

## Energiebilanz Backofen

Siehe Physik-Formelbuch, was man privat in jedem Buchladen bekommt.  
Kapitel: **Wärmelehre**

**Hinweis:** Die theoretischen Werte sind **Anhaltswerte**, damit man weiß um welche Größenordnung es geht.

Will man **exakte Werte**, dann muß man Messungen am Backofen vornehmen

**Hinweis:** Ein Würfel mit doppelter Kantenlänge hat das **8-fache Volumen**, aber nur die **4-fache Oberfläche** (Wärmeabgebende Oberfläche).

- 1) der Backofen muss zuerst aufgewärmt werden, auf eine Temperatur  $t=150^\circ$  bis  $200^\circ$
- 2) für den Backvorgang muss dann die Backtemperatur gehalten werden, weil man **Wärmeverlust** (Energieverlust) nicht verhindern kann.
- 3) Wärme (Energie) fließt immer von der hohen Temperatur zu niedrigeren Temperatur
- 4) für die Erwärmung der Luft im Ofen braucht man nicht viel Energie
- 5) 95% der Energie oder auch noch mehr, braucht man, um die Ofeninnentemperatur halten zu können

### Forderungen an einem Backofen

- 1) die wärmeabgebende Oberfläche muß möglichst klein sein
- 2) die Wärmeisolierung muß möglichst gut sein, damit man möglichst wenig Energie braucht, um die Ofeninnentemperatur halten zu können

Bei einem Backofen, der eine Würfelform hat, ergibt sich:

- 1) Volumen  $V=l^3$  hier ist  $l$ =Kantenlänge des Würfels (Ofen)
- 2) Oberfläche  $O=6 \cdot l^2$  ein Würfel hat 6 gleiche Flächen
- 3) aus 1) und 2) ergibt sich, dass ein Backofen mit großen Volumen eine kleine **wärmeabgebende Oberfläche**, bezogen auf den  $m^3$  (Kubikmeter) hat und somit wirtschaftlicher ist, als ein **kleiner Backofen**.

**$Q_{zu} = k \cdot A \cdot t \cdot (t_i - t_a)$  mit  $t_i > t_a$**

$Q_{zu}$  = zugeführte Wärmeenergie in J (Joule)

$k$  = Wärmedurchgangskoeffizient in  $W/(m^2 \cdot K)$  (Watt pro Quadratmeter und Kelvin=Grad)

$t$  = Zeit in s (Sekunden) in der die Wärmeenergie  $Q_{zu}$  zugeführt werden muss, um die Temperatur halten zu können.

$A$  = Fläche in  $m^2$  (Quadratmeter) über die, die Wärmeenergie abfließt (Wärmeverluste)

$t_i - t_a$  = Temperaturunterschied zwischen Ofeninnere und Außentemperatur

notwendige Heizleistung (geschätzt)

**Wärmedurchgangskoeffizient  $k$  in  $W/(m^2 \cdot K)$**  aus dem Physik-Formelbuch

$k=1,7 W/(m^2 \cdot K)$  Holz                      Wanddicke  $d=12$  cm

$k=1,7 W/(m^2 \cdot K)$  Schlackenstein      Wanddicke  $d=25$  cm

$k=2,0 W/(m^2 \cdot K)$  Ziegelstein        Wanddicke  $d=25$  cm

$W/(m^2 \cdot K)$  = Watt pro Quadratmeter und Kelvin =  $^\circ$  Celsius

Betrachten wir einen quadratischen Backofen mit einer Kantenlänge von  $l=1\text{ m}$   
Volumen  $V=1\text{ m}^3$   
Oberfläche  $O=6\text{ m}^2$

Daraus ergibt sich die Energie  $Q_{zu}$ , damit die Temperatur im Backofen gehalten werden kann.

$$Q_{zu}=k \cdot A \cdot t \cdot (t_i - t_a)$$
$$Q_{zu}=2,0\text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \cdot 6\text{ m}^2 \cdot 1\text{ s} \cdot (150^\circ)=1800\text{ J (Joule)}$$

**$Q_{zu}=1800\text{ J}$**

Diese Energie muss wegen der Zeit  $t=1\text{ s}$  pro Sekunde zugeführt werden.

$$\text{Heizleistung } P_{zu}=Q_{zu}/t=1800\text{ J}/1\text{ s}=1800\text{ W (Watt)}$$

**$P_{zu}=1.800\text{ W}=1,8\text{ kW}$**  (Kilowatt) Heizleistung

Diese Heizleistung können 3-4 Pferde aufbringen, wegen **1 PS** (Pferdestärke)=**736 W** (Watt)

**$P_{zu}=3\text{ Pferde} \cdot 0,736\text{ kW/Pferd}=2,208\text{ kW}$**

Hinweis: Ein Pferd kann aber die Leistung von  $P=736\text{ W}$  nur 1 Stunde lang erbringen und muss dann ausgetauscht werden.

### Solaranlage

10  $\text{m}^2$  Solarzellen bringen bei direkter Sonneneinstrahlung ca.  **$P=1000\text{ W}=1\text{ kW}$**

Für den Betrieb des Backofens braucht somit mindestens **20  $\text{m}^2$**  (Quadratmeter) **Solarzellen**.

### Wärmedurchgangskoeffizient

**$1/k=1/a(1)+1/a(2)+l/\lambda$**  gilt für eine einschichtige Wanddicke

$a(1)$ =Wärmeübergangskoeffizient in  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  (Innenwand Ofen) (Watt pro Quadratmeter und K)  
 $a(2)$ = „ „ in  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  (Außenwand Ofen)

$a(1)$  und  $a(2)$  angenähert für Luft am glatter Wand ( $v < 5\text{ m/s}$ )  **$a(..)=5,6+4 \cdot v/(\text{m/s})$**

$l$ =Dicke der Wand (Wärmedämmung) in m (Meter)

$\lambda$ =Wärmeleitkoeffizient in  $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$  (Watt pro Meter und  $\text{K}=\text{° Grad Celsius}$ )

Die Werte entnimmt man aus Tabellen, die im Physik-Formelbuch stehen

### Wärmeleitkoeffizient (Auszug)

$\lambda=0,1-0,2\text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$  für Holz

$\lambda=0,05\text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$  für Kork

$\lambda=0,05\text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$  für Glaswolle

$\lambda=0,04\text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$  für Schamotte

$\lambda=0,02\text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$  für Bettfedern

### Aufwärmung der Luft im Ofen

**spezifische Wärmekapazität von Luft bei konstanten Druck  $c(p)=1,009 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$**

spezifisch=abhängig vom Gas

Wärme = Wärmeenergie

Kapazität= Fassungsvermögen

Dichte von Luft im **Normzustand bei  $t=0^\circ \text{ Celsius}$  und Druck  $p=101,325 \text{ kPa}$**  (Kilopascal)

**$\rho_{\text{Luft}}=1,29 \text{ kg/m}^3$**  bei einem Backofen mit einem Volumen von  $1 \text{ m}^3$  kann man also mit einer Masse  **$m=1,29 \text{ kg}$**  rechnen (bei  $t=20^\circ$  ist das etwas weniger, kann aber vernachlässigt werden)

**$Q_{\text{zu}}=m\cdot c(p)\cdot(t_i-t_a)=1,29 \text{ kg}\cdot 1 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}\cdot 150^\circ=193,5 \text{ kJ}$**

$1 \text{ kWh}=3600 \text{ kJ}$  (Kilojoule) kostet ca. 33 Cent ergibt Kosten von

$K=193,5 \text{ kJ}/3600 \text{ kJ/(kWh)}\cdot 33 \text{ Cent/kWh}=\mathbf{1,77 \text{ Cent}}$  kann man also vernachlässigen

Hinweis: Das Material für die Wärmeisolierung wird natürlich auch erwärmt !!