

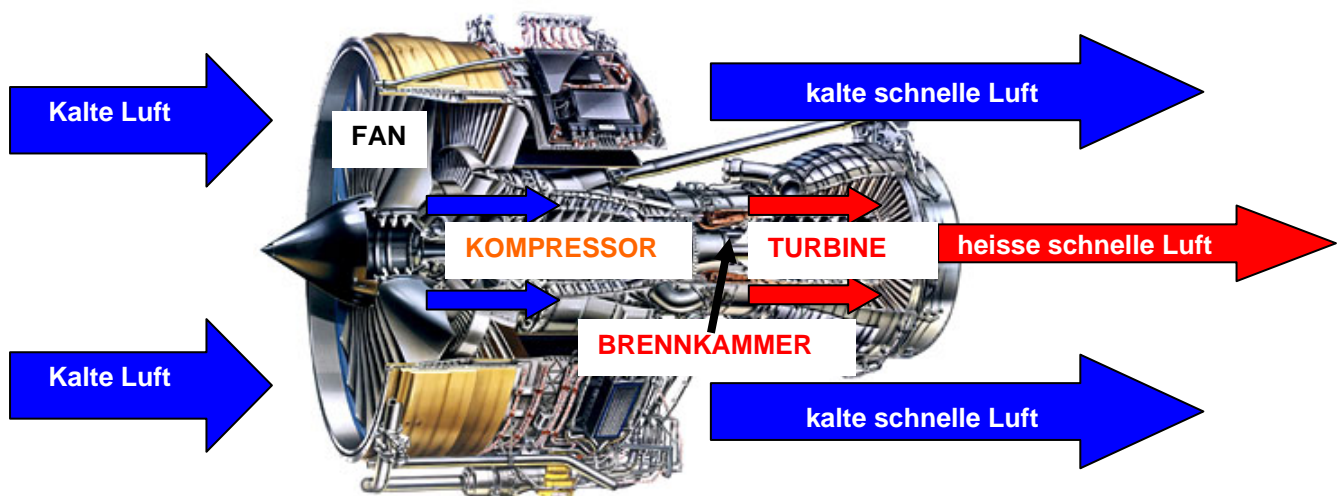


# Was bei Triebwerken «hinten herauskommt»

## Wie funktioniert ein Triebwerk?

Um Schub zu erzeugen, benutzt ein Triebwerk wie die meisten heute eingesetzten Verbrennungsmotoren einen Treibstoff, welcher aus Kohlenwasserstoffen (in diesem Fall Kerosin) und Sauerstoff aus der Luft besteht. Durch die Verbrennung des Kerosins entsteht Hitze, die im Triebwerk zum schnellen Ausstossen von Luft dient und so ein Flugzeug vorantreibt. Die Vorgänge laufen im Einzelnen wie folgt ab:

Der Fan (Lüfter) saugt Umgebungsluft an. Ein Teil der Luft gelangt dann in den Kompressor. Dieser presst die Luft zusammen. Die unter hohem Druck stehende Luft fliesst anschliessend in die Brennkammer, wo der Treibstoff dazugemischt und kontinuierlich verbrannt wird. Die Temperatur der Luft steigt dadurch stark an. Die Luft dehnt sich aus und strömt mit hoher Geschwindigkeit durch die Turbine. Sie treibt dadurch die Turbine an und entweicht danach durch die Austrittsdüse. Die Turbine ihrerseits treibt den Kompressor und den Fan an. Der Fan beschleunigt grosse Mengen an Umgebungsluft nach hinten. Wie im Bild unten zu sehen ist, gelangt der weitaus grösste Teil der vom Fan angesaugten Luft gar nicht in den Verbrennungsprozess, sondern umströmt den Triebwerkskern.



## Verbrennung mit hoher Qualität

Im Unterschied zu einem Kolbenmotor eines Autos oder Lastwagens verbrennt ein Triebwerk den Treibstoff nicht in unterbrochenen Arbeitstakten, sondern mit andauernd und gleichmässig brennender Flamme. Dies ergibt grundsätzlich eine sehr hohe Qualität der Verbrennung, die am ehesten vergleichbar ist mit einem modernen Öl- oder Gasbrenner einer Hausheizung.

## Abluft enthält kleinen Anteil Schadstoffe

Wegen der sehr guten Verbrennung des Kerosins bestehen die Abgase zu fast 100 Prozent aus heisser Luft<sup>1</sup>. Darin enthalten sind die ungiftigen, aber direkt klimawirksamen Gase Kohlendioxid CO<sub>2</sub> (7 Prozent) und Wasserdampf (3 Prozent), die bei der Verbrennung der Kohlenwasserstoffe entstehen.

<sup>1</sup> Die Prozentangaben in diesem Text beziehen sich immer auf das Abgasvolumen der Turbine.



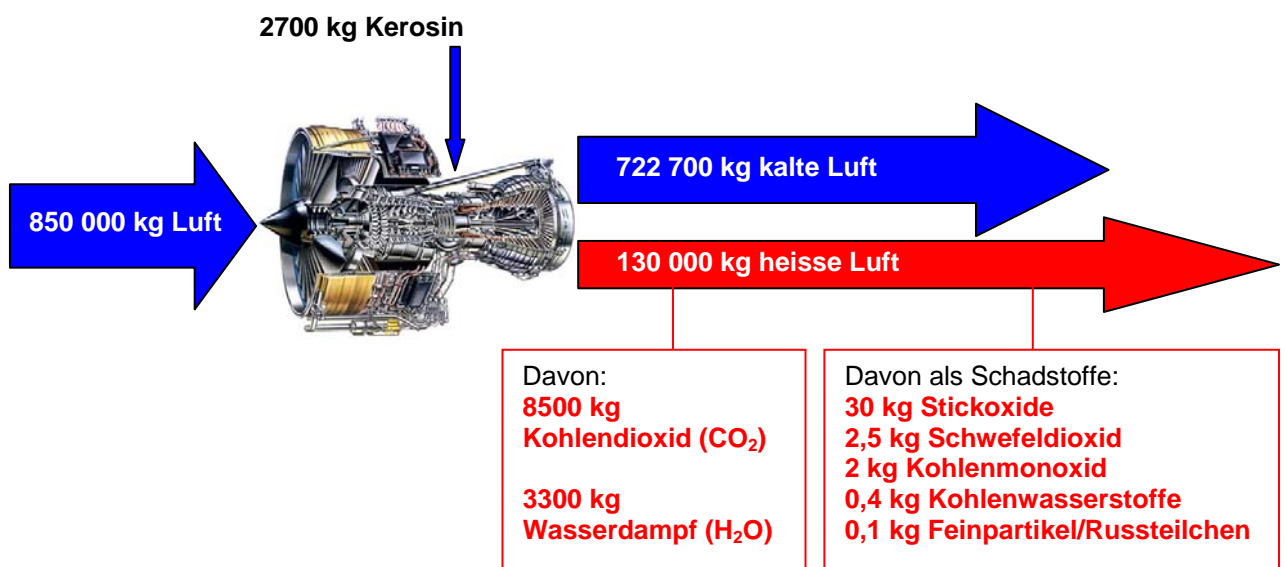
- Die Abluft besteht praktisch zu 100 Prozent aus heisser Luft.
- Darin enthalten sind die ungiftigen und klimawirksamen Gase Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) und Wasserdampf (H<sub>2</sub>O).
- Pro kg Treibstoff entstehen ungefähr 3,15 kg CO<sub>2</sub> und 1,23 kg Wasserdampf. Durch den Einbezug von viel Luft in den Verbrennungsprozess liegen die Werte für CO<sub>2</sub> und Wasserdampf höher als die verwendete Menge Treibstoff. Ähnliche Verhältnisse zwischen Treibstoffen und den Gasen in der Abluft weisen auch Diesel- und Automotoren auf<sup>2</sup>.

Die eigentlichen toxischen Schadstoffe machen rund 0,04 Prozent der Abgase aus. Dabei handelt es sich um Stoffe, welche auch Autos und Heizungen ausstossen. Beim Triebwerk gibt es jedoch praktisch keine unvollständig verbrannten Teile aus dem Kerosin im Abgas. Die Schadstoffe bestehen vor allem aus Stickoxiden (NO<sub>x</sub>). Der Ausstoss von Stickoxiden ist normalerweise dann hoch, wenn der Motor den Treibstoff energetisch optimal verbrennt. Dies hängt damit zusammen, dass Stickoxide kein Produkt aus dem Treibstoff sind, sondern aus den Hauptbestandteilen der Luft stammen. Der Luftstickstoff (N) reagiert im Brennraum bei sehr hohen Temperaturen und hohen chemischen Reaktionsgeschwindigkeiten mit dem Luftsauerstoff (O). Dies ist normalerweise dann der Fall, wenn ein Motor besonders effizient läuft und für einen bestimmten Schub weniger Treibstoff verbraucht bzw. weniger CO<sub>2</sub> ausstösst.

Weiter enthalten die Abgase noch einen kleinen Anteil Kohlenmonoxid, Schwefeldioxid, unverbrannte Kohlenwasserstoffe und eine vergleichsweise geringe Menge Feinstaubpartikel. Zu erwähnen ist noch, dass ein Triebwerk im Allgemeinen weniger Methan ausstösst, als in der Ansaugluft aus der Umgebung enthalten ist, das heisst, es wandelt stark klimawirksames Methan in CO<sub>2</sub> und Wasserdampf um.

## Was stösst ein Flugzeug während einer Flugstunde aus?

Das folgende Beispiel zeigt den ungefähren Ausstoss an Gasen und Partikeln in Kilogramm für ein 150-sitziges Reiseflugzeug (Stand der Technologie von 1995) mit zwei Triebwerken während einer Flugstunde. Die Zahlen beziehen sich auf das ganze Flugzeug, umfassen also **beide Triebwerke**.



Der Treibstoffbedarf heutiger Passagierflugzeuge liegt rund 70% tiefer als vor 30 Jahren. Für Neuflugzeuge, welche ab 2010 ausgeliefert werden (Technologiestand 2007) kann heute davon ausgegangen werden, dass der Treibstoffbedarf rund 15% tiefer liegen wird, als bei aktuell erhältlichen Fluggeräten.

<sup>2</sup> Bei der Verbrennung von 1 kg Diesel in einem Dieselmotor entsteht praktisch die gleiche Menge CO<sub>2</sub> und Wasserdampf, wie beim Triebwerk. Auch die Verbrennung von 1 kg Autobenzin in Automotoren produziert ungefähr 3,17 kg CO<sub>2</sub> und 1,21 kg Wasserdampf.