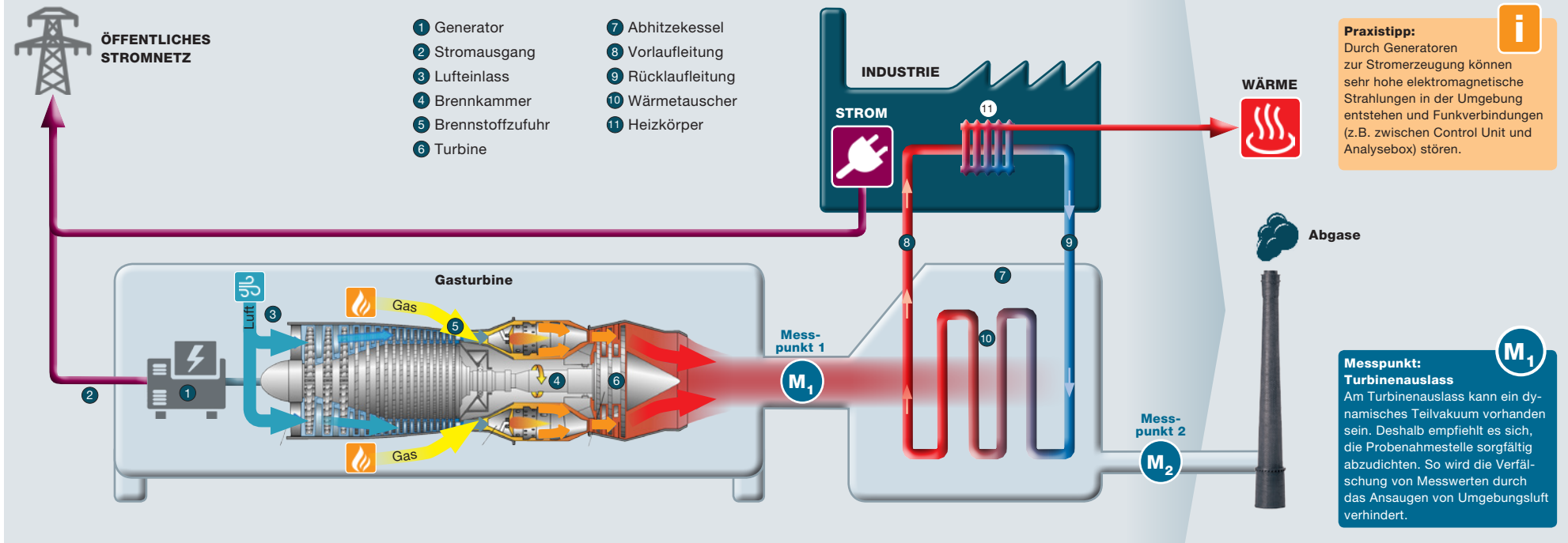


Anwendungsbeschreibung Gasturbine

Skizze & Funktion



Typische Verbrennungsprozesse einer Gasturbine:

I. Verdichter

Der Verdichter saugt Luft an und verdichtet sie. Dabei nimmt die Temperatur der Luft zu. Heute liegen übliche Werte für den Verdichter-Enddruck für Gasturbinen <10 MW unter 20 bar. Der Anlasser der Gasturbine sorgt beim Beginn des Anfahrvorganges für den Antrieb des Verdichters. Zur Regelung der angesaugten Luftmenge verfügt der Verdichter über eine Schaufelverstellereinrichtung, über die die Abstimmung aus den Leitschaufeln und damit der angesaugte Luftmassenstrom variiert werden.

II. Brennkammer

Vom Verdichter strömt die Luft in die Brennkammer. Dort wird Brennstoff zugemischt, der bei annähernd konstantem Druck verbrannt wird. Dabei heizt sich das Abgas auf Temperaturen über +1000 °C auf. Durch die Energiezufuhr in der Brennkammer erhöht sich die Geschwindigkeit des Abgases.

III. Turbine und Generator

In der nachgeschalteten Turbine expandiert das energiereiche, heiße Abgas annähernd auf Umgebungsdruck und verringert dabei seine Geschwindigkeit. Während des Expansionsvorganges gibt das Abgas Leistung an die Turbine ab. Zum Antrieb des Verdichters (Luftansaugung) werden ca. $\frac{2}{3}$ dieser Leistung benötigt, der direkt gekoppelte Generator wandelt die mechanische in elektrische Energie um. Auf der Niederdruckseite steht noch etwa ein $\frac{1}{3}$ der Nutzleistung für eine zweite Welle z.B. zum Antreiben eines Generators bzw. Kompressor- oder Pumpenantriebs zur Verfügung, bevor das heiße Abgas in den Abhitzeessel geleitet wird.

IV. Abhitzeessel

Da das Abgas noch eine hohe Temperatur besitzt (+450 ... +600 °C), kann es zur Dampferzeugung oder in verschiedenen Kraft-Wärme-Kopplungsprozessen zur Steigerung der Brennstoffausnutzung weitergenutzt werden. Nach der Entspannung in der Turbine auf Umgebungsdruck wird das Abgas in die Umgebung geblasen.

V. Abgas

Das abgekühlte Rauchgas verlässt anschließend mit einer Temperatur von jetzt nur mehr ca. +70 °C über einen Schornstein das Heizkraftwerk (HKW).

Anwendungsbeschreibung Gasturbine

Messung

M₁ Messpunkt 1: Kontrolle des Verbrennungsprozesses

Wo wird gemessen?

- Hinter der Turbine

Warum wird gemessen?

- Bestimmung der Turbinenemission
- Optimierung des Turbinen-Verbrennungs-Wirkungsgrads
- Einstellung bei verschiedenen Lastpunkten
- Optimierung auf höchste Effizienz
- Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs

Was wird gemessen?

- O₂ - NO
- CO - NO₂

Typische

Abgaseigenschaften:

- Abgastemperatur: +450 ... +600 °C
- Druck im Abgaskanal: bis zu 25 mbar

Hinweis:

An dieser Entnahmestelle herrscht ein dynamischer Unterdruck → Diese Stelle unbedingt abdichten, da sonst Umgebungsluft angesaugt und gemessen wird.



M₂ Messpunkt 2: Kontrolle der Einhaltung der regionalen Emissionsgrenzwerte

Wo wird gemessen?

- Nach dem Abhitzekeessel

Warum wird gemessen?

- Überwachung der Grenzwerteinhaltung im Abgas
- Abgasmessung bei der Fehlersuche/Diagnose
- Abgasmessung bei regelmäßigen Inspektionen und Wartungen

Was wird gemessen?

- O₂ - NO
- CO - NO₂

Typische

Abgaseigenschaften:

- Abgastemperatur: +70 ... +90 °C
- Druck im Abgaskanal: ±2 mbar

Typische Messwerte

Typische Werte und Grenzwerte einer Gasturbinen-Anlage:

Messgröße	Typische Werte	Grenzwerte
	M₁	M₂
O ₂	15 ... 18 %	15 % (Bezugswert)
NO _x	25 ... 60 ppm	300 ... 350 mg/m ³
CO	0 ... 30 ppm	100 mg/m ³
CO ₂		
Staub		
Gastemperatur	+300 ... +400 °C	+70 ... +90 °C
Gasströmung		
Feuchte		

Vorteile Testo Sensoren und Verdünnungssystem:

- Hohe Messgenauigkeit bei niedrigen Konzentrationen durch präzise CO_{low} und NO_{low}-Sensoren
- Sehr großer Messbereich durch Messbereichserweiterung bis zu Faktor 40 (2x, 5x, 10x, 20x, 40x)
- Automatisches Einschalten der Verdünnungsfunktion schützt vor Überlastung ohne die Messung abubrechen
- Automatischer Sensorschutz verhindert Beschädigung des Sensors bei hohen Konzentrationen
- Keine zusätzlichen „High-Sensoren“ (z.B. NO- und CO-Sensor) nötig → Kostenersparnis
- Messbereich Sensoren:
 - O₂-Sensor, 25 Vol. %
 - NO_{low}-Sensor, 300 ppm, 12.000 ppm*
 - CO_{low}-Sensor, 500 ppm, 20.000 ppm*
 - NO₂-Sensor, 500 ppm

* Messbereichserweiterung für Einzelsteckplatz mit Verdünnungsfaktor 40

Messöffnung



Hinweis:

Bei der Sondenauswahl gilt es zu berücksichtigen, dass die Abgaskanäle große Durchmesser (>1 m) haben können.



Vorteile Abgas-Analysegerät testo 350:

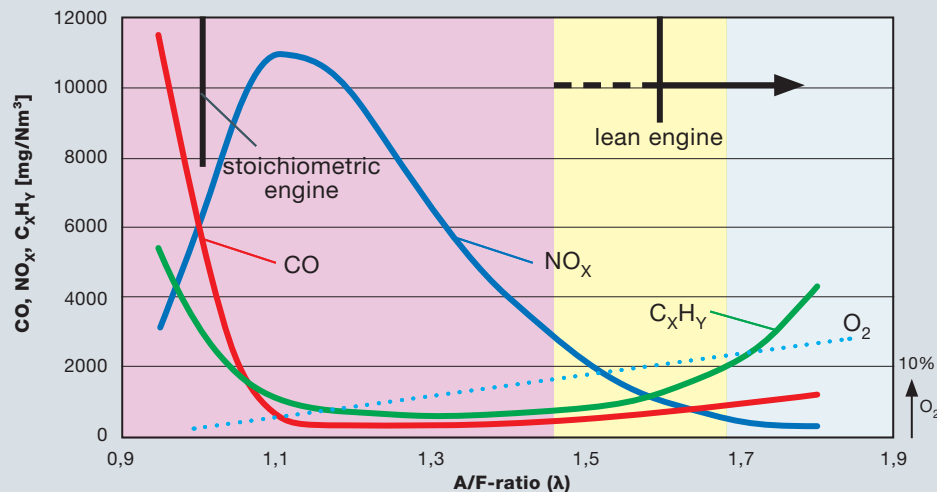
- Messbereit innerhalb 30 Sekunden
- Anwendergeführte Bedienung mit hilfreichen Gerätevoreinstellungen
- Einfacher, präziser Prüfgasabgleich durch den Anwender auch vor Ort möglich
- Geschlossenes, robustes Gehäuse unempfindlich gegen Stöße und Verschmutzungen
- Vorkalibrierte Sensoren können im Feld gewechselt werden und reduzieren dadurch Ausfallzeiten
- Analysebox mit industrietauglichen Anschlüsse und leicht zugänglichen Service-Öffnungen
- Integrierte Gasaufbereitung schützt vor Verdünnung der Messwerte durch Feuchte und vor Auswaschen z.B. von NO₂ durch Kondensat im Abgas



Anwendungsbeschreibung Gasturbine

Theoriewissen 1

Emissionsverhalten von Gasturbinen



Generell gilt:

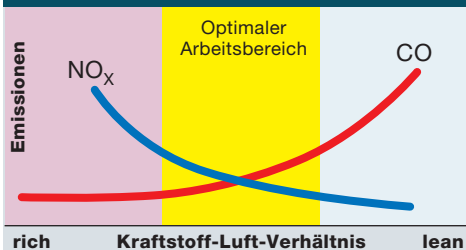
Je nach Verhältnis von Luft zu Kraftstoffanteil verschiebt sich der Betriebspunkt auf der Verbrennungskurve.

NO_x = NO + NO₂

→ NO_x separat messen
= NO + NO₂ Sensor

- Besteht aus Brennstoff NO_x und thermischem NO_x
- NO₂-Anteile können sehr niedrig sein → Gefahr vor Auswaschung sehr hoch (→ Empfehlung Gaskühler)
- Auch NO in einem sehr niedrigen Bereich → NO_{low}-Sensor

Optimaler Arbeitsbereich



NO_x-Emissionen bei Gasturbinen

- Gasturbinen arbeiten mit einer großen Menge an Luftüberschuss.
- Die thermische NO_x-Produktion steigt sehr schnell an, nachdem die stöchiometrische Flammtemperatur erreicht wird.
- Eine Erhöhung des Kraftstoff/Luft-Verhältnisses in Richtung „Mager“ (mehr O₂) verringert sich die thermische NO_x-Bildung, erhöht aber die CO-Emissionen.

Von „rich“ kommend

Eigenschaften:

NO_x (Stickoxide):

Erhöhte Luftzufuhr führt zur Absenkung der Brennkammertemperatur. Der NO_x-Ausstoß wird verringert, da weniger thermisches NO_x entsteht.

C_xH_y oder HC (Kohlenwasserstoff z.B. Methan):

Eine gute Vermischung des Kraftstoff-Luft-Gemischs kann bei gutem Zustand zu sehr niedrigen C_xH_y-Werten führen.

CO (Kohlenmonoxid):

Sauerstoffüberschuss führt im Verbrennungsprozess dazu, dass die CO-Moleküle mit O₂ zu CO₂ reagieren können und somit nur geringe Mengen CO ausgestoßen werden.

Optimaler Arbeitsbereich

Von „lean“ kommend

Eigenschaften:

NO_x (Stickoxide):

Durch die weitere Absenkung der Verbrennungstemperatur fällt der Ausstoß von thermischem NO_x zum größten Teil aus.

C_xH_y oder HC (Kohlenwasserstoff z.B. Methan):

Bei zu hohem Sauerstoffüberschuss wird die Verbrennungstemperatur so weit herabgesetzt, dass die Flammtemperatur nicht mehr ausreicht, um den gesamten Kraftstoff (HC) zu verbrennen → Anstieg C_xH_y-Wert im Abgas.

CO (Kohlenmonoxid):

Eine zu geringe Verbrennungstemperatur führt zu einer nicht vollständigen Oxidation des CO und somit zu einem erneuten Anstieg des CO.

Praxistipp:

Beim Anfahren von Gasturbinen:

Beim Anfahren können hohe CO-Konzentrationen entstehen. In Kombination mit der Verdünnungsfunktion (Messbereichserweiterung) können neben den hohen Genauigkeiten auch die hohen Konzentrationen mit den CO_{low} und NO_{low}-Sensoren gemessen werden.

Optimal eingestellte Gasturbinen:

Bei einer optimal eingestellten Turbine können die CO / NO-Werte sehr niedrig sein (NO_x-Werte <10 ppm). Systeme mit Gasaufbereitung verhindern eine Verdünnung der Messwerte durch Feuchte sowie NO₂-Absorptionen durch Kondensat im Abgas. Somit kann die Performance und die Messgenauigkeit konstant gehalten werden.

Anwendungsbeschreibung Gasturbine

Theoriewissen 2

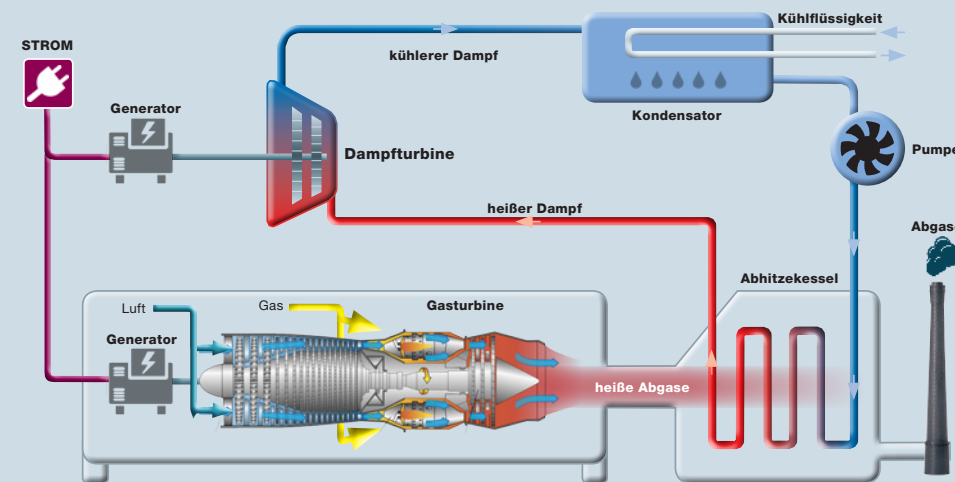
Unterschied Gas- und Dampfturbine

Turbine	Kraftstoff	Temperaturbereich
Gasturbine	Gasförmige und flüssige Kraftstoffe (z.B. Erdgas, Benzin, Propan, Dieselmotorkraftstoff und Kerosin).	Hoher Temperaturbereich von über +1.000 °C während der Verbrennung.
Dampfturbine	Heißer Dampf (meist Wasserdampf), die Hitze kann z. B. von Kernreaktoren, Feuerungen von Kohlebrennern oder Gasturbinen genutzt werden. → Wichtig: Dampfturbinen kommen nur mit dem produzierten Wasserdampf, nicht mit dem eingesetzten Brennstoff in Kontakt.	Niedrigerer Temperaturbereich von ca. +450 ... +600 °C (Abgastemperatur des primären Verbrennungsprozesses erzeugt den benötigten Wasserdampf).

Energieeffizienz steigern durch Kombination aus Gas- und Dampfturbine:

→ Eine hohe elektrische Energieeffizienz erzielt die Kombination einer Gasturbine mit einer Dampfturbine. Bei einem solchen Gas- und Dampf-Kombikraftwerk werden die heißen Abgase des Gasturbinenkraftwerks zur Erhitzung eines Dampfkessels genutzt. Dadurch erhöht sich der Wirkungsgrad erheblich, denn die nachgeschaltete Dampfturbine erreicht in der Regel nochmals die Hälfte der Leistung der Gasturbine.

Prinzip eines Gas- und Dampfturbinen-Kombikraftwerkes



Kombination Messbereichserweiterung und low-Sensoren

Geräteeinstellung:

Verdünnungsfunktion (Faktoren 2, 5, 10, 20, 40) von Sensoren wird applikationsabhängig aktiviert → das testo 350 überprüft automatisch, ob relevante Gas-Sensoren auf dem vorgesehenen Verdünnungssteckplatz (Steckplatz 6) sitzen.



Funktionsweise:

1. Abschaltschwellen für die Sensoren definieren
2. Für Steckplatz 6: Aktivierung Messbereichserweiterung → Verdünnungsfaktor wählen 2, 5, 10, 20, 40
3. Wird der Abschaltschwellwert erreicht, wird das Messgas für den auf Steckplatz 6 befindlichen Sensor automatisch mit Umgebungsluft (andere Möglichkeit: Stickstoffgas) kontrolliert verdünnt. → Über Pumpe und Ventil auf der Basis der Pulsweitenmodulation wird das Verdünnungsgas über den separaten Verdünnungslufteingang angezogen. → Zum Schutz der Gaswege vor Staub ist ein Schutzfilter vorgeschaltet.
4. Wird die Abschaltschwelle trotz Verdünnung erneut erreicht, schaltet sich automatisch der Sensorschutz ein, um die Sensoren vor Zerstörung zu schützen.

Rechenbeispiel: x40

Exposition Sensor und Geräteanzeige im Vergleich	Messbereich CO _{low} -Sensor	Messbereich CO _{low} -Sensor mit Verdünnungsfaktor 40*	Sensorschutz: Messbereich CO _{low} -Sensor mit Verdünnung 40**
Geräte-Anzeige	500 ppm	10.000 ppm	20.000 ppm
CO_{low}-Sensor	500 ppm	250 ppm	500 ppm → Sensorschutz durch Frischluftspülung bei Überschreitung von 20.000 ppm

*Zusätzlich Messunsicherheit bei der Nutzung der Einzelplatzverdünnung 2 % v. MW.

**Messbereich CO_{low}-Sensor: 20.000 ppm

Praxistipp:

- Bei Störgasen in der Umgebungsluft den Schlauch auf Verdünnungseingang stecken und in saubere Atmosphäre bringen*.
- Bei Verwendung von Gas aus Gasflaschen (z.B. Stickstoff) auf max. Druck von 30 hPa achten.
- Durch die Verdünnung verändert sich auch die Auflösung der Messwertanzeige.
Beispiel: Ohne Verdünnung Auflösung 1 ppm, mit Faktor 10 Auflösung 10 ppm.

* Einschränkungen hinsichtlich Durchmesser und Länge beachten.