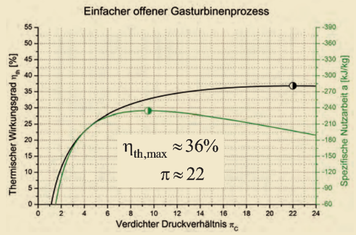
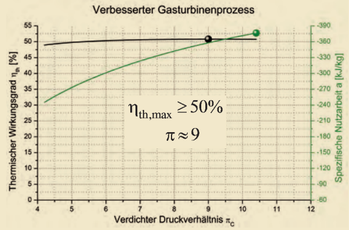
Kleingasturbine $\eta 50^+$

Vergleich: Einfacher Prozess – verbesserter Prozess



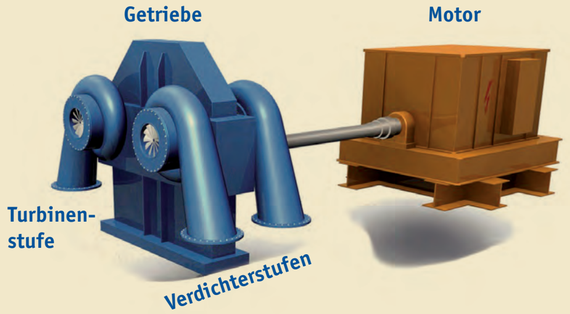
Bei einem einfachen offenen Gasturbinenprozess lassen sich bei bestimmten Randbedingungen thermische Wirkungsgrade von maximal 36% erreichen. Das Verdichterdruckverhältnis muss dabei 22 betragen.

Durch Anwendung der Prozessverbesserungen Rekuperation, Kühlung des Verdichtungsvorgangs durch Wassereinspritzung und gestufte Verbrennung kann bei sonst gleichen Randbedingungen ein thermischer Wirkungsgrad von über 50% bei einem Verdichterdruckverhältnis von 9 erreicht werden.



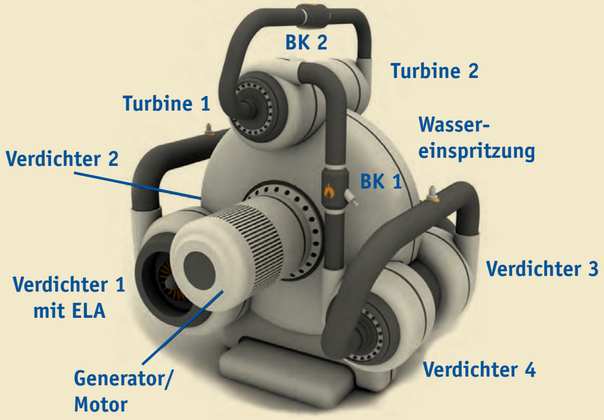
Maschinenkonzept

Erfolgreiches Maschinenkonzept



Das hier dargestellte Maschinenkonzept geht auf eine Entwicklung der Firma Demag aus dem Jahre 1948 zurück. Das in dem Getriebekasten gelagerte Großrad wird durch den Motor angetrieben und treibt über mehrere Ritzelwellen die Verdichterstufen an. Neben Verdichterstufen können auch Turbinenstufen über Ritzelwellen mit dem Großrad verbunden sein. Dadurch ist eine Arbeitszufuhr auf das Großrad und damit eine Entlastung des Antriebsmotors verbunden.

Getriebe-Gasturbine



Die Kleingasturbine verwendet das selbe Konzept. Das Großrad treibt die Verdichterstufen an und übernimmt die von den Turbinenstufen eingetragene Arbeit. Die über die für den Antrieb der Verdichterstufen benötigte Verdichterarbeit hinausgehende, von den Turbinen bereitgestellte Arbeit wird im Generator zu elektrischem Strom umgesetzt.

Thermodynamische Daten

- Verdichterdruckverhältnis π = 7-10
- Kühlung durch Wassereinspritzung ($T_{Verd.-Austritt}$<120°C)
- Turbineneintrittstemperatur $T_{TE,max}$ = 900°C (keine Schaufelkühlung)
- Turbinenaustrittstemperatur T_{TA} = 550-650°C
- Rekuperation sinnvoll bei großer Temperaturdifferenz
- Abgastemperatur nach Rekuperator T_{ABGAS} = 200°C (weitere Wärmeverwertung möglich)
- Luftzahl λ = 8,5: 2-stufige Verbrennung – geringe NOx-Werte, gutes Teillastverhalten, höherer Leistungsumsatz, besserer Wirkungsgrad

Konstruktive Ausführung

- Verschiedene Drehzahlen durch mehrwellige Bauweise (Getriebebauweise)
- Turbinendrehzahl unabhängig von Verdichterdrehzahl
- An Hauptwelle angeordnete Maschine wird als Motor und als Generator benutzt
- Keine zusätzliche Maschine für den Start erforderlich
- Leistungsregelung durch Eintrittsleitradverstellung bei konstanter Drehzahl
- Netzfrequenz wird immer eingehalten (50Hz, 60Hz)
- Wassereinspritzung in die Überführungsleitungen zwischen den Stufen
- Brennkammeranordnung in den Überführungsleitungen

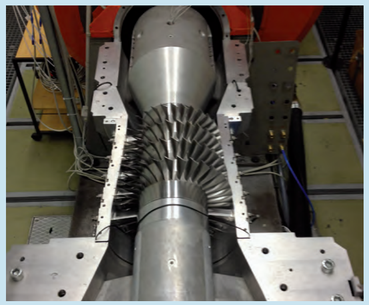
Forschungsprüfstände des Lehrstuhls für Strömungsmaschinen

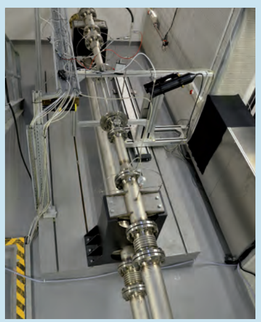
Radialverdichter

- 1 Stufe
- $\dot{m}$ = 1,8 kg/s
- π = 2,0
- n = 22000 min^{-1}
- P = 235 kW

Axialverdichter

- 4 Stufen
- $\dot{m}$ = 14,5 kg/s
- π = 2,0
- n = 11500 min^{-1}
- P = 950 kW





Heißgaskanal

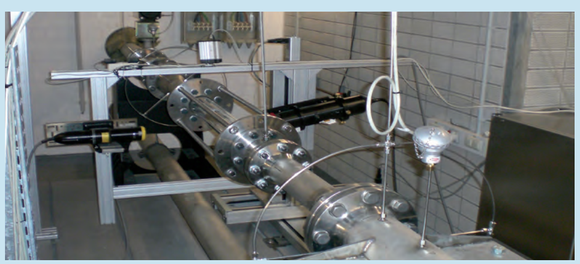
- 4 Stufen
- $\dot{m}$ = 2 kg/s
- p_{max} = 10 bar
- T_{max} = 400oC

Optische Messtrecke

- Ø = 100 mm
- l = 1000 mm

PDPA Messtechnik

Die eingesetzte Lasermesstechnik erlaubt die Bestimmung von Tröpfchengrößen und -geschwindigkeit



Kontakt

Universität Duisburg-Essen
Fakultät für Ingenieurwissenschaften
Abteilung Maschinenbau
Lehrstuhl für Strömungsmaschinen
Keetmanstraße 3-9
47058 Duisburg
Prof. Dr.-Ing. F.-K. Benra
E-Mail: friedrich.benra@uni-due.de

www.uni-due.de/tm

SCIENCE SUPPORT CENTRE

Bei allgemeinen Fragen zum Forschungspotenzial der Universität Duisburg-Essen wenden Sie sich bitte an das Science Support Centre (SSC).

www.uni-due.de/ssc

UNIVERSITÄT DUISBURG ESSEN

Offen im Denken

Lehrstuhl für Strömungsmaschinen

UNIVERSITÄT DUISBURG ESSEN

Offen im Denken

Lehrstuhl für Strömungsmaschinen

Energie & Kreativität: Mikrogasturbine

Der Lehrstuhl für Strömungsmaschinen

Strömungsmaschinen sind Kraft- oder Arbeitsmaschinen, die in Energiewandlungsprozessen eingesetzt werden und Energieträger wie Flüssigkeiten, Gase oder Dämpfe nutzen. Prof. Dr.-Ing. Friedrich-Karl Benra und sein zehnköpfiges Mitarbeiterteam beschäftigen sich mit Gasturbinen, Dampfturbinen, Turboverdichtern und Kreiselpumpen.

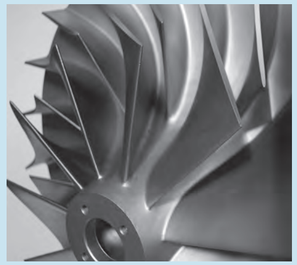
Lehre

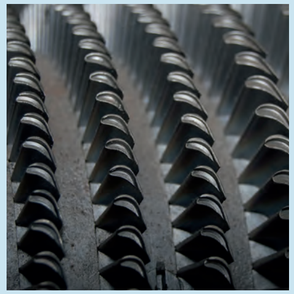
Studierende lernen die Grundlagen der Strömungsmaschinen in Theorie und Praxis kennen. Anwendungen wie Kreiselpumpen, Verdichter, Gas- und Dampfturbinen werden in Vertiefungsvorlesungen behandelt. Zum Lehrprogramm gehören neben Vorlesungen, Übungen und Laborversuchen auch Exkursionen zu Strömungsmaschinenherstellern sowie die Vermittlung von Praktika und Studien- und Abschlussarbeiten bei der regionalen Strömungsmaschinenindustrie.

Forschung

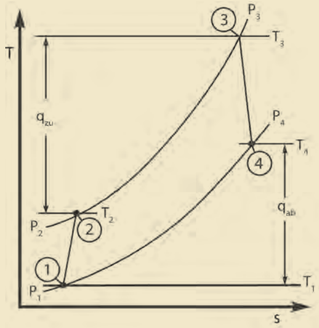
Am Lehrstuhl wird die Strömung in den aufgeführten Maschinen mit experimentellen und numerischen Methoden untersucht. Ein Schwerpunkt ist dabei die grundlegende Betrachtung von Strömungsvorgängen in durch Rotor und Gehäuse gebildeten Räumen (Kavitäten). Als Beispiele für Forschungsprojekte sind die Untersuchung von Heißgaseinzug bei Gasturbinen oder der Nachweis akustischer Moden bei Radialverdichtern zu nennen. Ein weiterer Schwerpunkt ist die Behandlung von Zweiphasenströmungen.

Dabei werden insbesondere Verdampfungs- und Kondensationsvorgänge innerhalb der Schaufelgeometrie von Strömungsmaschinen experimentell und numerisch untersucht. Die Verdampfung von in den Gasstrom eingespritzter Flüssigkeit bei Verdichtern dient zur intensiven Kühlung und verringert die Arbeitsaufname der Maschinen. Die Kondensation von Gaskomponenten bei der Expansion erlaubt eine umfassendere Verwertung der im Fluida enthaltenen Energie.





Einfacher offener Gasturbinenprozess



$$\eta_{th} = 1 - \frac{q_{ab}}{q_{zu}}$$

$$\eta_{th} = \frac{\frac{T_3}{T_1}\left(1-\pi^{\frac{1-\kappa}{\kappa}}\right)\eta_{sT} - \left(\pi^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}-1\right)\frac{1}{\eta_{sV}}}{\frac{T_3}{T_1} - 1 - \left(\pi^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}-1\right)\frac{1}{\eta_{sV}}}$$

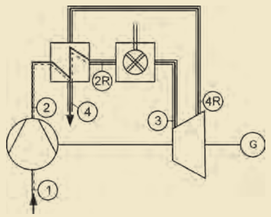
Beim einfachen Gasturbinenprozess muss die gesamte Wärmemenge q_{zu} nach dem Verdichtungsprozess durch den Brennstoff zugeführt werden. Die an die Umgebung abgeführte Wärmemenge q_{ab} ist aufgrund des vorliegenden Umgebungsdruckes sehr hoch. Aus der Gleichung für den thermischen Wirkungsgrad ist erkennbar, dass mit diesen Randbedingungen nur ein relativ geringer Wirkungsgrad mit dem einfachen offenen Gasturbinenprozess erzielbar ist.

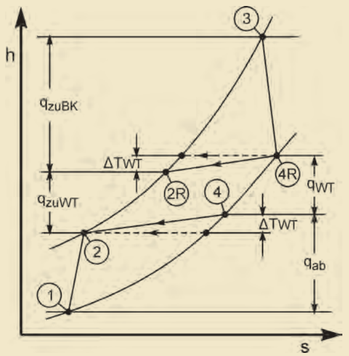
Um höhere Wirkungsgrade zu erreichen, muss der Prozessablauf geändert werden. Es müssen Prozessverbesserungen wie zum Beispiel Verwertung der Abwärme durch Rekuperation, Kühlung des Verdichtungsprozesses, Zwischenübererhitzung, etc. eingeführt werden.

Prozessverbesserungen

a Rekuperation

Bei der Abwärmeverwertung durch Rekuperation wird ein Teil der Abgasenergie verwendet, um den vom Verdichter komprimierten Luftmassenstrom vor der Wärmezufuhr in der Brennkammer zu erwärmen (q_{zuWT}). Die dem Abgas entnommene Energie reduziert die benötigte Brennstoffmenge (q_{zuBK}). Verluste bei der Wärmeübertragung mittels Wärmetauscher sind mit DTWT bezeichnet. Die von der Gasturbine an die Umgebung abgeführte Wärmemenge ist geringer als beim einfachen offenen Prozess (q_{ab}).

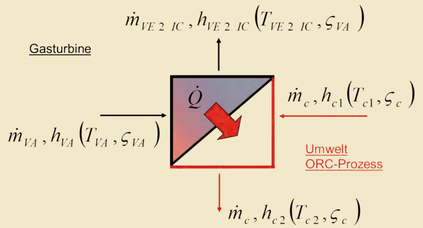




b Kühlung durch Wassereinspritzung

Verdichterkühlung durch konventionelle Wärmetauscher

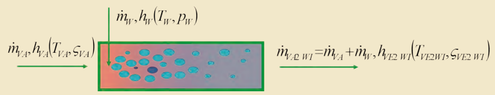
- Zwischenkühlung
  - Energieverlust über die Bilanzgrenze



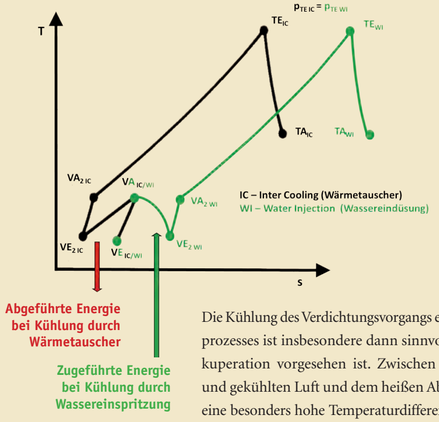
Bei der konventionellen Kühlung wird nach einer bestimmten Anzahl von Verdichtungsstufen Energie aus dem Kreislauf durch Wärmetauscher entnommen und an die Umgebung abgeführt.

Verdichterkühlung durch konventionelle Wärmetauscher

- Wassereindüsung
  - Energiezufuhr in die Bilanzgrenze

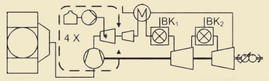


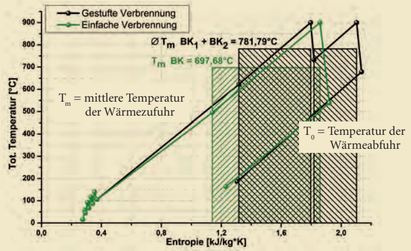
Bei der Kühlung durch Wassereinspritzung wird Wasser nach jeder Verdichterstufe in die komprimierte Luft eingespritzt. Das eingespritzte Wasser verdampft und entnimmt die dazu benötigte Energie der verdichteten Luft und kühlt diese dabei ab. Damit wird keine Energie aus dem Kreisprozesses entnommen, sondern Energie durch das eingespritzte Wasser zugeführt und der Fluidmassenstrom durch den Wasseranteil erhöht.



Die Kühlung des Verdichtungsvorgangs eines Gasturbinenprozesses ist insbesondere dann sinnvoll, wenn eine Rekuperation vorgesehen ist. Zwischen der verdichteten und gekühlten Luft und dem heißen Abgas besteht dann eine besonders hohe Temperaturdifferenz, die eine Übertragung erheblicher Mengen von Abgasenergie auf das Frischgas ermöglicht.

c Gestufte Verbrennung



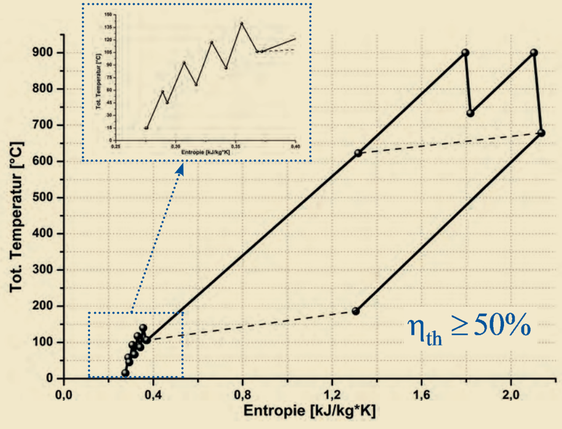


Zwischenüberhitzungen sind bei Dampfturbinenprozessen seit langem bekannt. Dabei wird das Fluid nach einer ersten Entspannung in einer Turbine auf einen Zwischendruck erneut durch weitere Brennstoffzufuhr erhitzt und danach in einer nächsten Turbine weiter entspannt. Dieser Vorgang wird beim Gasturbinenprozess auch gestufte Verbrennung genannt. Damit lässt sich eine Erhöhung der mittleren Temperatur der Energiezufuhr Tm durch zusätzlichen Brennstoff erreichen.

Aus der grundlegenden Beziehung für den thermischen Wirkungsgrad des Kreisprozesses lässt sich ablesen, dass mit dieser Prozessverbesserung eine Wirkungsgraderhöhung der Maschine unabhängig von der vorliegenden Umgebungstemperatur einhergeht.

$$\eta_{th} = 1 - \frac{T_0}{T_m}$$

Gasturbinenprozess mit Verbesserungen a + b + c



Eine Anwendung der Prozessverbesserungen
a) Rekuperation
b) Kühlung des Verdichtungsprozesses durch Wassereinspritzung
c) Gestufte Verbrennung
ermöglicht thermische Wirkungsgrade von über 50 % für den verbesserten Gasturbinenprozess.