

Erdgas

Zahlen, Daten, Fakten

01

Gastechnik

- » T 01 Kennwerte: Fossile Brennstoffe
- » T 02 Zusammensetzung und Gasbeschaffenheitsparameter Erdgas
- » T 03 Reserven und Ressourcen nicht-erneuerbarer Energierohstoffe
- » T 04 Erdgasbezugsquellen für Deutschland
- » T 05 Treibhausgase und Luftschadstoffe verschiedener Heizsysteme
- » T 06 Treibhausgase und Luftschadstoffe verschiedener Energieträger
- » T 07 Energetische Standards
- » T 08 Anhaltswerte flächenspezifischer Jahresverbrauch
- » T 09 Durchschnittlicher Erdgasverbrauch im Haushalt
- » T 10 Endenergieverbrauch privater Haushalte in Deutschland 2015
- » T 11 Umrechnungsfaktoren für Energie
- » T 12 Weitere Umrechnungsfaktoren
- » T 13 Vorsätze zur Bezeichnung von Vielfachen von Einheiten
- » T 14 Treibhauspotentiale ausgewählter Verbindungen
- » T 15 Primärenergiefaktoren EnEV 2014
- » T 16 Primärenergiefaktoren DIN V 18599-1:2016-10

T 01 KENNWERTE: FOSSILE BRENNSTOFFE

Brennstoff	Zustand	Heizwert (H _i)	Brennwert (H _s)	H _s /H _i	Dichte	Abgasmenge
Erdgas H	gasförmig	10,42 kWh/m ³ , n	11,42 kWh/m ³ , n	1,10	0,79 kg/m ³	10,62 m ³ AG/m ³ BG
Erdgas L	gasförmig	8,87 kWh/m ³ , n	9,76 kWh/m ³ , n	1,10	0,83 kg/m ³	9,57 m ³ AG/m ³ BG
Flüssiggas*	gasförmig	25,48 kWh/m ³ , n	27,72 kWh/m ³ , n	1,09	1,97 kg/m ³	26,24 m ³ AG/m ³ BG
Flüssiggas*	flüssig	12,87 kWh/kg	14,00 kWh/kg	1,09	0,53 kg/l	Angabe nicht üblich
Flüssiggas*	flüssig	6,82 kWh/l	7,42 kWh/l	1,09	0,53 kg/l	Angabe nicht üblich
Heizöl EL	flüssig	10,08 kWh/l	10,57 kWh/l	1,05	0,82–0,86 kg/l	12,02 m ³ AG/l
Heizöl S	flüssig	10,61 kWh/l	11,27 kWh/l	1,06	0,90–0,92 kg/l	11,39 m ³ AG/l
Steinkohle	fest	8,14 kWh/kg	8,41 kWh/kg	1,03	820–890 kg/m ³ **	ca. 8,4 m ³ /kg
Steinkohlenkoks	fest	8,12 kWh/kg	8,19 kWh/kg	1,01	460–530 kg/m ³ **	ca. 7,5 m ³ /kg
Rohbraunkohle	fest	2,68 kWh/kg	3,20 kWh/kg	1,27	650–780 kg/m ³ **	ca. 5,3 m ³ /kg
Braunkohlenbriketts	fest	5,35 kWh/kg	5,75 kWh/kg	1,05	700–720 kg/m ³ **	ca. 5,7 m ³ /kg
Braunkohlestaub	fest	6,10 kWh/kg	6,36 kWh/kg	1,04	450–500 kg/m ³ **	ca. 6,2 m ³ /kg

AG – Abgas, BG – Brenngas

* Propan, technisch (DIN 51622)

** Schüttdichte

Europäischer Durchschnittswert Erdgas (Eurogas): **1 m³ = 10,83 kWh (H_s), Umrechnung H_i/H_s = 0,90238**
T 02 ZUSAMMENSETZUNG UND GASBESCHAFFENHEITSPARAMETER ERD GAS

Orientierungs- und Durchschnittswerte – Nicht für Abrechnungszwecke verwendbar!

Werte	Symbol/ Formel	Einheit	Russland ¹	Nordsee ¹	Dänemark ²	Holland ¹	Weser/ Ems	Nigeria ²	Ägypten ²	Bio-
			Erdgas H	Erdgas H	Erdgas H	Erdgas L	Erdgas L	LNG	LNG	Erdgas ²
Methan CH ₄	CH ₄	Mol.-%	96,42	90,73	90,07	84,11	84,31	91,28	97,7	96,15
Stickstoff	N ₂	Mol.-%	0,42	0,87	0,28	10,28	10,21	0,08	0,08	0,75
Kohlenstoffdioxid	CO ₂	Mol.-%	0,33	1,80	0,60	1,32	1,31			2,90
Ethan	C ₂ H ₆	Mol.-%	2,58	5,61	5,68	3,43	3,34	4,62	1,80	
Propan	C ₃ H ₈	Mol.-%	0,17	0,72	2,19	0,56	0,54	2,62	0,22	
n-Butane	n-C ₄ H ₁₀	Mol.-%	0,03	0,09	0,90	0,10	0,10	1,40	0,20	
n-Pentane	n-C ₅ H ₁₂	Mol.-%	<0,01	0,02	0,22	0,03	0,02			
Hexane + höhere KWs	C ₆ +	Mol.-%	<0,01	0,02	0,06	0,05	0,05			
Brennwert	H _{s,n}	kWh/m ³	11,25	11,43	12,10	10,25	10,24	12,20	11,30	10,60
Heizwert	H _{i,n}	kWh/m ³	10,15	10,32		9,25	9,24			
Wobbe-Index	W _{s,n}	kWh/m ³	14,83	14,58	15,30	12,83	12,84	15,50	15,00	13,90
Methanzahl	MZ	-	90,00	83,00	73,00	88,00	88,00	71,00	82,00	103,00

1 Quelle: Open Grid Europe (OGE), Orientierungswerte 2015

2 Quelle: E.ON Ruhrgas AG, 2012

Europäischer Durchschnittswert Erdgas (Eurogas): **1 m³ = 10,83 kWh (H_s), Umrechnung H_i/H_s = 0,90238**

T 03 RESERVEN UND RESSOURCEN NICHT-ERNEUERBARER ENERGIEROHSTOFFE

	Reserven		Ressourcen	
Erdgas (konventionell)	193 Bill. m ³	7.318 EJ	318 Bill. m ³	12.099 EJ
Erdgas aus Schiefer-, Thight- Kohleflözgas und Aquiferen	5.5 Bill. m ³	208 EJ	344 Bill. m ³	13.070 EJ
Erdgas aus Gashydraten	-	-	184 Bill. m ³	6.992 EJ
Erdöl (konventionell)	170 Gt	7.126 EJ	161 Gt	6.745 EJ
Erdöl aus Bitumen, Ölsand, Schwerstöl, Thight Oil und Ölschiefer	48 Gtoe	2.011 EJ	274 Gtoe	11.462 EJ
Steinkohle	585 Gt SKE	17.148 EJ	14.946 Gt SKE	438.034 EJ
Braunkohle	110 Gt SKE	3.230 EJ	1.765 Gt SKE	51.732 EJ
Kernbrennstoffe (Uran, Thorium)		606 EJ		9.858 EJ
Summe		37.646 EJ		549.991 EJ

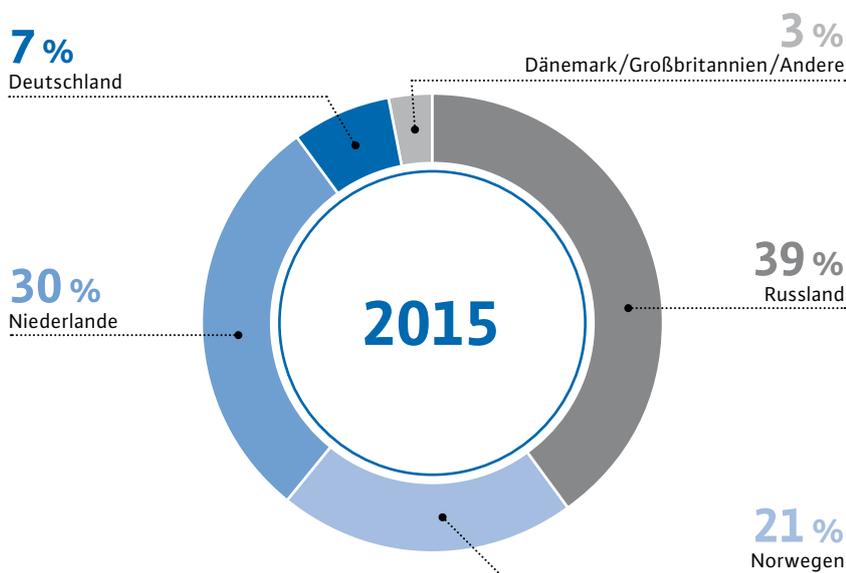
Reserven: Derzeit technisch und wirtschaftlich gewinnbare Menge eines Rohstoffes.

Ressourcen: Nachgewiesene bzw. erwartete Menge eines Rohstoffes, derzeit wirtschaftlich nicht gewinnbar.

Verbrauch: Im Jahr 2013 wurden nicht-erneuerbare Energierohstoffe mit einem Energieinhalt von etwa 515 EJ gefördert/verbraucht.
Stand: Dezember 2014

T 04 ERDGASBEZUGSQUELLEN FÜR DEUTSCHLAND 2005 – 2015

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Russland	35 %	35 %	36 %	37 %	29 %	32 %	32 %	33 %	37 %	38 %	39 %
Norwegen	25 %	27 %	26 %	26 %	27 %	27 %	27 %	25 %	21 %	22 %	21 %
Niederlande	18 %	18 %	18 %	18 %	19 %	20 %	22 %	26 %	26 %	27 %	30 %
Deutschland	15 %	16 %	16 %	14 %	15 %	12 %	13 %	11 %	10 %	9 %	7 %
Dänemark/Großbritannien/Andere	7 %	4 %	4 %	5 %	10 %	9 %	6 %	5 %	6 %	4 %	3 %
Aufkommen gesamt in TWh	1.200	1.196	1.104	1.134	1.091	1.142	1.087	1.062	1.155	1.064	1.193



T 05

TREIBHAUSGASE UND LUFTSCHADSTOFFE VERSCH. HEIZSYSTEME (alle Angaben in g/kWh Nutzwärme)

Werte zum Vergleich von Heizsystemen

Heizsystem	CO ₂ -Äquivalent	CO ₂	CH ₂	N ₂ O	SO ₂	NO _x	Staub
Heizöl	374	370	0,10	0,004	0,336	0,252	0,028
Heizöl-Brennwert	326	322	0,09	0,004	0,292	0,262	0,020
Erdgas	290	264	0,83	0,003	0,013	0,192	0,008
Erdgas-Brennwert	250	228	0,72	0,002	0,012	0,166	0,007
Elektro-mix	623	592	0,73	0,034	0,345	0,586	0,041
Elektro-WP-Luft (mix)	190	180	0,23	0,010	0,107	0,182	0,015
Elektro-WP-Wasser (mix)	159	151	0,20	0,009	0,096	0,165	0,015
Elektro-WP-Boden (mix)	175	166	0,21	0,009	0,101	0,175	0,015
Gas-BHKW (50 kW _{el})	176	159	0,51	0,005	0,005	0,234	0,008
Gas-BHKW (500 kW _{el})	162	147	0,47	0,004	0,005	0,215	0,007
Gas-GuD-HKW (100 MW _{el})	151	140	0,29	0,006	0,004	0,253	0,004
Fernwärme-mix*	298	275*	0,61	0,014	0,134	0,402	0,020
Holz-Stücke	25	8	0,50	0,008	0,189	0,288	0,277
Holz-Pellets	29	26	0,05	0,006	0,149	0,337	0,075
Holz-Hackschnitzel-Wald	26	19	0,16	0,006	0,121	0,436	0,165
Solar-Kollektor Cu Warmwasser	25	22	0,05	0,001	0,039	0,043	0,017
Solar-Kollektor Vakuum Warmwasser	36	31	0,07	0,001	0,059	0,060	0,028
Nahwärme-Biogas-mix-BHKW	114	69	0,49	0,111	0,090	0,316	0,018
Fernwärme-Holz-Wald-HS-HKW	79	65	0,29	0,021	0,119	0,599	0,035
Geothermie-HW	22	21	0,03	0,001	0,013	0,028	0,006

* Für Fernwärme variieren die Werte – insbesondere CO₂ – stark in Abhängigkeit vom eingesetzten Brennstoff und der Art der Wärmeerzeugung:
Wert aus Gemis 4.8: 234 g/kWh, Wert der AGFW für Mix aus 50 % Gas und 50 % Kohle nach Arbeitswertmethode und Vorkett: 158 g/kWh

T 06

TREIBHAUSGASE UND LUFTSCHADSTOFFE VERSCH. ENERGIETRÄGER (alle Angaben in g/Einheit Endenergie)

Energieträger	CO ₂ -Äquivalent	CO ₂	CH ₂	N ₂ O	SO ₂	NO _x	Staub
Erdgas je m ³	2.471	2.253	7,1	0,02	0,1	1,8	0,07
Erdgas je kWh	250	228	0,7	0,00	0,0	0,2	0,01
Heizöl je Liter	3.179	3.142	0,9	0,04	2,8	2,1	0,24
Holz-Scheit je kg	74	28	1,3	0,02	0,5	0,8	0,72
Holz-Pellets je kg	120	107	0,2	0,03	0,6	1,3	0,29
Fernwärme-mix je kWh*	298	275*	0,6	0,01	0,1	0,4	0,02
Stromnetz-lokal je kWh	606	576	0,7	0,03	0,3	0,6	0,04
Benzin je Liter	2.903	2.851	0,8	0,10	1,3	1,6	0,23
Diesel je Liter	2.995	2.877	1,4	0,29	1,2	4,6	0,23

* Für Fernwärme variieren die Werte – insbesondere CO₂ – stark in Abhängigkeit vom eingesetzten Brennstoff und der Art der Wärmeerzeugung:
Wert aus Gemis 4.8: 234 g/kWh, Wert der AGFW für Mix aus 50 % Gas und 50 % Kohle nach Arbeitswertmethode und Vorkett: 158 g/kWh

T 07 ENERGETISCHE STANDARDS

	Nutzenergie (Heizwärme) kWh/m ² a	Endenergie inkl. WWB kWh/m ² a	Primärenergie inkl. WWB kWh/m ² a	Heizlast W/m ²
Altbau, unsaniert	250–350	300–400	350–500	110–160
1978–1983	180–250	200–270	250–350	95–115
1984–1994	120–180	140–200	150–250	80–100
1995–2001	54–100*	70–120	100–185	50–70
EnEV 2002/2007	30–70	50–90	70–130*	35–45
EnEV 2009/2014 ¹ (EH 100)	25–60	45–80	50–90*	25–40
Effizienzhaus (EH) 85 ²	25–50	45–70	43–76*	20–35
(EnEV 2014) ab 01.01.2016	25–50	45–70	35–65*	20–35
Effizienzhaus 55 ³	20–30	40–50	28–50*	10–25
Effizienzhaus 40	15–30	30–40	20–36*	10–20
Passivhaus (PH)	15*	35	40**	10*

* Anforderungsgrößen, alle anderen Zahlenwerte geschätzt für Standardanlagen

1 energetisches Niveau gültig bis 31.12.2015; entspricht KfW-Effizienzhaus 100 Altbau

2 KfW-Effizienzhaus 85 Altbau (85 % der Primärenergie vom Referenzhaus nach EnEV 2009/2014)

3 KfW-Effizienzhaus 55 (55% der Primärenergie vom Referenzhaus nach EnEV 2009/2014)

4 nach KfW 120 kWh/m² inkl. Haushaltsstrom;

WWB – Warmwasserbereitung

Achtung: unterschiedliche Bezugsflächen: EnEV und WSchVO A_n; Heizlast und PH: meist Wohnfläche; Stand: Juli 2016

T 08 ANHALTSWERTE FLÄCHENSPEZIFISCHER JAHRESVERBRAUCH (in kWh/m²a)

	vor 1900	1901 – 1918	1919 – 1948	1949 – 1957	1958 – 1968	1969 – 1977	1978 – 1984	1985 – 1995	1996 – 2000	Durch- schnitt
Endenergie										
Einfamilienhaus	299	307	310	316	323	306	306	262	207	298
Reihen-/Doppelhaus	242	253	235	234	225	231	215	229	195	229
kleines MFH bis 8 WE	213	195	192	190	188	216	215	194	192	196
großes MFH ab 8 WE	182	168	168	174	182	182	189	154	155	175
Primärenergie										
Einfamilienhaus	382	393	395	403	412	389	388	335	266	380
Reihen-/Doppelhaus	310	323	302	301	290	297	276	294	251	294
kleines MFH bis 8 WE	278	254	251	248	243	278	278	250	249	254
großes MFH ab 8 WE	240	221	223	228	237	234	244	202	203	228



T 09 DURCHSCHNITTLICHER ERDGASVERBRAUCH IM HAUSHALT

Erdgasverbrauch im Haushalt ohne Heizung

Kochgasverbrauch 1 Personen-Haushalt	Ø 385 kWh/a
Kochgasverbrauch Mehrpersonen-Haushalt	Ø 770 kWh/a
Kochgas 4 Personen (Bsp. berufstätig)	420 kWh/a
Kochgas + WWB 1 Personen-Haushalt	Ø 1.230 kWh/a
Kochgas + WWB Mehrpersonen-Haushalt	Ø 2.502 kWh/a

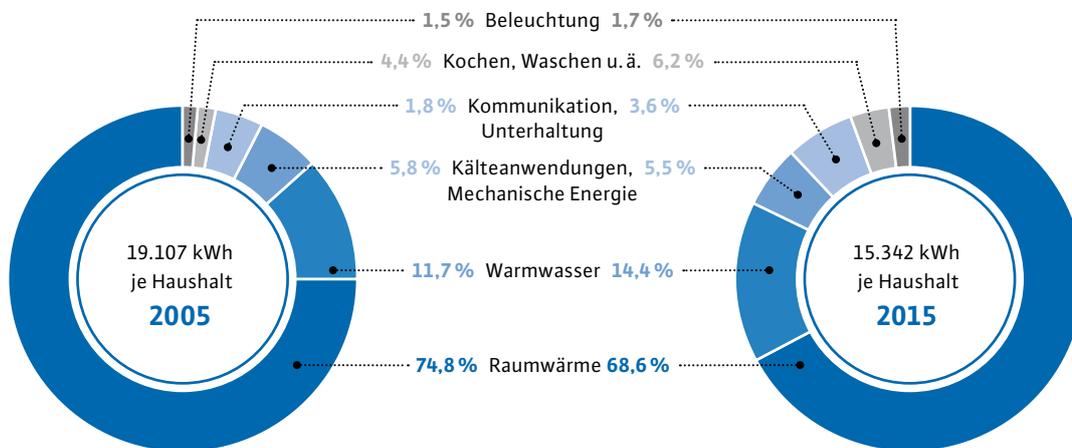
Erdgasverbrauch für Heizung und Warmwasser

in kWh/a	sparsam	durchschnittlich	hoch
1 Personen-Haushalt	6.000	8.000	9.000
2 Personen-Haushalt	10.000	14.000	18.000
4 Personen-Haushalt	20.000	24.000	28.000
Durchschnittshaushalt	19.317 kWh pro Jahr*		

* abhängig von Witterung für Bezugsjahr 2014, Datenquelle 2016, (Wert für 2013: 20.962 kWh)
 WWB – Warmwasserbereitung

T 10 ENDENERGIEVERBRAUCH PRIVATER HAUSHALTE IN DEUTSCHLAND 2015

Verbraucher	%
Heizung	68,6
Warmwasser	14,4
Prozeßwärme (Kochen, Waschen, Trocknen, ohne Warmwasser)	6,2
Kälteanwendungen (Kühlschrank, Tiefkühler, Klimakühler)	4,8
Informations- und Kommunikationstechnologien	3,6
Beleuchtung	1,7
Mechanische Energie (Fön, Mixer, Pumpen, ohne Pkw)	0,7



Anteil des Energieverbrauchs nach Anwendungsbereichen der privaten Haushalte in den Jahren 2005 und 2015

T 11 UMRECHNUNGSFAKTOREN FÜR ENERGIE

zu (Zieleinheit)	J	MJ	kWh	kcal	kgoe	kg SKE
von (Ausgangseinheit)	multipliziere mit					
1 J = 1Nm = 1 Ws	1	10^{-6}	$2,8 \cdot 10^{-7}$	$2,4 \cdot 10^{-4}$	$24 \cdot 10^{-9}$	$34 \cdot 10^{-9}$
1 MJ	$1.000 \cdot 10^3$	1	0,28	240	41,9	0,03
1 kWh	$3.600 \cdot 10^3$	3,6	1	860	0,06	0,12
1 kcal	4.200	$4,2 \cdot 10^{-3}$	$1,16 \cdot 10^{-3}$	1	10^{-4}	$1,43 \cdot 10^{-4}$
1 kgoe	$41,9 \cdot 10^6$	41,9	11,63	10.000	1	1,43
1 kg SKE	$29,3 \cdot 10^6$	29,3	8,14	7.000	0,7	1

kgoe – kg Erdöläquivalent; SKE – Steinkohleeinheit

Beispiele:

1 kg SKE = 0,7 kgoe = 7.000 kcal = 29,3076 MJ

1 kWh = 3,6 MJ

1 MJ = 0,278 kWh

1 PJ = 0,278 TWh = 0,034 Mio.t SKE = 0,024 Mio. toe

T 12 WEITERE UMRECHNUNGSFAKTOREN

> 1 t LNG = 1.380 m³ Erdgas, 1 t LNG = 14.573 kWh, 1 m³ LNG = 0,42 t = 580 m³ Erdgas = 6.120 kWh

> LNG = Liquefied Natural Gas (verflüssigt bei -162 °C)

Umrechnung erfolgte mit Wert des BMWi/BGR von 38 MJ/m³ = 10,56 kWh/m³ (Brennwert) entspricht der int. Konvention

> 1 PS = 735 W

> 1 barrel = 159 l = 135,15 kgoe = 179,42 m³ Erdgas = 1.582 kWh = 5.694.048 kJ

> 1 m³ Erdgas = 31.736 kJ = 7.580 kcal = 8,816 kWh = 0,758 kgoe = 1,082 kg SKE = 0,0056 barrel Öl

T 13 VORSÄTZE ZUR BEZEICHNUNG VON VIELFACHEN VON EINHEITEN

Vorsatz/Vorsatzzeichen	Faktor	Zahlwort
Atto/a	10^{-18}	Trillionstel
Femto/f	10^{-15}	Billiardstel
Piko/p	10^{-12}	Billionstel
Nano/n	10^{-9}	Milliardstel
Mikro/ μ	10^{-6}	Millionstel
Milli/m	10^{-3}	Tausendstel
Centi/c	10^{-2}	Hundertstel
Dezi/d	10^{-1}	Zehntel
Deka/da	10	Zehn
Hekto/h	10^2	Hundert
Kilo/k	10^3	Tausend
Mega/M	10^6	Million
Giga/G	10^9	Milliarde
Tera/T	10^{12}	Billion
Peta/P	10^{15}	Billiarde
Exa/E	10^{18}	Trillion

T 14 TREIBHAUSPOTENTIALE (Global Warming Potential, GWP) AUSGEWÄHLTER VERBINDUNGEN

Stoff	GWP	Vorkommen (Beispiele)
Kohlenstoffdioxid - CO ₂ (R744)	1	aus Verbrennungsprozessen
Ammoniak - NH ₃ (R717)	0	Kühlmittel
Methan	25	Viehzucht, Reisanbau, Deponien, Erdgasgewinnung
Wasserstoff	6	Treibstoff, chemische Industrie
R134a Teilfluorierte Kohlenwasserstoffe (HFKW) 1,1,1,2-Tetrafluorethan (C ₂ H ₂ F ₄)	1.430	Klimaanlagen älterer PKW
R407C (HFKW)	1.774	gewerbliche Kälte, Klimaanlagen älterer PKW
Distickstoffoxid (Lachgas) - N ₂ O	289	Stickstoffdünger in der Landwirtschaft, Verbrennung von Biomasse, Deponien
Schwefelhexafluorid - SF ₆	22.800	Schutzgas in Hochspannungsanlagen
Propan - C ₃ H ₈ (R290)	3	Flüssiggas (Autogas), Kältemittel
Difluormethan - CH ₂ F ₂ (R32) FKW	675	Kältemittel für Wärmepumpen und Klimaanlagen

T 15 PRIMÄRENERGIEFAKTOREN GEMÄSS DIN V 18599/A1:11-2008 (aktuell für EnEV 2014/16 noch gültig)

Energieträger ^a		Primärenergiefaktoren f_p	
		insgesamt	nicht erneuerbarer Anteil
Fossile Brennstoffe	Heizöl EL	1,1	1,1
	Erdgas H	1,1	1,1
	Flüssiggas	1,1	1,1
	Steinkohle	1,1	1,1
	Braunkohle	1,2	1,2
Biogene Brennstoffe	Biogas	1,5	0,5**
	Bioöl	1,5	0,5**
	Holz	1,2	0,2
Nah-/Fernwärme aus KWK ^b	fossiler Brennstoff	0,7	0,7
	erneuerbarer Brennstoff	0,7	0,0
Nah-/Fernwärme aus Heizwerken	fossiler Brennstoff	1,3	1,3
	erneuerbarer Brennstoff	1,3	0,1
Strom	allgemeiner Strommix	2,8	2,4*
	Verdrängungsstrommix	2,8	2,8
Umweltenergie	Solarenergie	1,0	0,0
	Erdwärme, Geothermie	1,0	0,0
	Umgebungswärme	1,0	0,0
	Umgebungskälte	1,0	0,0
Abwärme innerhalb des Gebäudes	aus Prozessen	1,0	0,0

a Bezugsgröße Endenergie: Heizwert H_i

b Angaben sind typisch für durchschnittliche Nah-/Fernwärme mit einem Anteil der KWK von 70 %

* Seit 1. Januar 2016 ist lt. EnEV für den nicht erneuerbaren Anteil des PEF Strom der Wert 1,8 zu verwenden.

** In der EnEV-Berechnung ist der Wert 1,1 für flüssige und gasförmige Biomasse zu verwenden. Bei räumlicher Nähe der Erzeugung zu Gebäude kann der Wert 0,5 verwendet werden.

T 16 PRIMÄRENERGIEFAKTOREN GEMÄSS DIN V 18599-1:2016-10			
Energieträger ^a		Primärenergiefaktoren f_p	
		insgesamt	nicht erneuerbarer Anteil
innerhalb der Bilanzgrenzen zugeführte Endenergien (Index "f,n")			
Fossile Brennstoffe	Heizöl EL	1,1	1,1
	Erdgas H	1,1	1,1
	Flüssiggas	1,1	1,1
	Steinkohle	1,1	1,1
	Braunkohle	1,2	1,2
Biogene Brennstoffe	Biogas	1,5	0,5
	Bioöl	1,5	0,5
	Holz	1,2	0,2
Nah-/Fernwärme aus KWK ^b	fossiler Brennstoff	0,7	0,7
	erneuerbarer Brennstoff	0,7	0,0
Nah-/Fernwärme aus Heizwerken	fossiler Brennstoff	1,3	1,3
	erneuerbarer Brennstoff	1,3	0,1
Nah-/Fernwärme	allgemeiner Fall	individuelle Bereiche	
Fernkälte	allgemeiner Fall	individuelle Bereiche	
Strom	allgemeiner Strommix	2,8	1,8
innerhalb der Bilanzgrenzen nutzbar gemachte Endenergien (Index "f,prod")			
Umweltenergie	Wärme (Erdwärme, Geothermie, Solarthermie, Umgebungswärme)	1,0	0,0
	Kälte (Erdkälte, Umgebungskälte)	1,0	0,0
	Strom (aus Photovoltaik, Windkraft)	1,0	0,0
Abwärme	aus Prozessen, siehe 3.1.31	1,0	0,0
aus dem Bilanzraum abgeführte Endenergien (Index "f,out")			
Strom	Verdrängungsstrommix für KWK	2,8	2,8
	Verdrängungsstrommix für PV, WEA	2,8	1,8
thermische Energien	Wärme für andere Verbraucher	individuelle Bereiche	
	Kälte für andere Verbraucher	individuelle Bereiche	
Abwärme	aus Prozessen	1,0	0,0

a Bezugsgröße Endenergie: Heizwert H_i

b Angaben sind typisch für durchschnittliche Nah-/Fernwärme mit einem Anteil der KWK von 70 %

02

Ökonomie

- » T 17 Annuitäten
- » T 18 Vollbenutzungstunden
- » T 19 Jahresnutzungsgrade von Erdgas-Kesseln
- » T 20 Elektrischer und thermischer Wirkungsgrad von KWK-Systemen
- » T 21 Weitere elektrische Wirkungsgrade
- » T 22 Weitere thermische Wirkungsgrade
- » T 23 Umrechnung von Brennstoffpreisen

T 17 ANNUITÄTEN

Zinsen	Jahre							
	3	5	10	15	20	25	30	50
1	0,3400	0,2060	0,1056	0,0721	0,0554	0,0454	0,0387	0,0255
2	0,3468	0,2122	0,1113	0,0778	0,0612	0,0512	0,0446	0,0318
3	0,3535	0,2184	0,1172	0,0838	0,0672	0,0574	0,0510	0,0389
3,5	0,3569	0,2215	0,1202	0,0868	0,0704	0,0607	0,0544	0,0426
4	0,3603	0,2246	0,1233	0,0899	0,0736	0,0640	0,0578	0,0466
4,5	0,3638	0,2278	0,1264	0,0931	0,0769	0,0674	0,0614	0,0506
5	0,3672	0,2310	0,1295	0,0963	0,0802	0,0710	0,0651	0,0548
5,5	0,3707	0,2342	0,1327	0,0996	0,0837	0,0745	0,0688	0,0591
6	0,3741	0,2374	0,1359	0,1030	0,0872	0,0782	0,0726	0,0634
6,5	0,3776	0,2406	0,1391	0,1064	0,0908	0,0820	0,0766	0,0679
7	0,3811	0,2439	0,1424	0,1098	0,0944	0,0858	0,0806	0,0725
7,5	0,3845	0,2472	0,1457	0,1133	0,0981	0,0897	0,0847	0,0771
8	0,3880	0,2505	0,1490	0,1168	0,1019	0,0937	0,0888	0,0817
8,5	0,3915	0,2538	0,1524	0,1204	0,1057	0,0977	0,0931	0,0865
9	0,3951	0,2571	0,1558	0,1241	0,1095	0,1018	0,0973	0,0912
9,5	0,3986	0,2604	0,1593	0,1277	0,1135	0,1060	0,1017	0,0960
10	0,4021	0,2638	0,1627	0,1315	0,1175	0,1102	0,1061	0,1009
12	0,4163	0,2774	0,1770	0,1468	0,1339	0,1275	0,1241	0,1204
15	0,4380	0,2983	0,1993	0,1710	0,1598	0,1547	0,1523	0,1501

T 18 VOLLBENUTZUNGSSTUNDEN

	Stunden
Einfamilienhaus	1.500 – 2.100
Mehrfamilienhaus	1.600 – 2.000
Bürohaus	1.400 – 1.700
Schulen einfach	1.100
Schulen ganztägig	1.300
Hallenbäder	3.500 – 4.000
Freibäder	1.200 – 1.700
Seniorenwohnheim	2.200 – 2.500
Krankenhäuser	1.900 – 2.500
Hotels	1.800 – 2.000
Verwaltungsgebäude	1.800
Brauereien	5.000 – 7.000
Großbäckereien	2.500 – 3.000
Gärtnereien	1.300 – 1.500
Supermärkte	1.500 – 1.900
Warenhäuser	2.000 – 3.000

T 19 JAHRESNUTZUNGSGRAD VON ERDGAS-KESSELN

Wärmeerzeuger mit Energieträger Erdgas	Leistung	Jahresnutzungsgrad Bezug Heizwert
Niedertemperaturkessel mit Brenner ohne Gebläse	≤ 120 kW	0,91
	> 120 kW ≤ 1.200 kW	0,92
Niedertemperaturkessel mit Gebläsebrenner	bis 1.200 kW	0,92
Brennwertkessel	≤ 50 kW	0,97
	> 50 kW ≤ 120 kW	0,98
	> 400 kW ≤ 1.200 kW	0,99

Quelle: Recknagel/Sprenger/Albers: Taschenbuch für Heizung + Klima-Technik: 77. Auflage 2015/2016

T 20 ELEKTRISCHER UND THERMISCHER WIRKUNGSGRAD VON KWK-SYSTEMEN

KWK-System	Elektrischer Wirkungsgrad	Thermischer Wirkungsgrad	Gesamt-Wirkungsgrad
Otto-/Diesel-Motor	20 % bis 35 %	50 % bis 75 %	80 % bis 100 %
Stirling-Motor	10 % bis 15 %	70 % bis 90 %	80 % bis 105 %
Brennstoffzellen	25 % bis 60 %	30 % bis 70 %	80 % bis 95 %

Quelle: Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena): Planungshandbuch Anlagentechnik, Oktober 2013

T 21 WEITERE ELEKTRISCHE WIRKUNGSGRAD

- > Erdgas-GuD-Kraftwerk (Irsching 4): 60,4 %
- > Steinkohlekraftwerk (Moorburg): 46 %
- > Braukohlekraftwerk (Neurath): 43,2 %
- > Solarzellen (PV)
 - multikristalline Siliziumzelle: 21,3 %
 - Dünnschicht-PV (Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid (CIGS): 22,3 %
 - Modulwirkungsgrade: 15 - 17 %
 - Dünnschicht-PV (Cadmium-Tellurid (CdTe)): 24 % (Forschungsergebnisse)
- > Wasserkraftwerk: 80 - 90 %
- > Windkraft: bis 50 % (theoretisch möglich sind 59,3 %)

T 22 WEITERE THERMISCHE WIRKUNGSGRAD

- > Pelletkessel: 86 - 95 % (86 % ist Forderung gem. EEWärmeG)

T 23 UMRECHNUNG VON BRENNSTOFFPREISEN

	Einheit	Faktor	Beispiele			
Erdgas H bei 10,42 kWh/m ³ (H _i)	Cent/kWh	1	5	6	7	8
Heizöl EL bei 10,08 kWh/l (H _i)	EUR/l	0,10	0,50	0,60	0,71	0,81
Heizöl S bei 10,61 kWh/m (H _i)	EUR/l	0,11	0,53	0,64	0,74	0,85
Strom	Cent/kWh	1	5	6	7	8
Pellets bei 4,9 kWh/kg	EUR/t	49	245	294	343	392
Flüssiggas (Propan) 23,3 kWh/kg	EUR/kg	0,23	1,17	1,40	1,63	1,86
Braunkohle Briketts 5,6 kWh/kg	EUR/t	56	280	336	392	448
Steinkohle Koks 8,12 kWh/kg	EUR/t	81,2	406	487,2	568,4	649,6
Hackschnitzel 5 kWh/kg	EUR/t	50	250	300	350	400

Beispielfragestellung:

Sind 234 EUR/t Pellets teurer als 4,5 ct/kWh Erdgas?

Rechnung:

$$4,5 \times 49 = 220,50$$

Antwort:

4,5 ct/kWh Erdgas entsprechen genau 220,50 €/t Pellets (Brennstoffpreis).

Würden Pellets 234 EUR/t kosten, wären sie teurer als 4,5 ct/kWh Erdgas (Brennstoffpreis).

03

Ökologie

- » T 24 Bio-Brennstoffe
- » T 25 Heizwert und Wassergehalt
- » T 26 Umrechnungsfaktoren für Holzmengen (Faustzahlen)
- » T 27 Verhältniszahlen zwischen Raummaßen
- » T 28 Zusammensetzung (Roh-)Biogas
- » T 29 Richtwerte der Methanausbeute
- » T 30 Methan-Hektarertrag
- » T 31 Emissionen
- » T 32 Jahresnutzungsgrade und Jahresheizzahlen von Gas-Wärmepumpen
- » T 33 Werte und Mindestanforderungen zu JAZ für Wärmepumpen
- » T 34 Brennstoffzellen – Konzepte & Technologien
- » T 35 Energetischer Vergleich ausgewählter Kraftstoffe
- » T 36 Äquivalente Brennwerte ausgewählter Kraftstoffe

T 24 BIO-BRENNSTOFFE (Heizwert/Dichte)		Heizwert H _i (kWh/kg)	Schütt-/Stapeldichte (kg/m ³)
Pellets	Holzpellets (w = 8 %)	≥ 4,6	650
	Holzpellets (w = 10 %)	5,0	664
	Heupellets (w = 12 %)	4,13	532
	Strohpellets (w = 10 %)	4,78	603
	Sonnenblumenpellets (w = 8 %)	5,6	400
	Energiepellets aus Pferdemist	5,0	k.A.
Hackschnitzel	Hackschnitzel Kiefer (w = 15 %)	4,33	203
	Hackschnitzel Fichte (w = 15 %)	4,32	178
	Hackschnitzel Fichte (w = 20 %)	4,02	189
	Hackschnitzel Fichte (w = 30 %)	3,44	216
	Hackschnitzel Buche (w = 15 %)	4,15	261
	Hackschnitzel Buche (w = 20 %)	3,86	278
	Hackschnitzel Buche (w = 30 %)	3,3	317
	Hackschnitzel Pappel (w = 15 %)	4,15	166
	Hackschnitzel Pappel (w = 20 %)	3,86	176
	Hackschnitzel Pappel (w = 30 %)	3,3	202
Weitere feste Brennstoffe	Scheitholz Buche (w = 15 %)	4,15	445
	Scheitholz Fichte (w = 15 %)	4,33	304
	Rinde (Nadelholz, w = 15%)	5,2 ¹	175
	Hobelspäne (w = 20 %)	~ 4,0	90
	Sägemehl Fichte (w = 15 %)	4,33	160
	Holzbricketts (w = 15 %)	4,25	k.A.
	Rapspresskuchen (w < 5 %)	8,5	750
	Landschaftpflegeheu (w = 15 %)	3,82	130
	Getreide (Ganzpflanze, w = 15 %)	3,92	150
	Getreidestrohballen (w = 15 %)	3,96	140
	Getreidekörner (Weizen, Roggen, Triticale, w = 10 %)	4,18	708
	Sonnenblumenstroh ¹	4,31	k.A.
	Straßengrasschnitt	3,84	k.A.
	Miscanthus Häckselgut (w = 10 %)	4,35	104
flüssige/gasförmige Brennstoffe	Rapsöl	10,44	0,92 ²
	Kokosöl	9,36	0,92 ²
	Palmöl	10,1	0,92 ²
	Bio-Ethanol	7,28	0,79 ²
	Biodiesel	10,11	0,88 ²
	Biomethan	13,6	0,72
	Bio-Wasserstoff	32,7	0,09

w – Wassergehalt; 1 – bezogen auf wasserfreie Substanz; 2 – Dichte in kg/l (15°C)

T 25 HEIZWERT UND WASSERGEHALT

Wassergehalt (%)		0	15	20	30	50	Dichte*
Baumart	Einheit	Heizwert					
Fichte	kWh/kg	5,20	4,32	4,02	3,44	2,26	379
	kWh/Fm	1.971	1.926	1.904	1.863	1.713	
	kWh/Rm	1.380	1.348	1.333	1.304	1.119	
Kiefer	kWh/kg	5,20	4,32	4,02	3,44	2,26	431
	kWh/Fm	2.241	2.190	2.166	2.118	1.948	
	kWh/Rm	1.569	1.533	1.516	1.483	1.364	
Buche	kWh/kg	5,00	4,15	3,86	3,30	2,16	558
	kWh/Fm	2.790	2.724	2.692	2.631	2.411	
	kWh/Rm	1.953	1.907	1.885	1.841	1.687	
Birke	kWh/kg	5,00	4,15	3,86	3,30	2,16	526
	kWh/Fm	2.630	2.568	2.538	2.480	2.272	
	kWh/Rm	1.841	1.798	1.777	1.736	1.591	

Die Berechnung der Heizwerte erfolgte für den Raummeter (Rm) pauschal mit 0,7 Fm/Rm

* Werte in kg Trockenmasse (TM) je Fm ohne Berücksichtigung von Trockenschwund (Raumdichte nach Kollmann 1982)

T 26 UMRECHNUNGSFAKTOREN FÜR HOLZMENGEN (Faustzahlen)

	tatro	Fm	Rm	Sm
1 tatro (atro: absolut trocken)	1	1,3–2,5	2,9	4,86
1 Fm-Festmeter (1 m³ ohne Luft)	0,4–0,75	1	1,4	2,38
1 Rm-Raummeter (gestapelt)	0,3	0,62	1	1,48
Sm-Schüttmeter (geschüttet)	0,2	0,42	0,68	1

T 27 VERHÄLTNISZAHLEN ZWISCHEN RAUMMASSEN

Rundholz in Festmeter (Fm)	Schichtholz, 100 cm in Raummetern bzw. Ster (Rm)		Scheite, 33 cm	
			geschichtet (Rm)	lose geschüttet (Srm)
	ungespalten (Rundlinge)	gespalten (Scheite)		
1,0	1,4	1,6	1,5	Fichte: 2,2 Buche: 2,0
0,7	1,0	1,2	1,0	Fichte: 1,6 Buche: 1,4
0,5	0,6	0,7	0,6	1,0

Der Verkauf von Brennholz erfolgt i.d.R. in Schüttraummeter (Sm), d.h. 1 m³ geschüttete Scheite mit beispielsweise 33 cm Scheitlänge.

T 28 ZUSAMMENSETZUNG (ROH-) BIOGAS

	Volumenanteil
Methan CH ₄	50 – 75 %
Kohlenstoffdioxid CO ₂	25 – 45 %
Wasserdampf H ₂ O	2 – 7 %
Stickstoff N ₂	0 – 2 %
Sauerstoff O ₂	0 – 2 %
Wasserstoff H ₂	0 – 1 %
Ammoniak	0 – 1 %
Schwefelwasserstoff	20–20.000 mg/m ³

Energiegehalt 1 m³ Biogas ca. 5,0 – 7,5 kWh

T 29 METHAN AUSBEUTE (Richtwerte)

	Nm ³ Methan/a	Methananteil im (Roh-)Biogas
Tierisch		
Milchkuh (17 m ³ Gülle /Tierplatz und Jahr)	289	55 %
Mastschwein (1,6 m ³ Gülle/Tierplatz und Jahr)	19	60 %
Mastrind (2,8 t Festmist/Tierplatz und Jahr)	185	55 %
Reitpferd (11,1 t Festmist/Tierplatz und Jahr)	388	k. A.
Legehennen (2 m ³ Rottemmist/100 Tierplätze und Jahr)	164	55 %
Pflanzlich		
1 ha Silomais (40 – 60 t FM)	3.956 – 5.934	52 %
1 ha Zuckerrüben (55 – 75 t FM)	3.523 – 4.803	52 %
1 ha Getreide-GPS (30 – 50 t FM)	2.884 – 4.807	53 %
1 ha Durchwachsene Silphie (45 – 60 t FM)	2.871 – 3.828	58 %
1 ha Sudangras (35 – 55 t FM)	2.392 – 3.759	55 %
1 ha Grünland (23 – 43 t FM)	2.001 – 3.808	50 %
1 ha Getreidekorn Roggen (4,3 – 6,8 t FM)	1.390 – 2.179	52 %

T 30 METHAN-HEKTARERTRAG
mittleres Ertragsniveau in m³/ha

Getreidepflanzensilage	3.131
Getreidekorn Weizen	2.496
Getreidekorn Roggen	1.714
Triticale	1.873
Silomais	4.613
Zuckerhirse	3.491
Sudangras	3.435
Futtermülsen	5.680
Ackergräsersilage	2.926
Grünland	2.344
Zuckerrüben	4.163
Silphie	3.509

T 31 EMISSIONEN (mg/m³, n Abgas*)
CO₂CO₂

	CO ₂	CO	NO _x	SO ₂	Feinstaub
	mg/m ³ , n				
Pellets	83	60	110	10	20
Scheitholz	92	230–350	140–150	10	30–40
Hackschnitzel	95	80–150	130–140	30	40–50
Sägespäne	96	ca. 200	ca. 250	ca. 300	ca. 70
Stroh	103	250	400	350	50
Hirse	107	300	350	ca. 400	ca. 70

* Emissionswerten sind abhängig von der Art der Verbrennung

T 32 JAHRESNUTZUNGSGRAD UND JAHRESHEIZZAHLEN VON GAS-WÄRMEPUMPEN (nach VDI 4650)

Gas-Wärmepumpe	Jahresnutzungsgrad	Jahresheizzahl
Adsorptionswärmepumpen	1,21 bis 1,58	1,17 bis 1,51
Absorptionswärmepumpen	1,36 bis 1,58	1,29 bis 1,48
gasmotorische Wärmepumpen	1,35 bis 1,60	1,6 bis 2,2

T 33 WERTE UND MINDESTANFORDERUNGEN ZU JAHRESARBEITSAHLEN FÜR WÄRMEPUMPEN

Antriebsart Wärmequelle Art der Wärmepumpe	elektrisch Außenluft Luft/Wasser	elektrisch Erdreich Sole/Wasser	elektrisch Grundwasser Wasser/Wasser	Gas Außenluft Luft/Wasser
COP-Wert nach DIN EN 14511 im Betriebspunkt ¹	~ 4,2 A2°C/W35	~ 4,7 B0°C/W35	~ 5,8 W10°C/W35	~ 1,65 A2°C/W35
Durchschnittliche Jahresarbeitszahl (JAZ) Neubau/Bestand ²	3,3/2,9	4,0/3,5	4,3/3,6	1,4
Mindestforderung für Förderung nach dem MAP im Bestand		Wohngebäude 3,8 Nicht-Wohng. 4,0	Wohngebäude 3,8 Nicht-Wohng. 4,0	Wohngebäude 1,25 Nicht-Wohng. 1,3
Mindestforderung für Förderung nach dem MAP im Neubau	4,5	4,5	4,5	1,5
Mindestforderung nach EEWärmeG (mit WWB)	3,5 (3,3)*	4 (3,8)*	4 (3,8)*	1,2
Mindestforderung nach EWärmeG in Baden-Württemberg	3,5	3,5	3,5	1,2

1 COP (Coefficient of Performance) = Leistungszahl in einem Arbeitspunkt = Heizleistung/eingesetzte Leistung [KW]
(A – Luft, B – Sole, W – Wasser, W35 – Vorlauftemperatur 35°C)

2 Jahresarbeitszahl (JAZ) – Verhältnis von Nutzwärme zu aufgenommenen Energie [KWh] bezogen auf ein Jahr = Maß für die Effizienz
einer Wärmepumpe, Angaben für Neubau \approx 35°C/Bestand \approx 55°C Vorlauftemperatur

* Diese Werte werden um weitere 0,2 gemindert, wenn die Nutzungspflicht im Bestand erfüllt wird.

MAP – Marktanreizprogramm, WWB – Warmwasserbereitung

T 34 BRENNSTOFFZELLEN – KONZEPTE & TECHNOLOGIEN

Brennstoffzellen-Typ	NT-PEM	HT-PEM	SOFC	
Reformer-Typ	CSR, WGS & SelOx	CSR, WGS	CSR	POX
Betriebstemperatur	60–80°C	140–180°C	600–900 °C	
el. Systemwirkungsgrad	bis 40 %	bis 40 %	bis 60 %	
Brennstoff*	H ₂	H ₂	H ₂ , CO, (CH ₄)	
Brennstoffqualität	CO < 20 ppm	CO < 1 %		
Systemstartzeit	< 1 Std.	< 1 Std.	3–24 Std.	
Zyklusstabilität	hoch	mittel	gering	
Prozesswasser notwendig	Ja	Ja	Ja	Nein
Systemkomplexität	–	+/-	+/-	+
Stackdegradation	+	+/-	–	–
el. Wirkungsgrad	+/-	+/-	+	+/-
Gesamtnutzungsgrad	+	+	+	+
Jahresnutzungsgrad	+	+	+	+

Quelle: ZBT – Zentrum für BrennstoffzellenTechnik GmbH, Duisburg

* Brennstoff der Zelle, i.d.R. im Gerät durch Reformation aus Erdgas gewonnen

NT – Niedertemperatur

HT – Hochtemperatur

PEM – Proton Exchange Membrane

SOFC – Solid Oxid Fuel Cell

CSR – Catalytic Steam Reforming

WGS – Water-Gas-Shift

SelOx – Selective Oxidation

POX – Partial Oxidation

CO – Kohlenstoffmonoxid

H₂ – Wasserstoff

CH₄ – Methan

ppm – parts per million (Millionstel/10⁻⁶)

T 35 ENERGETISCHER VERGLEICH AUSGEWÄHLTER KRAFTSTOFFE

Kraftstoff	Heizwert der Liefereinheit	Brennwert der Liefereinheit	Heizwert für 1 kg in kWh/kg	Brennwert für 1 kg in kWh/kg	Dichte	Oktan- zahl	CO ₂ - Emissionen in g/kWh	Druck im Tank in bar
Erdgas H	11,4 kWh/kg	14,4 kWh/kg	11,4	14,4	0,79 kg/m ³ , n	130	200	200
Erdgas L	10,3 kWh/kg	11,4 kWh/kg	10,3	11,4	0,83 kg/m ³ , n	120	200	200
Benzin – normal	8,1 kWh/l	9,6 kWh/l	11,1	13,1	0,73 kg/l	91	291	atmosph.
Benzin – Super	8,7 kWh/l	10,2 kWh/l	11,6	13,6	0,75 kg/l	95	267	atmosph.
Diesel	9,9 kWh/l	10,6 kWh/l	11,9	12,8	0,83 kg/l	51–55*	267	atmosph.
Autogas	6,9 kWh/l	7,5 kWh/l	12,8	13,9	0,54 kg/l	89–102	233	50
Biomethan	1,75 kWh/l **		13,6		0,135 kg/l**	130		200
Ethanol E85	5,7 kWh/l		7,1		0,79 kg/l	107		atmosph.
Wasserstoff	0,5 kWh/l**		32,7		0,017 kg/l**	88		

* Cetanzahl

** bei 200 bar

T 36 ÄQUIVALENTE BRENNWERTE AUSGEWÄHLTER KRAFTSTOFFE (brennwertbezogen)

Kraftstoff	Erdgas H kg	Benzin super Liter	Diesel Liter	Autogas Liter
1 kg Erdgas H	1	1,41	1,35	2,1
1 l Benzin Super	0,7	1	0,96	1,48
1 l Diesel	0,73	1,03	1	1,54
1 l Autogas	0,48	0,67	0,64	1

Beispiel: 1 kg Erdgas H entspricht 2,1 l Autogas (Energieinhalt)

04

Impressum

» Quellenangaben

» Herausgeber

QUELLENANGABEN

Nr.	Quelle
T 01	Handbuch für Heizungstechnik, Buderus Heiztechnik GmbH, Beuth Verlag GmbH, Taschenbuch für HEIZUNG + KLIMA TECHNIK, Recknagel/Sprenger/Schramek, Oldenbourg Verlag München
T 02	Open Grid Europe (OGE), Orientierungswerte 2015, E.ON AG, 2012
T 03	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), www.bgr.bund.de , Energiestudie 2014 Reserven, Ressourcen und Verfügbarkeit von Energierohstoffen
T 04	BDEW
T 05–06	IINAS GmbH, gemis 4.94, T 05: Szenario Energie – Heizen mit KWK und RE 2010 [kWh], T 06: Szenario Energie – hilfreiche Kennzahlen 2010
T 07	Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) Berlin; Institut für Technische Gebäudeausrüstung (ITG, Dresden, eigene Zusammenstellung)
T 08	T7a: Kleemann 2003, Gutachten im Auftrag der dena
T 09	Eigene Ermittlung und Zusammenstellung, GASAG, Mainova
T 10	AG Energiebilanzen, Statistisches Bundesamt, eigene Berechnungen
T 11	Taschenbuch für Heizung + Klima Technik, Recknagel/Sprenger/Schramek, Oldenbourg Verlag München, AGEB
T 12	Eigene Zusammenstellung
T 13	Taschenbuch für Heizung + Klima Technik, Recknagel/Sprenger/Schramek, Oldenbourg Verlag München
T 14	Umweltbundesamt März 2015, mit Bezug auf viertem Sachstandsbericht des IPCC aus 2007, bezogen auf einen Zeitraum von 100 Jahren
T 15	DIN V 18599/A1:11–2008 (aktuell für EnEV 2014/16 noch gültig)
T 16	DIN V 18599–1:2016–10
T 17	berechnet
T 18	Eigene Zusammenstellung
T 19–22	Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena): Planungshandbuch Anlagentechnik, Oktober 2013 Recknagel/Sprenger/Albers: Taschenbuch für Heizung + Klima-Technik: 77. Auflage 2015/2016.
T 21	Eigene Zusammenstellung
T 23	berechnet
T 24	Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V (FNR); www.carmen-ev.de , www.depv.de , www.enplus-briketts.de
T 25	www.lwf.bayern.de
T 26	Bioenergie Basisdaten, Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR)
T 27	www.lwf.bayern.de
T 28–30	Bioenergie Basisdaten, Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR)
T 31	Leitfaden Bioenergie und Faustzahlen Biogas der Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V (FNR); www.energiegetreide.net
T 32–33	Eigene Zusammenstellung
T 34	ZBT – Zentrum für BrennstoffzellenTechnik GmbH, Duisburg
T 35–36	E.ON AG; www.aral.de ; DIN 51622, LUBW

Herausgeber

BDEW Bundesverband der
Energie- und Wasserwirtschaft e. V.
Reinhardtstraße 32
10117 Berlin
www.bdew.de

Redaktion

AG Erdgastechnik; Ansprechpartner: Ingram Täschner

Finanzierung

durch die Gemeinschaftsaktion Gas

Stand: Januar 2017