

## Technisches Hintergrundwissen zur AUK

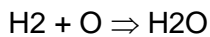
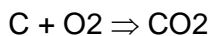
Um die AUK richtig durchführen zu können und vor allem die Messwerte richtig interpretieren zu können, ist einiges an Hintergrundwissen erforderlich.

Neben den Einrichtungen der Gemischbildung (Vergaser und Einspritzanlage) sind es vor allem die Kraftstoffe und die Abgasanlagen die ein besonderes Augenmerk verlangen.

### Kraftstoffe und deren Schadstoffpotential

Beim Ottomotor reden wir von der äußeren Gemischbildung (Kraftstoff wird außerhalb des Verbrennungsraumes mit Luft vermischt)

Eine Verbrennung des Benzins ist die chemische Reaktion von Kohlenstoff mit Sauerstoff und Wasserstoff mit Sauerstoff.



Die obige chemische Gleichung wäre die optimale theoretische Verbrennung.

Da das Benzin jedoch neben den bereits genannten Kohlenwasserstoffen noch eine Vielzahl an weiteren Verbindungen (z.B. Additive, Verunreinigungen usw.) enthält, werden im Abgas der Motoren über 1000 verschiedene chemische Verbindungen festgestellt.

Um die theoretische Verbrennung zu ermöglichen, muss daher dem Kraftstoff die richtige Menge Luft (Sauerstoff) zugeführt werden.

$$\lambda = \frac{\text{Zugeführte Luftmenge}}{\text{theoretischer Luftbedarf}}$$

Bei der Verwendung von Superbenzin wird der Wert  $\lambda = 1$  erreicht wenn auf 1 kg Kraftstoffmasse 14,8 kg Luftmasse zugeführt werden (Normalbenzin = 14,7 kg).

Damit bei richtigem Masseverhältnis die optimale Verbrennung erreicht wird, muss darüber hinaus ein möglichst homogenes (gleichmäßiges) Gemisch vorliegen. Um dies zu erreichen, muss eine innige Vermischung zwischen Kraftstoff und Luft erfolgen und weiterhin muss der Kraftstoff bei Verbrennungsbeginn vollständig vom flüssigen in den gasförmigen Aggregatzustand überführt worden sein. (Geschieht durch äußere Energiezufuhr wie Umgebungstemperatur, Verdichtungstemperatur)

Wenn ein Kraftstoffmangel vorliegt spricht man von einem „mageren Gemisch“  $\lambda > 1$ , bei Kraftstoffüberschuss von einem „fetten Gemisch“  $\lambda < 1$ .

### Einfluss der Gemischzusammensetzung auf die Verbrennung

Neben der Abgaszusammensetzung wirkt sich ein fettes bzw. mageres Gemisch auch auf die Verbrennungsgeschwindigkeit aus.

Die Verbrennungsgeschwindigkeit mit der sich die Flammfront von der Zündkerze kugelförmig ausbreitet, liegt bei Ottomotoren etwa im Bereich zwischen 20 und 35 m/s (Explosion zwischen 100 und 500 m/s; Detonation bei mehr als 500 m/s).

Die höchste Flammfrontgeschwindigkeit (= maximale Leistung) wird im Ottomotor bei einem Gemischverhältnis von  $\lambda = 0,88$  (fettes Gemisch) erreicht.

Wird das Gemisch fetter oder magerer als  $\lambda = 0,88$  sinkt die Geschwindigkeit wieder ab (= niedrigere Leistung).

Bei klopfender Verbrennung wurden übrigens Flammfrontgeschwindigkeiten von mehr als 1000 m/s festgestellt. Im Motorsport wird daher auch von „Detonationen“ gesprochen.

Um die Klopfestigkeit von Kraftstoffen beurteilen zu können, werden die in den Normen festgelegten Werte für die ROZ und MOZ herangezogen.

Hier gilt grundsätzlich, je höher die Zahlenwerte, desto klopfester der Kraftstoff.

Die ROZ (= Research Oktan Zahl) und die MOZ (= Motor Oktan Zahl) werden in einem genormten Prüfmotor ermittelt. Dieser Prüfmotor besitzt eine variable Verdichtung und wird mit genau vorgeschriebenen Parametern betrieben. Beim Ermitteln der ROZ beträgt die Drehzahl 600 U/min, die Ansauglufttemperatur 52 °C mit statischem Zündzeitpunkt, bei der MOZ 900 U/min, 149 °C und dynamischer Zündzeitpunktverstellung. Der Prüfmotor wird mit dem zu beurteilenden Kraftstoff betrieben, dabei wird die Verdichtung solange erhöht bis die ersten klopfenden Verbrennungen auftreten. Der Prüfmotor wird, ohne dass an der Verdichtungseinstellung etwas geändert wird, nun mit reinem Iso-Oktan (C<sub>8</sub>H<sub>18</sub>) betrieben. Iso-Oktan wurde der ROZ-Wert 100 zugeordnet. Dem Iso-Oktan wird nun langsam Normal-Heptan (C<sub>7</sub>H<sub>16</sub>, Oktanzahl = 0) zugemischt, bis die gleichen klopfenden Verbrennungen auftreten, die mit dem Prüfkraftstoff gemessen wurden. Tritt dies z.B. bei einem Gemisch aus 91 % Iso-Oktan und 9 % Normal-Heptan auf, so wird diesem Kraftstoff der Wert 91 Oktan ROZ zugeordnet.

Die Motorkonstrukteure ermitteln übrigens beim realen Motor noch einen weiteren Oktanzahlwert, die SOZ (= Straßen Oktan Zahl). Das Prüfverfahren ist ähnlich dem vorher beschriebenen Verfahren, jedoch wird nicht ein Prüfmotor, sondern der reale Motor mit den üblichen Betriebsparametern benutzt. Die SOZ dient dazu den Fahrzeugmotor hinsichtlich der verwendeten Kraftstoffsorte (Normal, Super usw.) einzuordnen.

## **Klopfende Verbrennung**

Bei der klopfenden Verbrennung können zwei unterschiedliche Arten unterschieden werden:

**Beschleunigungsklopfen:** Diese klopfende Verbrennung tritt auf, wenn das Motorrad aus niedriger Drehzahl durch schnelles öffnen der Drosselklappe beschleunigt wird. Durch die verbesserte Füllung, erhöht sich der Verdichtungsdruck und damit die Verdichtungstemperatur mit steigender Klopfneigung.

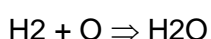
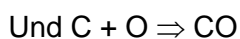
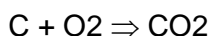
**Hochgeschwindigkeitsklopfen:** Diese Klopfart wird besser als Hochdrehzahlklopfen bezeichnet, da sie von der gefahrenen Geschwindigkeit unabhängig ist. Durch die immer höher werdende Bauteiltemperatur bei hohen Drehzahlen, steigt die Brennraumtemperatur und damit die Gefahr einer klopfenden Verbrennung.

Bei modernen Motoren mit Abgasreinigungssystemen (Katalysatoren) zählen weiterhin die Bleizusätze und die Schwefelanteile zu den relevanten Schadstoffgruppen und sind daher bereits in der DIN/EN 228 entsprechend limitiert.

Beide Schadstoffe lagern sich auf der Oberfläche des Katalysators ab und verhindern dadurch dass die Schadstoffe mit der katalytischen Beschichtung in Kontakt kommen – die Umwandlung der Schadstoffe kann nicht mehr erfolgen.

## **Schadstoffbildung bei fettem Gemisch:**

Ist die Gemischzusammensetzung kleiner  $\lambda < 1$  dann kann die chemische Reaktion bei der Verbrennung nur unvollständig verlaufen.



Es kommt verstärkt zur Bildung von Kohlenmonoxid.

Kohlenstoffmonoxid ist ein farb-, geruch- und geschmackloses Gas. Es entsteht bei der unvollständigen Oxidation von kohlenstoffhaltigen Substanzen. Dies erfolgt zum Beispiel beim Verbrennen dieser Stoffe, wenn nicht genügend Sauerstoff zur Verfügung steht oder die Verbrennung bei hohen Temperaturen stattfindet. Kohlenstoffmonoxid selbst ist brennbar und verbrennt mit Sauerstoff zu Kohlenstoffdioxid.

Komplexbindungen, die Kohlenstoffmonoxid eingeht, erklären seine Giftigkeit. Es bindet 200- bis 300-mal stärker an den roten Blutfarbstoff Hämoglobin als Sauerstoff. Es blockiert die Bindungsstellen des Sauerstoffs, indem es eine starke koordinative Bindung mit dem Zentralion (Eisen) im Hämoglobin eingeht. Hierdurch wird der Sauerstofftransport im Blut unterbrochen, was zum Tod durch Erstickung führen kann. Schon bei einem Gehalt von nur 0,3 Prozent Kohlenstoffmonoxid in der Luft ist das Blut zur Hälfte mit Kohlenstoffmonoxid gesättigt.

Durch den fehlenden Sauerstoff bleiben zudem Teile des Kraftstoffes unverbrannt und der Ausstoß an unverbrannten Kohlenwasserstoffen (HC) steigt an.

### **Schadstoffbildung bei zu magerem Gemisch:**

Ist die Gemischzusammensetzung größer  $\lambda = 1$  dann kann die chemische Reaktion bei der Verbrennung nur unvollständig verlaufen.

Die freigesetzte Reaktionswärme kann nicht ausreichend genutzt werden um die Kohlenwasserstoffmoleküle aufzuspalten, so dass der Anteil der unverbrannten Kohlenwasserstoffe ebenfalls steigt.

Durch den Sauerstoffüberschuss steigt zudem die Verbrennungstemperatur auf Werte von deutlich 2000 ° C an. Bei diesen Temperaturen kommt es verstärkt zu Bildung von Stickoxiden (NOx) die als Vorläufersubstanzen des bodennahen Ozons gelten.

Ozon (O<sub>3</sub>) (von griechisch ozein = riechen, aufgrund seines Geruchs) ist ein aus drei Sauerstoffatomen bestehendes, instabiles Molekül. Es ist ein starkes Oxidationsmittel. Ozon ist bei Zimmertemperatur und normalem Luftdruck gasförmig. Aufgrund seiner oxidierenden Wirkung ist es für den Menschen giftig (MAK-Wert = 0,2 mg/m<sup>3</sup>). Häufig bei Ozonaufnahme ist heftiger Schläfenkopfschmerz. Der Geruch ist charakteristisch stechend-scharf. Die Geruchsschwelle liegt bei 40 µg/m<sup>3</sup>, allerdings gewöhnt man sich schnell an den Geruch und nimmt ihn dann nicht mehr wahr.