

Anhang

A1 Einheiten der Energie, ihre Umrechnungen, Zehnerpotenzen und Vorsätze

J	Energie, Arbeit, Wärmemenge $J = Ws = Nm$
W	Energiestrom, Leistung, Wärmestrom $W = J/s$
kWh	elektrische Energie
kg SKE, t SKE kg RÖE, t RÖE	gebräuchliche Maßeinheiten der Energie in Energiebilanzen und -statistiken zum Vergleich verschiedener Energieträger; orientieren sich am Energieinhalt (Heizwert) von Steinkohle bzw. Rohöl
kcal	nicht mehr zulässige Einheit der Energie
BTU	British Thermal Unit, angelsächsische Einheit der Energie

Ausgangseinheit	Zieleinheit					
	Megajoule	kg SKE	kg RÖE	1000 kcal	kWh	1000 BTU
1 Megajoule (MJ)	-	0,034	0,024	0,2388	0,278	0,95
1 kg Steinkohle-einheit (SKE)	29,308	-	0,7	7	8,14	27,767
1 kg Rohöleinheit (RÖE)	41,869	1,429	-	10	11,63	39,667
1.000 Kilokalorien (kcal)	4,1868	0,143	0,1	-	1,163	3,967
1 Kilowattstunde (kWh)	3,6	0,123	0,0861	0,8598	-	3,411
1.000 British Thermal Unit (BTU)	1,055	0,036	0,025	0,2521	0,293	-

Anmerkung: Um von der Ausgangseinheit (z. B. MJ) in die Zieleinheit (z. B. RÖE) umzurechnen, muss der Ausgangswert mit dem Tabellenwert (im Beispiel: 0,024) multipliziert werden.

10^3	Tausend	Kilo	k	10^{12}	Billion	Tera	T
10^6	Million	Mega	M	10^{15}	Billiarde	Peta	P
10^9	Milliarde	Giga	G	10^{18}	Trillion	Exa	E

A2 Gegenüberstellung konventioneller und regenerativer Stromerzeugungstechnologien in Deutschland

(Quellen: M. Kaltschmitt, W. Streicher, A. Wiese (Hrsg.): Erneuerbare Energien. 4. Aufl. Berlin: Springer 2006; Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (Hrsg.): Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland. Freiburg 2013; Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (Hrsg.): Studie Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien, Freiburg 2012; V. Fthenakis, H. C. Kim, R. Frischknecht, M. Raugei, P. Sinha, M. Stucki, 2011, Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessment of Photovoltaic Systems, International Energy Agency (IEA) PVPS Task 12, Report T12-02:201; eigene Angaben)

Konventionelle Stromerzeugungsanlagen		Steinkohlekraftwerk (Staubfeuerung)	GuD-Kraftwerk (Erdgas)
Elektrische Nennleistung		600 MW	600 MW
Volllaststunden	h/a	5000	5000
Nutzungsgrad (netto)	%	45	58
Technische Lebensdauer	a	30	25
Primärenergetisch bewerteter Erntefaktor	-	8,8	10,0
Investitionskosten	€/kW	1100	500
Stromgestehungskosten	€/kWh	0,035	0,036
CO ₂ -Äquivalent-Emissionen	t/GWh	746	348
NO _x -Emissionen	kg/GWh	578	448
SO ₂ -Äquivalent-Emissionen	kg/GWh	1044	318

Regenerative Stromerzeugungsanlagen		Fotovoltaikanlagen	Windkraftanlagen	Wasserkraftanlagen
Elektrische Nennleistung		1 kW _p – 53 MW _p	10 kW – 7,5 MW	10 kW – 5000 MW
Volllaststunden	h/a	800 – 1020	1400 – 4000	4500 – 6500
Nutzungsgrad	%	6 – 20	25 – 35	ca. 70
Technische Lebensdauer	a	20 – 30	20	80
Primärenergetisch bewerteter Erntefaktor	-	> 10	15,0 – 48,0	30 – 60
Investitionskosten	€/kW	1600 – 1900	1200 – 3200	4100 – 12800
Stromgestehungskosten	€/kWh	0,13 – 0,18	0,07 – 0,14	0,049 – 0,073
CO ₂ -Äquivalent-Emissionen	t/GWh	18,0 – 38,0	22,6 – 48,1	10,0 – 21,1
NO _x -Emissionen	kg/GWh	k. A.	42,0 – 88,0	35,0 – 51,0
SO ₂ -Äquivalent-Emissionen	kg/GWh	k. A.	151,0 – 334,0	54,0 – 119,0

A3 Molare Bildungsenthalpie, absolute Entropie und freie Enthalpie verschiedener Stoffe im chemischen Standardzustand (25 °C, 100 kPa)

(Quellen: nach Baehr, H.D.: Thermodynamik. Berlin: Springer; Lucas, K.: Thermodynamik. Berlin: Springer; G^0 berechnet; siehe auch Landolt/Börnstein)

		$\Delta_B H^0$	S^0	G^0
		$\left[\frac{\text{J}}{\text{mol}} \right]$	$\left[\frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \right]$	$\left[\frac{\text{J}}{\text{mol}} \right]$
Wasserstoff	$\text{H}_{2(\text{g})}$	0	130,684	- 38 963
Sauerstoff	$\text{O}_{2(\text{g})}$	0	205,142	- 61 163
Methan	$\text{CH}_{4(\text{g})}$	- 74 873	186,256	- 130 405
Methanol	$\text{CH}_3\text{OH}_{(\text{fl})}$	- 238 700	128,000	- 276 863
Wasser	$\text{H}_2\text{O}_{(\text{fl})}$	- 285 838	69,940	- 306 691
Wasser	$\text{H}_2\text{O}_{(\text{g})}$	- 241 827	188,833	- 298 128
Kohlendioxid	$\text{CO}_{2(\text{g})}$	- 393 522	213,795	- 457 265

Sachwortverzeichnis

A

Absorber 88, 115
Absorption 79, 94, 112, 119
Absorptionskälteanlage 111
Absorptionskoeffizient 88, 112, 121
Air-Mass-Faktor 82
Aktivierungsverlust 204, 223
Aktivität 214
Alkalische Brennstoffzelle 232
Amortisationsdauer
energetische *siehe* Energierückzahlzeit
Anlagenleistung 50
Anlage ohne Umlauf 105
Anlagenwirkungsgrad 53, 124
Annuität 63
Anlaufwindgeschwindigkeit *siehe* Einschaltwindgeschwindigkeit
Anode 201
Anstellwinkel 181, 191, 192
Anti-Reflex-Beschichtung 120
Aperturfläche 101, 116
Arbeit 205
Arbeitsverfügbarkeit 51
Atmosphäre 27
atmosphärische Abschwächung 138
Auftriebsprinzip 179
Aufwind-Kraftwerk 153
Auslegungswindgeschwindigkeit 190
Austausch-Stromdichte 223
Avogadro-Konstante 211
Azimut 84, 151
Azimutlager 152

B

Beaufort-Skala 165
Batterie 195
Betriebskosten 64
Betriebsstundenzahl 51
Bevölkerungswachstum 19, 22
Biogas 43, 237
Biomasse 43, 73

Blatteinstellwinkel 181, 192
Blockheizkraftwerk 233, 246
Brennfleck 148
Brennpunkt 134
Brennstoff 195
Brennstoff-Übertritt 227
Brennstoffzelle 195
Bruttoendenergieverbrauch 20
Bruttoinlandsprodukt 57
Bruttostromerzeugung 41
Butler-Vollmer-Gleichung 225

C

Carnot-Faktor 195, 216
chemischer Standardzustand 205
Cermet 120
Compound Parabolic Concentrator 103

D

Dampfabscheider 123
Dampferzeuger 116
Dampfkraftprozess 116
Dampfturbine 126
Darrieus-Rotor 187
Depletion Midpoint *siehe* Scheitelpunkt
Dieseläquivalent 243
Diffusionsüberspannung 220
Diffusionsverluste 204
Diffusstrahlung 82
Direktgewinnsystem 89
Direkt-Methanol-Brennstoffzelle 234
Direktstrahlung 82
Direktverdampfung 121
Dish-Stirling-Kraftwerk 149
Dissipationsenergie 215
Drehmoment 183
Dreiblattrotor 189
Durchtritts-Koeffizient 224
Durchtrittsüberspannung 220

E

Edukt 195
Einkreisssystem 123
Einrohrreceiver 129
Einschaltwindgeschwindigkeit 190
Einspeisesystem 20
Einstrahlung auf geneigte Ebene 87
elektrochemischer Wandler 195
elektrochemische Reaktion 202
Elektrode 196
Elektrodenaktivierung 219
Elektrolyt 196
Elektron 195
Elektronenleitung 202
Elektronentransport 196
Elementarladung 211
Elevation 84, 151
Emission 94, 120
Emissionskoeffizient 94, 121
Endenergie 41, 53
Endenergieverbrauch 20
endotherm 205
Energie
 chemische 39, 195
 elektrische 39, 195
Energieerntefaktor 54
 primärenergetisch bewerteter 55, 56
Energiegestehungskosten 64
Energieintensität 80
Energiekosten 64
Energierückzahlzeit 62
Energiespeicherung 49
Energieverluste 53
Energiewirkungsgrad 218
Energiewirtschaft
Entropie 206
Erdgas 25, 199
Erdöl 25, 26
Erdölverbrauch
 Pro-Kopf- 22
erneuerbare Energiequellen 38, 42, 44
Erster Hauptsatz der Thermodynamik 205
Eutrophierung 69
Eutrophierungspotenzial 67
Exotherm 205

F

Faraday-Konstante 211
Flachkollektor 96
Flüssigsalz 115
Flüssigsalz-Receiver 142
Fokallinie 117
Förderinstrumente 38
Formparameter 172
Freibadheizung 107
Fresnel-Kraftwerk 127
Fundament 134

G

Gasturbine 49
geothermische Energie 43
Generator 115, 216
Generator, Windkraftanlage 189
Gesamtkosten 63
Gesamtstrahlung 79, 112
Gesamtwirkungsgrad 141, 218
Gezeitenenergie 43
Gibbs-Enthalpie 206, 210
Gleitzahl 180
Globalstrahlung 79
Globalwirkungsgrad 60
GuD-Kraftwerk 65

H

H-Rotor 187
Häufigkeitsverteilung 171
 relative 171
Heat-Pipe-Kollektor 101
Heizungsunterstützung 93
Heizwert 215
Heliostat 134
Helmholtz-Energie 207
Hochtemperatur-Brennstoffzelle 236
Hohlraumreceiver 138
Hohlspiegel 149
Holz 23
Hybrid-Kraftwerk 49
Hybridmethoden 57
Hybridsysteme 49

I

Indirektes Gewinnsystem 90
 Innere Energie 204
 Input-Output-Analyse 56
 Integrated Solar Combined Cycle System
 126
 interner Strom 227
 Investitionskosten 63
 Ionendiffusionsverluste 219
 Ionenleitung 202
 Irreversibilität 222

J

Jahresenergiebereitstellung 65

K

Kaliumkarbonat 244
 Kaliumnitrat 124
 Kamin 153
 Kapazität 197
 Katalysator 200
 Kathode 201
 Keramik-Metall-Struktur 98
 Kernenergie 78
 Kernfusion 75
 Klemmenspannung 217
 Kirchhoffsches Gesetz 96
 Klimarahmenkonvention 36
 Klimatisierung 111
 solar 111
 sorptionsgestützt 111
 Klimawandel 28, 37
 Kohle 23, 25
 Kohlenmonoxid 200
 Kohlenstoffkreislauf 30
 Kollektor
 photovoltaisch 77
 thermisch 77
 konzentrierend 102, 116
 Leistung 112
 Nutzleistung 96, 112
 Stillstandtemperatur 114
 Verschaltung 103, 148
 Wirkungsgrad 93, 112, 119
 Kombispeicher 104

Kondensator 116
 Kontinuitätsgleichung 175
 Konvektion 88, 112, 119
 Konversionsfaktor 101, 114
 Konzentration 115
 Konzentrationsfaktor 117
 Konzentrator 136
 Kosinusverlust 129
 Kosten
 externe 63
 fixe 63
 interne 63
 variable 63
 Kraft-Wärme-Kopplung 235
 Kraftwerkskapazität 37
 Kraftwerksleistung 49
 Kreisprozess 40, 122
 kumulierter Energieaufwand 57, 67
 Kyoto-Protokoll 36

L

Langsamläufer 182
 Lebensdauer
 technische 52
 Lebenszyklusanalyse 54
 Bestandteile 66
 Leistung 197
 Leistungsbeiwert 173, 182
 Betzschler 176
 Leistungsdichte 48, 78
 volumetrisch 198
 gravimetrisch 198
 Leistungsregelung 191
 Lithium-Ionen-Batterie 243
 Lithiumkarbonat 236
 Low-Flow-Prinzip 103
 Luftkollektor 102, 153
 Luftreceiver 135
 Luftschadstoffe 70
 Luftströmung 155
 Luftverschmutzung 28
 Luftzirkulationssystem 163

M

Massentransportverlust 223, 229
 Mehrfachreflexion 112

Mehrrohrreceiver 129
 Mie-Streuung 79
 Mischpotential 220
 Mitteltemperatur-Brennstoffzelle 235
 Momentenbeiwert 183

N

Nachführeinrichtung, Nachführung 117
 Nahwärmesystem 110
 Nassdampf 132
 Natriumnitrat 124
 Naturumlaufsystem 105
 Nennleistung 133
 Nennwindgeschwindigkeit 191
 Nernst-Gleichung 214
 nichtkonventionelle Kohlenwasserstoffe
 25
 Niedertemperatur-Brennstoffzelle 232
 Niedrigenergiehaus 102
 Null-Energiehaus 109
 Nutzenergie 41
 Nutzungsgrad 53, 55
 Nutzwärmeauskopplung 219

O

Offshore-Windkraftanlagen 192
 Ohmsche Verluste 217
 Ökobilanz *siehe* Lebenszyklusanalyse
 Ölsande 25
 Ölschiefer 25
 optischer Wirkungsgrad 114
 Oxidkeramische Brennstoffzelle 237
 Oxidation 201
 Oxidator 201
 Ozonabbau 70

P

Parabolrinnen-Kollektor 116
 Parabolrinnen-Kraftwerk 115
 Paraboloid-Kraftwerk 149
 Parabolspiegel 115
 Parallelschaltung 103
 Peak Point *siehe* Zeitpunkt der Höchstför-
 derung
 Perfluorkohlenstoffsulfonsäure 233

Phosphorsäure-Brennstoffzelle 235
 Photovoltaik 77
 Pitch-Regelung 192
 Plataforma Solar de Almería 118
 Plus-Energiehaus 109
 Polymerelektrolytmembran-
 Brennstoffzelle 233
 Porosität 236
 Potenzial 71
 erschließbares 71
 Nachfrage- 71
 technisches 71
 theoretisches 71
 wirtschaftliches 71
 Primärenergie 53, 201
 Primärenergiearten 40
 Primärenergiebedarf 25
 Primärenergieverbrauch 42, 57
 Pro-Kopf- 22
 Primärkreislauf 121
 Primärspiegel 127
 Produkt 195
 Propylenglykol 105
 Proton 196
 Prozesskettenanalyse 56
 Prozesswärme 23, 111
 Pufferspeicher 104
 Pumpe 105, 119
 Pyranometer 83

R

Rauigkeitslänge 167
 Raumheizzwecke 88
 Rayleigh-Streuung 79
 Rayleigh-Verteilung 171
 Reaktionsenergie
 freie 207
 Reaktionsenthalpie
 freie 205
 Reaktionsentropie 206
 Reaktionsfläche 201
 Reaktionskinetik 204
 Receiver 119, 140
 geschlossener volumetrischer
 offener volumetrischer 148
 direktabsorbierender 140

- Reduktion 201
 Reflexion 79, 112, 119
 Reflexionskoeffizient 94, 112
 Reichweite
 statische 25
 Reihenendverlust 129
 Reihenschaltung 103
 reversibler Wirkungsgrad 216
 reversible Zellspannung 211
 reversible Spannungsdifferenz 220
 Rezirkulation 123
 Rohölpreis, Verlauf 26
 Rohrreceiver 129
 Rotorleistung 183
 Rundumreceiver 140
- S**
- Sachbilanz 66
 Saisonspeicher 104
 Satttdampf 130
 Satttdampfreceiver 135
 Sauerstoff 195
 Savonius-Rotor 187
 Scheitelpunkt 25
 Schmelzkarbonat-Brennstoffzelle 236
 Schnellläufer 182
 Schnelllaufzahl 181
 Schwarzchrom 98
 schwarzer Körper 96
 Schwarznickel 98
 Schwefel 122, 200
 Schwefelsäure 196
 Schwer-, Schwerstöl 26
 Schwimmbadabsorber 100
 Schwimmbadwassererwärmung 93
 Sekundärenergie 40
 Sekundärkreislauf 123
 Sekundärreflektor 127
 selektiver Absorber 96
 selektive Beschichtung 98
 Skalierungsparameter 172
 Smart Grids 50
 Solaratlas
 Bayerischer 83
 solarer Deckungsgrad 110
 Solarfeldwirkungsgrad 136
 Solarflüssigkeit 105
 Solarkonstante 77
 Solarkraftwerk 116
 Solar Salt 124
 Solarstrahlung 43, 75
 Solarthermie 43
 solarthermische Anlage 98
 solarthermisches Kraftwerk 77, 115
 solarthermische Wärmebereitstellung 77
 solarthermische Stromerzeugung 77
 Solarturm-Kraftwerk 134
 Solarzelle 77
 Sonnenazimut 85
 Sonnenbahn 85
 Sonnendeklination 85
 Sonneneinfallswinkel 86
 Sonnenenergienutzung
 passive 88
 Sonnenhöhe 79
 Sonnenscheinautograph 88
 Sonnenstand 84, 119
 Spannung 203
 Spannungsabfall 220
 Spannungswirkungsgrad 217
 sphärischer Astigmatismus 130
 Speicher 104
 thermischer 140
 Spiegel 96, 115
 Spillage 139
 Stall-Regelung 191
 stationärer Fließprozess 205
 Stefan-Boltzmann-Gesetz 77, 95
 Stefan-Boltzmann-Konstante 77, 95
 Stirlingmotor 149
 Strahlungsantrieb 27
 Strahlungsbilanz 79
 Strahlungsenergie 89
 Strahlungsspektrum 80
 Strom 77, 116, 196
 Stromdichte 202
 Stromgestehungskosten 122
 Stromröhre 169, 174
 Strom-Spannungs-Kennlinie 203
 Stromwirkungsgrad 217
 Sulfonsäurepolymer 233
 Sydney-Prinzip 100

Systemwirkungsgrad 218

T

Tafel-Gleichung 223
 Temperaturveränderung 28
 thermische Kraftwerke 115
 thermodynamische Potentiale 207
 Thermoöl 115
 thermooptische Eigenschaft 94
 Titan-Nitrit-Oxid 98
 Transmission 94, 112
 Transmissionskoeffizient 94, 112
 transparente Abdeckung 96
 transparente Wärmedämmung 90
 Treibhauseffekt 27, 67
 Treibhausgase
 Konzentration in der Atmosphäre 27,
 31
 Treibhauspotenzial 67
 relatives 67
 Trinkwassererwärmung 93
 Trinkwasserspeicher 104
 Trocknungsprozess 111
 Trübungsfaktor nach Linke 82
 Turbine 115
 Turm, Windkraftanlage
 Turmwirkungsgrad 154

U

Überlebenswindgeschwindigkeit 191
 Überpotential 222
 Überspannung 219
 Umfangsgeschwindigkeit 181, 191
 Umwandlungsprozess 39, 53
 Unabhängiges Energiegewinnsystem 93
 universelle Gaskonstante 210
 Urbanisierung 19

V

Vakuumabsorber 133
 Vakuum-Röhrenkollektor 100
 Verbundnetz 49
 Verdeckungsverlust 129
 Verfügbarkeit
 mengenmäßige 48

technische 51

Versauerung 69
 Versauerungspotenzial 67
 Verschattungsverlust 119
 virtuelles Kraftwerk 50
 Volllaststundenzahl 51

W

Wärme 77, 195
 Wärmedämmung 89
 Wärmekraftmaschine 139, 195
 Wärme-Rohr-Kollektor 101
 Wärmeschutzverordnung 88
 Wärmestrahlung 79
 Wärmeträger 96
 Wärmeübertrager 98, 123
 Warmluftkollektor 153
 Wartungskosten 64
 Wasser/Dampf 103
 Wasser/Dampf-Receiver 144
 Wasserstoff 195
 Weibull-Verteilung 171
 Widerstandsprinzip 177
 Windgeschwindigkeit 164, 166
 Windgeschwindigkeitsprofil 167
 Windleistung 168
 Windrichtung 166
 Windrichtungsnachführung 189
 Windstärke 165
 Windturbine 188
 Winkelgeschwindigkeit 181
 Wirkungsabschätzung 66
 Wirkungsgrad 53, 112, 119, 195
 Wirkungsindikator 67
 Wirkungskategorie 67

Z

Zeitpunkt der Höchstförderung 25
 Zeitverfügbarkeit 51
 Zirkondioxidkeramik
 Yttriumstabilisiert 237
 Zwangsumlaufsystem
 geschlossen 106
 offen 106
 Zweikreisssystem 122

Zweiter Hauptsatz der Thermodynamik
206