



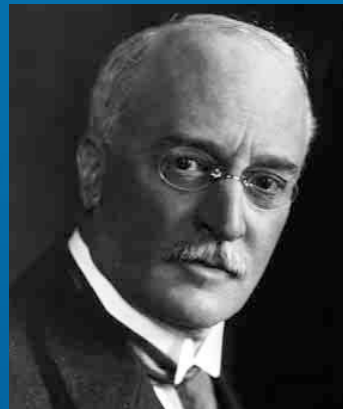
# Diesekraftstoff

Anforderungen, Qualität, Perspektiven



**Vor mehr als 100 Jahren erfand Rudolf Diesel den nach ihm benannten Dieselmotor, der bis heute als energiesparende und ressourcenschonende Antriebsmaschine gilt.**

Seit diesen Anfängen bis zum heutigen Stand hat die Mineralölindustrie wichtige Entwicklungsarbeit für den Dieselmotor geleistet.



Rudolf Diesel – der Erfinder des Dieselmotors. 1936 ging der PKW-Dieselmotor erstmals in Serie. Er wurde in den Mercedes-Benz, Typ 260-D, eingebaut.

Die kontinuierliche und effektive Anpassung der Kraftstoffqualität an sich ständig ändernde Rahmenbedingungen, die durch Anwendungstechnik, Umweltschutz und Politik hervorgerufen werden, führt zu fortwährenden Forschungsaktivitäten, um die Eigenschaften und das Leistungsspektrum des Dieselmotors zu optimieren.

Noch ist kein Endpunkt in dieser Dynamik erreicht, wie die modernen Entwicklungen im motorischen Anwendungsbereich sowie die Einführung von besonders hochwertigen Dieselqualitäten in den vergangenen Jahren zeigen. Die seit Jahren anhaltenden Marktverschiebungen zu Gunsten der Dieselfahrzeuge sind hierfür ein wichtiges Indiz.

Die Komplexität des Dieselmotors bemerken die Dieselfahrer spätestens dann, wenn das Fahrzeug bei niedrigen Temperaturen zum „Stehzeug“ wird, weil diese Antriebsenergie auf Grund ihrer Besonderheit nicht mehr den Weg vom Fahrzeugtank zum Motor findet.

Woran liegt das? Warum schwappt Dieselmotor von Markenanbietern beim Tanken nicht mehr über? Welchen Einfluss hat eine höhere Cetanzahl auf die Verbrennung? Was bewirken die Additive im Dieselmotor? Was ist FAME? Warum gibt es schwefelfreien Diesel? Was steckt hinter so genanntem Hochleistungsdiesel?

Solche und weitere Fragen beantwortet diese Broschüre. Darüber hinaus haben Sie die Möglichkeit, sich im Internet unter [www.aral.de](http://www.aral.de) und [www.aral-forschung.de](http://www.aral-forschung.de) über aktuelle Entwicklungen zu informieren.





## Inhalt

Einleitung

<b>1</b>	Vom Gasöl zum Hochleistungsdiesel Dieselkraftstoff im Wandel	6
<b>2</b>	Herstellung von Dieselkraftstoffen Balanceakt zwischen den Anforderungen	8
<b>3</b>	Kraftstoffe mit Charakter Eigenschaften und Kennwerte des Dieselkraftstoffs	12
<b>4</b>	Vorsorgen vermeidet Probleme Besondere Aspekte der Anwendungstechnik	20
<b>5</b>	Biogene Dieselkomponenten Einsatz moderner nachwachsender Rohstoffe	22
<b>6</b>	Von Zündbeschleunigern und Schaumbremsern Leistungsspektrum der Additive	26
<b>7</b>	Hochleistungsdiesel Wenn Additive nicht mehr ausreichen	28
<b>8</b>	Diesel mit Risiko? Qualitätsunterschiede im Markt	30
<b>9</b>	Herausforderungen für die Zukunft Anforderungen des Umweltschutzes	32
<b>10</b>	Das Aral Glossar Von A wie Abdampfung bis Z wie Zündwilligkeit	34



# Vom Gasöl zum Hochleistungsdiesel

## Dieselmotor im Wandel

Etwas 20 Jahre nach dem Ottomotor wurde 1892 von Rudolf Diesel der nach ihm benannte Dieselmotor und damit die wirtschaftlichste Umwandlung der Verbrennungswärme in mechanische Energie erfunden. Eines der damaligen Entwicklungsziele war, einen Antrieb zu finden, der mit der eingesetzten Energie sparsamer als die damals noch weit verbreiteten Dampfmaschinen umging und auch einen preiswerteren Kraftstoff einzuführen: ein Wunsch, der auch heute nach weit über 100 Jahren noch immer aktuell ist und an den sich moderne Produkte annähern.

1

Im Dieselmotor wird die angesaugte Luft durch eine sehr hohe Verdichtung so stark erhitzt, dass eingespritzter Kraftstoff mit guter Zündwilligkeit sich von selbst entzünden kann. Besonders günstige Selbstentzündungseigenschaften haben die so genannten Gasöle, die beim Destillieren in der Raffinerie nach der leichten Fraktion (= Benzin) und vor den schweren Ölschnitten anfallen. Dieses „mittlere“ Destillat bzw. Gasöl war deutlich preiswerter zu produzieren als der Benzinschnitt. Da außerdem der Wirkungsgrad des neuen Selbstzündmotors besser als der des Ottomotors war, ergab sich aus dem daraus resultierenden niedrigeren Verbrauch und dem preiswerteren Gasöl eine besonders wirtschaftliche Antriebsmaschine. Der Dieselmotor eignete sich zunächst nur für große stationäre

Anlagen. Die hohe Wirtschaftlichkeit war jedoch schon Anfang des vergangenen Jahrhunderts Anreiz für Konstruktionsverbesserungen, die seinen Anwendungsbereich auf Schiffe und dann auf Straßenfahrzeuge (1925 als LKW- und 1936 als PKW-Antrieb) erweiterte. Damals gab es auch Bestrebungen, Petroleum als allgemein gehandelten Siedeschnitt des Gasöls (Siedebereich 150 bis 250 °C) als Kraftstoff zu verwenden. Es stellte sich jedoch heraus, dass eine Siedelage zwischen etwa 160 und 390 °C für den Dieselmotor besonders geeignet ist. Diese Fraktion wurde als Dieselmotor definiert, wobei neben den Siedekennwerten im Laufe der Zeit zunehmend auch andere Anforderungen festgelegt wurden.

Besondere Meilensteine in der Weiterentwicklung der Dieselmotoren waren im vorigen Jahrhundert zur Mitte der 70er Jahre die Einführung von schnelllaufenden Dieselmotoren in kleinen PKWs und die Verbesserung des Emissionsverhaltens (insbesondere Partikelreduzierung). Anfang der 90er Jahre wurden schließlich Diesel-PKWs mit ähnlichem Leistungs- und Fahrverhalten wie PKWs mit Ottomotoren angeboten. Gerade die jüngere Entwicklung mit Verbesserungen im Abgas- und Komfortverhalten der Dieselmotoren konnte nicht ohne eine adäquate Weiterentwicklung des zugehörigen Kraftstoffs erfolgen. Früher wurde der Dieselmotor fast ausschließlich in robusten, weniger anspruchsvollen Motoren meist von Berufsfahrern mit „Diesel-Know-how“ gefahren. Heute sind komplexere, präziser abgestimmte und emissionsreduzierte Motoren auf dem Markt, die zunehmend in Fahrzeugen von anspruchsvollen Fahrern gefahren werden. Daraus resultierten auch schärfere Anforderungen an den Dieselmotor.

Als wichtige Weiterentwicklungen der Dieselmotorqualität ist die Einführung des ersten „Additivpakets“ durch Aral im Mai 1987 zu nennen. Durch gezielten Einsatz hochwirksamer chemischer Wirksubstanzen (=Additive) wurden erhebliche Verbesserungen im Verbrennungs- und Komfortverhalten erzielt und im Laufe der Zeit ständig verbessert.

Gerade im letzten Jahrzehnt wurden Quantensprünge in der Weiterentwicklung der Dieselmotor-Technologie erreicht, wobei der Optimierung der Kraftstoffeinspritzung mit immer höheren Drücken besondere Bedeutung zukam. Neben anwendungstechnischen Erlangen immer mehr auch politische Aspekte Bedeutung bei der Kraftstoffherstellung. Dies führte u.a. zur Einführung von schwefelfreiem Dieselmotor in 2003 und der Beimischung von FAME (= Fatty Acid Methyl Esters – Fettsäure-Methylester), einer so genannten Biokomponente, in konventionellem Diesel seit 2004.

Vor dem Hintergrund verschärfter Abgasgesetzgebung und der hierdurch erforderlichen Änderungen in der Fahrzeugtechnologie wurden Mitte 2004 durch zwei Anbieter erstmals im deutschen Markt so genannte Hochleistungsdieselmotoren eingeführt, die sich nicht nur durch hochwertige Additive, sondern auch durch geänderte Grundkraftstoffe mit anwendungstechnischen Vorteilen auszeichneten.

## Typische Kohlenwasserstoffzusammensetzung von Dieselmotor

Kohlenwasserstoff (Grobe Gliederung, insgesamt ca. 300 Typen)	Typische Anteile in % (m/m) Zusammensetzung schwankt in Abhängigkeit von Rohöleinsatz/ Raffineriefahrweise
Summe Alkane (n- und i-Paraffine) im Bereich C <sub>10</sub> bis C <sub>25</sub> im Bereich > C <sub>25</sub>	30 bis 50 30 bis 50 max. 0,5
Summe Cycloalkane (Naphthene) Monocyclische Dicyclische	25 bis 40 10 bis 20 15 bis 25
Summe Alkene (Olefine)	< 1
Summe Aromaten	10 bis 30
Summe Monoaromaten Benzol/Toluol C <sub>6</sub> -Aromaten (Xylole, Ethylbenzol) C <sub>9</sub> -Aromaten Sonstige (z. B. Indane und Hydronaphthaline)	8 bis 28 praktisch nicht vorhanden max. 0,2 max. 1 max. 28
Summe Diaromaten (z. B. alkylierte Naphthaline und Biphenyle)	0 bis 7
Summe Tri- und Tri(+)-Aromaten (z. B. alkylierte Anthracene)	0,2 bis 2
Summe polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe	0,5 bis 10

\* Heutiger Dieselmotor ist ein Gemisch aus rund 300 Kohlenwasserstoffen, die in Raffinerien mittels verschiedener Verarbeitungsverfahren aus Erdöl gewonnen werden und zwischen etwa 160 und 390 °C siedend. Je nach eingesetztem Rohöl und Herstellungsverfahren schwankt die Zusammensetzung. Durch Zugabe bestimmter Additive können die Eigenschaften dieses Basiskraftstoffs deutlich verbessert werden.

## Motoren- und Kraftstoffentwicklung im Wechselspiel

- Erfindung des Dieselmotors (Stationärbetrieb)
- Stufenweise Verbesserung: verringertes Bauvolumen
- Drehzahlerhöhung
- Wirkungsgradsteigerung
- Saubereres Abgas
- Komfortsteigerung
- Deutlich bessere Umwelteigenschaften
- PKW mit Verbrauch unter 3l/100 km
- Ultra Clean Technology
- Abgasnachbehandlung
- Dieselmotor für Marathon-Rennen



1892

• Experimente mit Benzin, Kohlenstaub, Petroleum



© www.historischer-hafen-berlin.de

1908

• Verschiedene Gasöle (Petroleum)



1925

• Mitteldestillat für schnelllaufende Motoren



1936

• Gasölkomponenten zusätzlich aus Kohle



1970

• Stufenweise Verbesserung: Zündwilligkeit, Schwefelgehalt, Kältefestigkeit



1987

• Einführung Aral Superdiesel



1995/96

• Einführung schwefelarmer Diesel



2000

• Anpassung (Reformulierung) von Umwelteigenschaften



2004

• Einführung Hochleistungsdiesel



© Daimler AG

2005

• Europaweite Bereitstellung schwefelarmer oder schwefelfreier Diesel



2009

• Sauberer Hochleistungsdiesel auch für den Rennsport

# Herstellung von Dieselkraftstoffen

## Balanceakt zwischen den Anforderungen

Die Herstellung von Dieselkraftstoff war in der Vergangenheit recht einfach. Ein bei der Rohöldestillation anfallender Siedeschnitt wurde als Dieselkraftstoff vermarktet; allenfalls im Winter achtete man auf das Kälteverhalten, indem man z. B. Additive zur Verbesserung der Fließfähigkeit bei niedrigen Temperaturen einsetzte.

### Dieses hat sich aus folgenden Gründen gravierend geändert:

- Die zu verarbeitenden Rohöle sind vielfältiger geworden und führen zu deutlich unterschiedlichen Ausbeuten und Eigenschaften.
- Die Dieselnachfrage kann allein aus Destillat-Gasöl nicht abgedeckt werden.
- Sowohl zur Deckung der steigenden Diesels als auch Ottokraftstoff-Nachfrage müssen schwere Komponenten/Rückstände in leichte umgewandelt werden. Diese so genannte „Konversion“ in Crackanlagen verändert in der Regel die anwendungstechnischen Eigenschaften des Dieselkraftstoffs ganz erheblich.
- Geänderte politische Rahmenbedingungen führten zur Einführung von schwefelfreiem Dieselkraftstoff und zur Beimischung von FAME (Fettsäure-Methylester) mit erheblichem Einfluss auf die Dieselkraftstoffqualität.
- Die Anforderungen aus der Anwendung sind drastisch gestiegen (komplexere Motortechnik mit immer höheren Einspritzdrücken, Verbesserungen im Abgas- und Komfortverhalten).

Die Problematik, die sich aus all diesen Faktoren zum Beispiel für die Zündwilligkeit ergibt, zeigt die Übersicht auf Seite 8. Es wird deutlich, dass der zunehmende Einsatz üblicher Crack-Gasöle zu einer Verschlechterung der Zündwilligkeit führt, dem für die motorische Verbrennung wichtigen Kennwert. Gefordert wird aber eine weitere Erhöhung der Cetanzahl. Solche Gegensätze sind bei der Dieselkraftstoff-Aufmischung noch in vielen anderen Punkten zu beachten.

Die stetige Verbesserung der Anwendungstechnik und die Senkung der Abgasemissionen macht fast immer kostenintensive Anpassungen bei der Kraftstoffherstellung erforderlich. Aber auch die verschiedenen motortechnischen Anforderungen selbst werden durch einzelne produktionstechnische Maßnahmen konträr beeinflusst. So kann beispielsweise durch Wahl eines hohen Paraffinanteils die Forderung nach einer hohen Zündwilligkeit und besserem Emissionsverhalten erfüllt werden, gleichzeitig wird dadurch aber das ebenfalls geforderte gute Kälteverhalten verschlechtert.

Diese Gegensätzlichkeiten sind eine große Herausforderung für die Kraftstofftechnologie, die durch bestimmte Maßnahmen und Optimierungsprozesse einen Dieselkraftstoff gewährleisten soll, der gleichzeitig alle Anforderungen erfüllt. Dabei darf die ursprüngliche Zielsetzung von Rudolf Diesel nicht außer Acht gelassen werden, der für diesen Motor einen preiswerten Kraftstoff haben wollte. Leider führen praktisch alle Maßnahmen zur Verbesserung von Anwendungstechnik und Emissionen zu einer deutlichen Kostensteigerung. Eine umfassende Realisierung solcher Maßnahmen würde den bisherigen Kostenvorteil des Diesels und damit seine Marktchancen gefährden. Raffinerien sind auf Grund der typischen Zusammensetzung der Rohöle und aus produktionstechnischen Gründen darauf angewiesen, sowohl Otto- als auch Dieselkraftstoffe in einem bestimmten Verhältnis zu produzieren. Jede Verschiebung des

OK-DK-Verhältnisses bedeutet ein großes Problem bei der Herstellung.

Auf Grund dieser Zusammenhänge stellt die Herstellung von Dieselkraftstoffen einen Balanceakt zwischen vielfältigen gegensätzlichen Anforderungen und Zwängen dar. Dieses wird u. a. bei der Festlegung der Qualitätsnorm berücksichtigt, in der die Mindestanforderungen an den Dieselkraftstoff festgelegt werden, damit er im Bereitstellungssystem und bei der Anwendung im Motor keine Probleme verursacht.

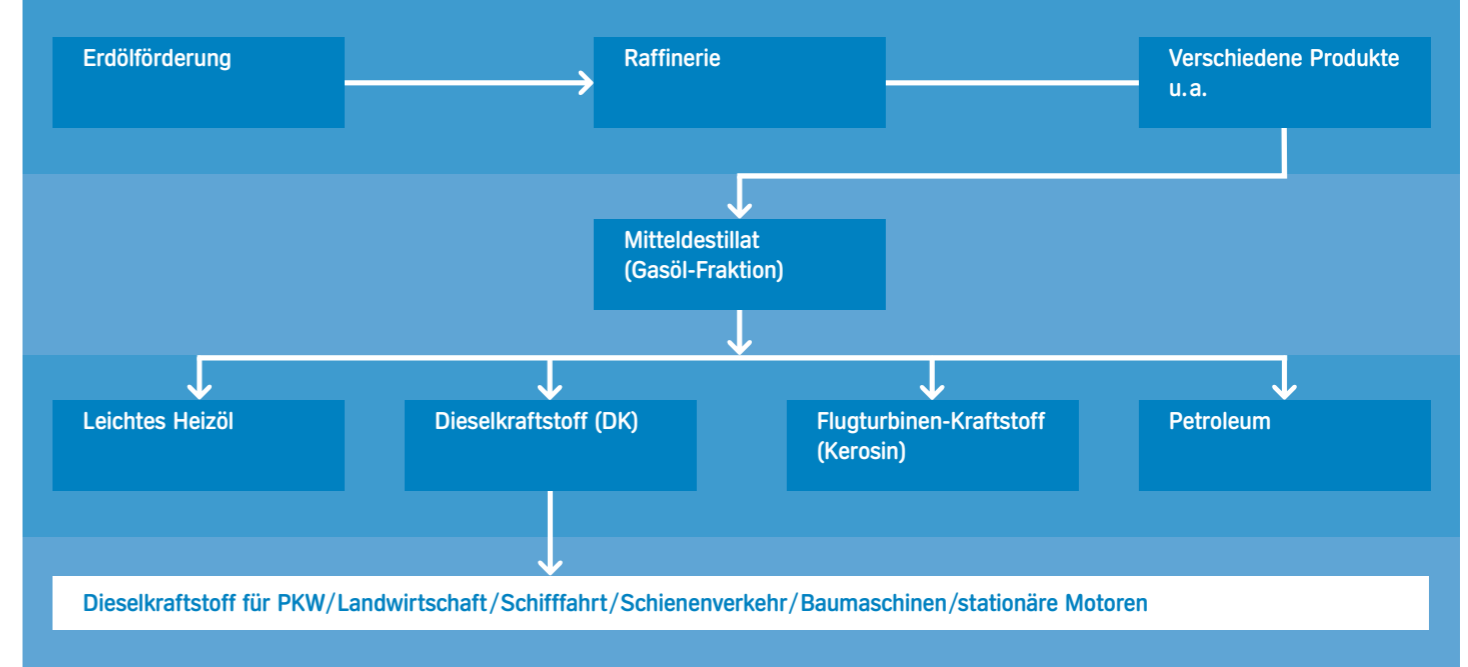
Über diese genormten Mindestanforderungen hinaus kann man heute auch beim Diesel, ebenso wie beim Ottokraftstoff, eine höhere Qualitätsstufe herstellen, die schärfere und zusätzliche Anforderungen zur Verbesserung der anwendungstechnischen Eigenschaften und des Umweltschutzes erfüllt.

2

### Produktionsanforderungen und Anwendungstechnik im Widerspruch

Kennwert	Forderung an Produktion	Vorteile	Nachteile
Paraffin-Anteil	Hoch	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hohe Zündwilligkeit</li> <li>• Niedrigere Abgasemission</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schlechteres Kälteverhalten</li> <li>• Höhere Herstellungskosten</li> </ul>
Dichte	Niedrig	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Niedrigere Abgasemission</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Niedrige Motorleistung</li> <li>• Verbrauchsanstieg</li> <li>• Niedrigere Rohölausbeute/höhere Herstellungskosten</li> </ul>
Siedende	Niedrig	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Niedrigere Abgasemission</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Niedrigere Rohölausbeute/höhere Herstellungskosten</li> <li>• Einstellung Kältefestigkeit problematisch</li> </ul>
Anteil Crackkomponenten	Niedrig	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hohe Zündwilligkeit</li> <li>• Gute Alterungsstabilität</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Raffineriestruktur fordert höheren Einsatz</li> <li>• Höhere Herstellungskosten</li> </ul>
Schwefelgehalt	Niedrig (mehr hydrieren)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Niedrigere SO<sub>2</sub>- und Sulfat-Emission</li> <li>• Bessere Abgasnachbehandlung</li> <li>• Weniger Korrosion</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Niedrigere Rohölausbeute/höhere Herstellungskosten</li> <li>• Risiko: Einfluss auf Schmierfähigkeit</li> </ul>
Aromaten – Polyaromatengehalt	Niedrig	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Niedrigere Abgasemission</li> <li>• Geringere Düsenverkockung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Niedrigere Rohölausbeute</li> <li>• Höhere Herstellungskosten</li> <li>• Verbrauchsanstieg</li> <li>• Verlust an Motorleistung</li> </ul>
Bandbreite der Kennwerte	Klein	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erleichterung Motorabstimmung/weniger Unterschiede in Anwendung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Niedrigere Rohölausbeute/höhere Herstellungskosten</li> </ul>

### Entstehung von Dieselkraftstoff



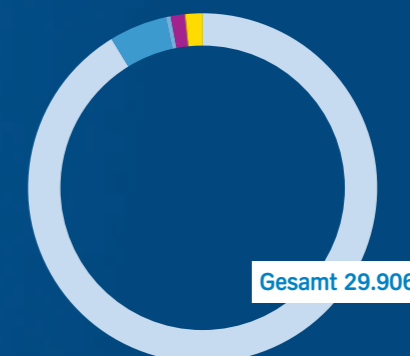




### Sektoraler Verbrauch von Dieselkraftstoff 2008 (in 1000 Tonnen)

- 27267 Straßenverkehr
- 1600 Landwirtschaft
- 133 Schifffahrt und Fischerei
- 380 Schienenverkehr
- 30 Militärverbrauch
- 496 Stationäre und ortsbewegliche Motoren sowie nicht motorische Zwecke

Quelle: MWV





# Kraftstoffe mit Charakter

## Eigenschaften und Kennwerte des Dieselkraftstoffs

Die Mindestanforderungen für Dieselkraftstoff sind in der auch für Deutschland geltenden europäischen Norm EN 590 festgelegt. In der nebenstehenden Tabelle sind die Kenndaten zusammengefasst und ihre Bedeutung für die Praxis wird erläutert. Im Folgenden wird auf die wichtigsten Kennwerte näher eingegangen.



Viele detaillierte Analysen an Kraftstoffproben sind unverzichtbar, um die Produktqualität und die Einhaltung aller Normenvorgaben sicherzustellen.

3

### Dichte – der Leistungsträger im Tank.

Mit zunehmender Dichte erhöht sich der Energiegehalt je Volumeneinheit. Bei gleichem Einspritzvolumen steigt mit zunehmender Dichte also die dem Dieselmotor zugeführte Energie, wodurch der Motor mehr Leistung abgibt. Unter Vollastbedingungen würde dann aber auch das Kraftstoff-Luft-Gemisch „angefettet“, wodurch der Motor mehr unerwünschte Partikel emittiert. Dagegen nimmt mit abnehmender Dichte der volumetrische Kraftstoffverbrauch zu.

Um diese Gegensätze im Rahmen zu halten, wünschen die Motorenhersteller eine Einengung des nach Norm zulässigen Dichtebereiches von 820 bis 845 kg/m<sup>3</sup>. Dieses begrenzt aber insbesondere den Einsatz der prinzipiell schweren Crackkomponenten, die bei der Produktion anfallen. Damit wird die Verfügbarkeit von Dieselkraftstoff deutlich eingeschränkt und die Herstellkosten werden steigen.

Ein Ausweg aus diesem Zielkonflikt ist z. B. die Einführung eines Dichtesensors durch die Fahrzeughersteller, der die produktionstechnisch und ökonomisch bedingten Dichteschwankungen im Fahrzeugtank erkennt und bei der Kraftstoffdosierung entsprechend berücksichtigt.

### Zündwilligkeit – Voraussetzung für das Dieselpinzip.

Wenn Kraftstoff im Dieselmotor in die verdichtete heiße Luft eingespritzt wird, erfolgt die Entzündung und Verbrennung erst nach einer gewissen Zeit. Diese Zeit zwischen Einspritzen und Selbstzündung des Kraftstoffes wird als Zündverzögerung bezeichnet. Der Zündverzögerung ist abhängig von der Konstruktion des Motors, den Betriebsbedingungen und besonders von der Zündwilligkeit des Kraftstoffes. Das Maß für Zündwilligkeit eines Dieselkraftstoffes ist die Cetanzahl. Die Cetanzahl ist der in Volumenprozent

ausgedrückte Anteil an Cetan in einer Mischung aus Cetan (paraffinischer Kohlenwasserstoff) und Alpha-Methylnaphthalin (aromatischer Kohlenwasserstoff), die bei den gewählten Versuchsbedingungen in einem Prüfmotor denselben Zündverzögerung ergibt wie der zu prüfende Dieselkraftstoff.

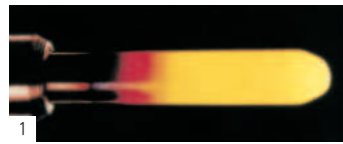
Es können zwei verschiedene Motoren zur Cetanzahlbestimmung verwendet werden, wobei der BASF-Motor um 1,2 Cetanzahlen höher bewertet als der CFR-Motor. Die in der Norm angegebene Mindest-Cetanzahl von 51,0 bezieht sich auf die Messung mit dem international verbreiteteren CFR-Prüfmotor. Ergebnisse aus dem BASF-Motor müssen daher für Vergleiche umgerechnet werden.

Als Orientierung für die Zündwilligkeit kann auch der Cetanindex herangezogen werden, ein Rechenwert aus Dichte und Siedeverlauf. Berücksichtigt wird bei dieser Berechnung allerdings nicht die Cetanzahlerhöhung, die durch Zündbeschleuniger erreicht werden kann. Solche Zündbeschleuniger werden bereits in den Raffinerien bei der Produktion von Dieselkraftstoff oder aber zusammen mit Additiven bei der Beladung von Tankwagen mit Dieselkraftstoff zugegeben.

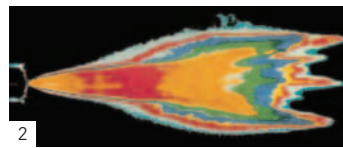
Die Cetanzahl hat für die Güte des Verbrennungsablaufs im Dieselmotor entscheidende Bedeutung. Je höher die Cetanzahl, umso besser ist dessen motorisches Verhalten. Neben Einflüssen auf das Start- und Abgasverhalten macht sich die Zündwilligkeit auch im Verbrennungsgeräusch bemerkbar. Ist der Zündverzögerung zu hoch, z. B. durch eine zu niedrige Cetanzahl, verbrennt ein Großteil des eingespritzten Kraftstoffes erst spät und schlagartig, das dieseltypische laute Verbrennungsgeräusch („Nageln“) wird deutlich härter und somit hörbarer.

## DIN-Normen – Kennwerte von Dieselkraftstoff und ihre Bedeutung (Auszug)

Kennwert	Einheit	Anforderungen nach Norm	Einfluss auf Fahrbetrieb
Dichte bei 15 °C	kg/m <sup>3</sup>	820 – 845	Abgas, Verbrauch, Leistung
Zündwilligkeit Cetanzahl Cetanindex		min. 51,0 min. 46,0	Verbrennungsverhalten, Startverhalten, Abgas- und Geräuschemissionen
Destillation % (v/v) aufgefangen bei 250 °C bei 350 °C 95-%-Punkt	% (v/v) % (v/v) °C	< 65 min. 85 max. 360 °C	Abgas, Ablagerungsbildung
Viskosität (40 °C)	mm <sup>2</sup> /s	2,00 – 4,50	Schmierung
Flammpunkt	°C	über 55	Sicherheit, Schmierung
Grenzwert der Filtrierbarkeit (CFPP) +15.04 – 30.09. +01.10. – 15.11. +16.11. – 28.(29).02. +01.03. – 14.04.	°C °C °C °C	max. 0 max. –10 max. –20 max. –10	Betrieb bei niedrigen Temperaturen
Schwefelgehalt	mg/kg	max. 10,0	Korrosion, „Partikel“-Emissionen
Koksrückstand	% (m/m)	max. 0,30	Rückstände im Brennraum
Aschegehalt	% (m/m)	max. 0,01	Rückstände im Brennraum
Wassergehalt	mg/kg	max. 200	Korrosion
Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe	% (m/m)	max. 11	Emissionen
Lubricity (WSD 1,4) bei 60 °C	µm	max. 460	Verschleiß
Fettsäure-Methylestergehalt (FAME)	% (v/v)	max. 5 DIN EN 590 (B5) max. 7 DIN 51628 (B7)	Verschleiß, Lagerfähigkeit, Korrosion
Oxidationsstabilität	[h]	min. 20	Ablagerungsbildung, Düsensauberkeit

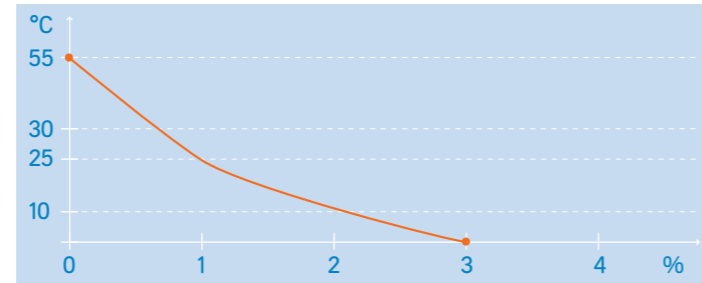


**Bild 1** Dieselmotoren benötigen beim Kaltstart eine Vorwärmung. Dazu werden heute moderne Glühkerzen eingesetzt.

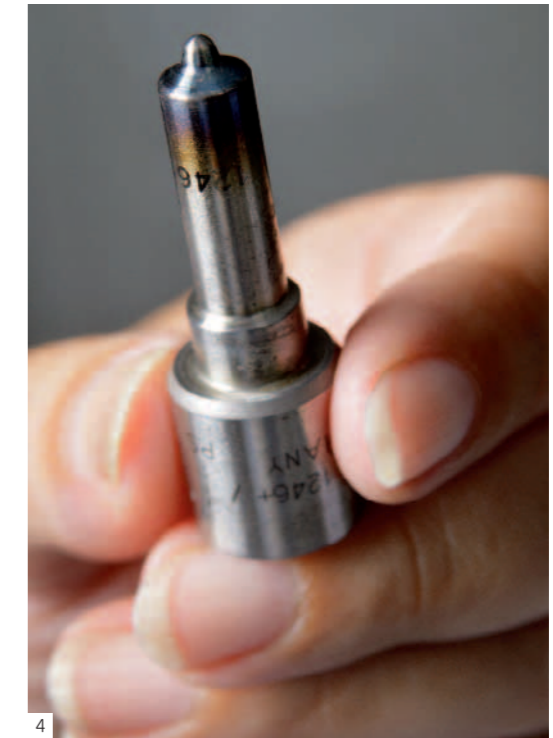
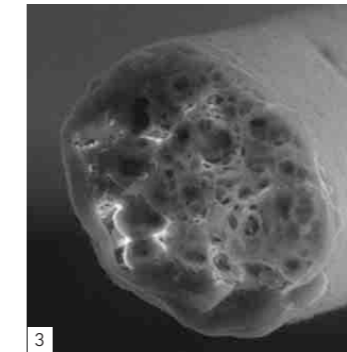
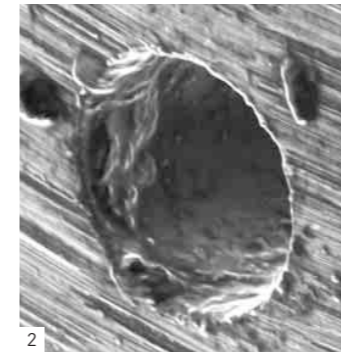


**Bild 2** Einspritzstrahl mit Zonen gleicher Kraftstoffverteilung. Die äußere, fein zerstäubte Zone entscheidet mit über den Zündverzug.

Flammpunkt über OK-Anteil



Selbst geringe Anteile an Ottokraftstoff verschlechtern die Flammpunktwerte eines gerade noch der Dieselnorm genügenden Dieselkraftstoffs sehr deutlich.



**Bild 1** Tausendfache Vergrößerung durch das Rasterelektronenmikroskop.

**Bild 3** Zum Vergleich ein menschliches Haar.

**Bild 2** Bohrung (Einspritzloch) in 1.250-facher Vergrößerung.

**Bild 4** Die Bohrungen in der Kuppe der Einspritzdüse sind mit bloßem Auge nicht erkennbar.

### Schwefel – eine natürliche, aber unerwünschte Begleitsubstanz.

Der aus dem Erdöl stammende Schwefelanteil im Dieselkraftstoff wird bei der Verbrennung in Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>) und schwefelige Säuren sowie Salze (Sulfate) umgewandelt. Dieses wirkt sich ungünstig auf das Korrosionsverhalten und die Abgasemissionen aus.

Während der Dieselkraftstoff-Beitrag zur gesamten SO<sub>2</sub>-Emission durch drastische Entschwefelungsmaßnahmen der Raffinerien nicht mehr als Problem gesehen wird, steht der Einfluss des Schwefels auf die als „Partikel“ definierten Abgasbestandteile im Vordergrund. Im Abgas von Dieselmotoren treten auch die als krebserregend angesehenen Rußpartikel und polycyclische aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAH) auf. Entsprechend der Analysenvorschrift werden aber nicht nur diese kritischen Substanzen als „Partikel“ erfasst, sondern auch die aus dem Schwefel gebildeten Sulfate und das daran angelagerte Wasser. Nur dieser Anteil kann durch eine Entschwefelung des Dieselkraftstoffs weiter reduziert werden. Durch die vorgeschriebene Senkung des Schwefelgehalts von max. 350 mg/kg (Grenzwert seit 2000) über 50 mg/kg (Grenzwert seit 2005) auf nun maximal 10 mg/kg (ab 2009) wurden die als Partikel definierten Emissionen der Fahrzeuge weiter reduziert. Die in einigen Veröffentlichungen genannte Partikelmassenreduktion von 90 % kann durch aktuelle Messungen nicht bestätigt werden. In Deutschland wurden Kraftstoffe, deren Schwefelgehalt über 50 mg/kg liegt, seit dem 01.11.2001 höher besteuert. Seit 2003 wurde diese „Strafsteuer“ erhoben, wenn der Schwefelgehalt höher als 10 mg/kg lag.

Nach der inzwischen gesetzlich fixierten Definition gelten Kraftstoffe als „schwefelarm“, wenn der Schwefelgehalt unter 50 mg/kg liegt (gebräuchlich ist dafür auch die Angabe max. 50 ppm). Als „schwefelfrei“ gelten Kraftstoffe mit max. 10 ppm Schwefel.

Die Einführung schwefelfreier Dieselkraftstoffe wurde von der Fahrzeugindustrie als Voraussetzung für die erforderlichen hochwirksamen Abgasnachbehandlungssysteme gefordert. Die o. g. steuerlichen Maßnahmen für Deutschland beschleunigen deren Einführung. Schon seit 2003 wurden daher in Deutschland ausschließlich schwefelfreie Dieselkraftstoffe angeboten, was gesetzlich erst zum 01.01.2009 erforderlich wurde.

### Siedeverhalten, Viskosität und Flammpunkt müssen sich in Grenzen halten.

Konventioneller Dieselkraftstoff beginnt bei etwa 160 °C zu verdampfen und ist bei etwa 370 °C vollständig verdampft. Diesem Siedeverhalten kommt beim Dieselkraftstoff nicht dieselbe Bedeutung zu wie beim Ottokraftstoff, da im Dieselmotor im Gegensatz zum Ottomotor die Aufberei-

tung des zündfähigen Gemisches praktisch direkt im Brennraum erfolgt. Für das Kaltstartverhalten ist eine gewisse Leichtflüchtigkeit von Vorteil. Ein überhöhter Anteil an Leichtsiedern hat jedoch eine Verdampfung des Dieselkraftstoffs unmittelbar an der Einspritzdüse des Motors zur Folge, wodurch eine richtige Verteilung des Kraftstoffs im Verbrennungsraum nicht mehr gewährleistet wäre. Ein zu großer Anteil an Hochsiedern, d. h. ein zu hohes Siedeende – insbesondere durch Aromaten und Polyaromaten – bewirkt eine Vergrößerung der Tröpfchen im Einspritzstrahl. Neben dem dadurch ausgelösten erhöhten Zündverzug ruft das schlechtere Verdampfungsverhalten auch eine verstärkte Neigung zur Rußbildung hervor.

Die Viskosität, auch Zähigkeit oder innere Reibung genannt, muss in einer bestimmten Spanne liegen, damit sowohl die von der Hochdruckpumpe aufgenommene Leistung begrenzt wird als auch das Zeitverhalten der Einspritzung exakt vorgegeben werden kann. Eine zu hohe Viskosität würde einen höheren Druck im Einspritzsystem erfordern und wegen steigender Tröpfchengröße im eingespritzten Kraftstoff eine schlechte Gemischbildung im Brennraum bewirken. Die Folge wäre eine verschlechterte Kraftstoffausnutzung, d. h. geringere Leistung und Erhöhung der Rußemissionen im Abgas. Die Viskosität nimmt im Allgemeinen mit steigender Dichte zu.

Zur Beurteilung der Feuergefährlichkeit und der daraus abzuleitenden Sicherheitsmaßnahmen im Lager- und Verteilungssystem ist der Flammpunkt von Dieselkraftstoff von Bedeutung. Der Flammpunkt ist die Temperatur, bei der sich in einem geschlossenen Tiegel die Kraftstoffdämpfe durch Fremdzündung erstmals entflammen lassen. Da Dieselkraftstoffe der gleichen Gefahrenklasse A III wie auch Heizöl zugeordnet sind, müssen sie einen Flammpunkt von über 55 °C aufweisen. Schon geringe Vermischungen mit Ottokraftstoffen, wie sie z. B. durch mangelnde Restentleerung der Tankwagen bei wechselweiser Ausfuhr von Otto- und Dieselkraftstoff entstehen können, führen zu Unterschreitungen dieses Grenzwertes.

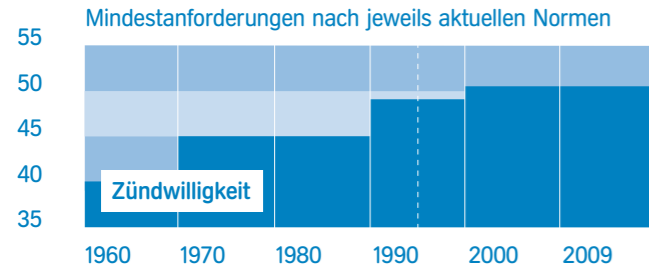
Neben der Entzündungsgefahr beim Betanken bewirken Ottokraftstoffbestandteile in Diesel auch eine drastische Verschlechterung von dessen Schmiereigenschaften. Während früher bei niedrigen Außentemperaturen die Zugabe von bis zu 20 % Normalbenzin durch den Autofahrer zur Verbesserung der Kältebeständigkeit von Fahrzeugherstellern empfohlen wurde, ist dies bei Fahrzeugen neuerer Generationen durch die Fahrzeughersteller untersagt. Die Nichteinhaltung dieses Verbots kann zu erheblichen Schäden am Einspritzsystem moderner Dieselmotoren führen.

**Kleine Tropfen große Wirkung.** Dieselmotoren haben ihre Leistungsfähigkeit in den letzten 15 Jahren vervielfacht. Einspritzdüsen mit Bohrungen, die dem Durchmesser eines menschlichen Haares nahekommen, machen die Leistungsexplosion möglich. Diese beeindruckende Technik funktioniert allerdings nur mit saubereren Qualitätskraftstoffen.

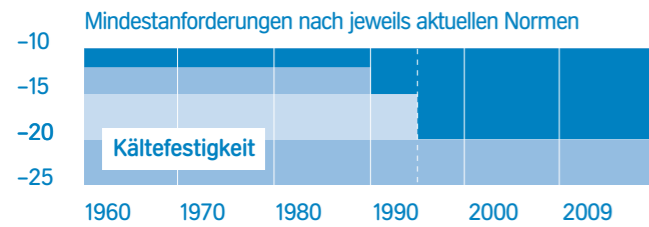


## Anforderungen an wichtige Qualitätskriterien wurden bereits deutlich verschärft.

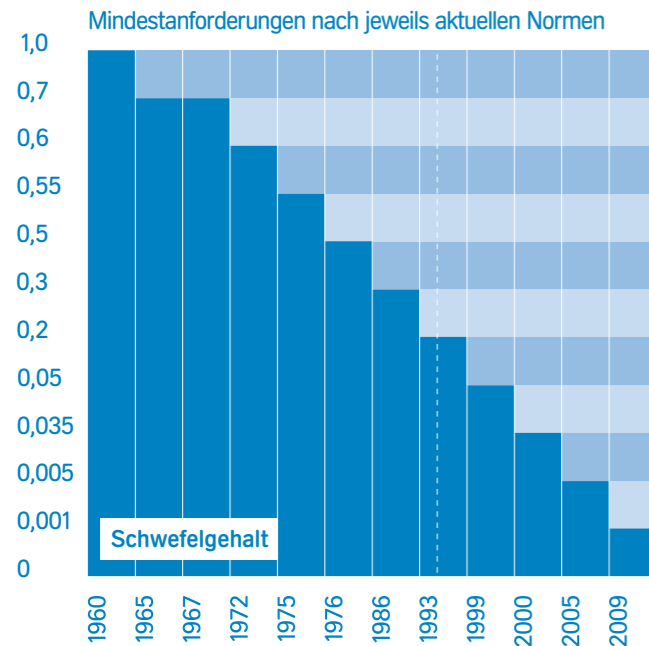
### Cetanzahl



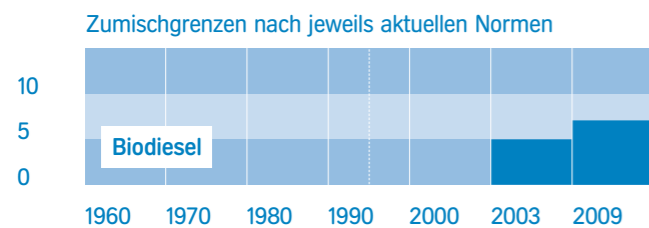
### CFPP (°C)



### Schwefelgehalt (in Gew.-%)



### Absoluter FAME-Anteil (vol %), Biodieselanteil



### Kälteverhalten – Winterhilfe durch Additive erforderlich.

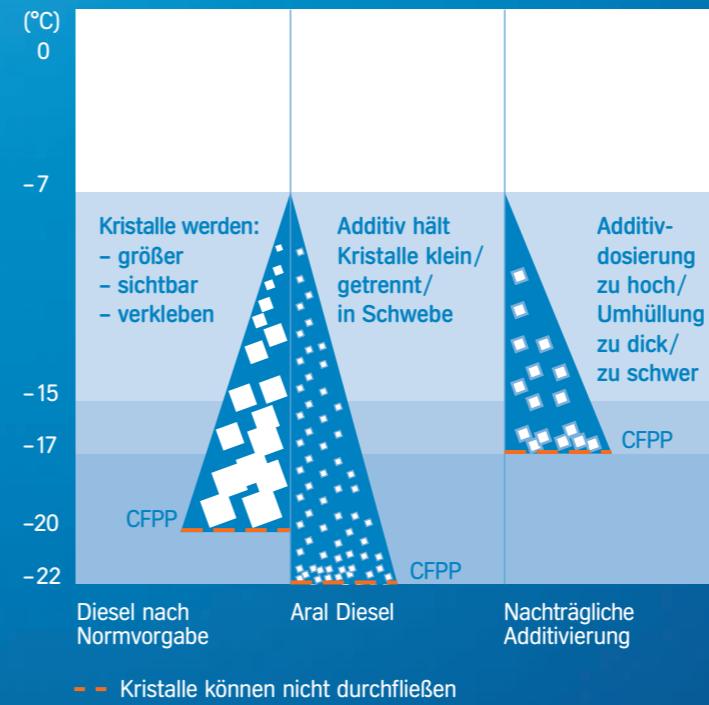
Die für den Dieselbetrieb auf Grund ihres guten Selbstzündverhaltens besonders geeigneten paraffinischen Kohlenwasserstoffe haben bei abnehmenden Temperaturen leider auch eine unerwünschte Eigenschaft: Sie bilden Wachskristalle. Diese fallen aus, ballen sich zu wachartigem „Gatsch“ zusammen, beeinträchtigen so die Pumpfähigkeit des Kraftstoffs und können Filter verstopfen. Wenn es so weit kommt, dass der Motor nicht mehr genügend Kraftstoff erhält, um die von ihm erwartete Leistung zu verrichten, wird die Kalt-Fahrbarkeitsgrenze unterschritten.

Diese Fahrbarkeitsgrenze wird von verschiedensten Faktoren beeinflusst, z.B. Außentemperaturen, Abkühlgeschwindigkeit, fahrzeugtechnische Merkmale, Fahrbedingungen und natürlich wesentlich durch die Kraftstoffeigenschaften und dessen „Vorleben“ im Lager- und Verteilungssystem. Leider kann man bisher den komplexen Einfluss der verschiedenen Faktoren auf die für die Praxis ausschlaggebende Fahrbarkeitsgrenze nicht in einem einzelnen Laborkennwert repräsentativ berücksichtigen. Deshalb bestimmen verantwortungsbewusste Kraftstoffanbieter nicht nur die in der Norm festgelegte Filtrierbarkeitsgrenze (Cold Filter Plugging Point = CFPP, siehe Grafik auf Seite 17 oben), sondern weitere Kennwerte, wie z.B. den sichtbaren Beginn der Paraffinausscheidung (Cloud Point = CP) bei verschiedenen Bedingungen. Durch Verknüpfung dieser und weiterer Kraftstoffkennwerte können Korrelationen mit der praxisrelevanten Fahrbarkeitsgrenze dargestellt werden, d.h. aus den entsprechenden Analysedaten eines gegebenen Dieselkraftstoffs kann dessen Fahrbarkeitsgrenze vorausgesagt werden.

Erfüllt diese berechnete bzw. im Fahrversuch ermittelte Fahrbarkeitsgrenze nicht den vom Kraftstoffanbieter angestrebten Wert, sind Veränderungen bei der Kraftstoffherstellung oder der Einsatz „maßgeschneiderter“ Additive in der Raffinerie mögliche Verbesserungsmaßnahmen. Als besonders effektiv hat sich eine Zugabe von Mitteldestillat-Fließverbesserern (MDFI) und „Wax Anti Settling Additiven“ (WASA) erwiesen. Fließverbesserer, die auf den jeweiligen Kraftstoff abgestimmt werden müssen, können die Größe der Wachskristalle von typischerweise 0,25 mm auf rund 0,03 mm verringern. Mit WASA ist nochmals eine deutliche Verkleinerung möglich. Dadurch werden das Absatzverhalten und das Zusammenballen weitgehend unterbunden, so dass sich WASA bereits im „Vorleben“ des Dieselkraftstoffs – d.h. im Lager- und Verteilungssystem – positiv auswirken kann.

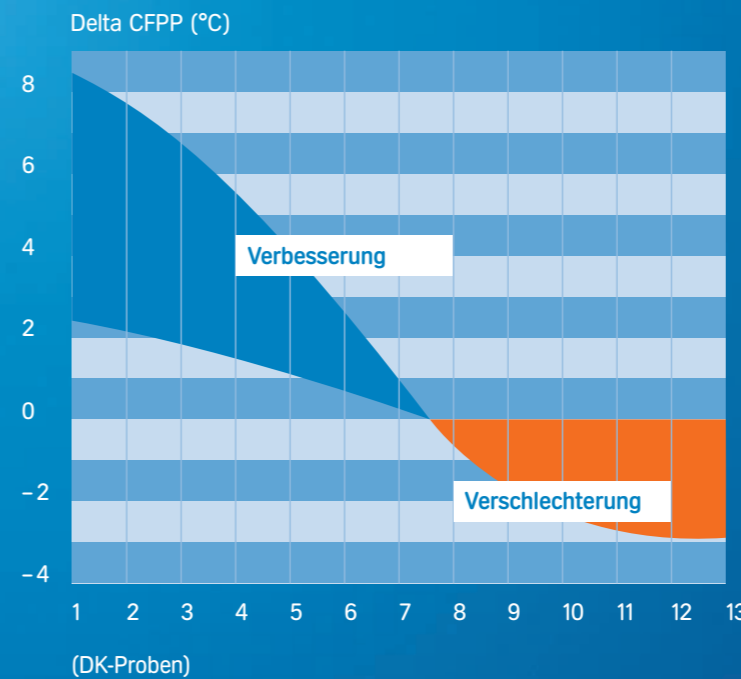
Durch die beschriebenen Maßnahmen in der Raffinerie wird das Kälteverhalten des Diesel-Winterkraftstoffs optimal eingestellt. Von einer nachträglichen Zugabe von im Handel angebotenen Additiven, um die Kälteeigenschaften noch weiter zu verbessern, ist unbedingt abzuraten. Neben der deutlichen Verteuerung des Kraftstoffes zeigen Versuche, dass zwar unter Umständen der Laborkennwert der Filtrierbarkeit, nicht aber die für den Kunden relevante Kaltfahrbarkeit eines Fahrzeugs verbessert wird. Schlechteres Praxisverhalten und beschleunigtes Absetzen der Paraffine mit negativen Auswirkungen auf den Fahrzeugbetrieb sind häufig die Folgen.

## Einfluss nachträglicher Fließverbesserer auf den CFPP unterschiedlicher Dieselkraftstoffe



Der Temperaturgrenzwert der Filtrierbarkeit kann durch die Zugabe von angepassten Additiven bei der Raffinerieproduktion abgesenkt werden. Bei der nachträglichen Zugabe solcher Additive ist die bestmögliche Wirksamkeit oft nicht gegeben, es kann sogar zu einer Verschlechterung gegenüber dem Ausgangszustand kommen.

## Änderung der Kaltfiltrierbarkeit durch nachträglich zugesetzte Additive



Die nachträgliche Zugabe von Additiven zur Fließverbesserung kann sogar dazu führen, dass sich die Filtrierbarkeit verschlechtert, wie sechs der 13 Kraftstoffproben belegen.

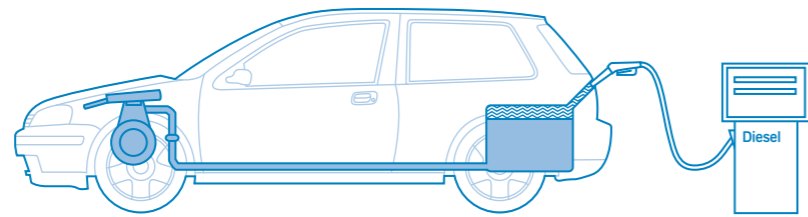


**Schmierfähigkeit – der Schutz vor Verschleiß an Pumpen und Düsen.**

Zur Herstellung von schwefelfreiem Diesel müssen inzwischen praktisch alle verwendeten Komponenten einer Entschwefelung zugeführt werden. Neben den positiven Auswirkungen auf die Emissionen hat die Reduzierung des Schwefelgehalts im Dieseldieselkraftstoff aber auch anwendungstechnische Nachteile. Es werden dabei gleichzeitig Bestandteile entfernt, die bisher die Schmierfähigkeit des Kraftstoffs sichergestellt haben. So zeigen sich an modernen Hochdruck-Einspritzpumpen, die nicht wie die über viele Jahrzehnte verbauten Reiheneinspritzpumpen durch Motoröl geschmiert werden, erhebliche Verschleißprobleme. Um den Schutz der empfindlichen Einspritzpumpen sicherzustellen, wurde das HFRR-Prüfverfahren (High Frequency Reciprocating Rig) entwickelt und ein entsprechender Grenzwert für einen maximal zulässigen Verschleiß in der Anforderungsnorm für Dieseldieselkraftstoff aufgenommen. Durch die Zugabe von Fettsäure-Methylestern, umgangssprachlich als Biodiesel bezeichnet, oder Schmierfähigkeits-Verbesserern halten heutige Dieseldieselkraftstoffe den Grenzwert für die Schmierfähigkeit (Lubricity) schon ab Raffinerie ein.

Marktrecherchen zeigen immer wieder, dass einige Anbieter nicht die erforderliche Sorgfalt beim Transport des Dieseldieselkraftstoffs bis in die Tankstelle walten lassen. So können Vermischungen mit Ottokraftstoffen auftreten, die die Schmierfähigkeit deutlich verschlechtern und so zu vorzeitigem Verschleiß oder gar zum Ausfall von Kraftstoffpumpen führen können.

Alle vom Kraftstoff berührten Bauteile müssen vor vorzeitigem Verschleiß geschützt werden, von der Kraftstoffförderpumpe im Tank bis zu Injektoren im Motor.



# Steigende Anforderungen – der Dieseldieselkraftstoff hält Schritt.

Die Mindestanforderungen der Dieseldieselkraftstoffnorm wurden im Laufe der Jahre ständig verschärft. Die auf Seite 16 beispielhaft dargestellten bisherigen Veränderungen für die Zündwilligkeit, Kältefestigkeit, Schwefelgehalt und FAME-Anteil zeigen nur einen Ausschnitt der Entwicklung, den die Dieseldieselkraftstoffe großer Markengesellschaften durchlaufen haben.

Über die Mindestanforderungen hinaus erfüllen die Aral Dieseldieselkraftstoffe noch schärfere und zusätzliche Anforderungen, z. B. hinsichtlich Kältefestigkeit und Additiveinsatz. Erst die Zugabe von so genannten Performance-Additiven durch die großen Markengesellschaften macht aus dem Grundkraftstoff, den die Raffinerien herstellen, einen marktfähigen und leistungsstarken Dieseldieselkraftstoff.

Nach wie vor wird die Weiterentwicklung des Dieselmotors vorangetrieben. Ziel ist es, jedes „Kraftstoffmolekül“ so vollständig wie möglich zu verbrennen und so neben der Verringerung von Emissionen und Verbrauch

auch noch Mehrleistung zu gewinnen. Nur durch den innigen Kontakt jedes Kraftstoffmoleküls mit der zur Verbrennung notwendigen Sauerstoffmenge kann die im Kraftstoff enthaltene chemische Energie vollständig ausgenutzt werden. Je feiner die Tröpfchen zerstäubt werden, desto besser verbrennen sie. Hierzu setzen die Motorenentwickler auf immer höhere Einspritzdrücke (derzeit 2200 bar) und präzisere Einspritzung mit frei programmierbaren Einspritzverläufen wie bei den modernen Common-Rail-Dieselmotoren. Heute werden meist Mehrloch-Einspritzdüsen mit 5 bis 10 feinsten Bohrungen eingesetzt, deren einzelne Durchmesser geringer als ein menschliches Haar sein können (siehe Foto Seite 15).

Seit Jahren fordert die weltweite Automobilindustrie (Europa, USA und Japan) weitere Verbesserungen in der Kraftstoffqualität und hat diese „Wünsche“ in der so genannten WWFC (World Wide Fuel Charter) zuerst im Jahr 2000 formuliert und seitdem ständig weiterentwickelt.

Mit der Einführung von Aral Ultimate Diesel in Deutschland zur Jahresmitte 2004 wurde weltweit erstmals ein Dieseldieselkraftstoff im Tankstellenmarkt angeboten, der alle geforderten Parameter der WWFC in der schärfsten Ausprägung (Category 4) einhält und zum Teil sogar deutlich übertrifft.

## Anforderungen der weltweiten Automobil-Industrie an Kraftstoffe: World-Wide Fuel Charter

Kategorie 1	Kategorie 2	Kategorie 3	Kategorie 4
Märkte mit keiner oder nur schwacher Emissionsanforderung: US Tier 0 und Euro	Märkte mit mittleren Anforderungen: z. B. US Tier 1 und Euro 2 bis 3	Märkte mit höherer Anforderung: z. B. US Cal. LEV/ULEV, Euro 3, JP 2005	Märkte mit State-of-the-Art-Anforderungen: z. B. US Tier, US Cal. LEV 2, Euro 4 ff.
<b>Marktbeispiele Emissionsanforderung</b>			
Afrikanische Staaten, Karibik, Jordanien, Pakistan	Serbien, Ukraine, Vereinigte Arabische Emirate, Katar, Südafrika, Indonesien, Malaysia, Vietnam	Albanien, Russland, Marokko, Indien, Iran, Peru	<b>EU, Nordamerika, Argentinien, Chile, Neuseeland, Australien, Japan, Südkorea</b>
<b>Zunahme der Anforderungen (Anzahl Parameter/Streng)</b>			

Quelle: ACEA





# Vorsorgen vermeidet Probleme

## Besondere Aspekte der Anwendungstechnik

Bei Lagerung und motorischem Einsatz des Dieseldieselkraftstoffs kann es zu Wechselwirkungen zwischen Umgebungs- und Fahrzeugbedingungen kommen, die gegebenenfalls negative Auswirkungen auf die Betriebsbereitschaft haben können. Die Kenntnis dieser Zusammenhänge kann helfen, Vorsorgemaßnahmen einzuleiten.

4

### Heiße Tipps für kalte Zeiten.

Die Kältefestigkeit ist den jahreszeitlichen Anforderungen entsprechend unterschiedlich. Die Kältefestigkeit des im Sommer ausgelieferten Dieseldieselkraftstoffs reicht nach Norm lediglich bis herunter zu 0°C. Ein solcher Kraftstoff kann natürlich zu Problemen führen, wenn man mit ihm im Herbst in höher gelegene Regionen fährt und das Fahrzeug bei Temperaturen unter 0°C längere Zeit abstellt. Ähnliches gilt auch für die Lagerung von Dieseldieselkraftstoffen: Es muss für einen rechtzeitigen Austausch der Sommerqualität gesorgt werden.

Insbesondere zu Beginn der kalten Jahreszeit kann es auch zu Betriebsstörungen kommen, die nicht mit der Kältefestigkeit des Diesels zusammenhängen. Es wird von Autofahrern häufig nicht berücksichtigt, dass durch die „Tankatmung“ Luftfeuchtigkeit anfällt, die sich im Tankboden als Wasser sammelt und dann in das weitere Kraftstoffsystem gelangen kann. Da Wasser bekanntlich bei 0°C gefriert, kann die Kraftstoffzufuhr bei niedrigeren Temperaturen durch Eispropfen behindert werden. Deshalb sollte man vor dem Winter darauf achten, dass die in der Regel vom Fahrzeughersteller vorgesehene Entwässerung des Kraftstofffilters durchgeführt wird. Dabei kann auch der Einsatz eines neuen Filters für den (folgenden) Winterbetrieb nützlich sein. Manche Dieselfahrer meinen es besonders gut, indem sie im Winter noch zusätzlich Fließverbesserer in ihren Fahrzeugtank geben. Hiervon ist aber dringend abzuraten, denn statt der erhofften Verbesserung des Kälteverhaltens kann sich diese Eigenschaft sogar verschlechtern. Das liegt u. a. daran, dass nicht jeder Dieseldieselkraftstoff auf Grund seiner individuellen Eigenschaften auf bestimmte Fließverbesserer „anspricht“. Die früher häufig von Fahrzeugherstellern empfohlene Beimischung von Petroleum oder gar Normalbenzin zum Diesel, um die Kälteeigenschaften zu verbessern, darf heute nicht mehr erfolgen. Die meisten Einspritzanlagen von Dieselmotoren der letzten

20 Jahre werden nur noch vom Kraftstoff geschmiert. Zusätze wie Petroleum oder gar Benzin verschlechtern die Schmierwirkung dramatisch. Gerade bei Fahrzeugen mit Hochdruck-Einspritzanlagen wären teure Schäden an der Einspritzpumpe und den empfindlichen Düsen vorprogrammiert.

### Probleme auch bei heißem Diesel?

Dieseldieselkraftstoff wird beim Fahrzeugbetrieb ständig umgepumpt und kann dabei durch die Erwärmung im Motorraum Tanktemperaturen von bis zu 100°C erreichen; dies nicht ohne potenzielle Folgen. Unter bestimmten Bedingungen können die im Diesel vorhandenen Komponenten relativ schnell „altern“. Ein solcher Alterungs- bzw. Oxidationsprozess wird durch hohe Temperaturen und durch die Anwesenheit von katalytisch wirkenden Metallspuren wie beispielsweise Kupfer beschleunigt. Bei der Alterung bilden sich schlammartige Rückstände („Sedimente“), die Filterverstopfung verursachen können. Deshalb sollten Fahrzeughersteller darauf achten, dass sich das Temperaturniveau im Kraftstoffsystem trotz konstruktionsbedingter Zwänge in Grenzen hält und auf die Verwendung von kupferhaltigen Buntmetallen in Kontakt mit Dieseldieselkraftstoff verzichtet wird. Hier sind Dichtungsringe aus Kupfer ebenso zu berücksichtigen wie die Kupferkommutatoren der elektrischen Kraftstoffpumpen, die durch Abrieb feinste Cu-Partikel in den Kraftstoff eintragen.

Der Anwender sollte den Kraftstoff nicht zu lange lagern, insbesondere nicht bei hohen Temperaturen. Rückstände aus thermisch hoch belastetem Dieseldieselkraftstoff können sich auch an Einspritzdüsen bilden und das Abspritzverhalten negativ beeinflussen. Hiergegen können bestimmte Additive (Detergentien), wie sie in allen additivierten Dieselsorten von Aral eingesetzt werden, helfen (siehe Kapitel 5). Diesel-Komponenten sind

nicht nur im Winter beim Autofahrer beliebt, auch andere Lebewesen halten viel davon. Bakterien, Pilze und Hefen finden zwischen der Kraftstoff- und der im Tanksystem u.U. vorhandenen Wasserphase einen hervorragenden Nährboden. Diese in geringem Maße stets vorhandenen Mikroorganismen können sich unter „günstigen“ Bedingungen so stark vermehren, dass es z.B. zu Filterverstopfungen kommt. Das kann am wirksamsten durch Entzug ihrer „wässrigen“ Lebensgrundlage verhindert werden. Von der Kraftstoffproduktion bis hin zum Fahrzeugtank muss daher für eine regelmäßige Entwässerung und Reinigung gesorgt werden.

Die zum Schutz der Einspritzanlagenbauteile insbesondere für moderne Motoren erforderliche Schmierwirkung des Dieseldieselkraftstoffs verringert sich mit zunehmender Temperatur durch den Viskositätsabfall. Der dabei auftretende Verschleiß an verschiedenen Pumpenbauteilen kann kritische Ausmaße erreichen. Wenn tief entschwefelte (schwefelfreie) Dieseldieselkraftstoffe verwendet werden, denen durch den Entschwefelungsprozess („Hydrierung“) zwangsläufig weitere Substanzen mit guter Schmierwirkung (Lubricity) entzogen wurden, können besondere Additive mit Lubricity-Effekt, wie sie heute im Einsatz sind, Abhilfe schaffen.

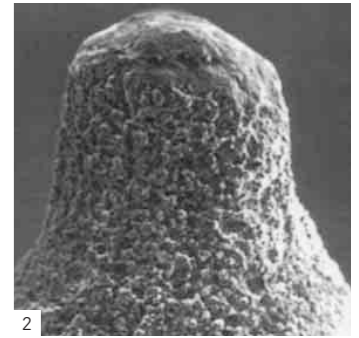
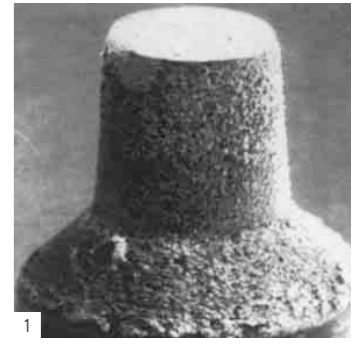
### Heizöl als Diesel – Steuerbetrug und schlechter Kraftstoff.

Heizöl EL (extra leicht) gehört wie Diesel zu den auch als Gasöl bezeichneten Mitteldestillaten. Da beide Gasöle in einigen Punkten ähnliche Eigenschaften haben, Heizöl aber im Verkauf billiger ist, wird immer wieder über die Verwendung von Heizöl im Dieselmotor nachgedacht. Dabei muss man es aber auch belassen, denn da Heizöl niedriger als Diesel besteuert wird, stellt der Einsatz als Kraftstoff eine Steuerhinterziehung dar. Aber auch auf Grund der Produkteigenschaften ist Heizöl EL für Dieselmotoren weniger geeignet, z.B. sind die Kältefestigkeit, die Lager-

### Ablagerungen an Düsenadeln

**Bild 1** Gute Sauberkeit nach 10 Stunden Prüflauf gemäß CEC-F23.

**Bild 2** Verkockte, durchsatzmindernde Nadel mit minderwertigem Dieseldieselkraftstoff.





# Biogene Dieselkomponenten

## Einsatz moderner nachwachsender Rohstoffe

Nie versiegende biogene Quellen anzapfen statt Erdöl zu nutzen – der Charme solcher Kraftstoffe besticht auf den ersten Blick. Dabei muss aber immer berücksichtigt werden, dass Dieselmotoren trotz aller Robustheit bezüglich der Betriebsstoffe empfindliche Aggregate sind. Es ist daher beim Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen für die Herstellung von Dieselmotoren oder Kraftstoffkomponenten auf die besonderen Anforderungen zu achten, die sich aus der Herstellung, der Lagerung, dem Transport und dem Einsatz im Kraftstoffsystem der Fahrzeuge ergeben.



5

Zu den bekanntesten Biokraftstoffen gehört sicherlich Biodiesel aus RME, also Rapsöl-Methylester. Alle Fettsäure-Methylester fasst man unter dem (englischen) Oberbegriff FAME zusammen. Die Bezeichnung FAME steht für Fatty Acid Methyl Ester, zu Deutsch: Fettsäure-Methylester. RME (Rapsöl-Methylester) ist der bekannteste Vertreter, aber auch SME (aus Sojaöl), AME (aus Altspeisefett), PME (aus Palmöl) oder CME (aus Kokosfett) fallen unter die Gruppe FAME, ebenso wie der Exot Lachsöl-Methylester, der beispielsweise in Norwegen als Kraftstoffkomponente genutzt wird. Aus dem jeweiligen Öl entsteht in einem relativ einfachen Verfahren der entsprechende Ester (siehe Grafik Seite 25, ganz oben).

Die Veresterung bezeichnet man als Verfahren der 1. Generation. Die für motorische Zwecke vorgesehenen FAME müssen so beschaffen sein, dass sie den Mindestvorgaben der europäischen Norm EN 14214 entsprechen. Dort sind unter anderem Vorgaben zur Reinheit, zur Viskosität und zum Restgehalt an Methanol und Glycerin gemacht, die im Endprodukt nur in kleinsten Spuren vorhanden sein dürfen. Durch die Veresterung wird aus den relativ zähflüssigen Ölen und Fetten ein Kraftstoff gebildet, der in der Viskosität ähnlich wie Dieselmotoren ausfällt. Die häufig zitierten Umweltvorteile bezüglich der Kohlendioxid-Bilanz sind unter Fachleuten nach wie vor umstritten. Zwar sind die Rohstoffe für FAME im Gegensatz zu Erdöl zweifelsfrei nachwachsend. Die Herstellung großer Mengen an Biokraftstoff bewirkt jedoch eine intensive Nutzung landwirtschaftlicher Flächen für den Anbau (teilweise unter Einsatz von Schädlingsbekämpfungsmitteln und starker Düngung). Die gesamten Energieeinsätze

für die Produktion der pflanzlichen Rohstoffbasis und die Verarbeitung verschlechtern die CO<sub>2</sub>-Bilanz von Biodiesel der 1. Generation leider deutlich. Auch bei intensiver Nutzung von Agrarflächen kann „Biodiesel“ nur begrenzt zur Verfügung gestellt werden. Mit heimisch produziertem Biodiesel lassen sich etwa 10% des heutigen Dieselbedarfs in Deutschland decken. Dieses und auftretende Probleme bei der Anwendungstechnik (Filterverstopfungen, Motorölverdünnung, Materialunverträglichkeiten, begrenzte Kältebeständigkeit etc.) sind nur einige der Gründe, die 2003/2004 gegen einen bundesweite Einführung sprachen.

Statt wenige, ausgewählte Fahrzeuge mit speziell angepassten Kraftstoffsystemen mit reinem Biodiesel zu betreiben, wurde entschieden, stattdessen einfach herkömmlichen Dieselmotoren mit einem gewissen Anteil an Biodiesel auszustatten. Das Zumischen von FAME zu Dieselmotoren wird seit 2004 in Deutschland erfolgreich vorgenommen. Die Bestrebungen in Europa und speziell in Deutschland, den Anteil an Biokraftstoffen und deren Verwendung als Mischkomponente auszuweiten, um so die CO<sub>2</sub>-Bilanz zu verbessern und die Abhängigkeit vom Erdöl zu verringern, nahmen weiter zu. Deutschland hat daher eine nationale Norm erarbeitet (DIN 51628), die den Einsatz von bis zu 7,0 vol.-% FAME erlaubt (B7-Diesel).

Mit der Änderung der 10. Bundesimmissionsschutzverordnung (10BImSchV) wurde der Verkauf von B7 Diesel vom 01.02.2009 an zur Erfüllung der Vorgaben des Biokraftstoffquotengesetzes (BiokraftQuoG) möglich.

Modernste Techniken zur Produktion von dieselmotortypischen, aber eben nicht aus Rohöl hergestellten Produkten nutzen die ganze Pflanze energetisch aus, nicht nur die Ölsaaten. So kann der Energieertrag pro Flächeneinheit in der Landwirtschaft deutlich erhöht werden. Basis dieser Biokraftstoffe der 2. Generation sind Verfahren, bei denen aus einer Gasphase über einen besonderen Prozess maßgeschneiderte Kohlenwasserstoffketten synthetisiert werden (Fischer-Tropsch-Verfahren). Die dabei produzierten BTL-Produkte (Biomass to Liquid) stellen aus Ganzpflanzen verflüssigte Energieträger dar. Dabei kann eine große Vielfalt an Pflanzenmaterial wie Grasschnitt, Stroh, Heu, Schilf, Holzabfälle, ja sogar Algen genutzt werden. Die Entwicklung dieser heute noch futuristisch anmutenden Kraftstoffe wird weltweit mit Hochdruck betrieben. Bisher konnte aber noch keine großtechnische Anlage dargestellt werden, die die hohen Erwartungen an BTL erfüllt und gleichzeitig wirtschaftlich betreibbar ist (siehe Grafik Seite 25). Die entstehenden Endprodukte decken einen großen Siedebereich ab, neben den für Dieselmotoren erforderlichen BTL im Siedebereich zwischen 150 und 350 °C entsteht auch BTL-Naphtha, das bevorzugt für Ottokraftstoff Verwendung findet. Der Prozess soll letztlich auch so steuerbar sein, dass auch Komponenten im Siedebereich zwischen 120 und 210 °C synthetisiert werden können, was genau den Siedebereich von Kerosin abdeckt. Auch für die Luftfahrt wird intensiv nach einem Kraftstoffprodukt gesucht, das den Kriterien bezüglich des Einsatzes von nachwachsenden Rohstoffen genügt und gleichzeitig alle anwendungstechnischen Vorgaben bezüglich Betriebssicherheit erfüllt.

Als Zwischenschritt hin zur Ganzpflanzennutzung kann das Pflanzenöl aber auch in einem Raffinerieverfahren ähnlich wie ein fossiles Rohöl behandelt werden. In einem aufwendigen Verfahrensschritt wird das sehr langkettige Öl unter hoher Temperatur (etwa 400 °C) und unter Zugabe von Wasserstoff an einem Katalysator in viele kurze Ketten zerlegt. Es entsteht so ein dieseltypischer Paraffinschnitt, der in einer nachgeschalteten Isomerisierungsanlage noch so verändert wird, dass sich gute Kälteeigenschaften einstellen. Solche Produkte nennt man hydrierte Pflanzenöle (HVO), die exquisite Eigenschaften wie eine sehr hohe Cetanzahl und Energiedichte besitzen, allerdings nur eine geringe Dichte. Als Zumischbestandteil in herkömmlichen Dieselmotoren können sie aber zu einer Verbesserung des Gesamtprodukts beitragen. HVO stellt eine zusätzliche Stufe der nachwachsenden Kraftstoffe zwischen der 1. Generation (Biodiesel) und der 2. Generation (BTL) dar und wird heute teilweise schon großtechnisch eingesetzt.

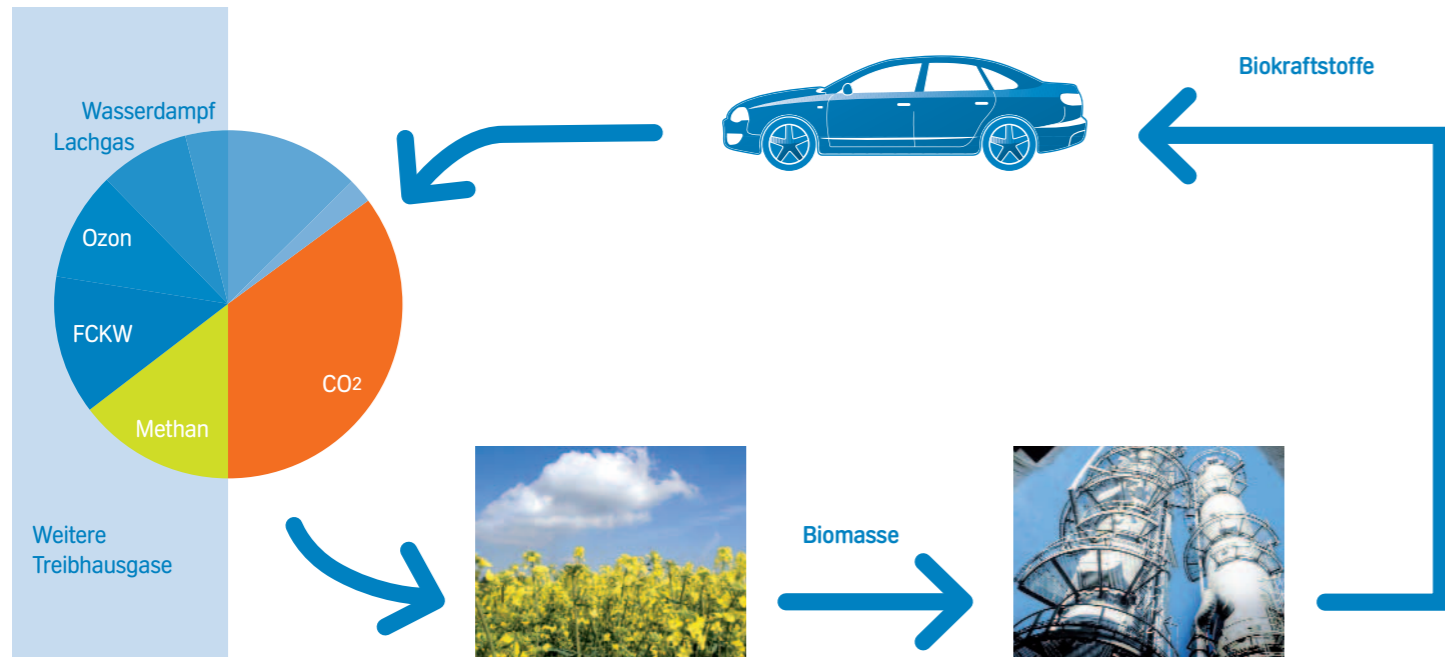


Die Grafik auf Seite 25 zeigt auch die Verfahrensschritte zur Produktion von Bioethanol. Dieser Alkohol kommt aber auf Grund seiner physikalischen und anwendungstechnischen Eigenschaften in Ottokraftstoffen zum Einsatz. Die Grafik zeigt den Produktionsablauf der alkoholischen Vergärung von stärkehaltigen Pflanzenteilen. Der entstehende Alkohol muss so weit aufkonzentriert werden, bis er den Mindestvorgaben der Norm EN 15376 entspricht. Bioethanol ist exakt jener Alkohol, der auch in alkoholischen Getränken wie beispielsweise Bier, Wein und Korn enthalten ist. Auch dort wird die alkoholische Gärung genutzt, bei der entsprechend geeignete Mikroorganismen (Bakterien, Hefen) die Stärke bzw. den Zucker in Alkohol umwandeln. Bei Verwendung von Bioethanol für motorische Zwecke muss die Ethanolkonzentration allerdings mindestens 98,7% betragen.

Bioethanol bringt eine sehr hohe Klopfestigkeit mit (ROZ etwa 115), hat allerdings auch nur etwa 2/3 der volumetrischen Energiedichte von klassischem Ottokraftstoff. Für Dieseldieselkraftstoff wird auch immer wieder propagiert, ihn mit Bioethanol zu versetzen. Allerdings hat man neben dem extrem schlechten Selbstzündungsverhalten auch mit dem Sicherheitsrisiko des niedrigen Flammpunktes zu kämpfen. Gleichzeitig verändern sich die Explosionsgrenzen so deutlich, dass eine Verpuffung der Gasphase im Tank nicht ausgeschlossen werden kann. Ohne massive technische Veränderungen auf der Kraftstoff-Systemseite kann daher der Einsatz von Bioethanol im Dieseldieselkraftstoff nicht vorgenommen werden.

Eine weitere biogene Kraftstoffkomponente steht in Form von Biomethan zur Verfügung. Die Grafik auf der nächsten Seite zeigt den Produktionsablauf, an dessen Ende ein brennbares Gas verfügbar ist, welches in speziell angepassten Motoren verwendbar ist. Dieses Biomethangas kann entweder für die Verstromung in dezentralen Blockheizkraftwerken eingesetzt werden (in großen Verbrennungsmotoren), für den Antrieb von Erdgasfahrzeugen genutzt oder in das bundesweite Erdgasnetz eingespeist werden. So kann ein Teil des rein fossilen Erdgases durch eine hochwertige biogene Komponente ersetzt werden. Hauptsächlich wird Methan (ob Erdgas oder aus Biogas) zwar in Ottomotoren eingesetzt. Allerdings laufen auch Versuche, die von Dieselmotoren angesaugte Verbrennungsluft zum Teil durch Methan zu ersetzen und gleichzeitig die eingespritzte Dieselmenge um einen entsprechenden Anteil zu reduzieren. Im so genannten Diesel-Zündstrahlverfahren dient der flüssige Dieseldieselkraftstoff so als Zündquelle des angesaugten Luft-Gas-Gemischs und als Energielieferant, ein wesentlicher Teil der Energiezufuhr (derzeit bis zu 40%) stammt aber aus dem Gas. Mit Autogas (=LPG) wird das Verfahren für Dieseldiesel-LKWs heute schon angeboten. Die Nutzung von Biomethan erfordert deutlich mehr Systemtechnik (hoher Speicherdruck etc.) im Fahrzeug, eröffnet aber den Schritt zum Einsatz nachwachsender Rohstoffe.

### Bio im Tank schützt unser Klima vor Treibhausgasen. Prinzipieller CO<sub>2</sub>-Kreislauf von Biokraftstoffen:

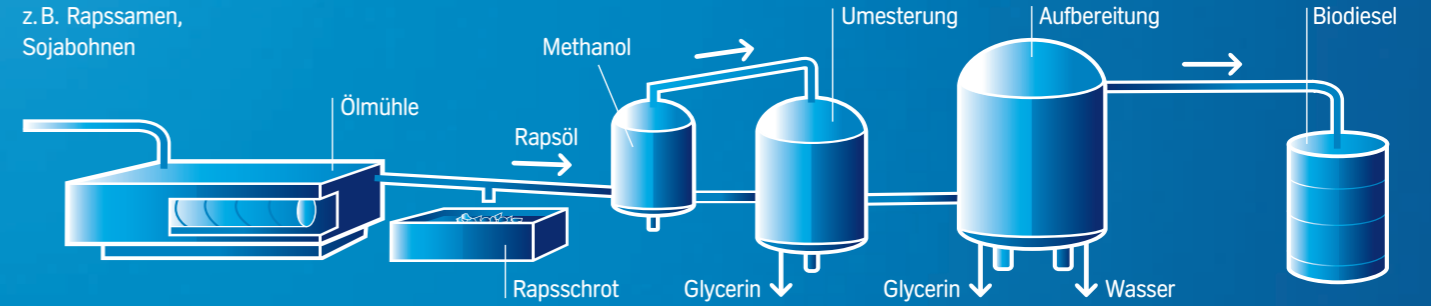


Fossile und Biokraftstoffe produzieren beide das Treibhausgas Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>).  
Aber: Pflanzen haben für ihr Wachstum so viel CO<sub>2</sub> aus der Luft entnommen, wie sie bei ihrer Verbrennung als Kraftstoff wieder abgeben.

### Für die Produktion von Biokraftstoffen gibt es derzeit verschiedene Verfahren. In diesem Schaubild werden einige gängige Produktionsmodelle vorgestellt.

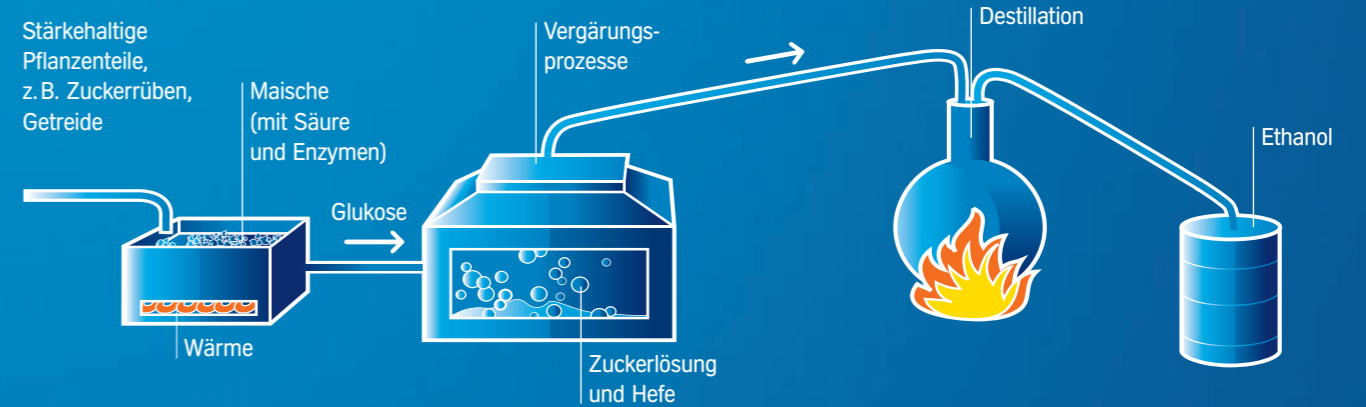
#### Biodiesel

Ölhaltige Früchte,  
z. B. Rapsamen,  
Sojabohnen



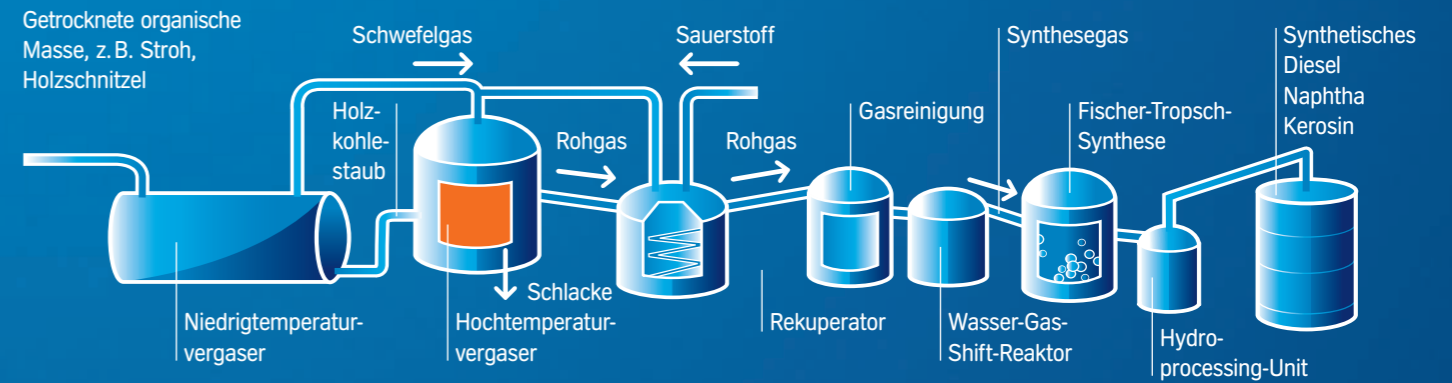
#### Bioethanol

Stärkehaltige  
Pflanzenteile,  
z. B. Zuckerrüben,  
Getreide



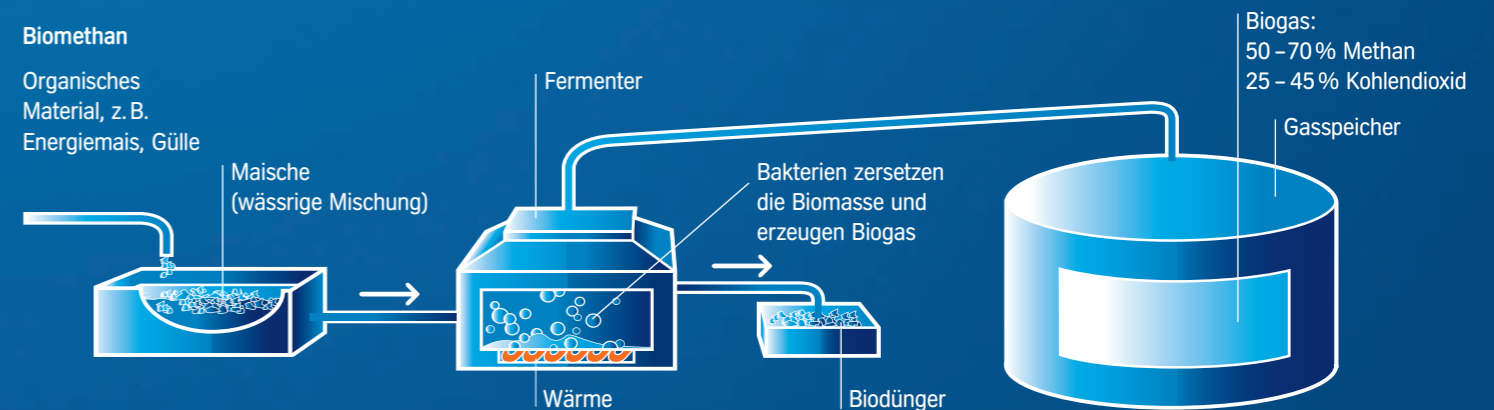
#### Biomass to Liquid

Getrocknete organische  
Masse, z. B. Stroh,  
Holzschnitzel



#### Biomethan

Organisches  
Material, z. B.  
Energimais, Gülle





# Von Zündbeschleunigern und Schaumbremsern

## Leistungsspektrum der Additive

Ebenso wie bei Ottokraftstoff können auch beim Dieselkraftstoff eine Reihe von Eigenschaften durch den Zusatz von Additiven beeinflusst werden.

6

Die Entwicklung neuer, auf die aktuellen Motoren abgestimmter Additive ist eine wichtige Aufgabe der Forschung und Entwicklung der Mineralölgesellschaften. Prinzipielle Aussagen zur Additivierung, wie sie auch für Ottokraftstoffe unter [www.aral-forschung.de](http://www.aral-forschung.de) aufgeführt werden, gelten ebenso für die Diesel-Additivierung. Allerdings stehen für Dieselkraftstoff mehr Typen als für Ottokraftstoffe zur Verfügung, was auch ein gewisser Maßstab für die Komplexität dieses Produktes ist. Sie leisten einen wichtigen Beitrag dazu, dieselspezifische Probleme – wie Geräuschemission und die sichtbaren Abgasemissionen – weiter zu verringern. Durch geeignete Auswahl und Abstimmung wirksamer Additive ist eine signifikante Verbesserung der Diesel-Grundqualität möglich, als Beispiel kann der seit 1987 von Aral angebotene Dieselkraftstoff dienen. Auch andere Wettbewerber haben vor Jahren nachgezogen und bieten additivierete Dieselkraftstoffe an. Je nach Firmenphilosophie werden dazu unterschiedlich zusammengesetzte Additivpakete dem Grundkraftstoff bei der Tankwagenbeladung zugegeben. In der Regel enthalten diese Pakete Wirksubstanzen zur Verbesserung des Selbstzündverhaltens, für saubere Einspritzdüsen, für einen wirksameren Korrosionsschutz sowie für weniger Schaumbildung beim Tanken. Aber auch Aromastoffe und Verschleißschutz-Additive sind im Einsatz. Geringere Geräuschemission, weniger Rauch- und Partikelemission, weniger Kohlenmonoxid und unverbrannte Kohlenwasserstoffe im Abgas sowie geringerer Verbrauch sind als prinzipielle Umweltvorteile zu nennen. Die Beeinflussung des Zerstäubungsverhaltens und damit ein verbessertes Brennverhalten zur Optimierung der Energieausbeute sind neueste Entwicklungen, die in der Performance-Additiven Einzugs gefunden haben. Zur Verbesserung des Kälteverhaltens werden dem Grundkraftstoff bereits bei der Herstellung so genannte Fließverbesserer – auch Flow-Improver genannt – insbesondere in der Wintersaison zugesetzt. Die Wirkungsweise dieser Additive

beruht im Prinzip darauf, das Wachstum der in der Kälte ausgeschiedenen Paraffinkristalle so zu lenken, dass sie klein bleiben. 1987 wurde diese Additivtechnologie um so genannte „Wax Anti Settling Additive“ (WASA) ergänzt, die zu noch kleineren Paraffinkristallen führen und diese so längere Zeit in der Schwebe halten können. Bereits seit längerer Zeit sind auch Additive bekannt, die die Rauchentwicklung im Abgas reduzieren sollen. Diese auf Mangan-, Barium- und Calciumbasis aufgebauten organischen Verbindungen haben sich jedoch aus vielerlei Gründen bis heute in der Praxis nicht durchsetzen können. Barium z. B. senkt die Partikelemission nicht ab, sondern wirkt nur als optischer Aufheller. Detergens-Zusätze können wirksam eine ausgeprägte Ablagerungsbildung an den Einspritzdüsen verhindern und die Sauberkeit im gesamten Kraftstoffsystem verbessern. Zur Verbesserung der Zündfähigkeit des Dieselkraftstoffs tragen Zündbeschleuniger bei, die durch Cetanzahl-erhöhung das Verbrennungsverhalten verbessern. Sie basieren auf organischen Nitro- oder Nitrat-Verbindungen. Eine Erhöhung der Cetanzahl führt auch zu einer Verringerung der Geräusch- und Schadstoffemission. Die Alterungsstabilität von Diesel, die je nach Produktionsverfahren und Rohöl recht unterschiedlich ausfällt, kann durch den Zusatz von Oxidationsinhibitoren und von Metalldeaktivatoren entscheidend verbessert werden.

Das lästige Schäumen des Diesels beim Betanken kann durch Schaumverhinderer (anti foam) weitgehend unterdrückt werden. Hierdurch steigt nicht nur der Komfort für den Tankkunden an, weil es weniger leicht zum Überschwappen beim Tanken kommt, auch kann der Fahrzeugtank in einem überschaubaren Zeitraum zur Maximierung der Reichweite vollständig aufgetankt werden.

Aus einem relativ einfachen, großtechnisch hergestellten Raffinerieprodukt wird durch Zugabe von präzise dosierten chemischen Wirkstoffen ein speziell auf Markterfordernisse ausgelegtes Markenprodukt.

### Additive für Dieselkraftstoff

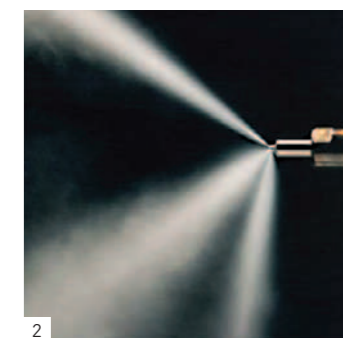
Typ	Funktion
1 Zündbeschleuniger	Erhöhung der Cetanzahl
2 Oxidationsinhibitor	Vermeidung der GUM-Bildung/Verbesserung der Lagerstabilität
3 Anti-Schaum	Verhinderung störender Schaumbildung beim Tanken
4 Anti-Smoke	durch katalytische Wirkung fast vollständige Verbrennung von Kohlenstoffpartikeln
5 Korrosionsschutz	Schutz gegen Korrosion im Kraftstoffsystem
6 Detergens/Dispersant	Verminderung von Ablagerungen im Einspritzsystem
7 Leitfähigkeitsverbesserer	Verhinderung von elektrostatischen Aufladungen
8 Metalldeaktivatoren	Deaktivierung von Cu-Ionen, die als Oxidationskatalysatoren wirken
9 Fließverbesserer/Wax Anti Settling	Verbesserung der Kältefestigkeit (Filterbarkeit, Wachsabsatzverhalten)
10 Aromastoffe	sollen spezifischen Dieseleruch neutralisieren/überdecken
11 Abbrennhilfen	Reduzierung der Ruß-Abbrenntemperatur in Partikelfiltern
12 Verschleißschutz	Schmierung der Kraftstoffpumpen
13 Odorierung	Geruchsverbesserung

Gegen Korrosion im Kraftstoffsystem, die zu Materialschäden und Störungen im Gemischbildungssystem führen kann, stehen Korrosionsinhibitoren zur Verfügung. Gegen den spezifischen Geruch des Dieselkraftstoffs können Aromastoffe eingesetzt werden, die den Geruch neutralisieren oder überdecken sollen. Die Effizienz dieser Maßnahme wird allerdings gegensätzlich eingeschätzt, was dazu führte, dass Duftstoffe in der Praxis kaum noch eingesetzt werden. Darüber hinaus ist die Geruchsverbesserung von Diesel, bedingt durch die weitgehende Entschwefelung und die damit einhergehende Verbesserung, nicht mehr erforderlich. Die zur Reduzierung der Partikelemission in vielen Neufahrzeugen bereits eingesetzte Filtertechnik kann zum Abbrennen der gesammelten Partikel den Einsatz von Additiven erfordern, die die Abbrenntemperatur herabsetzen. Diese Additive werden heute bei manchen Fahrzeugtypen in Tanknähe mitgeführt und beim Volltanken vollautomatisch dem Kraftstoff zugesetzt. Beim Werkstattaufenthalt anlässlich einer Inspektion wird das Additiv dann jeweils aufgefüllt. Inzwischen bieten einige Unternehmen einen speziellen Dieselkraftstoff für schwere Nutzfahrzeuge an („LKW-Diesel“). Dieses Produkt ist ein Dieselkraftstoff, bei dem das Additivpaket hinsichtlich der besonderen Anforderungen von großen Nutzfahrzeugmotoren angepasst worden ist, die nicht vollständig mit denen von PKWs übereinstimmen. Daher ist es nicht ratsam, dauerhaft einen für Nutzfahrzeuge ausgelegten Dieselkraftstoff in PKWs einzusetzen. Zusätzlich kommt hinzu, dass für LKW-Diesel spezielle Zapfsäulen genutzt werden, deren Zapfpistolen einen größeren Durchmesser aufweisen, der in PKW-Tankstutzen nicht einführbar ist und die zugehörigen LKW-Zapfsäulenpumpen auch einen deutlich höheren Durchfluss haben.

#### Einfluss von Düsenverkokung auf das Tropfenbild.

**Bild 1** Verkockte Düse: Große, weit fliegende Tropfen führen zu Minderleistung und hohen Partikelemissionen.

**Bild 2** Saubere Düse: Fein zerstäubter Kraftstoff, hohe Leistung, saubere Verbrennung, maximale Energieumsetzung.





# Hochleistungsdiesel

## Wenn Additive nicht mehr ausreichen

Dieselmotoren haben ihre Leistungsfähigkeit in den zurückliegenden Jahrzehnten vervielfacht. Einen wesentlichen Anteil dieses Erfolges verdankt der moderne Dieselmotor einer immer effektiveren Ausnutzung der im Dieselmotorkraftstoff steckenden Energie. Aber gerade hier liegt auch die Problematik.

7

Anders als Ottokraftstoff verdampft der schwerflüchtige Dieselmotorkraftstoff nicht schon bei relativ geringer Temperatur, sondern muss für eine effiziente Verbrennung in möglichst „mundgerechten“ Stückchen – also feinsten Tröpfchen – dargereicht werden.

Reichte hierfür früher noch eine Einspritzdüse mit einer einzigen Einspritzöffnung und ein Druck von wenigen Bar, so sind heute hohe Motorleistungen bei gleichzeitig niedrigsten Emissionen nur mit Hilfe immer höherer Einspritzdrücke und extrem geringen Düsen-Lochdurchmessern sowie „Portionierung“ der Einspritzmenge möglich. Dies alles erfordert hochwertige Technik und hochwertige Kraftstoffe gleichermaßen. Allerdings nutzt die beste Technik nichts, wenn die relevanten Bauteile im Laufe der Betriebsdauer, z.B. durch die Bildung von Ablagerungen oder gar Verschleiß, ihre konstruktiv vorgegebenen Aufgaben nicht mehr in vollem Umfang erledigen können.

In allen Phasen der Dieselmotorenentwicklung entstanden auch neue Anforderungen an den Dieselmotorkraftstoff. Dabei wurde das von der Raffinerie produzierte „Massenprodukt“ Dieselmotorkraftstoff von den Markenanbietern seit 1987 durch Additive mit immer besserem Leistungsvermögen stets an die neuen Erfordernisse angepasst. Aber auch dem Einsatz von Additiven sind Grenzen gesetzt. Additive wirken im Dieselmotorkraftstoff in relativ geringen Dosierungen (unter 1.000 ppm). Eine Erhöhung der Dosierung, um noch bessere Leistungen zu erzielen, könnte zu unerwünschten Nebenwirkungen mit teilweise dramatischen Folgen führen. Die Konsequenz war daher, neben optimierten Additiven auch über eine noch weitergehende Verbesserung des Grundkraftstoffes nachzudenken. Dies war die „Geburtsstunde“ der Hochleistungskraftstoffe.

Während an jeder Raffinerie konventionelle Grundkraftstoffe allen Marktteilnehmern in identischer Qualität zur Verfügung stehen, werden Hochleistungskraftstoffe in einer oder mehreren Raffinerien exklusiv für nur einen Markenanbieter aus den „Filetstücken“ der Komponentenherstellung zusammengesetzt. Diese führt im Fall von Aral Ultimate Diesel zu einem Dieselmotorkraftstoff, der nicht nur über ein Additiv neuester Generation verfügt, sondern auch über einen Grundkraftstoff, dessen einzigartige Zusammensetzung alle heutige Anforderungen einhält und viele deutlich übertrifft. Die Abbildung oben zeigt die Anforderungen der DIN EN 590 und der WWFC im Vergleich zum Premiumkraftstoff Aral Ultimate Diesel.

Hochleistungskraftstoffe sind die neue Basis für besonders hochwertige Fahrzeugkonzepte. Sie geben der Automobilindustrie die Gelegenheit, weitere Verbesserungen in der Fahrzeugtechnologie zu erreichen und gleichzeitig den richtigen Betriebsstoff einsetzen zu können. Diese Produkte markieren die technisch darstellbare Spitzenposition bei Kraftstoffen, erfordern aber durch eine von den Standardprodukten getrennte Logistik einen erheblichen Mehraufwand bei der Bereitstellung.



Dieselmotorkraftstoffe sind üblicherweise gelblich. Bei Aral Ultimate Diesel (ganz links) wird über die geänderte Zusammensetzung ein wasserklares Aussehen erreicht.

Aral Ultimate Diesel ist der einzige deutsche Tankstellendiesel, der die besonders strengen WWFC-Vorgaben in der Kategorie 4 erfüllt (z. B. FAME-Freiheit, Siedepunkt, Aromaten).

### Anforderungen der WWFC

Anforderung*	DIN EN 590	WWFC, Categ. 4	Aral Ultimate Diesel**
Aussehen	-	clear & bright	kristallklar
Cetanzahl	min. 51,0	min. 55,0	61,5
Schwefelgehalt	max. 10	5 to 10	3
Aromatengehalt	-	max. 15	8,2
Gehalt an Polyaromaten	max. 11	max. 2,0	0,4
95% verdampft bei	max. 360	max. 340	338
Siedepunkt	-	max. 350	348
Flammpunkt	über 55	über 55	90
FAME-Gehalt	max. 5	not detectable	kein FAME
Koksrückstand	max. 0,30	max. 0,20	< 0,05
Säurezahl	-	max. 0,08	< 0,05
Schmierfähigkeit	max. 460	max. 400	330

Aral Ultimate Diesel zeigt mit seinen herausragenden Eigenschaften das Potenzial der modernsten Dieselmotorkraftstoffentwicklungen auf.

\* Auszug. \*\* Typische Werte.





# Diesel mit Risiko?

## Qualitätsunterschiede im Markt

Die in den Normen festgelegten Parameter sind Mindestvorgaben bezüglich der Produktqualität. Natürlich sind die unterschiedlichen Anbieter von Dieselkraftstoffen bestrebt, diese Mindestvorgaben so preisgünstig und effizient wie möglich zu erfüllen.

8

### Markenkraftstoffe bieten die höchste Sicherheit.

Die komplexen chemischen Rezepturen, die bei der Herstellung von Dieselkraftstoff zur Anwendung kommen, beinhalten neben dem Grundkraftstoff bei Markenkraftstoffen immer auch ein angepasstes Markenadditivpaket. Die Bezeichnung Paket leitet sich davon ab, dass nicht nur eine Wirksubstanz zum Einsatz kommt, sondern eine sorgfältig ausgewählte Rezeptur aufeinander abgestimmter Bestandteile genutzt wird. Dabei kommt es entscheidend darauf an, in der Anwendung im Motor beste Ergebnisse zu liefern. Das allseits bekannte Motto „viel hilft viel“ ist dabei nicht immer zielführend.

Vom Herstellen des Grundkraftstoffs bis zur Abgabe des Markendiesels an der Tankstelle gibt es eine Reihe von Schritten (Grundkraftstoff, Lagerung, Transport, Zwischenlagerung, Zudosierung des Additivs, Transport zur Tankstelle), in denen umfangreiche Qualitätssicherungsmaßnahmen notwendig sind.

Markenkraftstoffe bieten ein Mehr an Sicherheit zum Vorteil des Kunden. Alleine bei Aral in Bochum werden jedes Jahr über 5.000 Kraftstoffproben untersucht, um die Spitzenposition in allen Qualitätsfragen zu sichern. Freie Tankstellen sind dagegen nur Vertreiber eines extern zugekauften Produktes, sie können nicht auf die gesamte Herstellungskette Einfluss nehmen.

Betrachtet man die insgesamt angebotenen Qualitäten, so ist auch beim Diesel – ebenso wie beim Ottokraftstoff – eine Einteilung in drei Qualitätsstufen möglich (siehe nebenstehende Tabelle).

Langjährige repräsentative Marktüberwachungen der angebotenen Kraftstoffqualitäten in Deutschland zeigen, dass der Anteil der Verstöße gegen die im Bundesimmissionsschutzgesetz verankerte „Kraftstoffqualitätsverordnung“ beim Dieselkraftstoff höher ist als bei Ottokraftstoffen.



#### Qualitätsstufe 1

Minderwertiger Kraftstoff, der in mindestens einem Kennwert die Mindestanforderungen der DIN verfehlt

#### Qualitätsstufe 2

Kraftstoff, der alle DIN-Anforderungen erfüllt

#### Qualitätsstufe 3

Kraftstoff, der über die Stufe 2 hinaus zusätzliche und schärfere Anforderungen zur Verbesserung der Anwendungstechnik und des Umweltschutzes erfüllt

Auf Grund unterschiedlicher Rohölqualitäten, Verarbeitungs- und Nachfragestrukturen liegen die Dieselkennwerte innerhalb einer gewissen Bandbreite. Die Tabelle zeigt für Dieselkraftstoff von großen Markenanbietern die entsprechenden Daten (ohne Hochleistungskraftstoffe).

### Typische Bandbreite von Kennwerten marktüblicher Marken-Dieselmotorkraftstoffe

Kennwert	Einheit	Sommer	Winter
Dichte bei 15 °C	kg/m <sup>3</sup>	826 – 842	825 – 844
Zündwilligkeit		51 – 58	51 – 57
Destillation Siedebeginn	°C	160 – 200	175 – 195
% (v/v) aufgefangen bei 250 °C	% (v/v)	19 – 49	35 – 50
% (v/v) aufgefangen bei 350 °C	% (v/v)	91 – 92	90 – 97
95-%-Punkt	°C	333 – 365	345 – 355
Siedeende	°C	360 – 385	350 – 370
Viskosität (40 °C)	mm <sup>2</sup> /s	2,2 – 3,50	2,0 – 3,0
Flammpunkt	°C	56 – 75	56 – 70
Kältefestigkeit Filterbarkeit (CFPP)	°C	0 bis – 10	– 20 bis – 28
Beginn Paraffinausscheidung (CP)	°C	0 bis + 5	– 5 bis – 10
Schwefelgehalt	mg/kg	< 10	< 10
Lubricity (HFRR)	µm	160 – 380	160 – 380
Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe	% (m/m)	2,0 – 7,4	1,7 – 7,3
Kohlenstoffgehalt	% (m/m)	86,2 – 86,6	86,2 – 86,6
Wasserstoffgehalt	% (m/m)	13,1 – 13,5	13,1 – 13,5
Heizwert	kJ/kg	42.400 – 43.100	42.400 – 43.100
FAME	% (v/v)	2,5 – 7,0	2,5 – 7,0

Dies liegt insbesondere daran, dass weniger qualitätsorientierte Kraftstoffanbieter wechselweise Otto- und Dieselkraftstoff kostengünstig in gleichen Transportmitteln ausliefern und keine ausreichenden Vorsorge- und Gegenmaßnahmen gegen die daraus resultierenden minimalen Produktvermischungen durchführen. Somit steigt das Risiko von Flammpunktunterschreitungen im Dieselkraftstoff, und die Gefahr von Pumpenschäden in den Fahrzeugen durch verschlechterte Schmierwirkung nimmt zu. Große Markenfirmen schließen solche Probleme durch entsprechende Gegenmaßnahmen bis hin zu elektronischen Kennungs- und Sperrsystemen praktisch aus.

Neben diesen sicherheitsrelevanten Verstößen treten bei den weniger qualitätsorientierten Anbietern aber auch zu niedrige Cetanzahlen, schlechte Kältefestigkeit, zu hohe Siedelagen und teilweise sogar gezielte Verpanschungen auf.

Die auf dem Markt erforderlichen Dieselmengen können nicht ausschließlich aus lokaler Raffinerieproduktion bedient werden. Im Gegensatz zu Ottokraftstoff besteht in Europa ein Mangel an Diesel, der durch Importe ausgeglichen wird. Auch hier wird von manchen Anbietern aus kommerziellen Erwägungen heraus nicht die notwendige Sorgfalt bei der Auswahl der einzuhaltenden Mindestparameter angewandt. Es kommt offenbar teilweise vor, dass die messtechnischen Ungenauigkeiten dazu genutzt werden, eigentlich nicht den Normen entsprechende Ware in den Dieselmotorkraftstoffmarkt einzubringen.

Ein Kraftstoff der Qualitätsstufe 1, der in mindestens einem Parameter die Vorgaben der Norm nicht erfüllt, darf nicht verkauft werden. Aber dennoch wird solche Ware importiert und mit anderen Dieselmengen vermischt, deren Qualität vermeintlich genügend Sicherheit bietet. Das an Tankstellen ausgelieferte Produkt soll dann wieder den Normvorgaben genügen.

Diese Vorgehensweise ist mit hohen Risiken behaftet. Wie aus den repräsentativen Analysen für den deutschen Markt hervorgeht, ist in manchen Jahren jede dritte Dieselprobe auffällig. Zwar sind die Abweichungen von der Norm meist nur sehr klein und fast immer im Bereich der jeweiligen Methodengenauigkeit. Dennoch legen nicht alle Kraftstoffanbieter die gleichen, hohen Qualitätsmaßstäbe an wie Aral.

Verglichen mit Ottokraftstoffen ist der Anteil der Qualitätsstufe 3 (volle Erfüllung der Norm und zusätzlicher Anforderungen) bei Dieselkraftstoffen deutlich niedriger. Das liegt daran, dass kommerzielle Betreiber von Nutzfahrzeug-Flotten aus Kostengründen häufig auf den Einkauf von additiviertem Diesel verzichten. Es wäre allerdings insgesamt sinnvoll, wenn auch hier die durch wirksame Additive erzielbaren Umwelt- und Gesamtvorteile weitergehend genutzt würden.

Vorteile der Qualitätsstufe 3 – selbst gegenüber Kraftstoffen, die die Stufe 2 erfüllen – sind von besonderer Bedeutung aufgrund der teilweise deutlich höheren Cetanzahl und des besseren Kälteverhaltens. Hier zeigt sich besonders ausgeprägt, welche Auswirkungen das firmenspezifische Knowhow mit der Erfüllung zusätzlicher Anforderungen für die Praxis haben kann.

Um eine hohe Produktqualität der an den Aral Tankstellen verkauften Dieselmotorkraftstoffe zu erzielen, sind zahlreiche Qualitätssicherungsmaßnahmen notwendig. So wird für alle Zwischenschritte von der Herstellung über die Lagerung bis zum Transport kontrolliert, dass alle Parameter den anspruchsvollen Aral Vorgaben entsprechen.

Dieser zusätzliche Aufwand wird von Aral betrieben, um die über viele Jahrzehnte erarbeitete Qualitätsführerschaft zum Vorteil unserer Kunden zu bewahren.



# Herausforderungen für die Zukunft

## Anforderungen des Umweltschutzes

Die Qualität des Dieselmotors hat sich in der Vergangenheit entscheidend weiterentwickelt, dieser Trend wird weitergehen. Hierfür sprechen folgende Faktoren:

9



### Umwelt

- Bei den künftig zunehmenden und schärferen Anforderungen wird auch ein weiterer Beitrag der Kraftstoffqualität erwartet. Hiervon betroffen sind insbesondere die umweltbezogenen Spezifikationsmerkmale von Dieselmotoren.
- Zur Reduzierung des Treibhauseffekts bietet die weitere Verbreitung des Diesels besondere Vorteile, weil Dieselmotoren besonders gute Wirkungsgrade und damit günstige Verbrauchswerte aufweisen.
- Das Bemühen um eine Verringerung der Abhängigkeit von fossilen Energien und eine noch weitere Reduzierung des Treibhauseffekts wird schon kurzfristig zum Anstieg der erlaubten oder geforderten Beimischung von Kraftstoffkomponenten aus biogenen Quellen führen.
- Der Dieselsatz wird vorerst weiter steigen und deshalb hinsichtlich der Umweltauswirkungen an Bedeutung gewinnen.

### Fahrzeuge

- Fahrleistung und Fahrkomfort modern konzipierter Diesel-PKW haben zu Fahrzeugen mit Ottomotoren aufgeschlossen oder diese schon überholt. Der damit verbundene Nutzen bei niedrigerem Kraftstoffpreis wird eine weitere Verbreitung der Diesel-PKW mit höheren Ansprüchen an die zugehörige Kraftstoffqualität bringen, die weitere Emissionsverbesserungen ermöglichen.
- Die Fahrzeugindustrie hat zur Einhaltung von Umweltauflagen bzw. auf Grund politischer Zusagen Interesse am Dieselsatz. Das erste „3-l-Auto“ hat einen Dieselmotor, der an den Kraftstoff entsprechend höhere Anforderungen stellt. Für derart moderne Dieselmotoren fordern die Automobilhersteller in der Kategorie 4 der World Wide Fuel Charter (WWFC) nochmals verschärfte Grenzwerte bei den relevanten Spezifikationsmerkmalen. Bisher hat lediglich Aral als einziger Anbieter bei der

Auslegung eines Hochleistungsdiesels die Vorstellung der Automobilindustrie hinsichtlich Kraftstoffqualität für heutige und zukünftige Fahrzeugtechniken berücksichtigt.

### Mineralölindustrie

- Die Koppelproduktion erfordert den Absatz gewisser Mengen Ottokraftstoffe und Mitteldestillate. Man versteht unter Koppelproduktion, dass bei der Herstellung eines Produkttyps (z. B. Mitteldestillate wie Diesel, leichtes Heizöl, Kerosin) zwangsläufig immer auch ein gewisser Anteil Ottokraftstoff bei der Destillation anfällt. Da der Absatz von Heizöl insgesamt rückläufig ist, muss auch dieser Anteil der Mitteldestillate durch entsprechende Betriebsweise der Raffinerie als Dieselmotorenprodukt produziert werden.
- Der insgesamt schrumpfende Kraftstoffmarkt wird noch härter umkämpft werden; der Umwelt- und Qualitätswettbewerb wird dabei zunehmend an Bedeutung gewinnen.

Bei allen Betrachtungen zum zukünftigen Potenzial des Dieselmotors sollten aber auch hier die Grenzen beachtet werden, die Gesamtökologie und Ökonomie setzen. Leider ist praktisch jede Verbesserung eines umweltrelevanten Dieselmotorkennwerts mit erhöhtem Energieeinsatz in der Raffinerie verbunden, woraus hier höhere Emissionen des Treibhausgases CO<sub>2</sub> und höhere Kosten resultieren. Deshalb sind bei Entscheidungen zu zukünftigen Veränderungen Gesamtökobilanzen und vergleichende Kosten-Nutzen-Betrachtungen von besonderer Bedeutung. Ausgewogene und im Sinne von Ökologie und Ökonomie „richtige“ Maßnahmen sind auch hier die Herausforderung der Zukunft für alle beteiligten Entscheidungsträger.

Bild 1 Verbrauchsgünstige Autos sparen Kraftstoff und schonen die Umwelt.



1

Bild 2 Smart-Fortwo-Cdi-Dieselmotor



2



### A

#### Abdampfung

Die notwendige Flüchtigkeit des Ottokraftstoffs ruft während des Fahrbetriebs durch Aufheizung des Kraftstoffsystems sowie beim Tanken Abdampfverluste hervor. So können sich beim Fahren in manchen Fahrzeugen durch den heißen Kraftstoffrücklauf im fast leeren Tank Temperaturen bis zu 100 °C entwickeln. Unter solchen Bedingungen dampfen leichtflüchtige Komponenten ab, und der Dampfdruck im restlichen Kraftstoff sinkt. Die beim Betanken frei werdenden Kohlenwasserstoffe bestehen überwiegend aus Butan. Der unter Umwelt- und Gesundheitsaspekten besonders relevante Benzolanteil liegt unterhalb von 1%. Durch Begrenzung der Kraftstoff-Flüchtigkeit, Vorkehrungen in der Fahrzeugkonstruktion (z. B. Aktivkohlebehälter) sowie spezielle Einrichtungen bei der Betankungstechnik werden heute die Abdampfungsverluste weitgehend reduziert.

#### Ablagerungen

vorwiegend bestehend aus Ruß- und Schmutzpartikeln; entstanden durch minderwertigen Kraftstoff, hochsiedende Kraftstoffbestandteile, Ölalterung, mechanischen Verschleiß, Verbrennungsrückstände, hohe thermische Belastung, zu lange Ölwechselperioden, schlechte Ansaugluftfilterung usw. Auftreten im Verbrennungsraum, in Filtern, im Ölsumpf und an thermisch hoch belasteten Motoren- und Maschinenteilen.

#### Additive (Dieselkraftstoffe)

Chemische Zusätze/Wirkstoffe in Markenkraftstoffen von bis zu 1%; in der Praxis sind Beimischungen von bis zu 0,3% üblich.

Neben einer sorgsam Auswahl der Kraftstoffkomponenten tragen die unterschiedlichen Additivkonzepte der Markengesellschaften in hohem Maße zum störungsfreien Fahrzeugbetrieb bei und geben den Produkten

einen markenspezifischen Charakter, machen aus ihm ein „Hightechprodukt“. Große Gesellschaften betreiben ihre eigene Additivforschung, durch die sie sich in der Qualitätsausrichtung zum einen untereinander unterscheiden, zum anderen deutlich von „Billiganbietern abgrenzen“. Additive für Dieselmotoren sind u. a.:

- Zündbeschleuniger (Erhöhung der Cetanzahl)
- Oxidationsinhibitoren (Verbesserung der Haltbarkeit)
- Anti-Schaum (Verhinderung störender Schaumbildung beim Tanken)
- Anti-Smoke (durch katalytische Wirkung vollständigere Verbrennung von Kohlenstoffpartikeln)
- Detergents/Dispersants (Verminderung von Ablagerungen im Einspritzsystem)

#### Additive (Ottokraftstoffe)

Chemische Zusätze/Wirkstoffe in Markenkraftstoffen von bis zu 1%; in der Praxis sind Beimischungen von bis zu 0,3% üblich. Neben einer sorgsam Auswahl der Kraftstoffkomponenten tragen die unterschiedlichen Additivkonzepte der Markengesellschaften in hohem Maße zum störungsfreien Fahrzeugbetrieb bei und geben den Produkten einen markenspezifischen Charakter, machen aus ihnen so genannte Hightechprodukte. Jede Gesellschaft hat ihre eigene Additivkonzeption, wodurch sie sich in der Qualitätsausrichtung zum einen untereinander unterscheiden, zum anderen deutlich von „Billiganbietern“ abgrenzen. Übliche Additive für Ottomotoren sind u. a.:

- Antiklopfmittel (Erhöhung der Oktanzahl)
- Reinigungszusätze/Detergents (Verhinderung von Rückständen an innermotorischen Problemzonen)
- Korrosionsinhibitoren (zuverlässige Verhinderung der Rostbildung durch Oxidation an Metallflächen)
- Vereisungshemmstoffe (Verhinderung von Eisbildung im Gemischbildungssystem)
- Alterungsstabilisatoren

#### Analysedaten

sind Messwerte, die beispielsweise über die Zusammensetzung von Brennstoffen Auskunft geben. Analysedaten können nur als vergleichbar angesehen werden, wenn genau nach den bestehenden DIN-Vorschriften sowohl die Probenahme als auch die Prüfung des zu analysierenden Produkts durchgeführt werden.

#### Aromaten

Aromaten (aromatische Verbindungen) sind eine wichtige Verbindungs-kategorie in der organischen Chemie. Sie zeichnen sich durch eine besondere Bindungsstruktur aus. Der Begriff „Aromat“ deutet nicht grundsätzlich auf ein besonderes Aroma dieser Substanzen hin. Er ist historisch begründet. Aromaten sind zyklische Moleküle mit konjugierten Doppelbindungen. Sie haben, wenn sie die Aromatizitätskriterien erfüllen, besonders günstige Energieniveaus. Sie unterscheiden sich in chemischen und physikalischen Eigenschaften von den übrigen organischen Verbindungen, den Aliphaten.

#### Aufbereitung

ist die Veredelung der geförderten Rohstoffe durch physikalische oder chemische Verfahren.

### B

#### BASF-Prüfmotor

Wird zur Oktanzahlmessung für Ottokraftstoffe: DIN 51 756 und zur Cetanzahlmessung für Diesel-Kraftstoffe: DIN 51 773 verwendet.

#### Benzin

Benzine sind Kohlenwasserstoffe des Erdöls, die im Siedebereich von ca. 25 °C bis ca. 210 °C liegen (obere Siedegrenze nach DIN EN 228).

### C

#### Cetanzahl

Maß für die Zündwilligkeit eines Dieseldieselkraftstoffs. Die Cetanzahl ist der in Volumenprozent ausgedrückte Anteil an Cetan in einer Mischung aus Cetan und Alpha-Methylnaphthalin, die bei den gewählten Versuchsbedingungen in einem Prüfmotor denselben Zündverzögerung ergibt wie die zu untersuchende Dieselprobe. Die Cetanzahl hat für die Güte des Verbrennungsablaufs im Dieselmotor entscheidende Bedeutung.

#### CFR-Motor (Ottokraftstoff)

Prüfmotor zur Messung der Klopfestigkeit von Ottokraftstoffen nach DIN EN ISO 5164. Es ist ein spezieller Einzylinder-Viertakt-Motor, dessen Verdichtung während des Betriebs von 4:1 bis 12:1 verändert werden kann und der einen Vergaser mit vier umschaltbaren Kraftstoffbehältern besitzt.

#### CFR-Motor (Dieselkraftstoff)

Es handelt sich um einen Einzylinder-Viertakt-Motor, dessen geometrisches Verdichtungsverhältnis im Betrieb von 7:1 bis auf 28:1 verändert werden kann.

#### Cloudpoint (CP)

Die Temperatur, bei welcher das Produkt durch die Ausscheidung von Paraffinkristallen trüb oder wolkig wird (EN 23015).

#### Common-Rail-Einspritzung

Bei der Common-Rail-Einspritzung, die auch „Speichereinspritzung“ genannt wird, handelt es sich um Einspritzsysteme für Verbrennungsmotoren, bei denen eine Hochdruckpumpe den Kraftstoff auf ein hohes Druckniveau bringt. Der unter Druck stehende Kraftstoff füllt ein Speichersystem, das bei Motorbetrieb ständig unter Druck steht (heute zwischen 1500 und 2500 bar). Die Einspritzmenge und der Einspritzzeitpunkt oder auch mehrere Einspritzvorgänge je Arbeitsspiel sind sehr variabel von einer digitalen Motorelektronik ansteuerbar.

#### CO

Kohlenmonoxid; farb- und geruchsloses Gas, das bei unvollständiger Verbrennung kohlenstoffartiger Brennstoffe entsteht. Es bindet sich stärker an rote Blutkörperchen als Sauerstoff und führt daher zum Ersticken.

#### CO<sub>2</sub>

Kohlendioxid; farb- und geruchsloses Gas, das bei vollständiger Verbrennung kohlenstoffartiger Brennstoffe entsteht. Kohlendioxid ist auch in der verbrauchten Atemluft von uns Menschen enthalten.

#### Cracken

(to crack = aufbrechen, spalten). Unter Cracken versteht man das Spalten von Kohlenwasserstoffmolekülen. Bei Temperaturen über 360 °C beginnen die Kohlenwasserstoffmoleküle in so starke Schwingungen zu geraten, dass sich Bindungen zwischen den Kohlenstoff-Atomen lösen und Kohlenwasserstoffverbindungen mit kürzerer Kettenlänge entstehen. Es gibt mehrere Crack-Verfahren:

- Thermisches Cracken wandelt bei hohen Temperaturen und unter Druck schwer siedende Kohlenwasserstoffe (z. B. schweres Heizöl) in leicht siedende (z. B. Benzine und Mitteldestillat) um.
- Steamcracken (Dampf-Crackverfahren) wird in der Petrochemie angewandt, vornehmlich zur Herstellung von ungesättigten Gasen (z. B. Ethylen, Butylen, Butadien). Im Steamcracker gewinnt man dabei aus Mineralölprodukten unter Zusatz von Dampf chemische Rohstoffe.
- Katalytisches Cracken dient dem gleichen Zweck wie das thermische Cracken, nur geht hier der Spaltvorgang in Gegenwart eines feinen staubförmigen Katalysators (z. B. Hydrosilikate) schonender vor sich. Dadurch kann etwa bei Atmosphärendruck und mit niedrigeren Temperaturen gearbeitet werden.
- Hydrocracken ist ein katalytisches Spaltverfahren in Gegenwart von Wasserstoff und bei einem Druck von etwa 100 Atmosphären. Dieses Verfahren hat den Vorteil, dass man je nach Katalysator und Betriebsbedingungen das Ausgangsmaterial fast ausschließlich in Benzin oder vorwiegend in Dieseldieselkraftstoff und leichtes Heizöl verwandeln kann. Hoher Wasserstoffbedarf und hoher Druck machen das Verfahren sehr aufwendig.

#### Crackgas

ist die Bezeichnung für die bei Crackprozessen anfallenden gasförmigen Kohlenwasserstoffe. Sie werden als Ausgangsprodukt in der chemischen Industrie verwendet.

#### Crude-Oil

Ist die englische Bezeichnung für das noch nicht von Wasser, Salz und Gasen gereinigte rohe Erdöl. Im internationalen Handelsverkehr wird häufig nur die Abkürzung Crude benutzt.

### D

#### Dampf

entsteht, wenn Flüssigkeiten unter Wärmezufuhr in den gasförmigen Zustand übergehen. Man spricht dann vom Verdunsten oder Verdampfen. Umgekehrt kann der Dampf durch Abkühlen oder Druck wieder in den ursprünglichen Aggregatzustand zurückgeführt werden (Kondensation).

#### Dampfdruck

Der Dampfdruck resultiert aus den Kraftstoffkomponenten, die bei einer bestimmten Temperatur in einem geschlossenen Behälter aus der Flüssigphase in die Dampfphase übergehen (Abdampfung und Flüchtigkeit).

#### Destillation

Bei der Destillation werden die Kohlenwasserstoffverbindungen des Rohöls in Abhängigkeit von ihrem Siedeverhalten in so genannten Destillationsstufen thermisch in einzelne Schnitte oder Fraktionen aufgetrennt. So erhält man von unten nach oben in den einzelnen Stockwerken der



Türme einen schweren Rückstand, die Mitteldestillate (Gasöle), Benzine und Gase. Die einzelnen Fraktionen entsprechen noch nicht den Anforderungen, die der Markt an die Produkte stellt. Sie müssen daher noch weiter veredelt werden. Dies geschieht mit Hilfe von Umwandlungsverfahren, bei denen die Destillationsprodukte unter hohem Druck, bei hohen Temperaturen, unter Verwendung von Wasserstoff und in Gegenwart von Katalysatoren physikalisch und chemisch verändert werden. In Reformieranlagen werden z. B. Benzine zu hochoktanigen Ottokraftstoffen veredelt. An die Herstellungsverfahren schließen sich Raffinationsverfahren an, um den Mineralölen unerwünschte Bestandteile wie z. B. Schwefel zu entziehen.

**Destillat**

Kohlenwasserstoffgemisch, das bei der Destillation des Erdöls gewonnen wird.

**Detergents**

Die Detergents sind oberflächenaktive Stoffe, sie haben einen „clean up“- und „keep clean“- Effekt. Sie halten Metalloberflächen frei von festen Ablagerungen (deposits). Detergentadditive wirken als Tenside und erfüllen ein komplexes Anforderungsprofil.

**Dichte (Dieselkraftstoffe)**

Im Dieselmotor steigt mit zunehmender Dichte des Kraftstoffs bei gleichem Einspritzvolumen die zugeführte Energie, also die Motorleistung. Unter Vollastbedingungen würde dann aber auch das Kraftstoff-Luft-Gemisch „angefettet“, wodurch der Motor mehr Partikel emittiert. Andererseits steigt mit abnehmender Dichte der spezifische Kraftstoffverbrauch.

**Dieseldkraftstoff**

Abgekürzt DK, auch Gasöl, sind die Kohlenwasserstoffe des Erdöls, die zwischen 200 °C und 360 °C sieden. DK gehört wie das Heizöl zu den so genannten Mitteldestillaten. Hauptverbraucher von DK sind das Straßenverkehrsgewerbe, die Landwirtschaft sowie die Schifffahrt und die Fischerei. Der Rest entfällt auf den Schienenverkehr und stationäre Motoren. Anforderungen an Dieseldkraftstoffe sind in der DIN EN 590 festgelegt, der erlaubte maximale FAME-Anteil beträgt 5 Vol.-%. In Deutschland gilt mit einer revidierten 10. Bundesimmisionsschutzverordnung bis zum Erscheinen einer neuen EN 590 mit der DIN 51628 eine nationale Norm, die bis zu 7,0 Vol.-% Biodieselnzugabe erlaubt.

**DIN**

Ist die Abkürzung für „Deutsches Institut für Normung“. Für die Normung im Mineralölbereich ist die Unterabteilung Fachnormenausschuss Mineralöl (FAM) zuständig, von dem alle Prüfmethoden und Anforderungen dieses Gebietes genormt werden. Den herausgegebenen Normen wird die Abkürzung DIN vorangestellt (für Deutsche Industrie-Norm).

## E

**Emissionen**

Alle Stoffmengen, die aus Schornsteinen, Auspuffanlagen usw. an die Atmosphäre abgegeben werden. Ein Teil der Stoffmengen sind Schadstoffemissionen (z. T. giftige Gase, Dämpfe, Partikel), die prinzipiell verringert werden müssen, da sie die Luft verunreinigen. Emissionen sind aber auch z. B. Wasserdampf aus Kraftwerksschornsteinen, den man nicht den Schadstoffen zuordnet.

**EN**

Europäische Norm

**Energiegehalt**

Menge an chemisch gebundener Energie, die in einem Stoff gespeichert ist

**Entschwefeln**

der meisten Rohöle ist notwendig, da diese mehr oder weniger Schwefel enthalten, der nicht zur Wärme­gewinnung benötigt wird. Bei der Destillation gehen die verschiedenen Schwefelverbindungen entweder in die Destillate über oder sie verbleiben im Destillationsrückstand. In der nächs-

ten Verarbeitungsphase, dem Cracken, ergeben sich neue Verbindungen, wie beispielsweise Schwefelwasserstoff, Merkaptane usw. Damit die Endprodukte aus Umweltschutzgründen möglichst schwefelfrei sind, werden sie vorher in verschiedenen Wasch- und Umwandlungsverfahren behandelt. Kraftstoffe, die an deutschen Tankstellen verkauft werden, enthalten seit 2004 maximal 10mg Schwefel pro kg Kraftstoff (Rohöle enthalten bis zu 40g Schwefel je kg).

**Entschwefelung**

nennt man das Verfahren zur Abscheidung von Schwefelverbindungen aus dem Rauchgas von kohlegefeuerten Kesselanlagen. Da eine Entschwefelung der Rohkohle technisch und wirtschaftlich nicht vertretbar ist, erfolgt der Entzug des Schwefels aus dem Rauchgas. Diese Verfahren sind mit hohem apparativem Aufwand und hohen Betriebskosten verbunden, so dass die Entschwefelung nach TA-Luft nur für Kraftwerksanlagen mit hoher thermischer Leistung gefordert wird. In Deutschland sind drei Verfahren in der Anwendung:

- Aktivkohleentschwefelung (Trockenverfahren), ein Verfahren zur Gewinnung von Elementarschwefel aus dem gasförmigen SO2
- Saarberg-Hölter-Verfahren (Trockenverfahren), ein Kalkwaschverfahren, das zur Gipserzeugung führt
- Bischoff-Verfahren (Nassverfahren), ein Kalkwaschverfahren, das zur Deponie führt

**Erdöl**

im Erdinnern in porösen Speichergesteinen (Erdöllagerstätten) eingelager­tes, vor Millionen von Jahren aus tierischen und pflanzlichen Fetten mittels Temperatur und Druck sowie katalytischen Wirkungsmechanismen entstan­denes Kohlenwasserstoffgemisch mit geringen Anteilen an Sauerstoff, Schwefel, Stickstoff und Metallen; man unterscheidet paraffinbasisches, naphthenbasisches und gemischtbasisches Erdöl.

**Ester**

Verbindung zwischen Säuren und Alkoholen unter Wasseraustritt (Aldol-Kondensation oder Oxosynthese). Ester höherer Alkohole mit zweiwertigen Fettsäuren bilden die so genannten Esteröle.

**E5**

ist die Kurz­kenn­zeichnung eines Ottokraftstoffs, der mit 5 Vol.-% Ethanolanteil (meist Bioethanol) aus­ge­stat­tet ist. E10 steht für einen 10%igen Ethanolanteil, beispielsweise in NUK91-E10 (Normalkraftstoff, unverbleit, 10 % Ethanolanteil).

**E85**

ist ein nach DIN 51625 genormter Kraftstoff aus Bioethanol, dem zur Dampfdruckanpassung und für ein praxisgerechtes Startverhalten zwischen 15 % (Sommer) und bis zu 35 % Ottokraftstoff (im Winter) zuge­setzt wird. Spezielle Motoren in dafür ausgelegten FlexiFuel-Fahrzeugen können sowohl mit Benzin als auch mit E85 oder jeder beliebigen Mischung aus beiden Produkten betrieben werden.

## F

**FAME**

steht für Fatty Acid Methyl Ester, also Fettsäure-Methylester. Der im deutschen Kraftstoffmarkt am weitesten verbreitete Vertreter ist RME, umgangssprachlich auch als Biodiesel bezeichnet.

**Filterierbarkeit von Kraftstoffen**

Verfahren zur Bestimmung des Temperaturgrenzwerts der Filterierbarkeit für Dieseldkraftstoff und Haushaltsheizölen. Es ermittelt die niedrigste Temperatur, bei der ein gegebenes Volumen eines Kraft- bzw. Brennstoffs in einer festgelegten Zeit nicht mehr durch eine genormte Filtriereinrichtung fließt, wenn es unter genormten Bedingungen abgekühlt wird (EN 116).

**Flammpunkt**

Der Flammpunkt ist diejenige Temperatur, bei der sich die Kraftstoffdämpfe in einem geschlossenen Tiegel durch Fremdzündung erstmals entflam-

men lassen. Dieseldkraftstoffe müssen einen Flammpunkt von über 55 °C aufweisen. Schon geringe Vermischungen mit Ottokraftstoffen, wie sie z. B. durch mangelnde Restentleerung der Tankwagen bei wechselnder Ausfuhr von Otto- und Dieseldkraftstoff entstehen können, führen zu Unterschreitungen dieses Grenzwerts.

**Fließpunkt**

(englisch: pourpoint) bezeichnet die Temperatur, bei der Öl durch Erwärmung wieder zu fließen beginnt. Der Fließpunkt liegt ca. 2–4 °C über dem Stockpunkt, bei dem abgekühltes Kohlenwasserstoffgemisch wie Diesel oder Heizöl gerade nicht mehr fließt. Nach DIN 51 603 muss der Stockpunkt bei leichtem Heizöl tiefer als −10 °C liegen.

**Flow Improver**

Flow Improver (Fließverbesserer) sind Additive, die Dieseldkraftstoffen zu­ge­setzt werden, um deren Kälteeigenschaften zu verbessern. Bei niedrigen Temperaturen können Paraffinausscheidungen in Dieseldkraftstoffen zu Filterverstopfungen führen. Fließverbesserer beeinflussen Form und Größe der ausgeschiedenen Paraffine und sorgen so dafür, dass Dieseldkraftstoffe auch bei tiefen Temperaturen pumpfähig bleiben und Filter passieren können.

**Flüchtigkeit**

Die Eigenschaft von Stoffen, ab einer bestimmten Temperatur in den gasförmigen Zustand überzugehen. Bei Benzin handelt es sich um ein Gemisch aus vielen Kohlenwasserstoffen, die bei unterschiedlichen Temperaturen verdampfen. Somit definiert man seine Flüchtigkeit anhand einer Siedekurve, in der die verdampften Benzinanteile in Relation zur Temperatur gesetzt werden. Wichtig ist, dass die Flüchtigkeit so beschaffen ist, dass sowohl bei Minustemperaturen als auch in einem heißen Motor stets ein zündfähiges Gemisch zur Verfügung steht.

**Fraktion**

Kohlenwasserstoffgemisch mit unterschiedlichen Siedebereichen der atmosphärischen und Vakuum-Destillation.

## G

**Gasöl**

„Gasöl“ ist die deutsche Fassung der englischen Bezeichnung „gas oil“, die auf einen früheren Verwendungszweck (Herstellung von Leuchtgas) zurückgeht. Bei der Raffinerieverarbeitung werden die zwischen etwa 200 °C und 400 °C siedenden Fraktionen als Gasöle bezeichnet (Leicht-, Schwer-, Vakuumgasöl). Auf dem internationalen Mineralölmarkt werden unter diesem Begriff die Mitteldestillate Dieseldkraftstoff und Heizöl EL verstanden.

**Gefrierpunkt**

von Flug- und Ottokraftstoffen und Motorenbenzolen; er kennzeichnet die Kältebeständigkeit und ermöglicht Rückschlüsse auf das Auftreten von festen Ausscheidungen (DIN 51 421).

## H

**Heizöl**

ist die Bezeichnung für einen flüssigen Brennstoff auf der Basis von Erdöl, Steinkohlen- oder Braunkohlenteeren und Schieferöl für Feuerungszwecke. Beim Heizöl unterscheidet man zwei Sorten: leichtes und schweres Heizöl. Leichtes Heizöl siedet zwischen 200 °C und 360 °C und kann ohne Vorwärmung in Öfen, Zentralheizungen und industriellen Feuerungsanlagen verbrannt werden. Schweres Heizöl wird aus Komponenten erzeugt, die oberhalb von 380 °C sieden. Das bedeutet, dass es für Transport und Verbrennung vorgewärmt werden muss. Zum Einsatz kommt es in industriellen Feuerungsanlagen.

**Heizöladditive**

Additive sind Chemikalien, die einem Produkt zugesetzt werden, um dessen Anwendung zu verbessern. Eingesetzte Additive für Heizöl EL:

- Antioxidantien: Zusätze zur Verbesserung der Heizölqualität. Antioxidantien hemmen oder verhindern Produktveränderungen durch Sauerstoff-Einwirkungen.
- Metalldeaktivatoren: Geringe Spuren von bestimmten gelösten Metallen können sich nachhaltig auf die Stabilität des Kraftstoffs auswirken. Mit Hilfe von Metalldeaktivatoren können Metallspuren gebunden und in unschädlicher Form in Lösung gehalten werden.
- Fließverbesserer: Additive zur Begrenzung des Wachstums der Paraffinkristalle bei tiefen Temperaturen. So kann durch Paraffinkristalle eingetrübtes Heizöl filterfähig bleiben.
- Verbrennungsverbesserer: Additive zur Verhinderung von Rußbildung bzw. zur Herabsetzung der Verbrennungstemperatur von im Kessel vorhandenem Ruß.
- Geruchsstoffe: Additive zur „Neutralisierung“ des heizöltypischen Geruchs, insbesondere während und nach der Betankung.

**HVO**

Ist die Abkürzung für Hydrogenated Vegetable Oil. Darunter versteht man durch einen Hydriervorgang aus Pflanzenöl hergestelltes Paraffingemisch, das sehr gute Eigenschaften wie einen sehr hohen Energiegehalt, dieseltypische Viskosität und Kälteverhalten sowie Aromaten-freiheit aufweist. Die Hydrierung kann in einer Stand-alone-Anlage erfolgen, wobei ein rein biogenes Endprodukt entsteht. Großtechnisch interessant ist aber auch das Co-Processing, bei dem das Pflanzenöl gemeinsam mit fossilem Öl verarbeitet wird.

**Hydrierung/Hydrotreating**

ist die Bezeichnung für die unter Freisetzung von Energie ablaufende Einführung von Wasserstoff in eine chemische Verbindung, z. B. Anlage­rung von Wasserstoff an Kohlenstoff- bzw. Kohlenwasserstoffverbindungen; Verbesserung von Mitteldestillaten; Schmierölen usw.; spaltende Hydrierung ist die Zerlegung von schweren Ölen zu leichteren Kohlenwasserstoffverbindungen unter Anlagerung von Wasserstoff.

## I

**ISO**

International Organization for Standardization (mit Sitz in den USA)

## K

**Kohlenwasserstoffe**

sind in der Natur im Erdöl, Erdgas, in Steinkohle (bzw. Steinkohlenteer) und weiteren fossilen Stoffen in größeren Mengen enthalten. Erdöl besteht aus einer Vielzahl von Kohlenwasserstoffen mit unterschiedlichem Aufbau. Die Verbindungen bestehen aus den Elementen Kohlenstoff (C) und Wasserstoff (H), aber auch aus Schwefel (S), Stickstoff (N) und anderen Elementen. Nach der Anordnung der Kohlenstoffatome und ihren chemischen Bindungen unterscheidet man vier Gruppen: Paraffine, Olefine, Napthene und Aromaten. Paraffine sind gesättigte Kohlenwasserstoffe, bei denen die Atome entweder in einer geraden Kette (Normal- oder n-Paraffine) oder in einer verzweigten Kette (Iso- oder i-Paraffine) angeordnet sind. Olefine sind ungesättigte Paraffine, d. h., sie weisen mindestens eine chemische Doppelbindung auf. Napthene sind gesättigte Kohlenwasserstoffe, mit ringförmig angeordneten Kohlenstoffatomen. Sie werden Cycloparaffine genannt. Am häufigsten sind Ringe aus 5, 6 oder 7 Kohlenstoffatomen. Aromaten sind ringförmige ungesättigte Kohlenwasserstoffe, deren Merkmal der Benzolring ist, der aus 6 Kohlenstoffatomen besteht.

**Konversion**

Unter Konversion versteht man in der Chemie eine Umwandlung von Stoffen. In der Mineralölindustrie werden z. B. schwere Einsatzstoffe wie Vakuumgasöle und Rückstände aus der Destillation durch katalytische

und thermische Konversionsprozesse zu leichteren Benzin- und Dieselkomponenten umgewandelt.

#### Korrosionsinhibitoren

Der Begriff Inhibitor ist die von Inhibition abgeleitete Bezeichnung für eine Substanz, die chemische Reaktionen beeinflusst. Inhibitoren sind Zusatzstoffe, die wünschenswerte Reaktionen verschiedenster Art zu verlangsamen oder zu verhindern suchen. Im Gegensatz zum Katalysator, dieser beschleunigt chemische Reaktionen. In der Elektrochemie werden Inhibitoren u. a. zum Schutz von Oberflächen vor Korrosion eingesetzt. Da der Kraftstoff bei Transport, Lagerung und Anwendung unweigerlich mit Sauerstoff und Luftfeuchtigkeit in Berührung kommt, kann es zu Korrosionen an Leitungen und Behältern kommen. Die Korrosionsprodukte wiederum können in der Verteilerkette und im Fahrzeugbetrieb Schäden und Störungen verursachen. Hier setzt man Korrosionsinhibitoren ein. Diese Additive überziehen die Metallflächen mit einem äußerst dünnen Schutzfilm, der die Flächen passiviert und damit vor Korrosion schützt.

#### Kraftstoffe

Alle gasförmigen und flüssigen brennbaren Stoffe, die sich zum Betrieb von Verbrennungskraftmaschinen eignen: Raffineriegas, Kokereigas, Klärgas, Erdgas, Speichergas, Treibgase, Generatorgas, Ottokraftstoffe, Dieselmotorkraftstoff, Pflanzenöle und Flugkraftstoffe usw.

## L

#### Lager- und thermische Stabilität

Heizöl EL unterliegt bei langer Lebensdauer einer natürlichen Alterung. Dieser zeitabhängige Prozess ist im Normalfall unbedenklich. Durch unterschiedliche Faktoren wie die Einwirkung von Licht, Sauerstoff, Wärme und Kontakt mit Buntmetallen wird dieser Alterungsprozess beschleunigt. Gelangen diese entstandenen Alterungsprodukte in den Brenner, kann es zu einer Verringerung der Betriebssicherheit bzw. zu Anlagenstörungen kommen.

## M

#### MDFI

ist die Abkürzung für „middle distillate flow improver“, also Zusätze, die in Raffinerien genutzt werden, um die Kälte-Fließeigenschaften von Dieselmotorkraftstoff und Heizöl einzustellen.

#### Mineralöl

bzw. Mineralölprodukte sind die aus dem mineralischen Rohstoff Erdöl gewonnenen flüssigen Destillations- und Raffinations-Produkte, die hauptsächlich aus Gemischen von gesättigten und evtl. geringen Mengen ungesättigten Kohlenwasserstoffen bestehen.

#### Mitteldestillate

Mitteldestillate sind Mineralölprodukte, die bei der Rohöldestillation im „mittleren“ Siedebereich (180 bis 360 °C) gewonnen werden. Zu ihnen gehören vor allem leichtes Heizöl und Dieselmotorkraftstoff, aber auch Flugturbinenkraftstoff und Petroleum.

#### MWV

Abkürzung für den Mineralölwirtschaftsverband e.V., Hamburg. Institution zur Wahrnehmung und Förderung der allgemeinen, ideellen und wirtschaftlichen Interessen seiner Mitglieder; insbesondere gegenüber den wirtschaftlichen Vereinigungen und Körperschaften des öffentlichen Rechts.

## O

#### Oktanzahl

Messgröße für die Klopfestigkeit von Ottokraftstoffen. Das Maß für die Oktanzahl ist frei gewählt und liegt für übliche Kraftstoffe zwischen 80 und 108, Exoten kommen auf bis zu 150. Um den Wert für einen Kraftstoff zu ermitteln, wird dieser mit einer Mischung aus klopfestem Isook-

tan (dem man die Oktanzahl von 100 zugeordnet hat) und klopfreudigem n-Heptan (Oktanzahl 0) verglichen. Per international festgelegten Vergleich, dem sog. Einzylinder-CFR-Test, wird zunächst ermittelt, bei welcher Verdichtung der Motor mit der Probe zu „klopfen“ beginnt. Dies geschieht bei konstanter Zündeneinstellung, einer Drehzahl von 600 U/min und einer Ansaugtemperatur von 52 °C. Dann wird die Oktanzahl ermittelt, indem das Isooktan/n-Heptan-Gemisch bei konstanter Verdichtung so lange im Verhältnis verändert wird, bis der Motor ein gleiches Klopfen aufweist. Besteht das Gemisch etwa zu 95% aus Isooktan, so ist die „Research-Oktan-zahl“ „95 ROZ“. Härtere Bedingungen, 900 U/min, eine Vorwärmung auf 65 °C sowie variable Zündeneinstellung gelten zur Ermittlung der Motor-Oktan-zahl (MOZ).

#### Oktanzahl (Definition)

Die Oktanzahl ist das Maß für die Klopfestigkeit von Ottokraftstoffen. Generell gilt: Je höher die Oktanzahl, desto höher die Klopfestigkeit. Klopfen bedeutet eine unkontrollierte Selbstzündung des Kraftstoff-Luft-Gemisches nach dem eigentlichen, von der Zündkerze ausgehenden Zündereignis mit der Gefahr schwerwiegender Motorschäden. Der Begriff des Klopfens stammt von den Druckwellenschwankungen, die vom menschlichen Ohr als klopfendes Schallereignis empfunden werden.

#### Oxidationsinhibitoren

Ein Oxidationsinhibitor ist ein Wirkstoff gegen vorzeitige Oxidation. Die verbesserte Oxidationsstabilität kann die Gebrauchsdauer verlängern und teilweise den Temperaturbereich vergrößern. Die Oxidationsinhibitoren – auch Antioxidantien genannt – werden zugefügt, um Oxidationsprozesse zu verlangsamen bzw. zu verhindern und die Bildung von harz-, lack-, schlamm-, säure- und polymerartigen Verbindungen zu minimieren. Dabei unterscheidet man hinsichtlich ihrer Wirkungsweise mehrere Arten von Antioxidantien: Beendigung der Oxidationskettenreaktion durch Verringerung der organischen Peroxide, Herabsetzung der Säurebildung, Verhinderung katalytischer Reaktionen. Die Kombination von Oxidationsinhibitoren mit unterschiedlichen Wirkungsmechanismen kann zu einer synergetischen Wirkung führen.

## P

#### PAH

Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe

#### Petroleum

Kohlenwasserstoff-Fraktion aus Erdöl, der Siedebereich liegt etwa zwischen 130 und 280 °C, Gefährklasse A II oder A III je nach Fraktion; Anwendungsbereich als Leucht-, Brenn- oder Lösungspetroleum (auch Kerosine genannt): DIN 51 636

#### ppm

parts per million – der millionste Teil eines Ganzen. 10.000 ppm entspricht einem Massenanteil von 1%. Häufig wird ppm anstelle von mg/kg geschrieben.

## R

#### Raffinerie

ist eine industrielle Anlage, die aus dem Naturstoff Erdöl durch Destillation, Reinigung (Entschwefelung) und Veredelung (Reformierung) höherwertige Produkte herstellt. Das Naturprodukt Erdöl wird in der Raffinerie vor der Verarbeitung Rohöl und nach der Verarbeitung Mineralöl genannt.

#### RME

Rapsöl-Methylester; hergestellt in einem relativ einfachen Raffinerieverfahren mit Methanol als Katalysator. Diese so produzierten Fettsäure-Methylester dienen heute als Beimischung für fossilen Dieselmotorkraftstoff (bis zu 5 bzw. 7 Vol%). Teilweise wird das Produkt als reiner Biodiesel (B100) im Kraftstoffmarkt angeboten.

#### Rohöl

bezeichnet das schon gereinigte, entgaste und weitgehend entwässerte Erdöl, wie es beispielsweise durch Rohölpipelines von Seehäfen an Raffineriestandorte im Landesinnern verpumpt wird.

#### ROZ

Bei der Bestimmung der Klopfestigkeit wird ein besonderer Einzylinder-Prüfstandsmotor verwendet. Je nach Arbeitsbedingungen liefert er die ROZ (Research-Methode) oder die MOZ (Motor-Methode). Alle Einzelheiten des Messverfahrens sind in DIN 51756 festgelegt. Beide Oktanzahlen charakterisieren unterschiedliche Kraftstoffeigenschaften, die MOZ ist insbesondere ein Hinweis auf das Hochgeschwindigkeits-Klopfverhalten. Die ROZ ist in Deutschland durch die Norm DIN EN 228 für Normalbenzin auf mindestens 91, für Superbenzin auf mindestens 95 und für Super Plus auf mindestens 98 festgelegt.

## S

#### Schwefel

Schwefel ist ein natürlicher Bestandteil des Rohöls, der in Verbrennungsmotoren unerwünscht ist. Der Schwefel ist in der Lage, die Abgasreinigungssysteme in ihrer Wirkung zu hindern, und verursacht unerwünschte SO<sub>2</sub>-Emissionen, die z. B. für Smog verantwortlich gemacht werden. Vor allem verursacht Schwefel eine Erhöhung der Partikelmassenemissionen, weil sich schwefelige Säure an den Rußpartikeln anlagert. Schwefel fällt unter anderem bei der Entschwefelung von JET A-1, Diesel, Heizöl sowie Ottokraftstoff mit Hilfe des Claus-Verfahrens an. Dieser Schwefel wird vielfach in der chemischen Industrie genutzt, unter anderem zur Produktion von Schwefelsäure, Farbstoffen, Insektiziden und Kunststoffen. In Deutschland wird seit 2003 nur noch schwefelfreier Kraftstoff raffinerieseitig produziert und angeboten. Durch gezielte Hydrierprozesse wird hier beim schwefelfreien Kraftstoff eine Schwefelkonzentration von <10 mg/kg eingestellt.

#### Schwefelgehalt

Der enthaltende Anteil an chemisch gebundenem Schwefel wird als Schwefelgehalt bezeichnet. In Rohölen ist der Schwefelgehalt oft im Prozent-Bereich, bei Kraftstoffen wird der Schwefel in mg/kg angegeben.

#### Sedimente, Gesamtverschmutzung

Die Gesamtverschmutzung ist als Summe aller ölfremden Feststoffe (z. B. Rost, Sand und Staub) definiert. Die Bestimmung dieses Merkmals schließt auch die aus dem Öl selbst stammenden unlöslichen Bestandteile ein und erfasst alle Feststoffe größer als 0,8 µm.

#### Selbstentzündungspunkt

Die Temperatur, bei der sich ein entzündlicher Stoff ohne Fremdzündung in Abhängigkeit von Bedingungen (Temperatur, Druck usw.) und dem Sauerstoffgehalt der umgebenden Luft entzündet.

#### Siedeverlauf

Der Siedeverlauf beschreibt den Anteil verdampfter Flüssigkeit bei verschiedenen Temperaturen. Kohlenwasserstoffgemische haben auf Grund ihrer Zusammensetzung aus vielen Einzelstoffen keinen Siedepunkt, sondern sieden über einen weiten Siedebereich.

## T

#### Tankatmung

Der Austausch von Gasvolumen eines Tanks mit der Umgebung wie z. B. bei der Betankung oder einfach durch den Temperaturwechsel und die hierdurch bedingte Volumenänderung. Bei der Tankatmung kommt Luft in den Tank auch wenn der Tank immer weiter entleert wird, strömt Luft über die Belüftungsleitung nach. Der Sauerstoff und die Luftfeuchtigkeit, die bei dieser Tankatmung in den Kraftstoffbehälter gelangen, können zu unerwünschten Reaktionen führen. Diese werden in Markenkraftstoffen

durch eine präzise Auswahl der Inhaltskomponenten und durch Additive verhindert.

## V

#### Viskosität

Eigenschaft einer Flüssigkeit, der gegenseitigen laminaren Verschiebung zweier benachbarter Schichten einen Widerstand und damit eine Reibung entgegenzusetzen. Hohe Viskosität bedeutet zähflüssig, niedrige Viskosität ist mit leichtflüssig gleichzusetzen. Man unterscheidet zwischen der dynamischen Viskosität (in Pa s) und der kinematischen Viskosität (mm<sup>2</sup>/s = cSt), letztere entspricht folglich dem Quotienten aus dynamischer Viskosität und Dichte. Wie die Dichte ist auch die Viskosität temperatur- und druckabhängig. Aus den Viskositätsmessungen bei 40 und 100 °C wird der Viskositätsindex einer Flüssigkeit bestimmt.

## W

#### WASA

„Wax Anti Settling Additive“ zur Erhöhung der Fahrbarkeitsgrenze. Sie bewirken eine deutliche Verkleinerung der Wackkristalle, die die im Diesel enthaltenen Paraffine bei Kälte bilden können, und unterbinden das Zusammenballen und Absetzen im Kraftstofffilter.

#### Wasserstoff

(chemisches Zeichen H) ist ein chemisches Element. Es stellt das leichteste Gas mit dem Atomgewicht 1. Wasserstoff ist ein farb- und geruchloses Gas, das während des Produktionsprozesses in der Raffinerie anfällt und bei weiteren Veredelungsprozessen wieder verwendet wird. Es ist Bestandteil des Wassers und der meisten organischen Verbindungen. Die Speicherung von Wasserstoff stellt besondere Anforderungen an die Konstruktion und das Material von Tanks, da er sehr leicht flüchtig ist, bei längerer Lagerung sogar durch die Tankwand hindurch diffundieren kann und bei Stahl für die so genannte Wasserstoffversprödung sorgt.

## Z

#### Zündverzug

Die Zeit, die in Abhängigkeit von den Kraftstoffeigenschaften vergeht, bis sich ein eingespritzter Kraftstoff von selbst entzündet. Ein großer Zündverzug ergibt niedrige Cetanzahlen und umgekehrt.

#### Zündwilligkeit

Sie wird in Cetanzahlen gemessen und ist die Voraussetzung für das Dieselpinzip. Denn nur wenn der Kraftstoff „willig“ ist, sich nach Einspritzung in die verdichtete und heiße Luft selbst zu entzünden, kommt eine Verbrennung zustande. Die Zündwilligkeit gibt Auskunft über den Zündverzug, also den Zeitraum, der zwischen Einspritzung und Selbstentzündung liegt.





**Aral Aktiengesellschaft**

Wittener Straße 45, 44789 Bochum  
Tel. +49 234 315-0

4. aktualisierte Auflage  
Mai 2010

[www.aral.de](http://www.aral.de)

[www.aral-forschung.de](http://www.aral-forschung.de)

Aral – ein Unternehmen  
der BP Group

