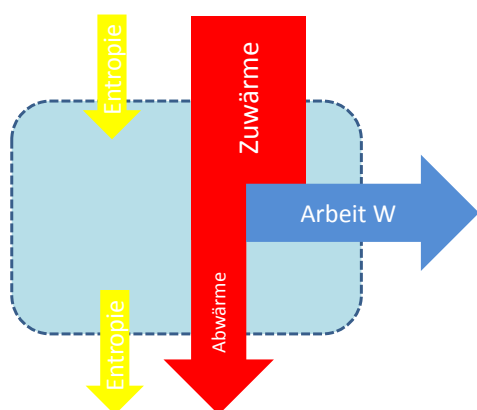


# Verbrennungsmotoren und Carnot'scher Wirkungsgrad: ein gängiges Missverständnis

Ulrich Harten — Institut für math.-naturwissenschaftliche Grundlagen  
u.harten@hs-mannheim.de

**Im Unterricht ist zu unterscheiden zwischen „echten“ Wärmekraftmaschinen, die bestenfalls den Carnot'schen Wirkungsgrad erreichen können und Verbrennungsmotoren, die dieser Begrenzung des Wirkungsgrades nicht unterliegen!**

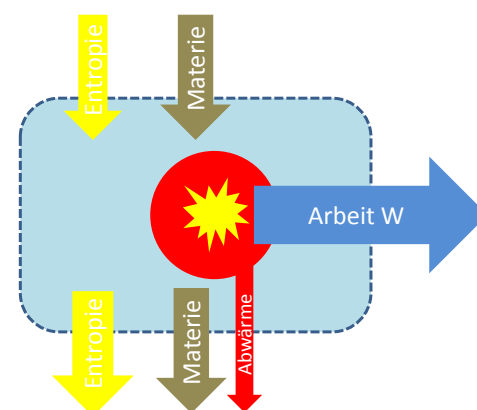
## „echte“ Wärmekraftmaschine



Eine „echte“ Wärmekraftmaschine tauscht mit der Umgebung nur Wärme und Arbeit aus (Stirlingmotor, Dampfturbine). Die mit der Zuwärme aufgenommene Entropie kann sie nur mit Abwärme wieder abgeben. Daher ist der Wirkungsgrad grundsätzlich begrenzt auf den bekannten Carnot'schen Wirkungsgrad:

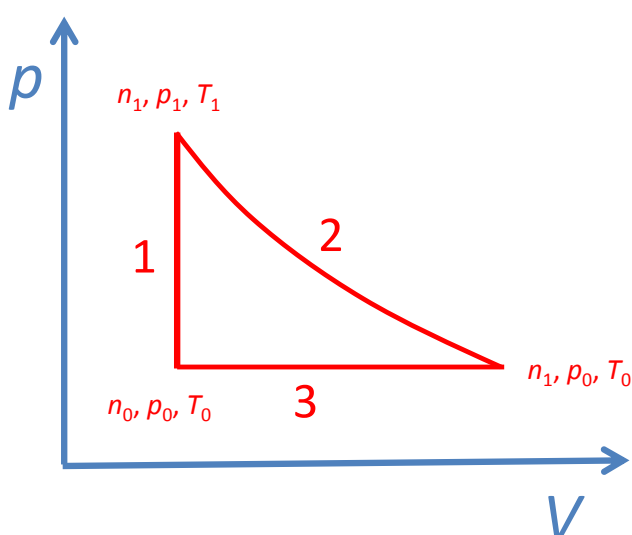
$$\eta = \frac{T_2 - T_1}{T_2}$$

## Verbrennungsmotor



Der Verbrennungsmotor nimmt auch Entropie aus der Umgebung auf, aber in Form von Materie (Luft, Benzin). In der Maschine findet eine spontane chemische Reaktion statt (irreversibel), deren Produkte in der Regel auch bei Umgebungstemperatur eine höhere Entropie haben als die Edukte. Dieses Abgas, und damit dessen Entropie, wird wieder abgegeben. Daher ist zum Ausgleichen der Entropiebilanz keine Abwärme notwendig. Grundsätzlich ist der Wirkungsgrad eins möglich.

## Gedankenexperiment: ein Verbrennungsmotor mit Wirkungsgrad eins



Wir betreiben einen normalen Kolbenmotor mit **Hydrazin**, einem flüssigen Explosivstoff, der für die Steerdüsen von Satelliten verwendet wird. Wir fahren den nebenstehenden Zyklus: 1: das Hydrazin wird eingespritzt und entzündet. Dabei steigt nicht nur die Temperatur und der Druck, sondern auch die Teilchenzahl  $n$  in der Gasphase. 2: wir expandieren adiabatisch bis auf Normaldruck  $p_0$ . Bei geeigneter Wahl der Hydrazin-Menge kann dann auch gerade wieder die Umgebungstemperatur  $T_0$  erreicht werden. Dann wurde die bei der Verbrennung entstandene thermische Energie vollständig in Arbeit umgewandelt: Wirkungsgrad eins. 3: nun wird das Abgas arbeitslos aus dem Zylinder gedrückt und es kann von vorn losgehen. Die Entropie des Abgases (bei 20°C) ist 2,6-fach höher als die des eingesetzten Hydrazins.

### Warum hat Ihr Auto keinen Hydrazinmotor?

Hydrazin ist hochgiftig. Das Foto zeigt Arbeiter in Raumanzug-ähnlicher Schutzbekleidung beim Betanken des Satelliten „Planck“ mit Hydrazin.



ESA-CNES-Arianespace / Optique Vidéo du CSG - P. Baudon

Eine ausführlichere Darstellung finden Sie in meinem Buch:

