

# Inhaltsverzeichnis

## Teil I Einleitende Betrachtungen

<b>1</b>	<b>Motivation, Zielsetzung und Technologieauswahl</b>	<b>3</b>
	Sandra Ullrich, Martin Wietschel, Tobias Bischkowski, Friedrich Schulte und Peter Markewitz	
1.1	Abkürzungen	11
	Literatur	12
<b>2</b>	<b>Zukünftige Energiewelt – Szenarien und robuste Trends</b>	<b>13</b>
	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

<b>3</b>	<b>Kohlekraftwerke</b>	<b>33</b>
	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

XVII

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
<b>4</b>	<b>Gaskraftwerke</b>	<b>57</b>
	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
<b>5</b>	<b>CO<sub>2</sub>-Abscheidung</b>	<b>77</b>
	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
<b>6</b>	<b>CO<sub>2</sub>-Nutzung</b>	<b>93</b>
	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

<b>7</b>	<b>Stromerzeugung aus Windenergie</b>	<b>103</b>
	Niklas Hartmann, Noha Saad Hussein, Michael Taumann, Verena Jülch 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
<b>8</b>	<b>Photovoltaik</b>	123
	Verena Jülch, 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
<b>9</b>	<b>Solarthermische Kraftwerke</b>	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**

<b>10   Elektrochemische Speicher</b>	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
<b>11   Druckluftspeicher</b>	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
<b>12</b>	<b>Power-to-Gas . . . . .</b>	<b>229</b>
	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
<b>13</b>	<b>Wasserstoffspeicherkraftwerke . . . . .</b>	<b>245</b>
	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**

<b>14 Übertragungsnetze</b>	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 Entwicklungshemmnisse	314
14.5 Abkürzungen	315
Literatur	316
<b>15 Elektrische Verteilungsnetze im Wandel</b>	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**

<b>16 Mikro-Kraftwärmekopplungsanlagen (Mikro-KWK)</b>	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
<b>17 Raumluftechnik und Klimakältesysteme . . . . .</b>	<b>369</b>
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
<b>18 Wärmepumpen . . . . .</b>	<b>383</b>
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
<b>19</b>	<b>Stromeffizienz in den Sektoren Industrie, GHD und Haushalte</b>	<b>399</b>
	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
<b>20</b>	<b>Verbrauchssteuerung</b>	<b>417</b>
	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

<b>21 Elektromobilität . . . . .</b>	<b>447</b>
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 Trendentwicklung 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
<b>Sachverzeichnis . . . . .</b>	<b>475</b>