

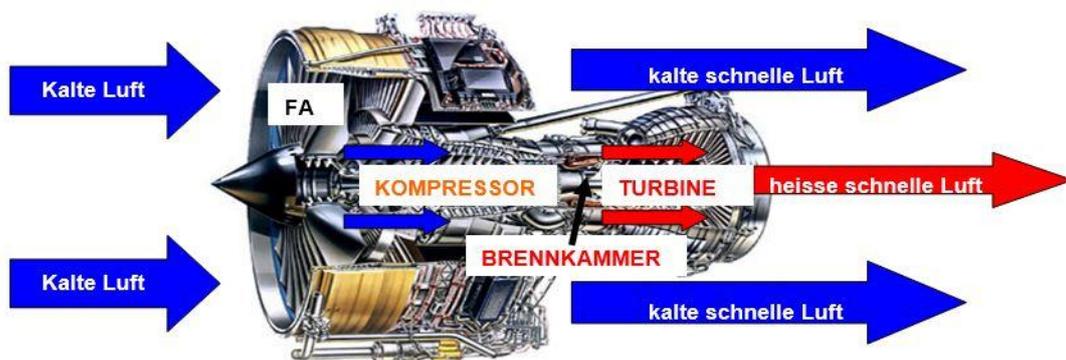


Was bei Triebwerken hinten herauskommt

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 dazu gemischt 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 Luft¹. Darin enthalten sind die ungiftigen, aber direkt klimawirksamen Gase Kohlendioxid CO₂ (7 Prozent) und Wasserdampf (3 Prozent), die bei der Verbrennung der Kohlenwasserstoffe entstehen.

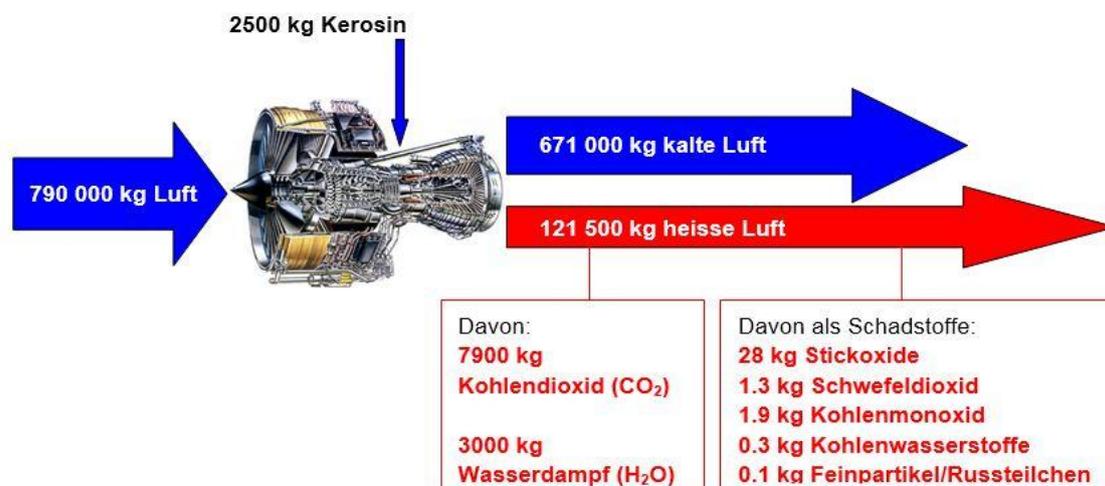
- **Die Abluft besteht praktisch zu 100 Prozent aus heisser Luft.**
- **Darin enthalten sind die ungiftigen und klimawirksamen Gase Kohlendioxid (CO₂) und Wasserdampf (H₂O).**
- **Pro Kilogramm Treibstoff entstehen ungefähr 3,15 kg CO₂ und 1,23 kg Wasserdampf. Ähnliche Verhältnisse zwischen Treibstoffen Gasen in der Abluft weisen auch Diesel- und Automotoren auf².**

Die eigentlichen toxischen Schadstoffe machen nur 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_x). Der Ausstoss von Stickoxiden ist normalerweise dann hoch, wenn der Motor den Treibstoff energetisch optimal, bei sehr hohen Temperaturen 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 möglichst wenig Treibstoff verbrauchen soll.

Weiter enthalten die Abgase etwas Kohlenmonoxid, Schwefeldioxid, unverbrannte Kohlenwasserstoffe und Feinstaub. Der Feinstaub besteht am Triebwerksauspuff vor allem aus ultrafeinen Russpartikeln. Zu erwähnen ist, dass ein Triebwerk im Allgemeinen weniger Methan ausstösst, als in der Ansaugluft aus der Umgebung enthalten ist, das heisst, es wandelt kleine Mengen des stark klimawirksamen Methans in CO₂ 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 Reiseflugzeug mit 150 Sitzen mit zwei Triebwerken während einer Flugstunde (Stand der Technologie 2000). Die Zahlenwerte beziehen sich auf das ganze Flugzeug, umfassen also beide Triebwerke.



¹ Die Prozentangaben in diesem Text beziehen sich immer auf das Abgasvolumen der Turbine.

² Auch die Verbrennung von 1 kg Autobenzin (1.4 Liter) oder 1kg Diesel (1.25 Liter) in Automotoren produziert ungefähr 3,15 kg CO₂ und 1,23 kg Wasserdampf (BAFU 2014).

Der Treibstoffbedarf heutiger Passagierflugzeuge liegt rund 70 % tiefer als vor 30 Jahren. Für Flugzeuge, welche ab 2015 abgeliefert werden (Triebwerktechnologie 2009) liegt der Treibstoffbedarf nochmals etwa 15 % tiefer als in der vorangehenden aktuellen Flugzeug-Generation.

Aus den Angaben oben, 800 Kilometer zurückgelegter Flugstrecke pro Stunde und einer heute typischen Sitzauslastung von 80 % lässt sich ein Verbrauchswert pro Passagier (inklusive Passagiergepäck und Frachtanteil) von 3,3 Liter Kerosin auf 100 Kilometer errechnen.