**Was ist Benzin?**



Richtet man diese Frage an Passanten auf der Straße, so erhält man wohl Antworten wie „Es ist teuer.“ oder „Damit fährt mein Auto.“ Den wenigsten ist bekannt, dass Benzin ein komplexes Gemisch aus über hundert verschiedenen kurzkettigen Kohlenwasserstoffen (C5 – C10) darstellt. Per EU-Norm ist der Anteil der unterschiedlichen Stoffgruppen (z.B. Alkane, Alkene und Aromaten) genau festgelegt. So darf z.B. der Benzolgehalt nicht über 1 Volumenprozent der Schwefelgehalt nicht über 50 ppm liegen.

An deutschen Tankstellen werden insgesamt vier unterschiedliche Sorten angeboten, die sich in ihrer Octanzahl (ROZ = Research-Octanzahl, die bei 600 U/min. gemessen wird) unterscheiden:

* Superbenzin / Super 95 (ROZ 95)
* Super plus (ROZ 98)
* V-Power / Ultimate 100 / Super 100 (ROZ 100)

Die Octanzahl ist ein Maß für die Klopffestigkeit von Kraftstoffen, eine der wichtigsten Eigenschaften von Benzin. Ist die Klopffestigkeit zu gering, kommt es beim Verdichten des Benzin-Luft-Gemisches zur Selbstentzündung, was sich akustisch als „Klopfen“ bemerkbar macht. Laut Definition hat Iso-Octan (2,2,4-Trimethylpentan) ROZ 100, n-Heptan ROZ 0. Die Octanzahlen aller anderen verwendeten Kohlenwasserstoffe orientieren sich an diesem Referenzsystem. Allgemein haben geradkettige Kohlenwasserstoffe eine geringe, verzweigte und zyklische dagegen eine hohe Klopffestigkeit. Hat ein Kraftstoff z. B. die ROZ 95, so muss er die gleiche Klopffestigkeit wie ein Gemisch aus 95 Vol.-% Iso-Octan und 5 Vol.-% n-Heptan aufweisen.

Zur weiteren Verminderung der Klopfneigung werden dem Kraftstoff Additive beigemengt. Früher verwendete man Tetraethylblei, doch ist der Verkauf von verbleitem Kraftstoff seit dem Jahr 2000 europaweit verboten. Heute wird stattdessen z.B. Methyl-tert-butylether (MTBE) mit einer Octanzahl von 110,5 zugesetzt.

Neben der Oktanzahl ist der Ethanolgehalt, also der Anteil von Biokraftstoff im Benzin relevant. Bis 2011 waren es fünf Prozent, heute ist im E10 Benzin mit zehn Prozent Ethanol enthalten.

**Aufgaben:**

1. Einige Leute betanken entgegen der Herstellerempfehlung ihr Auto lieber mit Normal- statt mit Superbenzin, um den Geldbeutel zu schonen. Warum ist von dieser Maßnahme abzuraten?

2. Wieso kann ein Pentan ein Octan sein? Gib zur Beantwortung der Frage auch die Strukturformel des Iso- und des n-Octans an!

**Otto- und Dieselmotor im Vergleich**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Arbeitsweisen** | **Ottomotor** | **Dieselmotor** |
| 1. Ansaugen | * Kraftstoff-Luftgemisch, Menge je nach gewünschter Leistung | * Luft, Menge unabhängig von Motorleistung |
| 2. Verdichten | * Kraftstoff-Luftgemisch auf 1 zu 7  bis 1 zu 10 * Druck im Motor:  ca. 10-16 kg je cm2 * Endtemperatur: 350-500 °C | * Luft auf 1 zu 15 bis 1 zu 20, am Ende der Verdichtung Einspritzen von Kraftstoff * Druck im Motor:  30-55 kg je cm2 * Endtemperatur: 560-700 °C |
| 3. Verbrennen | * Beginn der Verbrennung  durch Zündfunken (Zündkerze) * Höchstdruck: 30-40 at * Temperatur: 2000-2500 °C * Abschluss durch Expansion (Arbeitsleistung) | * Selbstentzündung des eingespritzten Kraftstoffes durch hohe Temperatur im Motor * Höchstdruck: 50-100 at * Temperatur: 1400-2000 °C * Abschluss durch Expansion (Arbeitsleistung) |
| 4. Auspuffen | * Ausschieben der Abgase * Abgastemperatur: 800 °C bei Leerlauf  700-1000 °C bei Volllast * Verlust: 36 % der  Kraftstoffenergie | * Ausschieben der Abgase * Abgastemperatur: 250 °C bei Leerlauf  500-600 °C bei Volllast * Verlust: 29 % der Kraftstoffenergie |

*Quelle: B. Kieker, Diplomarbeit im Weiterbildenden Studiengang Umweltchemie (WSU), 1992*

***Was Ruß- und CO-Emission beeinflusst***   
Ottomotoren emittieren keinen Ruß, aber viel CO. Bei den Dieselmotoren ist es umgekehrt. Dafür gibt es physikalische und chemische Gründe.

***Die Rußbildung beim Dieselmotor***   
Ein Problem für die Umwelt ist beim Dieselmotor die Entstehung von Ruß. Man könnte meinen, dass man einfach mehr Sauerstoff zuführen sollte. Merkwürdig: In den Abgasen ist jedoch auch dann Ruß vorhanden, wenn die Sauerstoffzufuhr ausreichend ist.   
Es gibt dafür zwei Gründe:

**1** Bei den hohen Arbeitsdrücken und Temperaturen im Dieselzylinder werden die langkettigen Kohlenwasserstoff-Moleküle gecrackt, wobei Ruß entsteht, der nicht so leicht entflammbar ist wie die Kohlenwasserstoffe und deshalb ausgestoßen wird.

**2** Die zweite Ursache liegt im Boudouard-Gleichgewicht und dem darauf anzuwendenden Prinzip von Le Chatelier:

http://www.chemieunterricht.de/dc2/auto/images/c-co2.gif

Bei hohem Druck verschiebt sich das Gleichgewicht nach rechts, da sich die Molzahl der Gase ändert. Die gegenläufige Auswirkung der Temperaturerhöhung ist nicht so groß. Deshalb stoßen gut eingestellte Dieselmotoren kein Kohlenstoffmonooxid aus, wohl aber Ruß. Dieser Ruß enthält nicht nur cancerogene Substanzen wie die PAK, sondern unterbindet auch die katalytische Abgasreinigung.   
Der Ruß wird bei modernen Motoren aus den Abgasen gefiltert und von Zeit zu Zeit abgebrannt. (Deshalb enthalten viele Diesel-Kfz zwei Rußfilter-Anlagen, von der eine jeweils leergebrannt wird, während die andere die Abgase filtert.) Die so entrußten Abgase können wie beim Ottomotor katalytisch entstickt werden.   
Nur wegen des geringen Ausstoßes von Kohlenstoffmonooxid galten Diesel-Kfz langezeit als weniger umweltschädigend .

***Die Stickstoffoxidbildung beim Dieselmotor***   
Dieselmotoren ohne Kat stoßen eine größere Menge an Stickstoffoxiden (NOx) aus als Ottomotoren. Das primäre **Stickstoffoxid** NO stammt ausschließlich aus der Luftverbrennung:

http://www.chemieunterricht.de/dc2/fragen/images/luftverbr.gif

Am höheren Betriebsdruck kann die hohe NOx-Produktion nicht liegen, da sich in Gleichung (1) die Molzahl der Gase nicht ändert. Die endotherme Bildung von NO wird dagegen durch hohe Betriebstemperatur gefördert. So enthält das Gasgemisch bei 750 °C nur 1 Vol% NO, bei 2.700 °C bereits 5 Vol% NO. Zu hoch darf die Temperatur aber nicht werden, weil dann die Aktivierungsenergie für den Zerfall der Stickoxide überschritten wird.

Den Druck darf man dennoch nicht außer Acht lassen: Der hohe Arbeitsdruck des Dieselmotors wirkt sich als starke Hitzequelle aus (*adiabatische Zustands-änderung*), so dass die Stickstoffoxidproduktion, verglichen mit einem Otto-Motor, sehr groß ist.

Den Stickoxidausstoß von Dieselfahrzeugen nimmt man als chlorartigen Geruch der Auspuffgase wahr. Der wird von einem speziellen Stickoxid verursacht, dem **Stickstoffdioxid**. Das bildet sich in einer Folgereaktion aus dem primär entstandenen NO:

http://www.chemieunterricht.de/dc2/fragen/images/no-no2.gif

Diese Folgereaktion wird durch den Druck gefördert, da sich aus 3 Mol Gasen 2 Mol bilden, so dass sich letztlich der hohe Betriebsdruck des Dieselmotors doch als förderlich zur Stickoxid-Bildung erweist.

**Eine Einführung: Benzin und Dieselöl im Vergleich**

Beide sind Treibstoffe (auch Kraftstoffe genannt), also Brennstoffe, die zum Antrieb von Verbrennungs-Motoren genutzt werden.

Treibstoffe werden vor allem aus Erdöldestillaten gewonnen. Je nach Verwendungszweck werden aus technischen Gründen unterschiedliche Fraktionen eingesetzt. Dabei braucht jeder Motorentyp einen speziellen, auf seine Funktionen zugeschnittenen Treibstoff. Im Inneren des Motors werden die Treibstoffe fein verteilt und innig mit Luft vermischt verbrannt.

Die niedrigsiedenden Benzine (Siedebereich 80-130 °C) treiben Ottomotoren von Kraftfahrzeugen und einfache Propellermotoren von Flugzeugen an. Dieselmotoren benötigen Dieselöl mit dem Siedebereich 200-350 °C. Der Treibstoff für mit Turbinen angetriebenen Flugzeugen (Jets) ist Kerosin, also Öl ("Petroleum") mit dem mittleren Siedebereich 175-280 °C.

Je höher der Siedebereich ist, desto höher liegt der Flammpunkt. So liegt der von Benzin unter 21 °C, der von Kerosin bei 50 °C und der von Dieselöl bei 80 °C.   
Wenn also Benzin bei Zimmertemperatur leicht, Kerosin schlecht und Dieselöl gar nicht zu entzünden ist, sollte man annehmen, dass Dieselöl gar kein geeigneter Treibstoff für Motoren ist. Warum nimmt man ihn überhaupt?

Für die Verwendung von Dieselöl als Treibstoff sprechen eine Reihe von Punkten: Bei der Raffination von Erdöl fällt es in großen Mengen an und ist deshalb billig. Der hohe Flammpunkt ist auch von Vorteil, denn damit ist Dieselöl sicherer zu handhaben und relativ einfach zu transportieren. Bleibt nur das Problem der Zündung.

Glücklicherweise gibt es dazu neben der direkten Einwirkung einer Flamme oder eines Zündfunkens auf das Treibstoff/Luftgemisch noch eine andere Möglichkeit:

Du weißt, dass man durch Komprimieren von Luft Wärme erzeugen kann, wie du beim Aufpumpen eines Fahrradreifens feststellen kannst. Bei der schnellen Kompression findet kaum ein Wärmeaustausch mit der Umgebung statt. So bleibt die entstandene Wärme im Gas. Gemische aus Treibstoff und Luft lassen sich wie beim pneumatischen Feuerzeug durch besonders rasche und starke Kompression sogar entzünden! (Hier ist also nicht der Flammpunkt, sondern die Zündtemperatur eines Treibstoffs wichtig.)

Das nutzt man beim Dieselmotor aus. Durch Verdichten des Treibstoff-Luft-Gemischs auf 15-22:1 erreicht man Temperaturen von 500-900 °C. Dies sind Werte, die über der Zündtemperatur von Dieselöl-Luft-Mischungen liegen.

Zur Verbrennung ist nicht nur die feine Verteilung bzw. die innige Vermischung des Treibstoffs mit der Luft wichtig, sondern auch das Mischungsverhältnis. Ist zu viel Treibstoff im Gemisch, zündet dies nicht. Das Gemisch darf nicht "zu mager", aber auch nicht zu fett sein; in beiden Fällen lässt es sich nicht entzünden.

Die chemische Energie der Treibstoffe wird durch Verbrennen zunächst in Wärme, von dieser ein Teil wiederum in Bewegungsenergie umgewandelt. Bei der Verbrennung aus dem Treibstoff entstehen nämlich Gase, die aufgrund der hohen Temperatur von über 1500 °C ein großes Volumen haben und deshalb einen Kolben aus einem Zylinder treiben können.

Die Vorrichtung zur Umwandlung von Wärme in Bewegungsenergie nennt man Verbrennungs-Motoren. Sie sind außer für die Energieumwandlung zusätzlich so konstruiert, dass sich der bei unseren Versuchen in der Pappröhre oder im pneumatischen Feuerzeug einmalig erfolgte explosionsartige Verbrennungsvorgang laufend wiederholen kann. In Flugzeugturbinen dagegen verläuft die Verbrennung ähnlich wie in einer Ölheizung kontinuierlich.

Treibstoffe enthalten eine Menge Additive. So sollen z. B. die so genannten Antiklopfmittel die Verbrennung steuern, andere Additive sollen das Einfrieren des Öls bei niedrigen Außentemperaturen verhindern. Ungesättigte Verbindungen schützen Treibstoffe vor Oxidation, die zur Verharzung von Treibstoffen führen kann.