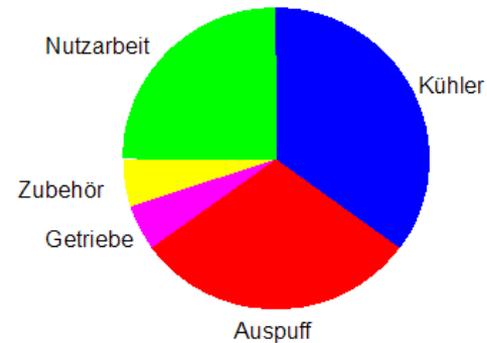
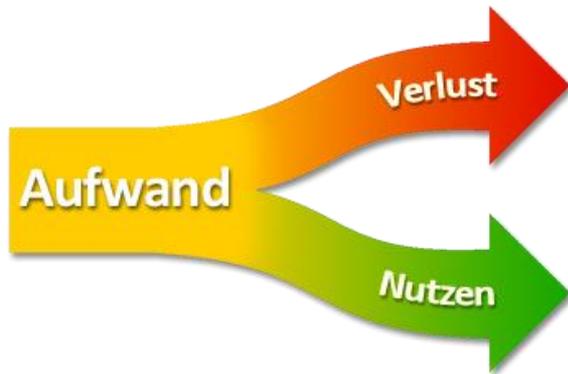
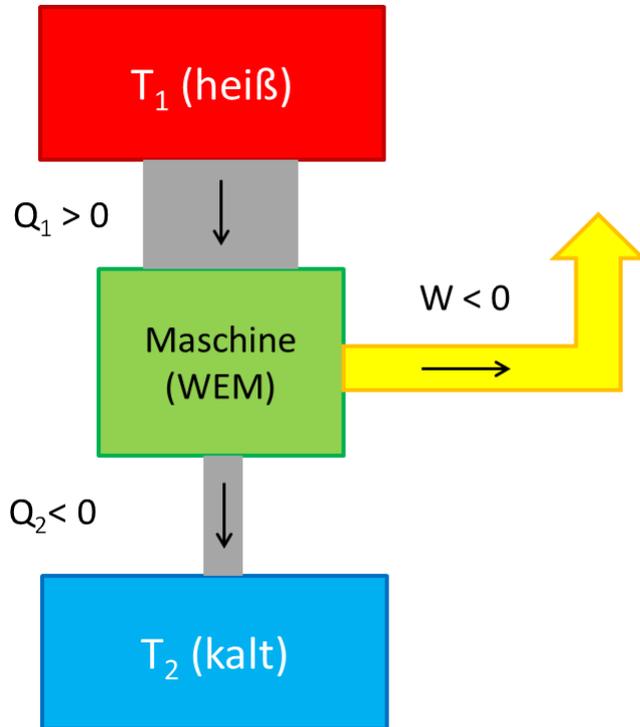


# Der thermische Wirkungsgrad





Jeder thermische Kreisprozess ist durch Wärmeaufnahme  $Q_1$  und Wärmeabgabe  $Q_2$  verbunden.

Die abgegebene Wärme  $Q_2$  bleibt für den Arbeitsprozess ungenutzt.

Der Wirkungsgrad einer Wärmeenergiemaschine kann niemals 100% erreichen.

Definition des Wirkungsgrades:



$$\eta < 1$$

$$\eta = \frac{E_{ab}}{E_{zu}} \xrightarrow{\text{WEM}} \eta = \frac{W}{Q_{zu}} \longrightarrow \eta = \frac{Q_{zu} - Q_{ab}}{Q_{zu}}$$

$$\eta = 1 - \frac{Q_{ab}}{Q_{zu}}$$

# Der Carnot-Prozess:

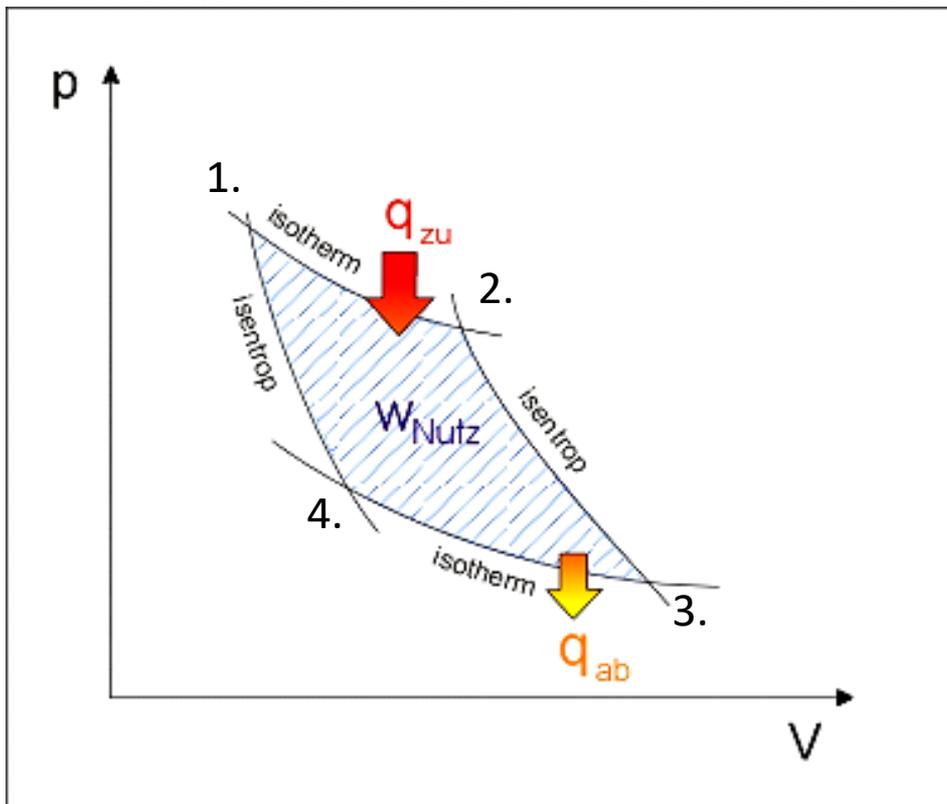
- theoretischer Kreisprozess mit maximalem Wirkungsgrad



Nicolas Léonard Sadi Carnot  
(1776 – 1800)

frz. Physiker und  
Ingenieur

theoretischen Betrachtung  
der Dampfmaschine



1. Isotherme Expansion durch Wärmezufuhr  
 $Q > 0$ ;  $W < 0$ ;  $\Delta U = 0$
2. Adiabatische Expansion mit Temperaturabnahme  
 $Q = 0$ ;  $W < 0$ ;  $\Delta U < 0$
3. Isotherme Kompression mit Wärmeabgabe  
 $Q < 0$ ;  $W > 0$ ;  $\Delta U = 0$
4. Adiabatische Kompression mit Temperaturzunahme  
 $Q = 0$ ;  $W > 0$ ;  $\Delta U > 0$

## Wirkungsgrad des Carnot-Prozesses:

$$\eta = 1 - \frac{Q_{ab}}{Q_{zu}}$$

Carnot-Prozess



$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

$$T_1 > T_2$$

Der maximal erreichbare Wirkungsgrad einer Wärmeenergiemaschine wird durch die obere und untere Arbeitstemperatur bestimmt.

Er ist um so größer, je größer der Temperaturunterschied ist.

Grenzen:

$$T_2 \rightarrow 0$$

i.a. Umgebungstemperatur

$T_1$  sehr hoch

Materialbeständigkeit

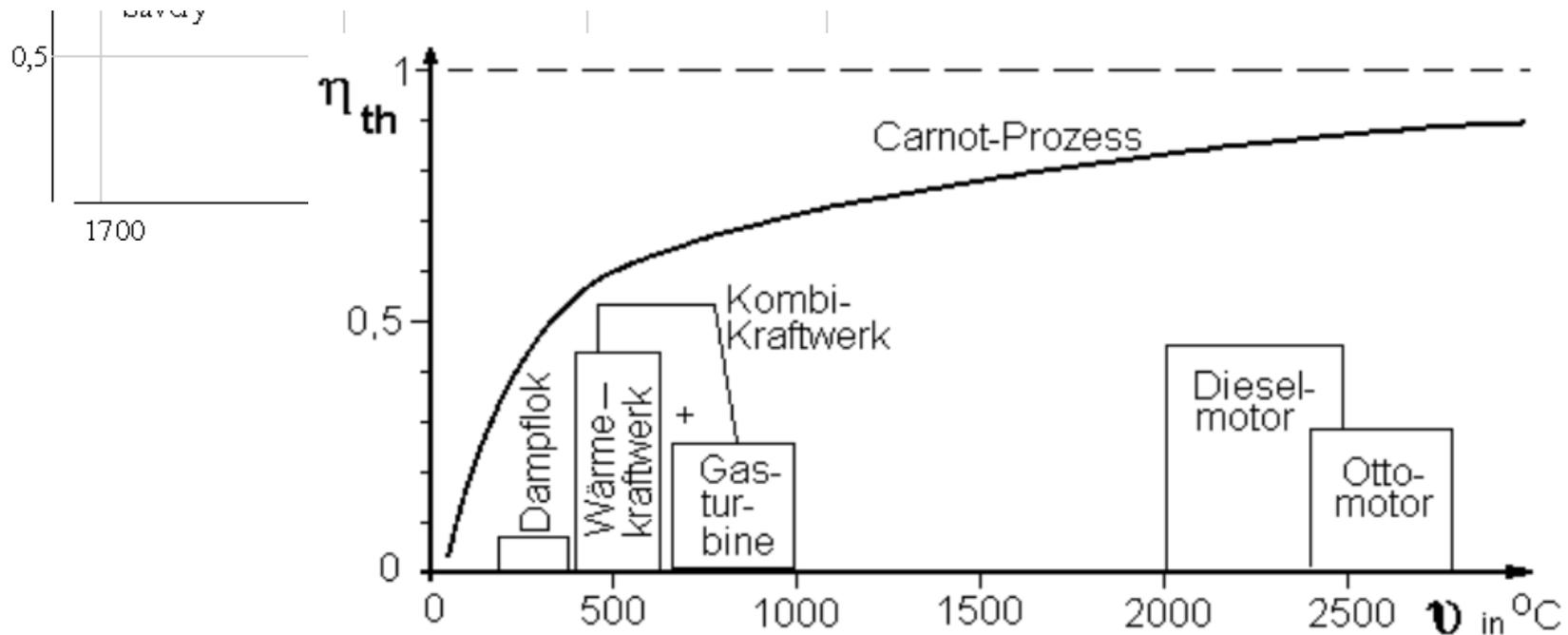
Für reale Wärmeenergiemaschine gilt:

$$\eta < 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

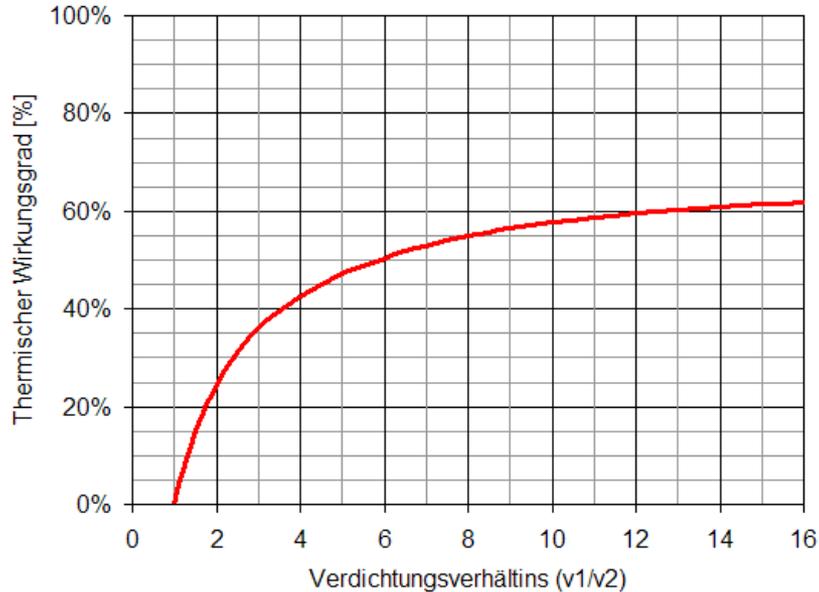
# Wirkungsgrad von Wärmeenergiemaschinen

↑ Wirkungsgrad in %

Art der Wärmekraftmaschine	Wirkungsgrad
Dampfmaschine	3 - 10%
Ottomotor	bis 35%
Dieselmotor	bis 40%
Gasturbine	bis 40%
Dampfturbine	bis 45%



## Otto-Motor

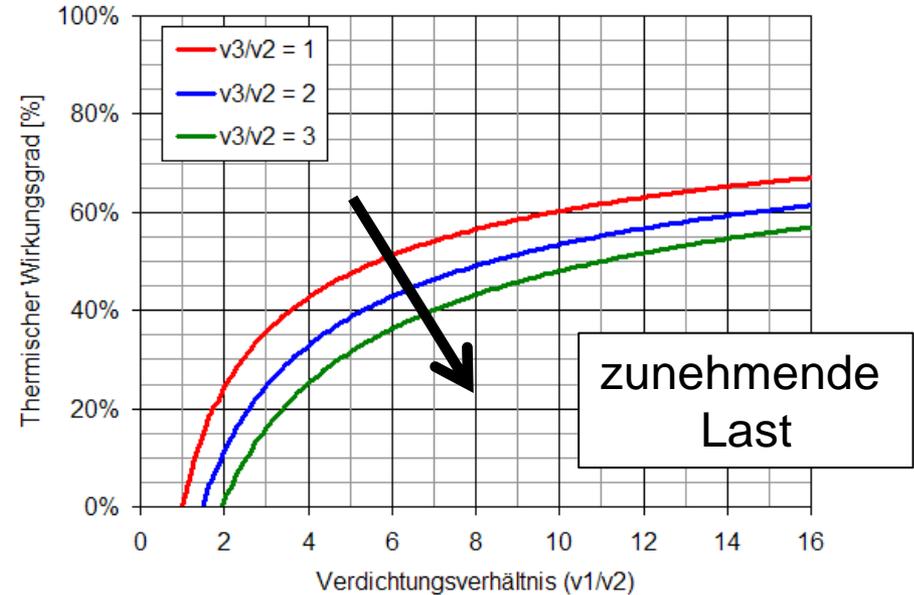


*Der Wirkungsgrad des Ottomotors nimmt mit steigendem Verdichtungsverhältnis zu.*

Die Grenze des Verdichtungsverhältnisses liegt bei 6 bis 10.

→ Selbstzündung

## Diesel-Motor



*Außer dem Verdichtungsverhältnis ist der Wirkungsgrad von der Last (Druck) abhängig.*