

BB00.40-P-0131-00A

Kraftstoffe für Dieselmotoren

Blatt 131.0

Eine ganz wesentliche Voraussetzung für den Betrieb des Dieselmotors ist die Verfügbarkeit und die Qualität des Dieselkraftstoffes. Kraftstoff und Motoren müssen, um einen störungsfreien Betrieb zu ermöglichen, technisch aufeinander abgestimmt sein. Der Kraftstoff sollte jederzeit und überall preiswert und unproblematisch zur Verfügung stehen. MB-Dieselmotoren sind ausgelegt für Dieselkraftstoffe, die den jeweiligen nationalen und internationalen Anforderungen (in Europa EN 590) entsprechen.

### **Konventionelle Dieselkraftstoffe**

Konventionelle Dieselkraftstoffe, wie sie seit vielen Jahren weltweit für schnell laufende Dieselmotoren verwendet werden, sind Kohlenwasserstoff-Verbindungen, die im Bereich zwischen 180 °C und 360 °C bei der fraktionierenden Rohöl-Destillation in den Raffinerien anfallen. Diese Kohlenwasserstoff-Verbindungen können sehr unterschiedliche Molekularstrukturen haben, die natürlich verschiedene Eigenschaften aufweisen.

### **Chemischer Aufbau des Dieselkraftstoffes**

Die Verbindungsmöglichkeiten des vierwertigen Kohlenstoffes C mit dem einwertigen Wasserstoff H sind vielzählig. Es gibt gerade und unterschiedlich verzweigte Ketten sowie verschiedenartige Ringsysteme, die gesättigt oder ungesättigt sein können, die Zahl der Mehrfachbindungen ist ebenfalls unterschiedlich.

---

Alkane sind kettenförmige gesättigte Kohlenwasserstoffe mit der Summenformel  $C_nH_{2n+2}$ , die, auch Paraffine genannt, für den Dieselkraftstoff sehr wichtig sind. Normal-Paraffine (geradkettig, unverzweigt) haben eine gute Zündwilligkeit und günstiges Rauchverhalten, das Kältefließvermögen ist jedoch schlecht, wegen der niedrigen Dichte ist auch der volumetrische Heizwert gering. Iso-Paraffine (verzweigt-kettig) haben dagegen eine ungünstigere Zündwilligkeit und ein besseres Kälteverhalten.

Alkene sind kettenförmige (geradkettige oder verzweigte) ungesättigte Kohlenwasserstoffe mit einer Doppelbindung, sie haben die Summenformel  $C_nH_{2n}$ . Diese, auch Olefine genannten Produkte, sind den Iso-Paraffinen ähnlich, sie sind im Rauch jedoch ungünstiger.

Cykloalkane sind ringförmige, gesättigte Kohlenwasserstoffe mit der Summenformel  $C_nH_{2n}$ . Diese, als Cyklo-Paraffine oder noch besser als Naphthene bekannten Produkte, haben eine mäßige Zündwilligkeit, jedoch ein günstiges Kältefließverhalten, im Rauchverhalten sind sie wie die Olefine. Dichte und volumetrischer Heizwert sind durchschnittlich.

Die Aromaten, ringförmige Kohlenwasserstoffe mit Doppelbindungen, haben eine geringe Zündwilligkeit, schlechtes Rauchverhalten und mäßiges Kältefließverhalten. Dichte und volumetrischer Heizwert sind hoch.

---

### **Anforderungen, Eigenschaften, Kennwerte (DIN EN 590)**

Die für den Betrieb des Motors erforderlichen Eigenschaften des Dieselkraftstoffes lassen sich entweder beschreiben oder mit Hilfe von Kennwerten näher festlegen. Diese Kennwerte, die in aller Regel auf genormten Prüfverfahren beruhen, sind zwar brauchbare, aber nicht in jedem Falle voll befriedigende Möglichkeiten, um die für den Umgang mit Dieselkraftstoff und die für die Verbrennung im Motor wichtigen Qualitätskriterien zu definieren. Mit einer bestimmten Anzahl derartiger Kennwerte, für die Grenzwerte festgelegt sind, werden Normen für die Mindestanforderungen erstellt.

Unserer Auffassung nach ist die Additivierung des Dieselkraftstoffes zur Qualitätsverbesserung unbedingt erforderlich. Dies sollte durch den Lieferanten geschehen, da er die Gesamtverantwortung für sein Produkt trägt (siehe hierzu den Abschnitt "Additive").

### **Zündwilligkeit**

Die Zündwilligkeit ist eine der wesentlichen Eigenschaften des Dieselkraftstoffes. Sie ist in ihrer Bedeutung der Klopfestigkeit der Benzine trotzdem nur bedingt vergleichbar. Technisch gesehen ist Zündwilligkeit das Gegenteil der Klopfestigkeit.

---

Ausgedrückt wird die Zündwilligkeit als Cetanzahl, und zwar gemessen nach ISO 5165 oder DIN 51773 in einem genormten Prüfmotor und unter festgelegten Prüfbedingungen. Die Cetanzahl eines Dieselkraftstoffes sagt aus, dass unter diesen Bedingungen die Zündwilligkeit dieses Dieselkraftstoffes der Zündwilligkeit einer Mischung von n-Cetan und Heptamethylnonan (DIN 51773 verwendet hier 1-Methyl-Naphtalin) entspricht, wobei die Cetanzahl aus dem volumetrischen Prozentsatz von n-Cetan bei dieser Mischung berechnet wird. Diese Methode hat sich bei konventionellem Dieselkraftstoff bewährt. Der häufig verwendete "Cetanindex" stellt dagegen eine rechnerisch bestimmte Größe dar, die aus physikalischen Größen (z. B. Dichte, Siedecharakteristik) abgeleitet wird. Ihre Aussagekraft ist begrenzt.

Der Zündverzug, also die Zeitspanne zwischen dem Einspritzen und der Selbstzündung, ist ein Maß für die Zündwilligkeit. Eine gute Zündwilligkeit, also eine hohe Cetanzahl, bedeutet einen geringen Zündverzug. Dies ist vor allem wichtig beim Start, insbesondere beim Kaltstart. Das Motorengeräusch, die Laufruhe, ist ebenfalls von der Zündwilligkeit abhängig. DIN EN 590 legt eine Mindestcetanzahl von 51 fest; gute handelsübliche Kraftstoffe liegen jedoch höher.

---

### Siedeverlauf

Der Siedeverlauf des Dieselkraftstoffes liegt zwischen ca. 180 °C und 360 °C, wobei es weltweit beachtliche Unterschiede gibt. Der Dieselmotor ist allerdings in seinem Fahrverhalten nicht so stark vom Siedeverlauf seines Kraftstoffes abhängig wie der Ottomotor. Wenn jedoch ein zu großer Anteil des Dieselkraftstoffes erst oberhalb ca. 350 °C verdampft bzw. das Siedeende zu hoch in Richtung 380 °C oder noch höher liegt, führt dies zu Rauchbildung. Die Ausdehnung des Siedeverlaufs nach unten ist unkritischer, hat jedoch ebenfalls Grenzen.

Die DIN-Norm kennt nur drei Grenzwerte, nämlich

bis 250 °C max. 65 Vol.-% verdampft

bis 350 °C min. 85 Vol.-% verdampft

den 95 - Vol.-%- Punkt bei max. 360 °C

Gute handelsübliche Dieselkraftstoffe sind jedoch wesentlich enger spezifiziert.

---

### Schwefelgehalt

Der Schwefelgehalt des Dieselkraftstoffes ist abhängig von der Herkunft des Rohöles, den Entschwefelungsmöglichkeiten der Raffinerien und ist durch Normen/Gesetze begrenzt.

Er ist einer der wichtigsten anwendungstechnischen Kenngrößen für Dieselkraftstoff und wird daher auf einem eigenen Blatt 136.0 "Schwefel in Dieselkraftstoffen" behandelt. Generell gilt, dass der Schwefelgehalt so gering wie möglich sein sollte.

Die hier diskutierte Absenkung des Schwefelgehalts, welche nicht nur im europäischen, sondern auch im nordamerikanischen Wirtschaftsraum in den letzten Jahren stattgefunden hat, hat die Problematik der Schmierfähigkeit des Dieselkraftstoffs aufgeworfen (s. diesbezüglichen Absatz). Dies ist damit zu erklären, dass beim Entfernen des Schwefels aus dem Kraftstoff natürliche Schmierverbesserer ebenfalls entfernt werden. Die Schmierfähigkeit des Kraftstoffs kann jedoch durch Zugabe von geeigneten Additiven ausreichend verbessert werden. Aus Erfahrungen in Skandinavien kann abgeleitet werden, dass andernfalls eventuell auftretende Langzeitschäden an Einspritzpumpen nicht auszuschließen sind.

---

## Kälteverhalten

Die für den Betrieb im Dieselmotor, generell gesehen, günstigsten Kohlenwasserstoff-Verbindungen haben einen großen Nachteil, sie sind nicht kältebeständig, d. h. sie bilden schon bei geringen Minusgraden Paraffine in Form von Kristallen. Diese Paraffinkristalle, die "zusammenwachsen", verstopfen Kraftstoff-Filter, -leitungen und das Einspritzsystem und machen damit den Betrieb unmöglich. Häufig ist zwar noch ein Starten möglich, dann aber bleibt der Motor stehen. Der Motor nimmt dadurch keinen Schaden, und nach entsprechender Erwärmung ist der Kraftstoff auch wieder fließfähig. Messtechnisch versuchte man, das Problem mit dem Trübungspunkt (Cloud Point), dem Stockpunkt (Pour Point) und der Filtrierbarkeit (CFPP) zu erfassen.

Je nach Art der Kraftstoff-Herstellung und der Auslegung der Fahrzeuge war die Übertragbarkeit dieser Kennwerte in die Praxis mehr oder weniger erfolgreich. Heute wird allgemein der "Grenzwert der Filtrierbarkeit" nach dem "Cold Filter Plugging Point" (EN 116) angegeben. Bei dieser Methode, CFPP genannt, wird die tiefste Temperatur bestimmt, bei der eine vorgegebene Kraftstoffmenge innerhalb einer bestimmten Zeit durch ein definiertes Sieb fließt. Nach Norm liegt dieser Grenzwert im Sommer unterhalb 0 °C, im Winter unterhalb -20 °C. In der Übergangszeit sind max. -10 °C zulässig. Auch wenn üblicherweise mindestens 3 °C zusätzlich vorgehalten werden, liegt es auf der Hand, dass bei Kälteeinbrüchen Schwierigkeiten nicht auszuschließen sind. Man kann durch rechtzeitige Zugabe von Petroleum (Kerosin) die Kältefließfähigkeit von Dieselkraftstoff verbessern.

---

Abgesehen von einer gewissen Leistungsminderung hat dies für den Motor keine negativen Auswirkungen, solange die vorgegebenen Maximalwerte nicht überschritten werden. Bei diesem Mischen sind jedoch Organisationsprobleme zu bewältigen, außerdem sind zollrechtliche und sicherheitstechnische Vorschriften zu beachten. Durch das Zumischen wird nämlich nicht nur das Kälteverhalten positiv, sondern die Viskosität, der Flammpunkt, die Dichte und die Cetanzahl negativ beeinflusst. Nun gibt es seit längerem Fließverbesserer als Sonderzusätze auf dem Markt. Wenn man die Hersteller-Vorschriften beachtet, können diese Zusätze durchaus hilfreich sein. Leider haben sie nicht bei allen Kraftstoffen den gewünschten Effekt (siehe auch Blatt 137.0).

Nachdem einige Lieferanten Dieselkraftstoff mit garantierter Kältebeständigkeit anbieten, ist es anzuraten, nur solchen Kraftstoff zu verwenden. Siehe dazu Blätter 137.0 und 137.1

---

## Dichte

Die Dichte ist nicht in allen Ländernormen spezifiziert. DIN EN 590 schreibt vor, dass die Dichte des Dieseldieselkraftstoffes bei 15 °C zwischen 820 und 845 kg/m<sup>3</sup> liegt. Diese im europäischen Markt zulässige Dichteschwankung hat sich per 1. 1. 2000 deutlich verringert; bis Ende 1999 war als obere Grenze 860 kg/m<sup>3</sup> zulässig. Ähnliche Werte gelten noch immer in verschiedenen Ländern: Im Prinzip eine große Spannweite, wenn man bedenkt, dass der Kraftstoff zwar nach Volumen gekauft wird und die Einspritzpumpe volumetrisch zumisst, andererseits aber der Heizwert von der Masse abhängig ist. Kraftstoffhersteller und -lieferanten legen Wert auf eine möglichst große Bandbreite der zulässigen Dichte. Es ist nicht möglich, bei gegebener Einspritzpumpeneinstellung mit einem sehr leichten Kraftstoff die erforderliche Leistung zu erzielen und mit einem sehr schweren Kraftstoff die vorgegebenen Abgaswerte einzuhalten.

## Viskosität

Die Viskosität, also die innere Reibung, die Zähigkeit des Dieseldieselkraftstoffes, ist verantwortlich für die Fließvorgänge und die Verschleißverhinderung im Einspritzsystem und beeinflusst die Zerstäubbarkeit im Brennraum. Laut DIN-Norm kann sie bei 40 °C gemessen, zwischen 2,0 und 4,5 mm<sup>2</sup>/s betragen; dieses große Toleranzband wird vorteilhafterweise in aller Regel nicht ausgenutzt.

---

## Additive

Für die Dauerhaltbarkeit und Sauberkeit der Motoren und der Kraftstoffsysteme, die Aufrechterhaltung der günstigen Abgaswerte sowie zum Erzielen eines insgesamt guten Betriebsverhaltens stellt die Verwendung **gut additiver Dieseldieselkraftstoffe** eine notwendige, auf lange Sicht auch kostengünstige Maßnahme dar.

Im Hinblick auf die Versorgung mit solchen Kraftstoffen ist der Einzelkunde darauf angewiesen, dass die von ihm angefahrenen Tankstellen additivierte Produkte vertreiben; dieses ist nach den uns übermittelten Stellungnahmen bei großen Firmen flächendeckend, bei nicht an große Versorger gebundenen, "freien" Tankstellen meistens der Fall. Großkunden sind im Allgemeinen in der Lage, in bilateralen Verhandlungen die Lieferung additiver Ware sicherzustellen; diesen Kunden empfehlen wir mit Nachdruck, auf solchen Kraftstoffen zu bestehen.

Wir weisen ausdrücklich darauf hin, dass nach unserer Einschätzung die prozentual geringfügigen Kraftstoff-Mehrkosten durch Einsparung bei Instandhaltung und Wartung sowie geringerer Reparaturanfälligkeit mehr als ausgeglichen werden. Typische, mittels gut additiviertem Kraftstoff vermeidbare Reklamationen sind z. B. Verkoken von Einspritzdüsen, Verschleiß- und Korrosionsschäden im gesamten Kraftstoffsystem. Außerdem wird durch die kontinuierlich günstigen Abgaswerte die Umwelt entlastet.

---

Eine noch größere Bedeutung erhält die Kraftstoffadditivierung, wenn die Problematik der Schmierfähigkeit bei schwefelarmen Kraftstoffen mitbetrachtet wird (s. Abschnitt "Schmierfähigkeit"). Unter diesen Gesichtspunkten ist eine optimale Additivierung keine Option, sondern eine Notwendigkeit.

Die Additivierung sollte vom Lieferanten in seiner Eigenschaft als Qualitätsverantwortlicher für den Kraftstoff vorgenommen werden, die Zugabe von Sekundäradditiven durch den Kunden wird **nicht** empfohlen.

### **Lagerung und Umschlag**

Die folgenden Hinweise sind in erster Linie an diejenigen unserer Kunden gedacht, welche eine eigene Tankstellenanlage besitzen.

Dieselmotorkraftstoff ist ein wertvoller Energieträger. Soll seine Anwendung im Fahrzeug - den Erwartungen des Kunden entsprechend - problemlos vor sich gehen, müssen gewisse technische Grundregeln beachtet werden.

Tanks niemals alternierend betreiben, also nicht wechselweise mit Diesel- und mit Ottokraftstoff befüllen, sondern bei Bedarf an beiden Kraftstoffsorten (mindestens) zwei eindeutig getrennte Tanks einrichten. Wird dies nicht beachtet, sind wechselweise Kontaminierungseffekte unvermeidlich.

---

Insbesondere Kunden, die nicht oft Dieselmotorkraftstoff beziehen, sollten ihren Bestand an Sommer- und Übergangskraftstoff vor Lieferung der Winterqualität nach Möglichkeit vollständig verbrauchen.

Der Bodentank darf kein Wasser oder anderen Schmutz (z. B. aus Kontamination mit Mikroorganismen, siehe Blatt 138.0) enthalten. Dies gilt besonders vor einer Befüllung mit Winterdieselmotorkraftstoff. Falls doch, Tankreinigung durchführen lassen. Bodentanks in regelmäßigen Abständen kontrollieren!

Wird die Änderung der Versorgung von nicht additiviertem auf additiviertem Kraftstoff vorgenommen, so ist vorher in besonderem Maße auf saubere Lagertanks zu achten. Die im additivierten Kraftstoff vorhandenen Detergentien, die zur Sauberhaltung der Fahrzeug-Kraftstoffsysteme dienen, können auch Schmutzteilchen aus den Lagertanks ins Kraftstoffsystem des Fahrzeugs tragen und somit zur schnelleren Verstopfung der Filter beitragen.

Ein Nichtbeachten dieser Regeln kann frühzeitiges Verstopfen des Kraftstoff-Filters und Fahrbarkeitsprobleme im Winter verursachen.

---

### **Flammpunkt/Gefahrklasse**

Der Flammpunkt des Dieselkraftstoffes muss, gemessen nach ISO 2719, über 55 °C betragen. Dies ist für die motorische Verbrennung zwar ohne Bedeutung, jedoch wichtig, damit der Dieselkraftstoff in die Gefahrklasse A III fällt (nichtwasserlösliche Flüssigkeiten mit einem Flammpunkt zwischen 55 °C und 100 °C) (siehe auch Blatt 112.0).

Bereits geringe Beimischungen von Benzin setzen den Flammpunkt von Dieselkraftstoff deutlich herab. Während der Flammpunkt des Dieselkraftstoffes höher als der des Benzins ist, ist die Selbstzündtemperatur bei Dieselkraftstoff niedriger als bei Benzin.

### **Reinheit**

Dieselmkraftstoff muss frei von organischen Säuren und festen Fremdstoffen und bei Raumtemperatur klar sein.

Der Wassergehalt darf, um Korrosion zu verhindern, nicht über 200 mg/kg liegen. Um zu verhindern, dass metallorganische, verschleißfördernde Verbindungen im Dieselmkraftstoff enthalten sind, wurde der zulässige Aschegehalt auf max. 0,01 Gew.-% festgelegt.

---

Zur Verkokung neigende Dieselmkraftstoff-Komponenten können erhebliche motorische Probleme hervorrufen, z. B. Düsenverkoken und übermäßige Brennraumablagerungen. Daher wird der Koksrückstand vom 10%- Destillationsrückstand (gemessen nach Conradson) limitiert.

### **Schmierfähigkeit**

Die in den letzten Jahren aus Umweltschutzgründen erfolgte Absenkung des Schwefelgehaltes hat die Problematik der Schmierfähigkeit des Dieselmkraftstoffes aufgeworfen, da bei der hierzu notwendigen Hydrierung des Mitteldestillates natürliche Schmierverbesserer des Kraftstoffes mit entfernt werden.

Es hat sich gezeigt, dass Dieselmkraftstoffe mit der in Europa geltenden Grenze von max. 350 mg/kg, ab 1.1.2005 max. 50 bzw. 10 mg/kg (schwefelfreier Dieselmkraftstoff hat "in einer geografisch ausbalancierten Weise" zur Verfügung zu stehen) Schwefel Verschleiß in der Einspritzanlage verursachen können. Dann ist die Zugabe von schmierverbessernden Additiven seitens des Kraftstofflieferanten zwingend erforderlich, um unsere Kunden vor Langzeitschäden zu schützen.

---

In der EN 590 ist dies geregelt durch Anforderungen im "HFRR-Test" ("High Frequency Reciprocating Rig Test"), bei dem eine Kugel unter Last auf einer Platte in erzwungene Schwingungen versetzt wird, wobei der zu prüfende Dieselkraftstoff als Schmiermedium dient. Dieser Test existiert sowohl als CEC-Vorschrift (CEC F-06-A96) als auch als ISO-Prüfmethode (ISO 12156-1). Als maximal zulässiger Grenzwert der Schmierfähigkeit im HFRR-Test wurde 460 µm bei 60 °C in EN 590 festgelegt.

Obwohl die Methode in der Branche weitgehend akzeptiert ist, bestehen noch Kritikpunkte an Präzision und Aussagekraft (d. h. Korrelation zur Praxis) des Tests.

#### **FAME-Gehalt**

Die EN 590 lässt seit Ausgabe 6/2004 ausdrücklich die Zumischung von max. 5% (Vol.) Fettsäuremethylester ("Biodiesel", "FAME") zu. Dies darf keinen negativen Einfluss auf die Dieselkraftstoffqualität haben, d. h. die Anforderungen der EN 590 sind nach wie vor einzuhalten. Besonders ist festzuhalten, dass nur eine FAME-Qualität für die Beimischung zugelassen ist, welche die Vorschriften der EN 14214 für FAME erfüllt. Weitere Informationen hierzu siehe Blatt 135.0 ("FAME als Dieselkraftstoff").

#### **Sonstiges**

Fast alle vorher erwähnten Eigenschaften bzw. Kennwerte sind voneinander abhängig. Dies gilt insbesondere für Dichte, Siedeverlauf, Viskosität, Flammpunkt, Kälteverhalten und Zündwilligkeit. Wenn eine Eigenschaft geändert wird, verändern sich die anderen zwangsläufig mit.