Thermische Anlagen I

Lehrveranstaltung im Lehrgang “Zertifizierter Energietechniker“
an der HTL Wiener Neustadt und am Studien- & Technologie Transfer Zentrum Weiz

Sommersemester 2022

Autor und Vortragender:

©Meister Forstwirtschaft Dipl.-Ing. Dr. techn. Peter Biermayr
ENFOS® Energie und Forst – Forschung und Service
Kontakt: office@enfos.at

Als Mitglied des Fachverbandes Ingenieurbüros vertreten bei

Inhalt

1. Klima- und Energieziele
2. Thermische Energie in Österreich
3. Grundlagen
4. Wärmetransport
5. Behaglichkeit
6. Heizlastrechnung
7. Gebäudeenergieausweis
8. Energiekennzahlen
9. Servicefaktor
10. Reboundeffekte
11. Thermovision

1. Klima- und Energieziele

Region	2020	2030	2050
Global	Klimaschutzabkommen von Paris 2015: max. +2,0°C (+1,5°C)		
EU	-20% THG Emission vs. 1990 (EH: -21%, NEH: -10% vs. 2005) 20% erneuerbare Energie 20% Effizienzsteigerung	-40% THG Emission vs. 1990 (EH: -43%, NEH: -30% vs. 2005) 32% erneuerbare Energie 32,5% Effizienzsteigerung	-80% ... -95% THG Emissionen (entspricht +2°C ... +1,5°C)
AT	-16% THG Emissionen (NEH, vs. 2005) 34% erneuerbare Energie max. 1050 PJ EEV	-36% THG Emissionen (NEH, vs. 2005) >45% erneuerbare Energie 100% erneuerbarer Strom -25% PE-Intensität (vs. 2015)	weitgehende Dekarbonisierung

Abkürzungen: THG...Treibhausgas, EH...Emissionshandel, NEH...Nicht-Emissionshandel, EEV...Endenergieverbrauch

Literatur:

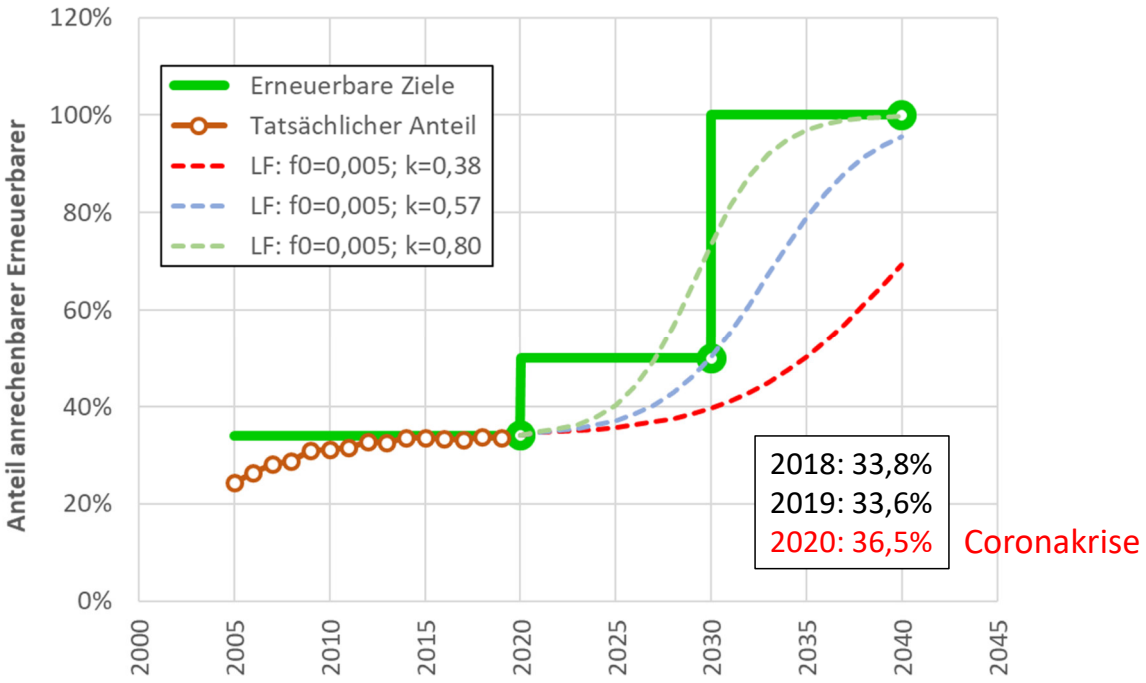
https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_de
https://www.oesterreich.gv.at/themen/bauen_wohnen_und_umwelt/klimaschutz/1/Seite.1000310.html
https://www.parlament.gv.at/PAKT/VHG/XXVI/III/III_00230/imfname_728628.pdf

ENFOS®

1. Klima- und Energieziele

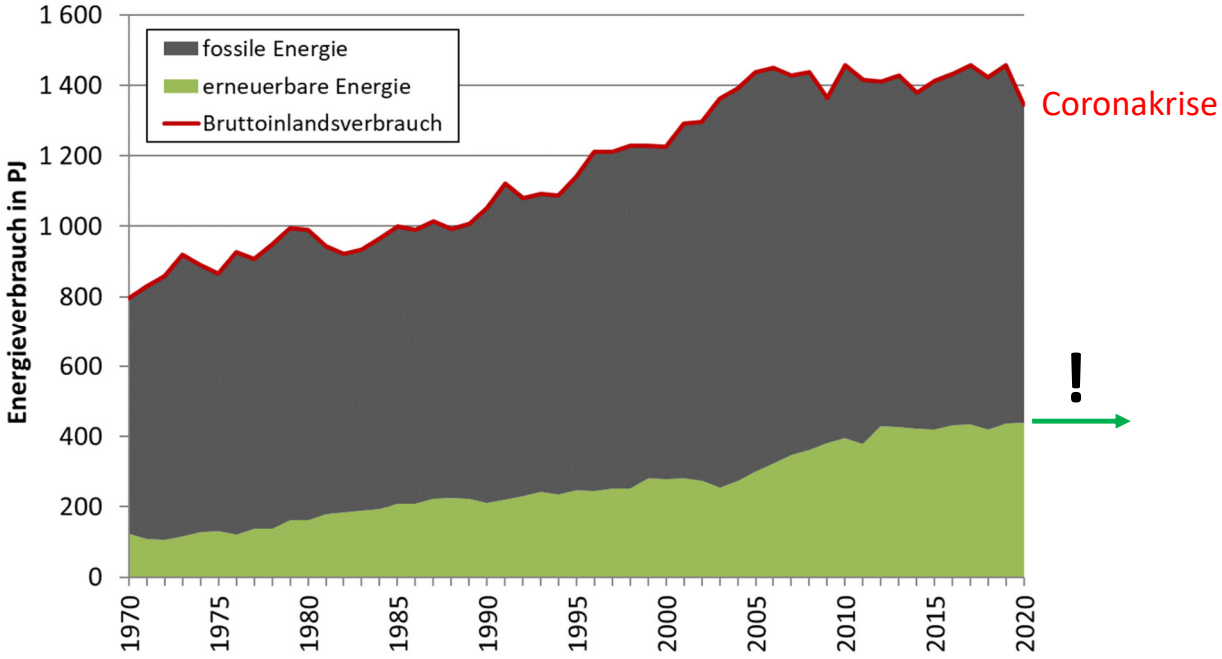
REBE II ATHU 26

Anteil anrechenbarer erneuerbarer Energie



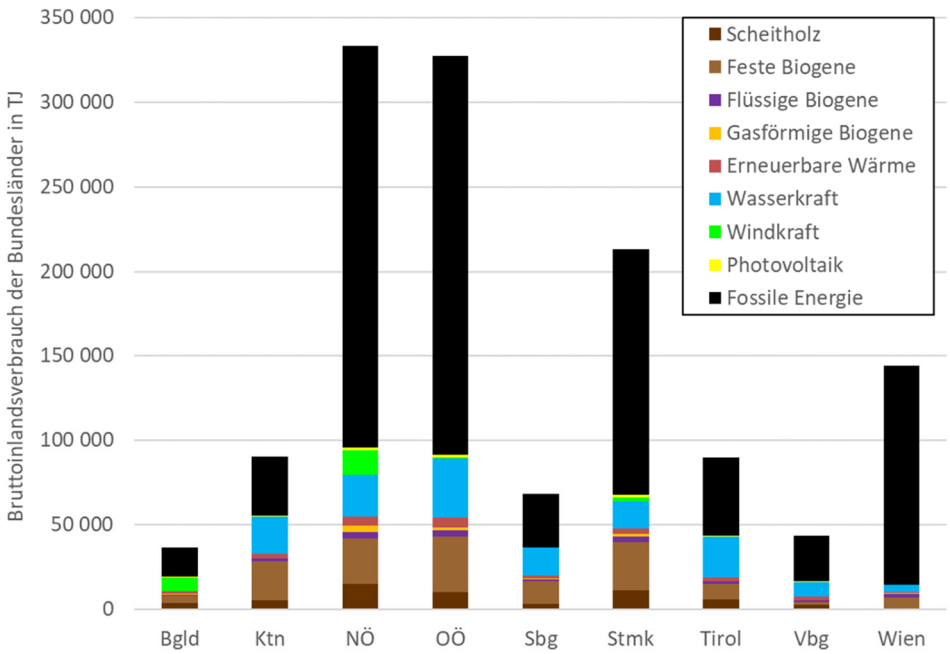
Datenquelle: Statistik Austria (2021), Energiebilanz https://www.statistik.at/
Berechnungen und Grafik: ENFOS®

Bruttoinlandsverbrauch in Österreich 1970-2020



Datenquelle: Statistik Austria (2021), Energiebilanz https://www.statistik.at/; Grafik: ENFOS®

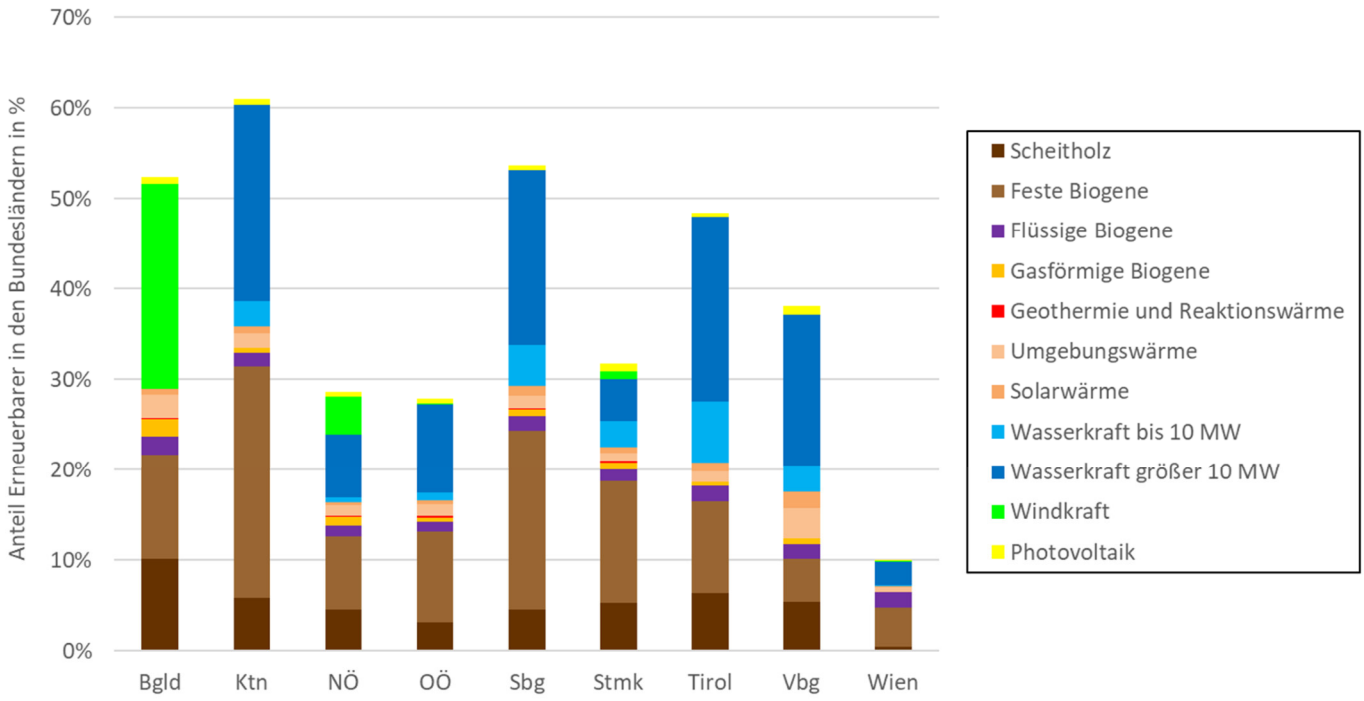
Bruttoinlandsverbrauch der Bundesländer in 2020



Datenquelle: Statistik Austria (2021), Energiebilanz https://www.statistik.at/; Grafik: ENFOS®

1. Klima- und Energieziele

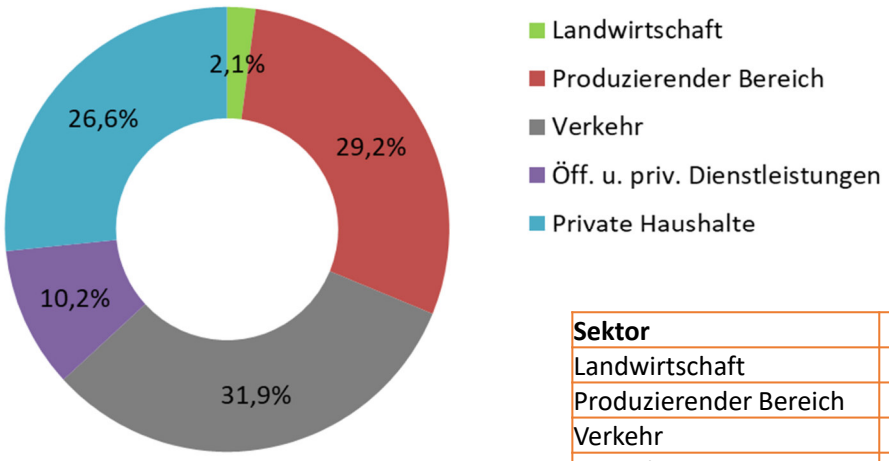
Anteil Erneuerbarer in den Bundesländern in 2020



Datenquelle: Statistik Austria (2021), Energiebilanz https://www.statistik.at/; Grafik: ENFOS®

2. Thermische Energie in AT

Sektoraler Endverbrauch in Österreich 2020



Sektor	PJ	Anteil
Landwirtschaft	22	2,1%
Produzierender Bereich	307	29,2%
Verkehr	336	31,9%
Dienstleistungen	108	10,2%
Private Haushalte	280	26,6%
Summe	**1 053**	**100,0%**

Datenquelle: Statistik Austria (2021), Energiebilanz, https://www.statistik.at/; Grafik: ENFOS®

Nutzenergiebilanz Österreich 2020

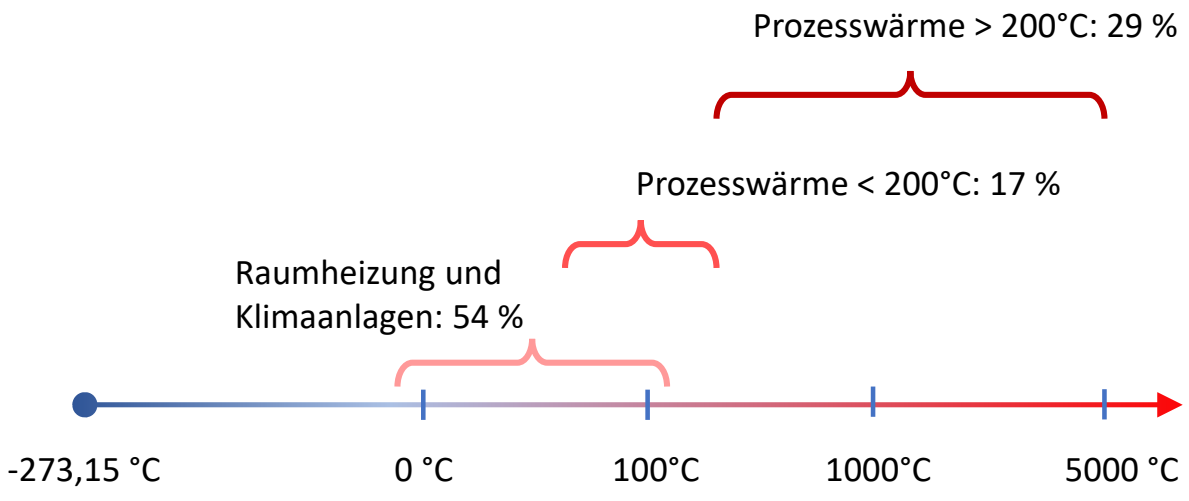
Energetischer Endverbrauch 2020 nach Energieträgern und Nutzenergiekategorien

Datenquelle: Statistik Austria (2021), https://www.statistik.at/

ÖSTERREICH GESAMT	Raumtemperatur und Warmwasser	Prozesswärme <200 °C	Prozesswärme >200 °C	Standmotoren	Verkehr	Beleuchtung und EDV	Elektrochemie	Summe
	in Terajoule							
Steinkohle	313	2 653	2 290	0	4	0	0	**5 260**
Braunkohle	213	0	1 332	0	0	0	0	**1 545**
Koks	293	0	7 305	0	0	0	0	**7 598**
Petrolkoks	0	90	631	0	0	0	0	**720**
Heizöl	483	383	612	0	0	0	0	**1 478**
Gasöl für Heizzwecke	40 633	237	4 413	0	0	0	0	**45 283**
Diesel	0	4	3	9 308	238 756	0	0	**248 072**
Benzin	0	0	0	274	54 537	0	0	**54 811**
Petroleum	0	0	0	0	13 967	0	0	**13 967**
Flüssiggas	1 663	18	976	130	128	0	0	**2 916**
Erdgas	79 815	49 062	53 574	2 308	9 300	6	0	**194 064**
Elektrische Energie	25 187	3 193	49 836	99 903	11 136	30 601	479	**220 334**
Fernwärme	60 600	2 648	8 685	0	0	0	0	**71 933**
Brennholz	51 999	97	5 412	0	0	0	0	**57 508**
Biogene Brenn- und Treibstoffe	23 009	33 750	14 244	274	17 383	0	0	**88 661**
Brennbare Abfälle	420	2 702	7 380	0	0	0	0	**10 501**
Sonstige ET	19 636	0	8 573	0	0	0	0	**28 209**
Umgebungswärme etc.	19 636	0	4 883	0	0	0	0	24 518
Gichtgas	0	0	876	0	0	0	0	876
Kokereigas	0	0	2 815	0	0	0	0	2 815
Brenntorf	0	0	0	0	0	0	0	0
Insgesamt	**304 264**	**94 836**	**165 264**	**112 197**	**345 211**	**30 607**	**479**	**1 052 858**
Anteilig	29%	9%	16%	11%	33%	3%	0%	100%

Temperaturniveaus der thermischen Energie

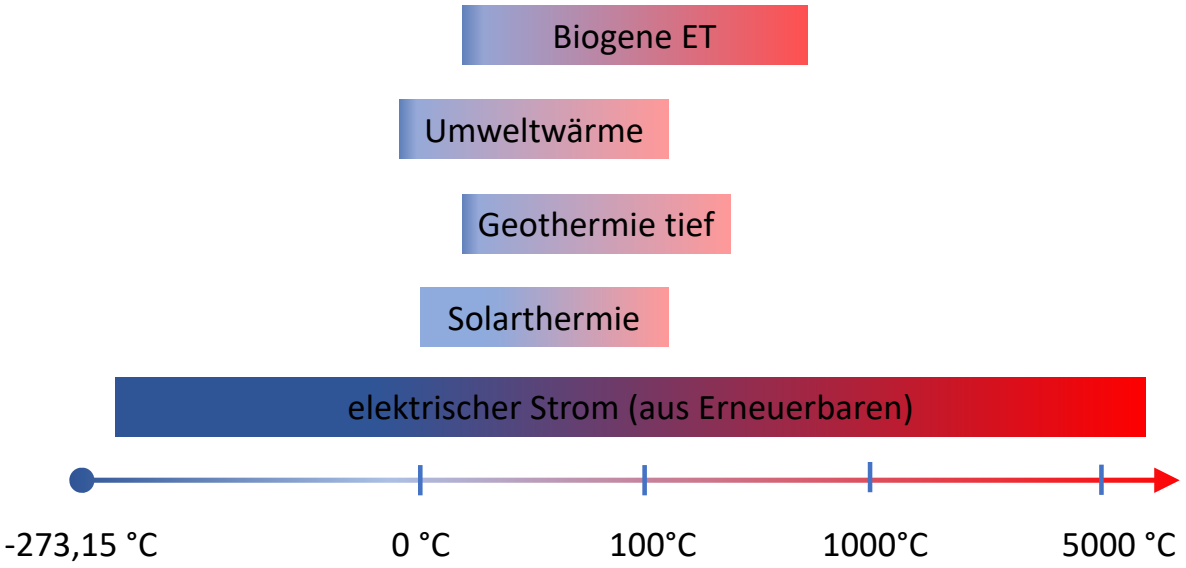
AT 2020: Σ = 564 PJ = 100 %



Datenquelle: Statistik Austria (2021), Nutzenergieanalyse

2. Thermische Energie in AT

Weshalb ist das Temperatur- bzw. Exergieniveau so wichtig?



Datenquelle: ENFOS®

3. Grundlagen

Definitionen:

Vielfache und Teile von Einheiten (SI-Dezimal-Präfixe nach DIN 1301)

Vielfache			Teile		
da	Deka	10^{1}	d	dezi	10^{-1}
h	hekto	10^{2}	c	centi	10^{-2}
k	kilo	10^{3}	m	milli	10^{-3}
M	Mega	10^{6}	µ	mikro	10^{-6}
G	Giga	10^{9}	n	nano	10^{-9}
T	Tera	10^{12}	p	piko	10^{-12}
P	Peta	10^{15}	f	femto	10^{-15}
E	Exa	10^{18}	a	atto	10^{-18}

Umrechnungsfaktoren für Energieeinheiten. Quelle: ENFOS®

Einheit	=	MJ	kWh	kg SKE	kg ÖE	Mcal
MJ	*	1	0,278	0,034	0,024	0,239
kWh		3,6	1	0,123	0,0859	0,86
kg SKE		29,31	8,14	1	0,7	7,0
kg ÖE		41,868	11,63	1,43	1	10,0
Mcal		4,187	1,163	0,143	0,1	1

Definitionen:

	Arbeit, Energie, Wärmemenge	Leistung, Wärmestrom
Zeichen:	W_{therm}, Q, (E)	P, $\dot{Q}$, q
Einheit:	Joule (1J = 1Ws) kWh (1kWh = 3,6 MJ) $1J=1Ws=1Nm=1kgm^2/s^2$	Watt (1W=1J/s)
konkret:	Heizwärmebedarf HWB (kWh/a) Heizwärmeverbrauch HWV (kWh/a)	Heizlast (kW) (z. B. bei T_{na}= -14°C) Kesseldimensionierung

!

☞ Erklären Sie den Unterschied zwischen "Arbeit" und "Leistung" anhand von Beispielen aus dem täglichen Leben!

☞ Was ist der Unterschied zwischen "Bedarf" und "Verbrauch"?

Heizwert H_i ($H_{inferior}$, historisch H_u) (kJ/kg, kJ/m³)

maximal nutzbare Verbrennungswärme ohne Kondensation von Wasserdampf

Brennwert H_s ($H_{superior}$, historisch H_o) (kJ/kg, kJ/m³)

maximal nutzbare Verbrennungswärme mit Kondensation von Wasserdampf

Reaktionsgleichung Methanverbrennung:

$$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$$

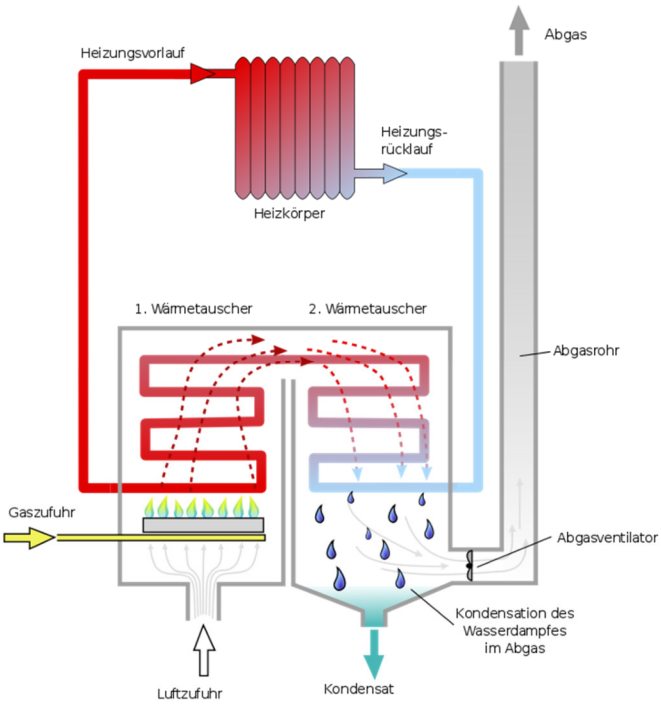
Möglich bei allen Kohlenwasserstoffen:

Erdgas: Hs/Hi = ca. 1,10
Heizöl: Hs/Hi = ca. 1,07
Holz: Hs/Hi = ca. 1,06 – 1,20 (Holzfeuchte=Problem!)

☞ **Kohlenstoff (Graphit): ? H_s/H_i = 1 ☺**

Lit.: Recknagel (2018), Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik, 79. Ausgabe 2019/2020

Funktionsprinzip Brennwertkessel



Etabliert bei:
Ölkessel
Gaskessel
Pelletskessel

Vorteil:
Hoher Wirkungsgrad

Randbedingung:
Niedrige Rücklauftemperatur erforderlich

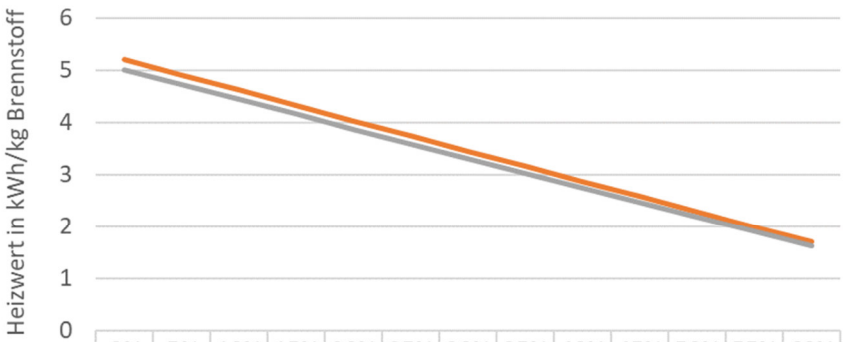
Bildnachweis: https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Brennwert.svg,
Urheber: Benutzer Kino; Prinzip des Brennwertgerätes;

Beispiele für Heizwerte und Brennwerte

Brennstoff	Heizwert H_i (MJ/kg)	Brennwert H_s (MJ/kg)
Holz (waldfrisch)	6,8	-
Holz (lufttrocken)	14,4-15,8	-
Holzpellets	18,0-18,7	18,8-19,5
Hausmüll	2,5-12,0	?
Braunkohle	19,0-21,6	-
Steinkohle	25,0-32,7	-
Benzin	40,1-41,8	42,7–44,2
Diesel/Heizöl EL	42,6	45,4
Wasserstoff	120,0	141,8
Erdgas	32,0-45,0	36,0-50,0
Methan	50,0	55,5

Quelle: Recknagel (2018) und https://de.wikipedia.org/wiki/

Heizwert von Brennholz
(in Abhängigkeit des Wassergehaltes)



	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%
Nadelholz	5,2	4,9	4,6	4,3	4,0	3,7	3,5	3,2	2,9	2,6	2,3	2,0	1,7
Laubholz	5,0	4,7	4,4	4,2	3,9	3,6	3,3	3,0	2,7	2,5	2,2	1,9	1,6

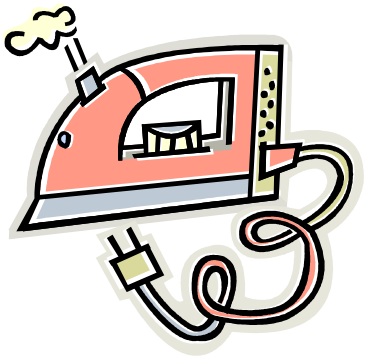
Wassergehalt 50 % bedeutet: 1 kg feuchtes Holz besteht aus 0,5 kg absolut trockenem Holz plus 0,5 kg Wasser. Dies kommt mitunter bei frisch geschlägertem Holz vor.
Anmerkung: Verdampfungswärme des Wasser: 2257 kJ/kg = 0,627 kWh/kg

Quelle: ENFOS®

Wo steckt 1 Kilowattstunde drin?
(Heizwert H_i)

- 110 Liter Erdgas (bei Normdruck)
- 0,13 kg Kohle
- 0,25 kg Holz (20 % Restfeuchte)
- 0,10 Liter Diesel oder Heizöl
- 0,11 Liter Benzin
- 0,16 Liter Ethanol (Spiritus)

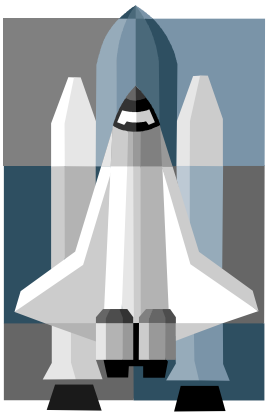
Was steckt in 1 Kilowattstunde?



1000 kg Wasser um ? °C erwärmen

0,86 K

$\Delta T = \Delta Q / (c_m * m)$



1000 kg um ? Meter heben

367 m

$\Delta h = \Delta E_{pot} / (m * g)$

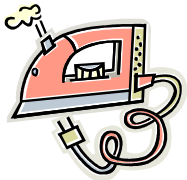
1000 kg auf ? km/h beschleunigen

305 km/h

$\Delta v = (2 \Delta E_{kin} / m)^{0,5}$

Quelle: ENFOS®

Was steckt in 1 Kilowattstunde?



Spezifische Wärmekapazität c in kJ/(kg*K)	
Aluminium	0,896
Eisen	0,452
Kupfer	0,382
Vollziegel	0,840
Beton	0,880
Granit	0,790
Gips	1,090
Fensterglas	0,840
Marmor	0,880
Holz (15% Feuchte)	1,700
Wasser (20 °C)	4,182
Luft (c_p)	1,005

$$\Delta Q = c_m * m * \Delta T$$

$$\Delta T = \frac{\Delta Q}{c_m * m} =$$

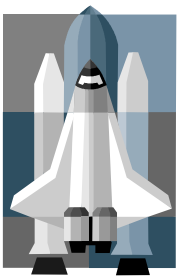
$$= \frac{1kWh * kg * K}{4,182kJ * 1000kg} =$$

$$= \frac{3,6MJ * kg * K}{4,182kJ * Mg} = 0,86\mathrm{K}$$

Quelle: ENFOS®

Was steckt in 1 Kilowattstunde?

$$\Delta E_{pot} = m * g * \Delta h$$



Tipp: 1J=1kgm²/s²

$$\Delta h = \frac{\Delta E_{pot}}{m * g} =$$

$$= \frac{1kWh * s^2}{10^3 kg * 9,81m} =$$

$$= \frac{3,6MJ * s^2}{9,81 * Mg * m} =$$

$$= \frac{3,6Gg * m^2 * s^2}{9,81 * Mg * m * s^2} = 367\text{m}$$

Quelle: ENFOS®

Was steckt in 1 Kilowattstunde?

$$\Delta Ekin = \frac{m * \Delta v^2}{2}$$

v_0=0 (!)

Tipp: 1J=1kgm²/s²

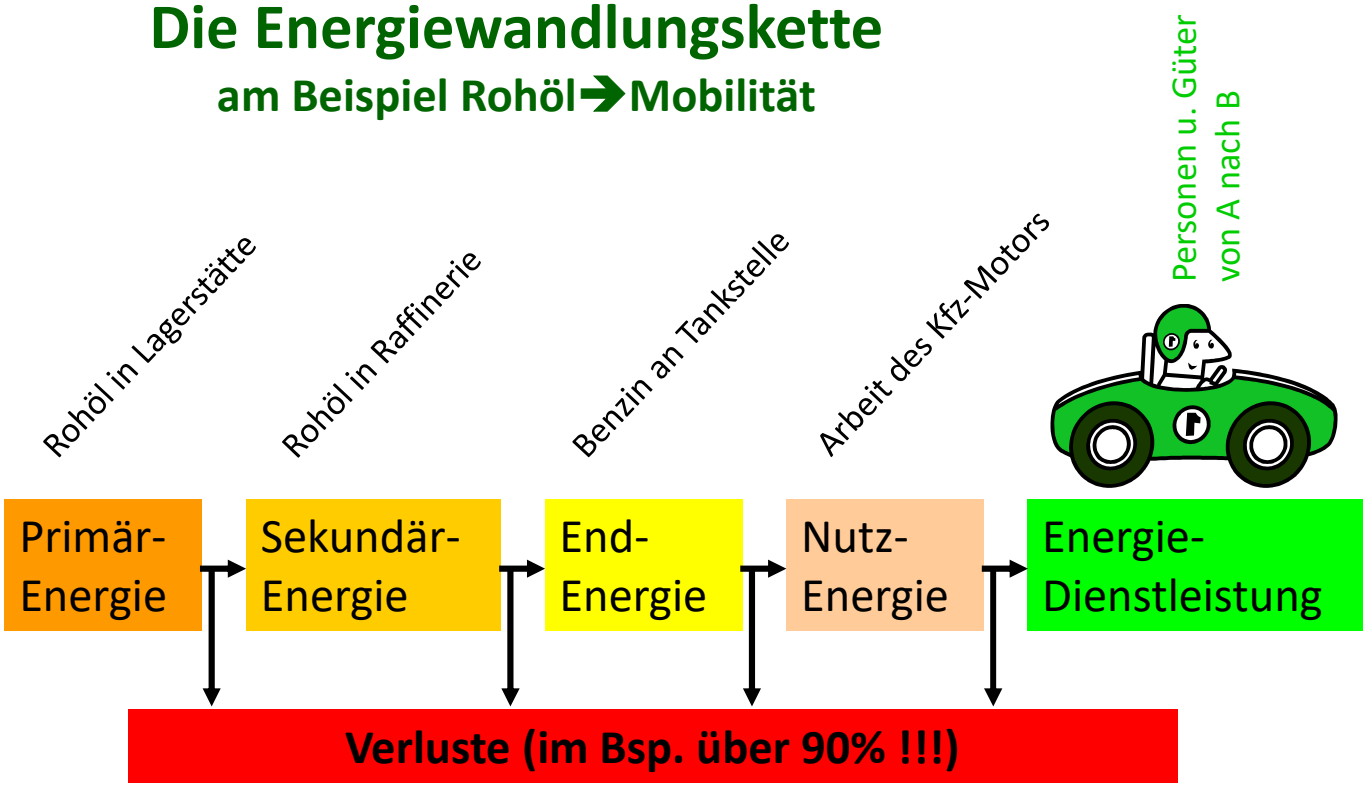
$$\Delta v = \sqrt{\frac{2 * Ekin}{m}} =$$

$$= \sqrt{\frac{2kWh}{Mg}} = \sqrt{\frac{2 * 3,6MJ}{Mg}} =$$

$$= \sqrt{\frac{2 * 3,6Gg * m^2}{Mg * s^2}} = 84,8\frac{m}{s} = 305\frac{km}{h}$$

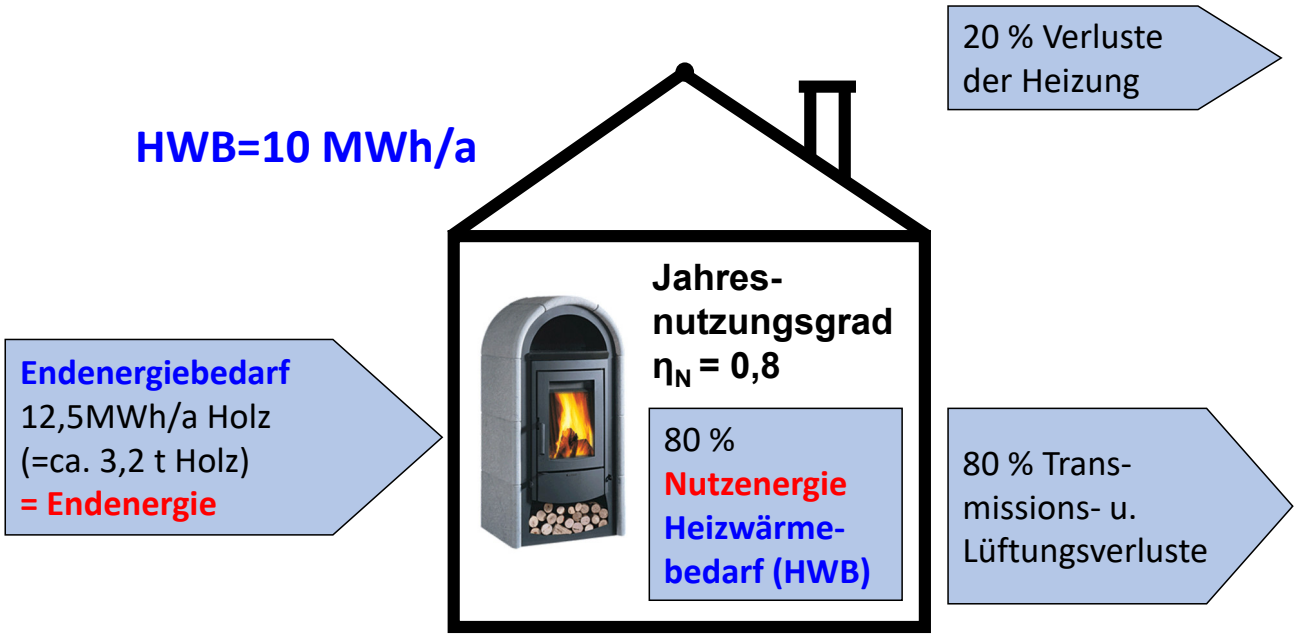
Quelle: ENFOS®

Die Energiewandlungskette
am Beispiel Rohöl→Mobilität



Quelle: ENFOS®

Endenergie und Nutzenergie am Beispiel Heizenergie



Quelle: ENFOS®

Energiedienstleistung = Technologie x Energie

Personen u. Güter von A nach B

Investitionskosten

Technologieeffizienz
(im Bsp. Liter Treibstoff/100km)

Endenergieeinsatz
(im Bsp. Benzin)

Betriebskosten

x

Energie-Dienstleistung

Gesamtkosten

Quelle: ENFOS®

Energiesysteme: Planung in 3 Schritten

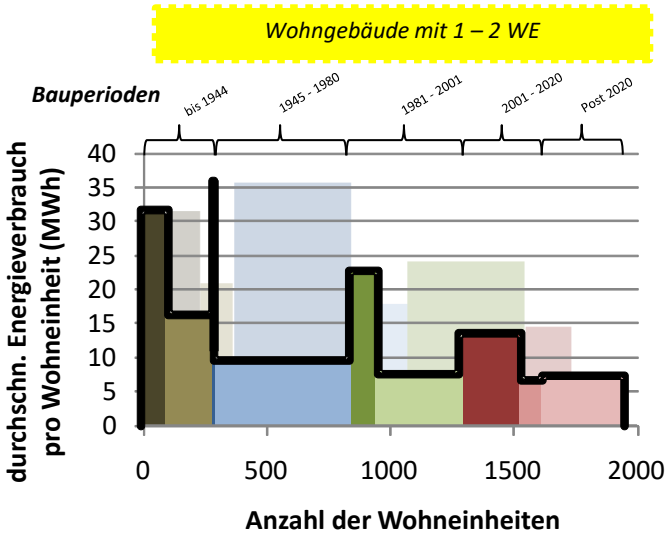
1. Wahl eines sinnvollen Energiedienstleistungsniveaus
2. Realisierung der bestmöglichen Energieeffizienz
3. Deckung des Restenergiebedarfes mit Erneuerbaren

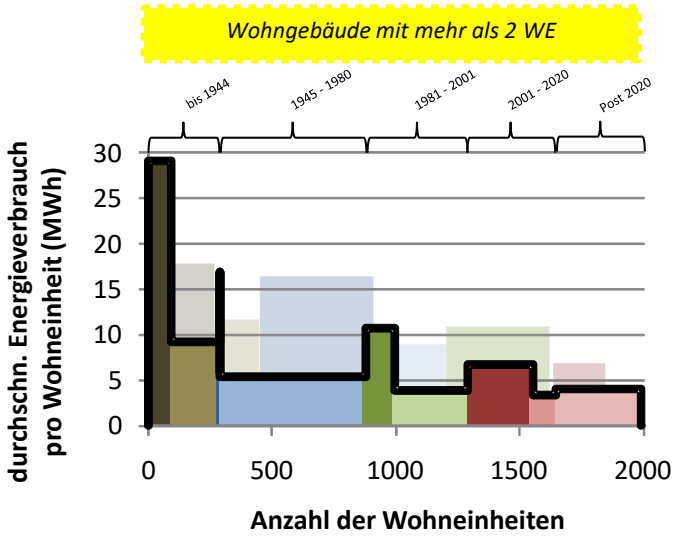
langfristig gesellschaftlich

Quelle: ENFOS®

Muss 2050 noch geheizt werden?

Energieverbrauch für Raumwärme und Warmwasser:





Flächen entsprechen den Energieverbräuchen

Quelle: TU-Wien, Energy Economics Group, Projekt "Heizen 2050"

Antwort: Ja!

Wärmetransportmechanismen

- **Wärmeleitung**: fest, flüssig, gasförmig (ruhende Stoffe)
  .) Bsp.: Transmissionsverluste beim Gebäude
- **Konvektion**: flüssig, gasförmig (bewegt, stofflicher Transport)
  .) Bsp.: Wärmeverteilsysteme
- **Wärmestrahlung**: auch im Vakuum, als elektromagnetische Welle
  .) Bsp.: Kachelofen, Deckenheizung,...

Wärmeleitung
(Spezialfall planparallele Platte ohne Randeffekte)

Fouriersches Gesetz (1822)

$$\dot{Q} = \frac{\lambda}{d} * A * (T_1 - T_2)$$

$\dot{Q}$ übertragene Wärmeleistung [W]
λ Wärmeleitfähigkeit [W/(m*K)]
d Dicke der Schicht [m]
A betrachtete Fläche [m²]
T_1 Temperatur der wärmeren Begrenzungsfläche [K]
T_2 Temperatur der kälteren Begrenzungsfläche [K]
●! Näherung gilt nur für l»d und b»d wenn A=l*b

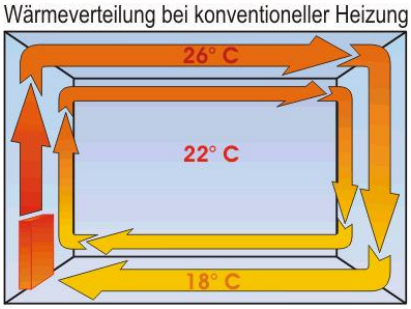
Lit.: Recknagel (2018), Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik, 79. Ausgabe 2019/2020

Konvektion
(Spezialfall: Luft im Gebäude)

$$\dot{Q} = \alpha_K * A * (T_W - T_F)$$

$\dot{Q}$ übertragene Wärmeleistung [W]
α_K Wärmeübergangskoeffizient [W/(m²*K)]
A betrachtete Fläche [m²]
T_W Temperatur der Heizfläche [K]
T_F Temperatur des Fluids [K]

kritische Aspekte:
- Temperaturverteilung
- Luftgeschwindigkeit
- Staubtransport
- übertragene Wärmeleistung



Lit.: Recknagel (2018), Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik, 79. Ausgabe 2019/2020

Wärmestrahlung

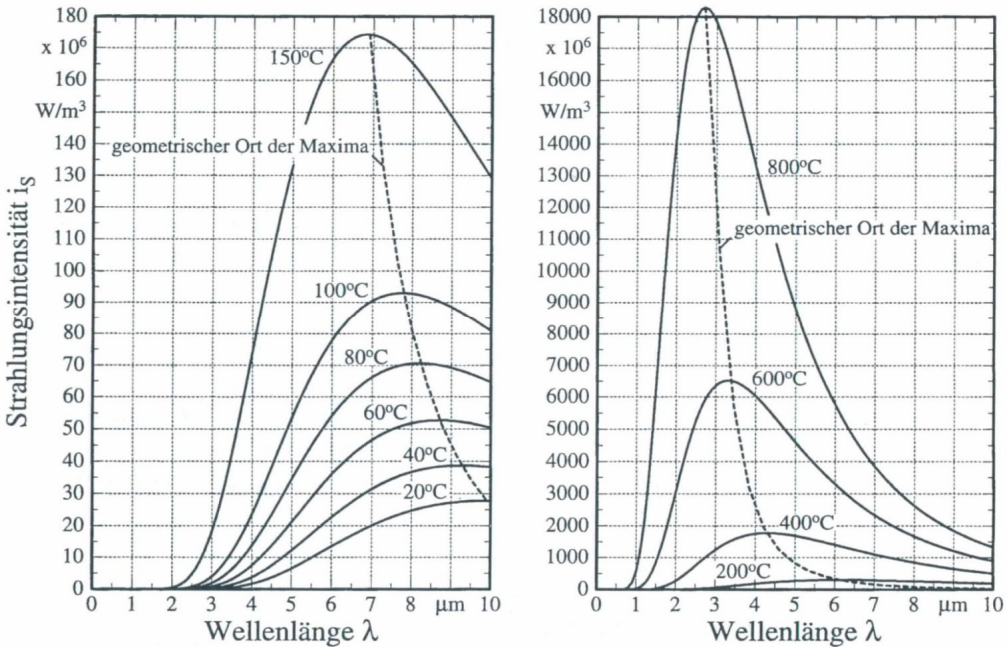
Boltzmannsches Strahlungsgesetz:

$$\dot{E}_S = \varepsilon * \sigma * T^4 * A$$

$\dot{E}_S$ Gesamtstrahlungsleistung [W]
ε Emissionsgrad: Werte von 0 (perfekter Spiegel) bis 1 (idealer Schwarzer Körper) [1]
σ Boltzmannsche Strahlungskonstante = $5{,}67 * 10^{-8}$ W/($m^2 * K^4$)]
T Absolute Temperatur der strahlenden Fläche [K]
T [K] = 273,15 + T [°C]
A Strahlende Fläche [m^2]

Lit.: Recknagel (2018), Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik, 79. Ausgabe 2019/2020

Wärmestrahlung



Strahlungsintensität des schwarzen Körpers
(Wärmestromdichte je Wellenlängeneinheit; vgl. sichtbares Licht: 380-750nm)

Lit.: Recknagel (2018), Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik, 79. Ausgabe 2019/2020

Wärmestrahlung

Übungsbeispiel: Welche Oberflächentemperatur in °C muss ein Kachelofen mit 5m² strahlender Oberfläche haben, um einen Raum mit einem Leistungsbedarf von 3 kW rein über die Strahlungsleistung beheizen zu können? Der Emissionsgrad aller Bauteile ist 1. Deckt sich das Ergebnis mit der praktischen Anschauung?

$$\dot{E}_S = \varepsilon * \sigma * T^4 * A$$

$$\rightarrow T = \sqrt[4]{\frac{\dot{E}_S}{\varepsilon * \sigma * A}} = \sqrt[4]{\frac{3000W}{1 * 5{,}67*10^{-8}\ W/(m^2*K^4) * 5m^2}} =$$

$$= 320{,}7K = 47{,}6°C$$

Quelle: ENFOS®

Wärmestrahlung

Übungsbeispiel: Ein Schmied schmiedet einen blanken Eisenwürfel mit 2 cm Seitenlänge mit einer Leistung von 100 Watt. Welche Temperatur erreicht der Würfel, wenn sein Emissionsgrad 0,3 ist und der Wärme-Abtransport mittels Konvektion und Transmission vernachlässigt wird. Deckt sich das Ergebnis mit der praktischen Anschauung? Sind Konvektion und Transmission tatsächlich vernachlässigbar? Ersetzen Sie den Schmied durch eine Kerzenflamme.

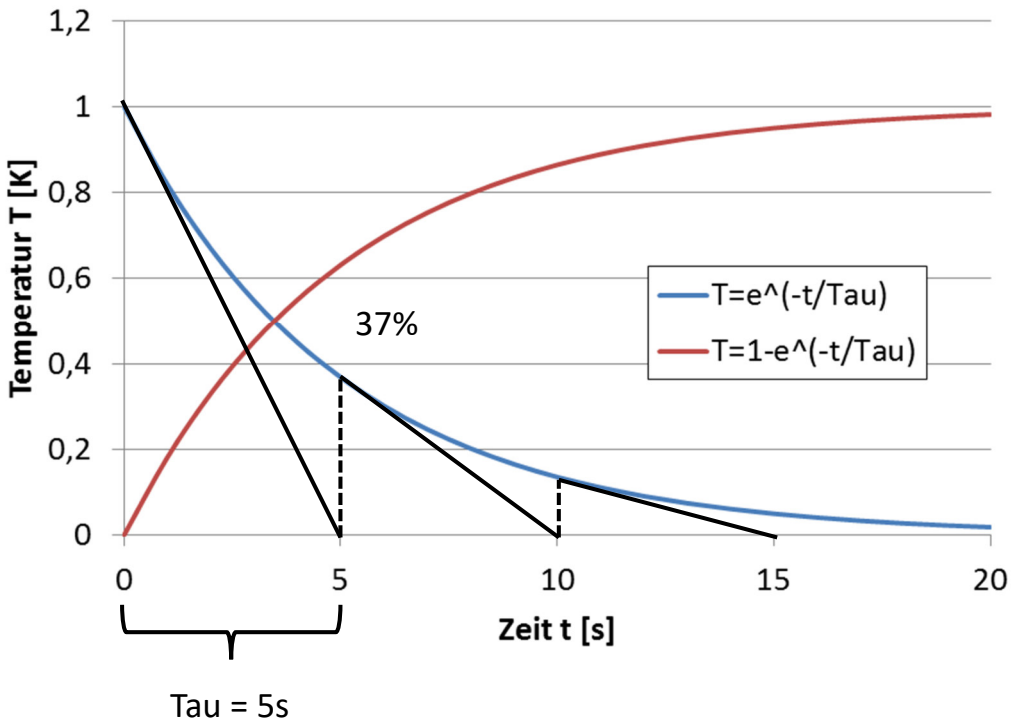
$$\dot{E}_S = \varepsilon * \sigma * T^4 * A$$

$$\rightarrow T = \sqrt[4]{\frac{\dot{E}_S}{\varepsilon * \sigma * A}} = \sqrt[4]{\frac{100W}{0{,}3 * 5{,}67*10^{-8}\ W/(m^2*K^4) * 0{,}0032m^2}} =$$

$$= 1251K = 978°C$$

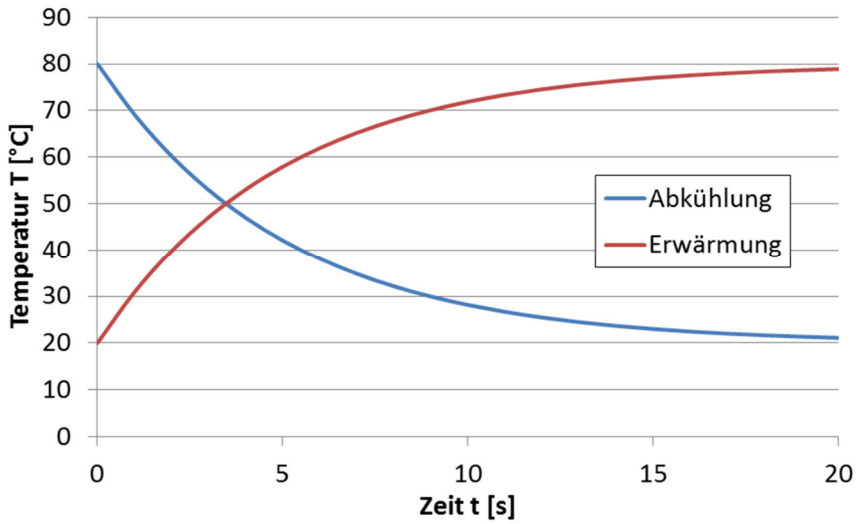
Quelle: ENFOS®

Erwärmungs- und Abkühlvorgänge



Quelle: ENFOS®

Erwärmungs- und Abkühlvorgänge



$$T = T_\infty + (T_0 - T_\infty) * e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Im Bsp.:
Erwärmung: T_0=20°C, T_∞=80°C, τ=5s
Abkühlung: T_0=80°C, T_∞=20°C, τ=5s

Quelle: ENFOS®

Erwärmungs- und Abkühlvorgänge

$$\tau = R_{th} * C_{th} \quad [s]$$

$$R_{th} = \frac{l}{\lambda * A} \quad [K/W]$$

$$C_{th} = c_v * V \quad [J/K]$$

τ	(thermische) Zeitkonstante
R_{th}	Wärmewiderstand
C_{th}	Wärmekapazität
l	Dicke, z.B. einer Isolation
λ	spez. Wärmeleitfähigkeit
A	Fläche
c_v	volumsspez. Wärmekapazität
V	Volumen des Körpers

Quelle: ENFOS®

Erwärmungs- und Abkühlvorgänge

Übungsbeispiel: Ein wassergefüllter zylinderförmiger Pufferspeicher aus 3 mm dickem Stahlblech mit 1 m lichtem Durchmesser und 2 m lichter Höhe ist mit Wasser gefüllt und mit einer 10 cm dicken Hülle aus Glaswolle isoliert. Der Pufferspeicher wird auf 90°C aufgeladen. Der Wärmewiderstand des Stahlblechs wird vernachlässigt. Wie lange dauert es bei einer Umgebungstemperatur von 10°C, bis der Pufferspeicher auf 40 °C abgekühlt ist? Können die Wärmekapazitäten des Stahlblechs bzw. der Isolierung vernachlässigt werden?

c_{Wasser} = 4,2 kJ/(kg*K)

c_{Stahl} = 0,45 kJ/(kg*K)

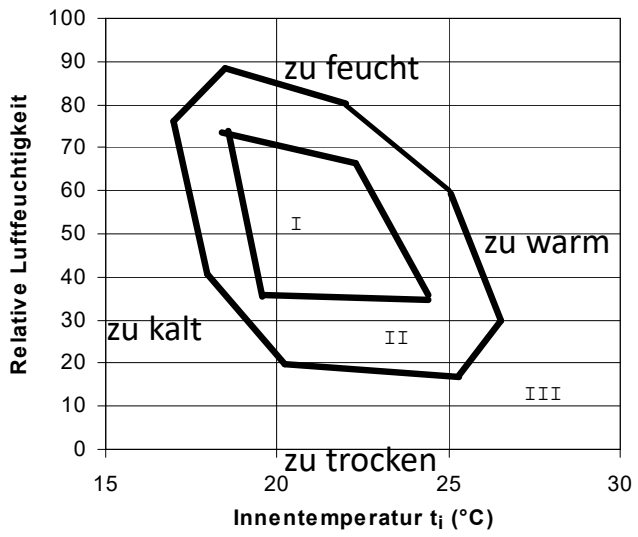
$c_{Glaswolle}$ = 0,8 kJ/(kg*K)

$\lambda_{Glaswolle}$ = 0,04 W/(m*K)

ρ_{Stahl} = 7800 kg/m^3

$\rho_{Glaswolle}$ = 40 kg/m^3

Physiologische Aspekte



I.....behaglich, II.....erträglich, III.....unbehaglich

Einflussfaktoren:

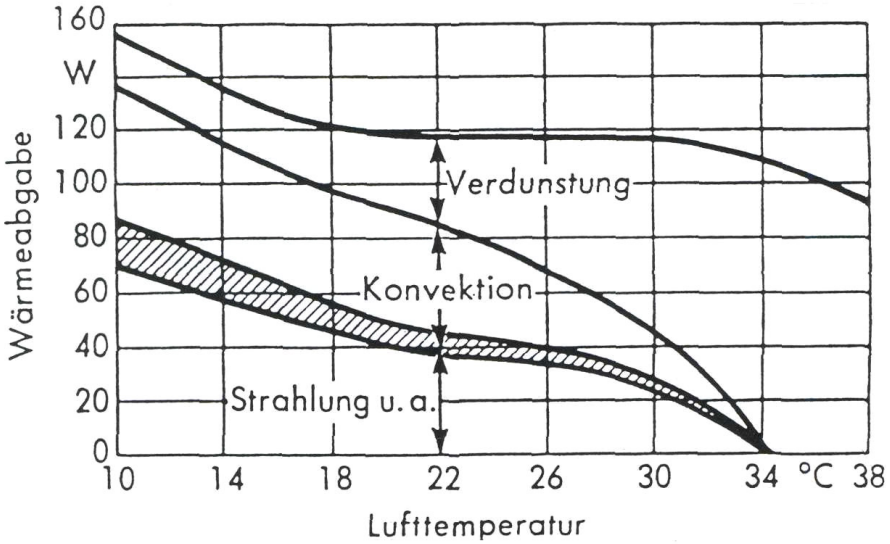
- Raumlufttemperatur
- Wandtemperatur
- (=Strahlungsumfeld)
- Luftfeuchte
- Luftbewegung
- Kleidung
- Tätigkeit
- Körpergewicht
- Muskelmasse

Wärmeabgabe Mensch
(DIN ISO 7730)

- ruhend: 80W
- leichte Tätigkeit: 125W
- mäßige Tätigkeit: 200W
- schwere Arbeit: 300W

Lit.: Recknagel, Sprenger, Schramek (2000): Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik

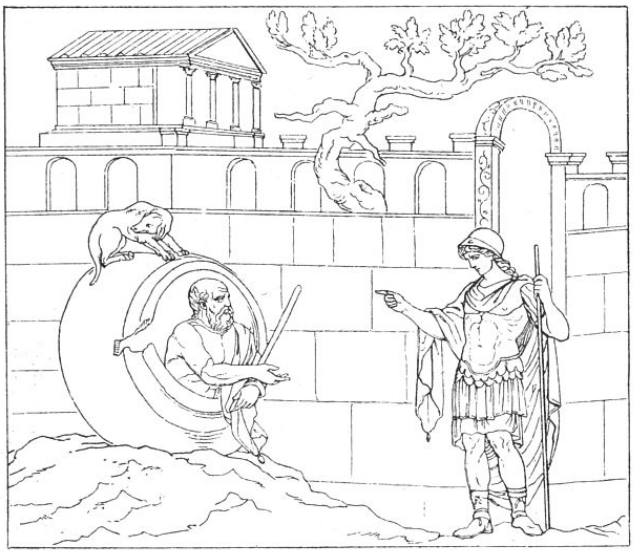
Die empfundene Behaglichkeit ist subjektiv und individuell



Wärmeabgabe des normal bekleideten Menschen ohne körperlicher Tätigkeit bei ruhender Luft

Lit.: Recknagel, Sprenger, Schramek (2000): Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik

Die Heizlastrechnung



"Geh mir aus der Sonne."
Diogenes von Sinope zu Alexander dem Großen

Beispiele für thematisch relevante Normen

Österreichische Wärmeschutznormen

ÖNORM B 8110-1	Wärmeschutz im Hochbau – Anforderungen an den Wärmeschutz und Deklaration des Wärmeschutzes von Gebäuden
ÖNORM B 8110-5	Wärmeschutz im Hochbau – Klimamodell und Nutzungsprofile
ÖNORM B 8110-6	Wärmeschutz im Hochbau – Grundlagen und Nachweisverfahren - Heizwärmebedarf und Kühlbedarf

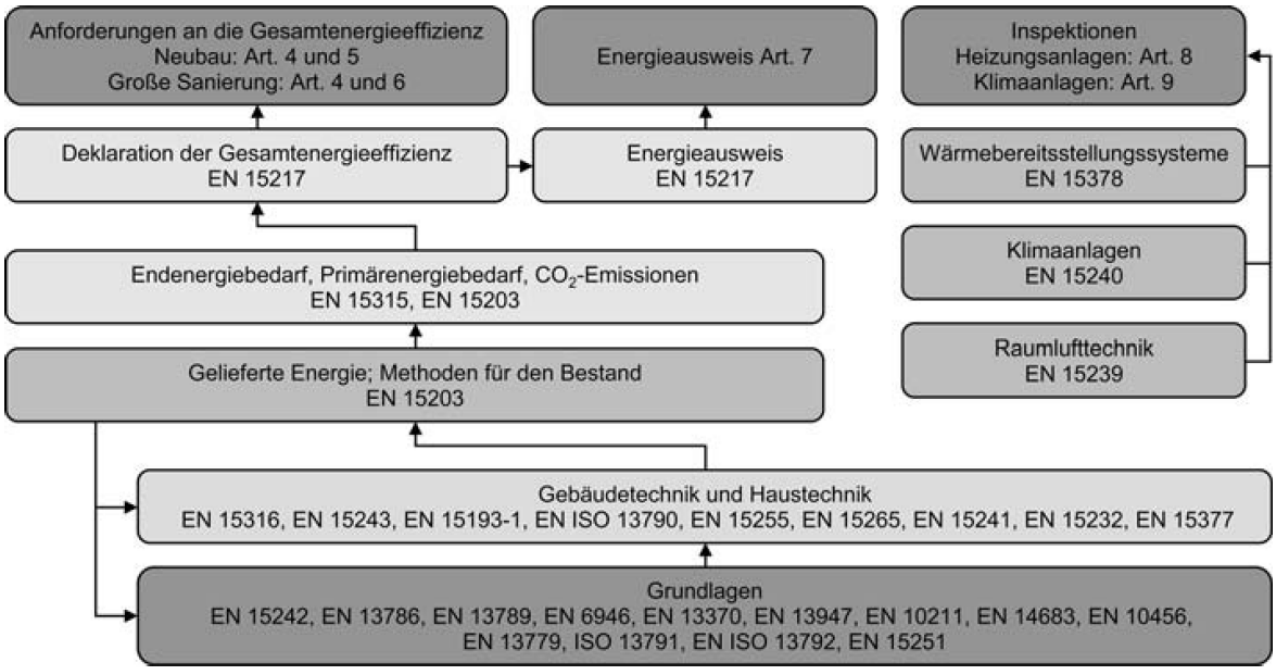
Österreichische Gesamtenergieeffizienz-Normen

ÖNORM H 5055	Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden – Energieausweis
ÖNORM H 5056	Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden – Heiztechnikenergiebedarf
ÖNORM H 5057	Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden – Raumlufttechnikenergiebedarf
ÖNORM H 5058	Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden – Kühltechnikenergiebedarf
ÖNORM H 5059	Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden – Beleuchtungsenergiebedarf

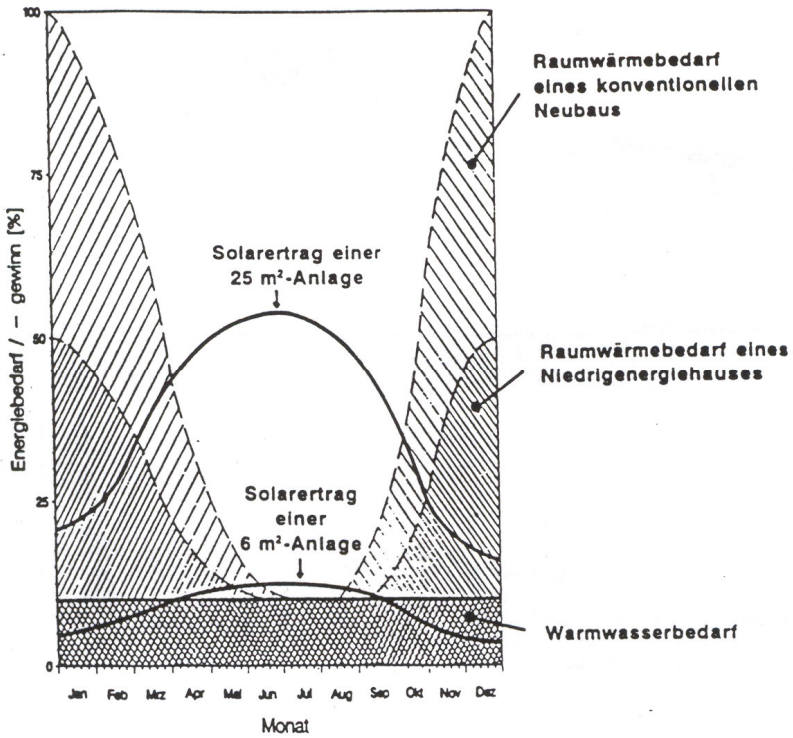
Weiters relevant:
ÖNORM B 8135 (Vereinfachte Heizlastberechnung von Gebäuden)
ÖNORM M 7500 (Heizlast von Gebäuden)

Normen

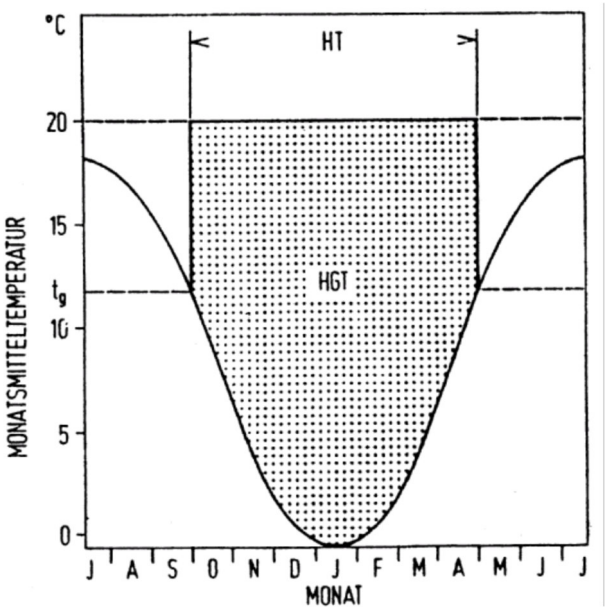
Struktur der europäischen Normung



Energiebilanzen in der (mittel)europäischen Klimazone



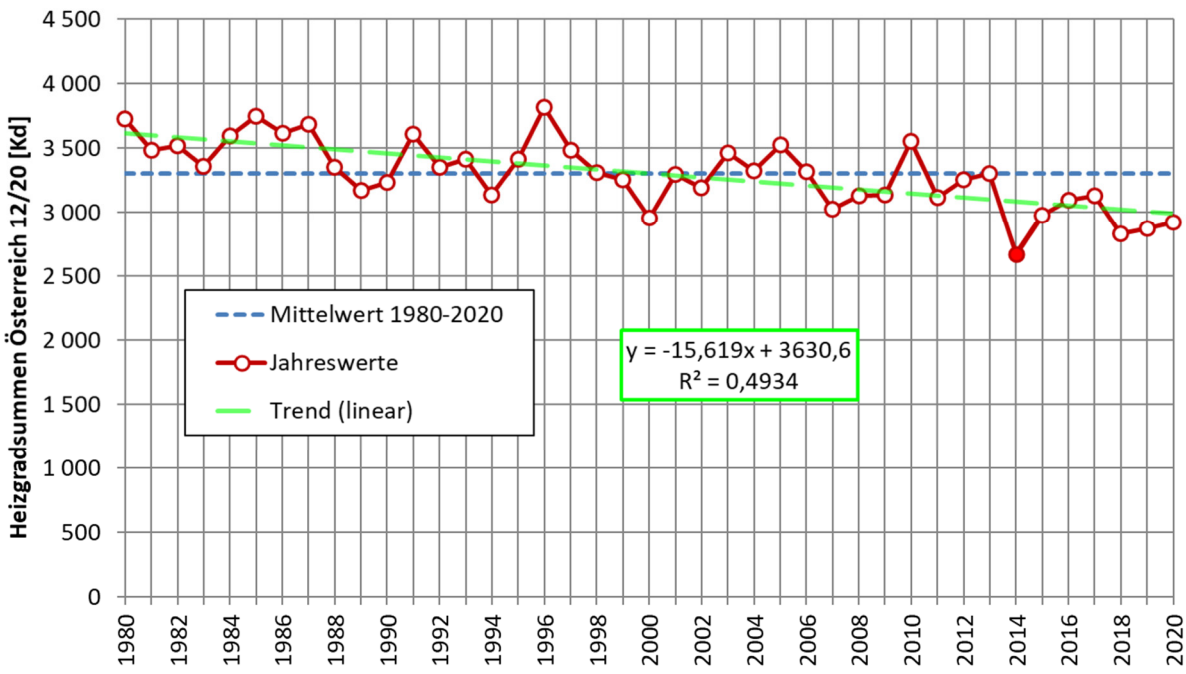
Klimakennzahl: Heizgradtage



Heiztage: HT_{12} [d]
Heizgradtage: $HGT_{20/12}$ [K*d]
(ÖNORM B 8135)

z. B. Wiener Neustadt:
Seehöhe: 265m
Normaußentemperatur -14°C
$HGT_{12/20}$ = 3235 Kd

Heizgradsummen – langfristige Entwicklung



Datenquelle: Statistik Austria; Grafik: ENFOS®

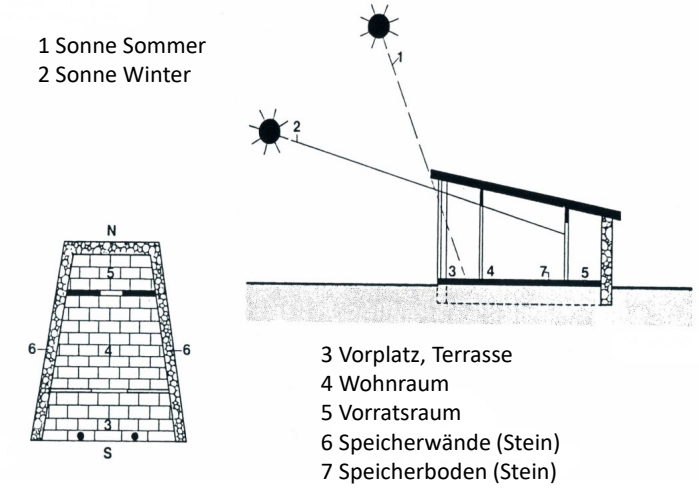
Gebäude-Energiebilanz
(vereinfachte Betrachtung)

Heizwärmebedarf eines Gebäudes =

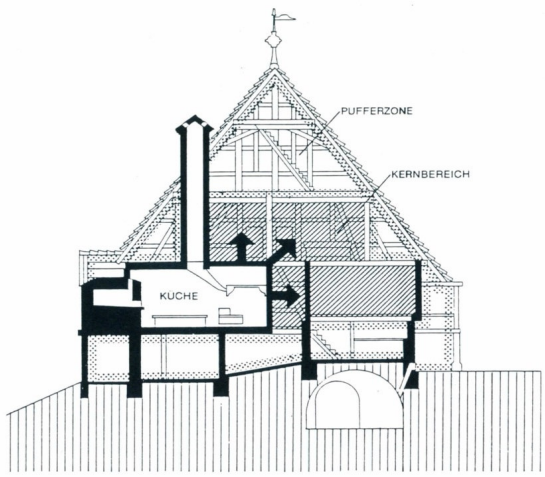
+ Transmissionswärmeverluste Q_T
+ Lüftungsverluste Q_L
- innere Gewinne Q_i
- solar passive Gewinne Q_S

Konstruktionsstrategien

gewinnmaximierend | **verlustminimierend**



Sonnenhaus des Sokrates
(469-397 v. Chr.)



Süddeutsches Bauernhaus

Lit. u. Bildnachweis.: Martin Treberspurg (1999) Neues Bauen mit der Sonne

verlustminimierende Bauweise

WH SamerMoesl
Foto: HeimatOesterreich

Wienerwaldvilla
Foto Doris Holler-Bruckner

Merkmale: kompakter Baukörper, geringes Oberflächen-Volumsverhältnis, geringer bis moderater Glasanteil;

Heizlastrechnung: vereinfachte Methoden sind hierfür und für alle Standardgebäude hinreichend!

Quelle.: http://www.bewusstkaufen.at/news/333/nachhaltig-wohnen.html

gewinnmaximierende Bauweise

Energybase Wien

Wohnhaus in Liebefeld

Merkmale: nicht notwendiger Weise kompakter Baukörper, variables Oberflächen-Volumsverhältnis, hoher nach Süden orientierter Glasanteil, Maßnahmen zur statischen/dynamischen Verschattung;

Heizlastrechnung: vereinfachte Methoden sind nicht hinreichend!

Quelle.: http://www.hausderzukunft.at/highlights/energybase.htm
bzw. http://www.sses.ch/178.html

Transmissionswärmeverluste

Wärmeleitfähigkeit λ [W/(m*K)] (=Materialkonstante)

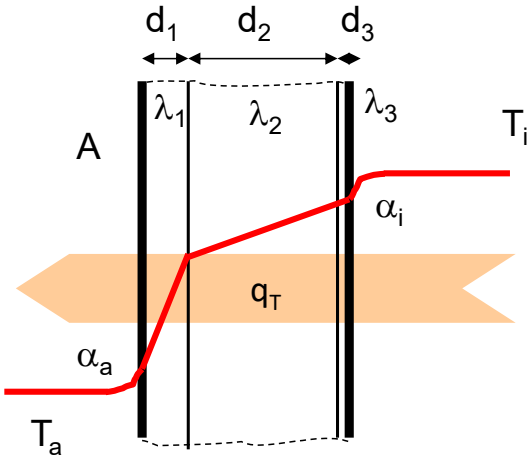
Wärmedurchgangszahl U [W/(m²*K)] (=Bauteilkennwert)
(ehemals "k-Wert")

Wärmewiderstand R [m²*K/W]

$$R = 1/U = 1/\alpha_i + 1/\alpha_a + \sum_{i=1}^{n} d_i/\lambda_i$$

$$q_T = A*U*(T_i-T_a) \quad [W] \quad \text{"Heizlast"}$$

$$Q_T = 0{,}024*q_T*HGT/(T_i-T_a) \quad [kWh]$$
"Heizwärmebedarf"



Wärmeübergangskoeffizienten

Gesamte Schichtkonstruktion sowie Verglasungen und Rahmen		Wärmefluß-richtung	$\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2}$ $(m^2 \cdot K \cdot W^{-1})$	Anwendungsformeln $(m^2 \cdot K \cdot W^{-1})$
Außenwand-bauteile	in Vollbauweise	horizontal	$\frac{1}{23{,}26} + \frac{1}{8{,}14} = 0{,}17$	$\frac{1}{k} = 0{,}17 + \Sigma D_i$
	mit Hinterlüftung	horizontal	$0{,}09 + \frac{1}{8{,}14} = 0{,}21$	$\frac{1}{k} = 0{,}21 + \Sigma D_i$
Innenwandbauteile		horizontal	$\frac{1}{8{,}14} + \frac{1}{8{,}14} = 0{,}25$	$\frac{1}{k} = 0{,}25 + \Sigma D_i$
Kaltdach hinterbelüftet		nach oben	$0{,}09 + \frac{1}{8{,}14} = 0{,}21$	$\frac{1}{k} = 0{,}21 + \Sigma D_i$
		nach unten	$0{,}09 + \frac{1}{5{,}82} = 0{,}26$	$\frac{1}{k} = 0{,}26 + \Sigma D_i$
Warmdachdecken; Decken über Durchfahrten, auf Stelzen u. dgl.		nach oben	$\frac{1}{23{,}26} + \frac{1}{8{,}14} = 0{,}17$	$\frac{1}{k} = 0{,}17 + \Sigma D_i$
		nach unten	$\frac{1}{23{,}26} + \frac{1}{5{,}82} = 0{,}22$	$\frac{1}{k} = 0{,}22 + \Sigma D_i$
Zwischengeschoßdecken; Decken unter Dachraum oder über geschlossenen Luftpolstern u. dgl.		nach oben	$\frac{1}{8{,}14} + \frac{1}{8{,}14} = 0{,}25$	$\frac{1}{k} = 0{,}25 + \Sigma D_i$
		nach unten	$\frac{1}{5{,}82} + \frac{1}{5{,}82} = 0{,}34$	$\frac{1}{k} = 0{,}34 + \Sigma D_i$

D_i . . . Wärmedurchlaßwiderstände der einzelnen Schichten
ΣD_i . . . Summe aller D_i der hintereinanderliegenden Schichten einer Konstruktion

Kennwerte typischer Baustoffe

Baustoff	Dichte ρ (kg/m³)	Wärmeleitfähigkeit λ W/m K)	Wärmespeicherzahl s (kJ/m³ K)	Spez. Wärme Kapazität cp KJ/kg K
Beton	2400	2,1	2304	0,96
Leichtbeton	1000	0,42	990	0,96
Gipsplatten	800	0,31	740	0,84
Glas (Fensterglas)	2400..3200	0,58..1,05	1875	0,75
Holz (senkrecht zur Faser, Fichte, Kiefer, Tanne	400.. 600	0,12.. 0,16	1000..1200	1,9
Holzfaserplatten	250	0,05	420	1,80
Kalkmörtel	1800	0,87	1728	0,96
Leichtbauplatten aus min. Holzwolle	200	0,045..0,06	300	1,80
Ziegelmauerwerk, massiv, außen	1600.. 1800	0,80..0,87	1500..1700	0,92
Ziegelmauerwerk, porös	1200	0,50	1100	0,92
Ziegelmauerwerk, Hohlziegel	800	0,35..0,50	740	0,92
Glaswolle, Schlackwolle	100	0,04	80	0,8
Polystyrol, Styropor	15.. 30	0,025..0,038	30 - 45	1,5
Kalksandstein 1,4	1400	0,7	1230	0,88

Mindestanforderungen OIB 6

	Bauteil	U-Wert [W/m²K]
1	WÄNDE gegen Außenluft (1)	0,35
2	WÄNDE gegen unbeheizte oder nicht ausgebaute Dachräume (1)	0,35
3	WÄNDE gegen unbeheizte, frostfrei zu haltende Gebäudeteile (ausgenommen Dachräume) sowie gegen Garagen (1)	0,60
4	WÄNDE erdberührt (1)	0,40
5	WÄNDE (Trennwände) zwischen Wohn- oder Betriebseinheiten oder konditionierten Treppenhäusern	1,30
6	WÄNDE gegen andere Bauwerke an Nachbargrundstücks- bzw. Bauplatzgrenzen (1)	0,50
7	WÄNDE (Zwischenwände) innerhalb von Wohn- und Betriebseinheiten	–
8	FENSTER, FENSTERTÜREN, VERGLASTE TÜREN jeweils in Wohngebäuden (WG) gegen Außenluft (2,3)	1,40
9	FENSTER, FENSTERTÜREN, VERGLASTE TÜREN jeweils in Nicht-Wohngebäuden (NWG) gegen Außenluft (2,3)	1,70

Quelle: OIB 6, Österreichisches Institut für Bautechnik
https://www.oib.or.at/sites/default/files/richtlinie_6_12.04.19_1.pdf

Mindestanforderungen OIB 6 - Fortsetzung

	Bauteil	U-Wert [W/m²K]
10	sonstige TRANSPARENTE BAUTEILE vertikal gegen Außenluft (4)	1,70
11	sonstige TRANSPARENTE BAUTEILE horizontal oder in Schrägen gegen Außenluft (4,5)	2,00
12	sonstige TRANSPARENTE BAUTEILE vertikal gegen unbeheizte Gebäudeteile (4)	2,50
13	DACHFLÄCHENFENSTER gegen Außenluft (5,6)	1,70
14	TÜREN unverglast, gegen Außenluft (7)	1,70
15	TÜREN unverglast, gegen unbeheizte Gebäudeteile (7)	2,50
16	TORE Rolltore, Sektionaltore u. dgl. gegen Außenluft (3,8)	2,50
17	INNENTÜREN	–

Quelle: OIB 6, Österreichisches Institut für Bautechnik
https://www.oib.or.at/sites/default/files/richtlinie_6_12.04.19_1.pdf

ENFOS®
6. Heizlastrechnung
REBE II ATHU 26

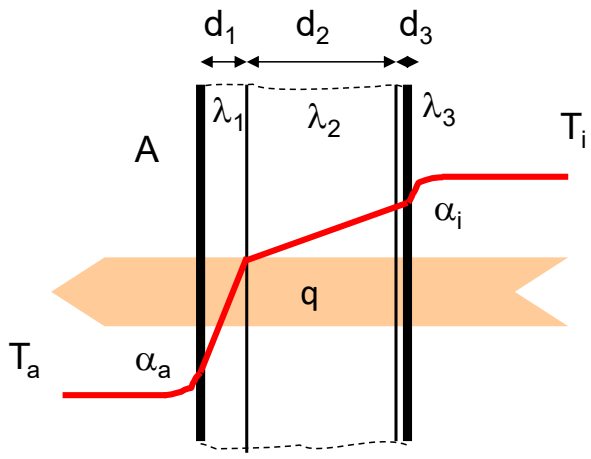
Mindestanforderungen OIB 6 - Fortsetzung

	Bauteil	U-Wert [W/m²K]
18	DECKEN und DACHSCHRÄGEN jeweils gegen Außenluft und gegen Dachräume (durchlüftet oder ungedämmt) (1)	0,20
19	DECKEN gegen unbeheizte Gebäudeteile (1)	0,40
20	DECKEN gegen getrennte Wohn- und Betriebseinheiten (1)	0,90
21	DECKEN innerhalb von Wohn- und Betriebseinheiten (1)	–
22	DECKEN über Außenluft (z.B. über Durchfahrten, Parkdecks) (1)	0,20
23	DECKEN gegen Garagen (1)	0,30
24	BÖDEN erdberührt (1)	0,40

Quelle: OIB 6, Österreichisches Institut für Bautechnik
https://www.oib.or.at/sites/default/files/richtlinie_6_12.04.19_1.pdf

Beispiel Transmissionswärmeverluste

d_1: 10cm Polystyrol, λ=0,03 W/mK
d_2: 25cm Hochlochziegel, λ=0,4 W/mK
d_3: 3cm Gipsputz, λ=0,31 W/mK
$1/\alpha_i + 1/\alpha_a = 0{,}17\ m^2*K/W$
$T_i = 20°C$, $T_a = -14°C$
$A=100m^2$ $HGT_{12/20}=3235$ Kd



R=1/U=(0,17+3,33+0,63+0,10) m^2*K/W=
=4,23 m^2*K/W

U=1/R=0,24 W/(m^2K)

q=(100*0,24*34) W = **816 W**

Q=(816*3235*24/(34*1000)) kWh=
=**1863 kWh**

Ohne d1:
U=1,11 W/(m^2K)
q=3774 W
Q=8618 kWh
!

Lüftungswärmeverluste

$Q_V=0{,}024*L_V*HGT$ [kWh] ...Lüftungswärmeverluste

$L_V=\rho_a*c_a*n*V_N$ [W/K] ...Lüftungs-Leitwert

ρ_a*c_a =0,33 Wh/(m^3K) ...Wärmekapazität der Luft
n=0,4 1/h ...Luftwechselrate priv. Wohngebäude (Achtung: Normen!)
V_N [m^3] ...Netto-Gebäudevolumen

Bsp: V_N = 250m^3 .... Q_V = 2562 kWh/a

Rechenbeispiel Einfamilienhaus

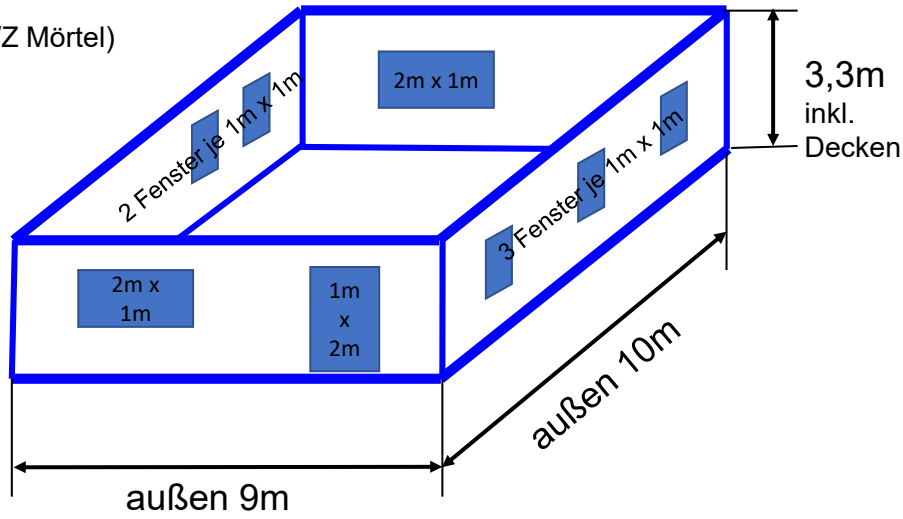
Frei stehendes Einfamilienhaus, BJ 1970, dauerhaft bewohnt von 2 Personen

Öl-Zentralheizung, BJ 1970, schwere Bauweise
Fenster/Türe: Alu-Rahmen, 2-scheibig verglast, U-Wert Fenster/Türe = 3,5 W/(m²K)
Keller unbeheizt, Dachraum unbeheizt und zur Außenluft offen (=nicht konditioniert)

Wände:
3 cm Außen-Kalkzementmörtel (K/Z Mörtel)
25 cm Hohlziegelmauerwerk
3 cm Innen-Gipsmörtel

Kellerdecke, Dachgeschoßdecke:
3 cm Innen-Gipsmörtel
20 cm Stahlbetondecke
5 cm Estrichbeton

Standort:
Wr. Neustadt
T_i=20°C, T_{na}=-14°C
Wohnnutzfläche=78,60 m²
lichte Raumhöhe=2,74 m



Rechenbeispiel Einfamilienhaus Fragen

Fragen:

1. Wie groß ist die Gebäudeheizlast in kW?
2. Wie groß ist der Heizwärmebedarf in kWh/a?
3. Entsprechen die einzelnen Bauteile der OIB Richtlinie 6?
4. Wie groß ist der Verbrauch an Heizöl in kWh/a bzw. Liter/a?
5. Was kostet die Beheizung + Warmwasserbereitung pro Jahr, wenn der Heizölpreis 1€/Liter (inkl. aller Steuern und Gebühren) beträgt?
6. Wie verändern sich diese Ergebnisse, wenn ein Vollwärmeschutz aus 20 cm dickem Dämmstoff plus Fenster- u. Türentausch auf moderne 3-scheibige Wärmeschutzverglasung erfolgt?

Rechenbeispiel Bauteilbeschreibung

Öl-Zentralheizungskessel: Jahresnutzungsgrad η_N= ____ [ ]

Fenster/Außentüre: 2-Scheiben Metall-Verbundfenster $U_{Fenster}$= ____ [ ]

Außenwände:(von innen nach außen):
Schicht 1: Gipsputz, Dicke: 3 cm $\lambda_{Gipsputz}$ = ____ [ ]
Schicht 2: Hochlochziegelmauerwerk, Dicke: 30 cm λ_{Mauer} = ____ [ ]
Schicht 3: Kalkzementputz, Dicke: 3 cm λ_{KZPutz} = ____ [ ]

Oberste Geschoßdecke wie Kellerdecke: (von innen nach außen u. vice versa):
Schicht 1: Gipsputz, Dicke: 3 cm $\lambda_{Gipsputz}$ = ____ [ ]
Schicht 2: Stahlbeton, Dicke: 20 cm λ_{Beton} = ____ [ ]
Schicht 3: Steinwolle, Trittschalld. Dicke: 3 cm λ_{TSD} = ____ [ ]
Schicht 4: Estrichbeton, Dicke 5 cm $\lambda_{Estrich}$ = ____ [ ]

Norm-Innentemperatur T_{ni} = ____ [ ]
Luftwechselrate n = ____ [ ]

Rechenbeispiel Standortparameter

Klimaparameter:
Norm-Außentemperatur T_{na} = ____ [ ]
Heizgradtagssumme $HGT_{12/20}$ = ____ [ ]

Rechenbeispiel: Korrekturfaktoren

erdanliegende Fußböden: f = 0,15 [1]
erdanliegende Wände: f = 0,50 [1]
Kellerdecke unten unbeheizt: f = 0,50 [1]

$q_T' = q_T * f$ bzw. $Q_T' = Q_T * f$

6. Heizlastrechnung

Rechenbeispiel Ergebnisse

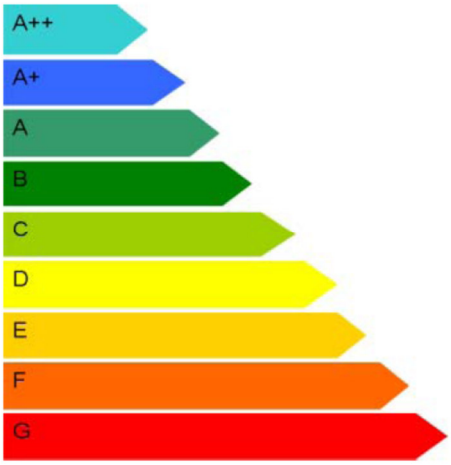
1. Wie groß ist die Gebäudeheizlast bei Referenzklima? _____ kW
2. Wie groß ist der Heizwärmebedarf? _____ kWh/a
3. Entsprechen die einzelnen Bauteile der OIB Richtlinie 6?
4. Wie groß ist der Heizölverbrauch/a? _____ kWh/a bzw. ____Liter/a?
5. Was kostet die Beheizung pro Jahr, wenn der Heizölpreis 1€/Liter (inkl. aller Steuern und Gebühren) beträgt? _____ €/a
6. Wie verändern sich diese Ergebnisse, wenn ein Vollwärmeschutz aus 20 cm dickem Polystyrol plus Fenster- u. Türentausch auf moderne Fenster mit 2-scheibiger Wärmeschutzverglasung erfolgt?

q= _____ kW; Q= _____ kWh/a; Ölverbrauch= _____ kWh/a; _____Liter/a

Brennstoffkosten: _____ €/a

7. Gebäudeenergieausweis

Klassifizierung der thermischen Gebäudequalität, Gebäude-Energieausweis



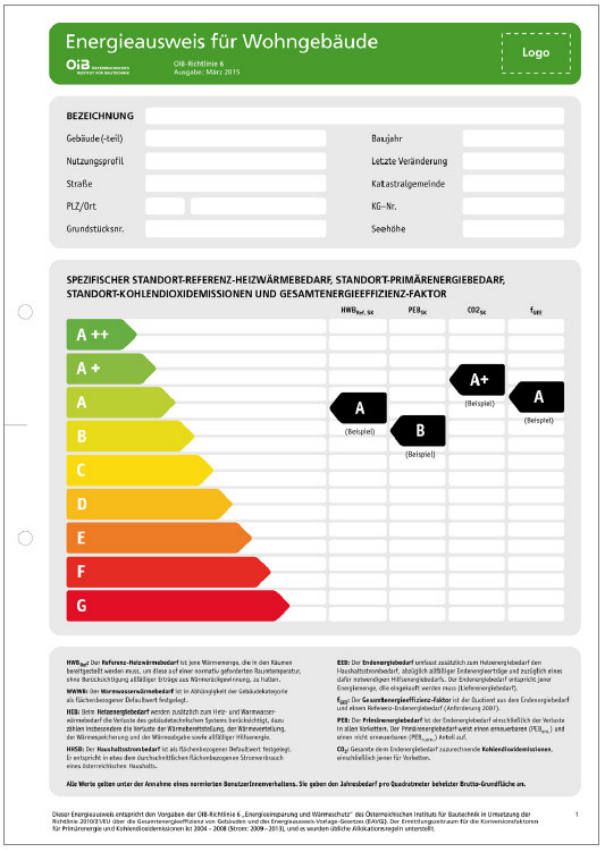
Klasse A++:	HWBBGF,Ref _ 10 kWh/m²a
Klasse A+:	HWBBGF,Ref _ 15 kWh/m²a
Klasse A:	HWBBGF,Ref _ 25 kWh/m²a
Klasse B:	HWBBGF,Ref _ 50 kWh/m²a
Klasse C:	HWBBGF,Ref _ 100 kWh/m²a
Klasse D:	HWBBGF,Ref _ 150 kWh/m²a
Klasse E:	HWBBGF,Ref _ 200 kWh/m²a
Klasse F:	HWBBGF,Ref _ 250 kWh/m²a
Klasse G:	HWBBGF,Ref > 250 kWh/m²a

Gemäß OIB-Richtlinie 6:
HWBBGF,Ref... Heizwärmebedarf pro m² konditionierter Brutto-Grundfläche bezogen auf das Referenzklima)

Lit.: Österreichisches Institut für Bautechnik, OIB-330.6-026/19, OIB-Richtlinie 6

7. Gebäudeenergieausweis

Gebäude-Energieausweis, Seite 1 u. 2



Energieausweis für Wohngebäude

OIB-Richtlinie 6
Ausgabe: März 2015

Logo

BEZEICHNUNG

Gebäude(-teil)		Baujahr	
Nutzungsprofil		Letzte Veränderung	
Straße		Katastralgemeinde	
PLZ/Ort		KG-Nr.	
Grundstücksnr.		Seehöhe	

SPEZIFISCHER STANDORT-REFERENZ-HEIZWÄRMEBEDARF, STANDORT-PRIMÄRENERGIEBEDARF, STANDORT-KOHLENDIOXIDEMISSIONEN UND GESAMTENERGIEEFFIZIENZ-FAKTOR

$HWB_{Ref,SK}$ PEB_{SK} $CO2_{SK}$ f_{GEE}

A ++
A +
A
B
C
D
E
F
G

A (Beispiel) B (Beispiel) A+ (Beispiel) A (Beispiel)

HWB$_{Ref}$: Der **Referenz-Heizwärmebedarf** ist jene Wärmemenge, die in den Räumen bereitgestellt werden muss, um diese auf einer normativ geforderten Raumtemperatur, ohne Berücksichtigung allfälliger Erträge aus Wärmerückgewinnung, zu halten.

WWWB: Der **Warmwasserwärmebedarf** ist in Abhängigkeit der Gebäudekategorie als flächenbezogener Defaultwert festgelegt.

HEB: Beim **Heizenergiebedarf** werden zusätzlich zum Heiz- und Warmwasserwärmebedarf die Verluste des gebäudetechnischen Systems berücksichtigt. Dazu zählen insbesondere die Verluste der Wärmebereitstellung, der Wärmeverteilung, der Wärmespeicherung und der Wärmeabgabe sowie allfälliger Hilfsenergie.

HHSB: Der **Haushaltsstrombedarf** ist als flächenbezogener Defaultwert festgelegt. Er entspricht in etwa dem durchschnittlichen flächenbezogenen Stromverbrauch eines österreichischen Haushalts.

EEB: Der **Endenergiebedarf** umfasst zusätzlich zum Heizenergiebedarf den Haushaltsstrombedarf, abzüglich allfälliger Endenergieerträge und zuzüglich eines dafür notwendigen Hilfsenergiebedarfs. Der Endenergiebedarf entspricht jener Energiemenge, die eingekauft werden muss (Referenzgebäudeart).

f_{GEE}: Der **Gesamtenergieeffizienz-Faktor** ist der Quotient aus dem Endenergiebedarf und einem Referenz-Endenergiebedarf (Anforderung 2007).

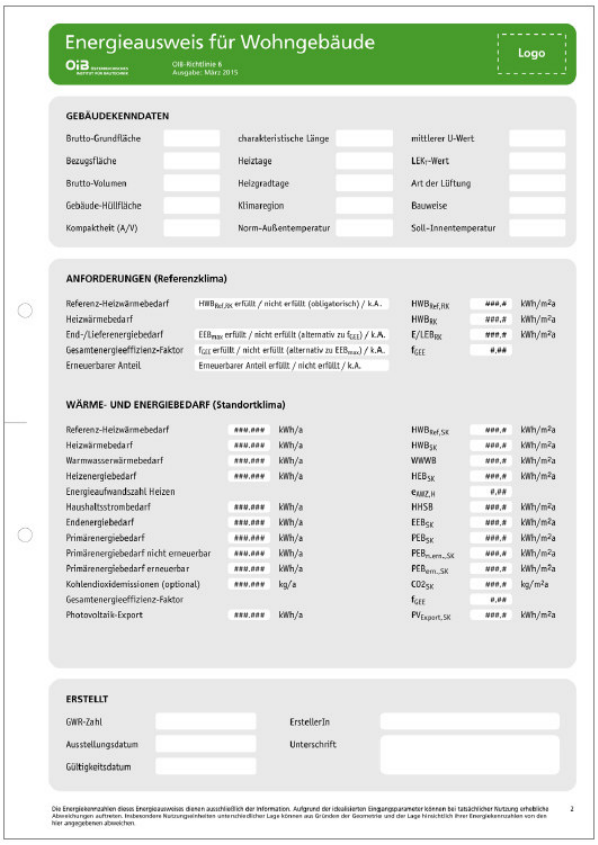
PEB: Der **Primärenergiebedarf** ist der Endenergiebedarf einschließlich der Verluste in allen Vorketten. Der Primärenergiebedarf weist einen erneuerbaren (PEB_{ern}) und einen nicht erneuerbaren ($PEB_{n.ern.}$) Anteil auf.

CO_2: Gesamte dem Endenergiebedarf zuzurechnende **Kohlendioxidemissionen**, einschließlich jener für Vorketten.

Alle Werte gelten unter der Annahme eines normierten Benutzerinnenverhaltens. Sie geben den Jahresbedarf pro Quadratmeter beheizter Brutto-Grundfläche an.

Dieser Energieausweis entspricht den Vorgaben der OIB-Richtlinie 6 „Energieeinsparung und Wärmeschutz" des Österreichischen Instituts für Bautechnik in Umsetzung der Richtlinie 2010/31/EU über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und des Energieausweis-Vorlage-Gesetzes (EAVG). Der Ermittlungszeitraum für die Konversionsfaktoren für Primärenergie und Kohlendioxidemissionen ist 2004 - 2008 (Strom: 2009 - 2013), und es wurden jährliche Allokationsregeln unterstellt.

1



Energieausweis für Wohngebäude

OIB-Richtlinie 6
Ausgabe: März 2015

Logo

GEBÄUDEKENNDATEN

Brutto-Grundfläche		charakteristische Länge		mittlerer U-Wert	
Bezugsfläche		Heiztage		LEK-Wert	
Brutto-Volumen		Heizgradtage		Art der Lüftung	
Gebäude-Hüllfläche		Klimaregion		Bauweise	
Kompaktheit (A/V)		Norm-Außentemperatur		Soll-Innentemperatur	

ANFORDERUNGEN (Referenzklima)

Referenz-Heizwärmebedarf	$HWB_{Ref,RK}$ erfüllt / nicht erfüllt (obligatorisch) / k.A.	$HWB_{Ref,RK}$	###.#	kWh/m²a
Heizwärmebedarf		HWB_{RK}	###.#	kWh/m²a
End-/Lieferenergiebedarf	EEB_{RK} erfüllt / nicht erfüllt (alternativ zu f_{GEE}) / k.A.	E/LEB_{RK}	###.#	kWh/m²a
Gesamtenergieeffizienz-Faktor	f_{GEE} erfüllt / nicht erfüllt (alternativ zu EEB_{RK}) / k.A.	f_{GEE}	#.##	
Erneuerbarer Anteil	Erneuerbarer Anteil erfüllt / nicht erfüllt / k.A.			

WÄRME- UND ENERGIEBEDARF (Standortklima)

Referenz-Heizwärmebedarf	###.###	kWh/a	$HWB_{Ref,SK}$	###.#	kWh/m²a
Heizwärmebedarf	###.###	kWh/a	HWB_{SK}	###.#	kWh/m²a
Warmwasserwärmebedarf	###.###	kWh/a	WWWB	###.#	kWh/m²a
Heizenergiebedarf	###.###	kWh/a	HEB_{SK}	###.#	kWh/m²a
Energieaufwandszahl Heizen			$e_{AWZ,H}$	#.##	
Haushaltsstrombedarf	###.###	kWh/a	HHSB	###.#	kWh/m²a
Endenergiebedarf	###.###	kWh/a	EEB_{SK}	###.#	kWh/m²a
Primärenergiebedarf	###.###	kWh/a	PEB_{SK}	###.#	kWh/m²a
Primärenergiebedarf nicht erneuerbar	###.###	kWh/a	$PEB_{n.ern.,SK}$	###.#	kWh/m²a
Primärenergiebedarf erneuerbar	###.###	kWh/a	$PEB_{ern.,SK}$	###.#	kWh/m²a
Kohlendioxidemissionen (optional)	###.###	kg/a	$CO2_{SK}$	###.#	kg/m²a
Gesamtenergieeffizienz-Faktor			f_{GEE}	#.##	
Photovoltaik-Export	###.###	kWh/a	$PV_{Export,SK}$	###.#	kWh/m²a

ERSTELLT

GWR-Zahl		ErstellerIn	
Ausstellungsdatum		Unterschrift	
Gültigkeitsdatum			

Die Energiekennzahlen dieses Energieausweises dienen ausschließlich der Information. Aufgrund der idealisierten Eingangsparameter können bei tatsächlicher Nutzung erhebliche Abweichungen auftreten. Insbesondere Nutzungseinheiten unterschiedlicher Lage können aus Gründen der Geometrie und der Lage hinsichtlich ihrer Energiekennzahlen von den hier angegebenen abweichen.

2

Lit.: Österreichisches Institut für Bautechnik, OIB-330.6-026/19, OIB-Richtlinie 6

8. Energiekennzahlen

Energiekennzahlen typischer Gebäude

Passivhäuser (Plusenergiehäuser): Baujahr ab ca. 2000

Energiekennzahl (EKZ) <15 kWh/m²a
Merkmal: kompakter Baukörper, solar passive Elemente, hoher Wärmeschutz (≥20cm), Kontrollierte Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung und Mikro-Kompaktwärmepumpe;
Achtung: echte Passivhäuser sind auch nach 2000 selten!

Energiekennzahlen typischer Gebäude

Niedrigenergiehäuser: Baujahr ab ca. 2000

EKZ ca. 30 - 60 kWh/m²a
Merkmal: hoher Wärmeschutz (10cm ... 20cm Dämmdicke),
gute Fenster (U-Wert < 1,1)
Achtung: nicht jedes Gebäude ab 2000 hat Niedrigenergiestandard!

Energiekennzahlen typischer Gebäude

Gebäude mit Baujahr um 1980 (unsaniert)

EFH: EKZ ca. 180 kWh/m²a MFH: EKZ ca. 90 kWh/m²a
Merkmal: kein oder geringer Wärmeschutz (max. 5cm Dämmdicke),
Fenster mit geringem Wärmeschutz (U-Wert ca. 2,7)

Energiekennzahlen typischer Gebäude

Gebäude mit Baujahr um 1950 (unsaniert)

EFH: EKZ ca. 260 kWh/m²a MFH: EKZ ca. 150 kWh/m²a
Merkmal: kein Wärmeschutz, oftmals 2-scheibige Holzfenster mit teilbarem Rahmen, ab 1960 Glasbausteine, Fenster/Türen auch mit Alurahmen (U-Wert > 4);
Achtung: Viele Gebäude aus dieser Periode wurden bereits saniert!

Energiekennzahlen typischer Gebäude

Gebäude mit Baujahr um ca. 1900 (unsaniert)

EFH ca. 250 kWh/m²a MFH ca. 150 kWh/m²a
Merkmal: kein Wärmeschutz, Vollziegel- o. Mischmauerwerk, Kastenfenster (U-Wert > 4)
Achtung: Viele Gebäude aus dieser Periode wurden bereits saniert!
Achtung: Denkmalschutz?

Weitere Gebäudekennzahlen: LEK-Wert und lc

Der LEK-Wert (ÖNORM B8110 und H 5055) kennzeichnet den Wärmeschutz der Gebäudehülle unter Berücksichtigung der Geometrie des Gebäudes:

$$LEK = 300 * \frac{U_m}{2 + l_c}$$

U_m...mittlerer U-Wert der Gebäudehülle
l_c.....charakteristische Länge

l_c ist ein Maß für die Geometrie (Kompaktheit) eines Gebäudes:

$l_c = \frac{V_B}{A_B}$ (kompakteste Formen: Kugel, Würfel,...)

V_B...Beheiztes Bruttovolumen
A_B...Fläche der thermischen Hülle ("Oberfläche")

Weitere Gebäudekennzahlen: LEK_{equ}-Wert

Nachteile des LEK-Wertes: Lüftungsverluste, interne und solare Gewinne werden nicht berücksichtigt! Aus diesem Grund ist die Aussagekraft beschränkt. Richtwerte:

“Energiesparhäuser“: LEK-Werte unter 30
Niedrigenergiehäuser: LEK-Werte unter 20
Passivhäuser: LEK-Werte unter 10

Der äquivalente LEK-Wert (LEK_{equ}):

Um die Aussagekraft des LEK-Werts zu steigern werden beim LEK_{equ} auch Standortbedingungen (Heizgradtage) sowie Gewinne (solare, innere) berücksichtigt. Auch die Wärmerückgewinnung von Lüftungsanlagen wird eingerechnet. In der Praxis wenig verbreitet.

Der Servicefaktor

$$f_{service} = \frac{EE_{HZpraktisch}}{EE_{HZtheoretisch}}$$

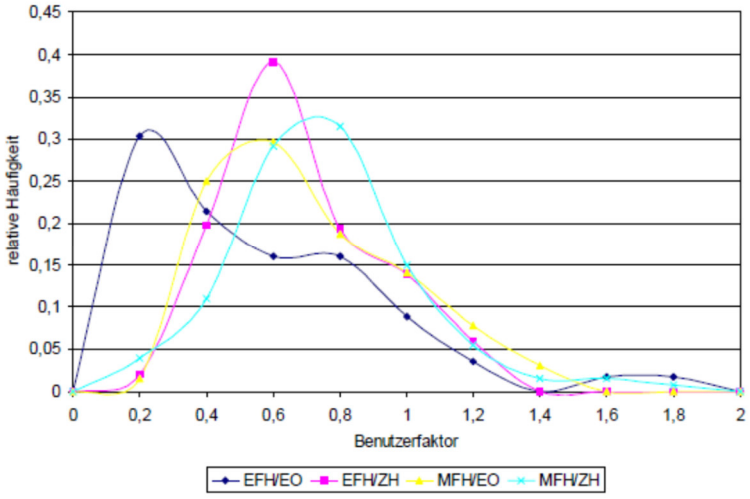
$f_{service}$ ..... **Servicefaktor (Praxis: $0<f_{service}<2$)**
($EE_{HZtheoretisch}=EE_{Transmission}+EE_{Lüftung}$)

$EE_{HZpraktisch}$ ..... **Endenergieverbrauch für das Heizen (gemessen)**

$EE_{HZtheoretisch}$ ... **Endenergiebedarf für das Heizen (berechnet, Normbedingungen)**

Der Servicefaktor in der Praxis

Grafik:
Verteilung des $f_{service}$ bei österr. Haushalten n=600 Daten 1994-1999



$f_{service}$	Einfamilienhaus	Mehrfamilienhaus
Einzelofen	0,47	0,61
Zentralheizung	0,58	0,66

Literatur: Biermayr (1999), Einflußparameter auf den Energieverbrauch der Haushalte, Dissertation, Technische Universität Wien

Reboundeffekte bei der Wohnbausanierung

- **Ökonomische Effekte**

  (Energiedienstleistung wird billiger ⇒ Anstieg der mittleren Raumtemperatur, Mehrkonsum an Warmwasser,...)

- **Strukturelle Effekte**

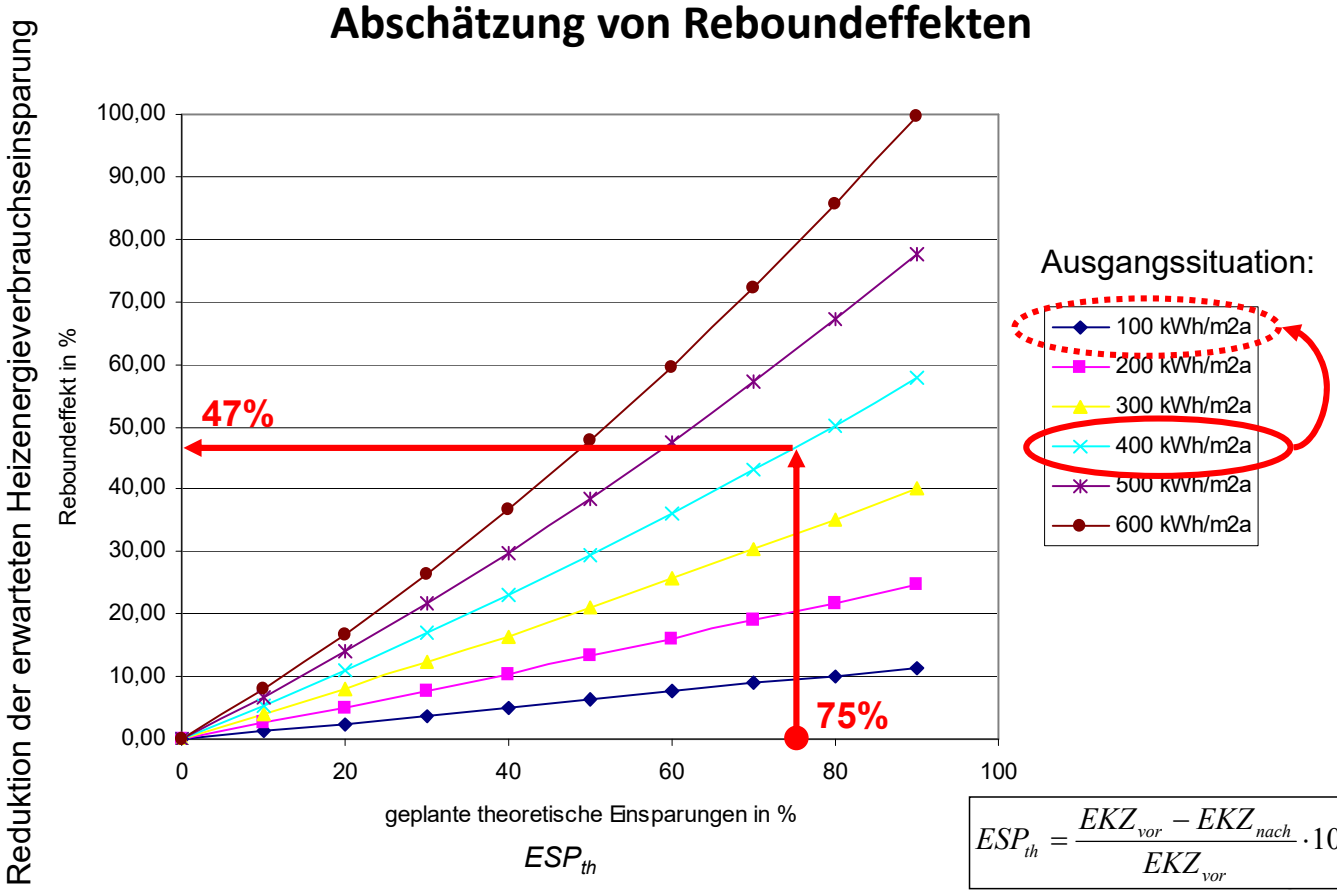
  (z.B. zusätzliche Wohnflächen, Wegfall von Zonierung und Teilbeheizung,...)

- **Technische Effekte**

  (z.B. alter Kessel im sanierten Gebäude, ineffizienter Teillastbetrieb oder hohe Taktfrequenzen des Kessels, Systemumstellungen z.B. mit neuer zusätzlicher Pufferung)

- Raumheizung (Sanierung): Einsparung minus 10-50%
- Warmwasserbereitung: Einsparung minus 10-40%

Abschätzung von Reboundeffekten

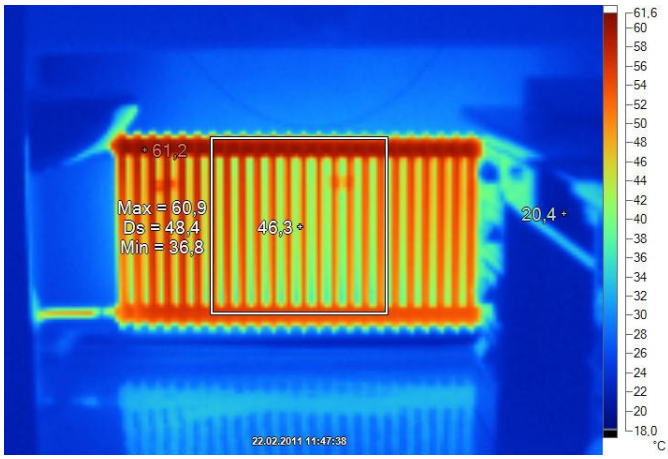


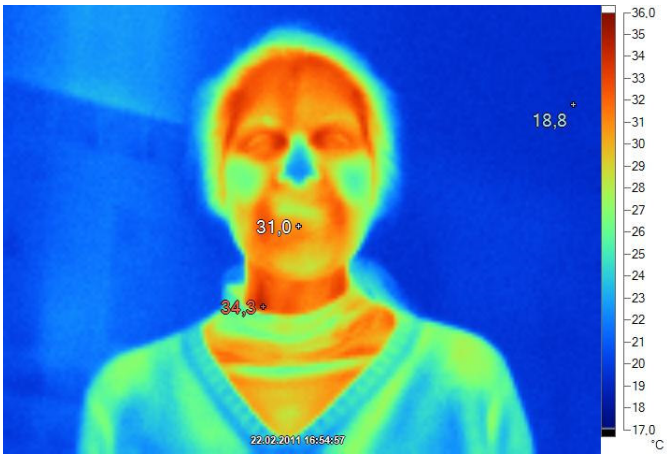
$$ESP_{th} = \frac{EKZ_{vor} - EKZ_{nach}}{EKZ_{vor}} \cdot 100$$

Reboundeffekte Schlussfolgerungen

- ...steigen mit schlechterem Ausgangszustand
- ...steigen mit größerem Sanierungsumfang
- ...vermehrt beim Umstieg von Einzelofenbeheizung auf automatisierte Zentralheizungsanlagen
- ...beim Verbleib des alten Heizkessels im sanierten Gebäude
- Bei Planungen, Energieberatungen: thematisieren, ansprechen, einkalkulieren!

Grundlagen der Gebäudeanalyse mit Thermovision





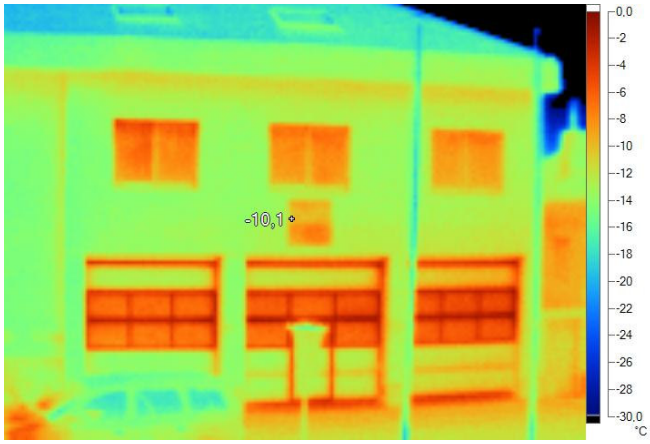
Thermovision (=Thermografie) ist ein empirisches Verfahren zur Analyse der thermischen Gebäudequalität mittels Visualisierung der thermischen Strahlung eines Objektes.

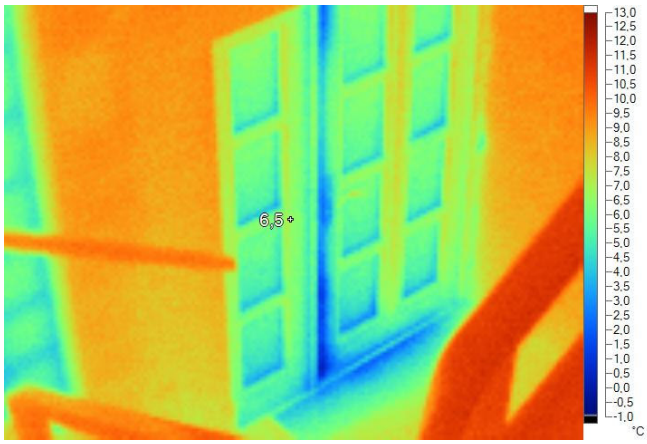
Fotos: Peter Biermayr

Einsatzbereiche der Thermovision

1. **Allgemein: Ortung und Nachweis von Baumängeln und Bauschäden.**
2. **Auffinden von Undichtheiten im Sinne ungewollter Lüftungswärmeverluste (ev. unterstützt durch „Blower Door Test“), vor allem im Bereich des Dachausbaues, Anschluss von Gebäudeteilen.**
3. **Auffinden und Beurteilen von Wärmebrücken.**
4. **Planung und Optimierung von Sanierungsmaßnahmen, speziell für kritische Bauteile (z. B. Wärmebrücken in Form von Kragplatten etc.).**

Beispiele zur Thermovision





Amtsgebäude mit Garagen
Datum/Uhrzeit: 15.02.2012, 06:30
T_a=-15°C, v_{Wind}=0 m/s
Ansicht: aus 200° (von 360°)

Eingangstüre von innen

Fotos: Peter Biermayr

Fehlerquellen bei der Interpretation einer Thermovision

1. Emissionskoeffizienten (siehe Boltzmannsches Strahlungsgesetz)

Material	Emissions-koeffizient	Material	Emissions-koeffizient
Aluminium rau	0,07	Kunststoff	0,95
Aluminium stark oxidiert	0,25	Lehm gebrannt	0,91
Beton	0,54	Papier schwarz matt	0,94
Chrom poliert	0,10	Papier weiß matt	0,90
Eis	0,97	Porzellan glasiert	0,92
Eisen verzinkt oxidiert	0,28	Teerpappe	0,92
Glas (Fensterglas)	0,92	Wasser	0,98
Kupfer oxidiert	0,65	Ziegelstein	0,85

Fehlerquellen bei der Interpretation einer Thermovision

2. Aufnahmewinkel und Reflexionen an glatten Gebäudeoberflächen (Reflexion von Himmel, Straßen, Gebäuden,... an Fenstern, glatten Fassaden etc.)
3. Oberflächenerwärmung bei Tageslicht (diffuse und direkte Strahlung, besonders bei Oberflächenschichten mit geringer Wärmekapazität (z. B. Polystyrolfassade mit Kunststoffreibputz)
4. Skalierung bei heißen bzw. kalten Körpern im Bild (z.B. hot spots oder klarer Himmel).

Fehlerquellen bei der Interpretation einer Thermovision

5. Einfluss von Wind und Feuchtigkeit (oberflächenfeuchte Bauteile), Verdunstungskälte
6. Große Temperaturamplituden (von T_i und/oder T_a)

Günstige Bedingungen für die Messung:

- Gebäude dauerhaft beheizt (Heizsaison)
- keine Sonnenstrahlung (Nacht)
- keine Kältestrahlung (Bewölkung, Nebel)
- kein Wind (quasi Windstille)
- große und konst. Temp.-spreizung ($T_i - T_a \geq \pm 15K$)
- keine Fernaufnahmen (Luft dämpft)

Danke für Ihre Aufmerksamkeit!

www.enfos.at