



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 | Weser/ Ems | | | | | | | |
|------------------------|----------------------------------|--------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------|
| | | | Russland ¹ Erdgas H | Nordsee ¹ Erdgas H | Dänemark ² Erdgas H | Holland ¹ Erdgas L | Nigeria ² LNG | Ägypten ² LNG | Bio- 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 |

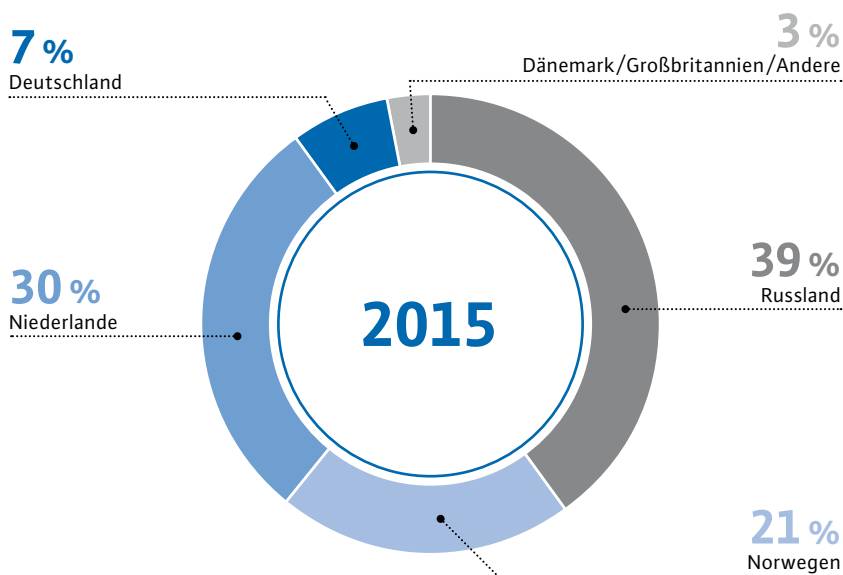
Reserven: Derzeit technisch und wirtschaftlich gewinnbare Menge eines Rohstoffes.

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 |

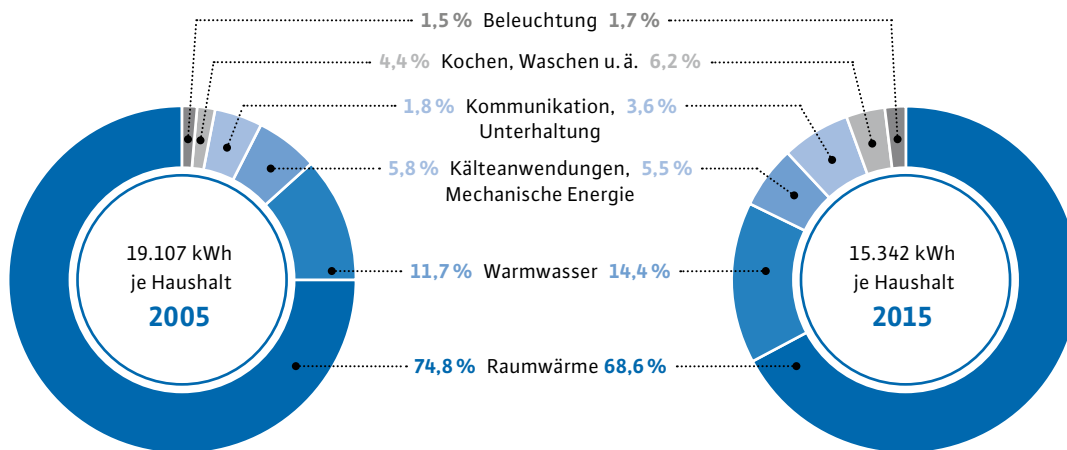
Erdgasverbrauch für Heizung und Warmwasser

| 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•10 ⁻⁷ | 2,4•10 ⁻⁴ | 24•10 ⁻⁹ | 34•10 ⁻⁹ |
| 1 MJ | 1.000•10 ³ | 1 | 0,28 | 240 | 41,9 | 0,03 |
| 1 kWh | 3.600•10 ³ | 3,6 | 1 | 860 | 0,06 | 0,12 |
| 1 kcal | 4.200 | 4,2•10 ⁻³ | 1,16•10 ⁻³ | 1 | 10 ⁻⁴ | 1,43•10 ⁻⁴ |
| 1 kgoe | 41,9•10 ⁶ | 41,9 | 11,63 | 10.000 | 1 | 1,43 |
| 1 kg SKE | 29,3•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 Pferdemit | 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 VERHÄLTNISSAHLEN 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 METHANAUSSBEUTE (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 |
| Futtermübe | 5.680 |
| Ackergräfersilage | 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 | mg/m ³ , n | mg/m ³ , n | mg/m ³ , n | 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