldhackgut (WHG).....	35
3.4.3 Bereitstellung von Säge- und Industrierestholz .....	39
3.4.4 Zusammenfassung der definierten Bereitstellungsketten für Holzbrennstoff und abgeleitete Rechenwerte.....	40
3.5 Elektrizitätsbereitstellung in Deutschland im Jahr 2010.....	42

4	Zusammenfassende Ergebnisdarstellung .....	47
4.1	Brennstoffzellen.....	47
4.2	Photovoltaik.....	48
4.3	Offshore-Windkraft .....	49
4.4	Biomasse-Heizkraftwerke.....	50
4.5	Fossil gefeuerte Techniken.....	51
4.6	Technikvergleich anhand ausgewählter Indikatoren .....	52
5	Schlussbetrachtung.....	57
	Literatur zu Teil I.....	61
	Teil II - Berichte zu den Technikgruppen .....	63
6	Brennstoffzellen.....	65
6.1	Definition der untersuchten Technologien .....	65
6.1.1	Beschreibung .....	65
6.1.2	Daten und Annahmen .....	69
6.2	Vorgehensweise bei der Bilanzierung .....	70
6.2.1	Überblick .....	70
6.2.2	200 kW <sub>el</sub> PAFC.....	72
6.2.3	200 kW <sub>el</sub> PEFC .....	77
6.2.4	250 kW <sub>el</sub> SOFC.....	77
6.2.5	300 kW <sub>el</sub> SOFC Hybrid .....	83
6.3	Zusammenführende Ergebnisdarstellung .....	84
6.3.1	Überblick und Annahmen.....	84
6.3.2	200 kW <sub>el</sub> PAFC.....	85
6.3.3	200 kW <sub>el</sub> PEFC.....	87
6.3.4	250 kW <sub>el</sub> SOFC.....	88
6.3.5	300 kW <sub>el</sub> SOFC Hybrid .....	91
6.4	Ergänzende Kommentierung .....	94
6.5	Schlussbetrachtung .....	95
	Literatur zu Kapitel 6 .....	97
7	Photovoltaik .....	99
7.1	Auswahl der zu untersuchenden Photovoltaik-Systeme.....	99
7.2	Systemgrenzen .....	100
7.3	Systembeschreibung .....	101
7.3.1	Solarmodule.....	101
7.3.2	Wechselrichter .....	102
7.3.3	Aufständigung und Verkabelung.....	103

---

7.4	Material- und Energieaufwendungen sowie Prozessemissionen bei der Herstellung von Photovoltaikmodulen.....	104
7.4.1	Qualität der Daten .....	104
7.4.2	Massivkristalline Solarzellen .....	104
7.4.3	Dünnschichtzellen .....	109
7.4.4	Wechselrichter.....	115
7.4.5	Aufständigung und Verkabelung (BOS-Komponenten).....	116
7.5	Zusammenführende Ergebnisdarstellung .....	118
7.5.1	Kumulierter Energieaufwand .....	118
7.5.2	Emissionen .....	120
7.6	Sensitivitätsanalyse .....	123
7.6.1	Einfluss der Wirkungsgrade der betrachteten Module.....	124
7.6.2	Einfluss der Lebensdauer wichtiger Anlagenbauteile.....	125
7.6.3	Modulrahmen .....	128
7.6.4	Variation des Freiflächenanteils.....	129
7.6.5	Einfluss der Aufwendungen für Produktionsanlagen, Gebäude und Raumkonditionierung.....	129
7.7	Zusammenfassende Darstellung.....	131
7.8	Ergebnisse der Bilanzierung mit BALANCE .....	132
	Literatur zu Kapitel 7.....	135
	Anhang zu Kapitel 7 .....	140
8	Windenergie.....	151
8.1	Einleitung .....	151
8.2	Systembeschreibung.....	154
8.2.1	Offshore Windpark 2010.....	154
8.2.2	Windenergieanlage.....	155
8.2.3	Infrastruktur.....	156
8.3	Systemgrenzen.....	161
8.4	Daten und Datenqualität.....	162
8.5	Material- und Energiebilanz des Windparks 2010.....	163
8.5.1	Vorgehensweise .....	163
8.5.2	Herstellung .....	164
8.5.3	Nutzung .....	173
8.5.4	Rückbau.....	176
8.6	Zusammenführende Ergebnisdarstellung .....	177
8.6.1	Windpark 2010.....	177
8.6.2	Einzelwindenergieanlage mit Fundament .....	180
8.7	Sensitivitätsanalyse .....	183
8.7.1	Einfluss der Wassertiefe.....	183
8.7.2	Einfluss der Windgeschwindigkeit.....	186
8.7.3	Einfluss der Entfernung zur Küste .....	187

8.7.4	Verwendung eines alternativen Datensatzes .....	188
8.7.5	Zusammenfassung der Ergebnisse.....	188
8.8	Schlussbetrachtung .....	189
	Literatur zu Kapitel 8 .....	190
	Anhang zu Kapitel 8.....	195
9	Biomasse .....	199
9.1	Einleitung.....	199
9.2	Definition der untersuchten Technologien .....	199
9.2.1	Biomasse-Dampfturbinen- Heizkraftwerk.....	200
9.2.2	Biomasse-HKW mit ORC-Anlage .....	202
9.2.3	Biomassevergasung mit Gasmotor-BHKW.....	205
9.2.4	Systemdaten der Stromerzeugung aus Biomasse .....	207
9.3	Vorgehensweise bei Datengewinnung und Berechnung .....	209
9.3.1	Datengewinnung für das Biomasse-Dampfturbinen- HKW.....	210
9.3.2	Datengewinnung für das Biomasse-HKW mit ORC-Anlage .....	212
9.3.3	Datengewinnung für die Biomassevergasung mit Gasmotor-BHKW.....	215
9.3.4	Weitere Annahmen für die Systemcharakterisierung der Stromerzeugung aus Biomasse .....	217
9.4	Darstellung der Ergebnisse .....	218
9.4.1	Massengerüste der untersuchten Biomassensysteme.....	219
9.4.2	Spezifische Lebenswegaufwendungen und -emissionen der Biomasse- Stromerzeugungssysteme .....	234
9.5	Ergebnisvergleich der Biomasse-Technologien .....	245
9.6	Schlussbetrachtung .....	247
	Literatur zu Kapitel 9 .....	249
10	Fossil gefeuerte Kraftwerke .....	253
10.1	Einleitung.....	253
10.2	Methodik der Bilanzierung zukünftiger fossil gefeuerter Kraftwerkstechniken .....	253
10.3	Fortgeschrittenes Erdgas-GuD-Kraftwerk .....	257
10.3.1	Stand der Technik und Definition der Referenztechnik für das Jahr 2010.....	257
10.3.2	Bilanzierung der Herstellungsphase des Kraftwerks GuD-2010.....	260
10.3.3	Bilanzierung der Nutzungsphase des Kraftwerks GuD-2010.....	263
10.3.4	Bilanzierung der Entsorgungsphase des Kraftwerks GuD-2010 .....	264
10.3.5	Darstellung der Ergebnisse für den Lebenszyklus.....	264
10.3.6	Darstellung der Ergebnisse für die Lebensphasen.....	267
10.3.7	Sensitivitätsanalysen.....	269
10.4	Fortgeschrittenes Steinkohle-Dampfkraftwerk.....	272
10.4.1	Stand der Technik und Definition der Referenztechnik für das Jahr 2010.....	272
10.4.2	Bilanzierung der Herstellungsphase des Kraftwerks Stk-DT-2010.....	274
10.4.3	Bilanzierung der Nutzungsphase des Kraftwerks Stk-DT-2010 .....	278

---

10.4.4 Bilanzierung der Entsorgungsphase des Kraftwerks Stk-DT-2010 .....	279
10.4.5 Darstellung der Ergebnisse für den Lebenszyklus .....	279
10.4.6 Darstellung der Ergebnisse für die Lebensphasen .....	282
10.4.7 Sensitivitätsanalysen .....	285
10.5 Braunkohledampfkraftwerk mit integrierter Kohletrocknung .....	286
10.5.1 Stand der Technik und Definition der Referenztechnik für das Jahr 2010 .....	286
10.5.2 Bilanzierung der Herstellungsphase des Kraftwerks Brk-DT-2010 .....	288
10.5.3 Bilanzierung der Nutzungsphase des Kraftwerks Brk-DT-2010 .....	291
10.5.4 Bilanzierung der Entsorgungsphase des Kraftwerks Brk-DT-2010.....	292
10.5.5 Darstellung der Ergebnisse für den Lebenszyklus .....	293
10.5.6 Darstellung der Ergebnisse für die Lebensphasen .....	296
10.5.7 Sensitivitätsanalysen .....	298
10.6 Stein- und braunkohleversorgte IGCC-Kraftwerke .....	300
10.6.1 Stand der Technik und Definition der Referenzkraftwerkstechnik für IGCC- Kraftwerke.....	300
10.6.2 Bilanzierung der Herstellungsphase der IGCC-Kraftwerke.....	304
10.6.3 Bilanzierung der Nutzungsphase der IGCC-Kraftwerke .....	308
10.6.4 Bilanzierung der Entsorgungsphase der IGCC-Kraftwerke.....	309
10.6.5 Darstellung der Ergebnisse für den Lebenszyklus .....	309
10.6.6 Darstellung der Ergebnisse für die Lebensphasen .....	312
10.6.7 Sensitivitätsanalysen .....	315
10.7 Steinkohlebefeuetes Druckwirbelschichtkraftwerk .....	319
10.7.1 Stand der Technik und Definition der Referenztechnik für das Jahr 2010 .....	319
10.7.2 Bilanzierung der Herstellungsphase des Kraftwerks Stk-DWSF-2010 .....	322
10.7.3 Bilanzierung der Nutzungsphase des Kraftwerks Stk-DWSF-2010 .....	324
10.7.4 Bilanzierung der Entsorgungsphase des Kraftwerks Stk-DWSF-2010.....	325
10.7.5 Darstellung der Ergebnisse für den Lebenszyklus .....	326
10.7.6 Darstellung der Ergebnisse für die Lebensphasen .....	328
10.7.7 Sensitivitätsanalysen .....	330
Literatur zu Kapitel 10.....	332
Anhang zu Kapitel 10 .....	335