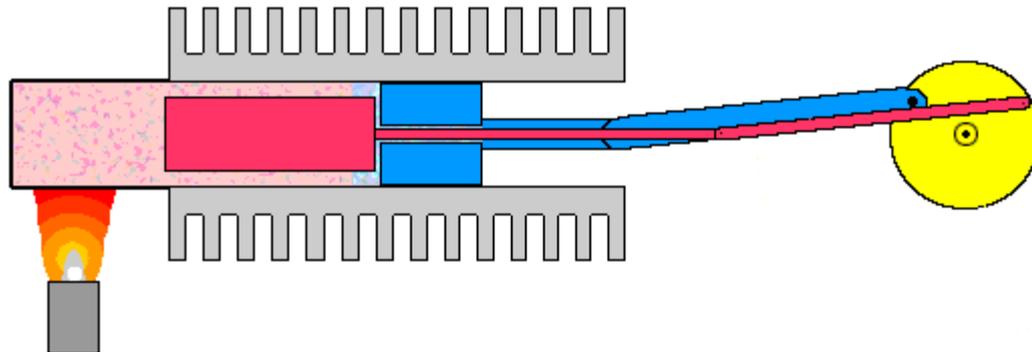
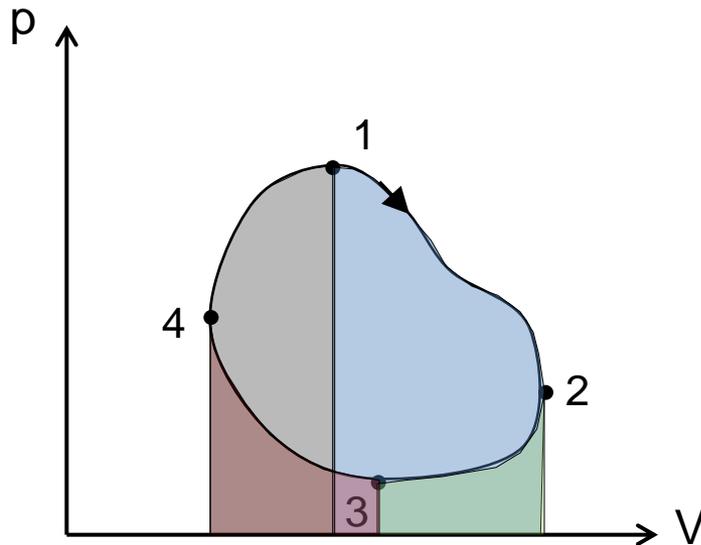


Thermische Kreisprozesse



Anwendungen von Zustandsänderungen

Durchläuft ein Gas eine Folge von Zuständen, wobei der Endzustand mit dem Anfangszustand übereinstimmen, so spricht man von einem thermischen **Kreisprozess**.



Zustandsänderungen:

1 → 2 → 3 → 4 → 1 ...

geschlossener Kurvenzug

Alle Teilprozesse sind durch einen Wärmeaustausch und dem Verrichten von Volumenarbeit gekennzeichnet.

1 → 2:	Expansion:	$W_{1.2} < 0$
2 → 3:	Kompression:	$W_{2.3} > 0$
3 → 4:	Kompression:	$W_{3.4} > 0$
4 → 1:	Expansion:	$W_{4.1} < 0$

$$W_{\text{ges}} < 0$$

*vom System
verrichtete Arbeit*
→ **Energieabgabe**

Energiebilanz beim Kreisprozess:

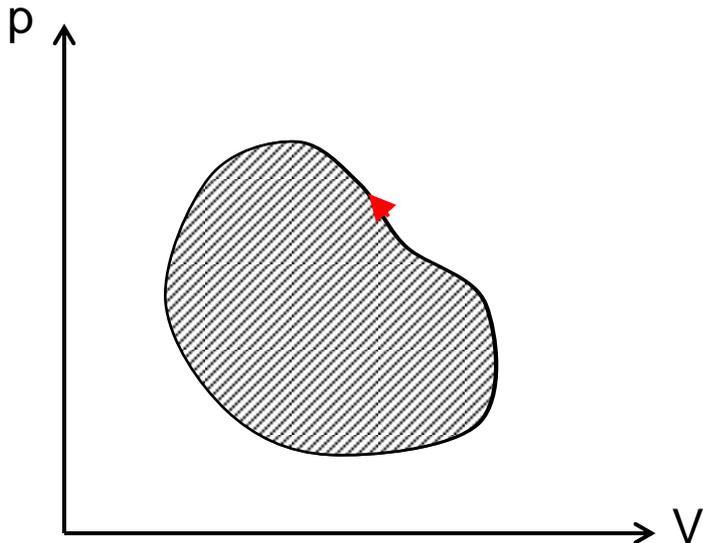
- (1) Anfangs- und Endzustand des Kreisprozesses sind thermisch gleich.
- (2) Die innere Energie des Systems hat sich nicht geändert.

1. Hauptsatz:

$$\Delta U = 0$$

$$Q = -W$$

- Die dem System zugeführte Wärme ($\sum Q > 0$) ist gleich der vom System verrichteten Arbeit ($\sum W < 0$).



Die Summe aller bei einem Kreisprozess verrichteten Arbeiten ist gleich der **Nutzarbeit**

Sie entspricht der eingeschlossenen Fläche im pV-Diagramm

umgekehrte Richtung ?

$W > 0$ die am System verrichtete Arbeit → Heizung
 $Q < 0$ erzeugt Wärme

► Kreisprozesse finden in **Wärmeenergiemaschinen** praktische Anwendung.

- Dampfmaschine	}	Arbeitsstoff ist Luft oder Wasserdampf	Wärmezufuhr von außen
- <u>Heißluftmotor</u>			

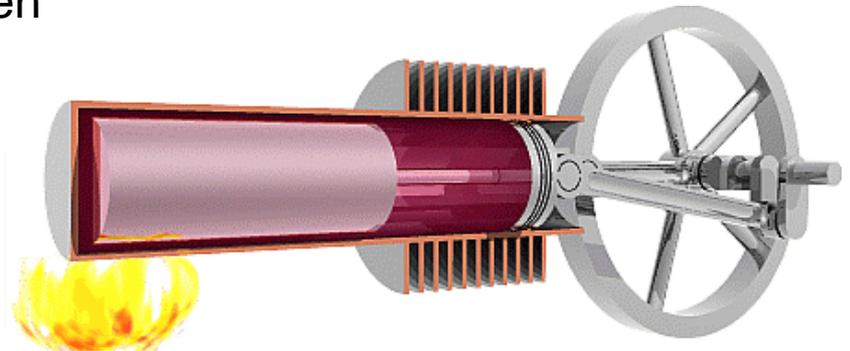
- Otto – Motor	}	Wärmeerzeugung durch Verbrennung innerhalb der Maschine
- Diesel – Motor		
- Gasturbine		

Der Stirling-Motor

- 1816 von dem 26-jährigen schottischen Geistlichen **Robert Stirling** konstruiert
- nach der Dampfmaschine die zweitälteste Wärmekraftmaschine
- Alternative zu den damals aufkommenden Hochdruckdampfmaschinen
- als Arbeitsstoff diente Luft

► Heißluftmotor

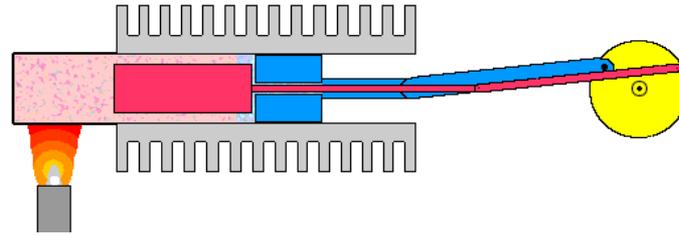
- breite Anwendung als Antriebsmotoren in Schiffen



Funktionsweise:

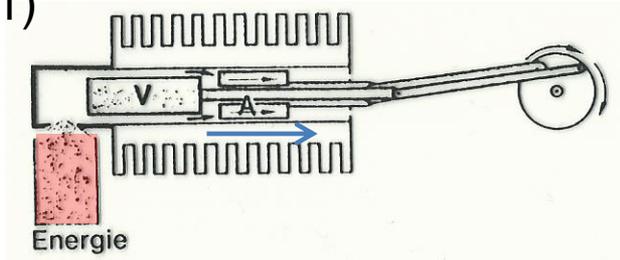
Verdrängerkolben V

Arbeitskolben A



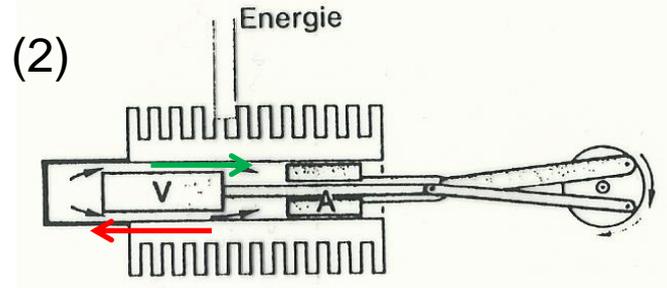
Schwung-
scheibe

(1)



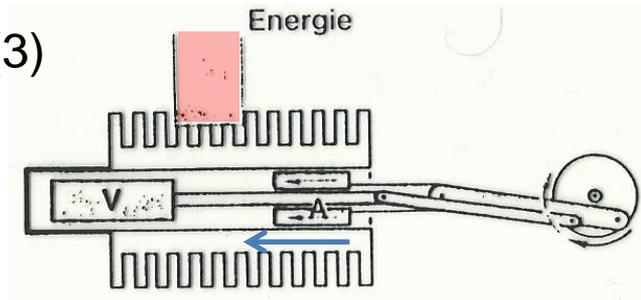
- zugeführte **Wärme** führt zur Ausdehnung der Luft und schiebt den **Arbeitskolben** nach rechts und treibt das Schwungrad an

(2)



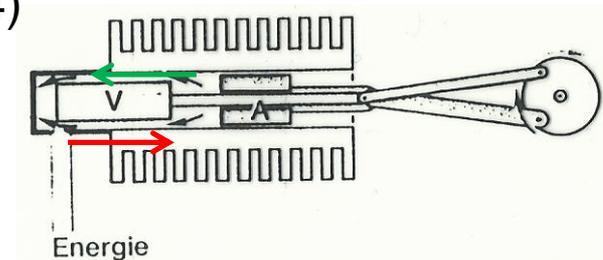
- Energie des Schwungrad schiebt den **Verdrängerkolben** nach links
- **Luft** strömt nach recht am Verdrängerkolben vorbei

(3)



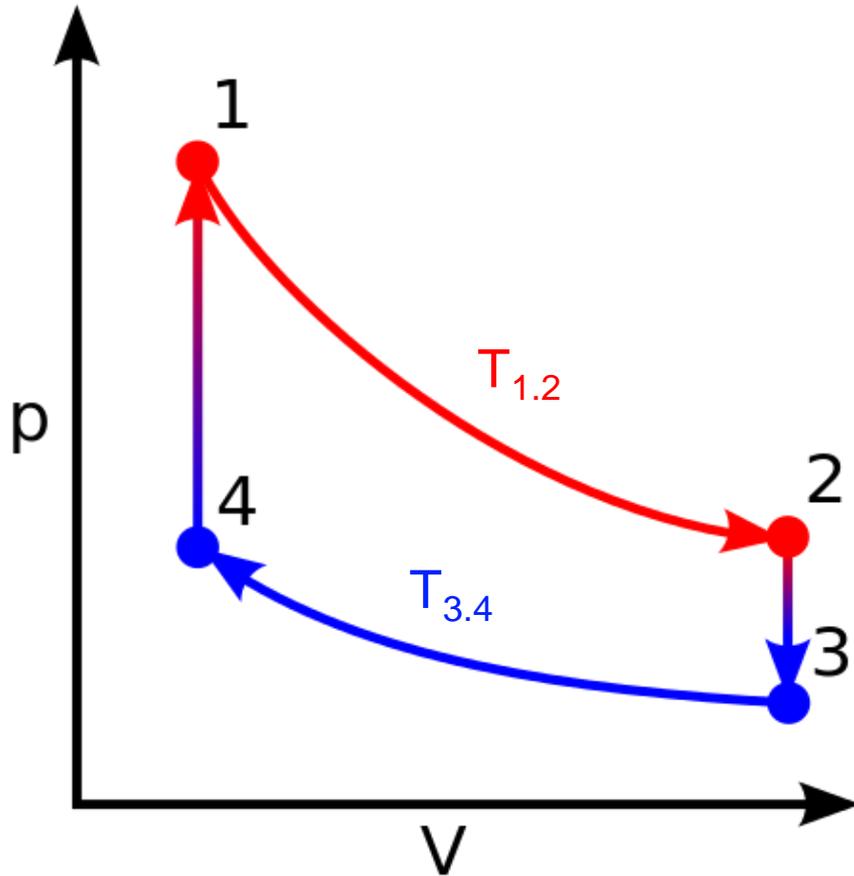
- **Arbeitskolben** bewegt sich nach links und verdichtet die Luft
- Abgabe von **Wärme** an die Umgebung

(4)



- **Verdrängerkolben** bewegt sich nach rechts
- die **Luft** wird in den heißen Zylinderteil zurückgeschoben

Stirlingscher Kreisprozess: (idealisiert)



1 → 2:

- isotherme Expansion durch Wärmezufuhr

$$\Delta U=0 \rightarrow Q = -W$$

→ *Arbeitstakt*

2 → 3:

- Isochore Druckabnahme mit Abkühlung

$$W=0 \rightarrow -\Delta U = -Q$$

3 → 4:

- isotherme Kompression mit Wärmeabgabe

$$\Delta U=0 \rightarrow -W = Q$$

4 → 1:

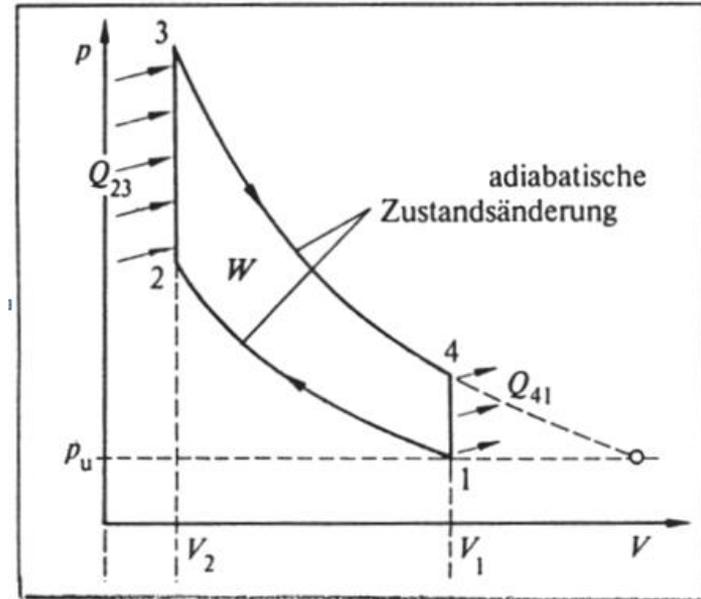
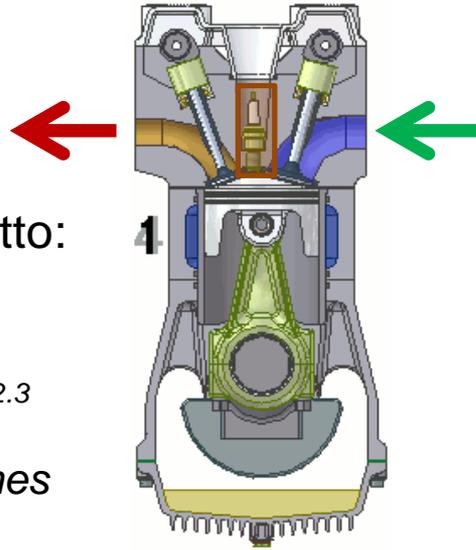
- Isochorer Druckanstieg mit Erwärmung

$$W=0 \rightarrow Q=\Delta U$$

Der 4-Takt Otto-Motor

Nicolaus August Otto:
1877 Patent

Wärmeerzeugung $Q_{2,3}$
durch Zündung des
Benzin-Luft-Gemisches
mittels *Zündkerze*



Der Diesel-Motor

1893 von Rudolf Diesel
erfundenes Verfahren

Wärmeerzeugung $Q_{2,3}$
durch *Selbstzündung*
nach *Dieseleinspritzung*

