



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN



MASTERARBEIT

Zusammenstellung der Daten von Dampf- und ortsfesten Gasturbinen in Österreich

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades einer

Diplom-Ingenieurin (Dipl.-Ing. oder DI)

eingereicht an der TU Wien, Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften

von

Ivana BIRTASEVIC

Mat.Nr.: 00426163

unter der Leitung von

Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Reinhard Willinger

E302

Institut für Energietechnik und Thermodynamik

Forschungsbereich Strömungsmaschinen

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass die vorliegende Arbeit nach den anerkannten Grundsätzen für wissenschaftliche Abhandlungen von mir selbstständig erstellt wurde. Alle verwendeten Hilfsmittel, insbesondere die zugrunde gelegte Literatur, sind in dieser Arbeit genannt und aufgelistet. Die aus den Quellen wörtlich entnommenen Stellen, sind als solche kenntlich gemacht.

Das Thema dieser Arbeit wurde von mir bisher weder im In- noch Ausland einer Beurteilerin/einem Beurteiler zur Begutachtung in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt. Diese Arbeit stimmt mit der von den Begutachterinnen/Begutachtern beurteilten Arbeit überein.

Wien, Dezember 2021

Unterschrift

Danksagung

An der ersten Stelle gebührt mein Dank Herrn Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Reinhard Willinger nach der gelungenen Fertigstellung meiner Bachelorarbeit für die erneuerte Unterstützung und Vergabe des hochinteressanten Themas für die Masterarbeit. Herzlich bedanken möchte ich mich auch bei Ihm für intensive professionelle Begleitung, zahlreiche Beiträge und zielgerichtete Tipps, die eine entscheidende Rolle bei der Entstehung meiner Masterarbeit gespielt haben.

An dieser Stelle richte ich einen besonderen Dank an alle Unternehmen, die mich auf eine freundliche Weise bei der Erstellung dieser Masterarbeit unterstützt haben.

Weiterhin danke ich allen meinen Freunden für hilfreiche Anregungen und deren konstruktive Kritik während des Studiums und der Erstellung dieser Arbeit.

Mein ganz besonderer Dank gilt meinem Studienkollege Boris Erman für seine alltägliche und geduldige Hilfsbereitschaft, produktive Zusammenarbeit und wertvolle Freundschaft während unserer gemeinsamen Studienzeit.

Schließlich geht bedeutender Dank meinem Mann Milos für die liebevolle Unterstützung und den großen Beistand auf dem Weg zu meinem Ziel. Für unbegrenztes Verständnis bin ich ihm zu tiefstem Dank verpflichtet.

Abstract

The subject and topic of this master thesis is to make an overview of the current state of use of steam and gas turbines in Austria.

The first chapters discuss the most important basic information about gas and steam turbines. Special attention is paid to the identification and composition of areas and branches in which gas and steam turbines are used both individually and in combination. Relying on that, this work gives an overview of current data on gas and steam turbines operating in Austria. For this, I made an effort to find and contact potential operators in order to get significant data and information on gas and steam turbines in Austria. Building on this, this thesis concludes with an overview of the appropriate evaluation of all data obtained.

Kurzfassung

Gegenstand und Anliegen dieser Masterarbeit ist es, einen Überblick über den aktuellen Stand der Verwendung von Dampf- und Gasturbinen in Österreich zu verschaffen.

In den ersten Kapiteln sind die wichtigsten Grundlageninformationen über die Gas- und Dampfturbinen näher erläutert. Besonderes Augenmerk wurde auf Identifizierung und Zusammenstellung von Bereichen und Sparten gelegt, in denen die Gas- und Dampfturbineneinheiten sowohl einzeln als auch kombiniert ihre Verwendung finden. Darauf basierend verschafft diese Arbeit eine Übersicht über die aktuellen Daten der in Österreich im Betrieb befindlichen Gas- und Dampfturbinen. Dazu bemühte ich mich potentielle Betreiber herauszufinden und zu kontaktieren, um auf wesentliche Daten und Informationen über die Gas- und Dampfturbinen in Österreich zu gelangen. Darauf basierend verschafft diese Arbeit zum Abschluss eine Übersicht über die entsprechende Auswertung aller gewonnenen Daten.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	iii
Abstract	iv
Kurzfassung.....	v
Nomenklatur.....	viii
1 Einleitung	1
2 Gasturbinen	3
2.1 Historischer Rückblick	3
2.2 Grundlagen	6
2.3 Bauarten.....	11
2.3.1 Heavy-Duty Gasturbinen	12
2.3.2 Industriegasturbinen.....	14
2.3.3 Aero derivative.....	15
2.3.4 Mikrogasturbinen	17
3 Dampfturbinen	19
3.1 Historischer Rückblick	19
3.2 Grundlagen	22
3.3 GuD-Prozess	26
3.4 Bauarten.....	31
3.4.1 Kleindampfturbinen	33
3.4.2 Industriedampfturbinen.....	35
3.4.3 Kraftwerksdampfturbinen	39
3.4.4 Satteldampfturbinen.....	43
3.4.5 Dampfturbinen für GuD-Anlagen.....	45
4 Einsatzbranchen von Gas- und/oder Dampfturbinen	51
4.1 Stromerzeugung.....	53
4.2 Palm- und Zuckerindustrie	56
4.3 Eisen- und Stahlindustrie.....	57
4.4 Sägewerk- und Holzindustrie	57
4.5 Zellstoff- und Papierindustrie	58
4.6 Chemische Industrie	58

4.7 Zementindustrie	58
4.8 Lebensmittelindustrie	59
4.9 Öl- und Gasindustrie.....	59
5 Nutzung von Gas- und Dampfturbinen in Österreich	61
5.1 Potentielle Betreiber	61
5.2 Betreiber	67
6 Zusammenfassung und Ausblick	80
Literatur	86

Nomenklatur

Lateinische Formelzeichen

Symbol	Bedeutung	Einheit
a_w	spezifische Prozessarbeit	J/kg
c_p	spezifische Wärmekapazität	J/(kgK)
h	spezifische Enthalpie	J/kg
Δh	spezifische Enthalpiegefälle	J/kg
H_u	(unterer) Heizwert	kJ/kg
k	Isentropenexponent	-
\dot{m}_b	Brennstoffmassenstrom	kg/s
p	Druck	Pa
Δp	Druckdifferenz	Pa
P	Leistung	W
P_{el}	elektrische Leistung	W
$P_{V,mech}$	mechanische Verlustleistung	W
\dot{Q}_N	Nutzwärmeleistung	W
\dot{Q}_V	Verlustwärmeleistung	W
\dot{Q}_{zu}	zugeführter Wärmestrom	W
q	spezifische Wärmemenge	J/kg
R	spezifische Gaskonstante	J/(kgK)
s	spezifische Entropie	J/(kgK)
T	Temperatur	K
T_m	Thermodynamische Mitteltemperatur	K
T_o	Kondensattemperatur	K
T_u	Umgebungstemperatur	K
V	Volumen	m^3
w_p	spezifische Turbinenarbeit	J/kg
w_T	spezifische Turbinenarbeit	J/kg

Lateinische Formelzeichen

η_{mech}	mechanischer Wirkungsgrad	-
η_{th}	thermischer Wirkungsgrad	-
$\eta_{th,0}$	thermischer Wirkungsgrad, Bezugsfall	-
$\eta_{s,T}$	isentropen Turbinenwirkungsgrad	-
$\eta_{s,V}$	isentropen Verdichterwirkungsgrad	-
η_Q	Wirkungsgrad der Wärmeausnutzung	-
$\eta_{s,T,Flansch}$	Flanschwirkungsgrad	-
ρ	Dichte	kg/m ³
ω	Stromkennzahl	-
ω_n	Nutzfaktor	-

1 Einleitung

Permanente Modernisierung des aktuellen Technikstandes bietet eine gehobene Lebensqualität und erfordert demzufolge neben einem höheren Energiebedarf auch eine kontinuierliche Industrieentwicklung.

Der weltweit zunehmende Trend in der Energiepolitik, hochaufgeschossenen Anteil der Energiegewinnung aus regenerativen Energiequellen wie Wind, Sonne und Wasser bereitzustellen, fordert dessen zügige Entwicklung von Tag zu Tag heraus. Jedoch reicht in dieser Weise erzeugte Energie zur Deckung des globalen Strombedarfes nicht aus und führt zu notwendiger Energieversorgungsergänzung durch Stromproduktion auf thermischem Wege. Auch in der Zukunft kann nicht auf den Einsatz von fossilen Energieträgern für die Stromproduktion verzichtet werden.

Selbst in Ländern, wie Österreich, die einen bemerkenswerten Anteil der Stromerzeugung durch regenerativen Energiequellen und vorzugsweise durch vorhandene Wasserkräfte erzielen, muss ein wesentlicher Teil des elektrischen Energieverbrauches thermisch bedeckt werden. Somit ergibt sich 60,2 % der erzeugten und benötigten Energie aus der Wasserkraft. Dennoch muss insbesondere während Winterzeit aufgrund steigender Energieanfrage und des Rückganges des Wasserangebots auf Wärmekraftwerke zurückgegriffen werden. Der Energieerzeugungsanteil durch Wärmekraftwerke befindet sich bei 24 %, was einer Engpassleistung von rund 7200 MW entspricht. [4]

Energie- und Stromerzeugungsmix in Österreich

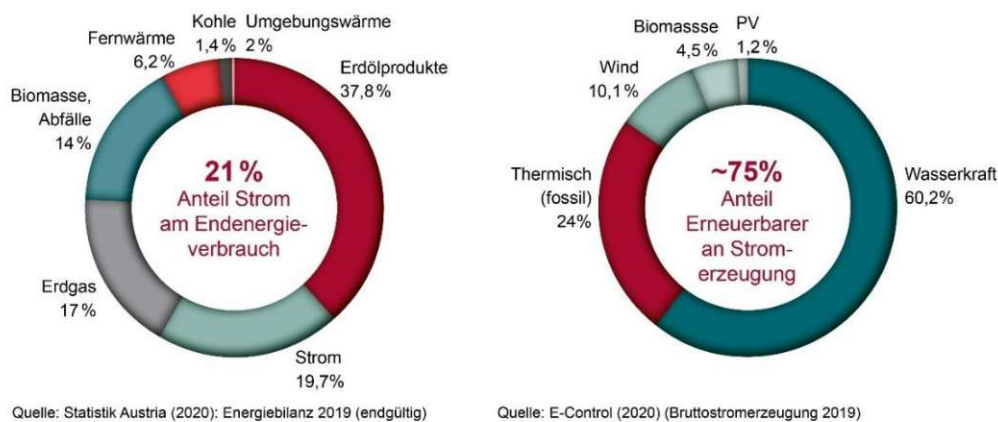


Abbildung 1: Erzeugungsstruktur [4]

In der Abbildung 1 sind alle inländischen Energieerzeugungsmöglichkeiten in Österreich ersichtlich, sowie deren prozentuale Versorgungsanteile für das Jahr 2019. [6]

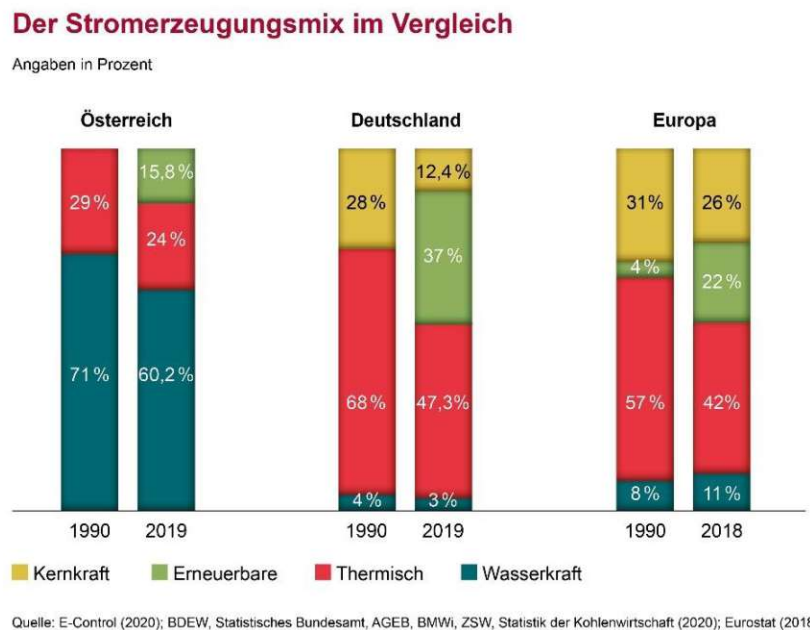


Abbildung 2: Der Stromerzeugungsmix im Vergleich [4]

Zusätzlich deuten die Vergleiche in der Abbildung 2 auf die unterschiedliche Energieerzeugungswege in Österreich, Deutschland und gesamt Europa hin. Österreich zeichnet sich als Spitzenreiter in der umweltfreundlichsten Energieerzeugung mit hervorragenden 60,2 % mittels Wasserkräfte, 24 % auf thermischem Wege und 15,8 % aus erneuerbaren Energien aus.

Heutzutage bestehen zahlreiche Turbinenarten, die sich nach unterschiedlichen Kategorien einteilen lassen. Diejenigen Turbinen, die kompressible Fluide nutzen und zur Gruppe thermischer Strömungsmaschinen gehören, werden grundsätzlich auf Gas- und Dampfturbinen eingeteilt. In erster Linie stellen sie die Hauptbestandteile bei hocheffizienten thermischen Kraftwerken dar und leisten dementsprechend einen bedeutenden Beitrag zur sicheren Stromversorgung nicht nur in Österreich sondern auch weltweit.

Vorrangiges Ziel dieser Masterarbeit ist, möglichst viele Anwendungsmöglichkeiten dieser Turbinenarten zu identifizieren und entsprechend zu erläutern. Dazu sollen die technischen Daten der in Österreich in Betrieb befindlichen Dampf- und Gasturbinen betreffend der Einsatzbereiche und -branchen herausgefunden und ausgewertet werden.

In dieser Folge soll einleitend ein kurzer Gesamtüberblick über technische Grundlagen und wichtigste Bauarten sowohl Gas- als auch Dampfturbineneinheiten geschaffen werden.

Längsschnitt durch Verdichter und Turbine dieser patentierten Anlage „Weißensee“ ist in folgender Abbildung 4 dargestellt.

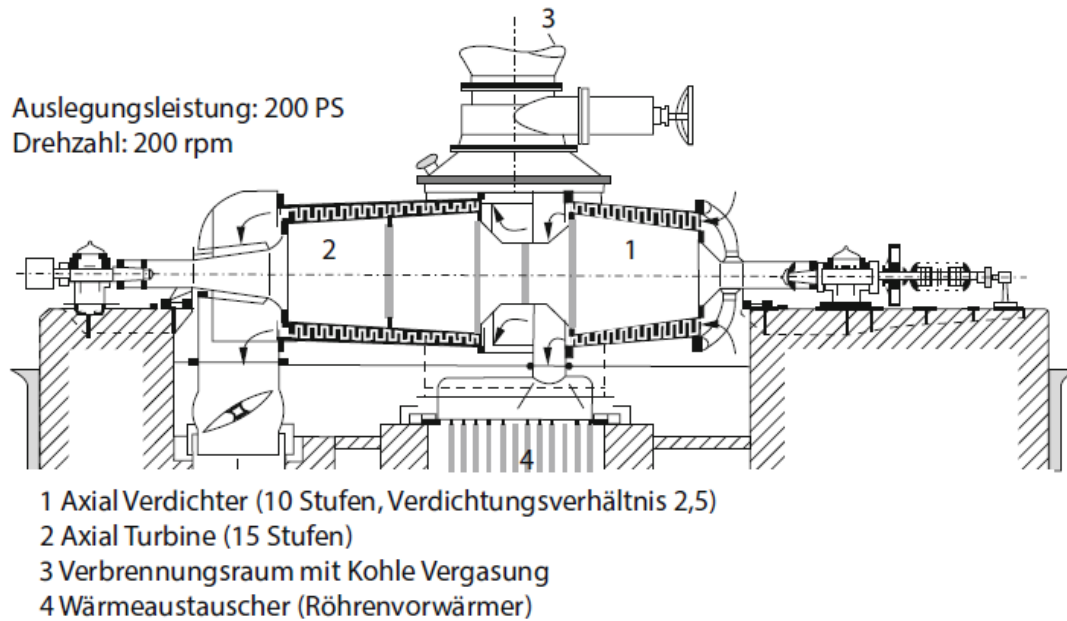


Abbildung 4: Längsschnitt der Anlage "Weißensee" [1]

Erst 30 Jahre später und nach entsprechenden Verbesserungen im Sinne einer bemerkungswerten Erhöhung des Wirkungsgrades haben die Gasturbinen den Stand erreicht, die ausreichende Nutzleistung für die erfolgreiche Stromproduktion zu gewährleisten. Hierzu wurde eine stationäre Gasturbine von BBC im Jahr 1939 in der Schweiz (Neuchatel) betrieben und erzielte eine Spitzenleistung von etwa 4 MW. Zeitgleich startete das Unternehmen Siemens mit der Entwicklung stationärer Gasturbinen, welche wegen dem Kriegsausbruch gleich im Jahr 1940 abgebrochen wurde.

Die nächste Entwicklungsphase fand etwa ab dem Jahr 1950 statt und umfasst alle stationären Gasturbinen von Siemens mit einer Leistung von rund 10 MW. Als Fundament für die Entstehung dieser Turbinen diente das alte revolutionäre Modell von Stolze. Überdies wurde die Turbine dieser Leistungsklasse im Jahr 1965 für die Kombination mit einem voll befeuerten Kohlekessel und folglich zur Entstehung des ersten Kombiprozesses verwendet. Die Installation dieser Turbinen erfolgte von der Firma Siemens im Kraftwerk Hohe Wand in Österreich. Dabei erzielter Nettowirkungsgrad von 41,6 % setzte die Spitzenlastabdeckung als die Haupteinsatzmöglichkeit für Gasturbinen bis in die 80er Jahre voraus.

Schließlich fand der Einbau einer Gasturbine von Mitsubishi mit einer Leistung von 16,5 MW im ersten Gas- und Dampfkraftwerk im Japan statt.

Im gleichen Augenblick entstand sowohl in den USA von General Electric als auch in Europa von BBC die reine Gas- und Dampfanlage. Unter dem Begriff reine Gas- und Dampfanlage bezeichnet man ein Kraftwerk ohne Verwendung eines vollbefeuchten Kohlkessels. Das in Europa erbaute Gas- und Dampfkraftwerk befindet sich in Korneuburg und erzielte damals schon einen Wirkungsgrad über 46 %.

2.2 Grundlagen

Wie bereits angesprochen, gehören die Gasturbineneinheiten zur Gruppe thermischer Strömungsmaschinen und kommen in verschiedensten Bereichen zum Einsatz. Die einfachste Form ist als einwellige Maschine ausgeführt und besteht nur aus Verdichter, Brennkammer und Turbine. Ist in diesem Kontext die Rede von möglichen Anwendungsfähigkeiten von Gasturbinen, wie der Antrieb von Kraftfahrzeugen oder Hubschraubern, dann eignet sich der Einsatz der zweiwelligen Anlage.

Als Grundprozess für viele aktuelle stationäre Gasturbinenanlagen und Flug-Gasturbinen wird der rechtslaufende Joule-Kreisprozess oder Brayton-Kreisprozess angenommen, der dem verlustfreien Idealfall darstellt. Er ist nach dem britischen Physiker James Prescott Joule benannt und ist durch eine isentrope Verdichtung, gefolgt von einer isobaren Wärmezufuhr in der Brennkammer und einer isentropen Entspannung in den Turbinenstufen bekannt. In der Tatsache ist allerdings mit Verlusten zu rechnen.

Unter der Annahme der Idealisierung betrachteter Gase gilt die thermische Zustandsgleichung für ideale Gase.

$$pv = RT$$

Die folgenden Verhältnisse sind daher allgemeingültig aus dieser Formel umformbar.

$$p = \rho RT$$

$$\rho = \frac{p}{RT}$$

In einem teilidealen Joule-Prozess kommt es zu den isobaren Wärmeübertragungen und diese Prozessführung ist in der Abbildung 5 illustriert. Hieraus ergibt sich ein erheblich niedrigerer thermischer Wirkungsgrad bei gleichen maximalen und minimalen Prozesstemperaturen.

$$\eta_{th} = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \frac{1}{\pi^{\frac{k-1}{k}}}$$

$$\pi = \frac{p_3}{p_4} \dots \dots \dots \text{Druckverhältnis der Expansion}$$

Die erste Einsicht aus dieser Formel ist, dass der thermische Wirkungsgrad nicht von der maximalen Prozesstemperatur beeinflusst wird, sondern durch das erreichte Druckverhältnis definiert ist.

Jedoch spielt die obere Prozesstemperatur unter Berücksichtigung eines thermisch und kalorisch idealen Gases eine wichtige Rolle bei der gewonnenen Prozessarbeit.

$$a_w = (h_3 - h_4) - (h_2 - h_1) = c_p T_1 \eta_{th} \left[\frac{T_3}{T_1} - \frac{1}{1 - \eta_{th}} \right]$$

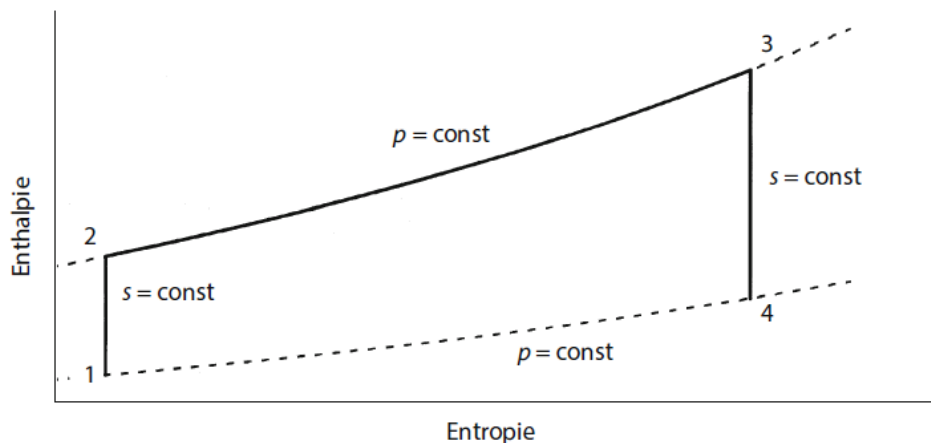


Abbildung 5: (Teil-) Idealer Joule-Prozess [1]

Daraus resultieren schon die grundlegenden Hinweise für das Verhalten eines realen Joule-Prozesses, bei dem mit Verlusten des Gesamtprozesses aufgrund der Nichtumkehrbarkeiten aller einzelnen Zustandsänderungen zu rechnen ist.

Wenn man Kreisprozesse allgemein betrachtet, treten die Verluste insbesondere durch folgende Effekte auf:

- Reibungsverluste
- Mischungsverluste
- Verluste infolge endliche Temperaturunterschiede bei der Wärmeübertragung
- Verluste infolge der chemischen Abwicklung bei der prozessinternen Verbrennung
- Wärmeverluste an der Umgebung ohne Arbeitsleistung. [1]

Anknüpfend daran werden die Wirkungen der bedeutsamen Verluste auf den Joule-Prozess näher erläutert.

Läuft die adiabate Kompression und Expansion bei einem Joule-Prozess nicht mehr reibungsfrei ab, ergibt sich der thermische Wirkungsgrad vor allem als Funktion der höchsten Prozesstemperatur vor der Expansion.

$$\eta_{th} = \frac{\frac{T_3}{T_1} \eta_{s,V} \eta_{s,T} - \pi^m}{\left(\frac{T_3}{T_1} \eta_{s,V} - \pi^m\right) + (1 - \eta_{s,V})} \frac{\pi^m - 1}{\pi^m}$$

$$m = \frac{k - 1}{k}$$

Schwächere Abhängigkeit von der oberen Prozesstemperatur als von dem Druckverhältnis beweist sich dadurch, dass der erste Teil für Komponentenwirkungsgrade auf der rechten Seite gegen 1 ($\eta_{s,V} \eta_{s,T} \rightarrow 1$) geht und daher der rechte Term neutral wird.

Ein höherer Bedarf an Kompressionsarbeit entsteht grundsätzlich durch auftretende Druckverluste am Eintritt in die Gasturbine und in der Brennkammer. Im Gegensatz dazu muss in der Maschine ohne Druckverluste von einem niedrigeren Druckniveau am Eintritt in die Beschauflung auf ein höheres Druckniveau an deren Ende komprimiert werden. [1]

Dieser Vergleich ist in der Abbildung 6 illustriert.

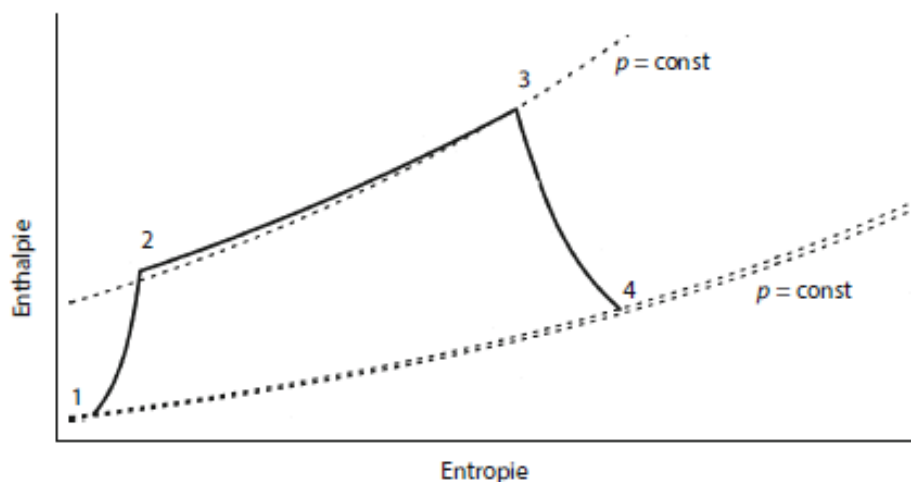


Abbildung 6: Darstellung des realen Joule-Prozesses [1]

Die Wirkung dieser Verluste lässt sich mittels der bereits dargestellten Formel der Maschine mit Kompressor- und Turbinenwirkungsgraden unter 1 als Basis aufgliedern und beschreiben

$$\eta_{th} = \frac{\eta_{th,0} - A}{1 - A},$$

in dem gilt, dass

$\eta_{th,0}$beschriebener Wirkungsgrad ist.

Das Term A lässt sich auf folgende Weise ausdrücken:

$$A = \pi^m \frac{\left(\frac{1 + \left(\frac{\Delta p}{p}\right)_2}{1 - \left(\frac{\Delta p}{p}\right)_1}\right)^{m-1}}{\eta_{s,V} \left(\frac{T_3}{T_1} - 1\right) - (\pi^m - 1)} \approx m\pi^m \frac{\left(\frac{\Delta p}{p}\right)_1 + \left(\frac{\Delta p}{p}\right)_2}{\eta_{s,V} \left(\frac{T_3}{T_1} - 1\right) - (\pi^m - 1)},$$

wobei gilt

AVerhältnis der zusätzlichen Kompressionsarbeit zur zugeführten Wärmemenge im Basisfall

πDruckverhältnis bei der Expansion

$\left(\frac{\Delta p}{p}\right)_1$Ansaugdruckverlust normiert mit dem Verdichtereintrittsdruck

$\left(\frac{\Delta p}{p}\right)_2$Brennkammerdruckverlust normiert mit dem Verdichteraustrittsdruck.

Endet die Expansion der Turbine auf einem höheren Druckniveau, kommt es zur Drosselung des Arbeitsmediums auf Umgebungsdruck bei konstanter Enthalpie. Auf dieser Weise entstehender zusätzlicher Druckverlust ist nicht in der Formel für den thermischen Wirkungsgrad berücksichtigt. Er wird direkt dem isentropen Mischwirkungsgrad der Turbine beigelegt

$$\eta_{s,T,Flansch} = \eta_{s,T} \frac{\pi^{m - \left(1 + \left(\frac{\Delta p}{p}\right)_4\right)^m}}{\pi^m - 1},$$

wobei

$\left(\frac{\Delta p}{p}\right)_4$normierte Druckverlust nach der Turbine ist.

Unter Berücksichtigung der Verluste lässt sich die spezifische Arbeit des Joule-Prozesses aus Enthalpien an den Eckpunkten des Prozesses definieren.

$$a_w = (h_3 - h_4) - (h_2 - h_1) = c_p T_1 \eta_{th} \left[\frac{T_3}{T_1} - \frac{T_2}{T_1} \right]$$

Zur den Verlusten, die nicht direkt die Thermodynamik des Prozesses beeinflussen, zählen beispielsweise Wärmeverluste an die Umgebung und mechanische Verluste in den Lagern. Rechnerisch drückt man sie durch Verlustwärme \dot{Q}_v und mechanische Verlustleistung $P_{v,mech}$ aus, indem man zuerst den prozessinternen Wirkungsgrad

$$\eta_{th,0} = \frac{|P|}{\dot{Q}_{zu}}$$

und den korrigierten Gesamtwirkungsgrad

$$\eta_{th} = \eta_{th,0} \eta_{mech} \eta_Q$$

definiert. Dazu gilt für das Verhältnis der verringerten Kupplungsleistung zur Wellenleistung

$$\eta_{mech} = 1 - \left| \frac{P_{v,mech}}{P} \right|$$

und für das Verhältnis der vom Prozess genutzten Wärme zur tatsächlich zugeführten Wärmemenge.

$$\eta_Q = \frac{\dot{Q}_{zu}}{\dot{Q}_{zu} + |\dot{Q}_v|}$$

2.3 Bauarten

Bezugnehmend auf den umfangreichen Leistungsbereich der Gasturbinen ergibt sich eine globale Kategorisierung auf Mikrogasturbinen mit nur wenigen Kilowatt bis zu Maschinen für Gas- und Dampfturbinenprozess mit einer Leistung mehr als 250 MW.

Im Gegensatz zu Gasturbinen des größeren Leistungssegmentes, welche in der Dauerlast betrieben werden, gibt es noch Gasturbinen mittlerer Größe mit einer Leistung von etwa 25 MW zur Abdeckung von Spitzenlasten. Dazu zählen sogenannte Aeroderivate, die direkt aus den Flugtriebwerken abgeleitet sind.

Außerdem kommen die Gasturbinen im Leistungsbereich bis 25 - 30 MW auch noch zum Einsatz beim Antrieb von Arbeitsmaschinen wie Kompressoren oder Pumpen. Dabei handelt es sich um den sogenannten mechanischen Antrieb.

Die Gasturbinen, welche zum Flugzeugantrieb eingesetzt werden, dienen insbesondere zum Antrieb des Verdichters und besitzen ähnliche Komponenten wie die üblichen stationären Gasturbinen.

Zu den wichtigsten Vorteilen von Gasturbinen zählen im Allgemeinen kompakte einfache Bauweise, kurze Anfahrzeit und sehr große Leistungsdichte.

Die etwas ausführliche Gliederung und nähere Beschreibung einzelner Bauarten folgt in weiteren Unterkapiteln.

2.3.1 Heavy-Duty Gasturbinen

Heavy-Duty Gasturbinen stellen Industriegasturbinen in Schwerbauweise dar, wie sie auch oft bezeichnet werden. Sie weisen eine robuste Bauweise auf. Dies garantiert einen sicheren Betrieb und hohe Langlebigkeit aller Bauteile. In der Regel werden sie über lange Intervalle in Volllast betrieben.

Innovative Heavy-Duty Gasturbinen besitzen üblicherweise axial durchströmte Verdichter und Turbinen. Außerdem weisen sie ein Druckverhältnis von etwa 15:1 auf. Parallel erzielen die Turbineneintrittstemperaturen Werte von mehr als 1000 °C. So erreichen die modernen Heavy-Duty Gasturbinen einen Leistungsbereich von ca. 50 MW bis 300 MW. Jedoch ist das Ziel eine weitere Erhöhung der Leistungsdichte von Heavy-Duty Gasturbinen zu erreichen.

Im Hinblick der Bautechnik unterscheidet man zwischen kleinen Heavy-Duty Gasturbinen der Leistungsklasse unterhalb von 150 MW, welche direkt auf eigenem Rahmen (Basisfundament) aufgebaut werden und etwas stärkeren Maschinen, welche in der Regel auf Block- oder Streifenfundamenten abgesetzt werden.

Die ersten Heavy-Duty Gasturbinen wurden bereits Mitte der neunziger Jahre mit Turbineneintrittstemperaturen von etwa 1200 °C betrieben.

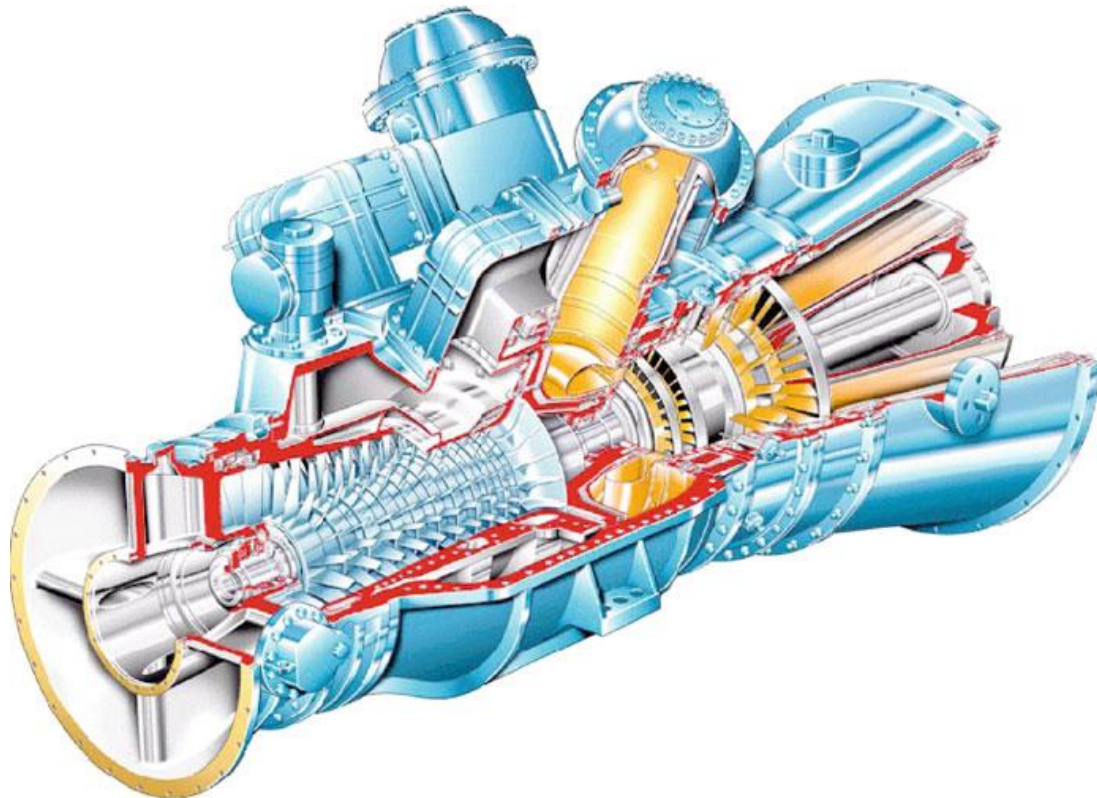


Abbildung 7: Zweiwellige stationäre Gasturbine in Schwerbauweise [1]

Als Beispiel einer stationären Gasturbine in Schwerbauweise ist in der Abbildung 7 eine angepasste Gasturbine der 11-MW-Kategorie für den mechanischen Antrieb von Arbeitsturbinen präsentiert. Aufgrund der freien Nutzleistungsturbine wird die Leistung direkt auf der Abgasseite abgenommen. Sie weist die sogenannte hot-end-drive Anordnung auf. In Bezug auf rotordynamische Kriterien kann die Arbeitswelle nicht zu lang angefertigt werden und stellt somit begrenzten Platz für den Abgasdiffusor dar. Eine verlustoptimierte Auslegung ist nur mit erheblichem Umstand infolge der radialen Umlenkung im Abgasgehäuse realisierbar.

Die gesamte Gasturbinenanlage samt dem angetriebenen Kompressor ausgeführt für Einsatz als Pipelinestation ist in der Abbildung 8 präsentiert.

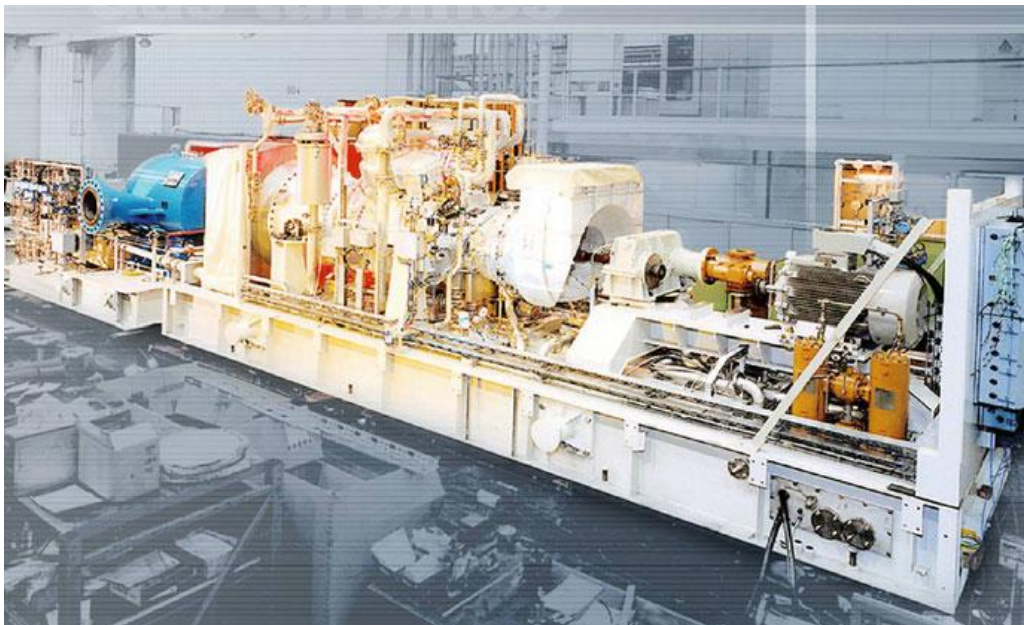


Abbildung 8: Montage eines Kompressorstranges mit einer Gasturbine in Schwerbauweise [1]

2.3.2 Industriegasturbinen

Industriegasturbinen werden zur Stromerzeugung in der cold-end-drive Bauart ausgeführt.

Betrachtet man kleinere Industriegasturbinen ist festzustellen, dass der häufige Einsatz von einer separaten Arbeitsturbine erforderlich ist.

Für große Industriegasturbinen ist Einwellenbauart bevorzugt und sie werden an der ersten Stelle für den Einsatz zum Generatorantrieb (bei 50 Hz oder 60 Hz) verwendet. Hierzu befinden sich alle Verdichterstufen und alle Turbinenstufen auf derselben Welle und stellen eine mechanische Kopplung dar. Auf diese Weise läuft die gesamte Anlage mit gleicher Drehzahl. Die bevorzugte Anordnung der Kupplung auf der kalten Kompressorseite (cold-end-drive-Anordnung) ermöglicht Verwendung eines langen axialsymmetrischen Diffusors. Die offensichtliche Anordnung von zwei Brennkammern in Silobauform führt zu einfacher Zugänglichkeit und folglich zu Reduzierung der Wartungskosten.

Industriegasturbinen sind in der Energieproduktion ideal für Vollastbetrieb über lange Intervalle geeignet und werden nicht stetig hoch- und abgefahren. Sie finden grundsätzlich die Anwendung in der Stromerzeugung oder als direkter mechanischer Antrieb von beispielsweise Pumpen.

2.3.3 Aero derivative

Bei einer Strahltriebwerk ist die Ausnutzung der Energie des heißen Strahles maßgebend. Ihre Aufgabe liegt in der Bereitstellung der kinetischen Energie des Verbrennungsgases in Form von Schub.

Charakteristisch für Aero derivative ist die hot-end-drive Form. Bei dieser Art von Bauweise liegt infolge der Mehrwelligkeit die Abtriebsseite auf der Turbinenseite. Hierbei wird die Kompressorseite für den Antrieb an die Turbine anschließenden Abhitzkessel befördert.

Die sogenannten Aero derivative setzen sich als eine besondere Verwendungsform heraus, welche für den Einsatz als Kraftmaschinen umkonstruiert wurden. Sie finden ihre Anwendung primär zur stationären Stromerzeugung in Kraftwerken oder mobil zum Schiffsantrieb. Dank ihrer kompakten Bauform eignen sie sich außerdem noch für die Anwendung in Fahrzeugen.

In der Abbildung 9 ist eine Industriegasturbine von GE dargestellt, welche in dem breitesten Einsatzspektrum in der Leistungsklasse von 20 MW bis 25 MW benutzt werden kann. Die Turbine weist einen 16-stufigen Verdichter, eine zweistufige Hochdruckturbinen und eine Nutzturbine auf. Der vorhandene Gaserzeuger samt Rotor ist aerodynamisch an eine Nutzturbine gekoppelt.



Abbildung 9: Industriegasturbine LM2500TM (Hersteller: General Electric) [19]

Ähnlich der Bauweise eines Flugtriebwerkes bestehen die Aeroerivate aus Mittel- und Hochdruckverdichter, Brennkammer und Turbinenstufen. Als Beispiel für ein Aeroerivat ist in der nachstehenden Abbildung 10 ein schematisches Schnittbild durch die FT8-Gasturbine in dreiwelligiger Ausführung dargestellt.

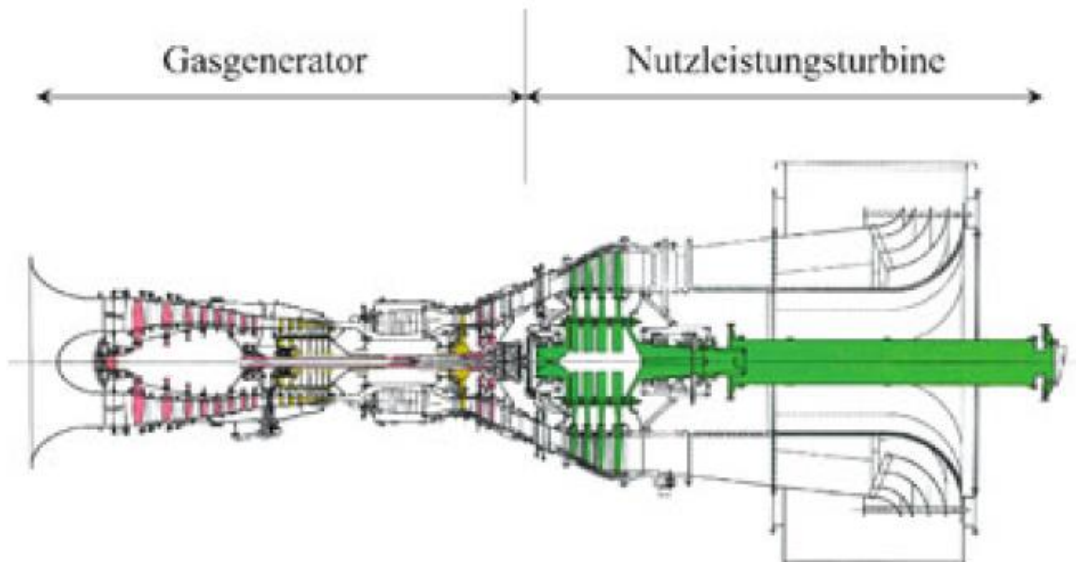


Abbildung 10: Beispiel eines Aeroerivates [1]

Aufgrund mehrwelliger Bauform befindet sich die Abtriebsseite bei den Aeroerivaten auf der Turbinenseite. Im Gegensatz dazu ist der Antrieb bei den einwelligen Industriegasturbinen zur Stromerzeugung an der Kompressorseite wegen des anschließenden Abhitzkessels. Zusätzlich weisen die Aeroerivate nicht nur eine höhere Leistungsdichte sondern auch hohe Druckverhältnisse zwischen 25 und 30 und niedrige Abgastemperaturen von etwa 480 °C gegenüber schweren Industriegasturbinen auf. Aeroerivate werden den spezifischen Konstruktionskonzepten für Turbotriebwerke angepasst. In dieser Folge werden sie ausdrücklich als Zwei- oder Dreiwellenmaschinen mit einem Gasgenerator und überwiegend einer frei gelagerten Nutzturbine ausgeführt.

Neu entwickelte Triebwerke von Rolls Royce basieren auf den Einsatz von nicht-rotationssymmetrischen Nabenkonturen im beschauften Bereich, die auch grundlegend für die moderne Bauform sind.

2.3.4 Mikrogasturbinen

Mikrogasturbinen weisen nicht nur ein geringeres Gewicht auf sondern gelten auch als sehr zuverlässige und saubere Energiequelle.

An der ersten Stelle werden Mikrogasturbinen in der dezentralen Energieversorgung eingesetzt, insofern die Spanne des Leistungsbereiches höchstens 200 kW elektrisch beträgt. Auffällig sind hohe Drehzahl, die kompakte Bauform, niedrige Temperaturen und geringe Brennkammerdrücke. Als einsetzbare Brennstoffe bieten sich Biogas, Flüssiggas, Öl und Erdgas an. Gleichzeitige effiziente Strom- und Wärmeerzeugung erreichen sie nach dem Prinzip der Kraft-Wärme Kopplung. Auf diese Weise versorgen die Mikrogasturbinen mit Energie in Form von Strom und Wärme problemlos sogar beträchtliche Gebäudekomplexe.

Insbesondere kommt das Einwellenmaschinenprinzip bei Mikrogasturbinen zur Anwendung. Auf Grund dessen befinden sich die Turbine, der Verdichter und der Generator auf der Welle, welche luftgelagert ist. Somit entfallen Schmierstoffe, Wartungsintervalle vergrößern sich und Wartungskosten sinken.

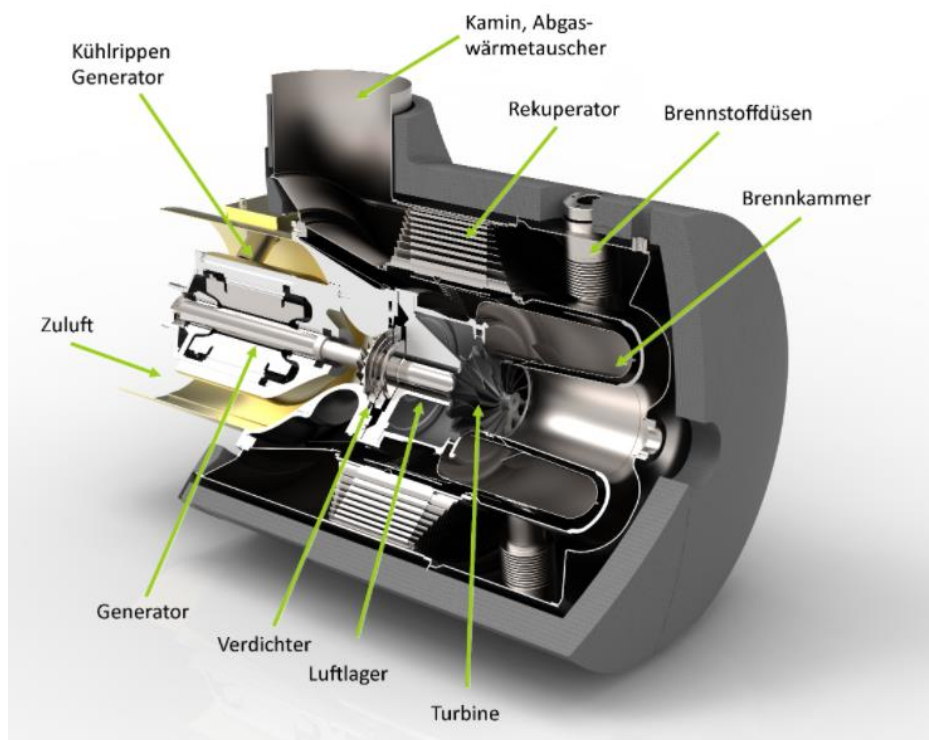


Abbildung 11: Prinzipieller Aufbau einer Mikrogasturbine (Hersteller: Capstone) [20]

Als Beispiel wird ein prinzipieller Aufbau einer Mikrogasturbine (Hersteller: Capstone) in der Abbildung 11 präsentiert.

Mikrogasturbinen können statt Blockheizkraftwerken (BHKW) im Leistungsbereich unterhalb von 500 kW zum Einsatz kommen. Im Gegensatz zu BHKW kommt es bei Mikrogasturbinen aufgrund hoher Abgastemperaturen zwischen 270 und 690 °C zur Dampferzeugung. Dadurch ist der Einsatz der Mikrogasturbinen insbesondere bei Immobilien vorteilhaft, in denen Dampf oder sehr hohe Temperaturen benötigt werden wie Krankenhäuser oder gewerblich genutzte Gebäuden.

Die Stromerzeugung erfolgt durch einen an die Turbine gekoppelten schnelllaufenden und mehrmals luftgelagerten Generator. Durch Schnelllaufen kommt es zu minimaler Reduktion des Wirkungsgrades bei einer Absenkung der Leistung. Außerdem ist der Generator dank dieser Bauweise wartungsfrei und benötigt kein Kühlwasser. Zudem sind bei Mikrogasturbinen keine platzaufwendige Filter oder Katalysatoren zur Erzielung der geforderten Abgaswerte notwendig.

Ein weiterer Vorteil der Mikrogasturbinen ist genau so leise Laufweise wie BHKW, weil die BHKW mit einem schallgedämmten Verbrennungsmotor ausgestattet sind. Abhängig von der Größe und der Leistung kann sich die Drehzahl des Turbosatzes zwischen 40000 und 120000 Umdrehungen pro Minute bewegen. Außerdem weisen die Mikrogasturbinen ein geringes Gewicht auf und können so sogar auf Dächern aufgestellt werden. Aus statischen Gründen ist eine solche Platzierung von BHKW nicht möglich.

Der wichtige Einsatz von Mikrogasturbinen kann noch als Verbrennungsluftvorwärmung bei einem Dampfkessel sein. In diesem Fall verwendet man das Mikrogasturbinenabgas direkt als Verbrennungsluft für den nachgeschalteten Dampfkessel, wobei der Dampfkessel mit einem speziellen Gasturbinen-Abgasbrenner ausgerüstet wird.

Deutliche Steigerungen des elektrischen Wirkungsgrades von über 33 % bei Mikrogasturbinen sind in den kommenden Jahren zu erwarten. Außerdem hat in unserer heutigen Zeit der Umweltschutz höchste Priorität und Mikrogasturbinenbetreiber tragen schon jetzt eine bedeutsame Mitwirkung an der Reduzierung von überflüssigen Schadstoffemissionen bei. Dank der konstanten Verbrennung in der Brennkammer bei den Mikrogasturbinen bleiben die Abgasemissionen sehr gering und befinden sich sogar weit unterhalb der gesetzlich angesetzten Grenzwerte. Der bereits erwähnte schmiermittel- und ölfreie Betrieb leistet einen erheblichen Teil für umweltfreundliche Nutzung von Mikrogasturbinen.

3 Dampfturbinen

3.1 Historischer Rückblick

Erste Konstruktionsversuche der Dampfturbinen fanden noch im 19. Jahrhundert statt. Eine große Zahl von Technikern arrangierte sich bei der Entwicklung leistungsfähiger Dampfturbinen. Die erste brauchbare Dampfturbine (Abbildung 12) konstruierte der Schwede Gustav Patrik de Laval (1845 – 1913) im Jahr 1883, bei der Dampf durch vier Düsen auf ein Laufrad mit mehreren Schaufeln strömte. Auf diese Weise versetzte sich das Rad in Umdrehungen und als Folge konnte über eine schlanke elastische Welle ein kleiner Generator angetrieben werden. Die Originalapparatur dieser Turbine ist im Deutschen Museum in München zu finden.

De Laval gestaltete seine Turbine planmäßig für eine sehr hohe Drehzahl. Anfangs erreichte seine Turbine eine Leistung von etwa 22 kW und spätere Verbesserungen brachten Leistungssteigerungen auf etwa 370 kW.

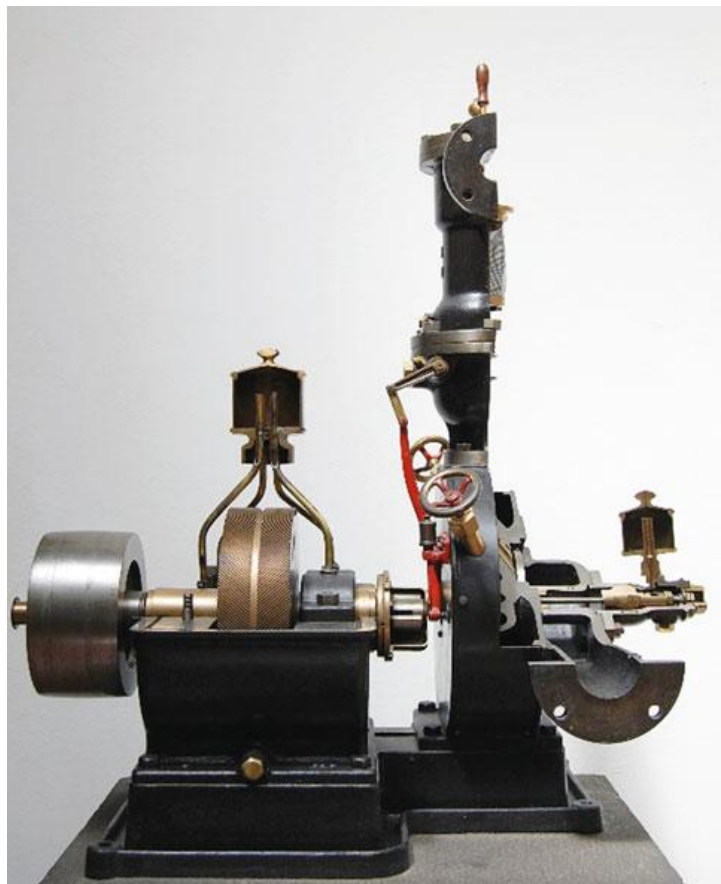


Abbildung 12: Die einstufige Laval-Turbine aus dem Jahr 1883 [2]

Fast zeitgleich baute auch der Brite Charles Algernon Parsons (1845-1931) seine erste Dampfturbine (Abbildung 13) im Jahr 1884. Es gelangte ihm durch Hintereinanderschalten von Leit- und Laufschaufeln auf einem trommelförmigen Rotor eine vielstufige Expansion zu realisieren. Die erste Version der Parsons-Turbine erzielte trotz der niedrigen Drehzahl (17000 min^{-1}) und dem kleinen Durchmesser (74 mm) eine Leistung von 7,5 kW. Von Parsons wurden dann in den folgenden Jahren noch weitere Turbinen mit stetig steigender Leistung entwickelt.

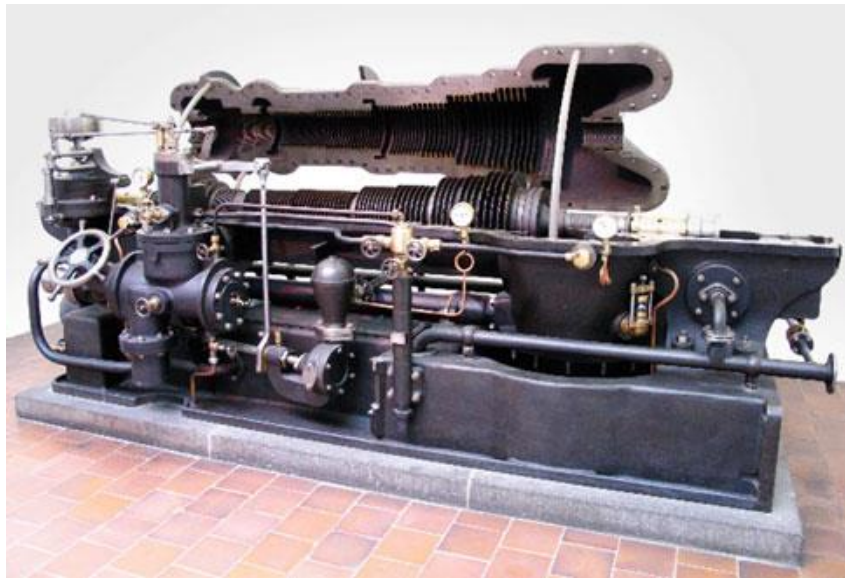


Abbildung 13: Die mehrstufige Parsons-Turbine aus dem Jahr 1884 [9]

Die beiden Erfinder legten dadurch den wesentlichen Grundstein für den späteren Entwicklungsprozess der Dampfturbinen. Lediglich stellt die Bauform der Laval-Turbine die später erwiesene Konstruktion der Gleichdruck- oder Aktionsstufe dar und die Parsons-Turbine definierte die bekannte vielstufige Überdruck- bzw. Reaktionsbauweise.

Eindrucksvoll ist die Betrachtung der Weiterentwicklung des Dampfturbinenbaus. Sie erlebte dann einen etwa 100-jährigen rasanten Fortschritt.

Den rasch zunehmenden Strombedarf insbesondere in Industrieländern verfolgte auch die gleichzeitig rasche Entwicklung in erster Linie leistungsstarker und effizienter Dampfkraftwerke. Hierzu sind fossil befeuerte Kraftwerke gemeint. Ab dem Jahr 1950 übernehmen die Kernkraftwerke die Hauptrolle in der Weiterentwicklung des Dampfturbinenbaus, was zu einer schnellen Steigerung der Einheitenleistungen von Dampfturbosätzen führte (Abbildung 14).

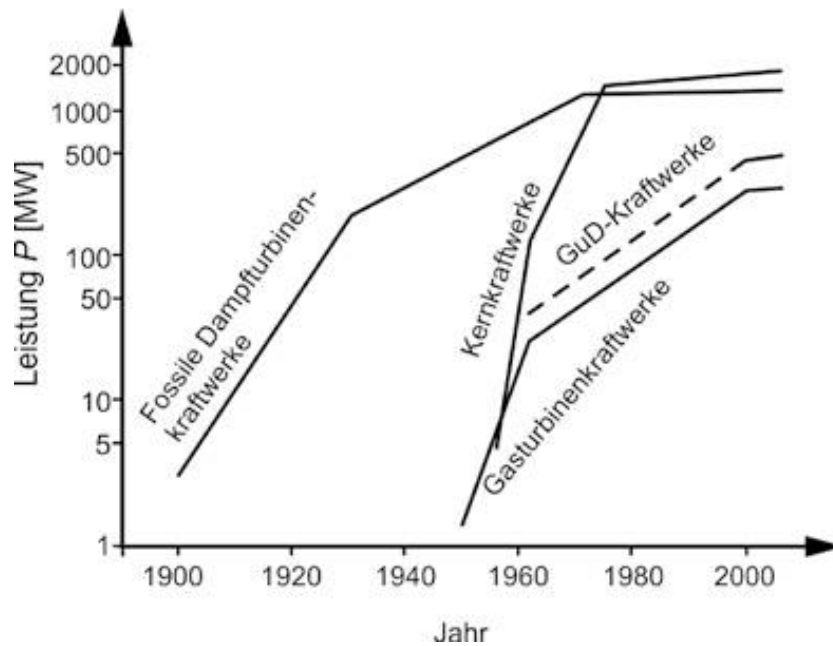


Abbildung 14: Anstieg der Einheitenleistungen von Dampfturbosätzen [2]

Betrachtet man die Weiterentwicklung von fossil befeuerten Dampfkraftwerken, ergibt sich aus wirtschaftlichen Gründen nach dem Jahr 1975 kein überzeugendes Kundeninteresse an der Erhöhung der Blockleistung dieser Maschinen. Jedoch kommt es zu wesentlichem Fortschritt in der Verbesserung des Wirkungsgrades nicht nur des Kraftwerkes sondern auch der Turbinen. Thermodynamische Optimierung des Kraftwerkswirkungsgrades erfolgt durch die Erhöhung der Drücke und der Temperaturen des Frischdampfes. Zusätzliche Verbesserungen des Kraftwerkswirkungsgrades bewirkt auch die entsprechende Reduzierung der Eigenverbräuche wie Pumpen, Gebläse oder Kohlemühlen. Ebenso die strömungstechnische Optimierung der Turbine, welche durch Verringerung der Spalt- und Leckageverluste erfolgt, führt zur tatsächlichen Verbesserung des gesamten Kraftwerkswirkungsgrades.

Bemerkungswert mit Blick auf die Entwicklungsphase der Dampfturbinen ist hierbei insbesondere wichtig zu erwähnen, dass zahlreiche unterschiedliche Dampfturbinenarten und Konzepte im Laufe der Zeit konstruiert wurden. Einige davon haben sich weltweit am Markt etabliert und anderen erlangten keine praktische Bedeutung.

3.2 Grundlagen

Grundlegend ist der Einsatz von Dampfturbinen nur als Element eines übergeordneten Dampfkraftprozesses realisierbar. Dies bedeutet, dass Dampfturbinen nie ohne die restlichen Anlageneinheiten (Dampferzeuger und Speisewasserpumpe) im Betrieb genommen werden können. Eine genaue Kenntnis der Komplexität der Dampfkraftanlage erfordert korrektes und einwandfreies Betreiben nur durch fachbezogenes geschultes Personal. Das Nämliche gilt auch für die Dampfturbine als Teil des übergeordneten Dampfkraftprozesses, da sie fundamental den sicheren Betrieb einer Dampfkraftanlage bestimmt.

Blick auf eine Turbine als einzelne Anlage weist auf grundlegende Komponenten wie Gehäuse, Dampfeintritt, Dampfaustritt, Rotor, Beschaufelung, Lagerung, Dichtungen und Kupplungsflansch. Eigentlich auf die Komponenten aus welchen prinzipiell jede Turbine besteht.

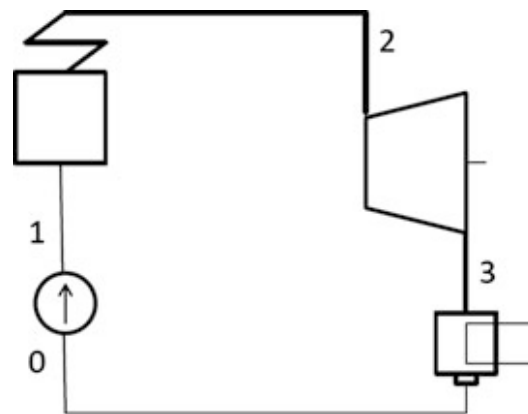


Abbildung 15: Blockschaltbild des einfachen Dampfturbinenprozesses (Clausius-Rankine Prozess) [2]

Der Ablauf des einfachen Dampfturbinenkreislaufes lässt sich durch den idealisierten Clausius-Rankine-Prozess mit dem Arbeitsmittel Wasser beschreiben. Grundlegende Zusammenhänge dieses elementaren Prozesses sind auch für komplexe Anlagen geltend. Das zugehörige Blockschaltbild ist in der Abbildung 15 illustriert und zeigt nicht nur die Anlagenteile, durch welche der Dampfturbinenkreislauf abläuft, sondern auch die relevanten Zustandspunkte. Neben der Kraftmaschine umfasst der Kreisprozess noch einen Kondensator, eine Förderpumpe und einen Kessel (Dampferzeuger). Als Kraftmaschine kann entweder eine Turbine oder eine Kolbendampfmaschine eingesetzt werden. Nach dem Kondensatoraustritt wird das Arbeitsmedium auf den erforderlichen Druck gefördert. Im Falle eines idealen einfachen

Kreisprozess kommt es danach im Dampferzeuger zur isobaren Erwärmung, Verdampfung und Überhitzung des Arbeitsfluides. Dieser überhitzte Dampf wird weiter zur Turbine geleitet und dort adiabat entspannt. Daraus resultiert die Nutzarbeit, welche auch die Turbinenleistung darstellt. Der Kondensator dient prinzipiell zur Niederschlagung des Abdampfes, wobei auch der Kreisprozess geschlossen wird. [2]

Wichtig sind noch die relevanten Zustandspunkte, die sowohl in dem dargestellten Blockschaltbild (Abbildung 15) als auch in der schematischen Darstellung des Prozesses im T,s-Diagramm (Abbildung 16) eingetragen sind.

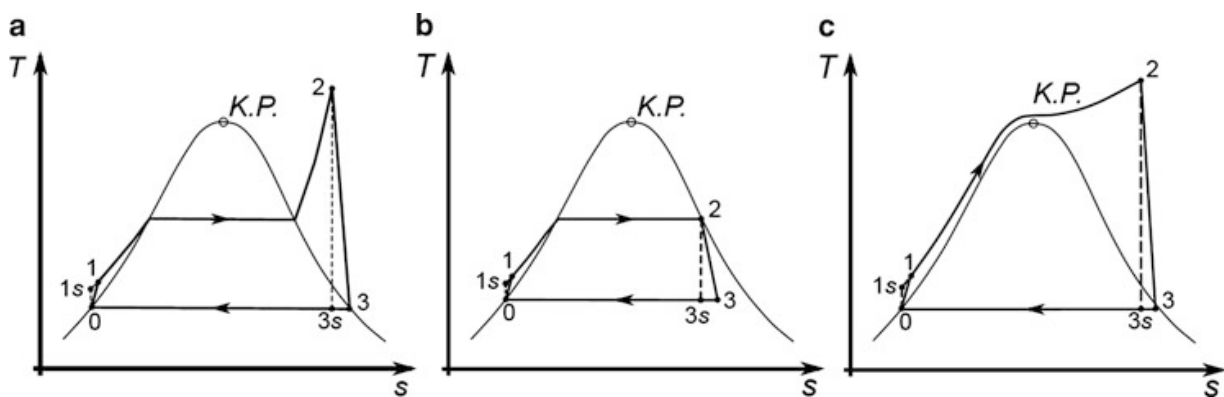


Abbildung 16: T,s-Diagramm des einfachen Clausius-Rankine-Prozesses a) Unterkritischer Dampfkraftprozess b) Sattdampfprozess c) Überkritischer Dampfkraftprozess [2]

Unter der Anmerkung, dass das obere Druckniveau unter dem kritischen Druck des Arbeitsmediums liegt, kommt es zu einer ausgeprägten Verdampfung mit isothermer Wärmezufuhr (unterkritischer Prozess). Im Falle einer Überhitzung des gesättigten Dampfes nach Austritt aus dem Verdampfer findet ein Heißdampfprozess statt und zum Sattdampfprozess kommt es bei der Vermeidung der Überhitzung. Andererseits liegt ein überkritischer Prozess vor, wenn das Druckniveau über dem kritischen Druck ist. Bei einem überkritischen Prozess tritt ein stetiger Übergang von der flüssigen in die dampfförmige Phase auf. Wie in den T,s-Diagrammen (Abbildung 16) dargestellt, stehen die mit dem Index s gekennzeichneten isentropen Zustandspunkte für reversible Zustandsänderungen in den Turbinen und Pumpen. Es darf allerdings nicht übersehen werden, dass die Reibungsverluste in den Strömungsmaschinen tatsächlich zu Entropieerhöhungen führen.

Betrachtet man den vereinfachten Clausius-Rankine-Prozess, so lassen sich die relevanten Zustandsänderungen mittels der spezifische Enthalpie h unter der Vernachlässigung der

kinetischen Energiebeiträge ausdrücken. Mit Hilfe der T,s-Diagramme (Abbildung 16) lassen sie die Beziehungen für die zugeführte spezifische Wärmemenge

$$q_{zu} = h_2 - h_1$$

und die spezifische Turbinenarbeit

$$|w_T| = h_2 - h_3$$

formulieren. Daraus ergibt sich der thermische Wirkungsgrad des einfachen Clausius-Rankine-Prozesses.

$$\eta_{th} = \frac{|w_T|}{q_{zu}} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1}$$

Zu beachten ist in dieser Definition, dass davon ausgegangen ist, dass der Anteil der Speisewasserpumpe $w_p = h_1 - h_0$ aufgrund des erheblich auftretenden Unterschiedes zwischen Turbinen- und Pumpenarbeit beim Dampfkraftprozess vernachlässigt wurde.

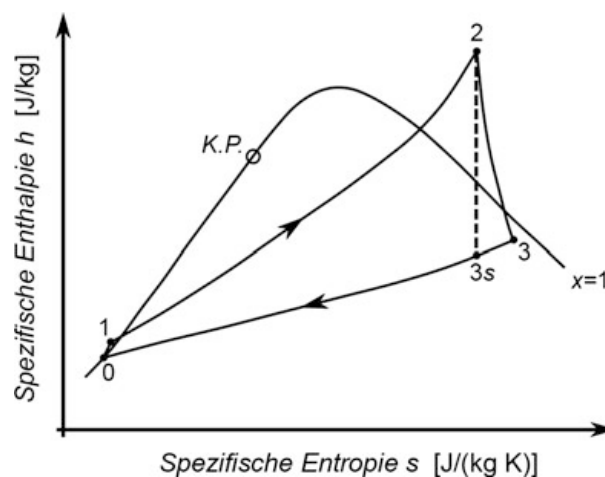


Abbildung 17: h,s-Diagramm eines einfachen Clausius-Rankine-Prozesses [2]

Einen typischen isentropen Expansionsverlauf unter Annahme einer idealen verlustfreien Turbine kann man aus dem h,s -Diagramm (Abbildung 17) entnehmen. Er ist als gestrichelter

Verlauf von Frischdampfzustand 2 auf den isentropen Entspannungspunkt 3s in der Abbildung 17 schematisch illustriert, wobei die reale Entspannung in der Turbine von Punkt 2 nach Punkt 3 verläuft.

Aus der Relation zwischen dem tatsächlichen und dem isentropen Enthalpiegefälle folgt der isentrope Turbinenwirkungsgrad.

$$\eta_{sT} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_{3s}} = \frac{\Delta h_{23}}{\Delta h_{23s}}$$

Mit Blick auf frühere Dampfturbinen erreichte er Werte von etwa 60 % und bei heutigen modernen Kraftwerksdampfturbinen liegt er schon über 90 %.

Im Gegensatz zum Carnot-Prozess kommt es bei dem Clausius-Rankine-Prozess zur isothermen Wärmeabfuhr bei der Kondensation und zu keiner vollständig isothermen Wärmezufuhr. Während sich bei der Wärmeabfuhr eine geringe Temperaturdifferenz zwischen der Kondensattemperatur T_0 und der äußeren Umgebungstemperatur T_u bildet, wird bei der Wärmezufuhr eine entsprechende thermodynamische Mitteltemperatur

$$T_m = \frac{|q_{12}|}{s_2 - s_1} = \frac{h_2 - h_1}{s_2 - s_1}$$

eingesetzt. Wird der Carnot-Faktor mittels dieser thermodynamischen Mitteltemperatur definiert, gleicht er dann dem thermischen Wirkungsgrad des idealen reversiblen Clausius-Rankine-Prozesses.

3.3 GuD-Prozess

Unter dem Begriff kombinierter Prozess versteht man die Kombination und Zusammenfassung von mindestens zwei unabhängigen Teilprozessen. Ausnahmslos sind bei den Teilprozessen ungleiche Arbeitsfluide vorausgesetzt, da ansonsten nur ein einziger Prozess vorliegen würde. Der Betrachtungen zu Folge ergeben sich unzählige Kombinationsmöglichkeiten solcher Prozesse. Trotzdem ist für die Großkraftwerke nur ein kombinierter Prozess sinnvoll, welcher als Gas- und Dampfkraftwerkprozess (GuD-Prozess)¹ bezeichnet wird. Die vereinfachte Form dieses Prozess ist in der Abbildung 18 dargestellt und die Grundlagen der einzelnen Teilprozesse sind bereits näher erläutert.

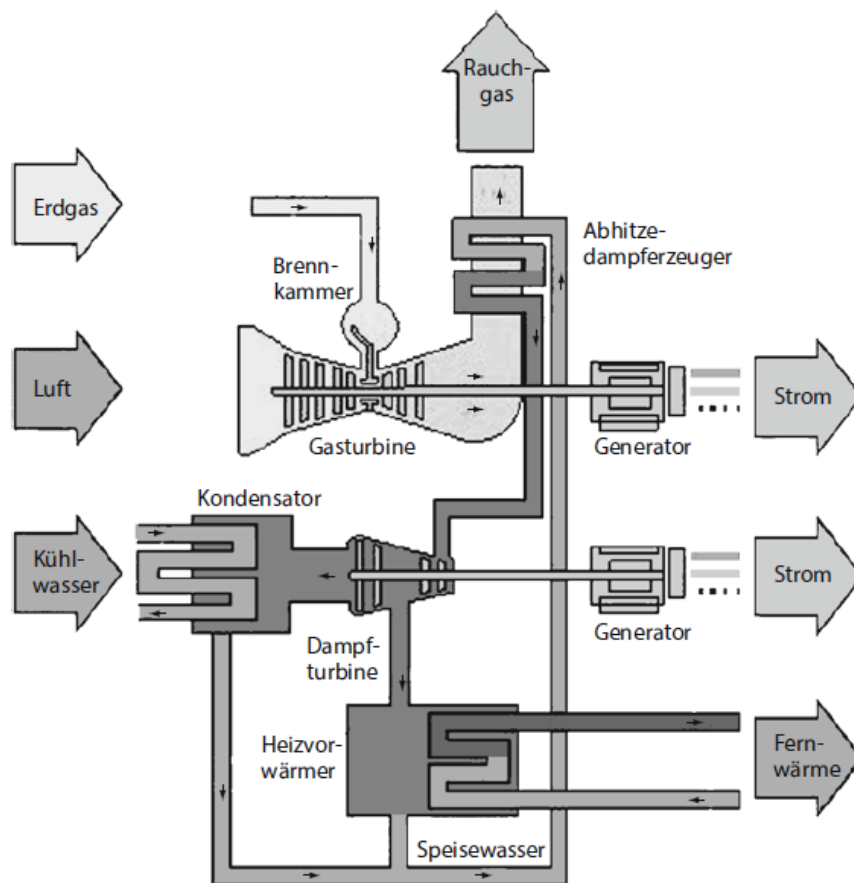


Abbildung 18: Vereinfachte Form des GuD-Prozesses [1]

Aus thermodynamischer Sicht liegt die Effizienz dieses Prozesses in der Kompensation der exergetischen Nachteile der beiden Einzelprozesse mit ihren Vorteilen.

¹ GuD-Prozess ist im deutschsprachigem Raum beliebte Bezeichnung für den kombinierten Gas- und Dampfkraftprozess und von der Firma Siemens eingeführt

Der Gesamtwirkungsgrad wird als Verhältnis der produzierten elektrischen Leistung zur eingesetzten Brennstoffleistung definiert und die Qualität des GuD-Prozesses durch die obere und untere Prozesstemperatur und die Verluste bestimmt. [1]

Abbildung 19 illustriert vereinfachte Form dieses Prozesses in einem T,S-Diagramm.

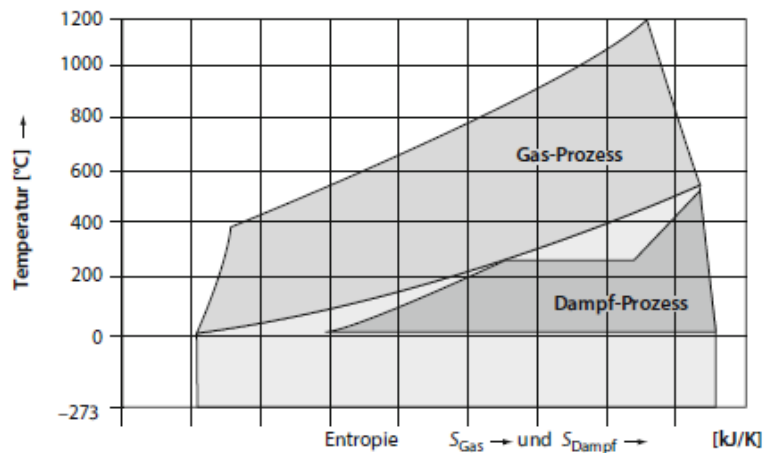


Abbildung 19: Gas- und Dampfturbinenprozess ohne Zwischenüberhitzung [1]

Die Gas- und Dampfkraftwerke weisen unschlagbare Vorteile auf wie hoher Wirkungsgrad, geringe Investitionskosten, niedrige CO_2 -Emissionen und kurze Errichtungsdauer. Aus diesen Gründen sind sie für Investoren und Betreiber besonders interessant und dominieren weltweit mit über 50% bei der Vergabe von Neuprojekten.

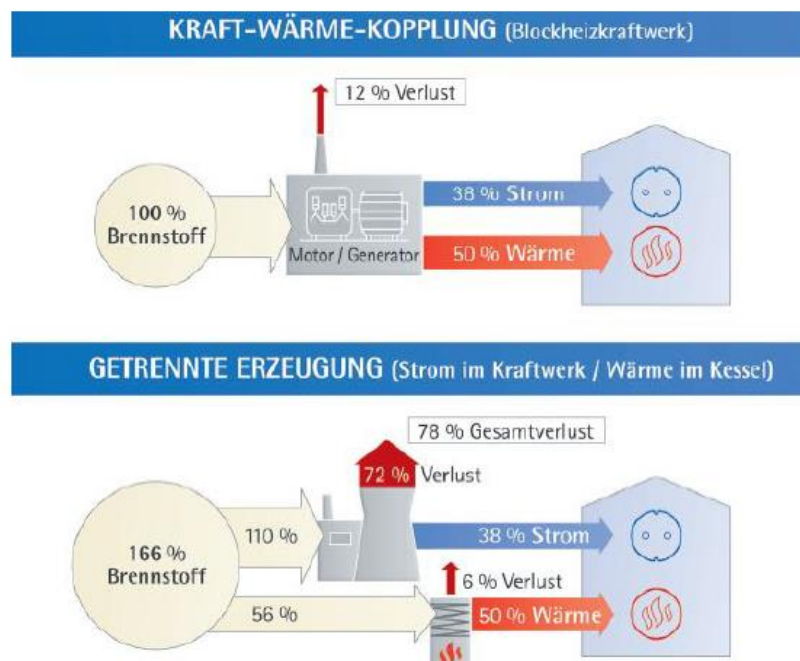


Abbildung 20: Vergleich Kraft-Wärme-Kopplung und getrennte Strom und Wärmeerzeugung [21]

Als Kraft-Wärme-Kopplung² wird die parallele Erzeugung von elektrischer und thermischer Energie bezeichnet. Dabei kommt es aufgrund der Wärmenutzung bei gleichzeitiger Stromerzeugung zu minimalen Verlusten und höchster Brennstoffausnutzung. Die Illustration (Abbildung 20) beleuchtet den Vergleich zwischen einer Kraft-Wärme-Kopplung und getrennter Erzeugung. Danach wird bei einer gekoppelten Produktion um 66 % weniger Primärenergie eingesetzt.

Die häufige Anforderung von Verbrauchern, gleichzeitige Erzeugung von elektrischer Energie und Nutzwärme erfordert auch noch zusätzliche Anwendung der Kraft-Wärme-Kopplung.

Eine Kenngröße, die Heizkraftwerke charakterisiert, ist der Nutzfaktor³

$$\omega_n = \frac{|P_{el}| + |\dot{Q}_N|}{\dot{m}_b H_u}$$

und er kann deutlich über 80% realisiert werden. Prinzipiell ist er als Verhältnis von Nutzen und Aufwand definiert und präsentiert die Gesamteffizienz einer Anlage. Addition der elektrischen Energie und Nutzwärmeleistung stellen den Nutzen dar und als Aufwand wird Multiplikation von dem Brennstoffmassenstrom mit dem zugehörigen unteren Heizwert verwendet. Hierzu lassen sich elektrischer und thermischer Nutzen unterscheiden

$$\eta_{el} = \frac{|P_{el}|}{\dot{m}_b H_u} \qquad \eta_{th} = \frac{|\dot{Q}_N|}{\dot{m}_b H_u}$$

die zusammen den bereits beschriebenen Nutzfaktor ergeben.

Neben dem Nutzfaktor ist als Kenngröße für Heizkraftwerke auch die Stromkennzahl sinnvoll.

$$\omega = \frac{|P_{el}|}{|\dot{Q}_N|}$$

² In Englischen auch „combined heat and power“ (CHP) bezeichnet

³ Der Nutzfaktor von Heizkraftwerken darf nicht mit einem thermischen Wirkungsgrad verwechselt werden.

Bei der Stromkennzahl können drei Fälle unterschieden werden:

- $\omega=0$ bedeutet Produktion von Nutzwärme
- $\omega=1$ bedeutet gleichmäßige Erzeugung von thermischer und elektrischer Energie
- $\omega \rightarrow \infty$ bedeutet nur Stromerzeugung und geringe Nutzwärmeproduktion.

Als reine Exergie lässt sich elektrische Energie im Gegensatz zur Wärme absolut in eine andere Energieart umwandeln, wodurch sie dann um einiges mehr verwendet werden kann. Demzufolge ist eine möglichst hohe Stromkennzahl besonders wichtig und vorteilhaft für die Anlage. Zusätzlich bedeutet die höhere Stromkennzahl auch höhere elektrische Umwandlungsgrade und dadurch wirkt sie weiters positiv auf wirtschaftliche Aspekte der gesamten Anlage.

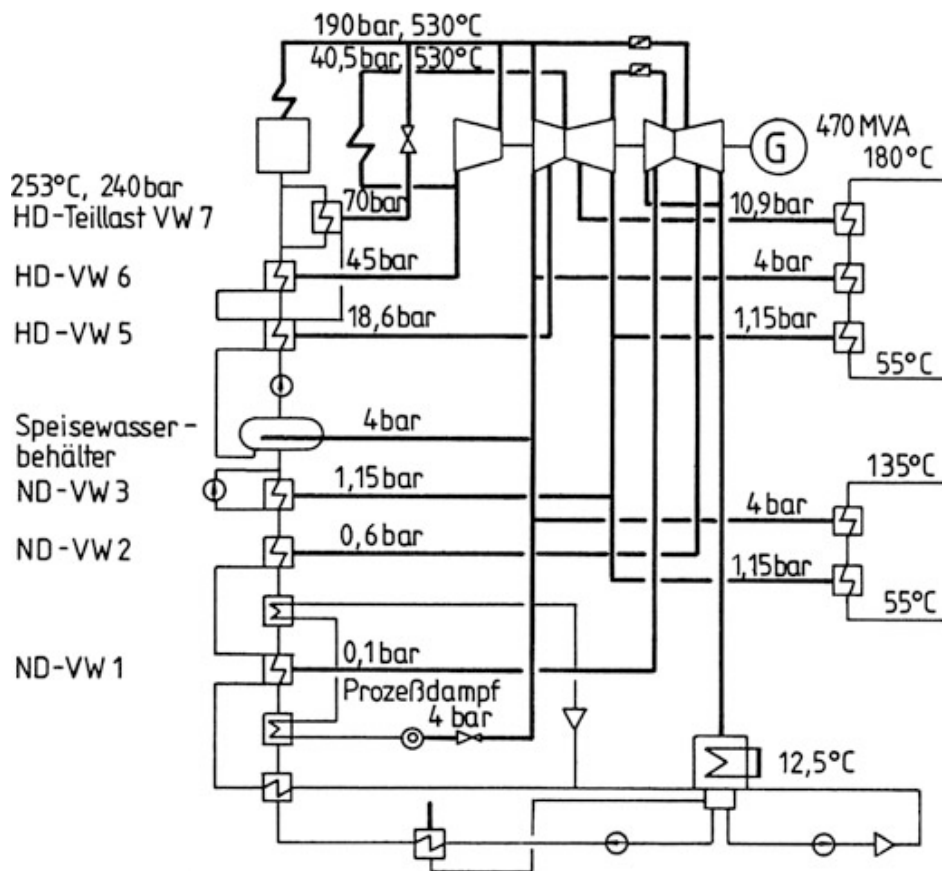


Abbildung 21: Schaltschema eines Heizkraftwerkes zur Auskopplung von Fernwärme und Prozessdampf bei 4 bar [1]

Eine großtechnische Ausführung eines Heizkraftwerkes wird bei hohem Bedarf an Prozesswärme eingesetzt. In diesem Fall ist die Nutzung der Vorwärmstufen des Dampfkreislaufes auch für die Auskopplung der Prozesswärme grundlegend. Vorteilhaft für Heizkraftwerke dieser Art ist die sehr flexible Anpassung an sich verändernde Leistungs- und Wärmeansprüche. Das Ausführungsbeispiel, das in der Abbildung 21 illustriert ist, präsentiert so ein großes Heizkraftwerk. Für den Fall reiner Stromproduktion erbringt das gezeigte Heizkraftwerk eine elektrische Nennleistung von 390 MW. Sofern eine gleichzeitige Abgabe thermischer Wärmeleistung von 295 MW besteht, sinkt die elektrische Leistung auf 360 MW.

Um den effizienten Einsatz von Gasturbinen innerhalb einer Kombianlage zu erzielen, sollten einige Kriterien erfüllt werden, wie höchstmögliche eigene Wirkungsgrade, hohe spezifische Arbeit und angemessen hohe Austrittstemperatur. In diesem Zusammenhang stellen Leistung, Wirkungsgrad, Abgastemperatur und Abgasmassenstrom die fundamentalen Kenngrößen von Gasturbinen bei Verwendung in GuD-Anlagen dar.

Aufgrund ihrer technischen Vorteile trägt die Gasturbine heutzutage in der Kombination mit einer Dampfturbine etwa zwei Drittel an der Gesamtleistung bei. Kommt eine Gas-Zusatzfeuerung zur Abdeckung von Spitzenlast in der Abgasstrecke der Gasturbine, so erhöht sich die Dampfturbinenleistung erheblich. Jedoch trägt diese Maßnahme zur Reduktion des Gesamtwirkungsgrades bei.

Im Gegensatz zu Dampfkraftwerken steigt die Dampfmenge bei GuD-Kraftwerken mit mehreren Druckstufen zufolge entfallender Dampfanzapfungen und den erzeugten Massenströmen an. Demensprechend erhöht sich auch die Bedeutung der Niederdruckbeschaufelung.

Bisherige Dampftemperaturen in GuD-Kraftwerken waren auf Basis von niedrigen Gasturbinen-Abgastemperaturen unter 530 °C. Heutige Dampftemperaturen liegen bei 550 °C oder 565 °C. Die steigenden Abgastemperaturen der Gasturbinen werden in Zukunft zur Erhöhung der relevanten Dampftemperaturen über 600 °C führen.

3.4 Bauarten

Analog den Gasturbinen zeichnet sich die generelle Einteilung der Dampfturbinen auch in stationäre und mobile Maschinen. Fakt ist, dass die Gasturbinen relativ gleichwertige Anwendung in beiden Marktanteilen aufweisen. Währenddessen ist der mobile Einsatz von Dampfturbinen heutzutage nur als Schiffantrieb im geringen Ausmaß vorhanden. Wichtig zu erwähnen ist, dass noch zu Beginn der Dampfturbinenentwicklung sowohl die Anwendung im Schiffbau als auch stationärer Einsatz verhältnismäßig ausgeglichen waren. Die Erfindung der Großdieselmotoren wirkte sich dann nachteilig auf die Bedeutung von Dampfturbinen im Schiffbau aus. Demzufolge ist die aktuelle Anwendung der Schiffdampfturbinen nur noch für Sonderfälle sinnvoll und heutige Schiffdampfturbinen lassen sich auf Turbinen für konventionellen Schiffsbetrieb und Sattdampfturbinen für Nuklearantrieb einteilen. Als Beispiele für Nuklearantrieb sind große Flugzeugträger, Atomunterseeboote und in der zivilen Anwendung die Eisbrecher zu nennen.

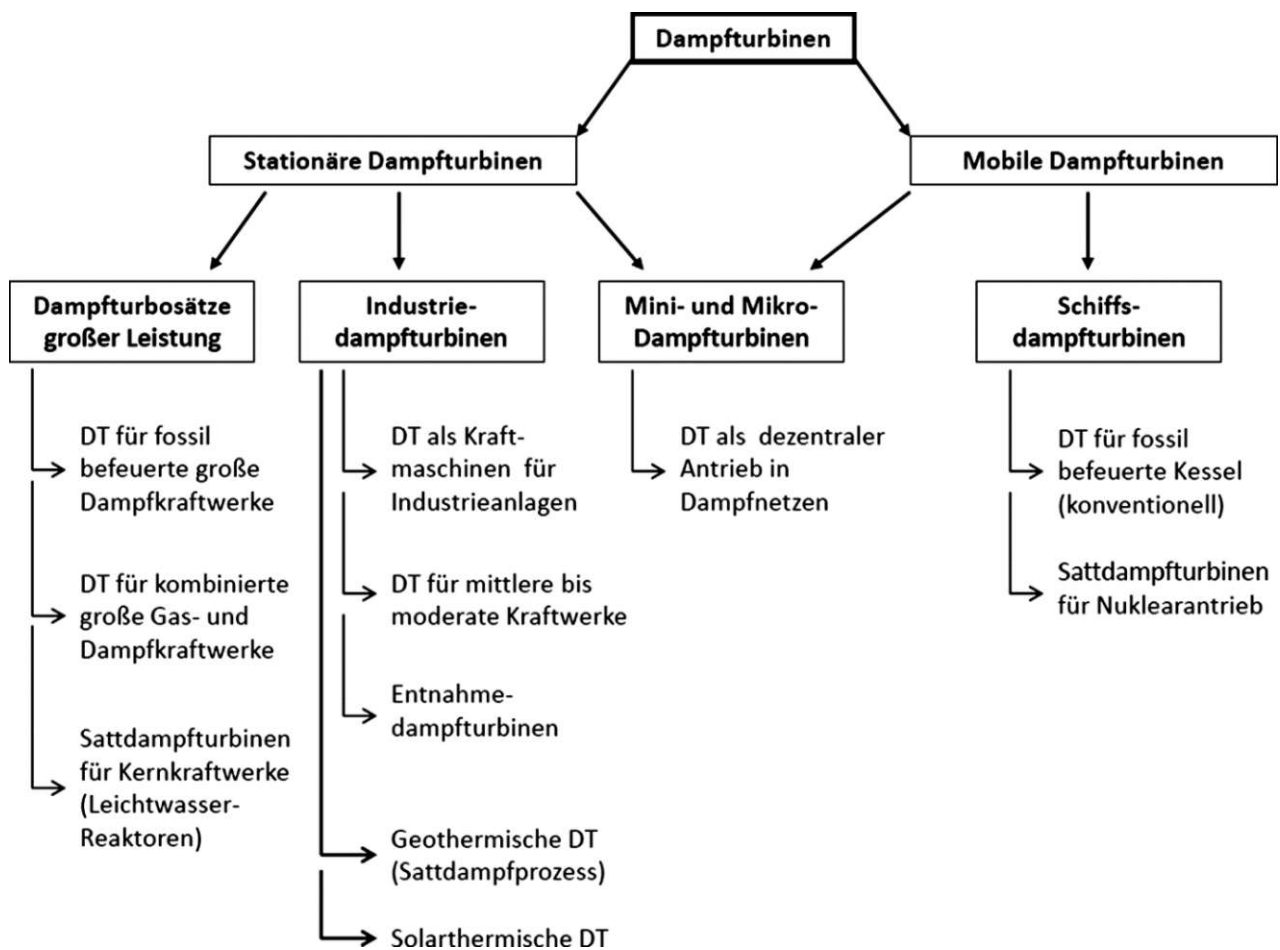


Abbildung 22: Unterteilung von Dampfturbinen [2]

Betrachten wir die stationären Dampfturbinen, dann sind erstaunlich viele Arten und Einheiten vorhanden. Beginnend mit Turbinen großer Leistung sowie Industriedampfturbinen bis Mini- und Mikro-Dampfturbinen.

Eine weitere umfangreiche Klassifizierung von Dampfturbinen ist in der Abbildung 22 dargestellt und nach etlichen Aspekten möglich. Dazu zählen Kategorisierungen nach Verwendungszweck, Bauform oder Größe.

Außerdem lassen sich Dampfturbinen noch nach Durchflussrichtung in axiale, radiale oder gemischte radial-axiale Einheiten unterteilen. Aktuell ist für die großen Maschinen typisch nur axiale Bauform.

Hinsichtlich des eingesetzten Arbeitsverfahrens können Dampfturbinen grundlegend in Gleichdruck- und Überdruck-Turbinen unterteilt werden.

Im weiteren Verlauf dieser Masterarbeit werden die wichtigsten Bauarten von Dampfturbinen etwas ausführlicher behandelt.

3.4.1 Kleindampfturbinen

Die Entwicklung dieser sehr kleinen Dampfturbinen nimmt bereits im Jahr 1900 ihren Anfang, wobei die kleinsten verwirklichten Einheiten in einem Leistungsumfang von 0,5 bis etwa 5 kW gebaut wurden.

Sogenannte Mikrodampfturbinen erzielen eine Leistung im Bereich von 1 kW bis 15 kW und dienen der Stromerzeugung aus Wärme. Zum Betrieb dieser umweltfreundlichen Kleindampfturbinen wird Wasserdampf mit einer Temperatur bei 180 °C eingesetzt.

Kleindampfturbinen kommen mit einer Leistung im Bereich bis 2 MW zum Einsatz. Dabei handelt es sich am häufigsten um einstufige Turbinen und derartige Turbinen können axiale oder radiale Bauart aufweisen.

Zudem können sie noch in Ljungström-Bauform als eine völlig eigene Klasse von Turbinen ausgeführt werden. Sie datieren aus dem Jahr 1912 und sind damals von den Brüdern Birger und Frederik Ljungström in radialer Bauweise vorgestellt worden.

Zum Vergleich ist in der Abbildung 23 der grundlegende Aufbau einer einläufigen Radialturbine und gegenläufigen Ljungström-Turbine zu sehen.

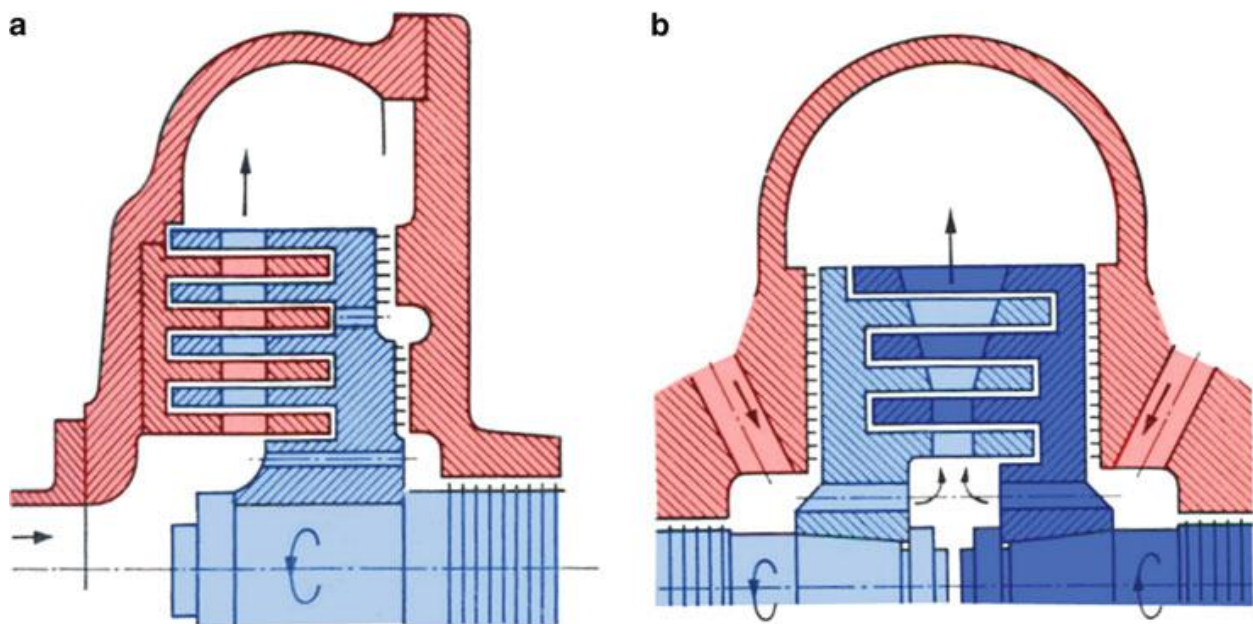


Abbildung 23: a) einläufige Radialturbine; b) gegenläufige Ljungström-Turbine [2]

Typisch für die Bauweise einer einläufigen Turbine ist die Befestigung der Leitschaufeln an einer festen Gehäusewand und der Laufschaufeln an einer rotierenden Laufscheibe. In diesem Zusammenhang kommt es zur radialen Dampfströmung von innen nach außen und Zunahme des Strömungsquerschnittes. Energetischer Nachteil⁴, welcher durch Strömung gegen der Zentripetalkraft entsteht, spielt keine besondere Rolle wegen der kleinen radialen Unterschiede zwischen Laufschaufel ein und -austritt. Jedenfalls ist die Auslegung der Beschau felung, wie bei einer Axialstufe möglich.

Betrachtet man die gegenläufige Ljungström-Turbine (Abbildung 23b), so ist festzustellen, dass im Falle der Befestigung der „Leit“-Schaufeln auf einer gegenläufig rotierenden Scheibe sich eine weitere Steigerung gegenüber den konventionellen axialen Turbinen ergibt. Statt festen Leitschaufeln bildet sich eine Verdoppelung der relativen Umfangsgeschwindigkeit bei gleichen Abmessungen. Um ein mehrfach höheres Gefälle in der Turbinenstufe als in einer vergleichbaren Axialstufe zu erreichen, wird die Beschau felung nach Art einer Überdruckstufe ausgelegt. Zu den weiteren Vorteilen der gegenläufigen Ljungström-Turbine zählen eine sehr geringe Stufenzahl und eine kompakte Bauweise. Als repräsentatives Beispiel für diese Ausführung ist eine Turbine mit der Leistung von 5000 kW.

Allerdings ist die Einsetzung der Ljungström-Turbine für größere Leistungen und Abmessungen aus konstruktiven Gründen unrealisierbar. Dafür bieten sich zusammengesetzte Ausführungen mit radialen Hochdruckstufen und axialen Endstufen an. Bei einer solchen gemischten Bauform entfällt der primär gestaltende Vorteil der Ljungström-Turbine.

⁴ Energetischer Nachteil wird aus der Eulerschen Hauptgleichung hergeleitet

3.4.2 Industriedampfturbinen

Industriedampfturbinen mit Drehzahlen im Bereich von 2000 bis 20000 Umdrehungen pro Minute erzielen kleine bis mittlere Leistungen. Typische Nennleistungen für Industriedampfturbinen liegen zwischen 10 MW und 100 MW. Es können aber auch Leistungen bis 250 MW erzielt werden. Beispielhaft sind in der nachfolgenden Abbildung 24 zwei Ausführungsarten von Industriedampfturbinen (5 MW und 100 MW) dargestellt.

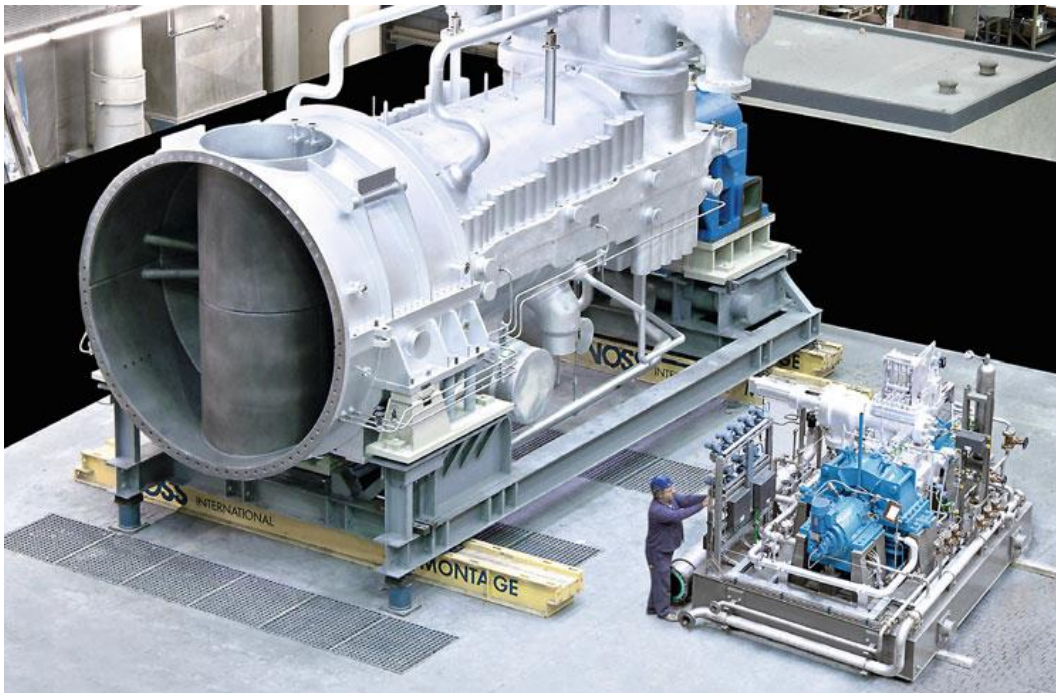


Abbildung 24: Industriedampfturbine mit 5 und 100 MW (Hersteller: MAN) [2]

Um die Einstellung unterschiedlicher Turbinenleistungen zu ermöglichen, sind Industriedampfturbinen oft mit einer Düsengruppenregelung ausgestattet.

Vorwiegend finden Industriedampfturbinen in größeren Industriekomplexen ihre Anwendung wie die Benennung selbst hindeutet. Außerdem werden sie oft nicht nur in kleineren und mittleren Kraftwerken sondern auch in Gas- und Dampfkraftanlagen eingesetzt, was eine strenge Unterteilung in Kraftwerks- und Industriedampfturbinen ausschließt.

Zu den wichtigsten Einsatz-Branchen zählen: Bergbau, Hütten- und Stahlwerke, petrochemische Industrie, Stadtwerke-Stromerzeugung, Holzverarbeitende Industrie, Papierindustrie, Öl- und Gasindustrie, Zementwerke, Zucker- und Palmölindustrie und

Bioethanol-Herstellung. Erwähnenswert sind noch entsprechend modifizierte Dampfturbinen für den Einsatz in geothermischen und solarthermischen Anlagen. Noch eine weitere Anwendungsart von Industriedampfturbinen ist der Einsatz als Direktantrieb von Arbeitsmaschinen wie Pumpen oder Kompressoren. Darüber hinaus gehören noch Entnahmedampfturbinen für die Bereitstellung von Prozessdampf zu den Industriedampfturbinen. Es bietet sich eine Einteilung auf Gegendruck- und Kondensations-Dampfturbinen. Nach der Anwendungsmöglichkeit können die Industriedampfturbinen noch in weitere zwei Kategorien zur Stromerzeugung und mechanischem Antrieb unterteilt werden.

Dank reichlicher Einsatzmöglichkeiten existieren verschiedene Ausführungsformen und eine breite Palette von Schaltungen. Folglich sind zudem die häufigsten eingesetzten Schaltungsvarianten abgebildet und dokumentiert.

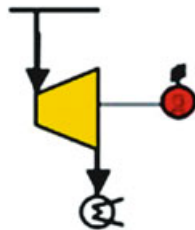


Abbildung 25: Schaltungsvariante: Einfache Kondensationsturbine [2]

Die konventionelle Kondensations-Dampfturbine ohne Entnahme oder Anzapfungen und ohne zusätzliche Zudampf-Einleitungen (Abbildung 25) findet ihre Anwendung nicht nur als Stromerzeuger sondern auch für klassische mechanische Antriebe.

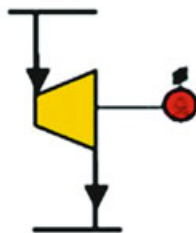


Abbildung 26: Schaltungsvariante: Einfache Gegendruckturbine [2]

Abbildung 26 zeigt eine Gegendruckturbine. Da sich diese Turbine zwischen zwei Dampfnetzen unterschiedlichen Druckes befindet, findet in der Turbine Entspannung des

Dampfes vom Dampfnetz höheren Druckes auf einen dem Produktionsprozess entsprechenden Gegendruck statt.

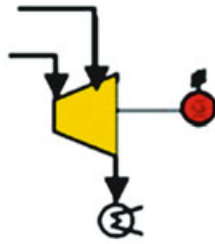


Abbildung 27: Schaltvariante: Zudampf-Turbine [2]

Eine weitere Schaltvariante ist die sogenannte Zudampf-Turbine (Abbildung 27), welche gleichzeitige Verwendung des Dampfes auf unterschiedlichen Druck-/Temperaturniveaus ermöglicht.

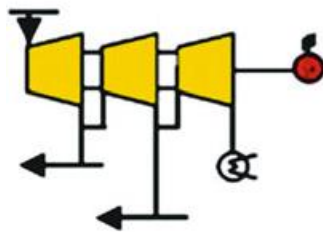


Abbildung 28: Doppel-Entnahme-Kondensations-Dampfturbine [2]

Aus technischer Sicht erfordern große Produktionsanlagen häufig einige Dampfnetze auf verschiedenen Druckniveaus. Als entsprechende Lösung dafür bieten sich einerseits gesteuerte Entnahme-Turbinen (Abbildung 28) und andererseits Anzapf-Turbinen (Abbildung 29). Ein Beispiel wäre die Ausführungsform der Turbine mit mehreren geregelten Entnahmen inklusive Anzapfungen und ergänzenden Zudampf-Einleitungen.

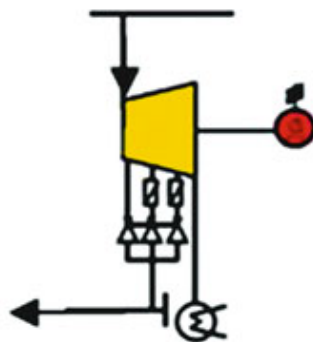


Abbildung 29: Schaltungsvariante: Turbine mit Wanderanzapfung [2]

Hingegen stellt die Turbine mit Wanderanzapfung eine Ausführung von mehreren Anzapfungen auf unterschiedlichen Druck-/Temperaturniveaus und auf eine gemeinsame Leitung dar.

Basierend auf individuelle Anforderungsfälle werden diese Maschinen ausgelegt und stellen daher keine Serienprodukte dar. Prinzipiell wird jede Industriedampfturbine individuell entwickelt und weist daher einen modularen Aufbau oder Baukastensystem auf.

Sie werden meistens eingehäusig ausgeführt und können mit oder ohne Generator betrieben werden. In einigen Anwendungsfällen kommen jedoch zweigehäusige Industrieturbinen vor.

3.4.3 Kraftwerksdampfturbinen

Im Gegensatz zu Industriedampfturbinen wird ein Getriebe bei Kraftwerksturbinen seltener eingesetzt. Unter gesonderten Bedingungen kann die Anwendung der Getriebe auch bei Kraftwerksdampfturbinen nützlich sein.

Bezugsnehmend auf besondere Konstruktionsmerkmale stehen Hochdruck-, Mitteldruck- und Niederdruck-Teilturbinen zur Verfügung.

Hochdruck-Teilturbinen

Typisch für Hochdruck-Teilturbinen sind unterschiedliche Konstruktionseigenschaften abhängig von dem jeweiligen Hersteller. Die älteste Ausführung als Topfbauweise für Dampfturbine niedriger Leistung von 1 MW stammt aus dem Jahr 1925 und ähnelte förmlich einem Topf mit Deckel. Später wurde diese Bauweise von der Firma Siemens übernommen und entsprechend optimiert (Abbildung 30).

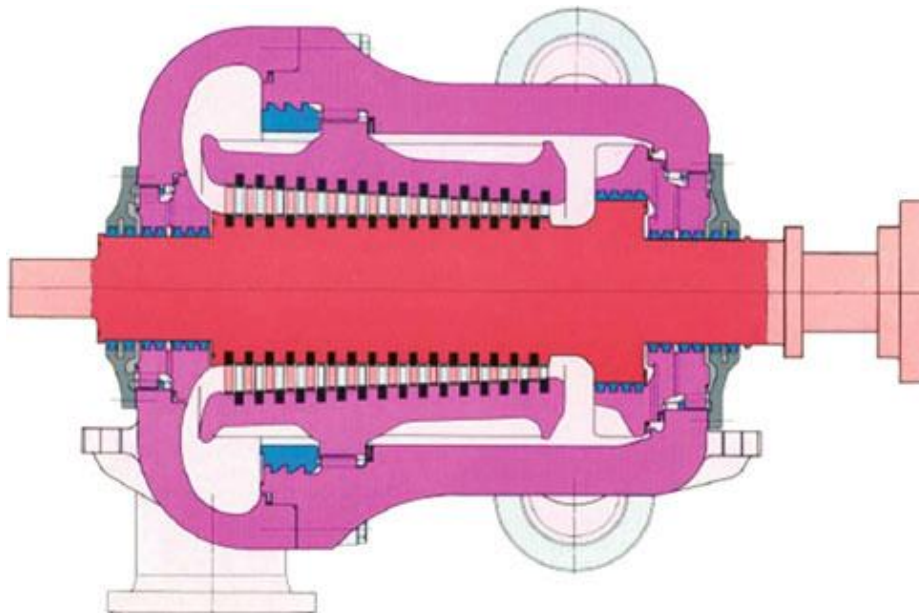


Abbildung 30: Topfbauweise mit Leitschaufelträger von Hochdruckturbine (Bauart Siemens AG) [2]

Eine weitere Konstruktion der Hochdruckturbinen mit Innengehäuse und Schrumpfringen wurde von dem Hersteller ABB⁵ ausgeführt.

Neben den einflutigen Hochdruck-Teilturbinen können auch Turbinen in einer doppelflutigen Bauweise für große Leistungen verwendet werden.

Gemeinsam für alle angeführten Bauweisen ist Reaktionsbeschaukelung, wobei die Hersteller GE, AEG und MAN Energie Gleichdruckbeschaukelung bevorzugen.

Mitteldruck-Teilturbinen

Besonderes Merkmal bei Mitteldruck-Teilturbinen ist ein axial geteiltes Gehäuse. Außerdem kann die Bauweise sowohl ein- als auch doppelflutig mit gegossenem Zweischalengehäuse ausgeführt werden. Für größere Dampfdurchsätze sind doppelflutige Ausführungen notwendig. Üblicherweise kommt hierzu eine voll-symmetrische Bauform für die beiden Dampfpfade zum Einsatz zu. In der Abbildung 31 ist eine unsymmetrische Struktur zur Verlustsenkung nach dem genannten Optiflow-Konzept dargestellt. Moderne Beschaukelung bei dieser Turbinenart ermöglicht Wirkungsgrade bis 95 %.

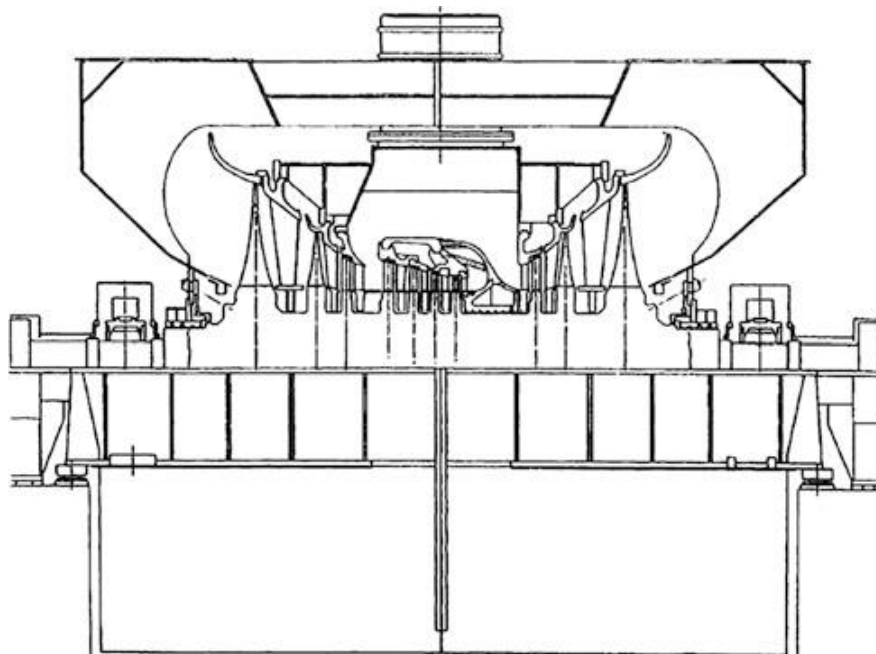


Abbildung 31: Optiflow Konzept für MD-Teilturbine mit unsymmetrischer Auslegung der Fluten (Bauart BBC) [2]

⁵ Hersteller ABB - später Alstom, heute GE [2]

Niederdruck-Teilturbinen

Bei den Niederdruck-Teilturbinen wird die Konstruktion der Außengehäuse im Wesentlichen geschweißt. Ein Beispiel von Niederdruck-Turbinen mit gegossenen Leitschaufelträger und geschweißtem Innengehäuse ist in der Abbildung 32 repräsentiert.

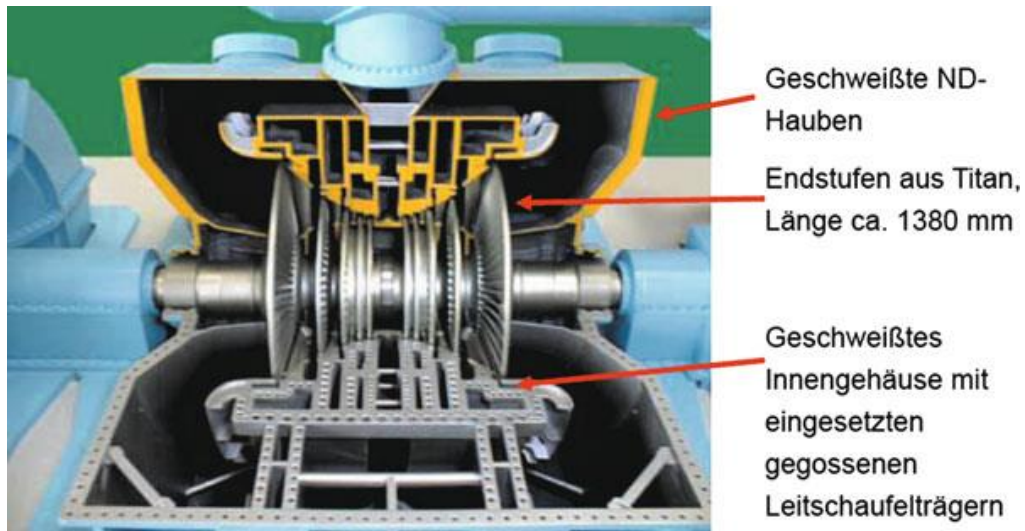


Abbildung 32: Doppelflutige ND-Turbine (Bauart Mitsubishi) [2]

Zufolge der Nassdampfströmung kommt es zur Erosion. Wegen Überschallströmungen liegen die erzielten Wirkungsgrade tiefer als bei Mitteldruck-Teilturbinen. Die Begrenzung der Länge der letzten Schaufelreihe entsteht aufgrund großer Fließkraftspannungen.

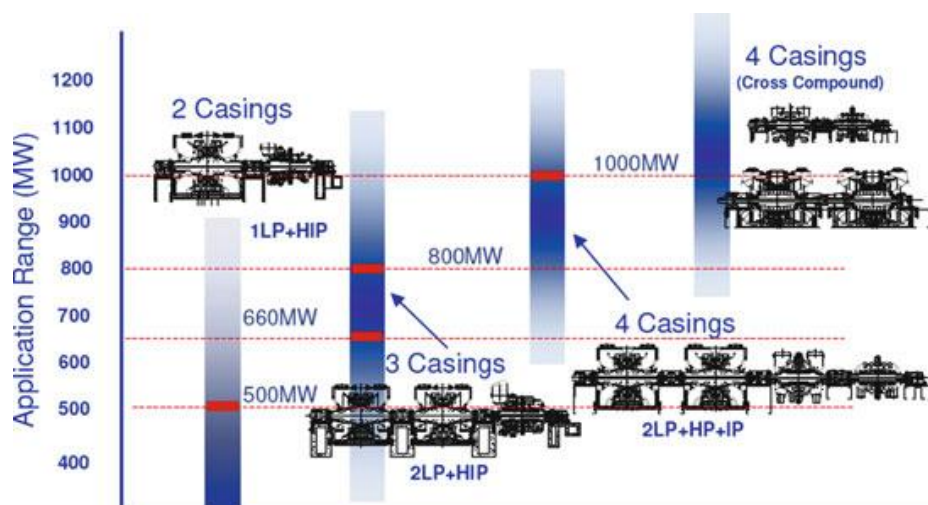


Abbildung 33: Dampfturbosätze für fossil befeuerte Großkraftwerke [2]

Der richtig ausgewählte Einsatz von Dampfturbosätzen hängt von der erforderlichen Nennleistung ab. Die dazu verfügbaren Strukturen für Dampfturbosätze eines Herstellers sind in der Abbildung 33 zusammengefasst. Während für Leistungsbereiche bis 500 MW die zweigehäusige Bauart mit kombiniertem HD-MD-Teil bevorzugt wird, kommt bei den Leistungen von etwa 700 MW entweder eine vierflutige ND-Turbine in zwei Gehäusen oder HD-MD-Turbine vor. Sind noch höhere Leistungen vorgesehen, müssen viergehäusige Bauformen mit getrennten Teilturbinen verwendet werden.

3.4.4 Sattedampfturbinen

Hinsichtlich des Dampfzustandes wird zwischen Heißdampf- und Sattedampfturbinen unterschieden.

Sattedampfturbinen mit halber Netz-Drehzahl (halbtourig) von 1500 oder 1800 Umdrehungen pro Minute werden bei Kernkraftwerken verwendet, wobei die höchste Kraftwerksleistung sogar 1500 MW erreichen kann. Viele Kernkraftwerke verfügen über Turbinen, welche aus einem Hochdruck-, und zwei oder drei Niederdruckteilen in separaten Gehäusen mit insgesamt zwei oder drei Kondensatoren bestehen. Daher nennt man diese Turbinen auch Kernkraftwerksturbinen.

Für die Stromgewinnung mit Hilfe der Kernkraftwerke werden die Dampfturbinen einer eigenen Klasse mit besonderen Konstruktionsmerkmalen eingesetzt. Im Bezug darauf spricht man von Sattedampfturbinen großer Leistungen, sogar über 1600 MW. Erwähnenswert ist der Anteil an der weltweiten Stromerzeugung aktuell von rund 10 %, wobei er in einigen Industrieländern offenbar höher ist. [1]

Entscheidend bei der Konstruktion von Kernkraftwerksturbinen ist die Drehzahlwahl und die Bestimmung der Drehzahl hängt weiters von der geforderten Netzfrequenz und der Polanzahl des Generators ab. Somit handelt es sich bei der Verwendung eines vierpoligen Generators um eine halbtourige Ausführung des Dampfturbosatzes. Solche Turbosätze kommen zur Einsatz ab einer Nennleistung von 1200 MW. Im Falle eines zweipoligen Generators läuft die Drehzahl der Netzfrequenz und es führt zu einem volltourigen Dampfturbosatz. Gewöhnlich entscheidet man sich bei kleinen oder mittleren Leistungen für eine volltourige Ausführung. In Bezug auf alle Leistungskategorien liegt der Anteil halbtouriger Lösungen bei ungefähr 66 %.

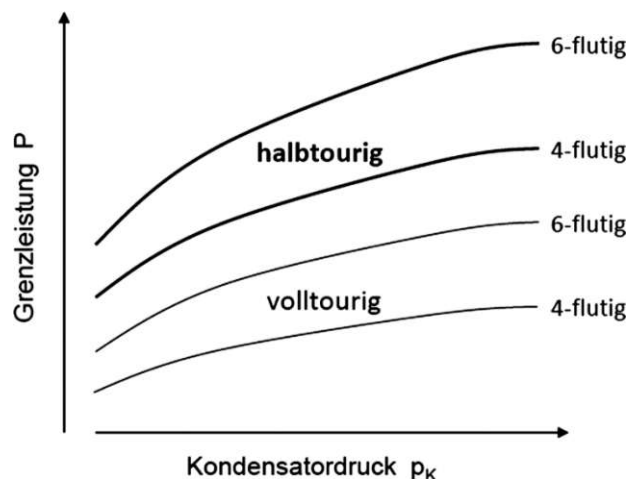


Abbildung 34: Halb- und volltourige Ausführung der Dampfturbinen für Kernkraftwerke [2]

Eine schematische Darstellung des Zusammenhanges zwischen der Grenzleistung, dem Kondensatordruck und der Drehzahl im Falle mehrflutiger Sattdampfturbine zeigt die Abbildung 34. Aufgrund der Fliehkraftbelastungen haben die volltourige Lösungen erheblich kleinere Abdampfquerschnitte als halbtourige. Die Abdampfleitungen sind in der Abbildung 34 jeweils mit maximalen zulässigen Abströmquerschnitten definiert. Demnach ist die Auslegung des Dampfturbosatzes für eine geforderte Grenzleistung und einen vorgegebenen Kondensatordruck festgelegt.

Bei einer Nennleistung von bis zu 250 MW werden heutige Dampfturbinen mit einem Gehäuse realisiert. Jedoch müssen Dampfturbinen mit größerer Leistung mit mehrgehäusigen Wellensträngen ausgeführt werden. Die Abbildung 35 zeigt das typische Modell einer Sattdampfturbine mit einer Leistung von 1300 MW und grundlegenden Eigenschaften aktueller Dampfturbosätze für die Anwendung in einem Kernkraftwerk.

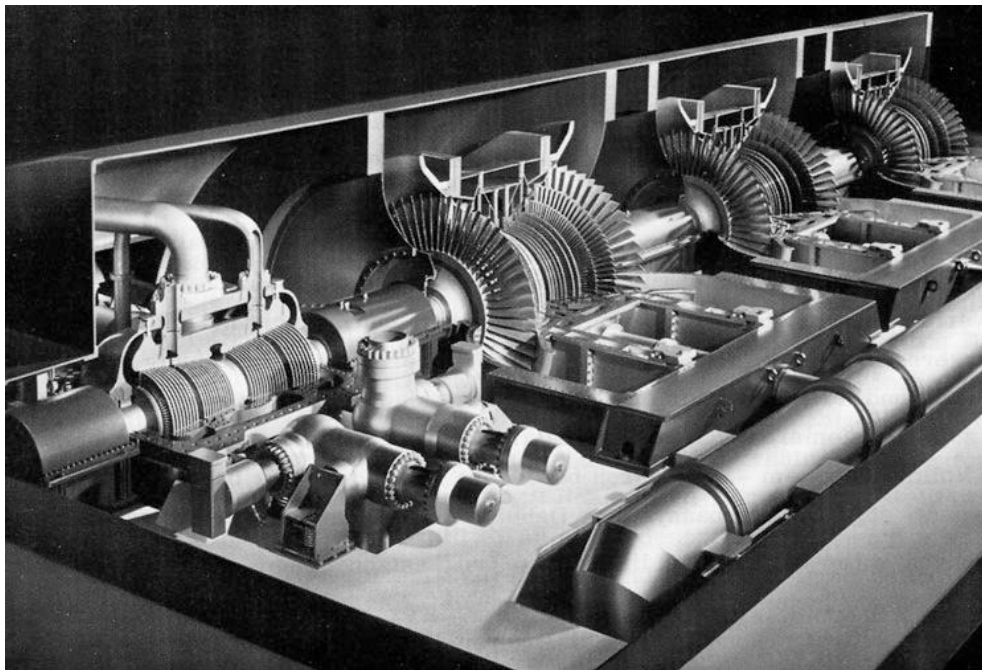


Abbildung 35: Sattdampfturbine für die Kernkraftwerkanwendung mit einer Leistung von 1300 MW und 1500 U/min^{-1} [2]

Im Gegensatz zu konventionellen Dampfturbinen treten bei Sattdampfturbinen aufgrund der Expansionsverläufe im Nassdampfgebiet weitere Wirkungsgradverluste auf. Zu diesen Verlusten gehören: Schleppverluste, Bremsverluste und Zentrifugierverluste.

3.4.5 Dampfturbinen für GuD-Anlagen

Die ersten konzipierten Kraftwerkprozesse mit Gas- und Dampfkraftturbinen stammen aus den 60er und 70er Jahren.

Bemerkenswerterweise ist die Entwicklung einer neuen einzigartigen Gruppe von Dampfturbineneinheiten aus den Industrie- bzw. konventionellen Kraftwerksdampfturbinen im Zuge der Entstehung von kombinierten Gas- und Dampfkraftwerken. Für viele kleine und mittlere kombinierte Kraftwerke eignen sich umgebaute Industrie- oder ehemalige Schiffsdampfturbinen.

Dampfturbinen für GuD-Anwendungen erreichen eine Dampfturbinenleistung bis 400 MW und sind gewöhnlich zweigehäusig ausgeführt. Hierbei lässt sich die Dampfturbinenleistung durch die Gasturbinenleistung definieren. Im Prinzip können sie als ein- oder mehrgewehäusige Turbinen beschafft werden und weisen eine axiale Abströmung auf. Die Leistung dieser Turbinenart ist durch die Generatorleistung definiert.

Frischdampf		
Prozess	Druck (bar)	Temperatur (°C)
DKW	170–280	540–600
GuD	80–180	540–600
Dampf nach der Zwischentüberhitzung		
Prozess	Druck (bar)	Temperatur (°C)
DKW	40–60	540–620
GuD	25–40	540–600
Dampf am Eintritt in die Niederdruckteilturbine		
Prozess	Druck (bar)	Temperatur (°C)
DKW und GuD	3–10	< 360
Kondensatorvakua		
Kondensationsverfahren	Druck (bar)	
Frischwasserkühlung	0,02–0,08	
Nasskühlturm	0,04–0,10	
Luftgekühlter Kondensator, Trockenkühlturm	0,09–0,25	

Tabelle 1: Gewöhnliche Dampfparameter verschiedener Kraftwerksprozesse [1]

Die Tabelle 1 gibt einen Überblick über die unterschiedlichen Dampfvariablen bei gewöhnlichen Dampf- oder GuD-Kraftwerksprozessen. Die wichtigsten bereits bestehenden Kriterien für Auslegung von Dampfturbinen für Dampfkraftwerke können auch für die Auslegung der Turbinen für GuD-Kraftwerke verwendet werden. Eine Auslegung für 200000 Betriebsstunden ist hier vorgesehen und gilt ebenso für die Beschauelung. Hingegen betragen Revisionsintervalle der Teilturbinen etwa 100000 Betriebsstunden.

Währenden bei Dampfkraftwerken eine erhöhte Dampfeintrittstemperatur den grundlegenden Parameter bei der Steigerung des Wirkungsgrades darstellt, gilt sie bei GuD-Anlagen nur als eine mittlere Temperatur im Gesamtprozess.

Eine Zusammenstellung der wesentlichen Bauformen der in GuD-Kraftwerken anwendbaren Dampfturbinen ist in der Abbildung 36 ersichtlich.

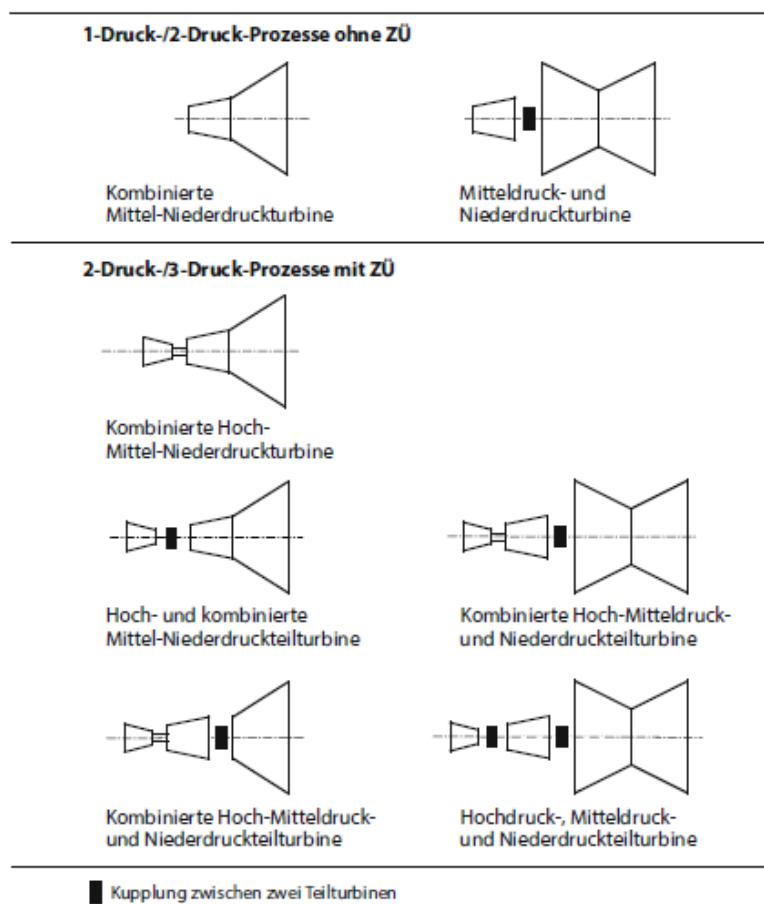


Abbildung 36: Bauformen der Dampfturbinen für GuD-Kraftwerke [1]

Die Dampfturbinenbauformen auf der linken Seite der Abbildung 36 besitzen nur eine Niederdruckflut. Ist bei den Turbinen Niederdruckflut mit der vorangehenden

Beschaufelungsflut konfiguriert, kann nicht nur der Dampf in der Turbine verbleiben sondern auch keine Überströmleitung erforderlich sein. So entsteht eine stabile und kosteneffiziente Bauform.

Eine Abströmung aus der Turbine und eine erneute Einströmung in den Mitteldruckteil werden in der Kombination von Hoch- und Mitteldruckteil benötigt. Turbinen mit nur einer Niederdruckflut finden die Anwendung bei kleineren Leistungen und angemessener Kondensatorvakua.

Ein Klassifizierungsschema für fossil befeuerte Anlagen ist in der Abbildung 37 dargestellt. In der ersten Reihe erfolgt eine Unterteilung auf offenen oder geschlossenen Verbrennungsprozess. Handelt es sich um einen offenen Verbrennungsprozess ist nur der Einsatz von Gasturbinen für eine Großausführung realisierbar. Hingegen kann bei den geschlossenen Prozessen zwischen Gasturbinen (Joule-Prozess) oder Dampfturbinen (Clausius-Rankine-Prozess) ausgesucht werden. Um einen komplexen Dampfprozesses zu vermeiden, muss bei der letzten Kombination mit einem anderen Fluid als Wasser gearbeitet werden.

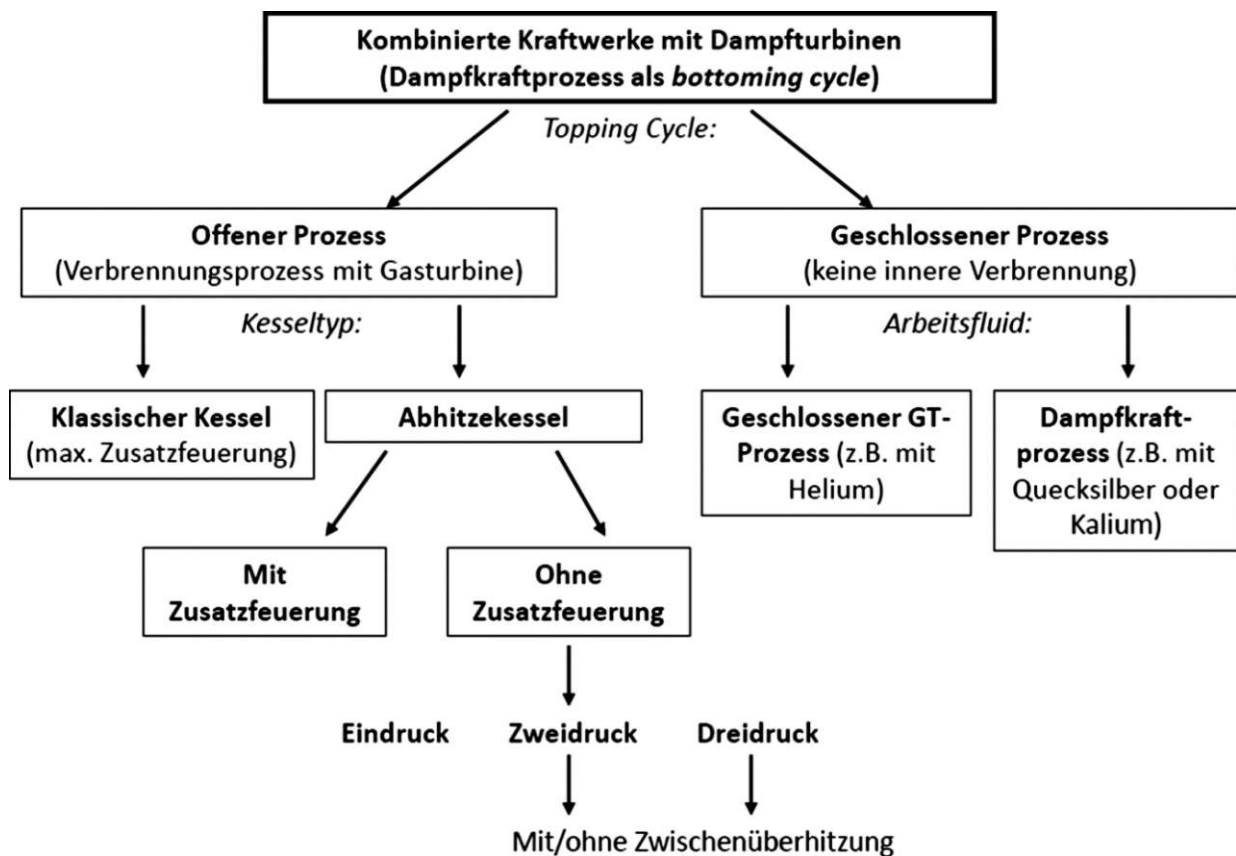


Abbildung 37: Einteilung der kombinierten Kraftwerke mit Dampfturbinen [2]

Wie bei den reinen Dampfkraftwerken ist es auch bei den früheren kombinierten Gas- und Dampfkraftwerken der Fall gewesen, die kundenspezifischen Lösungen zu entwickeln und zu realisieren. Heutzutage werden großteils standardisierte Module für spezifische Bedürfnisse bereitgestellt, wie die Abdeckung eines breiten Bereichs von Dampfparametern und Leistungen. Die Abbildung 38 veranschaulicht die möglichen modularen Aufbauarten von Dampfturbinen eines Herstellers. Dabei stellen H, E, K und N Basismodule dar und deren Kombinationen ergeben unterschiedliche Dampfturbinen mit breitem Dampfparameter- und Leistungsrahmen nicht nur für reine Dampfkraftwerke sondern auch für kombinierte Prozesse.

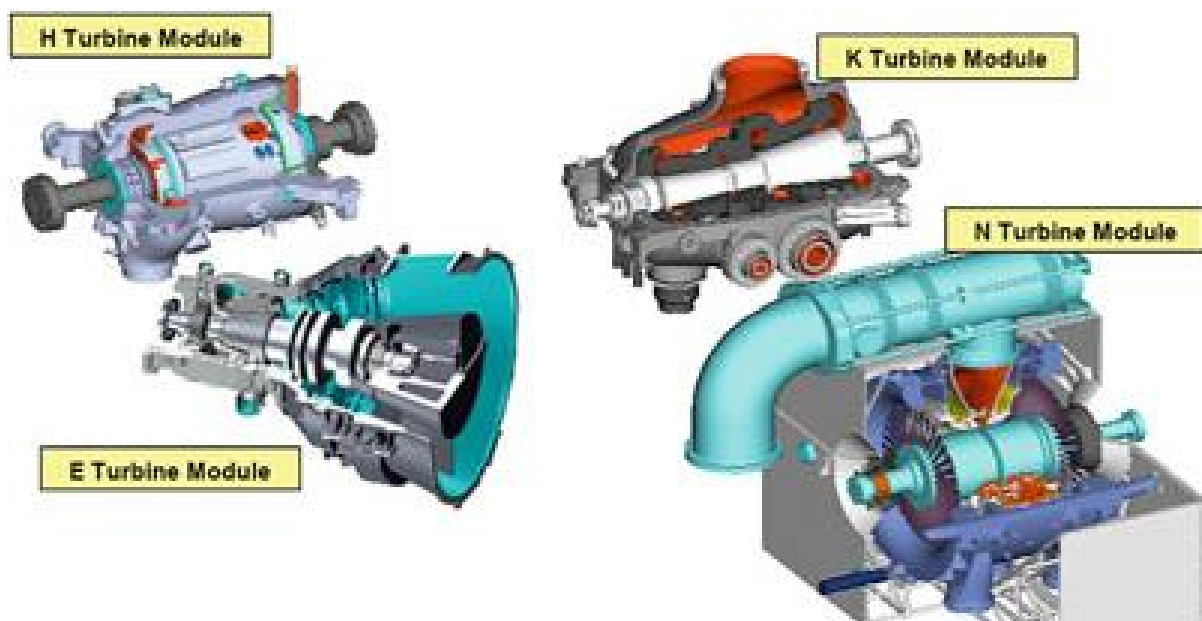


Abbildung 38: Basismodule von Dampfturbinen und Einsatz für verschiedene Kraftwerkstypen (Bauart Siemens AG; Module (oben) und Beispiel für Kombinationen (unten)) [2]

Die Größen der einzelnen Module können variiert werden um den erforderlichen Leistungsanspruch entsprechend zu erfüllen. Als Beispiel dafür ist das K-Modul in der Abbildung 39 dargestellt. Das verdeutliche K-Modul bietet sich für reine Dampfkraftwerke bis zu 700 MW und einem Netz von 50 Hz oder 60 Hz. In kleineren kombinierten Kraftwerken bis 100 MW kann das Modul in der Größe 1 verwendet werden. Sonst erfüllt das K-Modul die Anforderungen im Bereich der Überschneidung bei beiden Kraftwerkstypen.

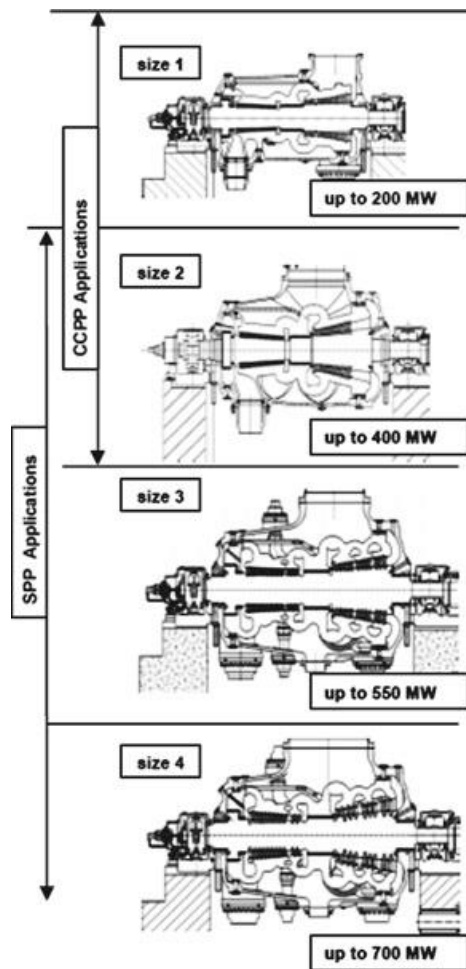
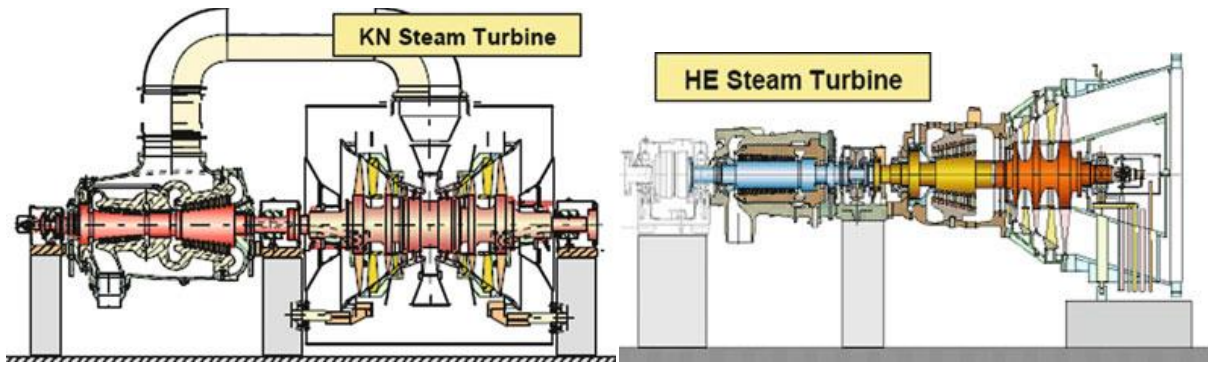


Abbildung 39: Einsatz eines Moduls für verschiedene Kraftwerkstypen und Größen (Bauart Siemens AG) [2]

Um eine kundenspezifische Auslegung zu ermöglichen, bieten sich Submodule für die bereits erläuterten Turbinen-Module. In der Abbildung 40 sind die geeigneten Submodule für E-Turbine (Abbildung 39) graphisch dargestellt.

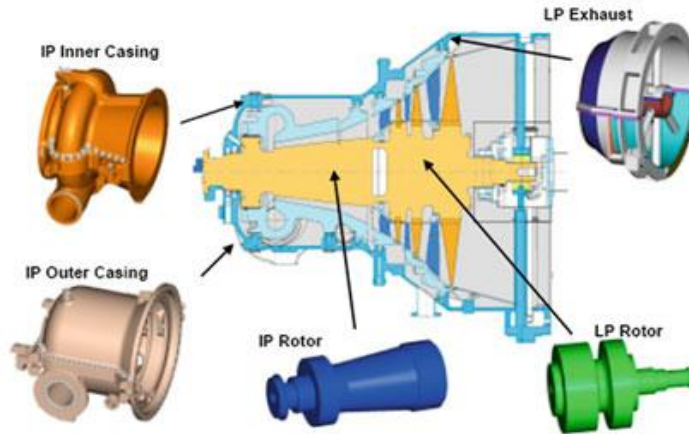


Abbildung 40: Submodule für E-Turbinenmodule aus Abbildung 39 (Bauart Siemens AG) [2]

Für kombinierte Dampfkraftwerke mit niedrigeren Leistungen sind eingehäusige Dampfturbinen unter Beachtung der Kondensatordrücke optimal. Sinkender Kondensatordruck führt zu steigendem spezifischem Volumen des Abdampfes. In der Abbildung 41 sind die zwei herkömmlichen Arten von Dampfturbinen für den Einsatz in kombinierten Prozessen zusammengefasst.

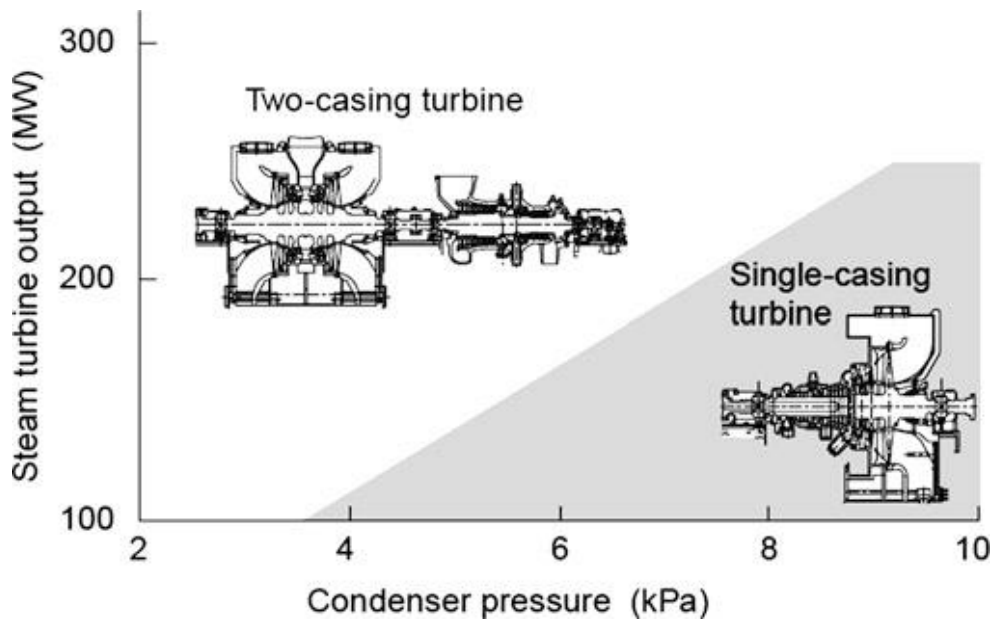


Abbildung 41: Bauformen für Einwellen-Dampfturbinen für kombinierte Kraftwerke [2]

Zweigehäusige Ausführungen können bei größeren Leistungen und thermodynamisch effizienteren Kondensatordrücken mit einem doppeflutigen Niederdruck-Teil oder wahlweise mit einer Hochdruck-Niederdruck-Turbine eingesetzt werden.

4 Einsatzbranchen von Gas- und/oder Dampfturbinen

Dank reichlich verschiedenen angebotenen Bauarten stehen Gas- und Dampfturbinen seit vielen Jahren als bewährte Komponenten zur Verfügung und lassen sich für eine Reihe von unterschiedlichen Anwendungsfällen vielfältig einsetzen. Eine genaue Trennungslinie zwischen diesen beiden Anwendungsgebieten liegt nicht exakt, jedoch können bestimmte Besonderheiten herausgezogen werden.

In erster Linie kommen sie bei Energieversorgern und unabhängigen Stromerzeugern oder Großverbrauchern zum Einsatz. Demgemäß ist Stromproduktion der wichtigste Einsatzpunkt dieser Anlagen. Als Vertreter der Kraftwerksturbinen eignen sich Kondensationsturbinen für diesen Zweck. Hierbei werden Dampfturbinen mit einem Leistungsspektrum von 100 MW bis 1000 MW und einer mehrgewölbigen Ausführung gewählt. Zum Einsatz kommen HD-, MD-, und ND-Teilturbinen. Aufgrund hoher Flexibilität und geringem Personalbedarf werden die Gasturbinen nicht nur für Spitzenlasteinsatz sondern auch in kombinierten Gas- und Dampfturbinenkraftwerken für die Mittel- und Grundlastabdeckung angewendet.

Unabhängig von der Anwendung in der öffentlichen Energieversorgung oder bei unabhängigen Stromerzeugern können die Gas- und Dampfturbinen auch noch in der Industrie eingesetzt werden. Für diesen Einsatz eignen sich Industriedampfturbinen. Zu einem können sie als Energielieferanten die erforderliche elektrische Energie in den industriellen Anlagen zur Verfügung stellen und zu anderem liefern sie die notwendige Wärme und/oder Prozessdampf in großen Industrieanlagen. Beispielhaft sind hier die folgenden Industrierwerke zu nennen: chemische Industrie, Eisen- und Stahlerzeugung, Papierfabriken, Zuckerindustrie, Lebensmittelindustrie, Sägewerks- und Holzindustrie. Hierzu werden Dampfturbinen mit einer Leistung bis etwa 100 MW gewählt. Bei Bedarf lassen sich auch die Anlagen bis rund 200 MW einsetzen. Sehr breite Palette von individuellen Dampfturbinenausführungen bietet die Einsatzmöglichkeit von reinem Kondensationsbetrieb über die Gegendruckanwendung bis hin zu Entnahme-Turbinen. Oft kommen die Industriedampfturbinen auch als Direktantrieb für beispielsweise Kompressoren oder Pumpen zum Einsatz, wodurch die Anknüpfung an einen Generator entfällt. In der Regel wird eine eingewölbte Bauart ausgewählt.

Ebenso können die Gasturbinen für einen mechanischen Antrieb im Leistungsbereich bis rund 25-30 MW eingesetzt werden. Hierbei übernehmen die Gasturbinen die Aufgaben, Verdichter anzutreiben, sowie Aufbereitung und Transport von Erdgas in Pipelines. Dank hoher

Wirkungsgrade und großer Flexibilität bei schnellen Lastwechseln können auch speziell entwickelte Aeroderivate für mechanische Antriebe verwendet werden.

Eine weitere Einsatzmöglichkeit von Dampfturbineneinheiten stellte noch der Antrieb für Schiffe dar. Heutzutage lohnt sich eine Dampfturbinenanwendung nur noch bei einzelnen großen Schiffen ab einer Wellenleistung von über 50 MW.

Die kompakte Bauform der Gasturbinen ermöglicht deren Einsatz zum Antrieb von Transportgeräten. Sie eignen sich nicht nur für den Antrieb von Landfahrzeugen und Schiffen sondern insbesondere für Flugtriebwerkantrieb.

In weitere Folge werden die einzelnen Einsatzsparten näher erläutert.

4.1 Stromerzeugung

Als Energieversorgungsunternehmen (EVU) bezeichnet man ein Unternehmen, welches elektrische Energie produziert und über das öffentliche Stromnetz seine Kunden mit dem Strom beliefert. Demensprechend umfasst der Begriff EVU im weiteren Sinne alle Unternehmen der Elektrizitätswirtschaft beginnend mit der Energieerzeugung über den Ferntransport und die Verteilung bis zur Konsumentenversorgung.

Die wichtigsten Anlagen zur Stromerzeugung mittels Gas- und Dampfturbinen lassen sich folgendermaßen untergliedert und erläutert:

- **Gaskraftwerke**

Zu thermischen Kraftwerksanlagen zählen die fossil gefeuerten Gasturbinenkraftwerke, welche Stromerzeugung aus der Wärme von Erdgas realisieren. An der Stelle unterscheidet man zwischen Gasturbinenkraftwerken und den mit Gas befeuerten Dampfkraftwerken. Die Kombination beider Prinzipien bilden die Gas- und Dampfkraftwerke, die im nachfolgenden Unterkapitel etwas näher erläutert werden.

Ursprünglich dienten die Gasturbinenkraftwerke als Notstromanlagen. Im Laufe der Zeit entwickelten sie sich zu effizienteren Modellen mit thermischen Wirkungsgraden von über 32 %. Den modernen Erdgas-befeuerten Gasturbinenkraftwerken gelingt es die Wirkungsgrade zwischen 35 % und 42 % zu erreichen. Um den Wirkungsgrad weiter zu steigern, können die Gasturbinenkraftwerke mit einer Kraft-Wärme-Kopplung ausgestattet sein. Auf diese Weise wird die restliche Abwärme zum Heizen über Nah- oder Fernwärme eingesetzt. Noch höheren Wirkungsgrad bis etwa 60 % erzielen leistungstärkere Gasturbinenanlagen in der schon erwähnten Kombination mit einem Dampfprozess in den modernen Gas-und-Dampf-Kombikraftwerken.

Die Gasturbinenkraftwerke können innerhalb weniger Minuten aus dem Stillstand heraus ihre volle Leistung ins Stromnetz abliefern. Damit leisten sie einen wichtigen Beitrag zur sicheren Stromversorgung bei großem Energiebedarf in Spitzenzeiten. Ansonsten zeigt sich vorteilhaft die Möglichkeit der Fernsteuerung mehrerer Vorgänge bei den Gasturbinenanlagen und führt weiter zur Reduktion des Personalbedarfes.

Verglichen mit den Dampfkraftanlagen wird Luft statt Kühlwasser zu Kühlzwecken eingesetzt. Außerdem betragen die Errichtungskosten eines Gasturbinenkraftwerks bis zum Betrieb etwa 2/3 der Baukosten eines Dampfkraftwerks.

Die Ausführung solcher Anlagen erfolgt ohne Maschinenhaus. Es genügt nur eine Wetterschutzhaube, welche gleichzeitig einen Isolationszweck erfüllt.

Im Widerspruch zur kostengünstigen Bauweise haben die Gaskraftwerke wesentlich höhere Brennstoffkosten für Erdgas, welche sich am Ölpreis orientieren. Ebenso wirken sich aufgrund begrenzter Erdgasspeicherung geringe Reichweiten der Erdgasvorräte nachteilig aus.

Ein weiterer Nachteil von Gaskraftwerken sind die entstehenden Abgase, die Kohlendioxid enthalten und klimaschädlich sind.

- **Dampfkraftwerke**

Die ersten thermischen Kraftwerke, die konstruiert wurden, sind Dampfkraftwerke. Allgemein gehören sie zur Gruppe konventioneller Kraftwerke und stellen die weltweit dominierende Bauart solcher Kraftwerke dar.

Geringerer CO_2 -Ausstoß hebt sie in erster Linie gegenüber den anderen Kraftwerksarten vorteilhaft heraus. Nachteilig wirkt sich die unvollständige Ausnutzung der erzeugten Wärme aus, da die Restwärme durch den Kühlturm verloren geht. Wie bereits erwähnt, kann die Verbesserung durch die Erweiterung mit Kraft-Wärme-Kopplung getroffen werden.

Aufgrund auftretender Wärmeverluste ist der elektrische Wirkungsgrad bei den Wärmekraftwerken unter gewisser Grenzen gesetzt. Falls die Abwärme nicht zu Heizzwecken eingesetzt wird, erreicht der Anlagenwirkungsgrad in der Regel die Werte zwischen 30 % (Braunkohle) und 45 % (Steinkohle). Ein Rückblick auf die weiterführende Kraftwerksentwicklung zeigt, dass der Wirkungsgrad dank fortlaufender neuer Forschungs- und Entwicklungsprojekte immer weiter steigt.

• GuD-Kraftwerke

Die Gas- und Dampfkraftwerke oder auch Kombikraftwerke als Kombination von Gasturbinen mit einem nachgeschalteten Dampfprozess stellen zurzeit die beliebte Investition weltweit dar, weil sie nicht nur einen hohen Wirkungsgrad, sondern auch geringste Emissionen aufweisen, vor allem bei Verwendung von Erdgas. Alternativ kann als Brennstoffersatz auch Dieselöl verwendet werden. Derzeit erzielen solche Kraftwerke die erfolgreichste Leistung.

Überwiegend finden sie ihre Anwendung im Bereich der Mittellasterzeugung. Ansonsten kommen sie aufgrund des hohen Wirkungsgrades auch bei der Grundlast zum Einsatz. Im Bereich reiner Spitzenlast ist die Verwendung reiner Gasturbinenkraftwerke trotz deutlich niedrigerem Wirkungsgrad sinnvoller, da sie, wie bereits erwähnt, im Gegensatz zu kombinierten Anlagen sowohl im Bau wesentlich kostengünstiger als auch in der Regelung schneller sind. In der Tat liegen die erforderlichen Investitionskosten für GuD-Kraftwerke jedoch erheblich unter den Kosten für Kohlekraftwerke.

Genau genommen zeichnen sich die GuD-Anlagen neben dem hohen Wirkungsgrad durch weitere wichtige Vorteile aus wie geringe CO_2 -Emissionen, niedrige Investitionskosten, kurze Bauzeiten, hohe Flexibilität und besondere Akzeptanz bei der Bevölkerung.

Ebenso wie bei den reinen Gasturbinenkraftwerken wirken sich die hohen Brennstoffkosten und geringe Brennstoffflexibilität nachteilig aus.

In der Regel erreichen heutige GuD-Kraftwerke, die mit Erdgas betrieben werden, einen Gesamtwirkungsgrad bis 60 %. Hierzu erzielen die Gasturbine 40 % und Dampfturbine 20 % von dem Gesamtwirkungsgrad der Anlage.

Weiters ist es ebenfalls möglich, genau wie bei den einzelnen Dampf- und Gaskraftanlagen, dieses Kraftwerkmodell mit einer Kraft-Wärme-Kopplung zu erweitern. In diesem Fall wird der Heißdampf als Fernwärme statt für die Dampfturbine verwendet, wodurch der Nutzfaktor 85 % erreichen kann.

• Müllverbrennungsanlagen

Die Müllverbrennungsanlagen können für vielseitige Zwecke in ziemlich verschiedenen Ausführungen gestaltet werden. Generell unterscheidet man etliche Bauarten beginnend mit kleinen Anlagen in Krankenhäusern, über spezielle Anlagen für Klärschlammverbrennung bis hin zu großtechnischen Anlagen für Erzeugung von Strom und Fernwärme. Die

Verbrennungsmethode, welche vorwiegend bei nahezu allen Anlagenarten verwendet wird, erfolgt über die Verbrennung auf Ofenrosten. Mittels Müllverbrennungsanlagen gelingt es im Zuge der Abfallbehandlung sowohl Strom als auch Wärme erfolgreich zu gewinnen.

- **Biomasseheizkraftwerke**

Zweifellos stellt die Verwendung von Biomasse in der Menschheit die älteste gebrauchte Energieform dar. Allgemein kann die Biomasse zur Stromerzeugung, zur Wärmebereitstellung oder einfach als Treibstoff in fester, flüssiger oder gasförmiger Form eingesetzt werden. Ein weiterer Vorteil der Biomasse als gespeicherte Energie ist die räumliche und zeitliche bedarfsgerechte Verfügung. Zudem entsteht die Biomasse im Gegensatz zu fossilen Brennstoffen als ein erneuerbarer Energieträger aus nachwachsenden tierischen und pflanzlichen Bestandteilen oder Abfällen.

Typische Beispiele solcher Brennstoffe, welche zum Einsatz in Biomasseheizkraftwerken kommen, sind: Holzhackschnitzel, Altholz, Kurzumtriebsplantagen, Holzpellets, Getreide, Riesen-Chinaschilf, Klärschlamm, Textilfasern und noch viele weitere.

In Biomassekraftwerken ist die Produktion von Strom, Wärme oder beiden durch die Verbrennung fester Biomasse erzielbar. Die optimale Effizienz wird nur bei gleichzeitiger Abwärmenutzung neben der Stromerzeugung erreicht.

4.2 Palm- und Zuckerindustrie

Weiterhin finden die Dampfturbinen in der Zuckerindustrie zur Verarbeitung von Zucker enthaltenden pflanzlichen Rohstoffen Einsatz. In der Zuckerindustrie gewinnt man den Zucker als chemisch reinstem Endprodukt. Zu den bedeutendsten Zuckerproduzenten zählen Brasilien, Indien und die Volksrepublik China.

4.3 Eisen- und Stahlindustrie

Unter dem Begriff Stahlwerk versteht man eine Fabrik in der Metallindustrie, welche vorwiegend an Hand von Hochöfen die Stahlproduktion aus dem Roheisen realisiert.

Die Hauptbestandteile des Roheisens sind zu 90 % Eisen, bis zu 4 % Kohlenstoff sowie Phosphor, Schwefel, Mangan und Silizium, wobei man aufgrund seiner Zusammensetzung zwischen grauem und weißem Roheisen unterscheiden kann. Die Begleitelemente dienen zur Produkteigenschaftenverbesserung des Roheisens, wie auch Erleichterung des Hochofenbetriebes durch Herabsetzung des Eisenschmelzpunktes von 1539 °C auf 1200 °C.

Prinzipiell wird im Hochofen aus den Eisenerzen, Zuschlägen sowie Koks und Kohle, Öl oder Gas flüssiges Roheisen gewonnen. Nachfolgend wird das so gewonnene Roheisen zu etlichen Stahlsorten weiterverarbeitet.

Als wichtigster Stahlproduzent weltweit hebt sich China heraus. In Europa gehören zu den wichtigsten Herstellern Russland, Deutschland und Italien.

4.4 Sägewerk- und Holzindustrie

Unter dem Begriff Sägewerke versteht man Wirtschaftskonzerne, welche durch Aufarbeitung des Rundholzes Bretter, Kanthölzer und Balken herstellen. Die Bearbeitung verläuft gewöhnlich an Gattersägen, sonst auch an Band- und Kreissägen.

Sogar die anfallenden Sägenebenprodukte werden nicht weggeworfen, sondern weiterverarbeitet. Demnach wird Rinde vor allem zu Heizzwecken eingesetzt. Sägespäne, Sägemehl und Absiebungen können an der ersten Stelle zu Pellets gepresst werden. Hackgut und Kappholz können sowohl zu Heizzwecken verbrannt als auch zu Pellets verpresst werden, außerdem finden sie ihren Einsatz auch in der Papierindustrie bei der Zellstoffherstellung.

4.5 Zellstoff- und Papierindustrie

Die industrielle Papierproduktion hat in den letzten 200 Jahren einen rasanten Fortschritt gemacht. An erster Stelle wird zur Papierherstellung Zellulose eingesetzt, die aus Kunststofffasern, Holzstoff und Altpapier gewonnen werden kann. Hinzu zählen noch als Hauptressourcen der Papierproduktion Wasser, Füllstoffe und etliche Zusatzstoffe. Bindemittel und Mineralien kommen bei der Papierbeschichtung zur Anwendung. Die ungefähr 3000 bestehenden Papiersorten werden aufgrund ihrer Einsatzzwecke in vier Grundgruppen eingeteilt.

4.6 Chemische Industrie

Die chemische Industrie als wichtiger Industriezweig erschafft grundlegende chemische Produkte für viele andere Wirtschaftsbranchen wie Kunststoffindustrie, Lebensmittelindustrie, Automobilindustrie, Glasindustrie oder Baustoffindustrie.

Zur chemischen Industrie gehören die Herstellung von Kunststoffen aus Ethylen, Styrol und Vinylchlorid sowie die Umwandlung von Fetten und Ölen in Seifen.

Als die wichtigsten Eigenschaften chemischer Industrie präsentieren sich ein sehr hoher Automatisierungsgrad, hohe Wertsteigerung der verarbeitenden Rohstoffe, äußerst große Anzahl hergestellter Produkte, besonders teure Forschung und aufwändige Verfahrenstechnik.

4.7 Zementindustrie

Zement hat Eigenschaften eines anorganisches, nichtmetallischem feingemahlene Stoffes und stellt gleichzeitig den wichtigsten Vertreter hydraulischer Bindemittel dar.

Als hydraulisch bezeichnet man diejenigen Materialien, die sowohl an der Luft als auch unter Wasser erhärten und weiterhin beständig bleiben. Aus dieser Richtung bildet Zement durch die chemische Reaktion mit Wasser eine unlöslich stabile Verbindung.

Heute wird Zement in modernen Zementwerken hergestellt, wobei der Ausgangsstoff für die Zementproduktion vorwiegend aus natürlichen Rohstoffen vorkommt.

4.8 Lebensmittelindustrie

Die Lebensmittelindustrie beschäftigt sich mit der Verarbeitung gewonnener Güter aus der Landwirtschaft zu den Endprodukten und stellt sie weiter den Konsumenten zur Verfügung. Zu den Endverbrauchern können die hergestellte Ware entweder direkt oder über Gastronomie zugeteilt werden.

Eine Einordnung der Lebensmittelindustrie lässt sich auf etwa neun Unterbranchen klassifizieren: Fleischverarbeitung, Fischverarbeitung, Verarbeitung von Obst und Gemüse, Milchverarbeitung, Futtermittelherstellung, Backwarenherstellung, Fett- und Ölproduktion, Mahlmühlen und Produktion weiterer Nahrungsmittel.

4.9 Öl- und Gasindustrie

Grundlegend basiert Erdöl auf einem Gemisch verschiedener Kohlenwasserstoffe. Vorerst wird das Erdöl-Rohöl von Sand und Wasser abgetrennt und weiters mit Tankern oder Pipelines zu Erdölraffinerien geliefert.

- **Erdgastransport**

Für effektiven Erdgastransport bieten sich zwei grundlegende Methoden an. Zu einem lässt sich Erdgas in Gasform über Pipelines befördern. Zu anderem kann Erdgas in verflüssigter Form (Liquified Natural Gas – LNG) mit Tankschiffen transportiert werden.

Für den Erdgastransport leitungsgebunden anhand unterirdischer Pipelines wird das Erdgas unter hohem Druck im Bereich von 80 bar bis 200 bar transportiert. Die dabei entstehenden Druckverluste werden durch Erdgasverdichtung etwa alle 100 km bis 200 km ausgeglichen. Dies geschieht in den sogenannten Verdichterstationen. Zu den wichtigsten Bestandteilen der Verdichterstationen gehören Gasturbinen, welche hierbei zum mechanischen Antrieb von Verdichtern dienen und somit die Dichte des Erdgases erhöhen. Für die Erdgasleitungen werden typischerweise Rohre mit einem Durchmesser von 20 cm bis 1,4 m verwendet.

Da die Verlegung von Pipelines durch die Tiefsee nicht realisierbar ist, lässt sich Erdgas auf dieser Weise über den Atlantik nicht transportieren. Hierfür bietet sich als Alternative Erdgastransport mittels Spezialschiffen.

- **Raffinerie**

Erdölraffinerie ist ein energieintensiver Betrieb, welcher aus dem Rohöl durch diverse Verarbeitungsmethoden eine reichliche Palette von höherwertigen gasförmigen, flüssigen oder festen Erdölprodukten wie Benzin, Dieselmotorenkraftstoff, Heizöl, Flüssiggas, Schmieröle, Bitumen und Petrolkoks gewinnt.

Um die Produkte besser dem Bedarf anzupassen, finden unterschiedliche chemische Umsetzungen bei diversen Veredelungsverfahren statt.

Dank der starken Technologieoptimierung sind die meisten Erdölraffinerien mittlerweile wesentlich umweltfreundlicher geworden. Demzufolge können die massiven Umweltbelastungen durch entsorgte Reststoffe und schädliche Abgase deutlich reduziert werden. Wiederum entstehen etliche Belastungen wie erhebliche CO_2 -Emission, entweichende Kohlenwasserstoffe in die Luft, gewisse Mengen von Schwefeldioxid und Stickoxide in den Abgasen und deutlicher Wasserverbrauch.

5 Nutzung von Gas- und Dampfturbinen in Österreich

Schlussfolgernd stellen ausführliche Analyse und Dokumentation eventueller Einsatzarten von Gas- und Dampfturbinen in Österreich das zentrale Thema dieser Masterarbeit dar. Basierend auf die allgemein möglichen Einsatzparten (Stromerzeugung, industrielle Anwendung und Aufbereitung und Transport von Erdgas in Pipelines) von Gas- und Dampfturbinen wurde folgende Recherche durchgeführt.

5.1 Potentielle Betreiber

Als potentielle Betreiber sind hier nicht nur die Energieversorgungsunternehmen sondern auch alle Fabriken herausgezogen, welche möglicherweise Gas- und/oder Dampfturbinen betreiben.

Um auf die grundlegenden Daten der in Österreich betriebenen Turbineneinheiten zu gelangen, wurden im Rahmen dieser Recherche sowohl die potentiellen Energieversorgerunternehmen als auch alle möglichen Fabriken in Österreich kontaktiert. Hierzu waren folgende wesentliche Informationen verlangt:

Gasturbinen:

- Hersteller
- Type
- Nennleistung
- Generator- oder mechanische Antriebsturbinen
- Baujahr
- Standort

Dampfturbinen:

- Hersteller
- Gegendruckturbine, Kondensationsturbinen oder Entnahmeturbinen
- Nennleistung
- Generator- oder mechanische Antriebsturbinen
- Baujahr
- Standort

Alle kontaktierten Betreiber sind nach der entsprechenden Einsatzbranche in den folgenden Tabellen 2-10 eingeteilt und aufgelistet. Weiterhin bieten diese Tabellen zusätzlich noch die

Informationen über die Rückmeldung kontaktierter Unternehmen und die Anzahl der aktuell betriebenen Kraftmaschinen an.

- **Stromerzeugung**

	Betreiber	Rückmeldung	Anzahl im Betrieb befindlicher Gasturbinen	Anzahl im Betrieb befindlicher Dampfturbinen	Bemerkung
1	Verbund AG	Ja	-	-	keine Daten zur Verfügung gestellt
2	EVN AG	Ja	-	-	keine Daten zur Verfügung gestellt
3	EVN Wärme GmbH	Ja	-	-	keine Daten zur Verfügung gestellt
4	Wien Energie GmbH	Ja	-	-	keine Daten zur Verfügung gestellt
5	Wien Energie Stromnetz GmbH	Ja	-	-	keine Daten zur Verfügung gestellt
6	Salzburg AG	Nein	-	-	
7	Energie AG Oberösterreich	Ja	1	1	
8	KELAG-Kärntner Elektrizität-AG	Nein	-	-	
9	Linz AG	Ja	5	5	
10	Nawaro Energie Betrieb GmbH	Nein	-	-	
11	Wels Strom GmbH	Nein	-	-	
12	Bioenergiezentrum GmbH	Ja	0	3	
13	Bioenergie Kufstein GmbH	Nein	-	-	
14	Stadtwärme Linz Produktions- und Vertriebs-GmbH	Nein	-	-	
15	Bioenergie Steyr GmbH	Nein	-	-	
16	Biomasseheizkraftwerk Ybbs GmbH	Nein	-	-	
17	Kärntner Restmüllverwertungs GmbH	Ja	0	2	

Tabelle 2: Potentielle Betreiber für Stromerzeugung

- **Palm- und Zuckerindustrie**

	Betreiber	Rückmeldung	Anzahl im Betrieb befindlicher Gasturbinen	Anzahl im Betrieb befindlicher Dampfturbinen	Bemerkung
1	Agrana Beteiligungs-AG	Nein	-	-	

Tabelle 3: Potentielle Betreiber für Palm- und Zuckerindustrie

- **Eisen- und Stahlindustrie**

	Betreiber	Rückmeldung	Anzahl im Betrieb befindlicher Gasturbinen	Anzahl im Betrieb befindlicher Dampfturbinen	Bemerkung
1	Voestalpine Stahl AG	Ja	1	7	

Tabelle 4: Potentielle Betreiber für Eisen- und Stahlindustrie

- **Sägewerk- und Holzindustrie**

	Betreiber	Rückmeldung	Anzahl im Betrieb befindlichen Gasturbinen	Anzahl im Betrieb befindlichen Dampfturbinen	Bemerkung
1	Holzindustrie Schweighofer	Ja	0	0	keine in Österreich, sämtliche Turbinen in Rumänien
2	Hutter Holzindustrie GmbH	Nein	-	-	
3	Hutter Sägewerk GmbH	Nein	-	-	
4	Rubner Holzindustrie GesmbH	Nein	-	-	
5	Gebrüder Steininger GmbH	Nein	-	-	
6	Pfeifer Holding GmbH	Nein	-	-	
7	Moser Holzindustrie GmbH	Nein	-	-	
8	Holzindustrie Maresch GmbH	Nein	-	-	

9	Kirnbauer Holz KG Liegenchafts GmbH	Nein	-	-	
10	Binderholz GmbH	Ja	0	1	
11	Stora Enso Wood Products	Nein	-	-	
12	FunderMax GmbH	Nein	-	-	
13	Troger Holz GES.M.B.H.	Nein	-	-	
14	Schaffer Sägewerk- Holzexport GmbH	Nein	-	-	

Tabelle 5: Potentielle Betreiber für Sägewerk- und Holzindustrie

• Zellstoff- und Papierindustrie

	Betreiber	Rückmeldung	Anzahl im Betrieb befindlicher Gasturbinen	Anzahl im Betrieb befindlicher Dampfturbinen	Bemerkung
1	AustroCel Hallein GmbH	Ja	0	3	
2	Brigl und Bergmeister GmbH	Nein	-	-	
3	Mondi Frantschach GmbH	Ja	0	5	
4	Mondi Neusiedler GmbH	Ja	4	0	
5	Mayr-Melnhof Karton AG	Ja	-	.	keine Daten zur Verfügung gestellt
6	W. Hamburger GmbH	Nein	-	-	
7	Lenzing Papier GmbH	Nein	-	-	
8	Norske Skog Bruck GmbH	Ja	1	1	
9	Sappi Papier Holding GmbH	Ja	1	3	
10	Zellstoff Pöls AG	Ja	-	-	keine Daten zur Verfügung gestellt
11	UPM Kymmene Austria GmbH	Nein	-	-	
12	Smurfit Kappa Nettingsdorf AG & Co KG	Nein	-	-	

13	Papierfabrik Wattens GmbH & Co KG	Nein	-	-	
14	Salzer Papier GmbH	Nein	-	-	
15	Rondo Ganahl AG	Ja	0	0	keine Turbinen im Betrieb
16	Pröfumend GmbH	Nein	-	-	
17	Poneder e. U. Halbstoff-Fabrik	Nein	-	-	
18	Merckens Karton- und Pappenfabrik GmbH	Nein	-	-	
19	Laakirchen Papier AG	Nein	-	-	
20	Dr. Franz Feurstein GmbH	Nein	-	-	
21	Essity Austria GmbH	Nein	-	-	

Tabelle 6: Potentielle Betreiber für Zellstoff- und Papierindustrie

• Chemische Industrie

	Betreiber	Rückmeldung	Anzahl im Betrieb befindlicher Gasturbinen	Anzahl im Betrieb befindlicher Dampfturbinen	Bemerkung
1	Borealis Polyolefine GmbH	Nein	-	-	
2	Treibacher Industrie AG	Nein	-	-	
3	Donau Chemie AG	Nein	-	-	
4	Rembrandtin Coatings GmbH	Ja	0	0	keine Turbinen im Betrieb
5	Salinen Austria AG	Ja	0	0	keine Turbinen im Betrieb
6	Tiger Coatings GmbH & Co. KG	Ja	0	0	keine Turbinen im Betrieb
7	Synthesa- Gruppe	Ja	-	-	
8	Sunpor Kunststoff GmbH	Ja	0	0	keine Turbinen im Betrieb
9	Esim Chemicals GmbH	Nein	-	-	

Tabelle 7: Potentielle Betreiber für chemische Industrie

- **Zementindustrie**

	Betreiber	Rückmeldung	Anzahl im Betrieb befindlicher Gasturbinen	Anzahl im Betrieb befindlicher Dampfturbinen	Bemerkung
1	Lafarge Permooser GmbH	Ja	0	0	keine Turbinen im Betrieb
2	Kirchdorfer Industries GmbH	Nein	-	-	
3	Rohrdorfer Baustoffe Austria GmbH	Ja	0	0	keine Turbinen im Betrieb

Tabelle 8: Potentielle Betreiber für Zementindustrie

- **Lebensmittelindustrie**

	Betreiber	Rückmeldung	Anzahl im Betrieb befindlicher Gasturbinen	Anzahl im Betrieb befindlicher Dampfturbinen	Bemerkung
1	NÖM	Ja	0	0	keine Turbinen im Betrieb

Tabelle 9: Potentielle Betreiber für Lebensmittelindustrie

- **Öl- und Gasindustrie**

	Betreiber	Rückmeldung	Anzahl im Betrieb befindlicher Gasturbinen	Anzahl im Betrieb befindlicher Dampfturbinen	Bemerkung
1	OMV	Ja	18	6	
2	Trans Austria Gasleitung GmbH	Ja	16	1	
3	Gas Connect Austria GmbH	Ja	6	6	

Tabelle 10: Potentielle Betreiber für Öl- und Gasindustrie

5.2 Betreiber

In diesem Unterkapitel werden allgemeine Informationen zu den österreichischen Unternehmen erläutert, welche die gewünschten Daten im Betrieb befindlicher Turbinen zur Verfügung gestellt haben. Dazu sind die erhaltenen Turbinendaten in den zugeordneten Tabellen 11-31 eingetragen, um einen besseren Überblick zu erweitern.

Linz Strom Gas Wärme GmbH

Die Linz Strom Gas Wärme GmbH beschäftigt sich nicht nur mit der Strom- und Fernwärmeversorgung sondern auch mit dem öffentlichen Nahverkehr und kommunalen Diensten sowohl in Linz als auch in weiteren 115 Gemeinden in Oberösterreich. Das Unternehmen ist in einige Gesellschaften unterteilt und betreibt ein 8021 km langes Energieübertragungsnetz, 27 Umspannwerke und weit über 300 Transformatoren. [7]

Durch erfolgreiche Modernisierung mit der Errichtung einer Gas- und Dampfturbinenanlage im Fernheizkraftwerk Linz-Mitte im Jahr 2004 wird über 85 % des Brennstoffes effektiv genutzt und elektrische Leistung von 105000 kW und Fernwärmeleistung von 85000 kW erzeugt.

Das Biomasseheizkraftwerk im Fernheizkraftwerk Linz-Mitte wird von der Linz Strom Gas Wärme GmbH seit November 2005 betrieben und versorgt rund 20000 Ökostrom- und etwa 12000 Biowärme-Haushalte mit einer elektrischen Leistung von 8,9 MW und eine Fernwärmeleistung von 21 MW. [7]

Zur erfolgreichen Stromproduktion im Rahmen dieses Unternehmens werden derzeit insgesamt fünf Gasturbinen und fünf Dampfturbinen betrieben. Die nachstehenden Tabellen 11 und 12 bieten die erhaltenen Informationen über diese Kraftmaschinen dar.

Gasturbinen					
Bezeichnung	Hersteller	Type	Nennleistung [MW]	Generator- oder mechanische Antriebsturbinen	Baujahr
GT1A	GE	6FA	72	Generator ELIN	2004
GT1B	GE	6FA+e	80,2	Generator ELIN	2008
SGT1	GE	6B	40,8	Generator ELIN	1992
SGT2	GE	6B	40,8	Generator ELIN	1992
SGT3	GE	6B	42,2	Generator ELIN	1997

Tabelle 11: Daten der Gasturbinen im Betrieb von Linz Strom Gas Wärme GmbH

Dampfturbinen					
Bezeichnung	Hersteller	Gegendruckturbine, Kondensationsturbine, Entnahmeturbine	Nennleistung [MW]	Generator- oder mechanische Antriebsturbine	Baujahr
DT1A	SIEMENS	Anzapf- Gegendruckturbine	30	Generator VA TECH HYDRO	2004
DT1B	SIEMENS	Entnahme- Gegendruckturbine	37,6	Generator SIEMENS	2009
DT Biom	B +V – Industrie- technik	Anzapf- Gegendruckturbine	8,9	Generator ELIN	2005
DT RHKW	TGM- Kanis	Anzapf- Gegendruckturbine	15	Generator ELIN	2012
SDT2	ABB Turbinen Nürnberg GmbH	Anzapf- Gegendruckturbine	17	Generator ABB	2000

Tabelle 12: Daten der Dampfturbinen im Betrieb von Linz Strom Gas Wärme GmbH

Energie AG Oberösterreich

Die Energie AG Oberösterreich setzt sich aus mehreren Einzelgesellschaften zusammen, welche sich mit diversen Geschäftsbereichen wie Energie, Entsorgung und Wasserversorgung beschäftigen. Das Unternehmen betreibt insgesamt 47 Kraftwerke in Oberösterreich, Salzburg, der Steiermark und Niederösterreich. Davon sind zwei große kalorischen Kraftwerke in Timelkam und Riedersbach bekannt, sowie mehrere Müllverbrennungsanlagen in Wels und Lenzing. [8]

Zusätzlich wird noch das Biomassekraftwerk Timelkam von der Energie AG Oberösterreich betrieben und liefert sowohl eine elektrische Leistung als auch eine thermische Leistung von 15 MW.

Etwas nähere Informationen über die im Betrieb stehende Gas- und Dampfturbine stehen in den folgenden Tabellen 13 und 14 zur Verfügung.

Gasturbine				
Hersteller	Type	Nennleistung [MW]	Generator- oder mechanische Antriebsturbine	Baujahr
Thomassen	General Electric Frame 6B	39,81	Generator ELIN	1994

Tabelle 13: Daten der Gasturbine im Betrieb von Energie AG Oberösterreich

Dampfturbine			
Hersteller	Gegendruckturbine, Kondensationsturbine, Entnahmeturbine	Nennleistung [MW]	Baujahr
SIEMENS GER	Gegendruckdampfturbine mit Wanderanzapfung	20,3	1994

Tabelle 14: Daten der Dampfturbine im Betrieb von Energie AG Oberösterreich

Bioenergiezentrum GmbH

Seit über zehn Jahren steht das Biomasseheizkraftwerk Klagenfurt Süd im Betrieb und versorgt mittels regionalem Waldhackgut die Stadt Klagenfurt sowohl mit Ökostrom als auch mit Fernwärme. Zudem verfügt das Biomasseheizkraftwerk Klagenfurt Süd über eine Kraft-Wärme-Kopplungsanlage.

Im Betrieb von Bioenergiezentrum GmbH befinden sich zurzeit drei Dampfturbinen, welche in der folgenden Tabelle 15 dargestellt sind.

Dampfturbinen					
Bezeichnung	Hersteller	Gegendruckturbine, Kondensationsturbine, Entnahmeturbine	Nennleistung [MW]	Generator- oder mechanische Antriebsturbine	Baujahr
DT1A	MAN Turbo	Gegendruckturbine	12	Generator	2016
DT1B	MAN Turbo	Gegendruckturbine	5	Generator	2017
DT Biom	MAN Turbo	Entnahmeturbine	12	Generator	2007

Tabelle 15: Daten der Dampfturbinen im Betrieb von Bioenergiezentrum GmbH

Kärntner Restmüllverwertungs GmbH

Die Gründung der Kärntner Restmüllverwertungs GmbH (KRV) hatte einen mehrjährigen Entwicklungsprozess in Anspruch genommen. Beginnend mit der Durchführung der Studie über zukünftigen Restmüllbehandlung in Kärnten auf thermischem Weg.

Somit fand die Gründung des Kärntner Restmüllverwertungs GmbH erst im Jahr 1997 statt und die offizielle Eröffnung der ersten Müllverbrennungsanlage Arnoldstein folgte sieben Jahre

später. Heutzutage beschäftigt die Kärntner Restmüllverwertungs GmbH rund 29 MitarbeiterInnen und gilt als eine der weltweit modernsten Müllverbrennungsanlagen. Es werden bis zu 80.000 Tonnen des Kärntner Restmülls jährlich thermisch behandelt und mittels Restmüllenergie Wärme und Strom produziert. Maximaler Nutzungsgrad der Anlage liegt bei 57 %. Dazu werden zwei Dampfturbinen verwendet, welche in folgender Tabelle 16 näher erläutert sind.

An der Kärntner Restmüllverwertungs GmbH sind noch drei leistungsstarke Gesellschafter beteiligt:

- Verbund-BeteiligungsGmbH mit 42,85 %
- Kelag-Kärntner Elektrizität-Aktiengesellschaft mit 42,85 %
- Porr Infrastruktur GmbH mit 14,30 %.

Zur Kärntner Entsorgungsvermittlungs GmbH (KEV) gehören außerdem noch Abfallwirtschaftsverbände wie Klagenfurt, Spittal/Drau, Völkermarkt/St. Veit und Lavanttal.

Dampfturbinen				
Hersteller	Gegendruckturbine, Kondensationsturbine, Entnahmeturbine	Nennleistung [MW]	Generator- oder mechanische Antriebsturbine	Baujahr
Siemens	Entnahme-Kondensationsturbine	7,3	Generator	2004
Siemens KKK	Kondensationsturbine	7	Generator	2010

Tabelle 16: Daten der Dampfturbinen im Betrieb von Kärntner Restmüllverwertungs GmbH

Voestalpine Stahl GmbH

Als stahlbasierter Technologie- und Industriegüterkonzern umfasst die Voestalpine Stahl GmbH knapp 500 Konzerngesellschaften an den Standorten in mehr als 50 Ländern.

Roheisen- und Stahlherstellung in Österreich erfolgt an zwei Standorten, in Linz und in Donawitz.

Die Voestalpine Stahl Donawitz GmbH gewährleistet eine jährliche Umwandlung mit zwei Konverter von 1,65 Mill. Tonnen Roheisen aus dem Hochofen zu hochwertigem Stahl. Die beiden Hochofen bringen auf täglichem Niveau rund 4000 Tonnen Roheisen. Zudem werden

noch 1,65 Mio. Tonnen Vorblöcke der Formate 230 mm rund und 390x283 mm rechteckig hergestellt.

Die heutige modernste verfügbare Technologie zur Abscheidung von Staubpartikeln befindet sich am Standort Donawitz im Betrieb, welche den neuen Grenzwert für Staub-Emissionen aus Sinteranlagen laut Betreiberangaben effektiv unterschritten hat. [13]

Gasturbine				
Hersteller	Type	Nennleistung [MW]	Generator- oder mechanische Antriebsturbine	Baujahr
GE	MS 6001B-DLN	38	Generator	1994

Tabelle 17: Daten der Gasturbine im Betrieb von Voestalpine Stahl GmbH

Dampfturbinen				
Hersteller	Type	Nennleistung [MW]	Generator- oder mechanische Antriebsturbine	Baujahr
Siemens	WK63/80-2	31	Generator	1994
Siemens	T6214	38	Generator	2002
Siemens	T5851	25	Generator	1984
Siemens	T5952	25	Generator	1984
Siemens	B043532	163	Generator	2009
Siemens	T 5408	32	Mechanischer Antrieb	1977
Siemens	T 5407	3	Mechanischer Antrieb	1977

Tabelle 18: Daten der Dampfturbinen im Betrieb von Voestalpine Stahl GmbH

Binderholz GmbH

Binderholz GmbH ist ein traditionelles Familienunternehmen mit dem Stammhaus in Fügen, zu welchem noch elf weitere Standorte nicht nur in Österreich sondern auch in Deutschland und Finnland zählen. Das Kerngeschäft des Unternehmens liegt in der Produktion einer Palette hochwertiger Massivholzprodukte und Biobrennstoffe.

Das Unternehmen betreibt eine Dampfturbine in Österreich, deren wichtigsten Daten in der Tabelle 19 ersichtlich sind.

Dampfturbine				
Hersteller	Gegendruckturbine, Kondensationsturbine, Entnahmeturbine	Nennleistung [MW]	Generator- oder mechanische Antriebsturbine	Baujahr
MAN	Entnahmeturbine	8,76	Generatorbetrieb	2004

Tabelle 19: Daten der Dampfturbine im Betrieb von Binderholz GmbH

Sappi Papier Holding GmbH

Sappi Papier Holding GmbH ist ein erfolgreiches internationales Unternehmen, welches zur Zellstoff- und Papierindustrie zählt.

In Österreich ist das Unternehmen mit der modernsten und neuesten Technologie zur Herstellung von hochwertigem gestrichenem Feinpapier am Standort Gratkorn tätig. Jährlich produziert die Fabrik Gratkorn 980000 Tonnen doppelt und dreifach gestrichenes Papier.

Am Standort Gratkorn zählen zu dem Unternehmen Sappi Papier Holding GmbH drei Dampfturbineneinheiten und eine Gasturbine (Tabellen 20 und 21).

Gasturbine				
Hersteller	Type	Nennleistung [MW]	Generator- oder mechanische Antriebsterbine	Standort
Siemens	SGT 800	45	Generator	Gratkorn

Tabelle 20: Daten der Gasturbine im Betrieb von Sappi Papier Holding GmbH

Dampfturbinen				
Hersteller	Gegendruckturbine, Kondensationsturbine, Entnahmeturbine	Nennleistung [MW]	Generator- oder mechanische Antriebsterbine	Standort
TGM Kanis	Gegendruckturbine	28,3	Generator	Gratkorn
AEG	Gegendruckturbine Anzapfung	36,85	Generator	Gratkorn
MAN Turbo	Eingehäusige Entnahme Reaktions- Gegendruckturbine	28,3	Generator	Gratkorn

Tabelle 21: Daten der Dampfturbinen im Betrieb von Sappi Papier Holding GmbH

AustroCel Hallein GmbH

AustroCel Hallein GmbH beschäftigt sich seit 125 Jahren mit der Produktion von qualitativ hochwertigem Textil-Zellstoff und Bioenergie durch umweltfreundliche und effiziente Nutzung des Rohstoffes Holz.

Das Unternehmenskonzept produziert jährlich 150000 Tonnen des hochreinen Zellstoffes für die Textilindustrie durch diverse Verfahren und ausnahmslose Verwendung des Fichtenholzes.

Zudem werden Grünstrom, Fernwärme, Biogas und Lignosulfonat aus den daraus resultierenden Nebenströmen der Zellulose-Herstellung geschaffen, wodurch die Strom- und Fernwärmelieferung in das öffentliche Netz möglich ist. Auf diese Weise versorgt AustroCel Hallein GmbH bis zu 20000 Haushalte mit dem erzeugten Strom und Fernwärme in Hallein und Salzburg und leistet einen wesentlichen Beitrag zur Reduktion der fossilen CO₂-Emission.

AustroCel Hallein GmbH betreibt drei Dampfturbinen (Tabelle 22).

Dampfturbinen			
Hersteller	Gegendruckturbine, Kondensationsturbine, Entnahmeturbine	Nennleistung [MW]	Baujahr
AEG-Kanis	Gegendruckturbine 1 Anzapfung	23	1988
Brochier	Gegendruckturbine 1 Anzapfung	4,99	2005
AEG-Kanis	Kondensationsturbine 3 Anzapfungen	4,2 bei Wärmeerzeugung 4,8 bei Kondensationsbetrieb	1970

Tabelle 22: Daten der Dampfturbinen im Betrieb von AustroCel Hallein GmbH

Mondi Group

Als internationales Verpackungs- und Papierunternehmen beschäftigt Mondi rund 26000 Mitarbeiter in mehr als 30 Ländern und über 100 Produktionsstätten vorwiegend in Europa, Russland, Nordamerika und Südafrika. Zur Mondi Group gehören auch zwei österreichische Werke: Mondi Neusiedler GmbH und Mondi Frantschach GmbH.

- **Mondi Neusiedler GmbH**

Mit dem Hauptsitz in Ulmerfeld-Hausmening-Neufurth zählen zur Mondi Neusiedler GmbH zwei Produktionsstandorte in Hausmening und Kematen an der Ybbs. Die Tabelle 23 zeigt die Dampfturbinen sowohl am Standort Hausmening als auch am Standort Kematen.

Dampfturbinen				
Hersteller	Nennleistung [MW]	Generator- oder mechanische Antriebsturbine	Baujahr	Standort
BBC	5,3	Generator	1970	Hausmening
Siemens	10	Generator Anzapfung	1982	Hausmening
Escher Wyss	6	Gegendruckturbine	1957	Kematen
SGP	10,5	Gegendruckturbine Anzapfung	1987	Kematen

Tabelle 23: Daten der Dampfturbinen im Betrieb von Mondi Neusiedler GmbH

- **Mondi Frantschach GmbH**

Das Unternehmen Mondi Frantschach GmbH beschäftigt sich erfolgreich mit der Produktion hochqualitativer Verpackungspapiere und Spezialmarktzellstoffe und versorgt somit etliche Verpackungshersteller weltweit.

Zurzeit betreibt Mondi Frantschach GmbH fünf Dampfturbinen (Tabelle 24).

Dampfturbinen				
Hersteller	Gegendruckturbine, Kondensationsturbine, Entnahmeturbine	Nennleistung [MW]	Generator- oder mechanische Antriebsturbine	Baujahr
Elin	Kondensationsturbine 2 Anzapfungen	6,3	Generatorantrieb	1966
AEG	Gegendruckturbine 1 Anzapfung	9,2	Generatorantrieb	1972
BBC	Gegendruckturbine 2 Anzapfungen	28	Generatorantrieb	1983
General Turbo	Gegendruckturbine 2 Anzapfungen	34	Generatorantrieb	2019
Siemens	Kondensationsturbine	5	Generatorantrieb	2009

Tabelle 24: Daten der Dampfturbinen im Betrieb von Mondi Frantschach GmbH

Norske Skog Bruck GmbH

Das Unternehmen Norske Skog Bruck GmbH beschäftigt zurzeit etwa 410 MitarbeiterInnen und bietet eine jährliche Produktionskapazität von 400000 Tonnen an. Zu den herstellenden Produkten gehören Zeitungspapier und Magazinpapier von höchster Qualität.

Die Fabrik Norske Skog Bruck GmbH ist seit 1996 Teil einer der weltgrößten norwegischen Papiererzeuger Norske Skog.

Im Betrieb besitzt Norske Skog Bruck GmbH am Standort Bruck an der Mur eine Gasturbine und eine Dampfturbine (Tabellen 25 und 26).

Gasturbine					
Hersteller	Type	Nennleistung [MW]	Generator- oder mechanische Antriebsturbine	Baujahr	Standort
General Electric	Frame 6B	42	Generatorantrieb	1993	Bruck an der Mur

Tabelle 25: Daten der Gasturbine im Betrieb von Norske Skog Bruck GmbH

Dampfturbine				
Hersteller	Gegendruckturbine, Kondensationsturbine, Entnahmeturbine	Nennleistung [MW]	Baujahr	Standort
ABB Nürnberg (heute Siemens)	Entnahme- Kondensationsturbine	19	1993	Bruck an der Mur

Tabelle 26: Daten der Dampfturbine im Betrieb von Norske Skog Bruck GmbH

OMV

OMV ist ein integriertes, international tätiges Öl- und Gasunternehmen und gilt somit als eines der größten Industrieunternehmen Österreichs mit Zentrale in Wien. In Österreich betreibt OMV die Raffinerie in Schwechat, die ebenso wie Deutschlands Raffinerie in Burghausen über eine integrierte Petrochemie-Produktion verfügt. Es wird rund die Hälfte des Bedarfs an Mineralölprodukten in Österreich durch Raffinerie Schwechat gedeckt. Im Jahr 2020 deckte die OMV rund 10 % des österreichischen Erdöl- und Erdgasbedarfs ab. [10]

In der Tabelle 27 sind die Gasturbinen samt allen erhaltenen Daten aufgelistet, welche sich im Betrieb von OMV an unterschiedlichen Standorten befinden. Zudem sind auch die erhaltenen Dampfturbineneigenschaften in der Tabelle 28 aufgelistet.

			Gasturbinen			
Bezeichnung	Hersteller	Type	Nennleistung [MW]	Generator- oder mechanische Antriebsturbine	Baujahr	Standort
CX501KB5	Allison	CX501K -B5	3,8	Generatorantrieb	1992	Gasstation Aderklaa
GT -2402A	Solar Turbines	Saturn 20	1,185	Radialverdichter	2011	Gasstation Aderklaa
GT-2402B	Solar Turbines	Saturn 20	1,185	Radialverdichter	2014	Gasstation Aderklaa
G-3420	Solar Turbines	Centaur 40S	3,65	Radialverdichter	2012	Kompressor- station Auersthal
G-3430	Solar Turbines	Centaur 40S	3,65	Radialverdichter	2016	Kompressor- station Auersthal
G-3440	Solar Turbines	Centaur 40S	3,65	Radialverdichter	2013	Kompressor- station Auersthal

G-3450	Solar Turbines	Centaur 40S	3,65	Radialverdichter	2011	Kompressorstation Auersthal
G-3460	Solar Turbines	Centaur 40S	3,65	Radialverdichter	2016	Kompressorstation Auersthal
G-3470	Solar Turbines	Centaur 40S	3,65	Radialverdichter	2014	Kompressorstation Auersthal
C-1C	Solar Turbines	Centaur 40S	3,65	Radialverdichter	2003	Gasspeicher Schönkirchen/Reyersdorf
C-2C	Solar Turbines	Centaur 40S	3,65	Radialverdichter	2017	Gasspeicher Schönkirchen/Reyersdorf
C-3A	Solar Turbines	Mars 90	3,65	Radialverdichter	2014	Gasspeicher Schönkirchen/Reyersdorf
C-3B	Solar Turbines	Mars 90	9,86	Radialverdichter	2016	Gasspeicher Schönkirchen/Reyersdorf
C-3C	Solar Turbines	Centaur 40S	9,86	Radialverdichter	2019	Gasspeicher Schönkirchen/Reyersdorf
C-1	Solar Turbines	Saturn 10	3,65	Radialverdichter	2009	Gasspeicher Tallesbrunn
C-2	Solar Turbines	Saturn 10	0,809	Radialverdichter	2016	Gasspeicher Tallesbrunn
C-3	Solar Turbines	Saturn 10	0,809	Radialverdichter	2018	Gasspeicher Tallesbrunn
C-4	Solar Turbines	Saturn 10	0,809	Radialverdichter	2011	Gasspeicher Tallesbrunn

Tabelle 27: Daten der Gasturbinen im Betrieb von OMV

Dampfturbinen					
TAG-Nummer	Hersteller	Gegendruckturbine, Kondensationsturbine, Entnahmeturbine	Nennleistung [MW]	Baujahr	Standort
PT-1A	Terry Steam	Gegendruckdampfturbine	0,078	1965	Gasstation Aderklaa
PT-1E	Terry Steam	Gegendruckdampfturbine	0,078	1965	Gasstation Aderklaa
PT-1F	Terry Steam	Gegendruckdampfturbine	0,078	1965	Gasstation Aderklaa
PT-201A	Dresser Rand	Gegendruckdampfturbine	1,1	2007	Gasstation Aderklaa
PT-301A	Coppus	Gegendruckdampfturbine	0,2	2007	Gasstation Aderklaa
PT-301B	Coppus	Gegendruckdampfturbine	0,2	2007	Gasstation Aderklaa

Tabelle 28: Daten der Dampfturbinen im Betrieb von OMV

Gas Connect Austria GmbH

Gas Connect Austria GmbH ist an der ersten Stelle für den reibungslosen Betrieb von Erdgastransport zuständig. Als wichtiger Fernleitungsnetzbetreiber mit Sitz in Wien befindet sich Gas Connect Austria GmbH im Eigentum des österreichischen Öl- und Gaskonzerns OMV zu 51 %. Entlang des Pipelinesystems befinden sich insgesamt vier Verdichterstationen an den folgenden Orten: Baumgarten, Kirchberg, Rainbach und Neustift/Oberkappel. Für den Erdgastransport betreibt Gas Connect Austria GmbH ein 900 km langes Hochdruckleitungssystem und verfügt über etwa 100 Übergabemesspunkte und 40 Mess- und Übergabestationen.

Wie in der Tabelle 29 zu sehen ist, betreibt Gas Connect Austria GmbH aktuell insgesamt 6 Gasturbinen.

Gasturbinen					
Anzahl der Turbinen	Hersteller	Type	Nennleistung [MW]	Generator- oder mechanische Antriebsturbine	Baujahr
1 x Turbine	Solar Turbines	Titan 130S	15,29	mechanischer Antrieb	2006
2 x Turbinen	MAN Diesel & Turbo	THM 1304	12,5	mechanischer Antrieb	2007
3 x Turbinen	MAN Diesel & Turbo	THM 1304	12,1 (2 Stück) 12,5 (1 Stück)	mechanischer Antrieb	2005 (2 Stück) 2007 (1 Stück)

Tabelle 29: Daten der Gasturbinen im Betrieb von Gas Connect Austria GmbH

Trans Austria Gasleitung GmbH

Trans Austria Gasleitung GmbH (TAG) leistet bei der Erdgasversorgung nicht nur in Österreich sondern auch in Europa einen wesentlichen Beitrag.

Quer durch Österreich auf einer Länge von etwa 380 km erstrecken sich insgesamt 1140 km Hochdruck-Gasleitungen der TAG von der österreichisch-slowakischen Grenze bei Baumgarten bis zur österreichisch-italienischen Grenze bei Arnoldstein. Zu dem Pipelinesystem der TAG gehören drei parallele Leitungen und fünf Verdichterstationen.

Gleicherweise wie Gasleitungen von Gas Connect Austria GmbH dienen die Gasleitungen der TAG nicht nur zur Versorgung für österreichische Verbraucher sondern auch als Transit von Erdgas nach Italien. Eine Versorgung nach Slowenien ist auch über den Abzweig von der Süd-Ost-Leitung (SOL-Pipelinesystem) und Gas Connect Austria GmbH möglich.

Die bestehenden Gasturbinen in den fünf Verdichterstationen Baumgarten, Eggendorf, Grafendorf, Weitendorf und Ruden bringen eine gesamte installierte Energieleistung von etwa 480 MW und ermöglichen somit den Erdgastransport durch die Pipeline. Diese Turbinen sind näher in den Tabellen 30 und 31 erläutert.

Gasturbinen					
Hersteller	Type	Nennleistung [MW]	Generator- oder mechanische Antriebsturbine	Baujahr	Standort
Nuovo Pignone	PGT25 DLE	23,577	Mechanischer Antrieb	1987/2006	Baumgarten
Nuovo Pignone	PGT25 DLE	23,27	Mechanischer Antrieb	1996	Baumgarten
Nuovo Pignone	PGT25 DLE	23,27	Mechanischer Antrieb	2002	Baumgarten
Nuovo Pignone	PGT25 DLE	23,27	Mechanischer Antrieb	2012	Baumgarten
Nuovo Pignone	PGT25 DLE	23,577	Mechanischer Antrieb	2008	Eggendorf
Nuovo Pignone	PGT25 DLE	23,577	Mechanischer Antrieb	2008	Eggendorf
Nuovo Pignone	PGT25 DLE	23,577	Mechanischer Antrieb	2008	Eggendorf
Nuovo Pignone	PGT25 DLE	23,27	Mechanischer Antrieb	1996	Grafendorf
Nuovo Pignone	PGT25 DLE	23,27	Mechanischer Antrieb	1997	Grafendorf
Nuovo Pignone	PGT25 DLE	23,27	Mechanischer Antrieb	1997	Grafendorf
Nuovo Pignone	PGT25 DLE	23,577	Mechanischer Antrieb	2009	Weitendorf
Nuovo Pignone	PGT25 DLE	23,577	Mechanischer Antrieb	2009	Weitendorf
Nuovo Pignone	PGT25 DLE	23,577	Mechanischer Antrieb	2009	Weitendorf
Nuovo Pignone	PGT25 DLE	23,27	Mechanischer Antrieb	1997	Ruden
Nuovo Pignone	PGT25 DLE	23,27	Mechanischer Antrieb	1997	Ruden
Nuovo Pignone	PGT25 DLE	23,27	Mechanischer Antrieb	2012	Ruden

Tabelle 30: Daten der Gasturbinen im Betrieb von Trans Austria Gasleitung GmbH

Dampfturbinen				
Hersteller	Type	Frischdampfmomentstrom [t/h]	Generator- oder mechanische Antriebsturbine	Baujahr
TGM Kanis	CT40/54	71	mechanischer Antrieb	2010

Tabelle 31: Daten der Dampfturbine im Betrieb von Trans Austria Gasleitung GmbH

Die Abbildung 42 stellt den Gasleitungsverlauf von TAG Pipelinesetz dar.

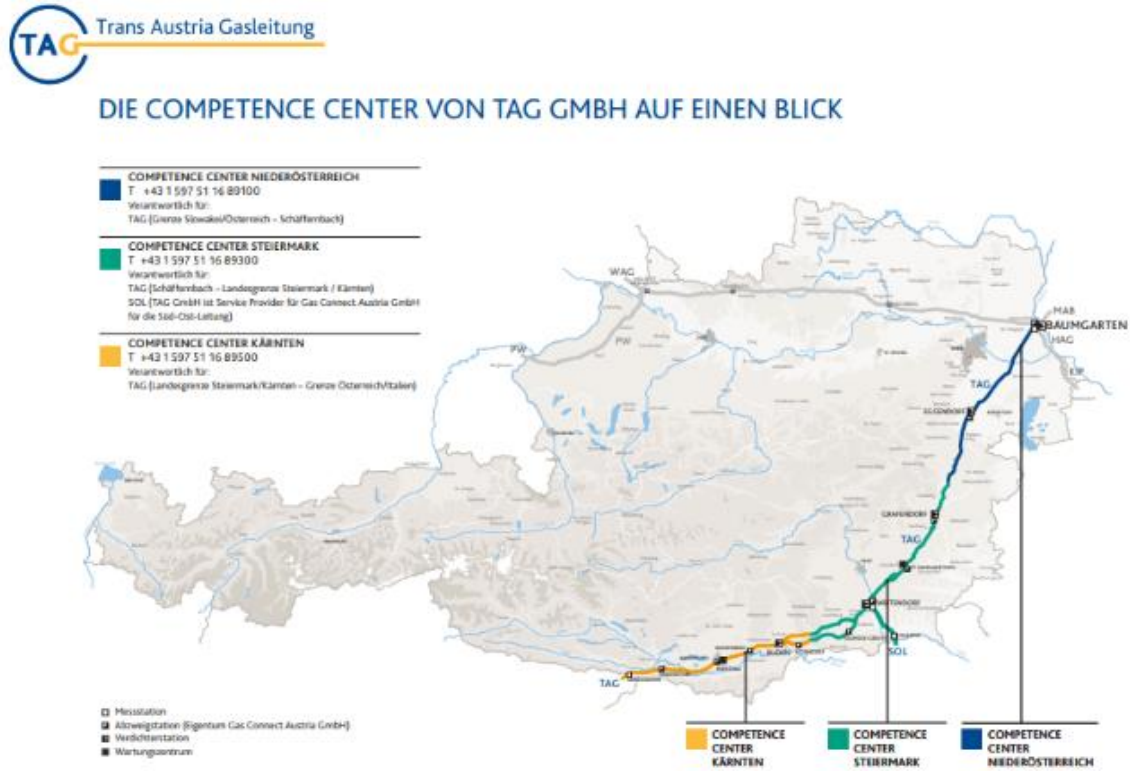


Abbildung 42: TAG Pipelinesetz [12]

6 Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassung

Die vorliegende Diplomarbeit enthält eine Zusammenstellung der Daten von Dampfturbinen und ortsfesten Gasturbinen in Österreich. Dazu wurden in einem ersten Schritt Anwendungsfelder von Gas- und Dampfturbinen ermittelt und eine Liste von 70 potentiellen Betreibern zusammengestellt. Diese potentiellen Betreiber wurden im Zeitraum von Juni 2019 bis Juni 2020 mittels Email kontaktiert. Die erhobenen Daten stellen also eine Momentaufnahme für diesen Zeitraum dar. Von den 70 kontaktierten potentiellen Betreibern erfolgten von 31 Betreibern Rückmeldungen, was einer Quote von 44,3 % entspricht.

Aus den 31 Rückmeldungen kann geschlossen werden, dass 21 Firmen zumindest eine Gas- und/oder Dampfturbine betreiben. Von diesen 21 Firmen haben 14 Firmen Daten Ihrer Maschinen zur Verfügung gestellt, 7 Firmen haben dagegen keine Daten zur Verfügung gestellt. 8 Firmen gaben definitiv an, dass sie keine Gas- und/oder Dampfturbinen betreiben. Weiterhin gab eine Firma an, dass sie international tätig sind und Gas- und/oder Dampfturbinen an Standorten außerhalb Österreichs betreibt. Diese Anlagen bzw. Maschinen wurden in der vorliegenden Arbeit nicht berücksichtigt.

Zusammengefasst ergibt sich aus den Rückmeldungen der potentiellen Betreiber, dass in Österreich aktuell 53 Gasturbinen und 42 Dampfturbinen betrieben werden. Wichtig ist an dieser Stelle anzumerken, dass von den Herstellern genau definierte Gasturbinentypen angeboten werden [22], während bei den Dampfturbinen eine genaue Zuordnung zu einzelnen Typen eher nicht möglich ist. Im Fall der Industriedampfturbinen lassen sich aber trotzdem Baureihen erkennen, die von den einzelnen Herstellern angeboten werden [2]. In der weiteren Zusammenfassung wird auf die Zuordnung der Anlagen bzw. Maschinen zu den einzelnen Anwendungsfeldern näher eingegangen, da daraus anwendungsspezifische Besonderheiten erkennbar sind.

Das Anwendungsfeld der Stromerzeugung lässt sich grob unterteilen in die großen Energieversorgungsunternehmen, die Stadtwerke sowie kleinere dezentrale Energieversorger. Leider gab es bei den großen Energieversorgungsunternehmen, mit Ausnahme von Energie AG Oberösterreich, keine Rückmeldungen oder es wurden keine Daten zur Verfügung gestellt. Das

könnte damit zusammenhängen, dass sich die großen Energieversorgungsunternehmen schrittweise aus der thermischen Energieerzeugung zurückziehen bzw. bereits zurückgezogen haben. Grund dafür ist die aktuell sehr intensiv geführte Klimadiskussion und das mittelfristige Ziel einer CO_2 -freien Energieerzeugung. Bei den Anlagen von Energie AG Oberösterreich und Linz Strom Gas Wärme GmbH handelt es sich um GuD-Anlagen mit Gasturbinen von GE und Dampfturbinen von SIEMENS. Die typischen Leistungen betragen bei den Gasturbinen 80 MW (GE 6FA) bzw. 40 MW (GE 6B) und bei den zugehörigen Dampfturbinen 40 MW bzw. 20 MW. Diese Leistungsaufteilung zwischen Gasturbine und Dampfturbine ist typisch für GuD-Anlagen mit Abhitzeessel ohne Zusatzfeuerung. Daneben werden noch einzelne Gasturbinen GE 6B (40 MW) und Dampfturbinen (9 MW bis 17 MW) betrieben. Im Bereich der dezentralen Biomassenanlagen sowie der Müllverbrennung finden sich mehrere Dampfturbinen im typischen Leistungsbereich von 5 MW bis 12 MW.

Das Anwendungsfeld in der Eisen- und Stahlindustrie wird von der Firma Voestalpine Stahl GmbH dominiert. Es werden sowohl eine Gasturbine GE 6B (40 MW) als auch mehrere Dampfturbinen betrieben, wobei bei den Dampfturbinen eine Nennleistung von etwa 30 MW typisch ist und ausschließlich Maschinen vom Hersteller SIEMENS im Einsatz sind. Die Dampfturbinen werden hauptsächlich für Generatorantrieb, in einigen Fällen aber auch für mechanischen Antrieb eingesetzt.

Im Anwendungsfeld der Zellstoff- und Papierindustrie werden insgesamt 2 Gasturbinen und 16 Dampfturbinen eingesetzt. Bei den Gasturbinen handelt es sich um eine SIEMENS SGT 800 (45 MW) sowie um eine GE 6B (42 MW). Die Leistungen der Dampfturbinen umfassen einen Bereich von etwa 5 MW bis 92 MW, wobei etwa 30 MW typisch sind und alle gängigen Hersteller von Industriedampfturbinen vertreten sind. Sämtliche Maschinen werden ausschließlich für Generatorantrieb eingesetzt.

Das Anwendungsfeld der Öl- und Gasindustrie lässt sich in die Bereiche „Upstream“ (Exploration und Förderung), „Midstream“ (Pipelinetransport) und „Downstream“ (Raffineriebereich) unterteilen. Im Bereich „Upstream“ ist das Unternehmen OMV dominant, das zahlreiche Gasturbinen des Herstellers Solar zum Antrieb von Verdichtern im Leistungsbereich von 1 MW bis 10 MW betreibt. Neben den Gasturbinen werden auch einige Kleindampfturbinen (100 kW bis 1 MW) betrieben. Im Bereich „Midstream“ finden sich die Betreiber Trans Austria Gasleitung GmbH und Gas Connect Austria GmbH. Typisch für die

Erdgasverdichterstationen sind eine große Zahl gleichartiger Gasturbinen. Bei Trans Austria Gasleitung GmbH handelt es sich um die Type Nuovo Pignone PGT25 DLE [23] mit einer Nennleistung von etwa 24 MW. In einer Verdichterstation erfolgt eine Abwärmenutzung mittels Abhitzekeessel und Dampfturbine [24]. Die Gasturbinen von Gas Connect Austria GmbH stammen von Solar und MAN und weisen Nennleistungen von etwa 12 MW bis 15 MW auf. Anzumerken ist, dass der Bereich „Downstream“, der hauptsächlich durch die OMV Raffinerie Schwechat abgedeckt wird, in dieser Arbeit nicht berücksichtigt wurde.

Zusammenfassend zeigt Tabelle 32 eine Reihung der Dampfturbinen nach dem jeweiligen Originalhersteller. Es ist ersichtlich, dass ursprünglich zahlreiche verschiedene Hersteller von Industriedampfturbinen am Markt vertreten waren. In den letzten Jahren erfolgte durch die Übernahme von Firmen bzw. Produktlinien eine Konzentration auf wenige Hersteller, wobei vor allem SIEMENS Energy und MAN Energy Solutions zu nennen sind. Diese Konzentration ist auch aus den Abbildung 43 [25] und 44 [26] ersichtlich. Zu Abbildung 43 ist anzumerken, dass die ehemaligen Dampfturbinen von KKK mittlerweile von der Firma Howden angeboten werden.

Anzahl	Originalhersteller	aktueller Hersteller
13	SIEMENS	SIEMENS Energy (www.siemens-energy.com)
5	MAN Turbo	MAN Energy Solutions (www.man-es.com)
4	AEG - Kanis	SIEMENS Energy
3	TGM Kanis	TGM Kanis (www.tgmkanis.com)
3	Terry Steam	SIEMENS Energy
2	ABB	SIEMENS Energy
2	BBC	SIEMENS Energy
2	Coppus	SIEMENS Energy
1	SIEMENS / KKK	Howden (www.howden.com)
1	B + V Industrietechnik	MAN Energy Solutions
1	Brochier	?
1	Escher Wyss	MAN Energy Solutions
1	SGP	SIEMENS Energy
1	Elin	?
1	General Turbo	General Turbo (www.generalturbo.ro)
1	Dresser Rand	SIEMENS Energy

Tabelle 32: Reihung der Dampfturbinen nach dem Originalhersteller

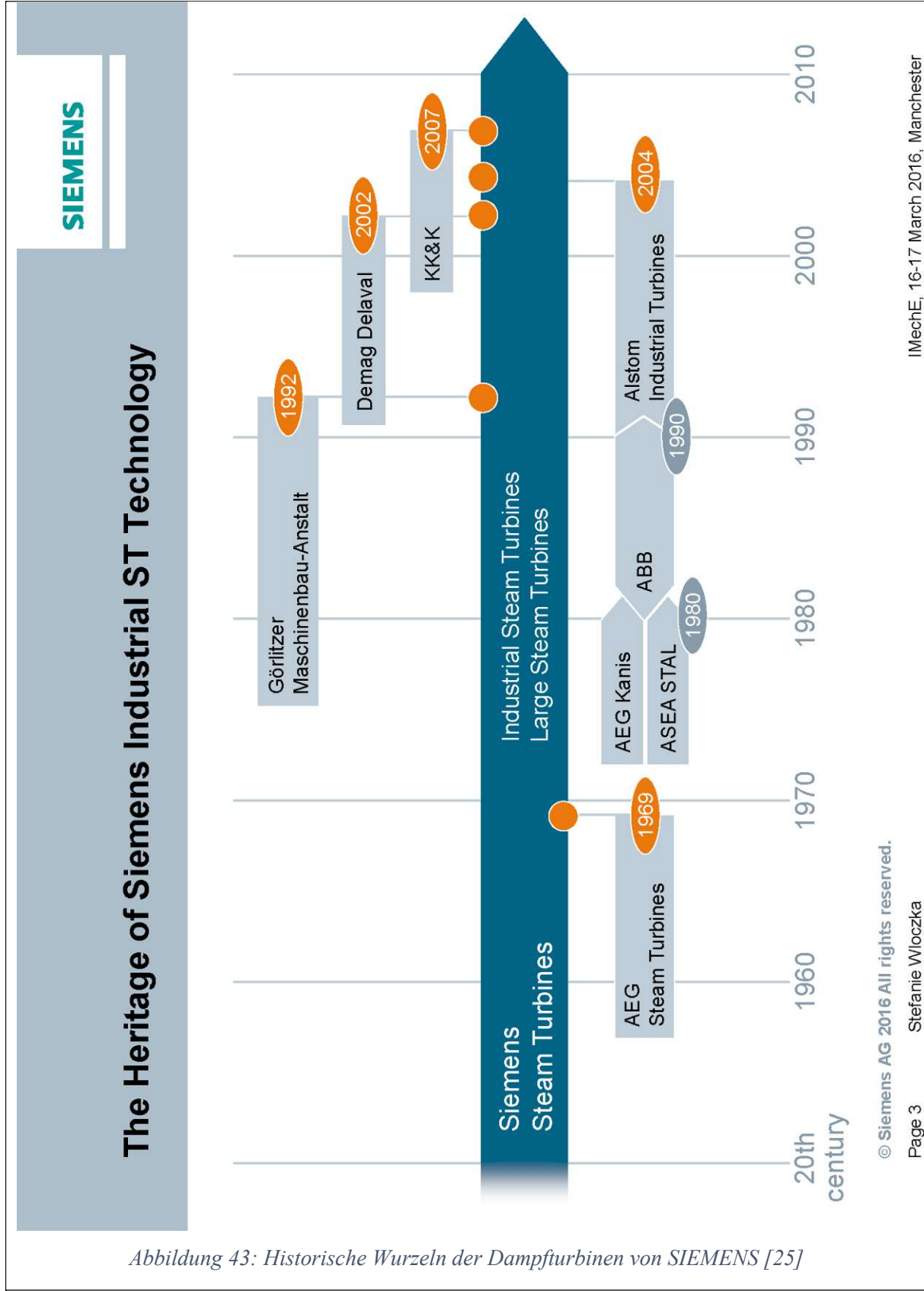


Abbildung 43: Historische Wurzeln der Dampfturbinen von SIEMENS [25]

MAN Diesel & Turbo

Historische Wurzeln

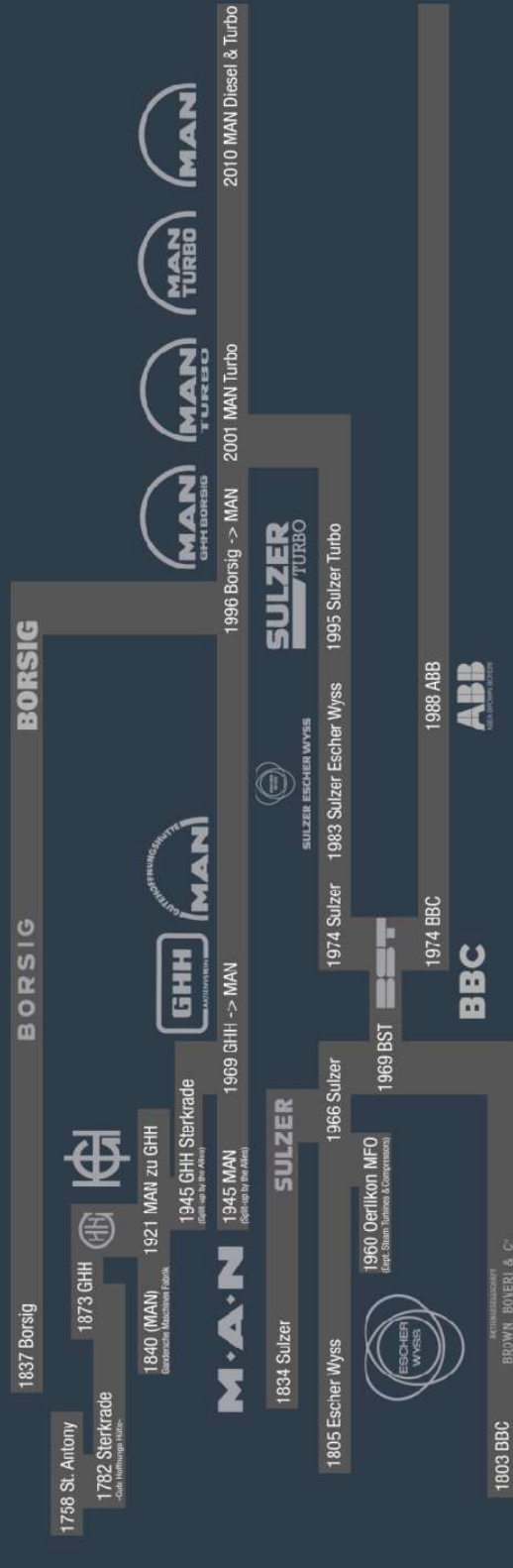


Abbildung 44: Historische Wurzeln der Turbomaschinen von MAN [26]

Ausblick

Wie die Zusammenstellung der Daten zeigt, ist vor allem bei den Dampfturbinen eine große Spannweite bei der Altersstruktur der Maschinen zu erkennen. Während die neuesten Maschinen aus 2017 stammen, sind auch über 50 Jahre alte Dampfturbinen im Einsatz. Infolge dieser langen Einsatzzeiten spielt das Thema Service bei den Industriedampfturbinen eine große Rolle. Es wäre daher von Interesse, mit welchen Firmen (Originalhersteller oder spezielle Serviceanbieter) die Betreiber das Service ihrer Dampfturbine abwickeln. Neben dem eigentlichen Service kommt es bei Industriedampfturbinen auch immer wieder zu Umbauten, motiviert durch Modernisierungen oder Anpassungen an geänderte Prozessanforderungen. Derartige Umbauten können im Einzelfall durchaus umfangreich sein [27]. Es wäre daher von Interesse, welche Umbauten in der Vergangenheit durchgeführt wurden bzw. welche Umbauten geplant sind. Schließlich wäre noch von Interesse, ob bei den im Betrieb befindlichen Gas- und Dampfturbinen eine von den Herstellerfirmen angebotene permanente Ferndiagnose der Maschinen („Remote Diagnostic“) eingesetzt wird oder dessen Einsatz geplant ist.

Literatur

- [1] Lechner C., Seume J.: **Stationäre Gasturbinen**, Springer, 2019
- [2] aus der Wiesche S., Joos F.: **Handbuch Dampfturbinen**, Springer, 2018
- [3] Willinger R.: **Dampfturbinen kleiner Leistung**, Vortrag im Rahmen des Seminars „Optimierte KWK-Systeme“, 21. Mai 2008, Güssing
- [4] **Strom: Der flexible Erzeugungsmix in Österreich**, www.oesterreichenergie.at
- [5] Zahoransky R.: **Energietechnik: Systeme zur Energieumwandlung, Kompaktwissen für Studium und Beruf**, 7. Auflage, Springer, 2015
- [6] Musil L.: **Die Gesamtplanung von Dampfkraftwerken**, zweite neubearbeitete Auflage, Springer, 1948
- [7] **Linz Strom Gas Wärme AG**, www.linzag.at
- [8] **Energie AG Oberösterreich**, www.energieag.at
- [9] **Bioenergiezentrum GmbH**, www.bioenergie-kaernten.at
- [10] **OMV**, www.ovm.at
- [11] **Gas Connect Austria GmbH**, www.gasconnect.at
- [12] **Trans Austria Gasleitung GmbH**, www.taggmbh.at
- [13] **Voestalpine Stahl GmbH**, www.voestalpine.com/group/de
- [14] **Binderholz GmbH**, www.binderholz.com
- [15] **Sappi Austria Produktions-GmbH & Co.KG**, www.sappi.com
- [16] **AustroCel Hallein GmbH**, www.austrocel.com
- [17] **Mondi Group**, www.mondigroup.com
- [18] **Norske Skog Bruck GmbH**, www.norskeskog.at
- [19] **General Electric**, www.ge.com
- [20] **Capstone Turbine**, www.capstoneturbine.com
- [21] **Bundesverband Kraft-Wärme-Kopplung**, www.bkwk.de
- [22] **Gas Turbine World Handbook**, 2021
- [23] Oguz M., Eymirli G.: **Technisch Analyse der GE PGT-25 Gasturbine**, Bachelorarbeit, TU Wien, 2020
- [24] Kulhanek G., Kovacik M.: **Abwärmenutzungsanlagen von Erdgasverdichterstationen zur Stromerzeugung als zukunftsweisende Technik**, 3R International (49), Heft 1, 2010

- [25] Wloczka S.: **The Next Generation of Reliable and Highly Efficient Siemens Industrial Steam Turbines Following a Modularized Enhanced Platform Concept**, Steam Turbine and Steam Generator User Group 2016, March 16 – 17, 2016, Manchester, England
- [26] Frehner D.: **Gasspeicher und Gastransport durch ölfreie Turbokompressorsysteme mit Hochfrequenzmotorantrieben und aktiven Magnetlagern**, Vortrag im Rahmen des Industrieseminars, TU Wien, 28. Jänner 2016
- [27] Romero F.: **Flexibel und Effizient**, Sulzer Technical Review 2/2008, 2008