

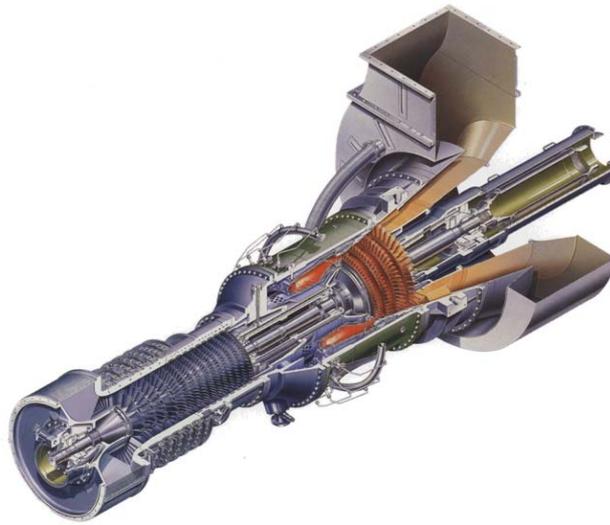
Grundlagen der visuellen Sichtprüfung an Gasturbinen

Thorsten BACHMANN¹

¹ Ing.-Büro DI Thorsten Bachmann, Henstedt-Ulzburg

Kurzfassung

- Der Brayton-Zyklus
- Luftverdichter
- Brennkammer
- Verdichterturbine
- Arbeitsturbine
- Wo ist vorn und hinten
- Fachliche Begriffsbestimmung
- Mögliche Schäden
- Beanspruchung einer Turbinenrotorschaukel
- Ablauf der Sichtprüfung einer Gasturbine



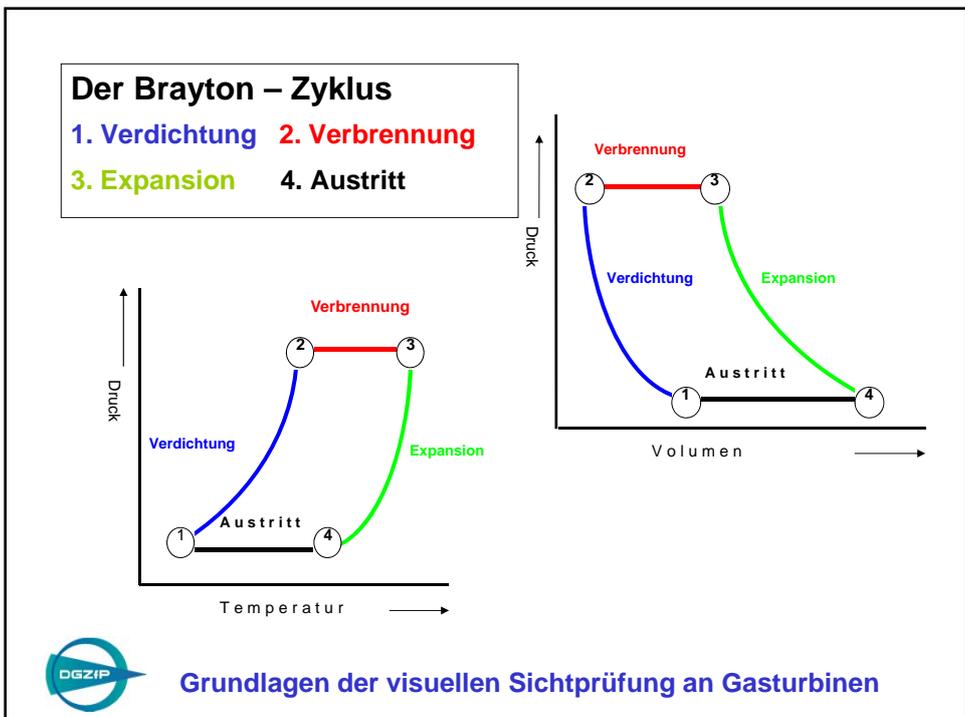
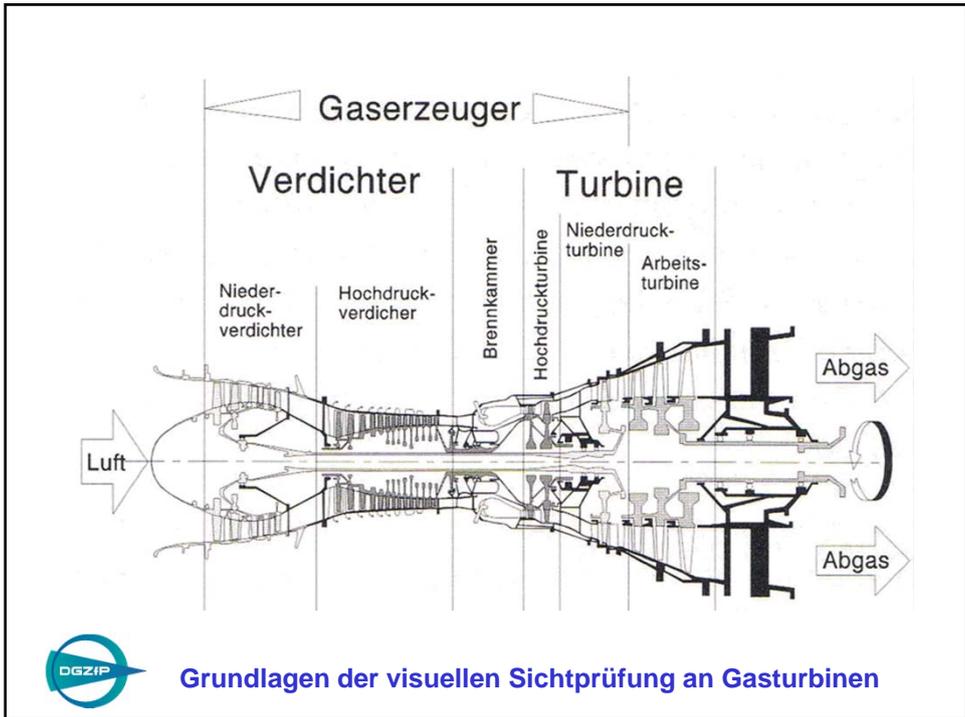
Grundlagen der visuellen Sichtprüfung an Gasturbinen

Grundlagen der visuellen Sichtprüfung an Gasturbinen

- **Der Brayton – Zyklus**
- **Luftverdichter**
- **Brennkammer**
- **Verdichterturbine**
- **Arbeitsturbine**
- **Wo ist vorn und hinten**
- **Fachliche Begriffsbestimmung**
- **Mögliche Schäden**
- **Beanspruchung einer Turbinenrotorschaukel**
- **Ablauf der Sichtprüfung einer Gasturbine**



Grundlagen der visuellen Sichtprüfung an Gasturbinen



Der Brayton – Zyklus **Verdichtung**

Luft wird kontinuierlich angesaugt und von einem mehrstufigen Axialverdichter komprimiert. Die verdichtete Luft strömt in die Brennkammer, wo sie mit dem Brennstoff vermischt wird. Die Gasturbine verbraucht nur etwa ein Viertel der gesamten Luft, die sie für die Verbrennung verdichtet. Die restliche Luft kühlt kritische Heißeile, dichtet die Turbinenlager, wird mit den Verbrennungsgasen vermischt und strömt mit hoher Geschwindigkeit durch den Turbinenbereich, um die Rotationsleistung zu erzeugen.



Grundlagen der visuellen Sichtprüfung an Gasturbinen

Der Brayton – Zyklus **Verbrennung**

Die Verbrennung in der Gasturbine ist ein kontinuierlicher Prozess, der eine Zündung in der Anfahrphase benötigt. In der Brennkammer befindet sich ein Fackelzünder. Der Brennstoff wird sofort von einer Zündkerze gezündet und die sich daraus ergebende hohe Energie der Fackelflamme zündet das Brennstoff-Luftgemisch in der Brennkammer. Die Verbrennung wird vom Steuerungssystem geregelt, der Fackelzünder wird abgeschaltet. Die Verbrennung wird kontinuierlich aufrechterhalten, solange ein ausreichender Fluss des Brennstoff-Luftgemisches in der Brennkammer zur Verfügung steht.



Grundlagen der visuellen Sichtprüfung an Gasturbinen

Der Brayton – Zyklus **Expansion**

Das in der Brennkammer erzeugte Heißgas expandiert, der Druck bleibt relativ konstant, Volumen und Geschwindigkeit erhöhen sich. Das Gas gibt einen großen Teil seiner Wärme-, Geschwindigkeits- und Druckenergie ab und treibt die Rotoren des Gasgenerators und der Arbeitsturbine an. Mechanische Energie wird durch die Kraft des expandierenden Gases auf die Turbinenrotorschaukeln erzeugt. Die Arbeitsturbine erzeugt ein Antriebsmoment an der Rotorwelle, das für den Betrieb der angetriebenen Ausrüstung verwendet wird. Bei Nennlast und Nenndrehzahl werden etwa zwei Drittel der an die Turbinensektion gelieferten Energie vom Gasgenerator verbraucht, um den internen Verdichter der Turbine anzutreiben.



Grundlagen der visuellen Sichtprüfung an Gasturbinen

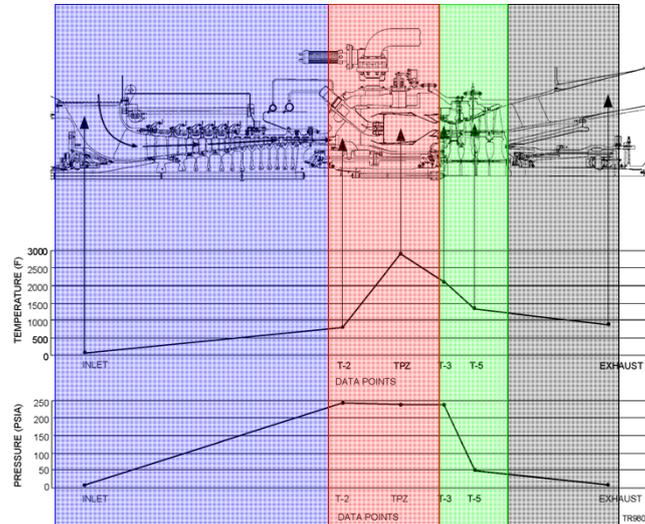
Der Brayton – Zyklus **Austritt**

Der Druck der expandierenden Verbrennungsgase verringert sich durch den Antrieb der Rotoren des Gasgenerators und der Arbeitsturbine, bevor das Gas durch das Abgassystem in die Atmosphäre austritt. Bei manchen Anlagen, werden die heißen Abgase durch eine Abhitzerückgewinnungsanlage geführt, um die restliche thermische Nutzenergie zu entziehen.



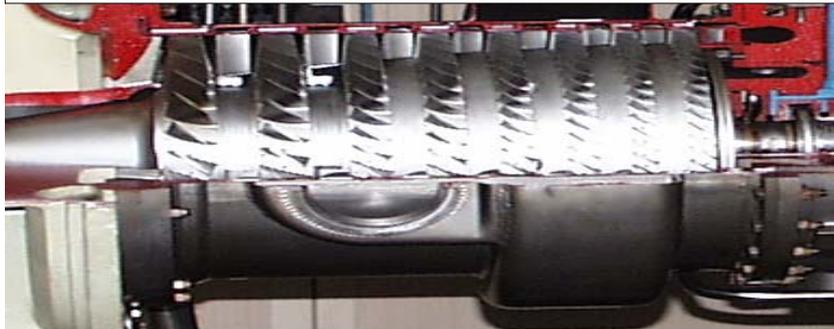
Grundlagen der visuellen Sichtprüfung an Gasturbinen

Der Brayton – Zyklus



Grundlagen der visuellen Sichtprüfung an Gasturbinen

Luftverdichter

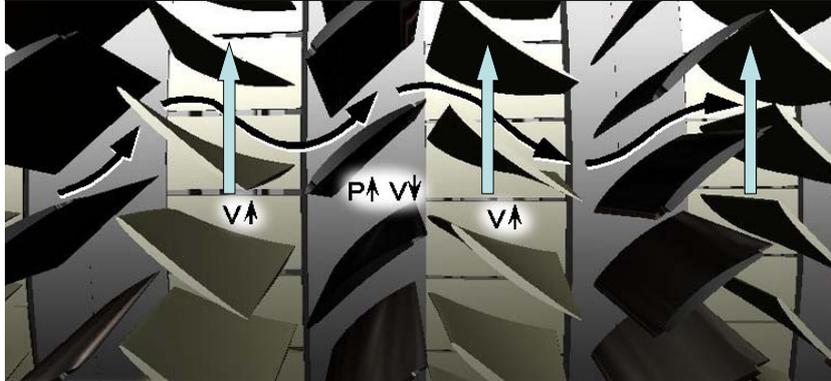


Axial durchströmte Verdichter komprimieren die Arbeitsluft, indem sie sie zuerst beschleunigen, danach verzögern und so eine Druckerhöhung erreichen. Die Arbeitsluft wird in einer Reihe von rotierenden Schaufeln beschleunigt und in einer Reihe von feststehenden Schaufeln verzögert.



Grundlagen der visuellen Sichtprüfung an Gasturbinen

Luftverdichter

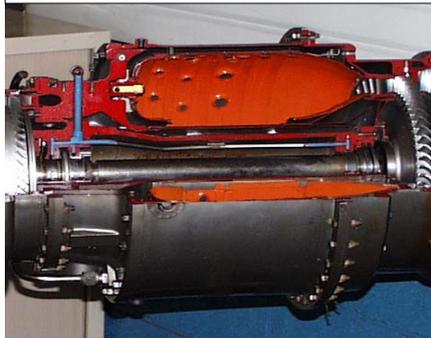


Die Verzögerung in den Leit­schau­fel­n wandelt die Geschwindigkeitserhöhung, die im Rotor erzeugt wird, in einen Druckanstieg um



Grundlagen der visuellen Sichtprüfung an Gasturbinen

Brennkammer



Die Brennkammer nimmt die Luft vom Verdichter auf und gibt sie mit angehobener Temperatur zur Turbine weiter

Die Verbrennungsprodukte werden mit dem verbleibenden Luftanteil gemischt um eine „passende“ Turbineneintrittstemperatur zu erreichen.

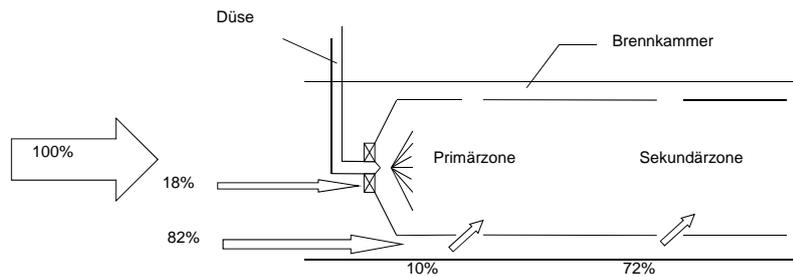
Die Turbineneintrittstemperatur ist abhängig vom erzeugten Druckverhältnis im Verdichter und der Bauweise der Turbine, sie liegen zwischen 650°C und 870°C



Grundlagen der visuellen Sichtprüfung an Gasturbinen

Brennkammer

Die Brennkammer kann als direkt gefeuerter Lufterhitzer betrachtet werden, der den Brennstoff mit weniger als einem Drittel der vom Verdichter gelieferten Luft verbrennt



Grundlagen der visuellen Sichtprüfung an Gasturbinen

Verdichterturbine



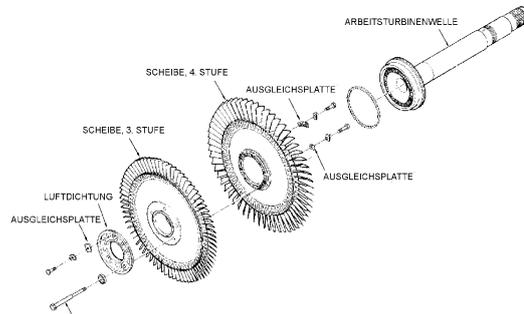
Das Gas- Luftgemisch am Ausgang der Brennkammer besitzt zwei Energieformen, Wärme- und Druckenergie die in mechanische Energie (Rotationsenergie) umgewandelt wird

Die Verdichterturbine verbraucht so viel Energie um den Luftverdichter anzutreiben (ca. 2/3).



Grundlagen der visuellen Sichtprüfung an Gasturbinen

Arbeitsturbine



Bei Einwellengasturbine ist die Arbeitsturbine direkt mit dem Luftverdichter über eine Welle verbunden und laufen mit einer Drehzahl.

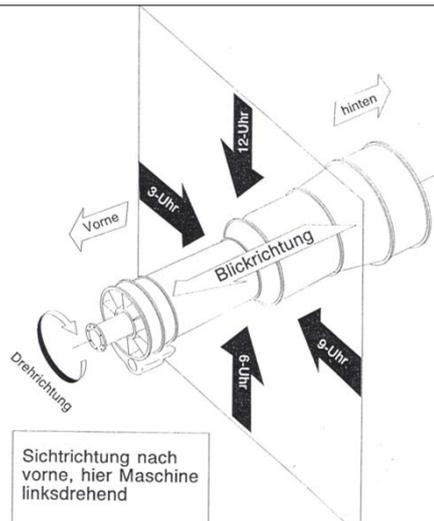
Diese Bauweise wird für den Antrieb von Generatoren verwendet.

Zweiwellengasturbinen haben eine freie Arbeitsturbine, die nicht mechanisch mit dem Luftverdichter verbunden ist. Es besteht eine thermodynamische Verbindung. Diese Bauweise wird hauptsächlich bei Gasverdichter, Lüfter oder Pumpen angewendet.



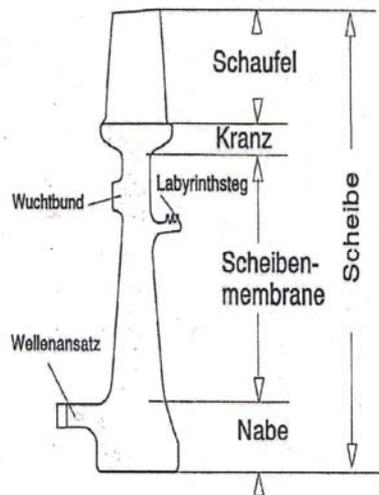
Grundlagen der visuellen Sichtprüfung an Gasturbinen

Wo ist vorn und hinten



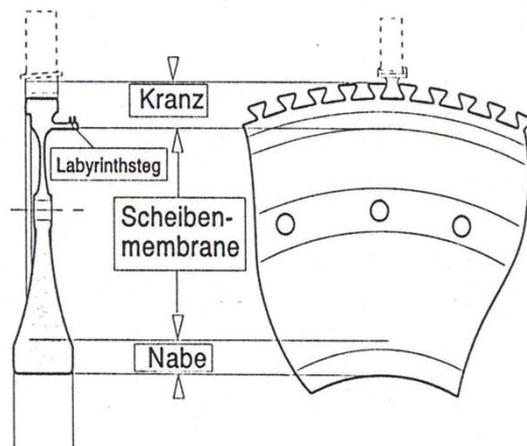
Grundlagen der visuellen Sichtprüfung an Gasturbinen

Fachliche Begriffsbestimmung am Verdichterrotor



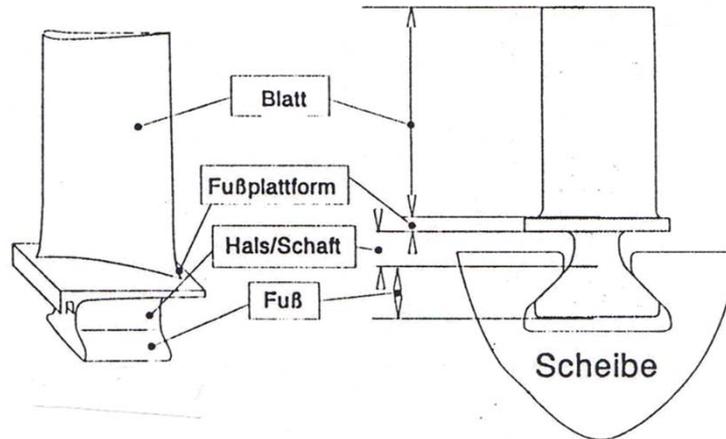
Grundlagen der visuellen Sichtprüfung an Gasturbinen

Fachliche Begriffsbestimmung am Verdichterrotor



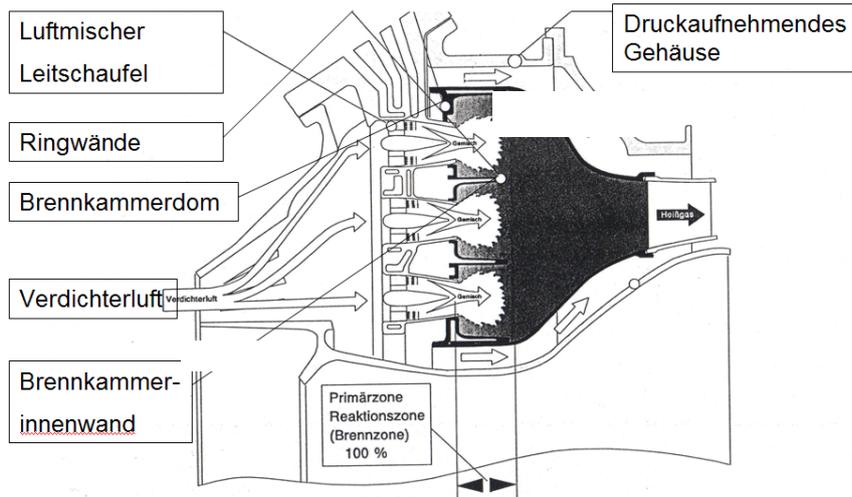
Grundlagen der visuellen Sichtprüfung an Gasturbinen

Fachliche Begriffsbestimmung am Verdichterrotor



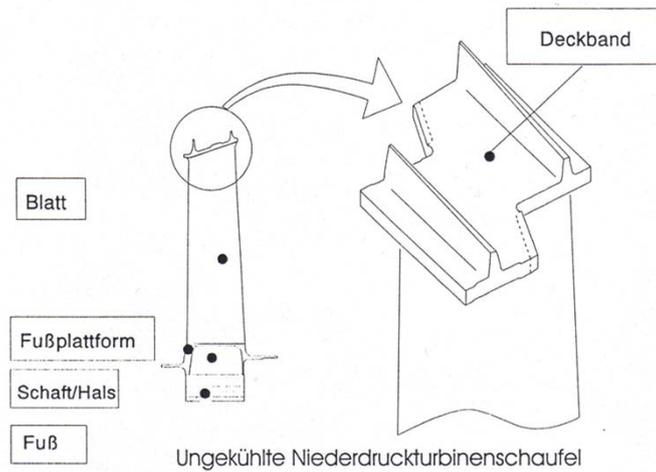
Grundlagen der visuellen Sichtprüfung an Gasturbinen

Fachliche Begriffsbestimmung der Brennkammer



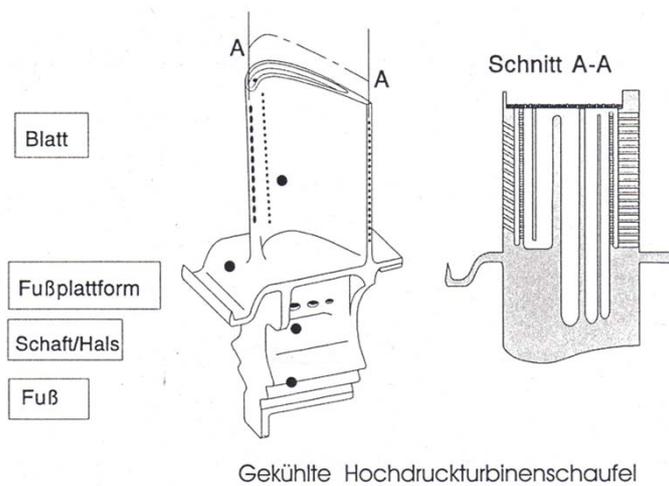
Grundlagen der visuellen Sichtprüfung an Gasturbinen

Fachliche Begriffsbestimmung an der Turbinenschaufel



Grundlagen der visuellen Sichtprüfung an Gasturbinen

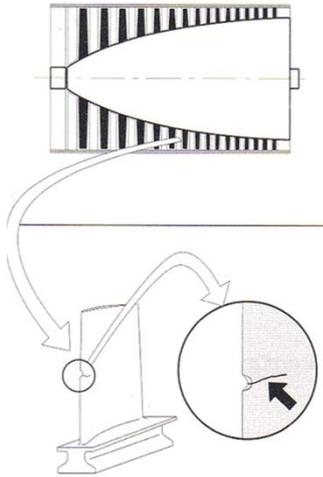
Fachliche Begriffsbestimmung an der Turbinenschaufel



Grundlagen der visuellen Sichtprüfung an Gasturbinen

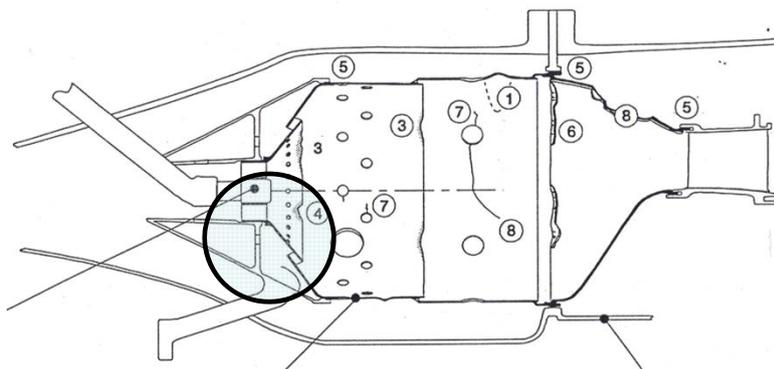
Mögliche Schäden am Axialverdichter

Einkerbung durch FOD
Ermüdungsrisssbildung



Grundlagen der visuellen Sichtprüfung an Gasturbinen

Mögliche Schäden an der Brennkammer

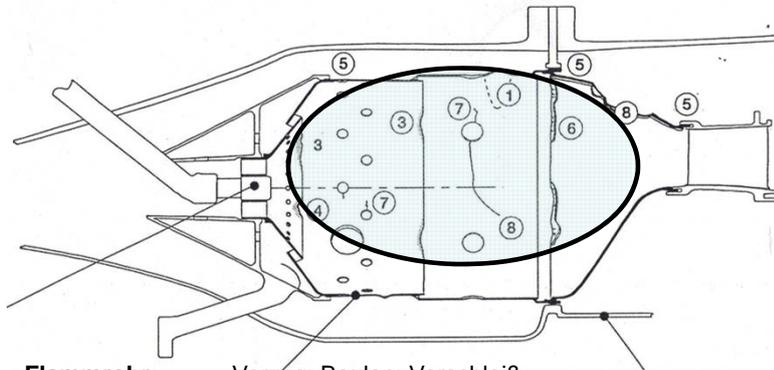


Einspritzdüsen: - Verstopfung innen, Erosion innen
- Verzug; Koksbildung
- Verschleiß außen



Grundlagen der visuellen Sichtprüfung an Gasturbinen

Mögliche Schäden an der Brennkammer

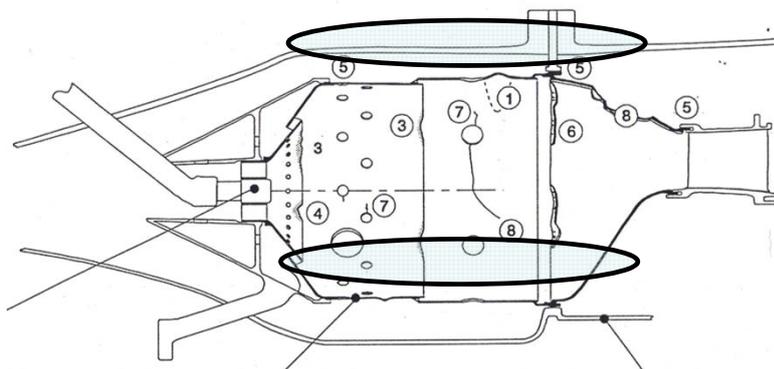


- Flammrohr:**
- Verzug; Beulen; Verschleiß
 - Oxidation; Verbrennung; Schichtabplatzer
 - Rissbildung durch Thermoermüdung
 - Rissbildung durch Schwingungen



Grundlagen der visuellen Sichtprüfung an Gasturbinen

Mögliche Schäden an der Brennkammer

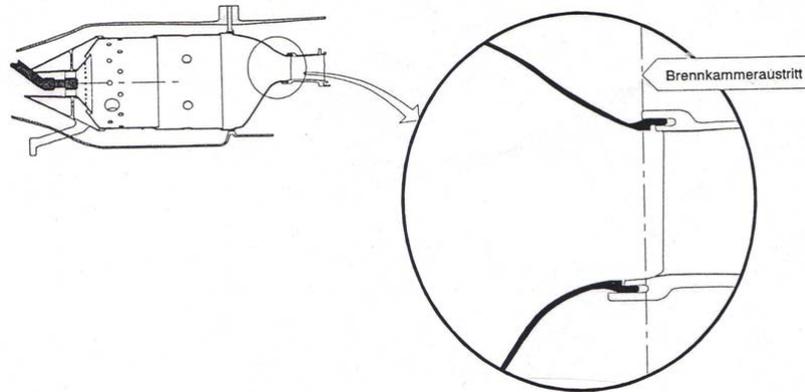


- Gehäuse:**
- Verzug
 - Rissbildung durch Thermoermüdung
 - Rissbildung durch Schwingungen



Grundlagen der visuellen Sichtprüfung an Gasturbinen

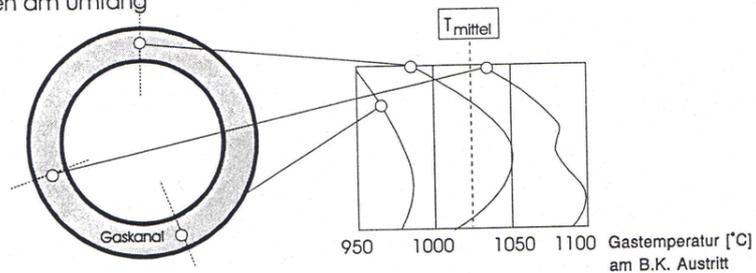
Mögliche Schäden an der Brennkammer



Grundlagen der visuellen Sichtprüfung an Gasturbinen

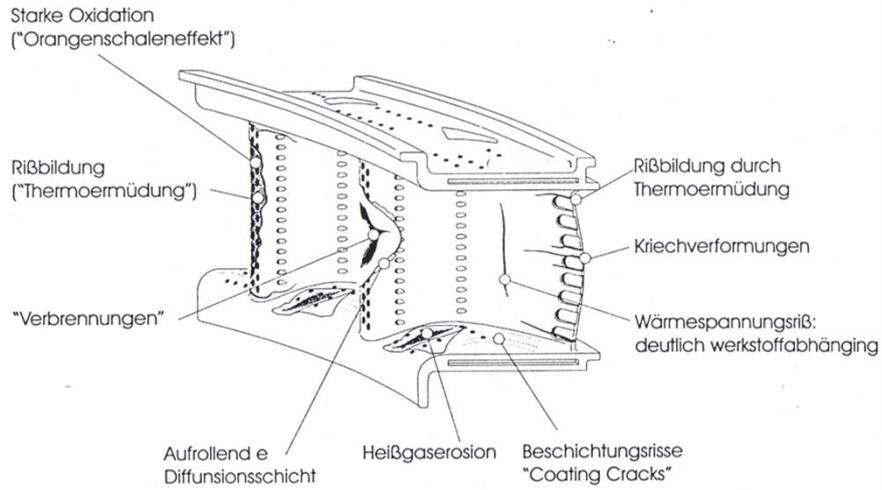
Mögliche Schäden an der Brennkammer

Als Beispiel drei typische Kurven radialer Temperaturverteilungen (RTD) in unterschiedlichen Bereichen am Umfang



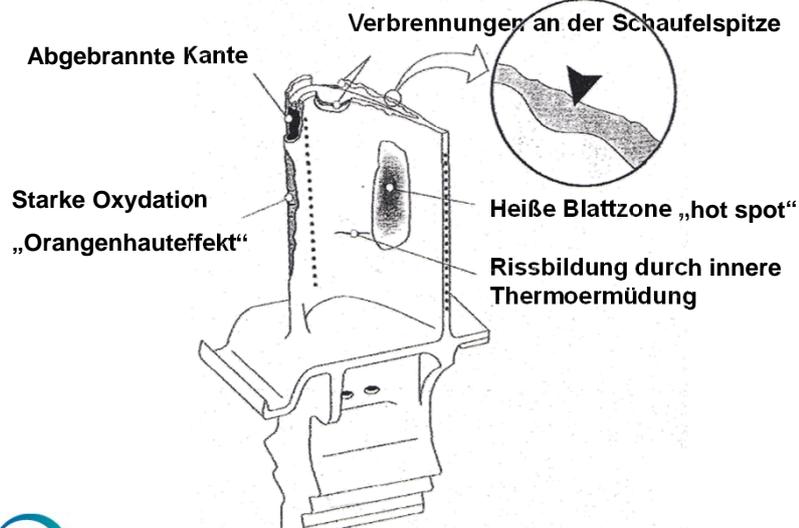
Grundlagen der visuellen Sichtprüfung an Gasturbinen

Mögliche Schäden an der Ersten Turbinenstufe



Grundlagen der visuellen Sichtprüfung an Gasturbinen

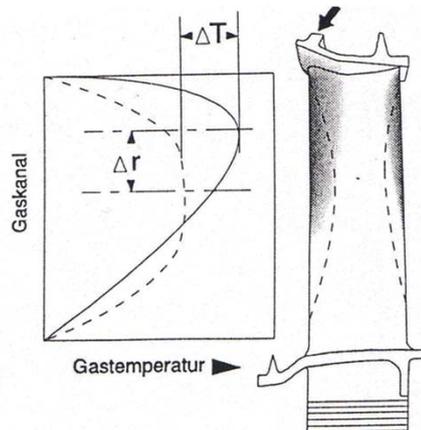
Mögliche Schäden an der Ersten Turbinenstufe



Grundlagen der visuellen Sichtprüfung an Gasturbinen

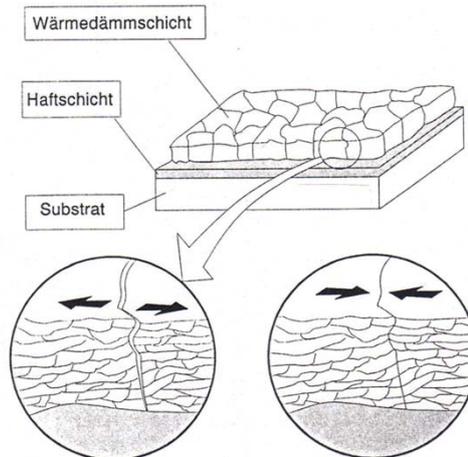
Mögliche Schäden an der Ersten Turbinenstufe

Typische Erscheinungsformen von Schäden an Turbinenrotorschaukeln auf Grund schlechter RTD



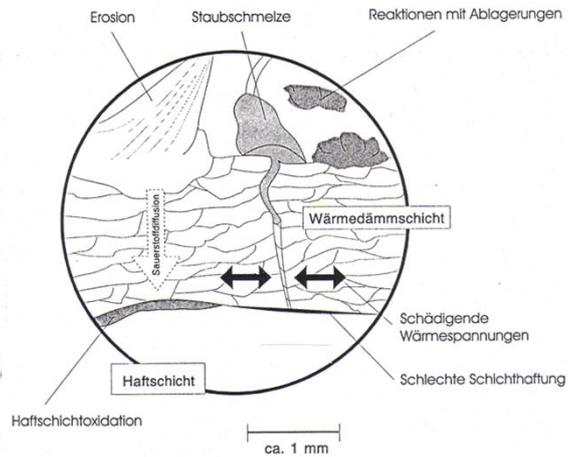
Grundlagen der visuellen Sichtprüfung an Gasturbinen

Mögliche Schäden an der Thermobeschichtung



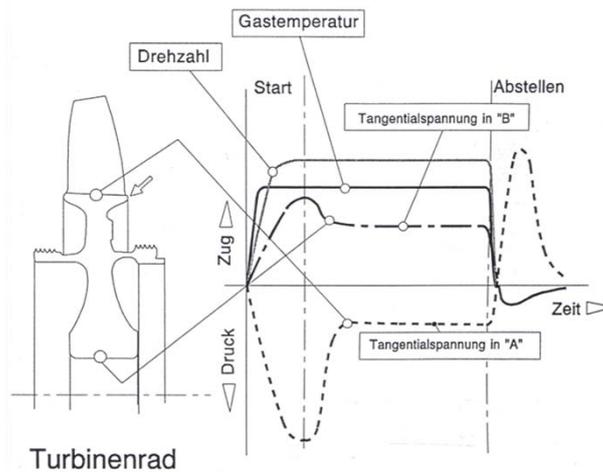
Grundlagen der visuellen Sichtprüfung an Gasturbinen

Mögliche Schäden an der Thermobeschichtung



Grundlagen der visuellen Sichtprüfung an Gasturbinen

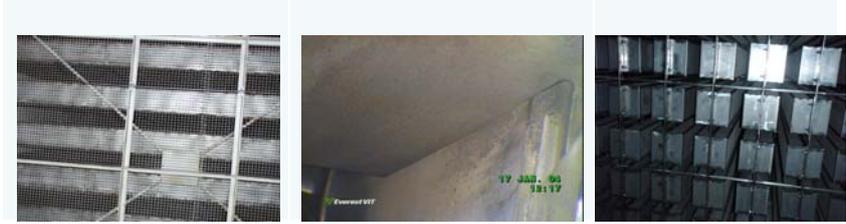
Beanspruchung einer Turbinenrotorschaukel



Grundlagen der visuellen Sichtprüfung an Gasturbinen

Ablauf der Sichtprüfung einer Gasturbine

Bereiche	Hilfsmittel	Prüfmerkmale
1. Filterhaus, Schalldämpfer, Sicherheitsaggregate (Unterdruckklappe, Anstrich, Schutzdrahtgewebe usw.)	<ul style="list-style-type: none"> Ausreichend Beleuchtung Fotoapparat 	<ul style="list-style-type: none"> Schmutz Beschädigungen lose Teile Risse ungefilterte Fremdluft



Grundlagen der visuellen Sichtprüfung an Gasturbinen

Ablauf der Sichtprüfung einer Gasturbine

Bereiche	Hilfsmittel	Prüfmerkmale
2. Axialkompressoreintritt, Kompressorbeschaufelung	<ul style="list-style-type: none"> Starre Endoskope flexible Boreskope Kaltlichtquelle Fotoapparat, Fotoadapter flexibles Videoskope Kaltlichtquelle digitales Speichermedium 	<ul style="list-style-type: none"> Risse, Beulen Korrosion, Erosion Beschichtungen Verschmutzungen Beschädigungen Anstreifspuren, Ausbruch Fremdkörperbeschädigungen, (FOD)



Grundlagen der visuellen Sichtprüfung an Gasturbinen

Ablauf der Sichtprüfung einer Gasturbine

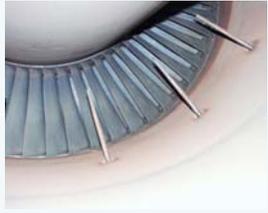
Bereiche	Hilfsmittel	Prüfmerkmale
3. Gasturbine, Kernturbine Heißgaspfad, Beschaufelung, Radialabdichtung, Düsen, Brennkammer Überleitungsstücke	<ul style="list-style-type: none"> • Starre Endoskope • flexible Boreskope • Kaltlichtquelle • Fotoapparat, Fotoadapter • flexibles Videoskope • Kaltlichtquelle • digitales Speichermedium 	<ul style="list-style-type: none"> • Risse, Überhitzungen • Ausbeulungen • Korrosionen, Erosionen • saubere Kühllöcher • Ablagerungen • FOD • Beschichtungen



Grundlagen der visuellen Sichtprüfung an Gasturbinen

Ablauf der Sichtprüfung einer Gasturbine

Bereiche	Hilfsmittel	Prüfmerkmale
4. Turbinenausstritt, Abgaskanal	<ul style="list-style-type: none"> • Ausreichend Beleuchtung • Fotoapparat 	<ul style="list-style-type: none"> • Risse • Ausbruch • Isolation • Stabilität



Grundlagen der visuellen Sichtprüfung an Gasturbinen



nicht jeder Riß
verhindert
die weitere Nutzung



Grundlagen der visuellen Sichtprüfung an Gasturbinen