

Inhaltsverzeichnis

Teil I Einleitende Betrachtungen

1	Motivation, Zielsetzung und Technologieauswahl	3
	Sandra Ullrich, Martin Wietschel, Tobias Bischkowski, Friedrich Schulte und Peter Markewitz	
1.1	Abkürzungen	11
	Literatur	12
2	Zukünftige Energiewelt – Szenarien und robuste Trends	13
	Klaus Biß, Peter Markewitz und Ulf Birnbaum	
2.1	Globale Energiebedarfsentwicklung	13
2.2	EU-27-Energieszenarien	21
2.3	Nationale Energieszenarien	25
2.4	Abkürzungen	28
	Literatur	29

Teil II Kraftwerkstechnik für fossile Brennstoffe plus CCS-Abscheidetechnik

3	Kohlekraftwerke	33
	Peter Markewitz, Richard Bongartz und Klaus Biß	
3.1	Technologiebeschreibung	33
3.1.1	Funktionale Beschreibung	35
3.1.2	Status quo und Entwicklungsziele	38
3.1.3	Technische Kenndaten	38
3.2	Zukünftige Anforderungen und Randbedingungen	41
3.2.1	Gesellschaft	41
3.2.2	Kostenentwicklung	42
3.2.3	Politik und Regulierung	43
3.2.4	Marktrelevanz	44
3.2.5	Mögliche Wechselwirkungen mit anderen Technologien	45
3.2.6	Game Changer	45

3.3	Technologieentwicklung	46
3.3.1	Entwicklungsziele	46
3.3.2	F&E-Bedarf und kritische Entwicklungshemmnisse	46
3.4	Abkürzungen	54
	Literatur	54
4	Gaskraftwerke	57
	Peter Markewitz, Richard Bongartz und Klaus Biß	
4.1	Technologiebeschreibung	58
4.1.1	Funktionale Beschreibung	58
4.1.2	Status quo und Entwicklungsziele	61
4.1.3	Technische Kenndaten	62
4.2	Zukünftige Anforderungen und Randbedingungen	64
4.2.1	Gesellschaft	64
4.2.2	Kostenentwicklung	64
4.2.3	Politik und Regulierung	65
4.2.4	Marktrelevanz	65
4.2.5	Mögliche Wechselwirkungen mit anderen Technologien	66
4.2.6	Game Changer	67
4.3	Technologieentwicklung	67
4.3.1	Entwicklungsziele	67
4.3.2	F&E-Bedarf und kritische Entwicklungshemmnisse	68
4.4	Abkürzungen	74
	Literatur	74
5	CO₂-Abscheidung	77
	Richard Bongartz, Peter Markewitz und Klaus Biß	
5.1	Technologiebeschreibung	77
5.1.1	Funktionale Beschreibung	77
5.1.2	Status quo und Entwicklungsziele	79
5.1.3	Technische Kenndaten	81
5.2	Zukünftige Anforderungen und Randbedingungen	82
5.2.1	Gesellschaft	82
5.2.2	Kostenentwicklung	82
5.2.3	Politik und Regulierung	83
5.2.4	Marktrelevanz	84
5.2.5	Mögliche Wechselwirkungen mit anderen Technologien	84
5.2.6	Game Changer	84
5.3	Technologieentwicklung	85
5.3.1	Entwicklungsziele	85
5.3.2	F&E-Bedarf und kritische Entwicklungshemmnisse	85

5.4	Abkürzungen	90
	Literatur	90
6	CO₂-Nutzung	93
	Richard Bongartz, Peter Markewitz und Klaus Biß	
6.1	Technologiebeschreibung	93
6.1.1	Funktionale Beschreibung	93
6.1.2	Status quo und Entwicklungsziele	95
6.1.3	Technische Kenndaten	96
6.2	Zukünftige Anforderungen und Randbedingungen	97
6.2.1	Gesellschaft	97
6.2.2	Kostenentwicklung	97
6.2.3	Politik und Regulierung	98
6.2.4	Marktrelevanz	98
6.2.5	Mögliche Wechselwirkungen mit anderen Technologien	98
6.2.6	Game Changer	98
6.3	Technologieentwicklung	99
6.3.1	Entwicklungsziele	99
6.3.2	F&E-Bedarf und kritische Entwicklungshemmnisse	99
6.4	Abkürzungen	99
	Literatur	100

Teil III Erneuerbare Energietechnologien

7	Stromerzeugung aus Windenergie	103
	Niklas Hartmann, Noha Saad Hussein, Michael Taumann, Verena Jülich und Thomas Schlegl	
7.1	Technologiebeschreibung	103
7.1.1	Funktionale Beschreibung	105
7.1.2	Status quo und Entwicklungsziele	108
7.1.3	Technische Kenndaten	110
7.2	Zukünftige Anforderungen und Randbedingungen	111
7.2.1	Gesellschaft	111
7.2.2	Kostenentwicklung	112
7.2.3	Politik und Regulierung	113
7.2.4	Marktrelevanz	113
7.2.5	Mögliche Wechselwirkungen mit anderen Technologien	114
7.2.6	Game Changer	115
7.3	Technologieentwicklung	115
7.3.1	Entwicklungsziele	115
7.3.2	F&E-Bedarf und kritische Entwicklungshemmnisse	116

7.4	Abkürzungen	120
	Literatur	120
8	Photovoltaik	123
	Verena Jülich, Niklas Hartmann, Noha Saad Hussein und Thomas Schlegl	
8.1	Technologiebeschreibung	123
8.1.1	Funktionale Beschreibung	123
8.1.2	Status quo und Entwicklungsziele	125
8.1.3	Technische Kenndaten	127
8.2	Zukünftige Anforderungen und Randbedingungen	128
8.2.1	Gesellschaft	128
8.2.2	Kostenentwicklung	128
8.2.3	Politik und Regulierung	130
8.2.4	Marktrelevanz	130
8.2.5	Mögliche Wechselwirkungen mit anderen Technologien	131
8.2.6	Game Changer	131
8.3	Technologieentwicklung	132
8.3.1	Entwicklungsziele	132
8.3.2	F&E-Bedarf und kritische Entwicklungshemmnisse	133
8.4	Abkürzungen	137
	Literatur	137
9	Solarthermische Kraftwerke	139
	Reiner Buck	
9.1	Technologiebeschreibung	139
9.1.1	Funktionale Beschreibung	139
9.1.2	Status quo und Entwicklungsziele	142
9.1.3	Technische Kenndaten	145
9.2	Zukünftige Anforderungen und Randbedingungen	147
9.2.1	Gesellschaft	147
9.2.2	Kostenentwicklung	147
9.2.3	Politik und Regulierung	148
9.2.4	Marktrelevanz	149
9.2.5	Mögliche Wechselwirkungen mit anderen Technologien	149
9.2.6	Game Changer	150
9.3	Technologieentwicklung	150
9.3.1	Entwicklungsziele	150
9.3.2	F&E-Bedarf und kritische Entwicklungshemmnisse	151
9.4	Abkürzungen	154
	Literatur	154

Teil IV Energiespeicher

10 Elektrochemische Speicher	157
Peter Stenzel, Johannes Fleer und Jochen Linssen	
10.1 Technologiebeschreibung	157
10.1.1 Funktionale Beschreibung	157
10.1.2 Status quo und Entwicklungsziele	168
10.1.3 Technische Kenndaten	174
10.2 Zukünftige Anforderungen und Randbedingungen	181
10.2.1 Gesellschaft	181
10.2.2 Kostenentwicklung	182
10.2.3 Politik und Regulierung	187
10.2.4 Marktrelevanz	191
10.2.5 Mögliche Wechselwirkungen mit anderen Technologien	197
10.2.6 Game Changer	198
10.3 Technologieentwicklung	199
10.3.1 Entwicklungsziele	199
10.3.2 F&E-Bedarf und kritische Entwicklungshemmnisse	200
10.4 Abkürzungen	209
Literatur	209
11 Druckluftspeicher	215
Fabio Genoese	
11.1 Technologiebeschreibung	215
11.1.1 Funktionale Beschreibung	215
11.1.2 Status quo und Entwicklungsziele	218
11.1.3 Technische Kenndaten	219
11.2 Zukünftige Anforderungen und Randbedingungen	220
11.2.1 Gesellschaft	220
11.2.2 Kostenentwicklung	220
11.2.3 Politik und Regulierung	221
11.2.4 Marktrelevanz	222
11.2.5 Mögliche Wechselwirkungen mit anderen Technologien	223
11.3 Game Changer	223
11.4 Technologieentwicklung	223
11.4.1 Entwicklungsziele	223

11.5 F&E-Bedarf und kritische Entwicklungshemmnisse	224
11.6 Abkürzungen	227
Literatur	227
12 Power-to-Gas	229
Julia Michaelis und Fabio Genoese	
12.1 Technologiebeschreibung	229
12.1.1 Funktionale Beschreibung	229
12.1.2 Status quo und Entwicklungsziele	232
12.1.3 Technische Kenndaten	233
12.2 Zukünftige Anforderungen und Randbedingungen	234
12.2.1 Gesellschaft	234
12.2.2 Kostenentwicklung	235
12.2.3 Politik und Regulierung	235
12.2.4 Marktrelevanz	236
12.2.5 Mögliche Wechselwirkungen mit anderen Technologien	239
12.2.6 Game Changer	239
12.3 Technologieentwicklung	240
12.3.1 Entwicklungsziele	240
12.3.2 F&E Bedarf und kritische Entwicklungshemmnisse	240
12.4 Abkürzungen	243
Literatur	243
13 Wasserstoffspeicherkraftwerke	245
Fabio Genoese	
13.1 Technologiebeschreibung	245
13.1.1 Funktionale Beschreibung	245
13.1.2 Status quo und Entwicklungsziele	249
13.1.3 Technische Kenndaten	251
13.2 Zukünftige Anforderungen und Randbedingungen	254
13.2.1 Gesellschaft	254
13.2.2 Kostenentwicklung	254
13.2.3 Politik und Regulierung	255
13.2.4 Marktrelevanz	256
13.2.5 Mögliche Wechselwirkungen mit anderen Technologien	257
13.2.6 Game Changer	258
13.3 Technologieentwicklung	258
13.3.1 Entwicklungsziele	258
13.3.2 F&E-Bedarf und kritische Entwicklungshemmnisse	258
13.4 Abkürzungen	262
Literatur	262

Teil V Elektrizitätsnetze

14 Übertragungsnetze	267
Sandra Ullrich	
14.1 Dynamisierung der Übertragungskapazität	267
14.1.1 Technologiebeschreibung	267
14.1.2 Zukünftige Anforderungen und Randbedingungen	274
14.1.3 Technologieentwicklung	278
14.2 Flexible Drehstromübertragungstechnik	283
14.2.1 Technologiebeschreibung	283
14.2.2 Zukünftige Anforderungen und Randbedingungen	290
14.2.3 Technologieentwicklung	294
14.3 Hybride AC/DC-Netzstrukturen	298
14.3.1 Technologiebeschreibung	298
14.3.2 Zukünftige Anforderungen und Randbedingungen	303
14.3.3 Technologieentwicklung	308
14.4 Exkurs: Supraleiter	311
14.4.1 HTSL-Strombegrenzer	312
14.4.2 HTSL-Kabel	312
14.4.3 Politik und Regulierung	313
14.4.4 Marktrelevanz	313
14.4.5 F&E-Bedarf und kritische Entwicklungshemmisse	314
14.5 Abkürzungen	315
Literatur	316
15 Elektrische Verteilungsnetze im Wandel	323
Martin Braun, Erika Kämpf und Markus Kraiczy	
15.1 Einführung	323
15.2 Bereitstellung von Systemdienstleistungen und IKT-Infrastruktur	328
15.3 Netzbetriebsmittel und beeinflussbare Kundenanlagen	331
15.4 Strategische Netzplanung	334
15.5 Zusammenfassung	337
15.6 Abkürzungen	338
Literatur	339

Teil VI Effizienztechnologien und Mikro-KWK

16 Mikro-Kraftwärmekopplungsanlagen (Mikro-KWK)	347
Ulf Birnbaum, Richard Bongartz und Philipp Klever	
16.1 Technologiebeschreibung	347
16.1.1 Funktionale Beschreibung	348
16.1.2 Status quo und Entwicklungsziele	352

16.1.3	Technische Kenndaten	354
16.2	Zukünftige Anforderungen und Randbedingungen	356
16.2.1	Gesellschaft	356
16.2.2	Kostenentwicklung	356
16.2.3	Politik und Regulierung	357
16.2.4	Marktrelevanz	358
16.2.5	Mögliche Wechselwirkungen mit anderen Technologien	359
16.2.6	Game Changer	360
16.3	Technologieentwicklung	361
16.3.1	Entwicklungsziele	361
16.3.2	F&E-Bedarf und kritische Entwicklungshemmnisse	362
16.4	Abkürzungen	366
	Literatur	366
17	Raumluftechnik und Klimakältesysteme	369
	Ali Aydemir und Jan Steinbach	
17.1	Technologiebeschreibung	369
17.1.1	Funktionale Beschreibung	370
17.1.2	Status quo und Entwicklungsziele	372
17.1.3	Technische Kenndaten	373
17.2	Zukünftige Anforderungen und Randbedingungen	373
17.2.1	Gesellschaft	373
17.2.2	Kostenentwicklung	373
17.2.3	Politik und Regulierung	374
17.2.4	Marktrelevanz	375
17.2.5	Mögliche Wechselwirkungen mit anderen Technologien und Technologiefeldern	377
17.2.6	Game Changer	377
17.3	Technologieentwicklung	378
17.3.1	Entwicklungsziele	378
17.3.2	F&E-Bedarf und kritische Entwicklungshemmnisse	378
17.4	Abkürzungen	381
	Literatur	381
18	Wärmepumpen	383
	Ali Aydemir	
18.1	Technologiebeschreibung	383
18.1.1	Funktionale Beschreibung	384
18.1.2	Status quo und Entwicklungsziele	385
18.1.3	Technische Kenndaten	387
18.2	Zukünftige Anforderungen und Randbedingungen	389
18.2.1	Gesellschaft	389

18.2.2 Kostenentwicklung	389
18.2.3 Politik und Regulierung	390
18.2.4 Marktrelevanz	390
18.2.5 Mögliche Wechselwirkungen mit anderen Technologien	391
18.2.6 Game Changer	391
18.3 Technologieentwicklung	392
18.3.1 Entwicklungsziele	392
18.3.2 F&E-Bedarf und kritische Entwicklungshemmnisse	392
18.4 Abkürzungen	396
Literatur	396
19 Stromeffizienz in den Sektoren Industrie, GHD und Haushalte	399
Tobias Fleiter	
19.1 Technologiebeschreibung	399
19.1.1 Funktionale Beschreibung	399
19.1.2 Status quo und Entwicklungsziele	400
19.2 Zukünftige Anforderungen und Randbedingungen	405
19.2.1 Gesellschaft	405
19.2.2 Kostenentwicklung	405
19.2.3 Politik und Regulierung	406
19.2.4 Marktrelevanz	407
19.2.5 Mögliche Wechselwirkungen mit anderen Technologien	407
19.2.6 Game Changer	408
19.3 Technologieentwicklung	408
19.3.1 Entwicklungsziele	408
19.3.2 F&E-Bedarf und kritische Entwicklungshemmnisse	409
19.4 Abkürzungen	415
Literatur	415
20 Verbrauchssteuerung	417
Nele Friedrichsen	
20.1 Technologiebeschreibung	417
20.1.1 Funktionale Beschreibung	420
20.1.2 Status quo und Entwicklungsziele	430
20.1.3 Technische Kenndaten	431
20.2 Zukünftige Anforderungen und Randbedingungen	431
20.2.1 Gesellschaft	431
20.2.2 Kostenentwicklung	434
20.2.3 Politik und Regulierung	435
20.2.4 Marktrelevanz	436
20.2.5 Mögliche Wechselwirkungen mit anderen Technologien	437
20.2.6 Game Changer	437

20.3 Technologieentwicklung	438
20.3.1 Entwicklungsziele	438
20.3.2 F&E-Bedarf und kritische Entwicklungshemmnisse	438
20.4 Abkürzungen	442
Literatur	442

Teil VII Elektromobilität

21 Elektromobilität	447
Wilfried Hennings und Jochen Linssen	
21.1 Technologiebeschreibung	447
21.1.1 Funktionale Beschreibung	447
21.1.2 Status quo und Entwicklungsziele	454
21.1.3 Tрендentwicklung der Elektrofahrzeuge	455
21.2 Zukünftige Anforderungen und Randbedingungen	457
21.2.1 Gesellschaft	457
21.2.2 Kostenentwicklung von Elektrofahrzeugen	458
21.2.3 Politik und Regulierung	459
21.2.4 Marktrelevanz	461
21.2.5 Mögliche Wechselwirkungen mit anderen Technologien	464
21.2.6 Game Changer	465
21.3 Technologieentwicklung	465
21.3.1 Entwicklungsziele	465
21.3.2 F&E-Bedarf und kritische Entwicklungshemmnisse	466
21.4 Abkürzungen	470
Literatur	471
Sachverzeichnis	475