



TECHNISCHE DETAILS

Version 2.1

Shell
GTL Fuel

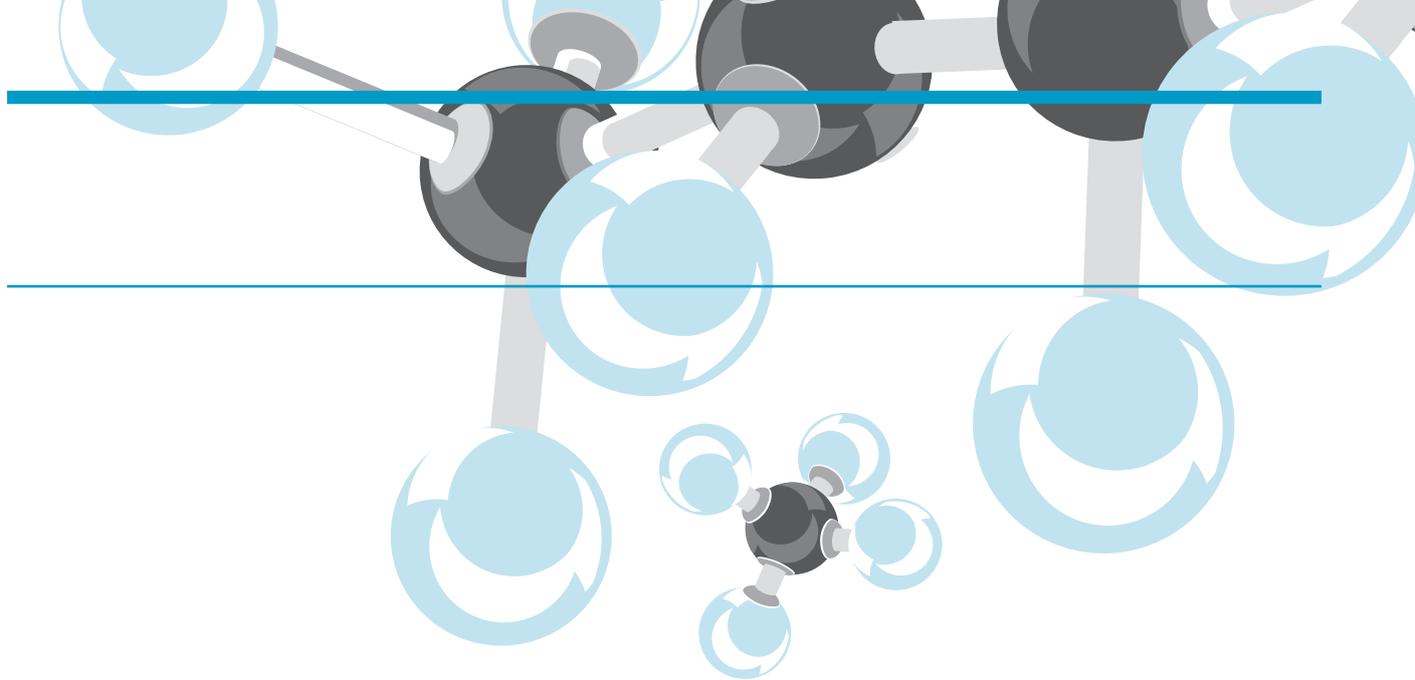
SYNTHETIC TECHNOLOGY FOR CLEANER AIR*

*Shell GTL Fuel verbrennt sauberer und sorgt so für geringere lokale Emissionen im Vergleich zu Standard Diesel.



Inhalt

1.	Übersicht	4	7.	Weitere Umweltvorteile von Shell GTL Fuel	44
2.	Zur Geschichte von GTL	6	7.1.	Biologische Abbaubarkeit	45
3.	GTL-Produktion	8	7.2.	Ökotoxizität	46
3.1.	Shell Middle Distillate Synthesis (SMDS)	8	7.3.	Sicherheitsvorteile	47
3.2.	Produkte des SMDS-Prozesses	10	7.4.	Motorenlärm	48
3.3.	Prozessentwicklung	12	8.	Für Shell GTL Fuel geltende Spezifikationen und Vorschriften	50
3.4.	Kommerzielle GTL-Anlagen von Shell	13	8.1.	Behördliche Vorgaben	51
4.	Eigenschaften und Leistungsvermögen von Shell GTL Fuel	14	8.2.	Steuervorteile	54
4.1.	Die wichtigsten Eigenschaften	14	8.3.	Produktregistrierung	55
4.2.	Aussehen und Geruch	15	8.4.	Externe Unterstützung für Shell GTL Fuel	56
4.3.	Cetanzahl	15	9.	Handhabung und Lagerung von Shell GTL Fuel	60
4.4.	Massebezogener Energiegehalt (Brennwert)	15	9.1.	Unterschiede zwischen Shell GTL Fuel und herkömmlichem Diesel	61
4.5.	Dichte	15	9.2.	Auswirkungen dieser Unterschiede zu herkömmlichem Diesel	62
4.6.	Schwefelgehalt	16	9.3.	Verfügbarkeit	63
4.7.	Leistungsfähigkeit bei niedrigen Temperaturen (Kälteeigenschaften)	17	Abkürzungen	63	
4.8.	Schmierfähigkeit	18	Literatur	64	
4.9.	Viskosität	19	Anhang 1.	Europäische Normen für Dieselemissionen	66
4.10.	Destillationsverlauf	20	Anhang 2.	Emissionstests – ergänzende Informationen	68
5.	Vorteile von Shell GTL Fuel in Bezug auf lokale Emissionen	21	A2.1.	Schwere Nutzfahrzeuge	68
5.1.	Regulierte Emissionen	21	A2.2.	PKW und leichte Nutzfahrzeuge	71
5.2.	Derzeitige Emissionsgesetzgebung	23			
5.3.	Lokale Emissionen und Luftqualität	28			
5.4.	Reduzierung lokaler Emissionen von Fahrzeugflotten	28			
5.5.	Zusammenfassung der Ergebnisse der Shell GTL Fuel Emissionstests	29			
5.6.	Übersicht über Emissionstests mit Schiffsmotoren	32			
5.7.	Emissionen von Kraftstoffgemischen	33			
5.8.	Treibhausgasemissionen und CO ₂	34			
5.9.	Zusammenfassung	35			
6.	Praxiserprobungen mit Shell GTL Fuel	36			
6.1.	Schwere Nutzfahrzeuge	37			
6.2.	PKW und leichte Nutzfahrzeuge	40			
6.3.	Off-Road-Anwendungen	41			
6.4.	Schlussfolgerungen	43			



Tabellen

Tabelle 1.	Wichtige qualitative, leistungsrelevante Eigenschaften von Shell GTL Fuel	14
Tabelle 2.	NO _x und PM-Emissionsgrenzwerte von Schwerlast-Dieselmotoren	25
Tabelle 3.	CCNR2-Emissionsgrenzwerte	27
Tabelle 4.	Grenzwerte Emissionsstufe „Stage IIIA“	27
Tabelle 5.	Prozentuale Reduktion lokaler Emissionen bei Schwerlastmotoren im Vergleich zu herkömmlichem Diesel	30
Tabelle 6.	Prozentuale Reduktion lokaler Emissionen bei kleineren Motoren im Vergleich zu herkömmlichem Diesel	32
Tabelle 7.	Prozentuale Reduktion lokaler Emissionen bei Schiffsmotoren im Vergleich zu herkömmlichem Diesel	33
Tabelle 8.	Übersicht über Praxistests mit Shell GTL Fuel in schweren Nutzfahrzeugen	38
Tabelle 9.	Übersicht über Praxistests mit Shell GTL Fuel in PKW und leichten Nutzfahrzeugen	41
Tabelle 10.	Übersicht über Praxistests mit Shell GTL Fuel in Off-Road-Anwendungen	42
Tabelle 11.	Erforderliche Parameter der Kraftstoffqualitätsrichtlinie	51
Tabelle 12.	In der prEN 15940 Klasse A festgelegte Eigenschaften im Vergleich zur EN 590	52
Tabelle 13.	Klimaabhängige Vorschriften der EN 590 und prEN 15940 (gemäßigte Regionen)	53
Tabelle 14.	Steuern auf Dieselmotoren in Finnland seit Januar 2015	54
Tabelle 15.	Gebiete mit Luftqualitätsgrenzwert-Überschreitungen (km ²)	59
Tabelle 16.	Emissionsgrenzwerte für LKW- und Nutzfahrzeug-Dieselmotoren (stationäre Fahrzyklen)	66
Tabelle 17.	Emissionsgrenzwerte für LKW- und Nutzfahrzeug-Dieselmotoren (dynamische Fahrzyklen)	66
Tabelle 18.	Emissionsgrenzwerte für PKW und leichte Nutzfahrzeuge mit Dieselmotor	67
Tabelle 19.	Nutzfahrzeugtests – Übersicht über die getesteten Fahrzeuge	68
Tabelle 20.	Nutzfahrzeugtests – prozentuale Emissionsvorteile	69
Tabelle 21.	Nutzfahrzeugfeldversuche – Prozentuale Emissionsvorteile	70
Tabelle 22.	Tests an PKW und leichten Nutzfahrzeugen – Übersicht über die getesteten Fahrzeuge	71
Tabelle 23.	Tests mit PKW und leichten Nutzfahrzeugen – Prozentuale Emissionsvorteile	72
Tabelle 24.	Feldversuche mit PKW und leichten Nutzfahrzeugen – Prozentuale Emissionsvorteile	73

Abbildungen

Abbildung 1.	Weltweite GTL-Anlagen – derzeitige und in Planung befindliche	7
Abbildung 2.	Schematische Darstellung einer typischen Prozessanordnung in einer Shell GTL-Anlage	8
Abbildung 3.	Pearl GTL-„Produktpalette“	10
Abbildung 4.	Abhängigkeit Kälteeigenschaften vs. Cetanzahl bei Shell GTL Fuel	17
Abbildung 5.	Korrelation von Dichte und Viskosität bei Dieselmotoren	19
Abbildung 6.	Abbildung 6 PM/NO _x -Trade-off-Diagramm	22
Abbildung 7.	Grenzwerte für NO _x /PM-Emissionen von Schwerlastmotoren gemäß Euro I bis VI	23
Abbildung 8.	Geschätzte Marktdurchdringung der Euro-Normen in der EU 27: Schwere Nutzfahrzeuge [8]	24
Abbildung 9.	NO _x -Vorteile von 100 % GTL und Gemischen mit ULSD für Prototyp Euro IV und Euro V Schwerlast-Dieselmotoren, beide mit Nachbehandlung	33
Abbildung 10.	Beispiele für weltweite Feldversuche mit Shell GTL Fuel in schweren Nutzfahrzeugen	37
Abbildung 11.	Beispiele für weltweite Feldversuche mit Shell GTL Fuel in PKW	40
Abbildung 12.	Tests zur Einstufung „leicht biologisch abbaubar“	45
Abbildung 13.	Verringerte Gesundheitsrisiken im Umgang mit Shell GTL Fuel	47
Abbildung 14.	NO ₂ – mittlere jährliche Konzentrationsverringerung in London (µg m ⁻³) aufgrund der Reduzierungsergebnisse von 100 % GTL im Jahr 2010	58



SHELL GTL FUEL-FORSCHER

1.

Übersicht

Dieses Dokument bietet einen Überblick über Shells umfangreiche Kenntnisse und Erfahrungen mit Shell GTL Fuel (Gas-to-Liquids) und dessen Einsatz in verschiedensten konventionellen Dieselfahrzeugen. Als „Shell GTL Fuel“ wird im Folgenden 100 %iger GTL-Kraftstoff bezeichnet, der unter dem Markennamen Shell vermarktet wird.

Shell GTL Fuel ist ein innovativer synthetischer Kraftstoff, der aus Erdgas gewonnen wird und dazu beitragen kann, lokale Emissionen wie Partikel (PM) und Stickoxide (NO_x) bei herkömmlichen Dieselfahrzeugen zu reduzieren.

Shell GTL Fuel hat einen niedrigeren Gehalt an Aromaten, polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK), Olefinen, Schwefel und Stickstoff als herkömmlicher Dieselmotorkraftstoff. Durch den hohen Reinheitsgrad ist Shell GTL Fuel farblos und geruchsarm.

Es enthält nur Moleküle, die auch in herkömmlichem Diesel zu finden sind, besteht aber nahezu ausschließlich aus geradkettigen Normalparaffinen und verzweigten Isoparaffinen. Dank dieser einzigartigen Zusammensetzung hat Shell GTL Fuel eine sehr hohe Cetanzahl und verbrennt sauberer als herkömmlicher, aus Rohöl gewonnener Diesel, wobei potenziell weniger lokale Emissionen freigesetzt werden. Da GTL-Produkte aus Erdgas und nicht aus Erdöl gewonnen werden, können sie zudem einen Beitrag zur Diversifizierung der Kraftstoffquellen leisten.

Herstellung

Shell GTL Fuel wird durch das GTL-(Gas-to-Liquids)-Verfahren aus Erdgas gewonnen. Die Chemie des GTL-Verfahrens wurde in den 1920er Jahren entwickelt und nach seinen Erfindern „Fischer-Tropsch“-Verfahren genannt. Hierbei werden aus einer Kohlenstoffquelle mittels Synthesegas (CO und H₂) durch katalysierte Reaktionen höhere Kohlenwasserstoffe synthetisiert. Das Herstellungsverfahren für Shell GTL Fuel trägt die Bezeichnung SMDS (Shell Middle Distillate Synthesis) und umfasst drei Hauptschritte:

1. Gasifizierung

Aus Erdgas wird durch partielle Oxidation Synthesegas (CO und H₂) hergestellt.

2. Synthese

Synthesegas wird in einem Niedrigtemperatur-Fischer-Tropsch-Verfahren zu flüssigen Kohlenwasserstoffen, einem „synthetischen Rohöl“, umgewandelt.

3. Hydrocracken/Umwandlung in Produkte

Das synthetische Rohöl wird weiter verarbeitet und zu hochwertigen paraffinischen Produkten wie Kraftstoffen, Flugtreibstoffen und chemischen Grundstoffen fraktioniert.

Produktionsstätten

Shell hat das SMDS-Verfahren zunächst 1993 in der ersten kommerziellen GTL-Anlage der Welt, die in Bintulu in Malaysia eröffnet wurde, implementiert. Inzwischen produziert Bintulu 14.700 Barrel GTL-Produkte am Tag. Die in Bintulu gesammelten Erfahrungen waren ausschlaggebend für den Erfolg der zweiten kommerziellen, von Shell und Qatar Petroleum gemeinsam entwickelten GTL-Anlage in Katar, die unter dem Namen „Pearl“ bekannt ist. Pearl, die größte GTL-Anlage der Welt, ist ein vollintegriertes Upstream/Downstream-Projekt. Bei vollständiger Auslastung produziert die Anlage 140.000 Barrel GTL-Produkte am Tag sowie 120.000 Barrel Öläquivalent an Kondensaten und anderen Produkten aus der Gasverarbeitung.

Die Produktpalette von Pearl umfasst GTL-Gasöl, GTL-Naphtha, GTL-Kerosin, GTL-Normalparaffine und GTL-Grundöle. Shell GTL Fuel wird vornehmlich aus der „Gasöl“-Fraktion gewonnen, deren Eigenschaften herkömmlichem Diesel ähneln.

Problemlose Handhabung

Shell GTL Fuel kann generell unter Verwendung derselben Anlagen, Materialien und Verfahren abgefüllt, transportiert und gelagert werden wie herkömmlicher Dieselmotorkraftstoff. Außerdem können Dieselfahrzeuge ohne Modifikationen am Motor oder Abgassystem mit Shell GTL Fuel betrieben werden, d. h., Shell GTL Fuel ist als direkter Dieselerersatz zu sehen, dessen Einsatz keinerlei Investitionen in neue Fahrzeuge oder Tank-Infrastruktur voraussetzt.

Produkteigenschaften

Shell GTL Fuel ist ein besonders hochwertiges Produkt. Mit physikalischen Eigenschaften, die im Großen und Ganzen denen von herkömmlichem Dieselmotorkraftstoff entsprechen, zeichnet es sich durch eine wesentlich höhere Cetanzahl, einen höheren massebezogenen Energiegehalt, einen niedrigeren Gehalt an Schwefel und Aromaten sowie eine geringere Dichte aus [1]. Shell GTL Fuel ist nahezu vollständig paraffinisch und enthält im Wesentlichen nur zwei Typen von Kohlenwasserstoffmolekülen: Normalparaffine und Isoparaffine. Es ist praktisch frei von ungesättigten Molekülen wie Olefinen (Alkenen) und Aromaten, wie sie in herkömmlichen Kraftstoffen vorkommen. Diese einzigartigen Eigenschaften ermöglichen eine effizientere Verbrennung und helfen damit, die erzeugten lokalen Emissionen wie PM und NO_x zu reduzieren.

Shell GTL Fuel kann die Anforderungen der meisten gemäßigten und kalten Klimazonen erfüllen. Seine Filtrierbarkeitsgrenze (CFPP) liegt – je nach klimatischen Anforderungen – typischerweise im Bereich -9 bis -20 °C. Es wurden bereits Chargen mit niedrigerer Filtrierbarkeitsgrenze (CFPP) produziert.

Weltweite Erfolge

In den vergangenen zehn Jahren hat Shell in vielen Städten eine Vielzahl an Felderproben mit Shell GTL Fuel durchgeführt. Im Rahmen dieser Fahrzeugtests wurde die Leistung von Shell GTL Fuel viele Monate lang unter Praxisbedingungen geprüft. Die Tests ergaben, dass der Umstieg von herkömmlichem Diesel auf Shell GTL Fuel unproblematisch ist und die Fahrzeugleistung nicht beeinträchtigt wird. Außerdem wurden hierdurch Behörden, Fahrzeughersteller und die Öffentlichkeit in Europa, den USA und Asien auf Shell GTL Fuel aufmerksam.

Die wichtigsten Vorteile

Im Rahmen dieser Tests und Versuchsdurchläufe wurde ein großer Datenbestand zu lokalen Emissionsprofilen gesammelt, der ein breites Spektrum an heute relevanten Fahrzeugen, Motoren und Abgasnachbehandlungssystemen berücksichtigt. Insgesamt wurde durch die Tests nachgewiesen, dass Shell GTL Fuel die lokalen Emissionen (wie PM und NO_x) gegenüber herkömmlichem Dieselmotorkraftstoff um einen erheblichen Prozentsatz reduzieren kann. Darüber hinaus ist dieser Prozentsatz für ein breites Spektrum an Motor- und Fahrzeugtechnologien gültig. Insofern kann die Verwendung von Shell GTL Fuel sowohl bei kleineren als auch bei Schwerlast-Motoren, ob auf der Straße oder in anderen Bereichen, eine attraktive Lösung darstellen, die zur Verringerung lokaler Emissionen sowie zur Verbesserung der Luftqualität beiträgt.

Abgesehen von den Vorteilen hinsichtlich der lokalen Emissionen ist Shell GTL Fuel ungiftig, geruchsarm, leicht biologisch abbaubar und zeichnet sich durch ein geringes Gefährdungspotenzial aus. Dies sind weitere positive Eigenschaften, die Shell GTL Fuel im Vergleich zu herkömmlichen Dieselmotorkraftstoffen potenziell sicherer im



SHELL GTL FUEL-TESTFAHRZEUG IN CHINA

Transport, in der Handhabung und in der Verwendung machen. Seit 2006 verfolgt Shell die weltweite Zertifizierung von Shell GTL Fuel durch eine neue CAS-Nummer und eine neue Produktbezeichnung, um das Produkt von aus Rohöl gewonnenen Produkten unterscheidbar zu machen. Hierdurch werden die einzigartigen Eigenschaften von Shell GTL Fuel im Hinblick auf das niedrige Gefährdungspotenzial zum Differenzierungsmerkmal, aufgrund dessen das Produkt speziell in Einsatzbereichen nutzbar ist, in denen „sicherere“ Produkte (d. h. Produkte mit geringerem Gefährdungspotenzial) wünschenswert sind. Darüber hinaus wirkt sich Shell GTL Fuel aufgrund seiner hohen Cetanzahl unter bestimmten Bedingungen nachweislich positiv auf die von Motoren ausgehenden Geräuschemissionen aus.

Ein Beitrag zur Verbesserung der lokalen Luftqualität

Shell hat in Zusammenarbeit mit Partnern verschiedene Emissionstests an marktrelevanten Motoren und Fahrzeugen unter kontrollierten Bedingungen durchgeführt, welche die Vorteile der Verwendung von Shell GTL Fuel bestätigen. Auf Motorenprüfständen mit Standard-Testzyklen durchgeführte Messungen haben ergeben, dass Shell GTL Fuel bezogen auf lokale Emissionen in Motoren für leichte wie für schwere Nutzfahrzeuge gleichermaßen Vorteile gegenüber herkömmlichem Dieselmotorkraftstoff bietet. Diese Messungen wurden durch die Prüfung von Fahrzeugen auf Rollenprüfständen mit praxisrelevanten Zyklen ergänzt. Die zahlreichen im Rahmen von Praxiserprobungen bei Kunden durchgeführten Versuche haben die im Laborversuch ermittelten Einsparungen der lokalen Emissionen bestätigt.

Verfügbarkeit von Shell GTL Fuel

Shell vertreibt derzeit Shell GTL Fuel in Deutschland und den Niederlanden. Es kann als direkter Dieselmotorsatz implementiert werden und somit zur sofortigen Verringerung lokaler Emissionen beitragen, ohne dass Investitionen in neue Fahrzeuge oder Tank-Infrastruktur nötig werden.

2.

Zur Geschichte von GTL

Shell GTL Fuel ist ein Produkt, das im GTL-Verfahren (Gas-to-Liquids) aus Erdgas gewonnen wird.

Der GTL-Prozess ist das kommerziell am weitesten entwickelte Verfahren einer als „XTL“ bekannten Gruppe von Verfahren, wobei das „X“ für unterschiedliche ursprüngliche Energieträger steht.

Mittels des XTL-Prozesses können aus verschiedenen Kohlenstoffquellen flüssige Kohlenwasserstoffe gewonnen werden. Die Chemie dieser Prozesse, die bewährte Fischer-Tropsch-Synthese, wird seit fast hundert Jahren weiterentwickelt. Im Prinzip verwendet das Fischer-Tropsch-Verfahren katalytische Reaktionen zur Synthese komplexer Kohlenwasserstoffe aus einfacheren organischen Molekülen. Die Produkte des XTL-Prozesses sind in erster Linie Mitteldestillate einschließlich Kraftstoffen für das Verkehrswesen. Hieraus folgt, dass die XTL-Technologie zur Diversifizierung der Kraftstoffquellen beitragen und das Angebot an aus Rohöl gewonnenen Kraftstoffen ergänzen kann. Nachstehend die wichtigsten Ereignisse der GTL-Geschichte in chronologischer Reihenfolge

• **1922** - Die deutschen Wissenschaftler Franz Fischer und Hans Tropsch entdecken den für den GTL-Prozess wesentlichen Syntheseschritt.

• **1945** - Das F-T-Verfahren (Fischer-Tropsch) wird in Deutschland im Zweiten Weltkrieg eingesetzt, um aus Kohle ca. 1.600 Barrel flüssige Transportkraftstoffe am Tag zu gewinnen (CTL, Coal To Liquid).

• **1955** - Unter Verwendung von Kohle als Ausgangsenergeträger wird in Südafrika seit 1955 das F-T-Verfahren angewendet. Das Land hat kein eigenes Öl, aber große Kohlereserven. CTL ist somit eine attraktive Möglichkeit, weniger abhängig von Kraftstoffimporten zu werden.

• **1973** - Shell entscheidet sich den F-T-Prozesses zur Konvertierung von Gas (und anderen Ausgangsstoffen) in flüssige Kohlenwasserstoffe in seinem Amsterdamer Labor weiterzuentwickeln.

• **1983** - Shell baut in Amsterdam eine Pilotanlage, in der in größerem Maßstab Versuche zur Paraffin-Synthese und -Umwandlung in GTL-Produkte durchgeführt werden.

• **1992** - PetroSA, das nationale Ölunternehmen der Republik Südafrika, nimmt in Mossel Bay eine GTL-Anlage in Betrieb, die mit einem Hochtemperatur-F-T-Verfahren arbeitet und heute eine Kapazität von 45.000 Barrel GTL-Produkten am Tag hat. Diese Anlage produziert in erster Linie Ottokraftstoffe und keine Dieselkomponenten.

• **1993** - Shell eröffnet die weltweit erste kommerzielle Niedrigtemperatur-Fischer-Tropsch-Anlage in Bintulu, Malaysia. Sie ist darauf ausgelegt, 12.500 Barrel hochwertige GTL-Produkte am Tag herzustellen.

• **2001** - Sasol gibt eine Vereinbarung über den Bau der ersten GTL-Anlage des Unternehmens in Oryx, Katar, bekannt.

• **2003** - Durch technische Weiterentwicklung wird die Produktionskapazität in Bintulu auf 14.700 Barrel pro Tag gesteigert.

• **2005** - Chevron kündigt den Bau einer GTL-Anlage in Escravos, Nigeria, an.

• **2006** - Das Pearl-GTL-Projekt (Shell und Qatar Petroleum) wird von der Regierung des Staates Katar genehmigt. Es soll zehnmal so groß werden wie die Anlage in Bintulu.

• **2007** - Eröffnung der Sasol-Anlage in Oryx, Katar, die derzeit 34.000 Barrel GTL-Produkte am Tag produziert.



GTL-PILOTANLAGE, AMSTERDAM

2.

Zur Geschichte von GTL

- **2012** - Aufnahme der Vollastproduktion bei Pearl GTL, d. h. 140.000 Barrel hochwertiger GTL-Produkte am Tag.
- **2012** - Sasol beginnt mit dem Bau der Oltin Yo'l GTL-Anlage in Usbekistan. Sie wird 38.000 Barrel GTL-Produkte am Tag produzieren.
- **2012** - Sasol beginnt die erste Planungsphase (Front End Engineering and Design) einer GTL-Anlage in Louisiana, USA. Sie wird voraussichtlich 96.000 Barrel GTL-Produkte am Tag produzieren.
- **2012** - Sasol führt eine Machbarkeitsstudie zum Bau einer GTL-Anlage in Alberta, Kanada, durch. Auch hier sollen 96.000 Barrel GTL-Produkte am Tag produziert werden.
- **2012** - Shell führt eine Machbarkeitsstudie zur GTL-Produktion in der Größenordnung von Pearl GTL in den USA durch.
- **2014** - Chevron und die NNPC (Nigeria National Petroleum Corporation) nehmen das Escravos GTL-Werk in Nigeria mit einer Produktionskapazität von 33.000 Barrel an GTL-Produkten pro Tag in Betrieb.

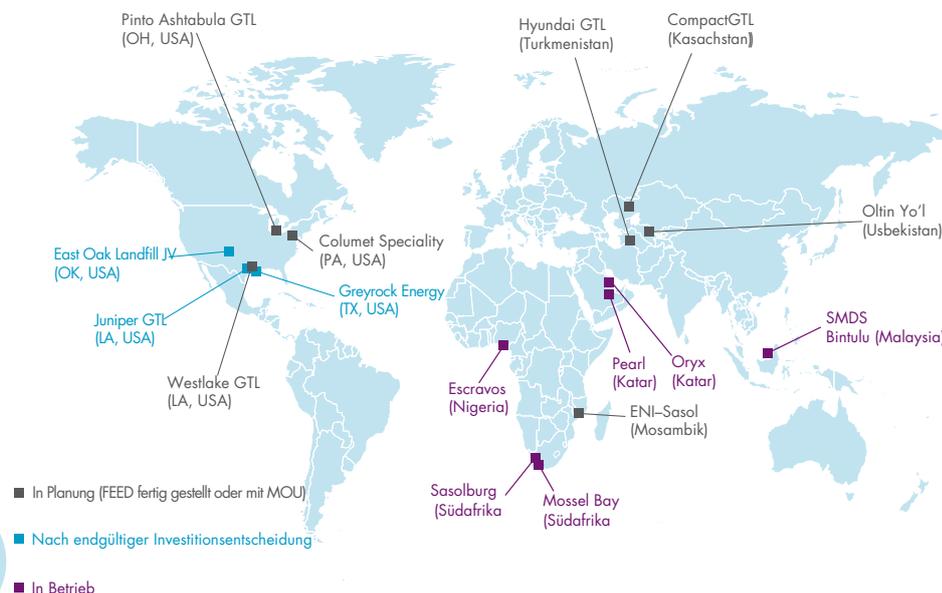


PEARL GTL, KATAR

GTL ist eine expandierende Technologie, für die in den vergangenen Jahren viele Projekte angekündigt wurden. Shell wird auch in Zukunft die Chancen für neue GTL-Anlagen untersuchen. Die Abbildung weiter unten zeigt die Aktivitäten von Shell und ausgewählten Anderen, darunter sowohl laufende als auch angekündigte Projekte. Diese angekündigten Projekte wurden in zwei Klassen unterteilt: vor und nach endgültiger Investitionsentscheidung (FID).

Abbildung 1.

Weltweite GTL-Anlagen – derzeitige und in Planung befindliche



Quelle: Daten aus öffentlichen Quellen, Stand Mai 2015. Orts- und Größenangaben dienen nur zur Illustration. Es werden nur Projekte aufgeführt, bei denen entweder das FEED (Front End Engineering and Design) abgeschlossen oder zumindest ein MOU (Memorandum of Understanding) vorhanden ist.

3.

GTL-Produktion

Gegenstand dieses Kapitels sind der Produktionsprozess für Shell GTL Fuel und ein Überblick über die beiden großen Shell GTL Anlagen: Bintulu und Pearl GTL.

3.1. Shell Middle Distillate Synthesis (SMDS)

Die Grundlagen der GTL-Technologie wurden in den 1920er Jahren entwickelt und nach ihren Erfindern als „Fischer-Tropsch“-Verfahren bezeichnet.

Bei diesem Prozess werden aus einer Kohlenstoffquelle mittels Synthesegas (CO und H_2) durch katalytische Reaktionen höhere Kohlenwasserstoffe synthetisiert. Shells GTL-Produktionsverfahren trägt den Namen Shell Middle Distillate Synthesis (SMDS) und umfasst drei Hauptschritte:

1. Gasifizierung

Aus Erdgas wird durch partielle Oxidation Synthesegas (CO und H_2) hergestellt.

2. Synthese

Synthesegas wird in einem Niedrigtemperatur-Fischer-Tropsch-Verfahren zu flüssigen Kohlenwasserstoffen, einem „synthetischen Rohöl“, umgewandelt.

3. Hydrocracken/ Umwandlung in Produkte

Das synthetische Rohöl wird weiter verarbeitet und zu hochwertigen paraffinischen Produkten (z. B. Kraftstoffe, Flugtreibstoffe und chemische Grundstoffe) fraktioniert.

GTL-Einrichtungen sind komplexe Anlagen, in denen – wie in einem riesigen Chemiebaukasten – Atomketten zunächst kombiniert, dann zerlegt und neu zusammengesetzt werden. Ketten unterschiedlicher Länge haben unterschiedliche Eigenschaften, sodass eine Bandbreite unterschiedlicher GTL-Produkte hergestellt werden kann.

Abbildung 2.

Schematische Darstellung einer typischen Prozessanordnung in einer Shell GTL-Anlage

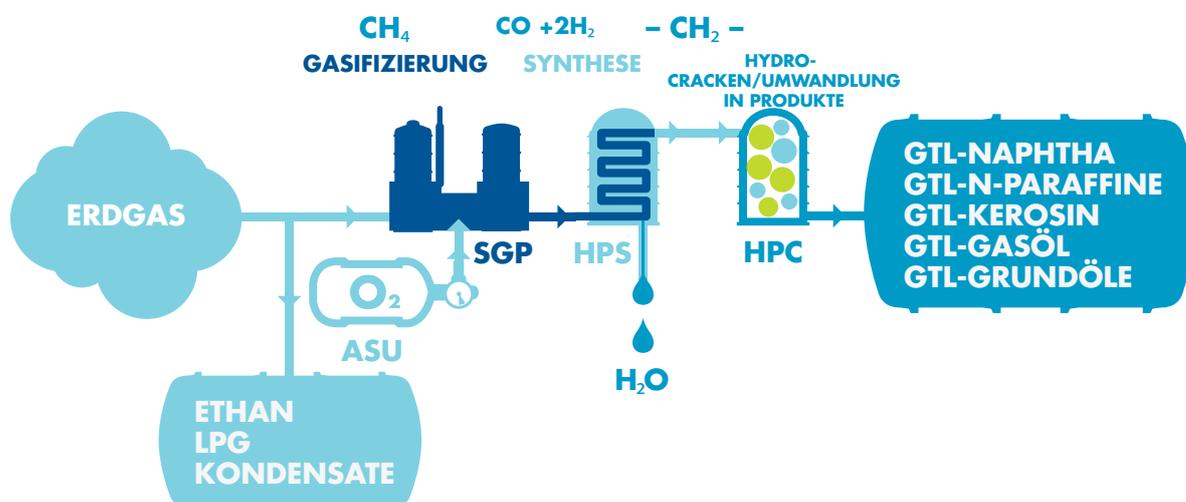


Abbildung 2. Schematische Darstellung einer typischen Prozessanordnung in einer Shell GTL-Anlage

3.

GTL-Produktion

3.1.1. Gasifizierung

Der Shell Gasification Process (SGP) wurde in den 1950er Jahren in erster Linie mit dem Ziel, schwere Rückstände zu gasifizieren, entwickelt. Bei diesem Prozess wird Methan durch partielle Oxidation in Synthesegas, einem Gemisch aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff, umgewandelt. Der Sauerstoff für den SGP wird in einer Luftzerlegungsanlage (Air Separation Unit, ASU) produziert. Die Reaktion zur Herstellung von Synthesegas kann wie folgt dargestellt werden:



Der Prozess läuft bei Temperaturen von 1.300 bis 1.500 °C und Drücken von bis zu 70 bar ab. Das H₂/CO-Verhältnis des SGP-Gases bedarf nur geringer Anpassungen, um die Shell GTL-Produktpalette zu ergeben, woraus sich ein hoher Gesamtwirkungsgrad für den Prozess ergibt.

3.1.2. Synthese

Kern des GTL-Prozesses ist die Fischer-Tropsch-Synthese, bei der Kohlenwasserstoffmoleküle mithilfe eines Katalysators „aufgebaut“ werden. Das Synthesegas wird durch einen „Heavy Paraffin Synthesis“-Reaktor (HPS-Reaktor) geleitet, wo es bei hoher Temperatur und hohem Druck mit einem patentierten Fischer-Tropsch-Katalysator in Kontakt gebracht wird. Die im SMDS eingesetzten patentgeschützten Katalysatoren wurden von CRI/Criterion Inc. entwickelt - einem international tätigen Spezialunternehmen, das die von der Shell Group verwendete Katalysatortechnologie anbietet. Das Produkt des HPS-Prozesses ist ein wachsartiges Gemisch, das erhebliche Mengen an langkettigen Normal-Alkanen (unverzweigte Paraffine, C1-C100+) enthält, die bei Raumtemperatur fest und in diesem Zustand als Kraftstoff für Transportzwecke ungeeignet sind. Die F-T-Reaktion kann wie folgt beschrieben werden:

GTL-WACHS AUS HPS



Je nach Einsatzstoff und gewünschter Produktpalette kann die Fischer-Tropsch-Reaktion unter unterschiedlichsten Bedingungen durchgeführt werden. Die Shell Standorte Pearl GTL und Bintulu arbeiten mit einem Niedrigtemperatur-Fischer-Tropsch-Prozess, der bei 210 – 260 °C abläuft und bei dem ein von der Firma CRI/Criterion Inc. entwickelter Cobalt-Katalysator zum Einsatz kommt. Die Bedingungen und der für den SMDS-Prozess verwendete Katalysator maximieren die Ausbeute an Mitteldestillaten mit hohem Paraffingehalt, die als flüssige Kraftstoffe für das Verkehrswesen geeignet sind. Als einziges Nebenprodukt im Fischer-Tropsch-Prozess wird Wasser produziert.

Im Gegensatz dazu läuft der Hochtemperatur-Fischer-Tropsch-Prozess, der weit verbreitet in der Kohleverflüssigung (Coal-to-Liquids, CTL) zum Einsatz kommt, bei Temperaturen von 310 bis 340 °C über einem Eisenkatalysator ab. Der Hochtemperatur-Fischer-Tropsch-Prozess liefert an Olefinen und Aromaten reiche, leichte Produkte, die sich eher für die Produktion von Ottokraftstoff und Chemierohstoffen eignen.

3.1.3. Hydrocracken/ Umwandlung in Produkte

Im „Heavy Paraffin Conversion“-Reaktor (HPC-Reaktor) werden die einzigartigen Eigenschaften der Shell GTL-Produkte präzise herbeigeführt. Der Großteil des

HPS-Produkts wird dem HPC-Reaktor zugeführt, wo es in Gegenwart eines anderen Shell eigenen Katalysators mit Wasserstoff in Verbindung gebracht wird. Der wachserne Anteil des HPS-Produkts wird durch Hydrocracken selektiv zu den gewünschten Mitteldestillatprodukten aufgespalten. Gleichzeitig wird das Produkt hydro-isomerisiert, um Kohlenwasserstoffe mit höherem Verzweigungsgrad zu erzeugen und somit die Kälteeigenschaften zu verbessern. In den Crack-Verfahren entstandene ungesättigte Moleküle werden zu Paraffinen hydriert. Anschließend wird das HPC-Produkt in einer herkömmlichen Destillationskolonne separiert, wo es, wie wir im nächsten Abschnitt erläutern werden, in eine Reihe von



PEARL GTL, KATAR
Endproduktfraktionen zerlegt wird.

3.

GTL-Produktion

Der SMDS-Prozess erzeugt zahlreiche GTL-Produkte, unter anderem GTL-Gasöl, aus dem wiederum Shell GTL Fuel produziert wird.

3.2. Produkte des SMDS-Prozesses

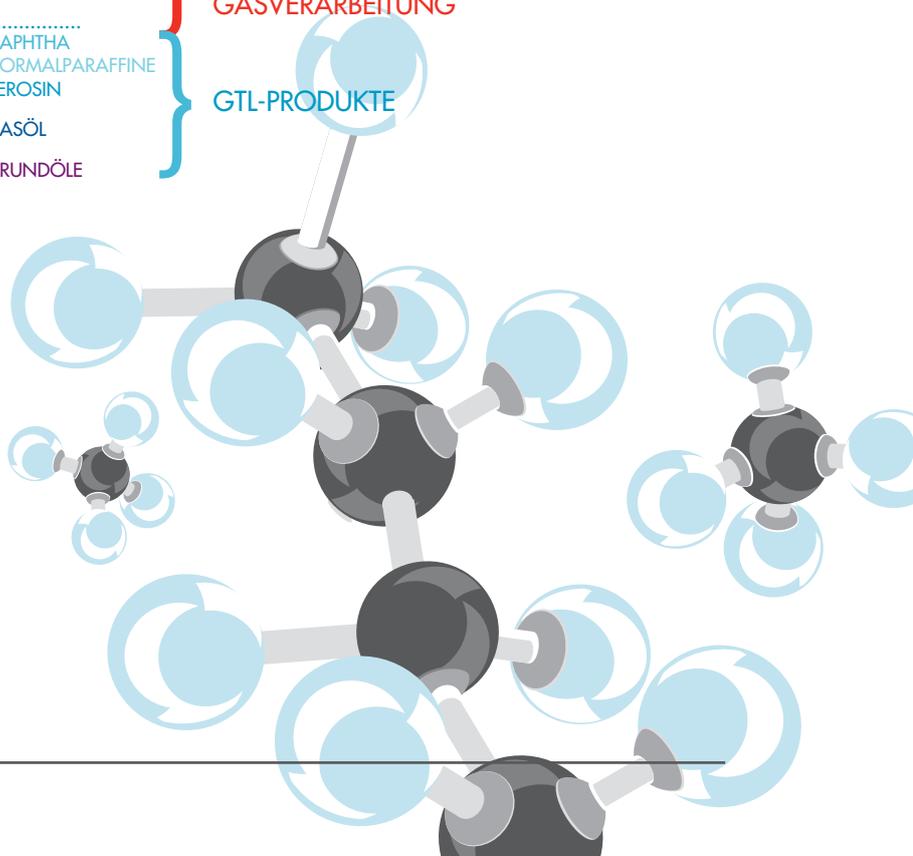
Die einzelnen Raffinerie- oder GTL-Produkte werden als „Fraktionen“ bezeichnet.

Die einzelnen GTL-Fraktionen wiederum haben unterschiedliche physikalische Eigenschaften, durch die sie für bestimmte Anwendungen prädestiniert sind. Die anteiligen Mengen dieser unterschiedlichen Fraktionen aus einem spezifischen GTL-Prozess sind als „Produktpalette“ definiert. Shell GTL Fuel wird aus der „Gasöl“-Fraktion der Produktpalette gewonnen.

Je nach GTL-Produktionsbedingungen, d. h. Temperatur im Reaktor und Art des verwendeten Katalysators, ergeben sich unterschiedliche Produktpaletten. Der mit einem Niedrigtemperatur-Fischer-Tropsch-Prozess und einem Cobalt-Katalysator arbeitende SMDS-Prozess maximiert die Ausbeute an Mitteldestillaten und steigert die paraffinische Beschaffenheit, wodurch sie sich in hohem Maße für diverse Kraftstoffprodukte eignen. Die Produkte des SMDS-Prozesses lassen sich in die zwei Hauptklassen, Produkte aus der Gasverarbeitung und GTL-Produkte, einteilen.

Abbildung 3.

Pearl GTL-„Produktpalette“



3.2.1.

Produkte aus der Gasverarbeitung

Die Produkte aus der Gasverarbeitung werden überwiegend produziert, bevor das Erdgas dem SGP-Reaktor zugeführt wird (Abbildung 2). Eine gewisse Menge Ethan und LPG entsteht auch während des SMDS-Prozesses.

- Ethan kann zu Ethylen weiterverarbeitet und für die Herstellung von Kunststoffprodukten verwendet werden.
- LPG besteht überwiegend aus Propan und Butan und eignet sich als Brennstoff.
- Kondensat kommt vorwiegend in petrochemischen Raffinerien zum Einsatz.

3.2.2.

GTL-Produkte

Der SMDS-Prozess ermöglicht den Einsatz von Erdgas anstelle von Rohöl als Rohstoff für eine Reihe von hochwertigen Flüssigprodukten. Hierzu zählen sauber verbrennende Kraftstoffe für Dieselfahrzeuge und den Flugverkehr sowie Grundstoffe für Chemikalien und Schmierstoffe.

- Am leichteren Ende der Produktpalette ist GTL-Naphtha ein hochwertiger, alternativer Grundstoff für die chemische Produktion und eine Komponente für die Kunststoffindustrie. Es bietet eine höhere Ethylen-/Propylen-Ausbeute und ist als Material preiswerter als herkömmliches Naphtha.
- GTL-Normalparaffine sind ein hervorragender alternativer Rohstoff für die Herstellung von Reinigungs- und Waschmitteln. Für gewöhnlich extrahieren die Hersteller herkömmliches Normalparaffin aus erdölbasiertem Kerosin; im GTL-Prozess entsteht direkt ein geeignetes Einsatzprodukt.

GTL-PRODUKTE



- GTL-Kerosin ist eine Alternative zu herkömmlichem Kerosin auf Erdölbasis. Es eignet sich für Heizzwecke und Kerosinlampen, aber der größte Teil wird in der Luftfahrt Verwendung finden. GTL Kerosin kann konventionellem Jet A1 Treibstoff mit bis zu 50% beigemischt werden.
- GTL-Gasöl kann als alternativer Kraftstoff in herkömmlichen Dieselmotoren ("Shell GTL Fuel") oder im Gemisch mit herkömmlichem Raffinerie-Diesel verwendet werden.
- Die schweren Komponenten, wie GTL-Grundöle, eignen sich letztlich zur Verwendung in hochwertigen Ölen und Schmierstoffen.

GTL-Produkte können als UVCB¹-Stoffe klassifiziert werden und sind vergleichbar mit aus Rohöl gewonnenen Produkten wie Naphtha, Kerosin, Gasöl und Schmierstoff-Grundölen. GTL-Produkte enthalten im Vergleich zu aus Rohöl gewonnenen Produkten vernachlässigbare Mengen an Aromaten, Schwefel- und Stickstoffverbindungen.

¹ "UVCB-Stoffe": Substanzen unbekannter qualitativer und/oder quantitativer Zusammensetzung, komplexe Reaktionsgemische oder Extrakte. (REACH-Leitfaden zur Identifizierung und Bezeichnung von Stoffen).

3.

GTL-Produktion

Pearl GTL wurde 2010 in Ras Laffan, Katar, fertig gestellt und ist heute weltweit die größte Produktionsstätte für GTL-Produkte.

3.3. Prozessentwicklung

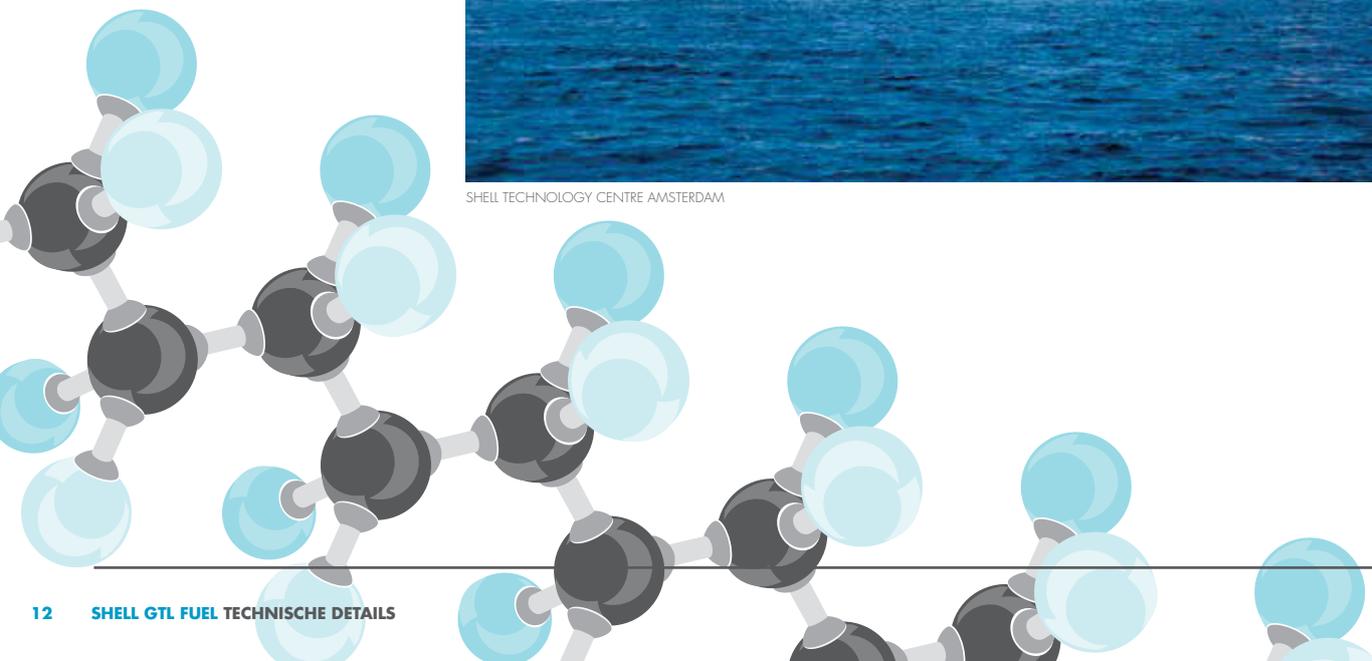
Der SMDS-Prozess wurde im Shell Technology Centre in Amsterdam entwickelt.

Die Entwicklung war ein multidisziplinäres Projekt mit frühzeitiger Beteiligung aller Kompetenzbereiche von Grundlagen und Forschung über Engineering bis zur Katalysator- und Prozessentwicklung. Das Ergebnis dieser Zusammenarbeit waren nicht nur der kommerzielle Erfolg der Anlage in Bintulu und schließlich Pearl, sondern auch mehr als 3.500 Patente und zahlreiche Veröffentlichungen.

Nach fast 40 Jahren GTL-Forschung und kommerzieller Anwendung hat Shell die SMDS-Prozesse und insbesondere die von CRI/Criterion produzierten Katalysatoren weitgehend optimiert. Die Optimierung der Katalysatoren ist größtenteils den Erfahrungen aus der weltweit ersten GTL-Anlage kommerziellen Ausmaßes in Bintulu, Malaysia zu verdanken. Die Verbesserungen haben den Wirkungsgrad der Synthese und damit die Kapitalproduktivität erhöht, sodass größere Mengen Kraftstoff und anderer Produkte kostengünstiger produziert werden können. Diese wertvollen Erfahrungen und die Weiterentwicklung des SMDS-Prozesses haben den Erfolg des Pearl GTL-Projekts ermöglicht. Die beiden kommerziellen GTL-Anlagen von Shell werden im nächsten Abschnitt ausführlicher beschrieben.



SHELL TECHNOLOGY CENTRE AMSTERDAM



3.

GTL-Produktion

3.4. Kommerzielle GTL-Anlagen von Shell

3.4.1.

Bintulu GTL

1993 eröffnete Shell seine erste GTL-Anlage in Bintulu, Malaysia. Zu jener Zeit war Bintulu weltweit die erste Niedrigtemperatur-Fischer-Tropsch-GTL-Anlage kommerziellen Maßstabs, anfangs mit 12.500 Barrel Kapazität an GTL-Produkten pro Tag. Das Projekt war das Resultat von mehr als 30 Jahren durch Shell geleistete Forschungs- und Entwicklungsarbeit. Bintulu ist nach wie vor in Betrieb und produziert inzwischen dank weiterer Fortschritte in der Shell GTL-Technologie 14.700 Barrel hochwertige GTL-Produkte am Tag. Bintulu kann am Tag bis zu 4.000 Barrel GTL Fuel für den Weltmarkt produzieren. Diese begrenzten Mengen hat Shell bislang als Komponente in Premium-Tankstellenprodukten wie Shell Pura Diesel (in Thailand vermarktet) und Shell V-Power Diesel verwendet.



BINTULU, MALAYSIA

3.4.2.

Pearl GTL

Pearl GTL wurde 2010 in Ras Laffan, Katar, fertig gestellt und ist heute weltweit die größte Produktionsstätte für GTL-Produkte. Pearl GTL ist ein vollintegriertes Upstream/Downstream-Projekt und das größte Energieprojekt innerhalb der Landesgrenzen von Katar. Zugleich stellt Pearl GTL Shells bisher größte Projekt-Einzelinvestition dar. Der Bau der Anlage begann 2006, der Großteil der Arbeiten war bis Ende 2010 abgeschlossen. Im März 2011 erhielt die Anlage das erste Gas aus dem North Field (Katar). Im Juni 2011 nahm Pearl GTL die Produktion auf und die erste kommerzielle Lieferung erfolgte am 13. Juni 2011. Nach der Anlaufphase erreichte das Werk seine volle Kapazität Ende 2012.

Pearl GTL produziert 140.000 Barrel GTL-Produkte am Tag – Diesel, Naphtha, Kerosin, Normalparaffin und Schmierstoff-Grundöle sowie 120.000 Barrel Öläquivalent pro Tag an Ethan, Flüssiggas (Liquefied Petroleum Gas, LPG) und Kondensat. Außerdem werden täglich ca. 50.000 Barrel GTL Gasöl für den Weltmarkt hergestellt. Nachdem GTL-Gasöl inzwischen in größeren Mengen verfügbar ist, hat Shell mit der Vermarktung von Shell GTL Fuel an gewerbliche Kunden in den Niederlanden und in Deutschland begonnen.



PEARL GTL, KATAR

4.

Eigenschaften und Leistungsvermögen von Shell GTL Fuel

Shell GTL Fuel hat eine außergewöhnlich hohe Cetanzahl (bis zu 30 Einheiten höher als Standarddiesel).

Shell GTL Fuel ist ein hochwertiger, innovativer synthetischer Kraftstoff für Dieselmotoren.

Bei physikalischen Eigenschaften, die im Großen und Ganzen denjenigen von aus Rohöl gewonnenem Dieselmotoren entsprechen, ist für GTL Fuel darüber hinaus eine wesentlich höhere Cetanzahl, ein höherer Energieinhalt, ein niedrigerer Gehalt an Schwefel und Aromaten sowie eine geringere Dichte charakteristisch.

Der Kraftstoff ist nahezu vollständig paraffinisch und enthält im Wesentlichen nur zwei Varianten von Kohlenwasserstoffmolekülen: Normalparaffine und Isoparaffine. Er ist praktisch frei von ungesättigten Molekülen wie Olefinen (Alkenen) und Aromaten, wie sie in herkömmlichen Kraftstoffen vorkommen, was eine effizientere Verbrennung und eine Senkung der lokalen Emissionen ermöglicht. Dieses Kapitel liefert eine weitestgehend deskriptive Darstellung von 100 % Shell GTL Fuel. Kapitel 8 veranschaulicht, wie das Produkt im Vergleich hinsichtlich quantitativer Grenzwerte bei herkömmlichem Diesel und paraffinischen Dieselspezifikationen abschneidet.

4.1. Die wichtigsten Eigenschaften

Die Hauptunterschiede von Shell GTL Fuel im Vergleich zu herkömmlichem Dieselmotoren sind Tabelle 1 zu entnehmen.

Tabelle 1.

Wichtige qualitative, leistungsrelevante Eigenschaften von Shell GTL Fuel

Eigenschaft	Shell GTL Fuel im Vergleich zu herkömmlichem Dieselmotoren	Bedeutung für Anwendung in Dieselfahrzeugen
Cetanzahl	Sehr hoch	<ul style="list-style-type: none">• Geringere lokale Emissionen (PM, NO_x, CO, HC)• Weniger Motorenlärm (bei bestimmten Fahrzeugen)
Massebezogener Energiegehalt (MJ/kg)	Hoch	<ul style="list-style-type: none">• Bessere Verbrennung
Dichte	Gering	<ul style="list-style-type: none">• Geringer als die Mindestanforderung an die Dichte der europäischen Dieselmotorennorm (EN 590)• Potenziell höherer volumetrischer Kraftstoffverbrauch• Geringere lokale Emissionen
Schwefelgehalt	Sehr niedrig (nahezu Null)	<ul style="list-style-type: none">• Niedrigere PM- und SO_x-Emissionen²• Potenzielle Vorteile für schwefelempfindliche Nachbehandlungssysteme
Aromatengehalt	Sehr niedrig (nahezu Null)	<ul style="list-style-type: none">• Geringere lokale Emissionen• „Nicht giftig“, „leicht biologisch abbaubar“
Kälteeigenschaften	Ähnlich	<ul style="list-style-type: none">• Kann die Spezifikationen für Winterkraftstoffe u. a. im gemäßigten Europa erfüllen

² Geringere Effekte in Regionen mit bereits sehr niedrigen Schwefelspezifikationen (<10/15 ppm)

Eigenschaften und Leistungsvermögen von Shell GTL Fuel

4.2. Aussehen und Geruch

Shell GTL Fuel ist im Vergleich zu herkömmlichem Diesel klar und hell, mit einem nahezu wasserähnlichen Aussehen. Aufgrund der sehr geringen Anteile von Schwefel und Aromaten ist zudem kein charakteristischer, dieseltypischer Geruch wahrzunehmen.



GERUCHSTEST

4.3. Cetanzahl

Die Cetanzahl eines Kraftstoffs ist ein Maß für die Verbrennungsqualität.

Sie wirkt sich insbesondere auf den Zündverzug, d. h. den Zeitverzug zwischen dem Beginn der Einspritzung und dem Beginn der Verbrennung, aus. Ein Dieselmotorkraftstoff mit einer hohen Cetanzahl hat einen kürzeren Zündverzug, was eine Reihe weiterer Vorteile bedingen kann.

Shell GTL Fuel ist nahezu vollständig paraffinisch und praktisch frei von ungesättigten Molekülen wie Olefinen (Alkenen) und Aromaten, wie sie in herkömmlichen Kraftstoffen vorkommen. Hieraus ergibt sich, dass Shell GTL Fuel unter Druck sehr gut verbrennt und daher eine außergewöhnlich hohe Cetanzahl aufweist (typischerweise im Bereich von 74–80 gegenüber 51–57 bei herkömmlichem Diesel). Die hohe Cetanzahl und paraffinische Beschaffenheit von Shell GTL Fuel kann eine Reihe von Leistungsvorteilen bewirken:

- i) Geringere lokale Emissionen (PM, NO_x, CO, HC, siehe Kapitel 5)
- ii) Weniger Motorenlärm und ruhigerer Betrieb in bestimmten Situationen (siehe Kapitel 7.4)

Emissionsvorteile lassen sich mittels der Formeln des Europäischen Programms für Emissionen, Kraftstoffe und Motortechnologien (European Program on Emissions, Fuels and Engine Technologies, EPEFE), prognostizieren, in denen die Cetanzahl einer der Schlüsselparameter ist³ [2].

4.4. Massebezogener Energiegehalt (Heizwert)

Der Energiegehalt eines Dieselmotorkraftstoffs wird in der Regel durch seinen massebezogenen Energieinhalt bzw. Heizwert angegeben, der die pro Masseinheit gelieferte Energie (MJ/kg) angibt.

Aufgrund seiner paraffinischen Beschaffenheit hat Shell GTL Fuel einen höheren massebezogenen Energiegehalt als herkömmlicher Dieselmotorkraftstoff. (GTL: 44,0 MJ/kg, EN 590: 42,9 MJ/kg).

4.5. Dichte

Die Dichte eines Dieselmotorkraftstoffs entspricht seiner Masse pro Volumeneinheit. Je höher die Dichte, desto schwerer ist das Material und desto größer ist sein Energiegehalt pro Liter.

Aufgrund seiner chemischen Zusammensetzung hat Shell GTL Fuel eine niedrigere Dichte als herkömmlicher, rohölbasierter Diesel. Die niedrige Dichte hat verschiedene Auswirkungen sowohl für die Handhabung als auch für die Endanwendung von Shell GTL Fuel:

- i) Shell GTL Fuel erfüllt nicht die Anforderungen einer Mindestdichte von 820 kg/m³, wie sie in der europäischen Dieselmotorkraftstoffnorm (EN 590) definiert ist. Allerdings erfüllt Shell GTL Fuel alle Anforderungen der US-Norm ASTM D975 für Diesel, die europäische Kraftstoffqualitätsrichtlinie 2009/30/EG und die japanische Dieselspezifikation JIS K 2204, die allesamt keine Mindestwerte für die Dichte angeben.
- ii) Der volumetrische Kraftstoffverbrauch eines Fahrzeugs (angegeben z. B. in Liter pro 100 km) kann bei Shell GTL Fuel etwas höher liegen als bei herkömmlichem Diesel, da die niedrigere Dichte (GTL typisch: 774–782 kg/m³, EN 590: 820–845 kg/m³) nur teilweise durch den höheren Energiegehalt kompensiert wird (siehe obige Werte). Es ist schwierig, die genaue Parität bzw. Zunahme des Kraftstoffverbrauchs bestimmter Fahrzeuge oder Flotten zu prognostizieren, da der Kraftstoffverbrauch durch viele andere Faktoren beeinträchtigt wird, wie beispielsweise Fahrverhalten und -stil des Fahrers, Fahrbedingungen, Fahrzyklus, Qualität des Schmiermittels, Reifenluftdruck usw.
- iii) Die geringere Dichte von Shell GTL Fuel kann ebenfalls einen Beitrag zur Senkung der lokalen Emissionen leisten. Die Vorteile von Shell GTL Fuel im Hinblick auf die lokalen Emissionen sind in Kapitel 5 beschrieben.

³ Getestete Fahrzeuge bis Euro II

4.

Eigenschaften und Leistungsvermögen von Shell GTL Fuel

4.6. Schwefelgehalt

Schwefel ist ein natürlicher Bestandteil von rohhölbasierten Kraftstoffen, kann sich jedoch sowohl auf die Abgasemissionen (PM und SO_x) als auch auf Abgasnachbehandlungssysteme negativ auswirken.

Bezogen auf moderne Motorsysteme wird ein niedriger Schwefelgehalt (z. B. Spezifikationen von 50 oder 10 ppm) als Voraussetzung für fortschrittliche Abgasnachbehandlungssysteme betrachtet. So würden beispielsweise die Katalysatoren im Abgasnachbehandlungssystem bei höherem Schwefelgehalt des Kraftstoffs vergiftet werden. Bei Systemen mit älterer Technologie, die gegenüber stark schwefelhaltigen Kraftstoffen unempfindlich sind, hat der Schwefelgehalt einen direkten Einfluss auf die Partikel (Particulate Matter, PM)-Emissionen, da er als Sulphat zur Partikelmasse beiträgt. Aus diesen Gründen wurden den Kraftstofflieferanten strenge Schwefelgrenzwerte auferlegt. Die U.S. Environmental Protection Agency (EPA) hat den Grenzwert für Schwefel in Dieseldieselkraftstoff für Straßenfahrzeuge ab 2006 auf < 15 mg/kg gesenkt (Ultra-Low Sulphur Diesel Fuel). Seit 2009 hat die EU den Schwefelgehalt von Dieseldieselkraftstoff sogar auf < 10 mg/kg begrenzt, und auch Japan hat 2007 den Schwefelgrenzwert auf < 10 mg/kg festgesetzt.

Der Schwefelgehalt von Shell GTL Fuel liegt bei der Produktion praktisch bei Null (< 1,0 mg/kg). Da die weitere Logistik jedoch über das normale Dieseldieselkraftstoffsystem abgewickelt wird ist der Grenzwert in der Shell GTL Fuel-Produktspezifikation mit < 5,0 mg/kg festgelegt, um möglichen Verunreinigungen durch herkömmliche Kraftstoffsysteme Rechnung zu tragen. Dieser konservativ ausgelegte Grenzwert erfüllt die Anforderungen modernster (und absehbarer zukünftiger) Abgasnachbehandlungssysteme. An dieser Stelle muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass ein Großteil des Schwefels, der mit dem Nachbehandlungssystem heutzutage in Kontakt kommt, eher aus dem Motoröl stammt als aus dem Kraftstoff. Die fast vollständige Schwefelfreiheit von Shell GTL Fuel bedeutet, dass der Ausstoß von Schwefeloxiden (SO_x) und Sulfatpartikeln aus mit Shell GTL Fuel betriebenen Fahrzeugen vernachlässigt werden kann. Allerdings wird der Zusatznutzen gegenüber modernen Kraftstoffen in hochentwickelten Regionen mit bereits niedrigerem Schwefelniveau (< 10 mg/kg) eher klein ausfallen.



FARBVERGLEICH VON GTL (LINKS) UND DIESEL (RECHTS)

Eigenschaften und Leistungsvermögen von Shell GTL Fuel

4.7. Kälteeigenschaften

Bei niedrigen Temperaturen kann der reibungslose Einsatz von Dieselkraftstoffen durch das Verstopfen von Kraftstoffleitungen und -filter durch ausflockende Paraffinwachspartikel behindert werden.

„Kälteeigenschaften“ oder auch „Kältefließeigenschaften“ ist ein Sammelbegriff für eine Reihe von Parametern, die bestimmen, wie gut der Kraftstoff in einem Dieselkraftstoffsystem bei niedrigen Temperaturen fließt. Das Ausfallen von festem Wachs in kaltem Treibstoff wird auch von einem veränderten Aussehen begleitet, d. h., das Erscheinungsbild verändert sich ab dem so genannten Cloudpoint (CP) von klar zu trüb. Weiterer Parameter der Kältefließeigenschaften ist die Temperatur, bei der sich Filter ähnlich denjenigen, die in Kraftstoffsystemen zum Einsatz kommen, zusetzen. Dies ist die so genannte Filtrierbarkeitsgrenze (oder engl. „Cold Filter Plugging Point“, CFPP), sowie der Pourpoint (PP). Letzteres ist diejenige Temperatur, bei der der Kraftstoff bei Abkühlung gerade noch fließt. Die europäische Dieselnorm fordert einen Mindestwert für den CFPP.

Bei der konventionellen Dieselherstellung werden die verlangten Kälteeigenschaften durch Vermischen verschiedener Raffinerieströme erreicht. Einen weiteren Beitrag leisten Additive zur Erhöhung der Kältefestigkeit, die den CFPP des Kraftstoffs herabsetzen können. Versuche mit derartigen Additiven von verschiedenen Anbietern haben ergeben, dass herkömmlichem Dieselkraftstoff zugesetzte Additive auch in Shell GTL Fuel gute Resultate erbringen. Shell GTL Fuel enthält zwar n-Paraffine

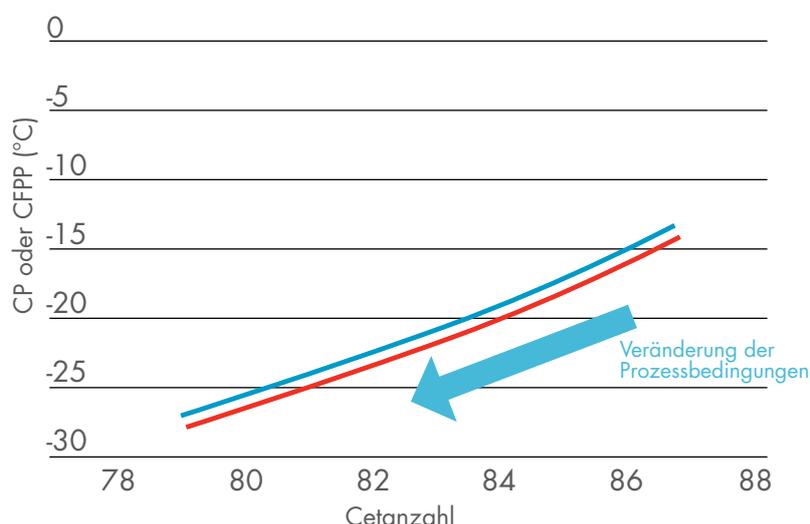
mit grundsätzlich schlechten Kälteeigenschaften, aber es überwiegen die Isoparaffine, die gute Kälteeigenschaften gewährleisten. Außerdem kann durch weitere Anpassungen des Produktionsprozesses der Anteil an Isoparaffinen weiter erhöht werden, sodass die Kälteeigenschaften auch an anspruchsvollere Märkte angepasst werden können.

Ein potenzieller Nachteil der Ersetzung von n-Paraffinen durch Isoparaffine ist die damit einhergehende Reduzierung der Cetanzahl. Allerdings haben die Isoparaffine in Shell GTL Fuel kurze und in deren Anzahl begrenzte Seitenketten, sodass eine hohe Cetanzahl bei gleichzeitig guten Kälteeigenschaften möglich ist. Das heißt, dass bei deutlich verbesserten Kälteeigenschaften lediglich eine geringe Reduzierung der Cetanzahl in Kauf genommen werden muss; siehe Abbildung 4. [3]

Die Filtrierbarkeitsgrenze von Shell GTL Fuel kann auf die klimatischen Anforderungen eines bestimmten Landes abgestimmt werden. Der typische CFPP-Bereich für Shell GTL Fuel ohne Additive, die die Kälteeigenschaften beeinflussen (Cold-Flow-Improver -CFI), liegt bei $-9\text{ }^{\circ}\text{C}$ bis $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Es wurden aber bereits auch Chargen mit niedrigerer Filtrierbarkeitsgrenze (CFPP) produziert. Shell GTL Fuel kann daher die Spezifikationen für Winterkraftstoffe in Europa erfüllen und die Verwendbarkeit für dieses Gebiet gewährleisten. Zudem hat selbst die Wintervariante von Shell GTL Fuel eine hohe Cetanzahl im Vergleich zu herkömmlichem Diesel.

Abbildung 4.

Abhängigkeit Kälteeigenschaften vs. Cetanzahl bei Shell GTL Fuel



– Cloudpoint
– Cold Filter Plugging Point (Filtrierbarkeitsgrenze)

4.

Eigenschaften und Leistungsvermögen von Shell GTL Fuel

Shell GTL Fuel wird mit einem Additiv zur Verbesserung der Schmierfähigkeit versetzt, sodass es sowohl die ASTM D975 als auch die EN 590 HFRR Schmierfähigkeits-spezifikationen erfüllt.

4.8. Schmierfähigkeit

Die Schmierfähigkeit eines Kraftstoffs beschreibt seine Eignung, die Reibung zwischen festen Oberflächen zu reduzieren.

Bestimmte bewegliche Teile der Dieselmotoren, wie die Zylinderkopf Pleuellager, werden durch die Schmierwirkung des Kraftstoffs vor Verschleiß geschützt. Um übermäßigem Verschleiß vorzubeugen, muss der Kraftstoff ein ausreichendes Maß an Schmierfähigkeit aufweisen. In internationalen Normen (EN 590, ASTM D975) wird die Schmierfähigkeit von Dieselmotoren als „mittlerer Verschleißkalotten-Durchmesser“ angegeben, der unter Verwendung eines Schwingungsverschleiß-Prüfgerätes (High Frequency Reciprocating Rig, HFRR) in Mikrometern gemessen wird. Die Normen geben einen HFRR-Grenzwert vor (EN 590: 460µm, ASTM D975: 520µm).

Die Schmierfähigkeit moderner, schwefelarmer Dieselmotoren wird durch folgende Faktoren wesentlich verbessert: i) Zusatz von Fettsäuremethylester (Fatty Acid Methyl Ester, FAME) als Biokomponente, die sich von Natur aus durch gute Schmierfähigkeit auszeichnet, ii) Verwendung von schmiereigenschaftserhöhenden Zusätzen (Lubricity Improver, LI). GTL-Gasöl fällt insofern in dieselbe Kategorie wie aufbereiteter, schwefelarmer Dieselmotoren, als es von Natur aus eine geringe Schmierfähigkeit besitzt und von daher ebenfalls mit LI-Additiven behandelt werden muss. Es wurde festgestellt, dass herkömmliche LI-Additive den HFRR-Wert von Shell GTL Fuel gleichermaßen gut herabsetzen. Shell GTL Fuel kommt erst nach



SHELL GTL FUEL-FORSCHER

Behandlung mit einem LI-Additiv auf den Markt und erfüllt daher die Anforderungen der Normen ASTM D975 und EN 590 an die HFRR-Schmierfähigkeit. Einer der international wichtigsten Anbieter von Dieselmotoren, Delphi Diesel Systems, hat in Zusammenarbeit mit Shell den Einfluss paraffinischer Dieselmotoren auf die Lebensdauer moderner Common-Rail-Hardware für die Kraftstoffeinspritzung untersucht.

Das Ergebnis des gemeinsam durchgeführten Programms zeigt, dass Shell GTL Fuel in einer Reihe von Prüfstand- und Motorentests nicht schlechter und in einigen Aspekten sogar besser abschnitt als herkömmlicher Dieselmotoren. Insbesondere wurde durch den Zusatz von schmiereigenschaftserhöhenden Zusätzen oder FAME die Schmierfähigkeit von Shell GTL Fuel erhöht, was minimalen Verschleiß innerhalb eines weiten Spektrums an Betriebs- und Temperaturbedingungen ermöglicht. Selbst unter relativ schwierigen Betriebsbedingungen kam es nicht zu Ablagerungen oder Lackbildung an Komponenten der Einspritzanlage [4].



Eigenschaften und Leistungsvermögen von Shell GTL Fuel

4.9. Viskosität

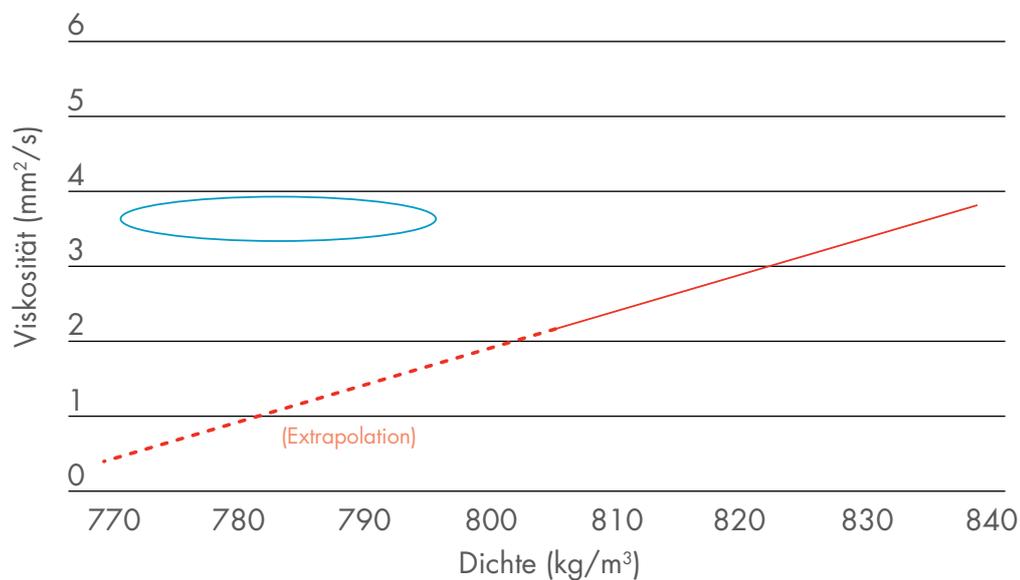
Die Viskosität von Shell GTL Fuel entspricht im Großen und Ganzen dem bei herkömmlichen Dieselmotoren anzutreffenden Spektrum an Viskositäten.

Man könnte erwarten, dass sich die geringe Dichte paraffinischen Diesels in einer niedrigen Viskosität widerspiegelt, was aufgrund der chemischen Zusammensetzung in der Praxis aber nicht der Fall ist. Shell GTL Fuel folgt damit nicht der Korrelation von Dichte und Viskosität, die bei herkömmlichen Dieselmotoren anzutreffen ist, denn es weist eine höhere Viskosität als herkömmlicher Dieselmotor von vergleichbarer Dichte auf, siehe Abbildung 5.

Die Viskosität von Shell GTL Fuel entspricht im Großen und Ganzen dem bei herkömmlichen Dieselmotoren anzutreffenden Spektrum an Viskositäten. Beide erfüllen die erforderlichen geographischen Spezifikationen, z. B. EN 590 V_k40 in Europa: 2,0–4,5 mm²/s.

Abbildung 5.

Korrelation von Dichte und Viskosität bei Dieselmotoren



- Shell GTL Fuel
- Herkömmlicher Diesel

Die Viskosität von Shell GTL Fuel entspricht im Großen und Ganzen dem bei herkömmlichen Dieselmotoren anzutreffenden Spektrum an Viskositäten.



VISKOSITÄT VON SHELL GTL FUEL (LINKS)

4.

Eigenschaften und Leistungsvermögen von Shell GTL Fuel



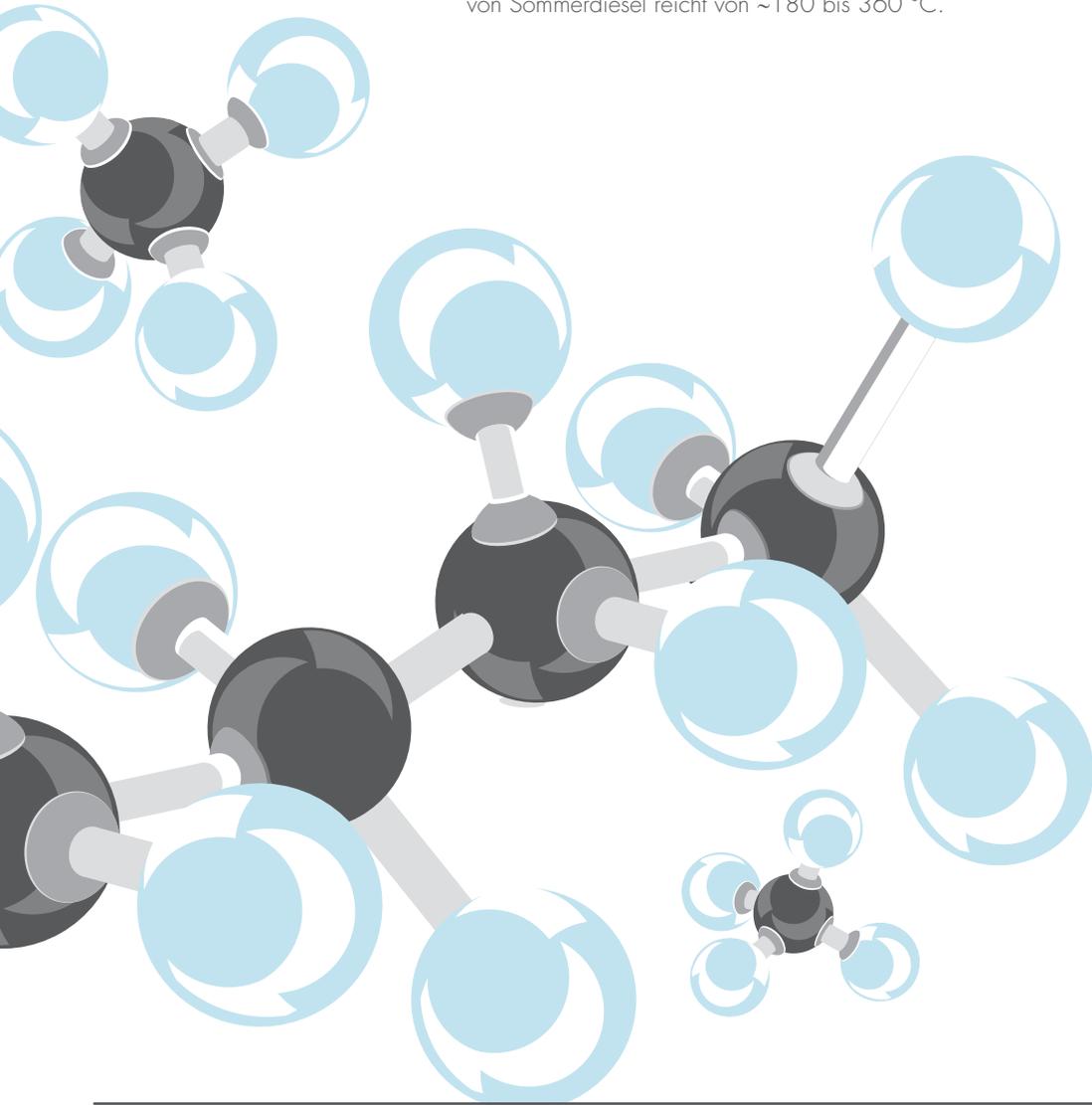
DESTILLATION AM SHELL TECHNOLOGY CENTRE AMSTERDAM

4.10. Destillationsverlauf

Der Destillationsverlauf eines Kraftstoffs beschreibt, wie er bei allmählich steigender Temperatur verdampft.

Dies ist wichtig für das Verdampfungsverhalten des Kraftstoffs beim Einspritzen in den Brennraum des Dieselmotors. Fraktionen mit niedrigem Siedepunkt sind notwendig für ein zufriedenstellendes Startverhalten des Motors, während Fraktionen mit extrem hohem Siedepunkt unter Umständen nicht vollständig verbrennen und Motorablagerungen bzw. erhöhte Abgasemissionen zur Folge haben.

Wie bei herkömmlichen Dieselmotoren besteht ein Zusammenhang zwischen Siedebereich und Längenverteilung der Kohlenstoffketten. Paraffine im Mitteldestillatbereich haben typischerweise zwischen 9 und 25 Kohlenstoffatome pro Molekül. Shell GTL Fuel verdampft im selben Temperaturbereich wie herkömmlicher Dieselmotoren. Der typische Siedebereich von Sommerdiesel reicht von ~180 bis 360 °C.



Vorteile von Shell GTL Fuel in Bezug auf lokale Emissionen

Die Luftqualität ist heute in vielen Großstädten der Welt ein Thema. In vielen Ballungszentren werden geltende Luftqualitätsvorschriften nicht eingehalten, wobei Fahrzeugemissionen zu den wesentlichen Verursachern zählen können.

Der Einsatz von Shell GTL Fuel in Dieselfahrzeugen, z. B. im öffentlichen Nahverkehr, bietet ein Potenzial, die lokale Luftqualität durch Reduzierung der lokalen Emissionen zu verbessern.

Dieses Kapitel erläutert in diesem Sinne:

- Die Arten von Emissionen und wie sie entstehen
- Wer Emissionsgrenzen festlegt
- Wie Shell GTL Fuel dazu beitragen kann, die lokalen Emissionen zu senken und die Luftqualität zu verbessern

5.1. Regulierte Emissionen

Bei der Verbrennung von Kraftstoff auf Kohlenwasserstoffbasis in einem Dieselmotor besteht der Großteil der Verbrennungsprodukte aus Wasserdampf und Kohlendioxid (einem Treibhausgas). Diese stellen neben Stickstoff (aus der angesaugten Luft) die Hauptbestandteile der Abgase dar, die allesamt als unschädlich erachtet werden.

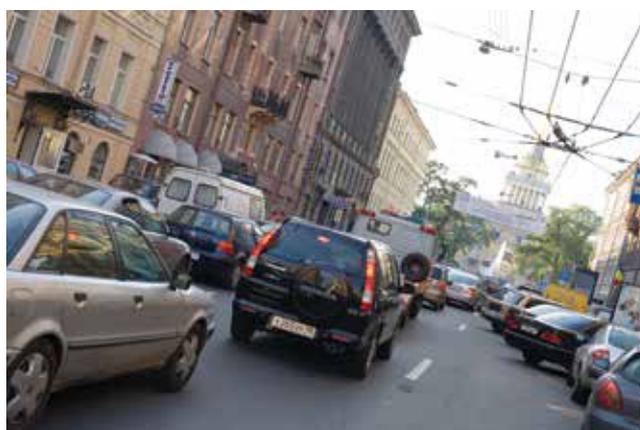
Allerdings führen unvollständige Verbrennung, hohe Verbrennungstemperaturen und Verunreinigungen im Kraftstoff zur Bildung kleinerer Mengen an Schadstoffgasen, die die Luftqualität beeinträchtigen. Zu diesen Schadstoffen gehören Stickoxide (NO_x), Feinstaub (Particulate Matter, PM), Kohlenmonoxid (CO), Kohlenwasserstoffe (HC), Schwefeloxide⁴ (SO_x) sowie Spuren von anderen Stoffen.

5.1.1. Stickoxide (NO_x)

Bei hohen Temperaturen, wie sie im Brennraum von Dieselmotoren herrschen, verbindet sich Stickstoff mit Sauerstoff zu einem Gemisch aus NO und NO₂. Der Ausstoß von NO, NO₂ und N₂O wird mit den allgemeinen Grenzwerten für NO_x geregelt. Der Grund, weshalb NO_x geregelt wird, ist hauptsächlich der, dass es in Verbindung mit Kohlenwasserstoffen und Sonnenlicht einen photochemischen Smog bilden kann. Darüber hinaus stellt es im Zusammenhang mit SO_x einen Vorläufer für Säureniederschlag dar (saurer Regen) [5].

⁴ Derzeit ohne Grenzwert

⁵ Kraftstoffreiche und sauerstoffarme Bereiche im Brennraum



VERKEHRSREICHE STADT

5.1.2. Feinstaub (Particulate Matter, PM)

PM ist eine komplexe Mischung aus extrem kleinen Partikeln und Flüssigkeitströpfchen. Die Hauptanteile an PM aus der Dieselverbrennung sind reiner Kohlenstoff, aus dem Kraft- und Schmierstoff stammende schwere Kohlenwasserstoffe und hydratisierte Schwefelsäure aus den Schwefelanteilen des Kraftstoffs. PM-Emissionen sind überwiegend auf die nicht völlig gleichmäßige⁵ Dieselverbrennung zurückzuführen. Feinstaub kann sich zudem gesundheitsschädlich, insbesondere auf das Atemsystem, auswirken und trägt außerdem zur Bildung von photochemischem Smog bei [5].

5.1.3. Kohlenmonoxid (CO)

CO entsteht in erster Linie durch unvollständige Verbrennung kohlenwasserstoffbasierter Kraftstoffe. Kohlenmonoxid ist farb-, geruch- und geschmacklos, aber hochgiftig [5].

5.1.4. Kohlenwasserstoffe (HC)

Hauptquelle der HC-Emissionen von Fahrzeugen ist unverbrannter Kraftstoff. In Verbindung mit NO_x und Sonnenlicht können sie photochemischen Smog bilden [5]. Der Grad ihrer Giftigkeit hängt bei Kohlenwasserstoffen von ihrer Struktur ab. Die meisten Kohlenwasserstoffe sind in niedrigen Konzentrationen ungiftig. Allerdings sind einige monozyklische und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH) krebserregend oder stehen im Verdacht, krebserregend zu sein.

5.

Vorteile von Shell GTL Fuel in Bezug auf lokale Emissionen



VISUALISIERUNG DER RUSSVERRINGERUNG. STANDARD DIESEL (LINKS) UND SHELL GTL FUEL (RECHTS)

5.1.5. Schwefeloxide (SO_x)

SO_x entsteht bei der Verbrennung von schwefelhaltigem Kraftstoff und in gewissem Umfang auch von Anteilen des Schmieröls. Es hat eine leichte Reizwirkung auf die Lunge und stellt zusammen mit NO_x einen Vorläufer für Säureniederschlag dar (saurer Regen). Der Ausstoß an Schwefeloxiden wird allerdings durch Schwefelgrenzwerte für Kraftstoffe begrenzt, die in den vergangenen Jahren deutlich strenger geworden sind [6].

5.1.6. Hauptemissionen von Dieselmotoren

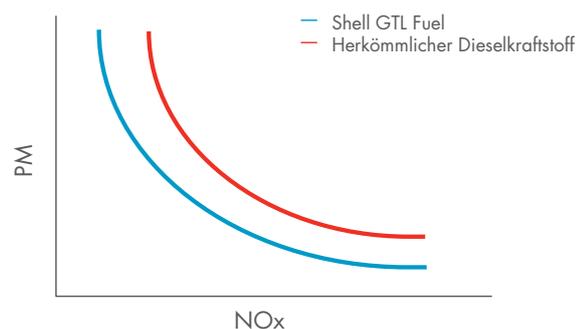
Dieselmotoren sind auf Magermix-Betrieb (d. h. mit Sauerstoffüberschuss) ausgelegt. Das führt zu einer sehr geringen Freisetzung von Kohlenmonoxid (CO) und unverbrannten Kohlenwasserstoffen (HC), während die PM- und NO_x-Werte relativ hoch sind. Das heißt, dass bei Dieselfahrzeugen im Hinblick auf die gesetzlichen Vorschriften insbesondere der PM- und NO_x-Ausstoß relevant ist.

Bei der Dieselverbrennung bedingen sich NO_x- und PM-Emissionen in der Regel gegenseitig. Bemühungen um eine Senkung des PM-Ausstoßes durch effizientere Verbrennung führen zu höheren Verbrennungstemperaturen und damit

höheren NO_x-Emissionen. Eine Reduzierung der NO_x-Bildung durch Absenkung der Verbrennungstemperatur führt zu weniger vollständiger Verbrennung und entsprechend höherem PM-Ausstoß. Hier muss ein Kompromiss gefunden werden – der so genannte PM/NO_x-Trade-off. Bei Dieselmotoren stehen die Motorenentwickler vor der Herausforderung, den NO_x- und den PM-Ausstoß zugleich senken zu müssen. Die einzigartigen Eigenschaften von GTL-Kraftstoffen machen genau das möglich.

Abbildung 6. PM/NO_x-Trade-off-Diagramm

Shell GTL Fuel und herkömmlicher Diesel



Vorteile von Shell GTL Fuel in Bezug auf lokale Emissionen

5.2. Derzeitige Emissionsgesetzgebung

Infolge der negativen Auswirkungen des Verkehrswesens auf die Luftqualität haben die Gesetzgeber den Ausstoß von potenziell schädlichen Stoffen mit Grenzwerten belegt.

5.2.1. Schwere Straßennutzfahrzeuge

Dieselmotoren für schwere Nutzfahrzeuge werden häufig nicht vom selben Hersteller produziert wie das Fahrzeug selbst. Außerdem verwenden Fahrzeughersteller oft verschiedene Motorenfabrikate. Um den Qualifikationsprozess zu vereinfachen, gelten die Abgasnormen der Regulierungsbehörden für die Motoren der schweren Nutzfahrzeuge und nicht für die Fahrzeuge selbst.

5.2.1.1.

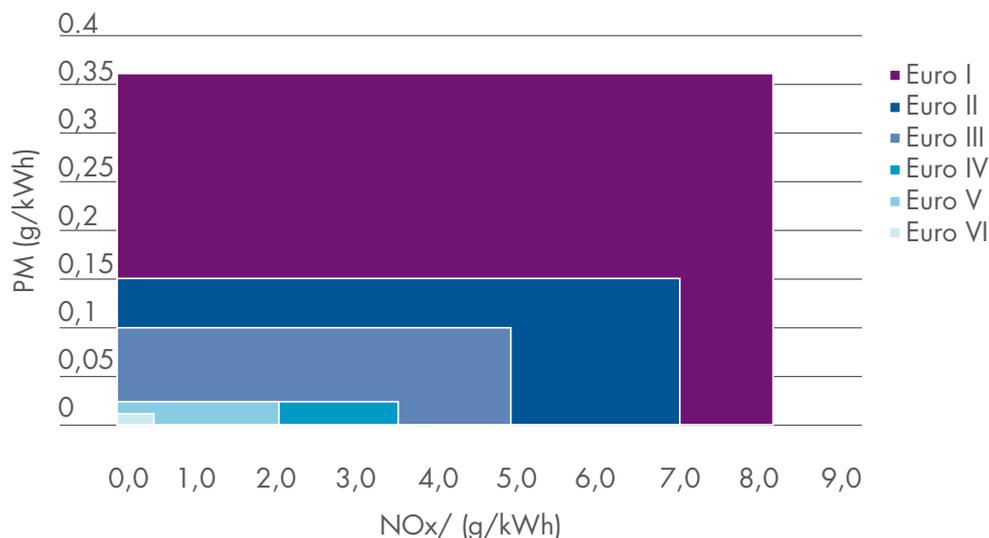
Europa

Die europäischen Abgasnormen⁶ geben Grenzwerte für die Abgasemissionen neuer Motoren in Fahrzeugen vor, die in den Mitgliedsstaaten der EU verkauft werden. Die Abgasnormen sind in einer Reihe von EU-Richtlinien festgelegt, die die stufenweise Einführung strengerer Vorschriften vorsehen. Für Hochleistungs-Dieselmotoren begann dies mit Euro I für nach 1992 gebaute Fahrzeuge, Euro II für nach 1996 gebaute Fahrzeuge, bis hin zu Euro VI für nach Januar 2013 gebaute Fahrzeuge. Abbildung 7 zeigt die progressive Verringerung der für neue Motoren zulässigen PM- und NO_x-Werte im Zeitverlauf.

Abbildung 7.

Grenzwerte für NO_x/PM-Emissionen von Schwerlastmotoren gemäß Euro I bis VI

* Grenzwerte für ESC-Testzyklus, Euro I PM-Grenzwert für > 85 kW (für ≤ 85 kW, PM-Grenzwert = 0,612 g/kWh) [7]



⁶ Ausführliche Übersicht über die europäischen Abgasnormen siehe Anhang 1

5.

Vorteile von Shell GTL Fuel in Bezug auf lokale Emissionen

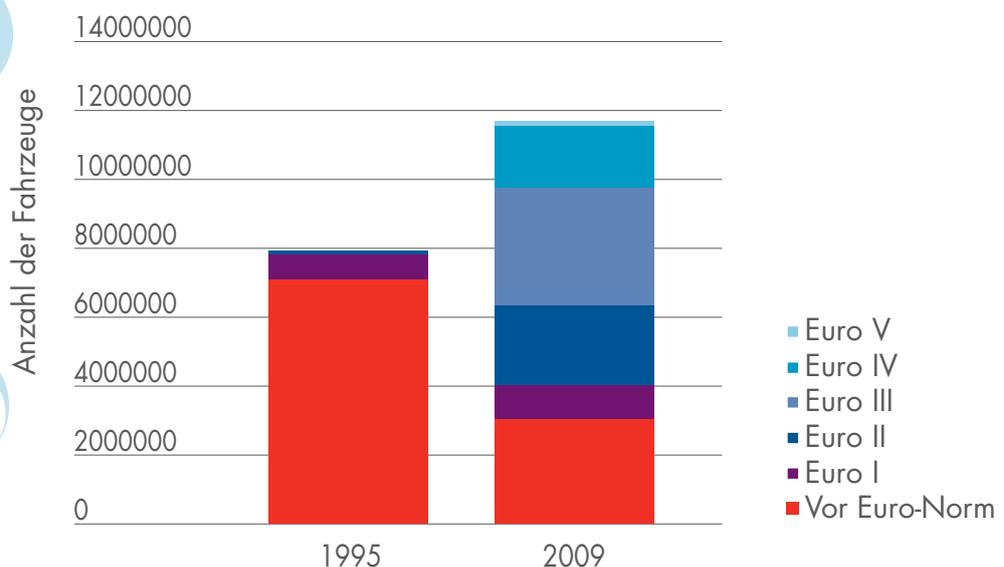
Für Schwerlastmotoren gibt die europäische Gesetzgebung derzeit Grenzwerte für Stickoxide (NO_x), Feinstaub (PM), Kohlenmonoxid (CO) und Kohlenwasserstoffe (HC) vor.

Für Schwerlastmotoren gibt die europäische Gesetzgebung derzeit Grenzwerte für Stickoxide (NO_x), Feinstaub (PM, in der aktuellen Gesetzgebung mit zugehöriger Partikelzahl PN), Kohlenmonoxid (CO) und Kohlenwasserstoffe (HC) vor. Der Ausstoß von Abgasschadstoffen hängt in hohem Maße von den Betriebsbedingungen des Motors ab. Deshalb wurden standardisierte Testzyklen entwickelt, die typische Betriebsbedingungen nachbilden. Bei diesen Fahrzyklen werden die Abgasemissionen gemessen, während der Motor unter den entsprechenden Drehzahl-Zeit- bzw. Drehzahl-Last-Bedingungen auf einem Prüfstand läuft. Jede Euro-Stufe geht mit einem Testzyklus oder einer Kombination von Testzyklen einher, wobei die Testzyklen im Laufe der Zeit realitätsnäher geworden sind. In Europa haben sich die Testzyklen vom stationären Fahrzyklus R-49 (Euro I-III) über den europäischen stationären Fahrzyklus (European Stationary Cycle, ESC) und europäischen instationären Fahrzyklus (European Transient Cycle, ETC) (Euro III-V) bis zu den derzeit aktuellen, weltweit harmonisierten stationären (World Harmonised Stationary Cycle, WHSC) und instationären Fahrzyklen (World Harmonised Transient Cycle, WHTC) (Euro VI) weiterentwickelt. Neufahrzeuge dürfen in der EU nur verkauft werden, wenn ihre Motoren nachweislich die entsprechenden Grenzwerte einhalten. Allerdings gelten die neuen Normen nicht rückwirkend für sich aktuell bereits in der Nutzung befindliche Fahrzeuge.

Obwohl im vergangenen Jahrzehnt alle paar Jahre neue Emissionsgrenzwerte eingeführt wurden, dauert es eine Weile, bis eine wesentliche Marktdurchdringung durch die neuen Fahrzeuge stattgefunden hat (Abbildung 8). Das heißt, dass es eine zeitliche Verzögerung zwischen der Einführung strengerer Grenzwerte durch die europäische Gesetzgebung und der Durchsetzung saubererer, neuer Fahrzeuge auf der Straße gibt. Insofern wird es einige Zeit dauern, bis die Gesetzgebung zu lokalen Emissionen die lokale Luftqualität tatsächlich verbessert.

Abbildung 8.

Geschätzte Marktdurchdringung der Euro-Normen in der EU 27: Schwere Nutzfahrzeuge [8]



5.

Vorteile von Shell GTL Fuel in Bezug auf lokale Emissionen

5.2.1.2.

USA

Die Abgasgrenzwerte für in den USA verkaufte Motoren und Fahrzeuge werden von der Environmental Protection Agency (EPA) festgelegt. Die Zuständigkeit der EPA für die Regelung der Fahrzeugemissionen und der Luftqualität im Allgemeinen beruht auf dem Clean Air Act, der zuletzt 1990 novelliert wurde. Die für ein Neufahrzeug relevante Norm wird durch dessen Baujahr bestimmt, wobei die Grenzwerte, wie in der europäischen Gesetzgebung üblich, im Laufe der Jahre strenger geworden sind.

Neben den durch die EPA festgesetzten, bundesweit geltenden Abgasnormen, an die sich alle Bundesstaaten halten müssen, gelten in einigen Staaten strengere Emissionsvorgaben, z. B. die Abgasnormen des California Air Resources Board (CARB). Die CARB-Normen waren immer strenger als die Anforderungen der EPA, dennoch entsprechen sie im Aufbau den bundesweit geltenden Vorschriften.

5.2.1.3.

Überblick über die weltweite Situation

Die Gesetzgebung für von schweren Nutzfahrzeugen ausgehende Emissionen legt den Fokus auf PM und NO_x. In Tabelle 2 sind die US-bundesweiten, die europäischen und die japanischen Normen für NO_x- und PM-Emissionen aus Schwerlastmotoren ab 1994 aufgeführt. Viele andere Länder haben diese Normen in der einen oder anderen Form übernommen, übernommen, wengleich sie zeitlich oftmals um eine oder zwei Stufen zurück liegen.

Emissionen werden in der Einheit g/kWh (EU, Japan) oder g/bhph (USA) angegeben. Ein größerer Motor erzeugt eine größere Masse an Abgasen, also eine größere absolute Emissionsmenge als ein kleinerer Motor, liefert aber auch mehr Energie. Indem der Schadstoffausstoß als Größe einer Masse pro vom Motor gelieferter Energieeinheit angegeben wird (g/kWh oder g/bhph), kann ein und dieselbe Norm für alle Motorbaugrößen Anwendung finden.

Tabelle 2.

Grenzwerte für NO_x/PM-Emissionen von Schwerlast-Dieselmotoren

Jahr	USA		Europäische Union		Japan	
	NO _x (g/bhph)*	PM (g/bhph)*	NO _x (g/kWh)	PM (g/kWh)	NO _x (g/kWh)	PM (g/kWh)
1992 (Euro I)	-	-	8,0	0,36	-	-
1994	5,0	0,10	"	"	7,8	0,95
1996 (Euro II)	"	"	7,0	0,25	"	"
1998	4,0	0,10	"	0,15	"	"
1999	"	"	"	"	4,5	0,25
2000 (Euro III)	"	"	5,0	0,10**	"	"
2002	2,5	0,10	"	"	"	"
2005 (Euro IV)	"	"	3,5	0,02**	3,0	0,10
2007	0,2	0,01	"	"	"	"
2008 (Euro V)	"	"	2,0	0,02**	"	"
2013 (Euro VI)	"	"	0,4	0,01**	"	"

Aufgrund von Unterschieden in den Testzyklen sind die Grenzwerte der Regulierungsbehörden nicht direkt vergleichbar

* 1,00 g/bhph = 1,34 g/kWh

** Europäische PM-Normwerte nach European Stationary Cycle (ESC) vor 2001, danach European Transient Cycle (ETC)

Die Gesetzgebung für von schweren Nutzfahrzeugen ausgehende Emissionen legt den Fokus auf PM und NO_x.

5.

Vorteile von Shell GTL Fuel in Bezug auf lokale Emissionen

5.2.2.

PKW und leichte Nutzfahrzeuge

Die Vorschriften für Emissionen durch PKW- und leichte Nutzfahrzeugmotoren entsprechen im Wesentlichen denjenigen für Schwerlast Nutzfahrzeuge. Ein Hauptunterschied ist jedoch, dass die Emissionsgrenzwerte sich auf das Fahrzeug und nicht den Motor beziehen. Das liegt daran, dass – anders als bei Schwerlast-Nutzfahrzeugen – der Hersteller des Fahrzeugs normalerweise auch der Hersteller des Motors ist. Der Emissionsnachweis findet auf einem Fahrzeugprüfstand statt und wird in Masse eines Schadstoffs pro zurückgelegter Strecke (g/km) angegeben, anstatt als Masse eines Schadstoffs pro Energieeinheit (g/kWh). Eine Gesamtübersicht der europäischen Emissionsgrenzwerte für PKW und leichte Nutzfahrzeuge ist in Anhang 1 aufgeführt.

5.2.3.

Schwerlastmotoren (Off-Road-Anwendungen) Schifffahrt

Bei Schiffsanwendungen gelten unterschiedliche Abgasvorschriften für See- und Binnenschifffahrt.

5.2.3.1.

Seeschifffahrt

In der Seeschifffahrt wurden die Schwefelgrenzwerte über die Jahre gesenkt. So hat beispielsweise die internationale Schifffahrtsbehörde IMO im Emissions-Überwachungsgebiet von Nordsee, Ärmelkanal und Ostsee (ECA) den Schwefelgehalt seit dem 1. Januar 2015 auf 0,1 % begrenzt.

NO_x- und Schwefeloxid-Emissionen werden von der Gesetzgebung gemäß MARPOL Anhang VI reguliert. Nach dieser Gesetzgebung erfüllt Shell GTL Fuel die Anforderungen laut MARPOL Anhang VI Reg. 18.3.1, da es sich um einen Kraftstoff nach ISO 8217 handelt. Dementsprechend sind bei Shell GTL Fuel keine weiteren NO_x-Tests erforderlich⁷. (Für bestimmte andere Kraftstoffsorten ist dies nach Absatz 18.3.2 vorgeschrieben.)

5.2.3.2.

Europäische Binnenschifffahrt

Die europäische Kraftstoffqualitätsrichtlinie (2009/30/EG, Änderung 97/70/EG) schränkt den Schwefelanteil in Dieselmotoren seit Januar 2011 für die Binnenschifffahrt auf 10 ppm ein.

Die Zentralkommission für die Rheinschifffahrt (ZKR) und die EU haben 2007 Emissionsgrenzwerte für neue Binnenschiffsmotoren nach CCNR2 bzw. nach „Stage IIIa“ festgelegt.[9] Vor dieser Vorschrift war CCNR1, 2003 eingeführt, die erste Emissionsvorschrift für die Binnenschifffahrt. Unter die Kategorie CCNR0 fallen Motoren, die vor Einführung dieser Vorschrift gebaut wurden, d. h. nicht gesetzlich regulierte Motoren ohne Emissionsbeschränkungen.

Die Emissionsgrenzwerte hängen von der Leistung ab und werden in den Tabellen 3 und 4 erläutert.



OFFSHORE-VERSORGUNGSSCHIFF „KROONBORG“ MIT SHELL GTL FUEL

⁷ Bei Schiffen können die NO_x-Emissionen mithilfe von Shell GTL Fuel verringert werden, um die strengeren Emissionsanforderungen nach Tier III potenziell zu erfüllen. In diesem Fall könnte für einen Emissionsnachweis eine Prüfung von Shell GTL Fuel auf Tier-III-Konformität gefordert werden, da GTL Fuel dann eine Maßnahme zur Einhaltung der geforderten NO_x-Grenzwerte wäre.

5.

Vorteile von Shell GTL Fuel in Bezug auf lokale Emissionen

Tabelle 3.

Grenzwerte für CCNR2-Emissionen

Nettoleistung (P) (kW)	Kohlenmonoxid (CO) (g/kWh)	Kohlenwasserstoffe (HC) (g/kWh)	Stickoxide (NO _x) (g/kWh)	Partikel (PT) (g/kWh)
130 < P < 560	3,5	1,0	6,0	0,2
75 < P < 130	5,0	1,0	6,0	0,3
37 < P < 75	5,0	1,3	7,0	0,4
18 < P < 37	5,5	1,5	8,0	0,8

Tabelle 4.

Grenzwerte Emissionsstufe Stage IIIA

Kategorie: Hubraum/Nettoleistung (SV/P) (Liter pro Zylinder/kW)	Kohlenmonoxid (CO) (g/kWh)	Summe der Kohlenwasserstoffe und Stickstoffoxide (HC+NO _x) (g/kWh)	Partikel (PT) (g/kWh)
V1 : 1 SV < 0,9 und P ≥ 37 kW	3,5	7,5	0,40
V1 : 2 0,9 ≤ SV < 1,2	5,0	7,2	0,30
V1 : 3 1,2 ≤ SV < 2,5	5,0	7,2	0,20
V1 : 4 2,5 ≤ SV < 5	5,0	7,2	0,20
V2 : 1 5 ≤ SV < 15	5,0	7,8	0,27
V2 : 2 15 ≤ SV < 20 und P < 3300 kW	5,0	8,7	0,50
V2 : 3 15 ≤ SV < 20 und P ≥ 3300 kW	5,0	9,8	0,50
V2 : 4 20 ≤ SV < 25	5,0	9,8	0,50
V2 : 5 25 ≤ SV < 30	5,0	11,0	0,50

Die EU und die Zentralkommission für die Rheinschifffahrt (ZKR) arbeiten derzeit an einer neuen Gesetzgebung für neue wie für alte Schiffe. Die Anforderungen der EU bezüglich der Emissionen neuer Schiffe wurden verschärft. Die europäische Kommission hat die Richtlinie über mobile Maschinen und Geräte (Non-Road Mobile Machinery Directive, NRMM) am 25. September 2014 verabschiedet und gibt damit die Emissionsanforderungen der Stufe V vor, die 2018–2021 [10] in Kraft treten.

5.2.4.

Schwerlastmotoren (Off-Road) Andere

Für andere Off-Road-Anwendungen wie Schiene, Bauwesen usw. gibt es weitere Abgasnormen, die ziemlich komplex sind, da sie verschiedenste Motortypen mit unterschiedlichen Leistungsbereichen abdecken. Jedoch bietet die NRMM-Richtlinie ein gewisses Maß an Einheitlichkeit (siehe Verweis [10]).

5.

Vorteile von Shell GTL Fuel in Bezug auf lokale Emissionen

5.3. Lokale Emissionen und Luftqualität

Abgasemissionen und ihr Einfluss auf die lokale Luftqualität rücken immer mehr ins Zentrum des Interesses.

Im Laufe der Zeit haben immer strengere Emissionsgrenzwerte die Fahrzeuge deutlich sauberer gemacht (wie Abbildung 7 zu entnehmen ist). Absolut gesehen werden die Vorteile durch sauberer verbrennende Kraftstoffe also kleiner. Trotzdem ist die Luftqualität in vielen Städten noch immer schlechter als nach geltenden Vorschriften zulässig. Regierungen und gewerbliche Fuhrparkbetreiber stehen unter erheblichem Druck, ihre lokalen Emissionen zu senken.



SHELL GTL FUEL BUSTEST IN SHANGHAI, CHINA

5.4. Reduzierung lokaler Emissionen von Fahrzeugflotten

Die Einhaltung moderner Abgasvorschriften wurde durch eine Kombination fortschrittlicher Motor- und Nachbehandlungstechnologien in Neufahrzeugen möglich.

Die Nutzung dieser modernen Technologien in Fuhrparks mag einige Zeit in Anspruch nehmen, denn sie ist mit hohem Kapitalaufwand für neue Fahrzeuge verbunden.

Der unmittelbare Einsatz von Shell GTL Fuel ist in zweierlei Hinsicht attraktiv: i) es ist ein sofortiger Rückgang der lokalen Emissionen möglich und ii) man kann, insbesondere bei älteren Flotten, eine Verbesserung der lokalen Gesamtemissionen zu einem deutlich geringeren Kapitalaufwand in Angriff nehmen als durch den Kauf neuer Fahrzeuge. Anders als einige andere saubere alternative Kraftstoffe und Technologien (z. B. Dieselpartikelfilter „DPF“, komprimiertes Erdgas „CNG“ oder Flüssiggas „LNG“) bedarf es für Shell GTL Fuel keinerlei Investitionen in Fahrzeuge oder die Tankinfrastruktur.

Diverse Shell Studien und mit Partnern durchgeführte Forschungsprogramme haben die durch Verwendung von Shell GTL Fuel herbeigeführte Reduktion lokaler Emissionen nachgewiesen. Die Größenordnung dieser Vorteile hängt von einer Reihe von Faktoren ab: dem Alter und dem Typ des Motors, dem verwendeten Abgasnachbehandlungsverfahren, dem zu ersetzenden Dieselmotorkraftstoff sowie den Anforderungen der konkreten Anwendung. Im folgenden Kapitel werden die umfassenden von Shell unternommenen Erprobungen sowie die beobachteten Emissionsvorteile beschrieben.

5.

Vorteile von Shell GTL Fuel in Bezug auf lokale Emissionen

5.5. Zusammenfassung der Ergebnisse der Shell GTL Fuel Emissionstests

Kontrollierte Tests auf Prüfständen wurden durchgeführt, um die durch den Einsatz von Shell GTL Fuel zu erwartende Reduktion der lokalen Emissionen zu bestätigen.

Ein Großteil der Daten zu lokalen Emissionen wurde bislang vorwiegend auf Motorenprüfständen, aber auch auf Fahrzeugprüfständen ermittelt. Es liegen Daten für ein breites Spektrum an Fahrzeugen und Nachbehandlungssystemen vor, die heute auf den Straßen unterwegs sind. Alle in diesem Kapitel vorgelegten Daten wurden einer vollständigen statistischen Analyse unterzogen, und die Reduktionen sind, sofern nicht anders angegeben, zu >95 % statistisch relevant.

Die Darstellung als „prozentuale Verbesserung im Vergleich zu herkömmlichem Diesel“ ist eine geeignete Möglichkeit, die potenzielle Reduzierung der lokalen Emissionen durch Shell GTL Fuel darzustellen. Besonders nützlich ist dies für den häufig anzutreffenden Fall, in dem ein Fuhrpark aus Fahrzeugen unterschiedlichen Alters besteht und damit sehr große Schwankungen in den Absolutwerten der lokalen Emissionen aufweist. Umfangreiche Tests haben gezeigt, dass die prozentuale Verringerung lokaler Emissionen durch Shell GTL Fuel über ein Spektrum an Fahrzeugtypen und Altersklassen relativ konstant bleibt.

Es sei darauf hingewiesen, dass sich die Werte aus Emissionstests ergeben, die unter sorgfältig kontrollierten Laborbedingungen und nach gesetzlich vorgeschriebenen Testzyklen durchgeführt wurden. Diese Testzyklen dienen dazu, die „normalen“ Fahrbedingungen in Europa so genau wie möglich zu simulieren. Trotzdem können die tatsächlichen Fahrzeugtypen und Fahrbedingungen „auf der Straße“ hiervon abweichen, sodass eine entsprechende Größenordnung der Reduktionen in der Praxis nicht für alle Anwendungen garantiert werden kann. Es ist aber davon auszugehen, dass die Prozentsätze einen guten Anhaltspunkt für die Größenordnung der potenziellen Vorteile liefern, die in konkreten Fuhrparks zu erzielen sind.

5.5.1. Schwere Nutzfahrzeuge

Schwere Nutzfahrzeuge sind als Einsatzbereich für Shell GTL Fuel prädestiniert, vor allem, weil sie oft auf einem eigenen Betriebshof betankt und zentral beliefert werden können. Außerdem verbrauchen sie große Mengen Kraftstoff und produzieren damit im Vergleich zu PKW und leichten Nutzfahrzeugen deutlich größere Schadstoffmengen. Daraus folgt, dass eine durch den Kraftstoffwechsel zu erreichende Reduzierung der lokalen Emissionen einen potenziell größeren Nettovorteil für die lokale Luftqualität ergibt.

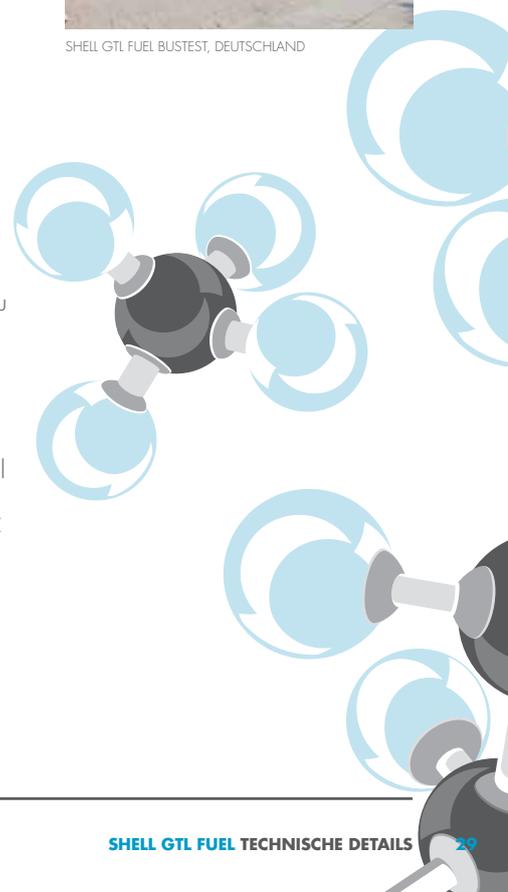
Interne Shell Studien und gemeinsam mit Partnern durchgeführte Feldversuche mit schweren Nutzfahrzeugen haben ergeben, dass die relative Reduktion lokaler Emissionen durch Shell GTL Fuel in etwa konstant bleibt, selbst bei moderneren Technologien. Die meisten Tests haben eine Reduktion in der Größenordnung von 10 bis 20 % für NO_x, PM, CO und HC ergeben. Aufgrund der folgenden Faktoren gibt es allerdings Unterschiede innerhalb der einzelnen Technologien (Euro-Stufe):

- Bauart und Kalibrierung des Motors
- Vorhandensein und Art des Nachbehandlungssystems
- Eigenschaften des Fahrzyklus und der Referenzkraftstoffe

Shell und Andere haben kontrollierte Tests auf Prüfständen durchgeführt, um die durch den Einsatz von Shell GTL Fuel zu erwartende Reduktion der lokalen Emissionen zu bestätigen.



SHELL GTL FUEL BUSTEST, DEUTSCHLAND



5.

Vorteile von Shell GTL Fuel in Bezug auf lokale Emissionen



SHELL GTL FUEL BUSTEST IN LONDON, GROSSBRITANNIEN

Selbst mit der modernen Euro-V-Technologie bewirkt Shell GTL Fuel nach wie vor erhebliche prozentuale Reduktionen der lokalen Emissionen.

In den folgenden Kapiteln fassen wir die Ergebnisse der Emissionstests zusammen, die Shell von Euro I bis Euro VI durchgeführt hat. All diesen Emissionstests liegt ein für die Euro-Stufe des jeweils getesteten Motors relevanter Testzyklus zugrunde. Die verwendeten Referenzkraftstoffe erfüllen die Anforderungen der jeweiligen Euro-Stufen der Motoren. Alle in diesem Kapitel vorgelegten Daten wurden einer vollständigen statistischen Analyse unterzogen, und sind, sofern nicht anders angegeben, auf einem Konfidenzniveau von $\geq 95\%$ statistisch relevant. Anhang 2 sind alle Ergebnisse sowie Informationen über die verwendeten Fahrzeuge und Testzyklen zu entnehmen.

5.5.1.1.

Zusammenfassung der prozentualen Emissionsreduktionen bei Schwerlastmotoren – Euro I bis VI

Inzwischen liegt ein größerer Datenbestand zu Emissionsprofilen vor, insbesondere für moderne Euro-VI-Motoren. Hiermit ist ein nennenswertes Spektrum an Fahrzeugen, Motoren und Nachbehandlungssystemen abgedeckt, die heute auf der Straße anzutreffen sind.

Selbst mit der modernen Euro-V-Technologie bewirkt Shell GTL Fuel nach wie vor erhebliche prozentuale Reduktionen der lokalen Emissionen.

Tabelle 5.

Prozentuale Reduktion lokaler Emissionen bei Schwerlastmotoren im Vergleich zu herkömmlichem Diesel

Prozentuale Reduktion im Vergleich zu herkömmlichem Diesel nach EN 590				
	PM	NO _x	HC	CO
Euro I	18	16	13	22
Euro II	18	15	23	5
Euro III	10 bis 34	5 bis 19	< 9*	12 bis 20
Euro IV	31 bis 38	5 bis 16	10 bis 28	9
Euro V	23 bis 33	5 bis 37	19 bis 23**	8 bis 22
Euro VI	Absolute Werte kaum erfassbar, daher kein signifikanter Vorteil erkennbar			

* Nicht mit einem Konfidenzniveau von $\geq 95\%$ statistisch relevant (Schätzung der Obergrenze des Reduktionspotenzials)

** Nicht bei Standard-Prüftemperatur (5 und 40 °C, nicht 23 °C)

Sofern nicht anders angegeben, sind alle Werte $\geq 95\%$ statistisch relevant. Bereichsangaben entsprechen den statistisch relevanten Mindest- und Maximalreduktionen, die für die betreffende Euro-Stufe in Motoren gemessen wurden.

Eine vollständige Aufstellung der getesteten Motoren und der gemessenen prozentualen lokalen Emissionsreduktionen ist Anhang 2 zu entnehmen.

Tabelle 5 verdeutlicht, dass die sich für die untersuchten Technologien ergebenden prozentualen Reduktionen lokaler Emissionen Übereinstimmungen aufweisen. Selbst mit der modernen Euro-V-Technologie kann Shell GTL Fuel immer noch erhebliche prozentuale Reduktionen der lokalen Emissionen bewirken. Außerdem haben sich diese prozentual ausgedrückten Vorteile als relativ stabil über die Zeit erwiesen, selbst bei immer umweltfreundlicheren Fahrzeugtechnologien. Bei der Bewertung der Reduktionen für die einzelnen mit Grenzwerten belegten Emissionen ist Folgendes festzustellen:

- Eine große prozentuale Reduktion der PM war bei praktisch allen geprüften Motoren von Euro I bis Euro V festzustellen
- Innerhalb der einzelnen Technologiezeitalter (Euro-Stufen) kann es große Schwankungen bei den prozentualen Reduktionen geben. Bei manchen Fahrzeugen fällt die prozentuale

5.

Vorteile von Shell GTL Fuel in Bezug auf lokale Emissionen

Reduktion lokaler Emissionen deutlich größer als bei anderen. Bei der Betrachtung von Fuhrparkdurchschnittswerten bleiben die prozentualen NO_x-Vorteile über die Zeit jedoch relativ konstant, auch bei moderner Fahrzeugtechnologie.

- Shell GTL Fuel hat für die HC- und CO-Emissionen konstante prozentuale Reduktionen ergeben. Allerdings ist bei modernen Motoren das absolute Emissionsniveau sehr niedrig (typischerweise <10 % der Euro-Grenzwerte), sodass die in einigen Tests gemessenen Vorteile kein statistisches Gewicht haben.

5.5.1.2.

Euro VI

Euro-VI-Motoren sind im Vergleich zu früheren Euro-Klassen fortschrittlicher und zudem mit Borddiagnosegeräten ausgestattet. Daher wurden neben den üblichen Abgasmessungen Studien zur Funktionsfähigkeit durchgeführt. Darüber hinaus gibt es Schwierigkeiten bei der Erfassung der Daten aus Euro-VI-Fahrzeugen, da die gemessenen Emissionen sehr gering und mit den gängigen Methoden kaum erfassbar sind.

Die Ergebnisse eines aktuellen Tests mit einem VDL Bus nach Euro VI ergaben keine statistisch relevanten Differenzen zwischen EN590-Diesel und Shell GTL Fuel in den gesetzlich regulierten Abgasbestandteilen: THC (Total Hydrocarbons, Gesamtkohlenwasserstoffe), CO, NO_x und PN (Particulate Number oder Partikelzahl, neues Maß für Euro VI). Die diesbezügliche Gleichartigkeit zwischen den Kraftstoffen beruht auf der Tatsache, dass die Emissionswerte moderner Fahrzeuge mit effizienter Abgasnachbehandlungstechnik bereits sehr niedrig sind. Shell GTL Fuel ergab jedoch im Vergleich zu EN 590-Diesel deutlich geringere vor Abgasnachbehandlung gemessene Emissionen im Hinblick auf THC, CO, NO_x und Ruß. Dies könnte Vorteile mit sich bringen, wie beispielsweise eine geringere Belastung des Katalysators, Vorteile bei der Wartung sowie eine längere Lebensdauer des Abgasnachbehandlungssystems.

Bei einem Test im Straßenbetrieb wurde ein LKW vom Typ Mercedes Actros 1851 (Euro VI) 2 Tage lang mit Shell GTL Fuel betrieben. Der Fahrer konnte kein ungewöhnliches Verhalten des Fahrzeugs oder irgendwelche aufleuchtenden Warnleuchten an der Instrumententafel feststellen, der LKW funktionierte erwartungsgemäß. Der Fahrer nahm an einem Morgen einen Kaltstart bei ca. 0 °C vor, wobei der kalte Motor nach seinen Angaben im Leerlauf ruhiger als mit regulärem Dieselmotorkraftstoff lief und ohne die dicke Rauchwolke, die er unmittelbar nach dem Anlassen des Motors erwartet hätte.

Abschließend wurde bei einem deutschen Busbetreiber ein Euro-VI-Bus (Daimler Citaro G C2) mit Shell GTL Fuel erfolgreich auf der Straße getestet. Probleme wie beispielsweise mit aufleuchtenden OBD-Warnanzeigen (On Board Diagnostic) traten nicht auf.

In Anbetracht der oben beschriebenen, begrenzten Erfahrungen mit Euro VI – und im Zusammenhang mit Daten von Dritten – deuten die vorläufigen Ergebnisse darauf hin, dass Shell GTL Fuel in Euro-VI-Motoren ohne technische Probleme und ohne Überschreitung der gesetzlichen Emissionsanforderungen verwendet werden kann.

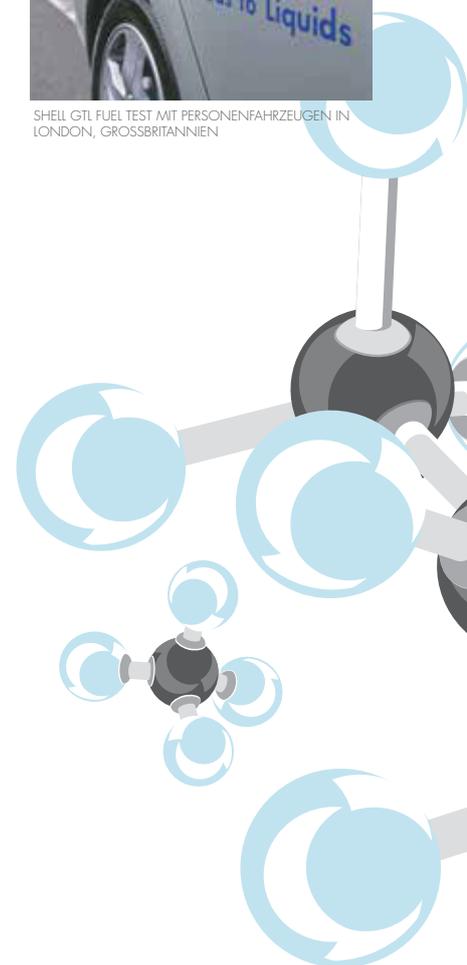
5.5.2.

PKW und leichte Nutzfahrzeuge

Emissionsprüfungen an PKW und leichten Nutzfahrzeugen sind weniger kostspielig als die entsprechenden Messungen an schweren Nutzfahrzeugen, was überwiegend daran liegt, dass Prüffahrzeuge besser verfügbar, preisgünstiger und einfacher einzurichten sind. Hierdurch kann für jede Technologie(Euro-) Stufe eine größere Bandbreite an Fahrzeugfabrikaten geprüft werden. Dies und das konsistentere Niveau der prozentualen Reduktionen bedeuten, dass – anders als bei den Messungen an schweren Nutzfahrzeugen – die prozentualen Reduktionen hier so gemittelt werden können, dass sich ein repräsentativer Wert für die jeweilige Technologie ergibt und ein „Fuhrparkdurchschnitt“ berechnet werden kann. Im Allgemeinen sind bei PKW und leichten Nutzfahrzeugen die prozentualen Reduktionen bei allen lokalen Emissionen größer, mit Ausnahme von NO_x.



SHELL GTL FUEL TEST MIT PERSONENFAHRZEUGEN IN LONDON, GROSSBRITANNIEN



5.

Vorteile von Shell GTL Fuel in Bezug auf lokale Emissionen

5.5.2.1.

Zusammenfassung der prozentualen Reduktion lokaler Emissionen bei Motoren von PKW und leichten Nutzfahrzeugen – Euro 1 bis 4

Tabelle 6.

Prozentuale Reduktion lokaler Emissionen bei kleineren Motoren im Vergleich zu herkömmlichem Diesel

Prozentuale Reduktion im Vergleich zu herkömmlichem Diesel nach EN 590				
	PM	NO _x	HC	CO
Euro 1	42	10	45	40
Euro 2	39	5	63	53
Euro 3	41	5	62	75
Euro 4*	14 bis 20	-6 bis 2	66 bis 77	73 bis 83

Alle angegebenen Werte sind mit einem Konfidenzniveau von $\geq 95\%$ statistisch relevant

* Bereichsangaben ergeben sich aus dem Vergleich mit zwei verschiedenen Referenz-Dieselmotoren (mit unterschiedlicher Dichte) und entsprechend gemessenen statistisch relevanten Mindest- und Maximalreduktionen. Alle Angaben zu den getesteten Fahrzeugen sind Anhang 2 zu entnehmen.

Tabelle 6 verdeutlicht, dass von Euro 1 bis Euro 4 eine relativ gute Konsistenz hinsichtlich der lokalen Emissionsvorteile herrscht. Bei der Bewertung der Reduktionen für die einzelnen mit Grenzwerten belegten Emissionen ist Folgendes festzustellen:

- Shell GTL Fuel hat bei allen geprüften Technologien für kleinere Motoren, einschließlich modernen Euro-3/4-Motoren, große HC- und CO-Emissionsreduktionen gegenüber herkömmlichem Diesel ergeben.
- Die PM-Emissionsreduktionen waren ebenfalls erheblich und auch bei Euro-4-Fahrzeugen noch vorhanden, wenn auch in geringerem Umfang.
- Die NO_x-Emissionsreduktionen fielen im Vergleich zu den anderen Emissionsarten kleiner aus, und bei der Euro-4-Fahrzeugtechnologie waren praktisch keine konkreten Vorteile mehr messbar.

5.6.

Übersicht über Emissionstests mit Schiffsmotoren

Emissionsmessungen unter Verwendung von Shell GTL Fuel wurden an Binnenschiffen (Novamente und Invado), an einer Antriebsmaschine (Motortest am MTU-Prüfstand) sowie an Hilfsaggregaten (an Bord der Dr Wagemaker-Fähre sowie am PonPower-Motorprüfstand) durchgeführt.

Der Betrieb mit Shell GTL Fuel hat in Bezug auf alle mit Grenzwerten belegten Emissionen (PM, NO_x, HC, CO) eine Reduktion in allen getesteten Motoren ergeben. Einzige Ausnahme stellte das Schiff MS Invado dar, bei dem keine Vorteile bezüglich des CO-Ausstoßes festgestellt wurden. Die Emissionsreduzierung (für jede Kategorie) von Binnenschiffen ähnelt sowohl bezüglich der prozentualen Reduzierung, als auch der Bandbreite im Allgemeinen jener von schweren Straßennutzfahrzeugen, (Als einzige Ausnahme fiel die PM-Reduzierung hier etwas höher aus als bei den getesteten Schwerlastmotoren.)

Die Tabelle weiter unten fasst die 5 Tests zusammen und gibt die ermittelten Emissionsreduzierungs-Bandbreiten bei Schiffsmotoren unter Verwendung von GTL wieder [11].

5.

Vorteile von Shell GTL Fuel in Bezug auf lokale Emissionen

Tabelle 7.

Prozentuale Reduktion lokaler Emissionen bei Schiffsmotoren im Vergleich zu herkömmlichem Diesel

Ungefährer Vorteil in % im Vergleich zu Diesel	PM	NO _x	HC	CO
Binnenschiffsmotoren: CCNR0, CCNR1 und US EPA Marine Tier 2	15 bis 60	6 bis 13	10 bis 50	0 bis 15

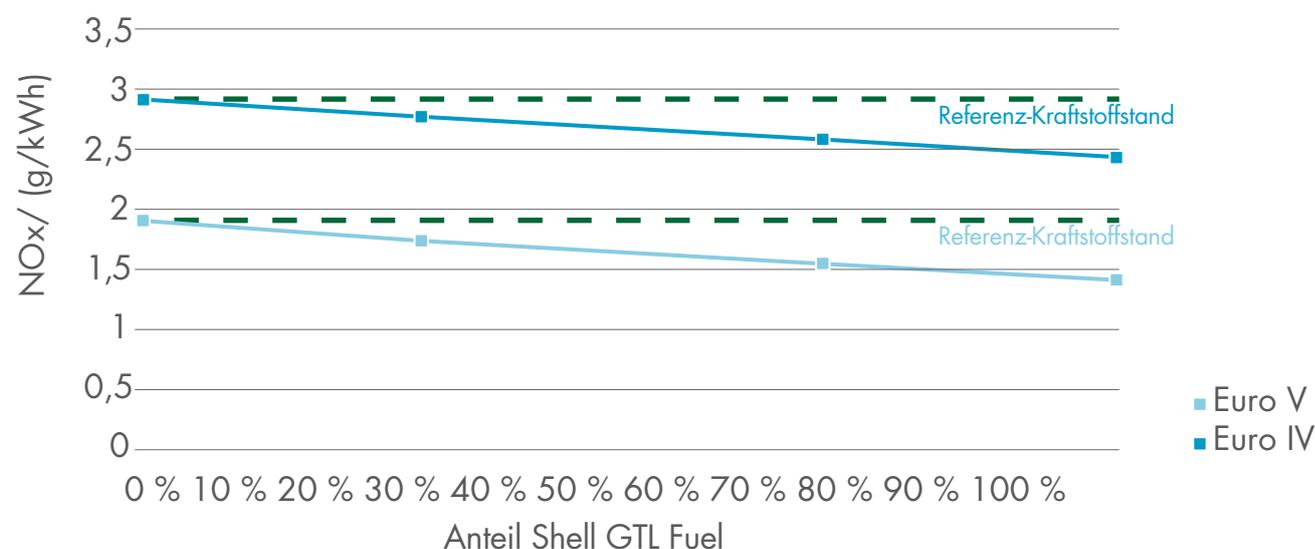
An dieser Stelle sei vermerkt, dass, verglichen mit den Tests an Motoren für leichte und schwere Nutzfahrzeuge, weniger Tests an Binnenschiffen durchgeführt wurden, die Messungen meistens an verschiedenen Caterpillar-Motortypen erfolgten und die Daten nicht statistisch analysiert wurden.

5.7. Emissionen von Kraftstoffgemischen

Gemische von Shell GTL Fuel mit herkömmlichem Diesel können ebenfalls deutliche Emissionsverringerungen bewirken. Experimente mit Schwerlastmotoren haben gezeigt, dass die Werte von PM- und NO_x-Emissionen eine lineare Funktion des Shell GTL Fuel-Anteils darstellen. Beispielsweise würde eine Mischung von 25 % GTL und 75 % Diesel eine 25 %ige Reduzierung der Emissionen im Vergleich zu 100 % GTL bewirken (siehe Abbildung 9). Es gibt erste Anzeichen dafür, dass HC- und CO-Emissionen sich bei Shell GTL Fuel-Gemischen in Schwerlastmotoren ebenfalls linear verhalten. Aufgrund der niedrigen Absolutwerte dieser Emissionen wurden jedoch keine statistisch bedeutsamen Ergebnisse hervorgebracht [12].

Abbildung 9.

NO_x-Vorteile von 100 % GTL und Gemischen mit ULSD für Prototyp Euro IV und Euro V Hochleistungs-Dieselmotoren, beide mit Nachbehandlung



Bei leichteren Motoren stellen die NO_x-Emissionen ebenfalls eine lineare Funktion des Anteils von Shell GTL Fuel dar. Bezogen auf PM-, HC- und CO ergibt sich allerdings eine starke nicht-lineare Beziehung zwischen Emissionsverringerung und Shell GTL Fuel-Anteil dar. D. h., bei einem niedrigen Anteil an Shell GTL Fuel werden Emissionen stärker reduziert, als man bei einer linearen Abhängigkeit erwarten würde. Somit kann schon bei einem relativ geringen Anteil von Shell GTL Fuel in den Kraftstoffgemischen eine hohe prozentuale Emissionsverringerung erzielt werden [3].

5.

Vorteile von Shell GTL Fuel in Bezug auf lokale Emissionen

Auf WtW-Basis (Well-to-Wheels) sind die Treibhausgasemissionen über alle GTL-Produktarten hinweg weitgehend vergleichbar mit denen der entsprechenden Menge von Produkten aus einer konventionellen Raffinerie

5.8. Treibhausgasemissionen und CO₂

Im Zusammenhang mit der globalen Erwärmung stehen Emissionen von Treibhausgasen (THG) längst im Blickpunkt der Öffentlichkeit, und Shell muss gegebenenfalls die THG-Emissionsintensität von Produkten selbst in Regionen, in denen THG-Emissionen nicht gesetzlich geregelt sind, berücksichtigen. Bei GTL-Produkten sind die wichtigsten Treibhausgasemissionen CO₂ (Kohlendioxid), CH₄ (Methan) und N₂O (Distickstoffoxid), die in jeder Phase des Lebenszyklus von Produkten auftreten können: Produktion, Transport und Verarbeitung des Erdgases, Umwandlung in GTL, Transport und Vertrieb des Kraftstoffs und Verbrennung (beim Endverbraucher).

Shell vergleicht die THG-Emissionen im Einklang mit den bewährten Verfahren der Branche nach der Lifecycle- oder WtW- (Well-to-Wheels-) Methode. Auf WtW-Basis haben einige GTL-Produkte eine höhere und andere eine niedrigere THG-Intensität als ihre herkömmlichen Äquivalente, doch die Emissionen über alle GTL-Produktarten hinweg sind weitgehend vergleichbar mit denen der entsprechenden Menge von Produkten aus einer konventionellen Raffinerie. Die Differenzen in den Vorgaben und Verfahren können zu abweichenden Ergebnissen führen.

Die EU ist die einzige Region, in der das WtW-Emissionsniveau von GTL-Gasöl als Transportkraftstoff geregelt ist. Die Europäische Kommission hat die THG-Intensität bei verschiedenen Kraftstoffen auf WtW-Basis geprüft. Die aktualisierte Kraftstoffqualitätsrichtlinie [13] schließt die Verwendung eines einzigen Wertes für die branchenweit durchschnittliche Treibhausgasintensität von Dieselmotoren ein, die auch für GTL-Gasölvolumen gelten soll. Sie verweist ferner auf eine WtW-Intensität bei GTL, die weitgehend im Einklang mit Raffinerie-Diesel steht (94,3 gCO₂eq/MJ bei GTL, 95,1 gCO₂eq/MJ bei Diesel). Hinweis: Dieser Wert ist eine theoretische für generischen GTL-Kraftstoff errechnete Intensität, die nicht die tatsächliche Intensität des von Shell erzeugten GTL-Kraftstoffs repräsentiert. Des Weiteren sei angemerkt, dass bestimmte Gesetzgebungen unterschiedliche Intensitätswerte übernehmen können.

Bestimmte Kommunalverwaltungen und Gesetzgeber beziehen sich auf CO₂-Emissionen nach der TiW-Berechnung (Tank-to-Wheels), und viele Fuhrparkbetreiber sind dieser verpflichtet oder durch sie reguliert. Es wird im Allgemeinen angenommen, dass bei der Verbrennung von GTL-Gasöl in Motoren ähnliche CH₄- und N₂O-Emissionen wie beim herkömmlichen Dieselmotoren auftreten. Tatsächlich sind die CO₂-Emissionen bei GTL jedoch niedriger als bei Diesel. Die bei Shell GTL Fuel gemessenen Emissionen nach Tank-to-Wheels-Maßstab waren in der Regel 4 bis 5 % geringer als bei herkömmlichem Diesel auf Rohölbasis. Dieser niedrigere TiW-Emissionswert für Shell GTL Fuel lässt sich aus einer Kombination von zwei Faktoren ableiten. Erstens haben die Kohlenwasserstoffe von Shell GTL Fuel einen höheren spezifischen (massebezogenen) Energiegehalt, sodass weniger Masse benötigt wird, um die gleiche Energie zu erzeugen wie Diesel. Zweitens enthält Shell GTL Fuel einen geringeren Masseprozentsatz an Kohlenstoff (Wasserstoff-Kohlenstoff-Verhältnis von 2,1 gegenüber 1,85 bei Diesel), wodurch sich das Verhältnis der Verbrennungsprodukte von CO₂ zum Wasser hin verschiebt.

5.

Vorteile von Shell GTL Fuel in Bezug auf lokale Emissionen

5.9. Zusammenfassung

Die Testergebnisse zeigen, dass die Verwendung von Shell GTL Fuel sowohl bei schweren als auch bei leichten Nutzfahrzeugen und PKW zu deutlichen Reduktionen lokaler Emissionen führen kann.

Sobald Shell GTL Fuel verwendet wird, tritt eine Emissionsverringerung (d. h. ein unmittelbarer Vorteil) ein, was potenziell bei jedem Dieselmotor möglich ist. Durch den Umstieg auf Shell GTL Fuel können Fuhrparkmanager deshalb ohne Investitionen in eine neue Tankinfrastruktur einen sofortigen lokalen Emissionsvorteil herbeiführen.

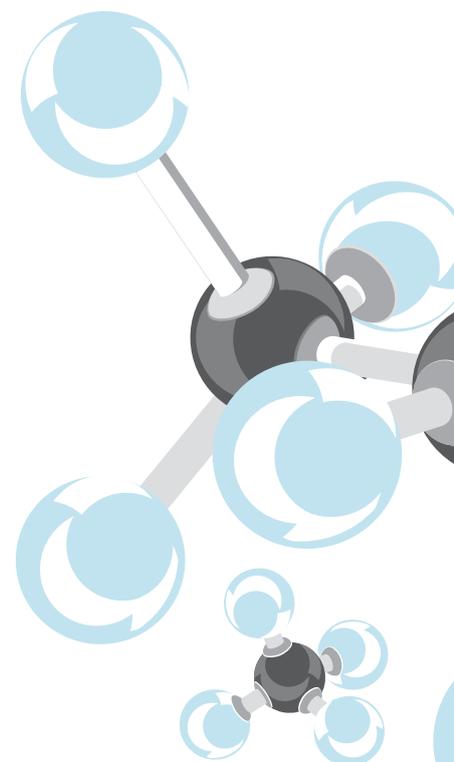
Die Emissionsreduzierung bei Verwendung von Shell GTL Fuel ist insbesondere bei älteren Fahrzeugen relevant, wo diese Verringerung aufgrund des höheren Absolutwertes der Emissionen die signifikanteste ist, was eine deutliche Verbesserung der lokalen Luftqualität bewirkt. Insbesondere in innerstädtischen Regionen, in denen noch viele ältere Dieselmotoren eingesetzt werden, könnte die Verwendung von Shell GTL Fuel große Vorteile für die Luftqualität mit sich bringen.

Die Verwendung von Shell GTL Fuel in Kombination mit modernen Motortechnologien ergibt noch immer große prozentuale Vorteile, die sich u. U. aber nicht mehr wesentlich auf die Luftqualität auswirken werden, da das absolute Niveau der lokalen Emissionen bereits sehr niedrig ist. Dennoch üben Landesregierungen und Kommunen immer noch Druck auf Fuhrparkbetreiber aus, um die Niveaus an lokalen Emissionen zu senken, dies jedoch ohne Berücksichtigung des Fuhrparkalters. Für Fuhrparkbetreiber können deshalb diese prozentualen Einsparungen bei modernen Fahrzeugen immer noch interessant sein.

Im Hinblick auf die THG-Emissionen entspricht der WtW-Wert für Shell GTL Fuel weitgehend dem von Dieselmotoren aus Raffinerien. Der TiW-Wert liegt aber in der Regel um 4–5 % niedriger als der des herkömmlichen Diesels, was auf die Kombination des höheren gravimetrischen Energieinhaltes von Shell GTL Fuel und seinem niedrigeren Kohlenstoffgehalt zurückzuführen ist.



EMISSIONSTESTS



6.

Praxiserprobungen mit Shell GTL Fuel

Dieses Kapitel gibt einen Überblick über die in gut 10 Jahren gesammelten Felderfahrten mit Shell GTL Fuel. Dieser umfasst sowohl von Shell durchgeführte Tests als auch Erfahrungen unserer Kunden. Insgesamt wurden mehr als eine Million Kilometer zurückgelegt. Und dies mit Fahrzeugen verschiedenster Klassen, vom Smart-PKW in Singapur bis zu Bussen in den Niederlanden.

Shell GTL Fuel kann in allen Anwendungsbereichen des herkömmlichen Dieselkraftstoffs eingesetzt werden, um eine sofortige Reduzierung der lokalen Emissionen herbeizuführen.

Im Rahmen von Felderfahrten konnte die Leistung von Shell GTL Fuel viele Monate lang unter realen Praxisbedingungen getestet werden.

Shell hat in internationalen Großstädten eine Vielzahl an Praxistests mit Shell GTL Fuel durchgeführt. Durch diese Felderfahrten wurden Behörden, Fahrzeughersteller und die Öffentlichkeit in Europa, den USA und Asien auf Shell GTL Fuel aufmerksam (Abbildung 10). Die meisten Tests wurden mit gewerblichen Fuhrparks mit eigener, zentraler Tankeinrichtung durchgeführt, z. B. Öffentliche Busbetriebe oder Taxiunternehmen.

Der Schwerpunkt der Tests lag auf der Funktionsfähigkeit der Fahrzeuge, die mit Shell GTL Fuel unter realistischen Straßenbedingungen betrieben wurden. Es wurden jedoch auch einige gut kontrollierte Emissionstests in Ergänzung zu den in Kapitel 5 genannten durchgeführt.

Dieses Kapitel liefert einen Überblick über die in gut 10 Jahren gesammelten Felderfahrten mit Shell GTL Fuel. Dieser umfasst sowohl von Shell durchgeführte Tests als auch Erfahrungen unserer Kunden. Insgesamt wurden mehr als eine Million Kilometer zurückgelegt. Und dies mit Fahrzeugen verschiedenster Klassen, vom Smart-PKW in Singapur bis zu Bussen in den Niederlanden. Als Datenquellen wurden interne Shell Berichte, Pressemitteilungen, Universitätsgutachten und Berichte von Erprobungsteilnehmern herangezogen. Hinweis: Die Vorteile bestimmter Fahrzeuge oder Flotten hängen von zahlreichen anderen Faktoren ab, die einen Einfluss auf die Ergebnisse haben, wie beispielsweise Fahrverhalten und -stil des Fahrers, Fahrbedingungen, Fahrzyklus, Qualität des Schmiermittels, Reifenluftdruck usw.



AMSTERDAM – VAN KEULEN STELLT FÜR SEINE DIESEL-SCHWERLASTFAHRZEUGFLOTTE AUF SHELL GTL FUEL UM

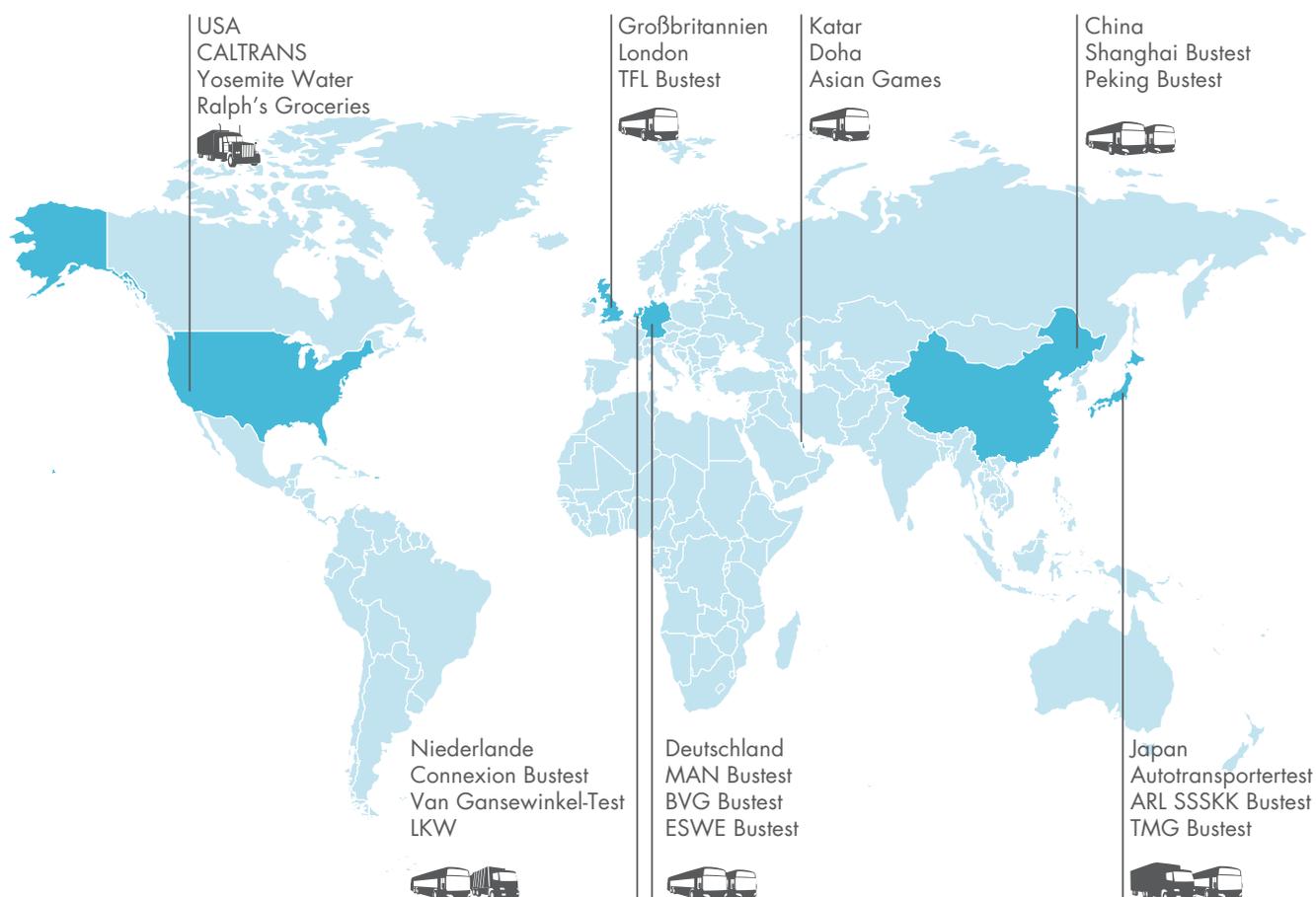
Praxiserprobungen mit Shell GTL Fuel

6.1. Schwere Nutzfahrzeuge

Abbildung 10.

Beispiele für weltweite Feldversuche mit Shell GTL Fuel in schweren Nutzfahrzeugen

Öffentliche Busse sind für den Einsatz von Shell GTL Fuel prädestiniert, weil sie häufig von einem zentralen Depot aus betrieben und betankt werden. Außerdem verbrauchen sie große Mengen Kraftstoff und produzieren im Verhältnis zur zurückgelegten Strecke eine relativ große Masse an Schadstoffen, sodass eine Reduzierung der lokalen Emissionen größere Vorteile für die lokale Luftqualität haben kann. Weltweit wurden viele Praxiserprobungen mit Shell GTL Fuel in öffentlichen Bussen, LKW und anderen schweren Nutzfahrzeugen durchgeführt. Diese sind in Tabelle 8 zusammengefasst.



6.

Praxiserprobungen mit Shell GTL Fuel

Tabelle 8.

Übersicht über Feldtests mit Shell GTL Fuel in schweren Nutzfahrzeugen

Jahr/Monat	Standort	Testbezeichnung	Fahrzeugbetreiber	Anzahl der Fahrzeuge	Gefahrene Kilometer	Fahrzeugtyp
April bis Mai 2002	Kalifornien, USA	CALTRANS	California Department of Transportation	69 LKW	Nicht erfasst: 30.000 Liter GTL Fuel verbraucht	Verschiedene 
Juli bis September 2003	London, Großbritannien	Bustest London	London allgemein	1 Bus	5.000 km	EvoBus mit Daimler Chrysler-Motor (Euro III) 
Dezember 2003 bis August 2004	Los Angeles, USA	Yosemite Waters-Test	Yosemite Waters, National Renewable Energy Laboratory (NREL)	3 LKW	57.000 km	Navistar International, Schwerlast-LKW 
2005 - 2006	Hamburg, Deutschland	MAN Bustest	Hochbahn HW	2 Busse	10.000 km	MAN 7000 Stadtbus 
Februar bis September 2005	Kalifornien, USA	Ralph's Groceries	Ralph's Groceries, US DOE	2 LKW	20.000 km (geschätzt)	Cummins-Motoren 
Dezember 2006 bis Februar 2007	Doha, Katar	Doha Asienspiele (DAG)	Qatar Petroleum, Shell/Sasol Chevron	20 Busse	Nicht erfasst	10 King Long-Medienbusse, 10 Mercedes-Schulbusse 
November 2006 bis Mai 2007	Shanghai, China	Shanghai Euro II Bustest	Shanghai Ba-shi Busverkehrsunternehmen	4 Busse	105.000 km	Yuchai Euro-II-Bus 
Juni bis November 2007	Shanghai, China	Shanghai Euro III Bustest	Shanghai Ba-shi Busverkehrsunternehmen	2 Busse	41.000 km	Yuchai Euro III Bustest 
Mai bis August 2007	Peking, China	Beijing China III Bustest	Beijing Public Transport Holdings Ltd.	4 Busse	70.000 km	Xiamen Jinlong United Auto Industry Limited mit einem Cummins Motor 
Mai bis November 2007	Delft, Niederlande	Delft Connexion Bustest	Connexion Bus Company	7 Busse	300.000 km (geschätzt)	MAN VIAbus 
Dezember 2007 bis Februar 2008	Japan	Autotransportertest	Showa Shell Sekiyu K.K., Toyota	2 LKW	33.000 km	Hino Schwerlast-LKW Euro III 

Praxiserprobungen mit Shell GTL Fuel

Tabelle 8 (Fortsetzung)

Übersicht über Feldtests mit Shell GTL Fuel in schweren Nutzfahrzeugen

Jahr/ Monat	Standort	Testbe- zeichnung	Fahrzeugbe- treiber	Anzahl der Fahr- zeuge	Gefahrene Kilometer	Fahrzeugtyp
Dezember 2007 bis März 2009	Japan	ARL SSSKK Commuter Bustest	Showa Shell Sekiyu K.K.	1 Bus	23.000 km	Hino Liesse II 
2008 Juli	London, Großbritannien	London TfL	Transport for London (TfL)	3 Busse	Nur Abgastest	Volvo Euro III, Enviro Euro IV, Dart Euro III 
Februar 2009 bis Januar 2010	Tokyo,	Japan – TMG Bustest	Stadtverwaltung Tokyo (TMG)	2 Busse	1.500 km	Hino Hybrid 
2010 Juli – No- vember	Vlaardingen und Rotterdam, Niederlande	Van Ganse- winkel-Test	Van Gansewin- kel-Test	7 Müllfahr- zeuge	Nicht erfasst	DAF Euro III, DAF Euro V, Volvo Euro III, Volvo Euro V, Sennebogen 
2012 Mai	Berlin, Deutsch- land	BVG Bustest	Berliner Ver- kehrsbetriebe (BVG)	1 Bus	Nicht erfasst	MAN A39 DD Euro IV 
Mai 2012 bis April 2013	Wiesbaden, Deutschland	ESWE Bustest	ESWE Verkehr Wiesbaden	12 Busse	Geschätzt 720.000 km bei Abschluss im April 2013	EvoBus O 530 Euro III und MAN A21 EEV 

Die Feldversuche mit schweren Nutzfahrzeugen haben ergeben, dass Shell GTL Fuel in diesen Fahrzeugen direkt eingesetzt werden kann, ohne technische Modifikationen vorzunehmen. Bei keiner dieser Erprobungen wurden kraftstoffbedingte Probleme wie Kraftstofflecks, erhöhter Verschleiß oder Instandhaltungsprobleme festgestellt. Darüber hinaus war die Kundenzufriedenheit mit Shell GTL Fuel durchweg sehr hoch. Fahrer lobten die Fahreigenschaften, die herkömmlichem Diesel entsprechen und die Abwesenheit von unangenehmen Gerüchen und Abgasrauch.

Neben der Bestätigung der Leistungsfähigkeit von Shell GTL Fuel über viele Monate unter „Straßenbedingungen“ wurden in begleitenden Emissionstests lokale Emissionsvorteile im Vergleich zu herkömmlichem, aus Rohöl gewonnenem Dieseldieselkraftstoff nachgewiesen. Diese begleitenden Untersuchungen zur Reduktion lokaler Emissionen sind Anhang 2, Tabelle 21 zu entnehmen. Aus den Emissionsergebnissen der Versuchsläufe und den von Shell durchgeführten Tests für schwere Nutzfahrzeuge (Tabelle 5) geht hervor, dass die Daten im Hinblick auf die prozentualen Reduktionen einen hohen Grad an Übereinstimmung aufweisen. Dies bestätigt die Fähigkeit von Shell GTL Fuel, zur Reduzierung der von schweren Nutzfahrzeugen ausgehenden lokalen Emissionen beizutragen, selbst in anspruchsvollen, anwendungsspezifischen Fahrzyklen.

6.

Praxiserprobungen mit Shell GTL Fuel

6.2. PKW und leichte Nutzfahrzeuge

Abbildung 11.

Beispiele für weltweite Feldversuche mit Shell GTL Fuel in PKW



Ein anderer, gut geeigneter Anwendungsbereich für Shell GTL Fuel sind PKW und leichte Nutzfahrzeuge. Ein gutes Beispiel sind Taxiflotten, die verstärkt in Stadtzentren fahren, da diese an einem zentralen Ort betankt werden können, wie dies auch bei Busflotten der Fall ist. Bei PKW-Fuhrparks wurden ebenfalls große prozentuale Reduktionen lokaler Emissionen durch die Verwendung von Shell GTL Fuel nachgewiesen. Shell hat unterschiedlichste PKW und leichte Nutzfahrzeuge erprobt und dabei zum Teil auch den Emissionsausstoß gemessen. Diese PKW-Feldtests sind in Tabelle 9 zusammengefasst.

Praxiserprobungen mit Shell GTL Fuel

Tabelle 9.

Übersicht über Praxistests mit 100% Shell GTL Fuel in PKW und leichten Nutzfahrzeugen

Jahr/Monat	Standort	Testbezeichnung	Fahrzeugbetreiber	Anzahl der Fahrzeuge	Gefahrene Kilometer	Fahrzeugtyp
Mai bis September 2003	Berlin, Deutschland	Flottentest Volkswagen, Berlin	Wohltätigkeitsorganisationen	25 PKW	> 220.000 km	VW Golf Euro 3 
Juli bis September 2004	London, Großbritannien	Toyota-Test London	Wohltätigkeitsorganisationen	10 PKW	Nicht erfasst	Toyota Avensis Euro 4 
Oktober 2004	Shanghai, China	Shanghai Taxi	Projekt „sauberes Dieseltaxi“ – Shanghai DaZhong-Taxi-unternehmen	8 PKW	600.000 km	VW Passat Euro 3 
Oktober 2005 bis Juni 2006	Shanghai, China	Michelin Bibendum Challenge	Audi	2 PKW	Nicht erfasst	Audi A8 und A2 TDI Euro 4 
Januar 2008	Davos, Schweiz	Weltwirtschaftsforum Davos	Weltwirtschaftsforum Davos, Audi	80 PKW	Nicht erfasst	Audi A2 TDI, A6 TDI, A8 TDI 
Juli bis September 2008	Peking, China	Olympische Spiele in Peking „Grüne VW Olympia-Flotte“	Volkswagen	35 PKW	Nicht erfasst: 100 Tonnen GTL Fuel verbraucht	VW 5 Tiguan, 10 Magotan, 20 Passat 
August 2008 bis Juli 2009, Singapur	Singapur	Singapur Smart-PKW-Test	Mercedes-Benz (Smart)	2 PKW	Nicht erfasst	MB Smart Cdi 

Im Rahmen der vielen PKW-Feldtests wurden keinerlei kraftstoffbedingte Probleme festgestellt. Außerdem wurden beim Umstieg von Diesel auf Shell GTL Fuel oder nach Ende der Testläufe beim Wechsel von Shell GTL Fuel zurück zu Diesel keinerlei Probleme beobachtet. Die Feldversuche machten auch deutlich, dass Shell GTL Fuel in modernen Dieselfahrzeugen ohne Probleme hinsichtlich der Materialverträglichkeit eingesetzt werden kann (Abschnitt 9.2.2).

Diese begleitenden Untersuchungen zur Reduktion der Emissionen sind Anhang 2, Tabelle 24 zu entnehmen. An den Emissionsdaten zeigt sich, dass im Vergleich zu anderen Emissionstests (Tabelle 6) auf Basis der „Vorteile in Prozent“ eine gute Übereinstimmung herrscht. Dies bestätigt, dass Shell GTL Fuel zur Reduzierung der von PKW ausgehenden lokalen Emissionen beitragen kann und dies selbst in anspruchsvollen, anwendungsspezifischen Fahrzyklen.

6.

Praxiserprobungen mit Shell GTL Fuel

6.3. Off-Road-Anwendungen

Off-Road-Fahrzeuge weisen tendenziell einfachere Motortechnologien als Straßenfahrzeuge auf. Darüber hinaus sind deren Kraftstoffspezifikationen etwas weniger streng, wodurch die Möglichkeit, mit GTL Fuel signifikante Emissionsverbesserungen zu erzielen, potenziell erhöht wird. In Europa wurden verschiedene Praxistests mit Shell GTL Fuel an Off-Road-Anwendungen der Bereiche Bauwesen, Schienenverkehr und Binnenschifffahrt durchgeführt. Die Tabelle weiter unten beschreibt die Tests, die zur Veröffentlichung freigegeben wurden. Andere Erprobungen unterlagen der Geheimhaltung.

Tabelle 10.

Übersicht über Praxistests mit Shell GTL Fuel in Off-Road-Anwendungen

Jahr/Monat	Standort	Test-bezeichnung	Fahrzeug-betreiber	Anzahl der Fahrzeuge	Motorhersteller
Juli 2007 bis Februar 2008	Den Helder – Texel, Niederlande	TESO Schiffstest	TESO	1 Stromaggregat an Bord einer großen Fähre	Caterpillar 3408C
Februar 2012	Rijn kanaal Amsterdam, Niederlande	Kanalboottest	Reederij P. Kooij	1 Kanalboot	DAF 825
Oktober 2012	Geleen, Niederlande	DB Schenker-Schienenversuch	DB Schenker	4 Rangierlokomotiven und 3 Rangierroboter	Ohrenstein & Koppel und Windhoff (respektive)
Dezember 2012 bis August 2013	Amsterdam, Niederlande	Hitachi Lagerstabilitätstest	Hitachi Construction Machinery Europe	1 Vorführmaschine	Hitachi ZX210-5B
Februar–Mai 2013	Mysen, Norwegen	Hitachi Kaltwetter-Funktionstest	Hitachi Construction Machinery Europe und NASTA	2 Erdbaumaschinen/Bagger	Hitachi ZX470LCH-5B
November 2013	Rhein, Niederlande/ Deutschland	INVADO Schiffstest	Vidol Marine	1 Antriebsaggregat an Bord eines Binnenschiffs	Caterpillar 3512B DITA, CCNRO
Dezember 2013	Vuile Gat, Niederlande	NOVAMENTE Schiffstest	Novamente Shipping B.V. und Vidol Marine	1 Antriebsaggregat an Bord eines Binnenschiffs	Caterpillar 3512B, CCNR1
Juli 2014 bis August 2015	Kassel, Deutschland	Deutsche Bahn Eisenbahntest	Deutsche Bahn	4 Rangierlokomotiven	DB 294, angetrieben durch MTU 8V4000 R 41

Die Praxistests mit Off-Road-Anwendungen haben ergeben, dass Shell GTL Fuel effektiv als direkter Ersatz bei verschiedenen Betriebsbedingungen in unterschiedlichsten Anwendungsbereichen verwendet werden kann. Davon abgesehen, dass bei der Verwendung von Shell GTL Fuel keine kraftstoffbedingten Probleme festgestellt wurden, gab es einige andere Aspekte: Die in Zusammenarbeit mit Hitachi Construction Machinery Europe durchgeführten Tests haben Shell GTL Fuel trotz kältester Temperaturen und längerer Lagerung eine gute Stabilität attestiert. Darüber hinaus wurden durch den Feldversuch auf der Schiene mit DB Schenker Vorteile bei der Wartung erkennbar, da die Filterregeneration der Rußfilter aufgrund der saubereren Verbrennung von Shell GTL Fuel nicht mehr erforderlich ist. Abschließend wurden bei einigen Schiffsversuchen (Novamente, Invado und TESO) Emissionstests durchgeführt. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse ist in Abschnitt 5.6 aufgeführt.

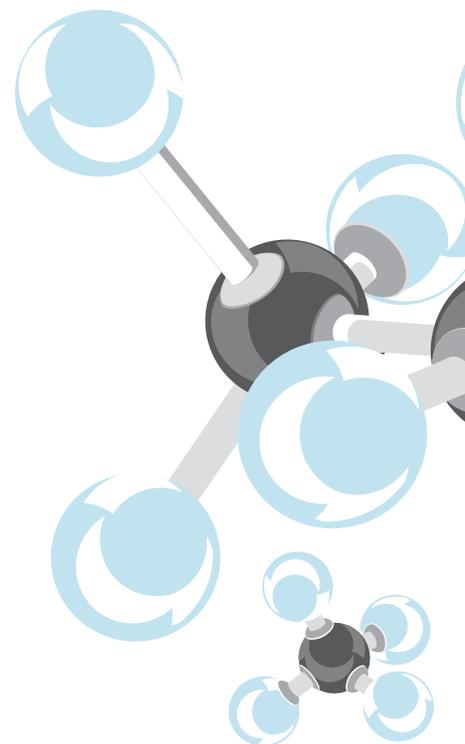
6.4. Schlussfolgerungen – Auswirkungen auf das Dauergebrauchsverhalten

Über 10 Jahre lang wurden GTL-Feldversuche durchgeführt, die mehr als 1 Million Kilometer auf der Straße und in anderen Bereichen abdeckten. Bei diesen Tests wurde Shell GTL Fuel in unterschiedlichsten Anwendungen eingesetzt: Schwerlastfahrzeuge wie LKW und Busse (Euro I bis VI), leichte Fahrzeuge wie PKW (Euro 1 bis 4), einige Binnenschiffsmotoren (CCNR 0 und CCNR 1), Baumaschinen- und Schienenfahrzeugmotoren.

Die Versuche ergaben, dass die Umstellung der Fahrzeuge auf Shell GTL Fuel über eine große Bandbreite von Fahrzeugen mit unterschiedlicher Motortechnologie praktisch nahtlos möglich war. Bei den Schwerlastfahrzeugen absolvierte jeder Bus aus dem ESWE-Versuch durchschnittlich sechzigtausend km mit Shell GTL Fuel, während bei den leichten Fahrzeugen des Shanghai Taxi-Tests jeder VW Passat achtzigtausend km zurücklegte. Einer der Trucks im Yosemite Wassertest lief über einen verlängerten Zeitraum von 1 ½ Jahren. Bei diesen über 1 Million km waren keine kraftstoffbedingten Betriebsstörungen oder Motorausfälle festzustellen⁸.

In den entsprechenden Emissionstests konnten zudem erhebliche Einsparpotenziale im Hinblick auf lokale Emissionen beobachtet werden. Diese "anwendungsspezifischen" Vorteile stimmen weitgehend mit den prozentualen Reduzierungen aus den genormten Zyklusmessungen überein, die in Tabelle 5 und 6 zusammengefasst sind. Aufgrund ausgiebiger Tests und Versuche kann Shell GTL Fuel als direkter Ersatz für herkömmlichen Diesel erachtet werden, der zur unmittelbaren Reduzierung lokaler Emissionen beiträgt, ohne dass dazu neue Fahrzeuge oder Betankungsinfrastrukturen nötig wären.

Darüber hinaus haben verschiedene OEMs Aussagen gemacht, welche das Dauergebrauchsverhalten von Shell GTL Fuel bestätigen (Einzelheiten hierzu siehe Abschnitt 8.4).



⁸ In Schiffssystemen ist eine ältere Technik zu erwarten als in Straßenfahrzeugen; daher ist eine gründlichere Kontrolle der Elastomere erforderlich, die ggf. nach Bedarf ausgewechselt werden müssen. Siehe Abschnitt 9.2.2.

7.

Weitere Umweltvorteile von Shell GTL Fuel

Dieses Kapitel bietet einen Überblick über einige weitere ökologische Vorteile der Nutzung von Shell GTL Fuel im Vergleich zu Standard Diesel.

Darüber hinaus legt die Zusammensetzung von Shell GTL Fuel – insbesondere der geringe Aromatengehalt – die Vermutung nahe, dass Shell GTL Fuel unschädlich, besser biologisch abbaubar und weniger umweltgefährdend ist als herkömmlicher Dieselkraftstoff.

So stellen beispielsweise mögliche Umweltschäden oder sonstige Negativwirkungen im Falle einer Freisetzung oder Undichtigkeit bei Transport, Lagerung oder Handhabung das größte potenzielle Risiko im Zusammenhang mit Kraftstoffen dar.

Zur Minimierung des Umweltrisikos sind insbesondere Kraftstoffe geeignet, die nicht persistent (P) sind, die sich nicht in lebenden Organismen anreichern, also nicht bioakkumulierbar (B) sind und die nicht toxisch (T) auf Organismen wirken. Diese Anforderungen werden im Allgemeinen als PBT-Kriterien bezeichnet. Im Rahmen des internationalen Registrierungsprozesses wurde das PBT- und Gefährdungsprofil von Shell GTL Fuel durch eine Reihe von Untersuchungen zur Ökotoxizität, biologischen Abbaubarkeit und toxikologischen Qualität bewertet. Diese Untersuchungen haben bestätigt, dass Shell GTL Fuel, wie aufgrund der Zusammensetzung anzunehmen, leicht biologisch abbaubar und für die meisten Organismen unschädlich ist [14]. Die entscheidenden Punkte hierzu sind:

- Derzeit ist Shell GTL Fuel nicht als PBT oder umweltgefährdend eingestuft.
- Die einzige toxikologische Einstufung für Shell GTL Fuel (die auch für herkömmlichen Diesel gilt) betrifft die Aspirationsgefahr (kann beim Verschlucken Lungenschäden verursachen) und das Risiko der Hautentfettung (wiederholter Kontakt kann zu spröder oder rissiger Haut führen).



SHELL GTL FUEL TEST MIT PKW IN DEN NIEDERLANDEN

Diese Punkte wurden im Rahmen der globalen Anmeldung von Shell GTL Fuel als neuer Stoff bestätigt. Die für Shell GTL Fuel generierten Daten können dem Nachweis dienen, dass Shell GTL Fuel ein geringeres Gefährdungspotenzial hat als herkömmlicher Diesel.

Eine ausführliche Aufstellung der Umwelt und Gefährdungseigenschaften von Shell GTL Fuel ist dem Stoffsicherheitsbericht (Chemical Safety Report, CSR) zu entnehmen, der im Rahmen der Anforderungen der EU-Chemikalienverordnung REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals, deutsch: „Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung von Chemikalien“) bei der Europäischen Chemikalienagentur (European Chemicals Agency, ECHA) eingereicht wurde [15].

Nachstehend eine Übersicht über weitere ökologische Vorteile von Shell GTL Fuel.

7.1. Biologische Abbaubarkeit

Die biologische Abbaubarkeit eines Stoffes bezeichnet das Vermögen zur Zersetzung durch Bakterien oder andere biologische Vorgänge.

Die biologische Abbaubarkeit von Kohlenwasserstoffen erhöht sich im Allgemeinen in dieser Reihenfolge: aromatische Kohlenwasserstoffe < Zykoalkane < verzweigte Alkane < unverzweigte Alkane [16]. Shell GTL Fuel hat einen unerheblichen Aromatengehalt (< 0,05%) und enthält einen großen Anteil an unverzweigten Alkanen. Demgegenüber enthält schwefelarmer Diesel ca. 26–30 % Aromaten und schwedischer Class I ULSD (ultraschwefelarmer Dieseldieselkraftstoff) ~5 %. Aus diesem Grunde würde man von Shell GTL Fuel – rein von der Zusammensetzung her – eine bessere biologische Abbaubarkeit erwarten als von herkömmlichen, aus Rohöl gewonnenen Dieseldieselkraftstoffen. Um dies zu bestätigen, hat Shell entsprechende Tests durchgeführt. Diese werden im Folgenden beschrieben.

Tests zur biologischen Abbaubarkeit sind strenge Screening-Tests, zur Feststellung, ob ein Stoff schnell und vollständig in der Umwelt zersetzt werden kann. Die biologische Abbaubarkeit von Shell GTL Fuel wurde sowohl für die 100 %-Konzentration als auch im Gemisch mit ULSD ermittelt. Diese Tests sind in der Gesetzgebung der Europäischen Union für die Einstufung von

Stoffen definiert. Im OECD-Testverfahren 301 F liegt der Grenzwert für die Einstufung „leicht biologisch abbaubar“ bei 60 % ThSB (theoretischer Sauerstoffbedarf), der 10 Tage nach Überschreiten eines Abbaugrades von 10 % ThSB erreicht sein muss (das so genannte „10-Tage-Zeitfenster“).

Aufgrund der Studien zur biologischen Abbaubarkeit wurde ermittelt, dass Shell GTL Fuel gemäß EU-Gesetzgebung als leicht biologisch abbaubar bezeichnet werden kann.

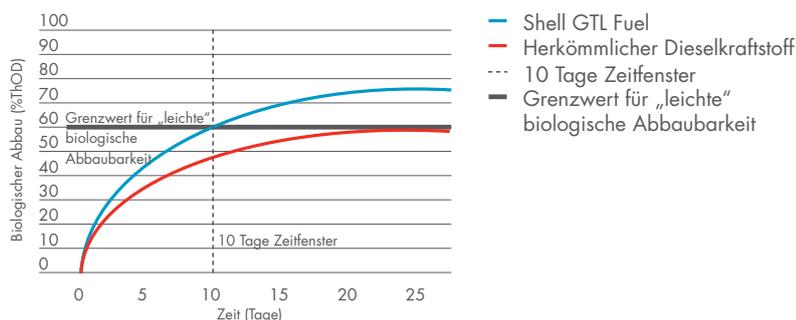
Obwohl alle getesteten Proben am Ende des Tests zu ≥ 60 % ThSB biologisch abgebaut waren, hielt einzig Shell GTL Fuel das Erfolgskriterium des 10-Tage-Zeitfensters ein. Außerdem wurde Shell GTL Fuel um ca. 15 % ThSB mehr biologisch abgebaut als ULSD. Auch wenn in Tests zur Einstufung leicht biologisch abbaubar die Schwankungsbreite relativ groß ist, ist ein Unterschied von ≥ 15 % ThSB durchaus signifikant [16].

Neben den Studien im aquatischen Umfeld gibt es Studien zur Abbaubarkeit im Boden nach OECD 307, die weitere Nachweise dafür liefern, dass der GTL-Kraftstoff schneller als schwefelfreier Diesel abgebaut wird. Darüber hinaus ergab die im Anschluss an eine der Bodenstudien durchgeführte Bodenanalyse, dass keine Komponenten des GTL-Kraftstoffs in nachweisbaren Mengen im Boden verblieben waren [16].

Aufgrund der Studien zur biologischen Abbaubarkeit wurde ermittelt, dass Shell GTL Fuel gemäß EU-Gesetzgebung als leicht biologisch abbaubar bezeichnet werden kann.

Abbildung 12.

Tests zur Einstufung „leicht biologisch abbaubar“



7.

Weitere Umweltvorteile von Shell GTL Fuel

Die Daten aus den Tests zur Ökotoxizität und biologischen Abbaubarkeit zeigen, dass Shell GTL Fuel erhebliche Vorteile gegenüber herkömmlichem Dieselkraftstoff aufweist.

7.2. Ökotoxizität

Die Ökotoxizität eines Stoffes ist der potenzielle Einfluss dieses Stoffes auf die natürlichen biochemischen und physiologischen Prozesse sowie das Verhalten und die Interaktion mit den lebendigen Organismen, aus denen das Ökosystem besteht.

Die Zusammensetzung von Shell GTL Fuel legt die Annahme nahe, dass seine toxische Wirkung auf Wasserorganismen geringer ist als diejenige herkömmlicher Dieselkraftstoffe, einschließlich schwefelfreier Diesels. Um diese Theorie zu bestätigen, hat Shell entsprechende Tests durchgeführt. Nachstehend ist eine Zusammenfassung hiervon aufgeführt.

Die akute Toxizität für wichtige Organismen wurde für 100 % Shell GTL Fuel ermittelt sowie für Gemische mit ULSD. Die Tests wurden an Arten durchgeführt, die in der aquatischen Toxikologie vielfach als repräsentativ für wichtige Gruppen von Wasserorganismen herangezogen werden. Diese Tests sind durch Gesetzgebung der Europäischen Union für die Einstufung von Stoffen definiert. Nach ersten Untersuchungen an wirbellosen Organismen wurde eine Studie mit Süßwasserfischen und Wasserorganismen durchgeführt, um weitere Daten über die ökologischen Wirkungen von Shell GTL Fuel zu generieren. Die Testorganismen gemäß den EU-Vorgaben sind derzeit Fische, Daphnien (Wasserflöhe) und Algen. Zusätzliche Studien zur chronischen (längerfristigen) aquatischen Toxizität, einschließlich früher Entwicklungsstadien beim Fisch, und Reproduktionstests mit Daphnien haben ebenfalls gezeigt, dass Shell GTL Fuel nicht signifikant toxisch ist. Zur Anwendung kamen Testmethoden nach der OECD-Testrichtlinie 201 (Algeninhibitionstest), OECD-Testrichtlinie 202 (Akutest an Daphnien, Immobilisierung) und OECD-Testrichtlinie 203 (Fische, Untersuchung der akuten Toxizität). Die Testergebnisse werden als „Menge ohne erkennbare Wirkung“ angegeben (No Observable Effect Level, NOEL), d. h. diejenige Menge eines Stoffes, die keinen Einfluss auf die Mortalitätsrate hat.

Bei den Spezies, an denen Shell GTL Fuel getestet wurde, wurden keinerlei toxische oder sonstige negative Wirkungen beobachtet. Die Studien zur aquatischen Toxizität weisen nach, dass Shell GTL Fuel

nicht toxisch (NOEL > 1000 mg/l) für Fische, Daphnien und Algen war. Dementsprechend ist Shell GTL Fuel gemäß den Kriterien der Europäischen Union als für Wasserorganismen „unschädlich“ eingestuft [17].

Der Umstand, dass Shell GTL Fuel keine aquatische Toxizität aufweist, lässt darauf schließen, dass im Falle einer Freisetzung auch die toxische Wirkung auf Landorganismen geringer sein muss als bei herkömmlichem Dieselkraftstoff. Diese Ansicht wird durch Studien der Wirkung verschiedener Kohlenwasserstoffe auf Regenwürmer und Pflanzen unterstützt [17]. Wie bei den Wasserorganismen sah in diesen Studien die Rangfolge der Toxizität der Kohlenwasserstoffe so aus, dass Aromaten in stärkerem Maße toxisch waren als Cycloalkane, die wiederum toxischer waren als verzweigte Alkane. Die geringste Toxizität wiesen die unverzweigten Alkane auf. Demnach war zu erwarten, dass die praktisch völlige Abwesenheit von Aromaten die toxische Wirkung auf Landorganismen deutlich reduzieren würde. Diese Ansicht wurde durch eine Reihe von Studien an Landorganismen (Regenwurm und Pflanze), Sedimenten (*Chironomide* und *Lumbriculus*) sowie Vögeln (Japanwachtel) bestätigt. Einzelheiten zu diesen Studien sind dem Stoffsicherheitsbericht (Chemical Safety Report, CSR) zu entnehmen. Das Fehlen einer signifikanten Toxizität in der Mehrzahl dieser Studien bekräftigt die Annahme, dass von GTL Fuel nur ein geringes ökologisches Gefährdungspotenzial ausgeht, was es zu einem idealen Kraftstoff für den Einsatz in sensiblen Bereichen macht, wie z. B. in der Waldwirtschaft oder dort, wo die Gefahr eines Kontakts mit Wasser besteht [15].

Die Daten aus den Tests zur Ökotoxizität und biologischen Abbaubarkeit zeigen, dass Shell GTL Fuel erhebliche Vorteile gegenüber herkömmlichem Dieselkraftstoff aufweist. Shell GTL Fuel wurde gemäß den Definitionen der Europäischen Union als „leicht biologisch abbaubar“ und ungiftig für Wasserorganismen befunden. Die nicht gegebene Aquatoxizität und bessere biologische Abbaubarkeit legen in Verbindung mit dem Potenzial zur Reduzierung der lokalen Emissionen nahe, dass Shell GTL Fuel ein gut geeigneter Kraftstoff für den Einsatz in ökologisch sensiblen Bereichen wäre [14].

Weitere Umweltvorteile von Shell GTL Fuel

7.3. Sicherheitsvorteile

Neben der leichten biologischen Abbaubarkeit und den Ökotoxizitätsergebnissen, wie in Abschnitt 7.1 und 7.2 beschrieben, bietet Shell GTL Fuel weitere Sicherheitsvorteile.

Der Transport und die Verwendung von Shell GTL Fuel stellen geringere Gesundheitsrisiken gegenüber herkömmlichen Kraftstoffen dar, was seiner paraffinischen Herkunft zu verdanken ist – und der Tatsache, dass es praktisch frei von Aromaten und Schwefel ist. Nach gründlicher Untersuchung der schädlichen Eigenschaften wurde Shell GTL Fuel unter verschiedenen Aspekten als harmloser eingestuft als herkömmlicher Diesel (siehe Liste weiter unten, Abbildung 13). Personen sind insofern im Umgang mit Shell GTL Fuel weniger gesundheitlichen Risiken ausgesetzt, wenn die normalen Vorsichtsmaßnahmen zur Minimierung des Kontakts getroffen werden.

Im Hinblick auf einen Aspekt, die Geruchsverminderung, scheint dies den Kunden besonders aufzufallen und zu gefallen: "Wenn ich mir die Augen verbinden und zwei gleiche Maschinen mit unterschiedlichen Kraftstoffen testen würde, so könnte ich Shell GTL Fuel identifizieren, [insbesondere] weil man es nicht riecht."

Abbildung 13.

Verringerte Gesundheitsrisiken im Umgang mit Shell GTL Fuel



- Verringertes Risiko einer Augenreizung durch Dämpfe im Vergleich zu regulärem Diesel⁹
- Nahezu geruchlos
- Unschädlich beim Einatmen⁹
- Shell GTL Fuel sollte nicht verschluckt werden⁹
- Keine Organschäden durch verlängerten oder wiederholten Kontakt⁹
- Nicht krebserregend
- Geringeres Risiko einer Hautreizung durch Kontakt als bei regulärem Diesel; wiederholter Kontakt kann jedoch zu trockener, spröder Haut führen⁹

⁹ CLP Verordnung 1272/2008

7.

Weitere Umweltvorteile von Shell GTL Fuel



SCHWERER LKW MIT SHELL GTL FUEL

Durch Shell GTL Fuel kann eine deutliche Reduzierung des Verbrennungsgeräuschs in der Größenordnung von 1–4 dB gegenüber herkömmlichem Diesel erzielt werden.

7.4. Motorenlärm

Der von einem Dieselmotor ausgehende Lärm ist eine Kombination von Geräuschen aus dem Verbrennungsvorgang und mechanischen Geräuschen. Die Kraftstoffeigenschaften können die Geräuschentwicklung bei der Verbrennung direkt beeinflussen. Im Dieselmotor zündet der Kraftstoff von selbst kurz nach Beginn der Einspritzung.

Während dieser Verzugszeit verdampft der Kraftstoff und vermischt sich mit der Luft im Brennraum. Die Verbrennung dieses Gemischs verursacht eine rasche Wärmefreisetzung und einen schnellen Druckanstieg im Brennraum. Der rasche Druckanstieg ist für das bei manchen Dieselmotoren zu hörende Klopfgeräusch verantwortlich.

Eine Erhöhung der Cetanzahl des Kraftstoffs verkürzt den Zündverzug und damit die Klopfneigung des Diesels. Aufgrund der höheren Cetanzahl von Shell GTL Fuel ist zu erwarten, dass das Verbrennungsgeräusch gegenüber demjenigen von herkömmlichem Diesel leiser sein wird. Shell hat eine Reihe von Tests durchgeführt, um die Senkung des Verbrennungsgeräuschs sowie Veränderungen der gesamten Fahrzeuggeräusche durch die Verwendung von Shell GTL Fuel zu untersuchen. Im Rahmen dieser Tests wurde das von den Motoren ausgehende Geräusch auf Motoren- sowie auf Fahrzeugprüfständen und der Geräuschpegel außerhalb und innerhalb des Fahrzeugs in Feldversuchen im Straßenbetrieb untersucht. Die für den Menschen wahrnehmbare Geräuschpegel-Differenz liegt bei 1–3 dBA. Insofern ist jede Reduzierung des Geräuschpegels hieran zu messen.

7.4.1.

Geräuschmessungen auf einem Motorenprüfstand

- Geräuschmessungen an einem 4-Zylinder-PKW-Motor von Toyota bei konstanter Drehzahl (2.000 min⁻¹) zeigten mit Shell GTL Fuel im Vergleich zu herkömmlichem Diesel eine erhebliche Reduzierung des Geräuschpegels. Der Test ergab, dass ein Kraftstoff mit hoher Cetanzahl das Verbrennungsgeräusch um ca. 4 dB reduzieren kann [18].
- Im Rahmen eines Versuchs bei Pon Power, einem Vertriebspartner von Caterpillar, wurden Geräuschmessungen an einem 8-Zylinder-Motor vom Typ Caterpillar 3408 durchgeführt. Diese Tests ergaben einen kleineren Rückgang des Motorengeräuschs in der Größenordnung von 1–2 dB bei Verwendung von Shell GTL Fuel anstelle herkömmlichen Diesels.

Die oben beschriebenen Tests bestätigen, dass die hohe Cetanzahl von Shell GTL Fuel das Verbrennungsgeräusch eines Motors reduzieren kann. Eine Senkung des insgesamt von einem Fahrzeug ausgehenden Lärms dürfte für Fuhrparkkunden attraktiv sein. Vor diesem Hintergrund wurden auch an PKW und Nutzfahrzeugen auf Fahrzeugprüfständen, im Labor und auf der Straße Geräuschmessungen durchgeführt, um die Größenordnung dieses Effekts zu erfassen.

7.4.2.

Geräuschmessungen auf einem Fahrzeugprüfstand

- Messungen mit Shell GTL Fuel in einem Bus vom Typ Cummins Enviro 200 auf einem Fahrzeugprüfstand ergaben, dass es an mehreren Stellen des Busses zu Verbesserungen gegenüber schwefelfreiem Diesel kommt. In Motornähe waren bei unterschiedlichen Drehzahlen statistisch relevante Vorteile zu vermerken, die jedoch unter der menschlichen Wahrnehmungsgrenze lagen (<1 dB).
- In Groningen wurden Geräuschmessungen an Straßenkehrmaschinen und Nutzlasttransportern des Kommunalfuhrparks vorgenommen. Die Fahrzeuge wurden anfangs mit Dieselmotorkraftstoff und anschließend vor den letzten Tests drei Monate lang mit Shell GTL Fuel gefahren. Zum Ende des Dreimonats-Zeitraums wurden die Geräuschmessungen unter Bedingungen wiederholt, die den anfänglichen Messungen so nahe wie möglich kamen.

Weitere Umweltvorteile von Shell GTL Fuel

Beim Betrieb mit Shell GTL Fuel wurden gewisse Schwankungen bezüglich der Senkung des Geräuschpegels festgestellt, abhängig von den Motor- und Betriebsbedingungen (z. B. Motordrehzahl). Jedoch konnte bei Verwendung von Shell GTL Fuel eine durchschnittliche Minderung zwischen 2 und 3 dB gegenüber herkömmlichem Diesel erzielt werden. Die größte Schalldruckminderung betrug 8 dB und wurde von einer der RAVO-Kehrmaschinen mit Shell GTL Fuel bei einer Motordrehzahl von 1.500 U/min¹⁰ erzielt.

- Shell GTL Fuel wurde ferner in drei in drei Nutzfahrzeugen unterschiedlichen Typs auf einem Fahrzeugprüfstand getestet: einem Werkzeugträger, einer Kehrmaschine und einem Müllfahrzeug, die alle bei der Stadtverwaltung Rotterdam in Betrieb sind. Die Messungen wurden mithilfe eines Schalldruckmesser-Handgeräts bei verschiedenen Motordrehzahlen vorgenommen.

Messungen am Werkzeugträger ergaben geringe Schalldruckabweichungen bei wechselnder Motordrehzahl, wobei die durchschnittliche Verringerung in Verbindung mit Shell GTL Fuel bei 0,42 dB gegenüber herkömmlichem Diesel lag. Bei der Kehrmaschine und dem Müllwagen gab es beträchtliche Reduzierungen bei Verwendung von Shell GTL Fuel, und zwar um 1,0 bzw. 2,6 dB. Die stärkste Reduzierung betrug 6 dB beim Müllwagen mit Shell GTL Fuel bei 1.200 U/min¹¹.

7.4.3.

Geräuschmessungen "auf der Straße"

Ein LKW vom Typ DAF CF85 und ein Müllfahrzeug vom Typ DAF CF75 wurden nach ISO 10844 auf einer Geräuschmessstrecke getestet. Neben den Messungen, die beim Vorbeifahren des Fahrzeugs an einem Mikrofon erfolgten, wurden Schallmessungen an verschiedenen Stellen in Motornähe vorgenommen, um festzustellen, wo sich die Geräuschminderung am deutlichsten zeigte. Bei beiden Fahrzeugen wurden Messungen bei unterschiedlichen Drehzahlen durchgeführt: i) Leerlauf bei Stillstand, ii) geregelte Drehzahl im Stillstand und iii) voll geöffnete Drosselklappe vom Leerlauf zu geregelter Drehzahl im ersten Gang. Folgende Erkenntnisse sind der Studie zu entnehmen:

- Die Messungen am LKW und Müllfahrzeug konnten eine gute Korrelation vorweisen.
- Unter bestimmten Bedingungen gab es eine signifikante Geräuschreduzierung durch die Verwendung von Shell GTL Fuel anstelle herkömmlichen Diesels. Unter anderen Bedingungen war der Unterschied weniger signifikant oder nicht erkennbar. Am deutlichsten ist die Auswirkung von Shell GTL Fuel auf die Geräuschmissionen, wenn der Motor bei niedriger Motordrehzahl und geringer Motorlast läuft. Unter diesen Bedingungen war eine Differenz von 1 bis 2 dB festzustellen.
- Beim Betrieb mit Shell GTL Fuel reduziert sich das hochfrequente Diesellopfgeräusch und der Motor klingt ruhiger. Am größten ist die Geräuschreduzierung im Frequenzband von 630 bis 2.500 Hz¹². Hier kann die Differenz bis zu 5 dB ausmachen.
- Bei höheren Drehzahlen fallen die Unterschiede bei den Lärmmissionen deutlich kleiner aus. Das ist möglicherweise durch den höheren mechanischen Lärmpegel zu erklären, der bei höheren Motordrehzahlen ein stärkeres Gewicht hat.

7.4.4.

Schlussfolgerungen

- Forschungsergebnisse von Shell zeigen, dass durch Shell GTL Fuel eine deutliche Reduzierung des Verbrennungsgeräuschs in der Größenordnung von 1 bis 4 dB gegenüber herkömmlichem Diesel zu erzielen ist.
- Dies kann bei geringer Motordrehzahl zu einer erheblichen Reduzierung (1–2 dB) des insgesamt vom Fahrzeug ausgehenden Geräuschpegels beitragen. Bei höheren Motordrehzahlen ist der Rückgang geringer, möglicherweise infolge des hierbei höheren mechanischen Geräuschpegels. Allerdings scheinen die Lärmvorteile in starkem Maße fahrzeugabhängig zu sein. Einige Fahrzeuge sprechen in dieser Hinsicht sehr gut auf Shell GTL Fuel an, während andere keine Reaktion zeigen.
- Kunden haben sich lobend über den leiseren Betrieb von mit Shell GTL Fuel betriebenen Fahrzeugen geäußert. Dies spielt vor allem bei Fahrzeugen eine Rolle, die in Städten verkehren, in denen hohe Lärmpegel ein Problem darstellen. Geringere Lärmmissionen können außerdem für Kunden attraktiv sein, die ihre Fahrzeuge außerhalb der normalen Tageszeiten betreiben.

^{10/11} Hinweis: Diese Ergebnisse sind lediglich indikative Angaben zu Geräuschminderungswerten in Verbindung mit Shell GTL Fuel, da keine statistische Analyse vorliegt und nur wenige Fahrzeuge getestet wurden.

¹² Das menschliche Hörvermögen liegt bei etwa 20–20.000 Hz

8.

Für Shell GTL Fuel geltende Spezifikationen und Vorschriften

Diesel Normen für Fahrzeuge in Europa (EN 590) und den USA (ASTM D975) sollen dafür sorgen, dass alle Diesel Kraftstoffe, die in diesen Regionen verkauft werden, einheitliche Qualitätskriterien einhalten.

Durch Kraftstoffspezifikationen wird gewährleistet, dass die Eigenschaften aller Dieselkraftstoffe zufriedenstellende Leistungen und einen zuverlässigen Betrieb in Dieselfahrzeugen ermöglichen.

Mithilfe von Grenzwerten geben diese Spezifikationen die für Diesel geforderten Eigenschaften vor. Festgelegt werden diese Grenzwerte durch Vertreter der Kraftstoffhersteller, Hersteller der Fahrzeug- und Motorenindustrie sowie durch andere relevante Parteien. Neben den in der Industrie gängigen Spezifikationen können nationale Gesetzgeber andere Grenzwerte im Rahmen ihrer rechtlichen Bestimmungen erlassen. So werden beispielsweise in der europäischen Kraftstoffqualitätsrichtlinie, Anhang II die Parameter vorgegeben, nach welchen Dieselkraftstoffe legal in der EU vertrieben werden können.

Die Eigenschaften werden in Standardmessverfahren überprüft, die als Teil der Spezifikationsunterlagen angegeben sind. Die beiden Kfz-Dieselnormen für Europa (EN 590) und die USA (ASTM D975) sind seit geraumer Zeit in Kraft und sollen eine zufriedenstellende Qualität des gesamten in diesen Regionen verkauften Kraftstoffs sicherstellen.

GTL-Kraftstoffe (Diesel-Fraktion) sind erst seit Kurzem in größeren Mengen kommerziell verfügbar. Es gibt aber bereits Fortschritte im Hinblick auf die Erstellung von (denen für Dieselkraftstoff ähnlichen) Spezifikationen, die für GTL-Kraftstoffe und andere „paraffinische Dieselkraftstoffe“ (BTL, CTL) und hydrierte Pflanzenöle (Hydrotreated Vegetable Oil, HVO) gelten sollen. Diese Spezifikationen sollen dieselben Kontrollfunktionen erfüllen wie die Spezifikationen für herkömmliche Diesel und haben diesbezüglich ein entsprechendes Format. Diese Spezifikationen werden es eventuell auch ermöglichen, dass als „paraffinische Dieselkraftstoffe“ bezeichnete Kraftstoffe als qualitativ hochwertige Produkte wahrgenommen werden, welche, neben anderen Vorteilen, die lokalen Emissionen deutlich senken können.



KRAFTSTOFF-VERLADUNG

8.

Für Shell GTL Fuel geltende Spezifikationen und Vorschriften

8.1. Behördliche Vorgaben

8.1.1.

Europa

In Europa ist die Erstellung von Spezifikationen für Kraftstoffe für das Verkehrswesen Aufgabe des Europäischen Komitees für Normung (CEN). Diese Spezifikationen werden auch in Teilen Asiens und anderen Regionen mit entsprechenden Anpassungen an Angebot, Rohölquellen und geltende Vorschriften verwendet.

Die Kraftstoffnorm EN 590 ist eine Qualitätsvereinbarung über die Produktqualität bei der Herstellung und Vermarktung von Kraftstoffen. Sie definiert Eigenschaften, die für die Betriebsfähigkeit, Langlebigkeit und Abgasemissionen von Dieselfahrzeugen wichtig sind. EN 590 definiert weder, welche Arten von Kohlenwasserstoffen als Ausgangsstoffe für die Herstellung von Kraftstoffkomponenten verwendet werden dürfen, noch die Art der Verarbeitung und der Mischung solcher Komponenten. Shell GTL Fuel erfüllt sämtliche Anforderungen der EN 590, mit Ausnahme der Dichte, bezüglich derer es den unteren Grenzwert nicht erreicht.

Bezogen auf den Kraftstoffvertrieb, schreiben die Mitgliedsstaaten unabhängig voneinander vor, welche Kraftstoffe in ihrem Gebiet vermarktet werden dürfen. Die europäischen Anforderungen an Diesel unterliegen der Kraftstoffqualitätsrichtlinie, Anhang II [19]. Diese Richtlinie gibt die Auflagen für in der EU verkaufte Dieselmotorkraftstoffe gemäß der folgenden Tabelle vor. Beachten Sie, dass Shell GTL Fuel alle Anforderungen dieser Vorschrift, die keine Mindestanforderung an die Dichte vorschreibt, erfüllt. Europäische Mitgliedsstaaten können strengere Auflagen erlassen. So dürfen beispielsweise in Deutschland nur Kraftstoffe nach EN 590 als Diesel verkauft werden. Einige ergänzende Spezifikationen der EN 590, wie etwa ein Mindestdichtewert, gehören nicht zur Kraftstoffqualitätsrichtlinie. In den Niederlanden dürfen Kraftstoffe, die nicht EN 590-konform sind, verkauft werden, solange sie nicht als EN 590-Diesel deklariert sind.

Tabelle 11.

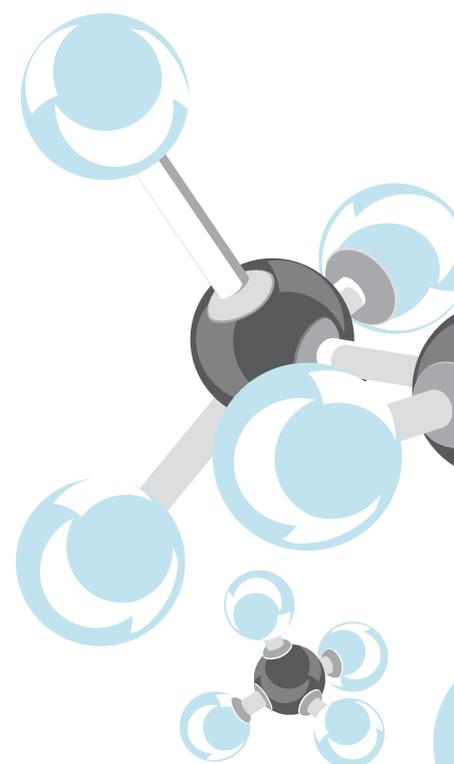
Geforderte Parameter der Kraftstoffqualitätsrichtlinie

Parameter	Einheit	Kriterium	Grenzwerte
Cetanzahl		Minimum-	51,0
Dichte bei 15 °C	kg/m ³	Maximum	845,0
Destillation: 95 % (V/V) Verdampfungsvolumen bei	°C	Maximum	360,0
Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe	% M/M	Maximum	8,0
Schwefelgehalt	mg/kg	Maximum	10,0
FAME-Gehalt – EN 14078	% V/V	Maximum	7,0

Die für Shell GTL Fuel geltende Spezifikation hat verschiedene Phasen durchlaufen: ein CEN-Workshop-Agreement für Kunden (2009, CWA 15940), eine technische CEN-Spezifikation (2013, TS 15940) und schließlich eine vorläufige CEN-Spezifikation EN 15940 (prEN 15940), die aktuell im Jahr 2015 angewandt wird.

Die CEN prEN 15940 wurde auf ähnliche Weise wie die Spezifikation EN 590 von einer CEN-Gruppe aus Vertretern von OEMs („Original Equipment Manufacturers“ der Fahrzeug- bzw. Motorenherstellerindustrie), Kraftstofflieferanten und anderen Interessensgruppen erarbeitet. Die Spezifikation (Tabelle 12) betrifft paraffinische Dieselmotorkraftstoffe, denen die synthetischen Fischer-Tropsch-Produkte GTL, BTL und CTL, aber auch hydrierte Pflanzenöle (Hydrotreated Vegetable Oil, HVO) zuzuordnen sind. Abgesehen vom Dichtewert, sind alle Messparameter für prEN 15940 und deren Werte gleich oder besser als die der EN 590. So sind beispielsweise beim FAME-Niveau Mischungen von B0 bis B7 zulässig. Dank seiner überragenden Cetanqualität ist Shell GTL Fuel durch den Abschnitt „Class A“ (Klasse A) der Spezifikation abgedeckt.

Die derzeit (2015) für Shell GTL Fuel zutreffende Norm ist die prEN 15940 (eine vorläufige EN-Spezifikation des CEN), die eng an die EN 590 angelehnt ist.



8.

Für Shell GTL Fuel geltende Spezifikationen und Vorschriften

Tabelle 12.

In der prEN 15940-Klasse A festgelegte Eigenschaften im Vergleich zur EN 590

Eigenschaft	Einheit	Prüfverfahren	CEN prEN 15940, Klasse A: 2015		Dieselkraftstoff EN 590: 2013	
			Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
Cetanzahl		EN ISO 5165 EN 15195	70,0	-	51,0	-
Dichte bei 15 °C	kg/m ³	EN ISO 3675 EN ISO 12185	765,0	800,0	820,0	845,0
Gesamt-Aromatengehalt	% (M/M)	EN 12916 SIS 155116	-	1,0	-	-
Anteil polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe	% (M/M)	EN 12916	-	-	-	8,0
Schwefelgehalt	mg/kg	EN ISO 20846 EN ISO 20884	-	5,0	-	10,0
Flammpunkt	°C	EN ISO 2719	> 55 ^a	-	> 55	-
Koksrückstand (vom 10 % Destillationsrückstand)	% (M/M)	EN ISO 10370	-	0,30	-	0,30
Aschegehalt	% (M/M)	EN ISO 6245	-	0,010	-	0,010
Wassergehalt	mg/kg	EN ISO 12937	-	200	-	200
Gesamtverschmutzung	mg/kg	EN 12662	-	24	-	24
Kupferkorrosionstest (3 Std. bei 50 °C)		EN ISO 2160		Klasse 1		Klasse 1
Oxidationsstabilität	g/m ³	EN ISO 12205	-	25	-	25
Oxidationsstabilität	Std.	EN 15751 ^c	20	-	20	-
FAME-Gehalt	% (V/V)	EN 14078	-	7,0 ^b	-	7,0
Schmierfähigkeit, korrigierter Verschleißkalotten-Durchmesser (wsd 1,4) bei 60 °C	µm	EN ISO 12156-1	-	460	-	460
Viskosität bei 40 °C	mm ² /s	EN ISO 3104	2,00	4,50	2,00	4,50
Destillation 95 % (V/V) Verdampfungsvolumen bei	°C	EN ISO 3405	-	360	-	360
Destillation % (V/V) Verdampfungsvolumen bei 250 °C	% (V/V)	EN ISO 3405	-	< 65	-	< 65
Destillation % (V/V) Verdampfungsvolumen bei 350 °C	% (V/V)	EN ISO 3405	85	-	85	-

a) Shell GTL Fuel Marine hat einen Flammpunkt von mindestens >61 - b) Shell GTL Fuel und Shell GTL Fuel Marine sind in der Regel FAME-frei

c) Wenn Dieselkraftstoff mehr als 2 % (V/V) FAME enthält, wird eine Oxidationsstabilität gemäß EN 15751 gefordert. Hinweis: Diese Tabelle definiert die Klasse A der Spezifikation prEN 15940. Klasse B behandelt paraffinische Dieselkraftstoffe mit einer niedrigeren Mindestcetanzahl (51) und einer höheren Dichte (min. 780 kg/m³, max. 810 kg/m³), die aus anderen Prozessen gewonnen werden, wie beispielsweise die Umwandlungen von Olefinen nach dem COD-Verfahren (Conversion of Olefins to Distillates).

8.

Für Shell GTL Fuel geltende Spezifikationen und Vorschriften

Tabelle 13.

Klimaabhängige Vorschriften der EN 590 und prEN 15940 (gemäßigte Regionen)

Eigenschaft	Einheit	Grenzwerte					
Klasse		A	B	C	D	E	F
CFPP	°C	5	0	-5	-10	-15	-20

*Hinweis: Die EN 590 definiert auch arktische Winterdiesel mit CFPPs bis -44 °C (Klasse 0 bis 4)

CFPPs (Cold Filter Plugging Points) nach prEN 15940 sind mit denen der Spezifikation EN 590 für herkömmlichen Diesel identisch. Shell GTL Fuel erfüllt diese landesspezifischen Anforderungen.

Fazit: Shell GTL Fuel erfüllt sämtliche Kriterien der Spezifikation prEN 15940 für paraffinische Dieselmotoren. Ausgehend von dieser technischen Spezifikation wird derzeit eine formelle EN-Norm erarbeitet.

8.1.2.

USA (ASTM)

Die Spezifikationen für Dieselmotoren in den USA sind denen der Europäischen Union ähnlich, aber nicht identisch. Die US-amerikanischen Spezifikationen für Kraftstoffe für das Verkehrswesen werden von ASTM International (formell ASTM, „American Society for Testing and Materials“) festgelegt. Shell GTL Fuel erfüllt die ASTM D975, die keine Dichterestriktion hat, und kann daher in den USA als Dieselmotoren verkauft werden.

8.1.3.

Japan

Shell GTL Fuel erfüllt alle Aspekte der japanischen Dieselnorm JIS K 2204, da nur eine Anforderung an die maximale Dichte (860 kg/m³) und keine Anforderung an die minimale Dichte gestellt wird.

8.1.4.

Andere Länder

Im Allgemeinen basieren die Abgas- und Kraftstoffnormen anderer Länder auf den in Europa, den USA oder Japan üblichen Vorschriften.

8.1.5.

Schifffahrt

Shell GTL Fuel erfüllt alle Spezifikationen der ISO-Norm 8217 für Schiffsbrennstoffe. Shell GTL Fuel Marine ist eine Unterkategorie von Shell GTL Fuel mit den gleichen Eigenschaften, jedoch mit einem höheren Mindestflammpunkt (> 61 °C) sowie mit rotem Farbstoff, wie ihn die niederländische Steuerbehörde für die Nutzung in Schiffsmotoren vorschreibt.



SHELL GTL FUEL-PROBE



8.

Für Shell GTL Fuel geltende Spezifikationen und Vorschriften

**Luftqualität ist ein so wichtiges Thema geworden, dass einige Regierungen bereit sind, für Kraftstoffe, die lokale Emissionen verringern, Steuer-
vergünstigungen zu garantieren.**

8.2. Steuervorteile

Luftqualität ist ein derart wichtiges Problem, dass Regierungen bereit sind, Steuervorteile auf schadstoffarme Kraftstoffe wie Shell GTL Fuel zu gewähren. Ein Beispiel für ein solches Land, das diese Steuervorteile eingeführt hat, ist Finnland, wie nachstehend zusammengefasst.

Finnlands Kraftstoffsteuern (Verordnung 1443/2011) fordern die Verwendung erneuerbarer und sauber verbrennender Kraftstoffe. Die Steuer richtet sich nach Energiegehalt, Treibhausgasemissionen und Auspuffemissionen. Darüber hinaus wird eine Abgabe für die Versorgungssicherheit erhoben. Das Steuersystem begünstigt paraffinische Dieselmotorkraftstoffe (HVO, GTL, BTL) aufgrund der niedrigeren Auspuffemissionen.

Das Ergebnis wird in Form von Cent pro Liter Kraftstoff angegeben und von der Gesamtsteuer für Diesel (30,70 c/l) abgezogen.

Tabelle 14.

Steuern auf Dieselmotorkraftstoffe in Finnland seit Januar 2015

Produkt	Steuer nach Energiegehalt (€ c/l)	Steuer nach Kohlendioxid (€ c/l)	Gebühr für strategische Vorrats-haltung (€ c/l)	Gesamt (€ c/l)	Diffe-renz zu Dieselmotorkraftstoff (€ c/l)
Dieselmotorkraftstoff	31,65	18,61	0,35	50,61	-
Paraffinischer Diesel [z. B. GTL, BTL, HVO]	24,89	17,58	0,35	42,82	-7,79

Für Shell GTL Fuel geltende Spezifikationen und Vorschriften

8.3. Produktregistrierung

Aus regulatorischer Sicht (Produktregistrierung) wurde Shell GTL Fuel ursprünglich mit denselben Bezeichnungen gekennzeichnet wie herkömmlicher Dieselmotorkraftstoff.

Dies führte jedoch zu Problemen bei der Einstufung, Kennzeichnung und Unterscheidung von Shell GTL Fuel und herkömmlichem Diesel. Das Thema wurde 2005 mit dem für Arbeitsschutz zuständigen Health and Safety Executive in Großbritannien erörtert, der eine Vorlage des Problems beim europäischen Technical Committee of New and Existing Substances (TCNES) empfahl, um Unterstützung für Bemühungen zur Erlangung eigener Produktbezeichnungen für GTL-Produkte zu beantragen.

Nach diesem Vorschlag würden die GTL-Produkte, die zuvor als Alkane, C12–C26 und CAS Nr. 90622-53-0 vertrieben wurden, unter die neue CAS-Bezeichnung sowie die Produktbezeichnung der Destillate (Fischer-Tropsch) C8–C26, verzweigt und linear CAS Nr. 848301-67-7 fallen. Der Vorschlag wurde vom TCNES (Technical Committee for New and Existing Substances) bestätigt. Seit 2006 verfolgt Shell die weltweite Zertifizierung von Shell GTL Fuel durch eine neue CAS-Nummer und eine neue Produktbezeichnung.



TECHNISCHE MITARBEITER ARBEITEN AUF DER PEARL GTL-ANLAGE IN KATAR

8.

Für Shell GTL Fuel geltende Spezifikationen und Vorschriften

8.4. Externe Unterstützung für Shell GTL Fuel

Shell hat in Zusammenarbeit mit großen Automobilherstellern und Entscheidungsträgern eine erhebliche Anzahl an Feldversuchen mit Shell GTL Fuel in aller Welt durchgeführt, wie in Kapitel 6 erörtert.

Diese in Zusammenarbeit mit Fuhrparkbetreibern unternommenen Shell Tests auf der Straße betrafen sowohl PKW- als auch LKW-Motoren. Die Testreihen erstreckten sich über viele Monate und tausende von Kilometern. Dabei gab es keinerlei auf den Kraftstoff zurückzuführende Probleme und auch keine Beeinträchtigung der Motorlebensdauer. Dieses umfassende Bewertungsprogramm untermauert die Auffassung, dass vorhandene Dieselmotoren bedenkenlos und ohne Motoranpassungen mit Shell GTL Fuel betrieben werden können. Außerdem wurde hierdurch weltweit Aufmerksamkeit für Shell GTL Fuel geweckt. Einige Hersteller (Original Equipment Manufacturers, OEMs) und Entscheidungsträger unterstützen Shell GTL Fuel über diese Erprobungen hinaus in nachstehend beschriebener Weise.

8.4.1. OEM-Aussagen

Die folgenden Branchenführer haben positive Aussagen in Bezug auf die Verwendung von Shell GTL Fuel in ihren Motorsystemen gemacht.

8.4.1.1. Delphi

Einer der international wichtigsten Anbieter von Dieseleinspritzsystemen, Delphi Diesel Systems, hat unlängst in Zusammenarbeit mit dem entsprechenden Forschungsteam von Shell den Einfluss paraffinischer Dieselmotoren auf die Lebensdauer moderner Common-Rail-Kraftstoffeinspritzungs-Hardware untersucht. Das Ergebnis des gemeinsam durchgeführten Programms sagt aus, dass Shell GTL Fuel in einer Reihe von Prüfstand- und Motorentests nicht schlechter und in einigen Aspekten sogar besser abschnitt als herkömmlicher Dieselmotoren. Insbesondere wurde durch den Zusatz von schmiereigenschaften-erhöhenden Zusätzen oder FAME die Schmierfähigkeit von Shell GTL Fuel erhöht, was minimalen Verschleiß innerhalb eines weiten Spektrums an Betriebs- und Temperaturbedingungen ergab. Selbst unter relativ schwierigen Betriebsbedingungen kam es nicht zu Ablagerungen oder Lackbildung an Komponenten der Einspritzanlage.[4].

8.4.1.2. Caterpillar

Caterpillar, Großhersteller von Motorsystemen, hat seinem Handbuch einen Hinweis zur Verwendung paraffinischer Kraftstoffe hinzugefügt: "Wenn ein erneuerbarer bzw. alternativer Kraftstoff die Leistungsanforderungen erfüllt, wie sie in der CAT-Kraftstoffspezifikation oder auch in einer der neuesten Versionen von 'ASTM D975', 'EN 590' oder 'CEN TS 15940'



TANKSTELLE

(Spezifikation für paraffinischen Kraftstoff) beschrieben werden [wobei Letztere die Qualitätsanforderungen für GTL (Gas-to-Liquids), BTL (Biomass-to-Liquids) und HVO (Hydrotreated Vegetable Oil) definiert], so kann dieser Kraftstoff oder eine Mischung davon (mit geeignetem Dieselmotoren) als direkter Ersatz für Mineralöldiesel in CAT-Motoren eingesetzt werden. Um sicherzustellen, dass das Leistungsvermögen des Kraftstoffs bei kalter Witterung den zu erwartenden Außentemperaturen vor Ort entspricht, und die Verträglichkeit mit den elastomeren Werkstoffen gewährleistet ist, wenden Sie sich an den Kraftstofflieferanten und an Ihren CAT-Händler. Bestimmte Elastomere, die in älteren Motoren verwendet werden (z. B. Motoren, die bis Anfang der 90er Jahre hergestellt wurden), sind u. U. mit den neuen alternativen Kraftstoffen nicht kompatibel." [20]

8.4.2. Unterstützung innerhalb der EU

Die Europäische Union spricht sich aus Gründen der Verbesserung der Luftqualität für die Verwendung paraffinischer Kraftstoffe (GTL, BTL, HVO) aus.

8.4.2.1. Parlament

Das Europäische Parlament hat eine offizielle Empfehlung für synthetische Kraftstoffe ausgesprochen: In dem Beschluss zu „Konventionellen Energiequellen und Energietechnologie“ fordert das Europäische Parlament „die Kommission auf, die Technologien zur Herstellung synthetischer Kraftstoffe zu fördern, weil sie das Potenzial haben, die Energieversorgungssicherheit zu stärken und die Emissionen des Straßenverkehrs in der Europäischen Union zu senken“.

In dem Beschluss „Fahrplan für erneuerbare Energie in Europa“ fordert das Europäische Parlament „die Kommission auf, gemäß dem 2001 vorgelegten Aktionsplan zu alternativen Kraftstoffen Maßnahmen vorzuschlagen, die andere alternative Kraftstoffe fördern, die zur Verminderung der Emissionen des Verkehrssektors beitragen, und die Möglichkeit der Förderung synthetischer Kraftstoffe zu prüfen, die zur Diversifizierung der Energieversorgung, zur Verbesserung der Luftqualität und zur Verminderung der CO₂-Emissionen beitragen.“ [21]

Für Shell GTL Fuel geltende Spezifikationen und Vorschriften

8.4.2.2.

Alliance for Synthetic Fuels in Europe (ASFE)

Im Jahr 2006 hat sich ein Wirtschaftsverband von Automobil- und Kraftstoffproduzenten EU-weit zur Förderung synthetischer Kraftstoffe zusammengeschlossen. Diese Gruppe ist als Allianz für synthetische Kraftstoffe in Europa (Alliance for Synthetic Fuels in Europe, ASFE) bekannt. Die ASFE-Mitglieder arbeiten zusammen, um alternative Kraftstoffoptionen zu fördern. Durch höhere Energieeffizienz und sauberere Kraftstoffe soll eine deutliche Reduzierung der ökologischen Auswirkungen und ein Beitrag zur Diversifizierung des Energiemixes der EU erreicht werden. Seit ihrer Gründung hat die ASFE von europäischen Politikern fortwährend positives Feedback zur Rolle paraffinischer Kraftstoffe für die Ziele europäischer Richtlinien erhalten.

8.4.2.3.

Saubere Energie für den Transport

2014 veröffentlichte die EU die Richtlinie zur sauberen Energie für das Transportwesen (formell: Richtlinie 2014/94/EU über den Aufbau einer Infrastruktur für alternative Kraftstoffe) [22]. Diese Richtlinie definiert „alternative Kraftstoffe“ als, „Kraftstoffe oder Energiequellen, die zumindest teilweise als Ersatz für Erdöl als Energieträger für den Verkehrssektor dienen und welche potenziell zu dessen Dekarbonisierung beitragen und die Umweltverträglichkeit des Verkehrssektors erhöhen können.“ Dazu gehören ausdrücklich „synthetische und paraffinische Kraftstoffe“, womit Dieselkraftstoffe nach Fischer-Tropsch wie Shell GTL Fuel gemeint sind.

Es wurde vorgeschlagen, dass die europäischen Mitgliedsstaaten bei derartigen synthetischen und paraffinischen Kraftstoffen u. A. Folgendes in Betracht ziehen sollten:

- Möglichkeit steuerlicher Vorteile zur Förderung von Transportmitteln, die alternative Kraftstoffe und die zugehörige Infrastruktur nutzen
- Nutzung öffentlicher Beschaffungsmaßnahmen zur Unterstützung alternativer Kraftstoffe, einschließlich der gemeinsamen Beschaffung
- Bedarfsabhängige, nicht finanzielle Anreize, wie beispielsweise der Zugang zu Umweltzonen, Parkrichtlinien und eigene Fahrwege

8.4.2.4.

Richtlinie für saubere Fahrzeuge

Diese Richtlinie (formell: Richtlinie 2009/33/EG über die Förderung sauberer und energieeffizienter Straßenfahrzeuge) zielt auf eine breite Markteinführung umweltfreundlicher Fahrzeuge ab. Sie verlangt, dass Einflüsse auf Energie und Umwelt, die von Fahrzeugen während ihrer gesamten Nutzungsdauer ausgehen, bei jedem Kauf von Straßenfahrzeugen berücksichtigt werden, wie von den öffentlichen Beschaffungsrichtlinien und der Verordnung über öffentliche Personenverkehrsdienste gefordert.

Sie besagt: „Zu diesen Einflüssen im Laufe der Nutzungsdauer zählen der Energieverbrauch, CO₂-Emissionen sowie Emissionen der gesetzlich geregelten Schadstoffe von NO_x, NMHC (nicht methanhaltige Kohlenwasserstoffe) und Partikel. Einkäufer können u.U. auch andere Umwelteinflüsse in Betracht ziehen.“ [23]

Emissionskosten im Straßenverkehr (Preisbasis 2007) laut Tabelle 2 in Anhang [24]:

CO ₂ :	0,03 bis 0,04 EUR/kg
NO _x :	0,0044 EUR/g
NMHC:	0,001 EUR/g
Feinstaub:	0,087 EUR/g

8.4.3.

Auszeichnungen

Shell GTL Fuel wurde von verschiedenen Zertifizierungsstellen öffentlich für seine besonders niedrigen Emissionswerte anerkannt.

8.4.3.1.

„Lean and Green“-Zertifizierung

Am 8. Oktober 2013 wurde Shell GTL Fuel im Rahmen des Connekt-Programms von Lean and Green mit dem offiziellen „Lean and Green“-Zertifikat für die Niederlande ausgezeichnet. Dieses Zertifikat wird Organisationen verliehen, die „nachweislich aktiv daran arbeiten, ihren Logistik- und Mobilitätsprozess nachhaltiger zu gestalten“.

8.4.3.2.

Marine Green Award

Das Auszeichnungsprogramm „Green Award“ gewährt einer rapide wachsenden Anzahl niederländischer, europäischer und anderer See- und Binnenhäfen weltweit, einschließlich Rotterdam, Gebührenermäßigungen. 2014 gewann ein Kunde, Herr A.G.W. Holthaus von Novamente Shipping B.V., den Green Silver Award, „hauptsächlich für die Verwendung von Shell GTL Fuel Marine als Alternative zu Diesel“. Sein Schiff, die „Novamente“, läuft zwar mit einem CCNR1-Motor, erzielte jedoch durch die Verwendung von Shell GTL Fuel die Emissionswerte der weitaus strengeren CCNR2-Norm und bekam dafür den Green Award.



LEAN AND GREEN



GREEN AWARD

8.

Für Shell GTL Fuel geltende Spezifikationen und Vorschriften

8.4.4.

Gemeinsame Studien mit Dritten

Shell hat in Zusammenarbeit mit Dritten die eigenen Ergebnisse überprüft und die potenziellen Auswirkungen von GTL Fuels auf die städtische Luftqualität bewertet.

8.4.4.1.

TNO

TNO hat mit Hinblick auf Shell GTL Fuel als Ersatz für regulären Dieseldieselkraftstoff (nach EN590) eine Studie zur Überprüfung der potenziellen Vorteile für unterschiedlichste neue wie alte gewerbliche Dieselfahrzeuge, Binnenschiffe und mobile Maschinen und Geräte durchgeführt [11].

Hier die wesentlichen Schlussfolgerungen:

- Shell GTL Fuel hat bei allen geregelten Schadstoffemissionen (NO_x, PM, CO und HC) eine Verringerung bewirkt. Die Testergebnisse zeigten Abweichungen zwischen den Testprogrammen, was aufgrund der Unterschiede zwischen den Motoren zu erwarten war.
- Die Schadstoffemissionen vorhandener Fuhrparks können durch die Verwendung von GTL deutlich reduziert werden. Die Verringerung ist sofort feststellbar und spricht dafür, dass GTL als Alternative zum Ersatz durch neuere oder sauberere Fahrzeuge, Schiffe oder Maschinen oder auch als ergänzende Maßnahme betrachtet werden kann.
- Die Emissionsreduzierungen sind in absoluter Betrachtung am größten, wenn GTL in relativ umweltschädlicheren Motoren verwendet wird, wie beispielsweise in älteren Fahrzeugen, Schiffen oder mobilen Maschinen und Geräten.

8.4.4.2.

Studie am Kings College zur Luftqualität in London

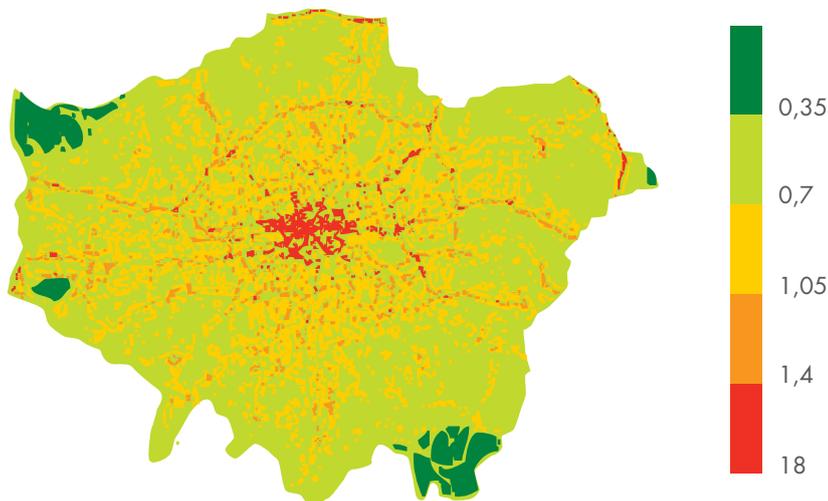
Zwischen 2007 und 2009 arbeitete Shell mit der Forschungsgruppe für Ökologie des Kings College zusammen und bewertete anhand des LAEF (London Atmospheric Emissions Inventory) und des LAQT (London Air Quality Toolkit) Modells den potenziellen Einfluss einer Umstellung des Großteils der Dieselfuhrparks in London auf Shell GTL Fuel auf die Luftqualität. Bei der Studie wurden insbesondere folgende Fragen beleuchtet: Kann GTL die „Nichterfüllung“ der Luftqualitätsstandards beeinflussen? Der Ausdruck „Nichterfüllung“ bezieht sich auf Zonen von London, in denen die Luftqualität in einem bestimmten Jahr einen oder mehrere EU-Grenzwerte überschreitet. (Weitere Einzelheiten sind der DEFRA-Website zu entnehmen:

http://uk-air.defra.gov.uk/assets/documents/National_air_quality_objectives.pdf.) [25]

In einer Simulation des Projekts wurden 5 der 7 Fahrzeugklassen von London mit Shell GTL Fuel betankt, die Gesamtemissionen der Fahrzeuge und anderer Quellen vor und nach dem GTL-Szenario bewertet und anschließend NO₂- und PM-Konzentrationskarten von London anhand des LAQT-Modells erstellt (Abbildung 14).

Abbildung 14.

NO₂ – mittlere jährliche Konzentrationsverringering in London ($\mu\text{g m}^{-3}$) aufgrund der Reduzierungsergebnisse von GTL Fuel im Jahr 2010



Rot = Reduktionsbereich 1,4 bis 18 $\mu\text{g m}^{-3}$ (cf. Stärke 40 $\mu\text{g m}^{-3}$ als Ziel)

8.

Für Shell GTL Fuel geltende Spezifikationen und Vorschriften

Die mittleren jährlichen Luftqualitätsziele für PM_{10} und NO_2 sind $40 \mu\text{g m}^{-3}$ und das Ziel für $PM_{2,5}$ ist $25 \mu\text{g m}^{-3}$. Der tägliche Grenzwert für PM_{10} ist $50 \mu\text{g m}^{-3}$; dieser darf maximal 35 Mal im Jahr überschritten werden. Zusammen mit der auf den Karten dargestellten Konzentrationen von Luftqualitätsverringernungen dienen diese Sollwerte zum Identifizieren von Zonen, in denen die Grenzwerte für Luftqualität mit und ohne Verwendung von Shell GTL Fuel erfüllt worden wären. Zonen, in denen die Grenzwerte für die Luftqualität nicht erfüllt wurden, werden als „Gebiete mit überhöhtem Luftschadstoffniveau“ bezeichnet und sind in der Tabelle weiter unten aufgeführt. Dem Modell nach können die Gebiete mit überhöhtem Luftschadstoffniveau mithilfe von Shell GTL Fuel um 19 bis 39 % reduziert werden.

Tabelle 15.

Gebiete mit überhöhtem Luftschadstoffniveau (km^2)

Schadstoff (2010)	Basismodell (Diesel)	GTL-Szenario	% Veränderung
Jahresdurchschnitt $PM_{2,5}$	0,73	0,44	-39 %
Überschreitung PM_{10} (Tage)	0,57	0,39	-32%
Jahresdurchschnitt NO_2	64	52	-19%

8.4.4.3 Fallstudie ASFE Brüssel

2013 wurde in einer ASFE-Studie die Luftqualität in Brüssel modelliert, um ein Verständnis über potentielle Auswirkungen einer Umstellung auf paraffinische Kraftstoffe zu gewinnen. Nach einer Analyse der belgischen Regierungsbehörden beträgt das jährliche Gesamtgewicht der PM-Emissionen aller Diesel-Transportfahrzeuge in Brüssel knapp 350 Tonnen. Pro Jahr wäre nach Einschätzung der ASFE eine PM-Einsparung von ca. 129 Tonnen möglich, wenn alle Dieselfahrzeuge in Brüssel (Personenbeförderung und Schwerlastverkehr) auf paraffinische Kraftstoffe umgestellt würden. Dieser Wert entspräche einer Verringerung des Verkehrsaufkommens um 64.000 der umweltschädlichsten Autos (der Euro-Stufe 1 und 2) [26].

9.

Handhabung und Lagerung von Shell GTL Fuel

Die Abläufe bei der Lagerung und Handhabung von Shell GTL Fuel basieren auf denjenigen für herkömmlichen Dieselkraftstoff.

Shell GTL Fuel kann generell unter Verwendung derselben Ausrüstungen, Materialien und Verfahren abgefüllt, transportiert und gelagert werden wie herkömmlicher Dieselkraftstoff.

Shell GTL Fuel kann insbesondere in den gleichen Tanks gelagert werden, über die gleichen Zapfsäulen abgegeben werden, und benötigt zudem auch dieselbe Tankzeit wie herkömmlicher Diesel.

Von Shell GTL Fuel geht außerdem eine geringere Gefährdung für Gesundheit, Sicherheit und Umwelt aus als von herkömmlichem Diesel (Kapitel 7). Trotzdem sind Handhabung, Transport, Lagerung, Verwendung und Entsorgung von Erdölerzeugnissen reglementiert, und die Shell Gruppe nimmt ihre Verantwortung in dieser Sache sehr ernst.

9.1. Unterschiede zwischen Shell GTL Fuel und herkömmlichem Diesel

Shell GTL Fuel unterscheidet sich in bestimmten Eigenschaften von herkömmlichem Diesel. Aus diesem Grund muss den Anbieterempfehlungen [d. h. den im Sicherheitsdatenblatt (SDB) angegebenen Daten] besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden. In diesem Zusammenhang müssen bei der Lagerung und Handhabung von Shell GTL Fuel die folgenden Eigenschaften überwacht werden:

- Geringe Dichte und anderer Wärmeausdehnungskoeffizient – Auswirkung auf Abgabemessung
- Niedriger Aromatengehalt – mögliche Wirkung auf alte Dichtungen aus Nitrilkautschuk in Anlagenkomponenten, die vorher aromatenhaltigen Produkten ausgesetzt waren
- Hoher Reinheitsgrad – bei der Lagerung und Handhabung sind Maßnahmen zur weitestgehenden Vermeidung von Verunreinigung zu treffen.

Die Abläufe bei der Lagerung und Handhabung von Shell GTL Fuel basieren auf denjenigen für herkömmlichen Dieselkraftstoff. GTL-Kraftstoff ist überwiegend paraffinisch und damit generell weniger gefährlich als herkömmlicher Dieselkraftstoff. Das heißt, dass die für Diesel vorgeschriebenen Abläufe für Shell GTL Fuel in der Regel ausreichen. Es muss jedoch beachtet werden, dass bei der Lagerung und Handhabung von Shell GTL Fuel nationale und internationale Regelungen und Vorschriften einzuhalten sind. Die in dieser Hinsicht relevanten Eigenschaften sind nachstehend ausführlich beschrieben. Aus einigen, wie der Leitfähigkeit, ergeben sich wichtige Sicherheitskonsequenzen.

Handhabung und Lagerung von Shell GTL Fuel

9.2. Auswirkungen dieser Unterschiede zu herkömmlichem Diesel

9.2.1. Geringe Dichte und anderer Wärmeausdehnungskoeffizient – Auswirkung auf Abgabemessung

Messgeräte zur Volumenmessung von Shell GTL Fuel müssen kalibriert werden. Der Wärmeausdehnungskoeffizient eines Kraftstoffs muss herangezogen werden, um beim Be- und Entladen des Produkts temperaturabhängige Dichteänderungen berücksichtigen zu können. Dosiereinrichtungen für Shell GTL Fuel müssen entsprechend dem abweichenden Wärmeausdehnungskoeffizient kalibriert werden. Durch Einhaltung der örtlichen Kalibriervorschriften für Dieselmotorkraftstoff ist gewährleistet, dass stets die korrekte Menge an Shell GTL Fuel abgegeben wird.

9.2.2. Verträglichkeit mit Elastomer-Werkstoffen

Aus Tests im Labor und umfangreichen Fahrzeugproben lässt sich schließen, dass Shell GTL Fuel im Gegensatz zu herkömmlichem Diesel generell besser verträglich mit Elastomeren, die vielfach Bestandteil von Dichtungen und Schläuchen von Kraftstoffleitungssystemen sind, ist. Dies ist auf den geringeren Aromatengehalt von Shell GTL Fuel zurückzuführen, durch den sich die Wechselwirkungen mit Elastomeren verringern. In Kombination mit modernen Dichtungswerkstoffen wie Fluorkautschuk (Viton) ist in neuen Fahrzeugen einwandfreier Betrieb gewährleistet. Bei einigen älteren Fahrzeugen, die mit Nitrilkautschuk-Dichtungen ausgestattet sind, die durch längeren Kontakt mit herkömmlichem Dieselmotorkraftstoff gealtert sind, besteht ein geringes Undichtigkeitsrisiko. Dieser Effekt betrifft nicht nur Shell GTL Fuel, sondern kann generell beim Umstieg auf einen Kraftstoff anderer Zusammensetzung auftreten.

Bei einer Umstellung älterer Fahrzeuge auf Shell GTL Fuel müssen Elastomere, die mit dem Kraftstoff in Berührung kommen, auf Anzeichen von Undichtigkeit begutachtet werden. In Schiffssystemen kann man von älterer Technikals in Straßenfahrzeugen ausgehen; daher ist eine engmaschigere Kontrolle erforderlich. Bei Auftreten von Undichtigkeiten sind Elastomerteile (z. B. Dichtungen und Kraftstoffschläuche) gegebenenfalls auszutauschen.

9.2.3. Maßnahmen zur Verhinderung von Verunreinigung

Die logistischen Vorkehrungen für den Einsatz von Shell GTL Fuel werden sich von Standort zu Standort unterscheiden. In der Regel werden die Rohrleitungen, Pumpen, Ventile und Schläuche jedoch nicht ausschließlich der Förderung paraffinischer Dieselmotorkraftstoffe dienen. Es müssen Vorkehrungen getroffen werden, um Verunreinigungen durch Mehrzwecksysteme zu minimieren, um den hohen Reinheitsgrad von Shell GTL Fuel zu erhalten.

9.2.4. Flammpunkt

Der Flammpunkt ist die niedrigste Temperatur, bei der ein ausreichender Anteil des Kraftstoffs verdampfen kann, um ein zündfähiges Dampf-Luft-Gemisch bilden zu können. Der Flammpunkt wird häufig als charakteristisches Merkmal bei der Beschreibung flüssiger Kraftstoffe angegeben. Er dient unter anderem der Bewertung des Feuerrisikos. Der Flammpunkt von Shell GTL Fuel ist demjenigen herkömmlichen Diesels vergleichbar. Sowohl die EN 590 (Diesel) als auch die prEN 15940 (GTL) geben einen Flammpunkt von mindestens 55 °C vor. Shell GTL Fuel liegt deutlich im Rahmen dieser gesetzlichen Grenzwerte (über 60 °C).

Der Flammpunkt von Shell GTL Fuel Marine, das für Schiffsanwendungen vertrieben wird, liegt über 60 °C, wie es für die Binnenschifffahrt in Europa vorgeschrieben ist.

Alle Hinweise für die korrekte Transportkennzeichnung unserer Shell GTL Fuel Produkte sind dem jeweils aktuellen Sicherheitsdatenblatt (Abschnitt 14) zu entnehmen.

9.2.5. Leitfähigkeit

Die elektrische Leitfähigkeit ist ein weiterer wichtiger Faktor für die Sicherheit bei Handhabung und Transport flüssiger Kraftstoffe. Wenn Kraftstoff von einem Tank in einen anderen umgepumpt wird (in der Raffinerie, im Terminal oder an der Tankstelle), kann statische elektrische Ladung erzeugt werden, insbesondere, wenn durch Filter gepumpt wird. Normalerweise wird diese Ladung schnell abgeleitet und stellt kein Problem dar. Wenn der Kraftstoff allerdings eine geringe Leitfähigkeit besitzt, kann der Kraftstoff als Isolator wirken, der den Aufbau erheblicher Ladungsdifferenzen zulässt. In vielen Anlagen, und so auch den Shell Raffinerien und Terminals, sind für Dieselmotorkraftstoffe vor der Übernahme in Schiffe, Tankwaggons oder Tankwagen Mindestwerte für die elektrische Leitfähigkeit vorgegeben, um den Aufbau statischer Elektrizität zu unterbinden.

Shell GTL Fuel hat, wie andere in hohem Maße veredelte Kraftstoffe (wie ZSD, HVO), von Natur aus eine sehr geringe elektrische Leitfähigkeit. Die geringe Leitfähigkeit ist auf das Fehlen polarer chemischer Bestandteile zurückzuführen, die normalerweise als elektrische Ladungsträger fungieren. Die Leitfähigkeit in hohem Maße veredelter Dieselmotorkraftstoffe kann problemlos durch Zusatz eines „Static-Dissipator“-Additivs (SDA) oder Leitfähigkeitsverbessers erhöht werden. Diese Additive haben sich in Shell GTL Fuel als geeignet erwiesen und werden standardmäßig zur Erhöhung der Leitfähigkeit zugesetzt.

9.

Handhabung und Lagerung von Shell GTL Fuel



PEARL-GTL-LAGERUNG IN KATAR

9.2.6.

Lagerung bei niedrigen Temperaturen

Die Kältefließesigenschaften eines Dieselmotors müssen den Gegebenheiten eines Zielmarktes gerecht werden. Auch bei der Tanklagerung von Shell GTL Fuel in kalten Klimazonen spielen die Kältefließesigenschaften wie Cloudpoint (CP), Filtrierbarkeitsgrenze (CFPP) und Pourpoint (PP) eine Rolle. Für die Lagerung bei sehr niedrigen Temperaturen wäre eine Tank- und Begleitheizung zu erwägen.

Bei langfristiger Lagerung verhält sich Shell GTL Fuel ganz ähnlich wie herkömmlicher Diesel. Shell GTL Fuel zeichnet sich durch einen extrem niedrigen Verunreinigungsgrad aus, sodass bei Temperaturen oberhalb des Cloudpoint kein Risiko des Ausflockens besteht. Bei langfristiger Lagerung und Temperaturen unterhalb des Cloudpoint kann es wie bei herkömmlichem Dieselmotorkraftstoff zur Ausflockung von langkettigen Paraffinen kommen.

9.2.7.

Lagerstabilität

Probleme mit der Lagerstabilität ergeben sich in der Regel im Zusammenhang mit der Verharzung und der Bildung von Schlamm. Hingegen sind die Bedenken bei modernen ultraschwefelarmen oder schwefelfreien Kraftstoffen eher mit der Oxidationsstabilität zu begründen.

Die molekulare Struktur von GTL Fuel (hauptsächlich paraffinische Kohlenwasserstoffe) deutet darauf hin, dass GTL Fuel eine hervorragende Lagerstabilität in Bezug auf Oxidation und Wachstum von Mikroorganismen aufweisen dürfte.

Diese gute Oxidationsstabilität verdankt es der paraffinischen Natur des GTL-Kraftstoffs, weil es sich bei Paraffinen um die Kohlenwasserstoffklasse mit der höchsten Oxidationsstabilität handelt. Darüber hinaus neigt GTL weniger zur Lösung von Metallen, die Oxidationsvorgänge katalysieren, und verträgt sich daher ohne Weiteres mit gängigen Lagerungs-/Beförderungssystemen. Diese hervorragende Oxidationsstabilität hat sich sowohl in den Tests als auch in langfristigen Lagerungsversuchen gezeigt.

Shell GTL Fuel lässt nur in geringem Maße das Wachstum von Mikroorganismen zu, was auf seine überragende Eigenschaft zur Abscheidung von emulgiertem Wasser (paraffinische Natur) zurückzuführen ist. Dadurch haben Mikroorganismen weniger Zeit, an der Kraftstoff-Wasser-Grenzfläche in Emulsionen zu wachsen. Im Vergleich zu herkömmlichem Diesel (BO) bietet Shell GTL Fuel mindestens eine gleichwertige Widerstandsfähigkeit gegen das Wachstum von Mikroorganismen. Sofern ein Mikrobewachstum auftritt, kann GTL mit den gleichen Bioziden behandelt werden, die zur Verwendung bei herkömmlichen Dieselmotorkraftstoffen eingesetzt werden.

Diese gute Oxidationsstabilität hängt davon ab, dass keine Verunreinigung durch katalytische Metalle wie Kupfer, Zink oder Rost entsteht. Das Wachstum von Mikroorganismen ist durch eingeschränkten Kontakt mit Wasser und Sauerstoff zu verhindern. Deshalb muss Shell GTL Fuel, wie andere schwefelfreie Dieselmotorkraftstoffe, in einem guten Zustand gelagert und befördert werden, um die optimale Stabilität zu gewährleisten.

9.3.

Verfügbarkeit

Shell GTL Fuel wurde 2012 in den Niederlanden sowie in Deutschland (Rheinland) eingeführt. Shell plant, in Zukunft Shell GTL Fuel in weiteren Regionen zu vermarkten.

Abkürzungen

ASTM	"American Society for Testing and Materials", heute ASTM International
BTL	Biomass-to-Liquids
CARB	California Air Resources Board
CAS	Chemical Abstracts Service
CEN	European Committee for Standardisation
CFPP	Cold Filter Plugging Point
CO	Kohlenmonoxid
CO₂	Kohlendioxid
CP	Cloud Point, Trübungspunkt
CTL	Coal-to-Liquids
DI	Direct Injection, Direkteinspritzung
DPF	Diesel Particulate Filter, Dieselpartikelfilter
EGR	Exhaust Gas Recirculation, Abgasrückführung AGR
ESC	European Stationary Cycle (European Steady State Cycle)
ETC	European Transient Cycle
FAME	Fatty Acid Methyl Ester (Fettsäuremethylester)
FT	Fischer-Tropsch
GHG	Greenhouse Gas, Treibhausgas
GTL	Gas-to-Liquids
HC	Kohlenwasserstoff
HFRR	High Frequency Reciprocating Rig, Schwingungsverschleiß-Prüfgerät
HVO	Hydrotreated Vegetable Oil, hydriertes Pflanzenöl
IDI	Indirect Injection, indirekte Einspritzung
LSD	Low Sulphur Diesel, schwefelarmer Dieseldieselkraftstoff (< 500 mg S/kg in der EU)
NMHC	Non-Methane Hydrocarbons, nicht methanhaltige Kohlenwasserstoffe
NO_x	Stickoxide
OECD	Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung
OEM	Original Equipment Manufacturer, Fahrzeug- und Motorenhersteller, Erstausrüster
PM	Particulate Matter, Feinstaub
SCR	Selective Catalytic Reduction, selektive katalytische Reduktion
SMDS	Shell Middle Distillate Synthesis
SO_x	Schwefeloxide
THC	Total Hydrocarbons, Gesamtanteil Kohlenwasserstoff
ThOD	Theoretical Oxygen Demand, theoretischer Sauerstoffbedarf
ULSD	Ultra Low Sulphur Diesel, Ultraschwefelarmer Dieseldieselkraftstoff (< 50 mg S/kg in der EU)
WHTC	World Harmonized Transient Cycle
WHSC	World Harmonized Stationary Cycle (World Harmonized Steady State Cycle)
XTL	Umwandlung Gas/Biomasse/Kohle in Flüssigkeit
ZSD	Zero Sulphur Diesel, schwefelfreier Dieseldieselkraftstoff (< 10 mg S/kg in der EU)

Verweise

-
- [1] GTL Fuel Datasheet (Datenblatt für GTL-Kraftstoff), Shell Global Solutions
-
- [2] ACEA, EUROPIA, „European Program on Emissions, Fuels and Engine Technologies (EPEFE)“, offizieller Bericht 1995
-
- [3] R.H. Clark, I.G. Virrels, C. Maillard, M. Schmidt, „The performance of Diesel fuel manufactured by Shell's GTL technology in the latest technology vehicles“, 3. internationales Kolloquium in Esslingen, Deutschland 2001
-
- [4] P. Lacey, J.M. Kientz, S. Gail, N. Milovanovic, P. Stevenson, R. Stradling, R.H. Clark, R. Boonwatsakul „Evaluation of Fischer-Tropsch Fuel Performance in Advanced Diesel Common Rail FIE“, technische SAE-Broschüre, 2010-01-2191, 2010
-
- [5] US Environmental Protection Agency: <http://www.epa.gov/apti/course422/ap7b4.html>
-
- [6] US Environmental Protection Agency: <http://www.epa.gov/apti/course422/ap7a.html>
-
- [7] Europäische Kommission: <http://ec.europa.eu/environment/air/transport/road.htm>
-
- [8] <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/proportion-of-vehicle-fleet-meeting/proportion-of-vehicle-fleet-meeting-4>; TERM 34 Abbildung 2: Geschätzter Anteil Vor-Euro-/konventioneller und Euro I-V Schwerlastfahrzeuge, Linien- und Reisebusse sowie konventioneller und 97/24/EG-Mopeds und -Motorräder in 30 EEA-Mitgliedsstaaten 1995 und 2009
-
- [9] Richtlinie 97/68/EG und zugehörige überarbeitete Richtlinie 2004/26/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 1997 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über Maßnahmen zur Bekämpfung der Emission von gasförmigen Schadstoffen und luftverunreinigenden Partikeln aus Verbrennungsmotoren für mobile Maschinen und Geräte:<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2004:146:0001:0107:EN:PDF>
-
- [10] Anhänge zum Vorschlag für eine Vorschrift des Europäischen Parlaments und des Rates zu den Anforderungen an die Emissionsgrenzen und Typzulassungen für Verbrennungsmotoren mobiler Maschinen und Geräte:http://eurlex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:60e6a946-44c6-11e4-a0cb-01aa75ed71a1.0023.01/DOC_2&format=PDF
-
- [11] R. Verbeek, „Assessment of pollutant emissions with Shell GTL fuel as a drop in fuel for medium and heavy-duty vehicles, inland shipping and non-road machines“ (TNO-Bericht 2014 R10588)
-
- [12] R.H. Clark, J.J.J. Louis, R.J. Stradling „Emissions measurements of Shell GTL Fuel in the context of future engines and future fuels“, 5. Int.Kolloquium in Esslingen, Deutschland 2005
-
- [13] Richtlinie des EU-Rates 2015/652 vom 20. April 2015 mit einer Aufgliederung der Berechnungsmethoden und Berichtsanforderungen laut Richtlinie 98/70/EG des Europäischen Parlaments und des Rates bezüglich der Qualität von Erdöl- und Dieselmotoren. Offizielles Journal der Europäischen Union:http://eurlex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ:JOL_2015_107_R_0006
-
- [14] R.H. Clark, N.S. Battersby, J.J.J. Louis, A.P. Palmer, R.J. Stradling und G.F. Whale, „The Environmental Benefits of Shell GTL Diesel“, 4. Internationales Kolloquium in Esslingen, Deutschland 2003
-
- [15] Stoffsicherheitsbericht – Destillate (Fischer-Tropsch). C8 – C26, verzweigt und linear CAS 848301-67-7
-
- [16] Pitter, J. Chudoba „Biodegradability of Organic Substances in the Aquatic Environment“ CRC Press, Boca Raton, FL. 1990 1990
-
- [17] G.F. Whale, S.H. Henderson, A. Sherren, G. Lethbridge: „Assessment of the toxicity of hydrocarbons to terrestrial organisms“ – Erster internationaler Kongress zu erdölverseuchten Bodensedimenten und Gewässern, 2001
-
- [18] K. Kitano, I. Sakata, R. Clark, „Effects of GTL Fuel Properties on DI Diesel Combustion“ – technische SAE-Broschüre, 2005-01-3763, 2005
-

-
- [19] Richtlinie 2009/30/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009, Anhang II:<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0030&from=EN>
-
- [20] Empfehlungen zu Flüssigkeiten für Caterpillar-Maschinen:<https://parts.cat.com/wcs-static/pdfs/SEBU6250-20.pdf>
-
- [21] Europäische Kommission: "Clean Power for Transport: A European alternative fuels strategy" 2013
-
- [22] Richtlinie 2014/94/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. Oktober 2014 über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe; Text von Bedeutung für den EWR; <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:32014L0094>
-
- [23] Europäische Kommission:<http://ec.europa.eu/transport/themes/urban/vehicles/doc/synopsis.pdf>
-
- [24] Richtlinie 2009/33/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 über die Förderung sauberer und energieeffizienter Straßenfahrzeuge, Offizielles Journal der Europäischen Union
-
- [25] H. Mittal, D. Dajnak, E. Westmoreland und S. Beevers, "The emissions and air quality impacts of introducing GTL fuel in London - Phase 2" King's College London, Environmental Research Group, 2009
-
- [26] ASFE, Improving EU Air Quality through Paraffinic Fuels:http://www.synthetic-fuels.eu/images/documents/Brussels_case_study_01082013.pdf
-
- [27] R.H. Clark, J.F. Unsworth, "The performance of Diesel Fuel manufactured by the Shell Middle Synthesis process", 2. internationales Kolloquium in Esslingen, Deutschland 1999
-
- [28] R.H. Clark, I. Lampreia, R.J. Stradling, R.W.M. Wardle, "Emissions performance of Shell GTL Fuel in future world markets", 6. internationales Kolloquium in Esslingen, Deutschland 2007
-
- [29] R.H. Clark, T. Stephenson, R.W.M. Wardle, "Emissions measurements of Shell GTL Fuel in the context of on-road trials and laboratory studies", 7. Int.Kolloquium in Esslingen, Deutschland 2009
-

Anhang 1

Europäische Normen für Dieselemissionen

Tabelle 16.

Emissionsgrenzwerte für LKW- und Nutzfahrzeug-Dieselmotoren (stationäre Fahrzyklen)

Stufe	Jahr	Testzyklus	CO	HC	NO _x	PM
Euro I	1992	R-49	4,5	1,1	8,0	0,36*
Euro II	1996	R-49	4,0	1,1	7,0	0,25**
Euro III	2000	ESC***	2,1	0,66	5,0	0,10
Euro IV	2005	ESC	1,5	0,46	3,5	0,02
Euro V	2008	ESC	1,5	0,46	2,0	0,02
Euro VI	2013	WHSC	1,5	0,13	0,4	0,01

*Motoren > 85 kW (PM-Grenzwert für Motoren ≤ 85 kW = 0,612 g/kWh)

**Geändert in 0,15 g/kWh in 1998

***Euro III und höher müssen außerdem den ELR- (European-Load-Response-) Rauchttest absolvieren.

Tabelle 17.

Emissionsgrenzwerte für LKW- und Nutzfahrzeug-Dieselmotoren (instationäre Fahrzyklen)

Stufe	Jahr	Testzyklus	CO	*NMHC	NO _x	PM
Euro III	2000	ETC	5,45	0,78	5,0	0,16
Euro IV	2005	ETC	4,0	0,55	3,5	0,03
Euro V	2008	ETC	4,0	0,55	2,0	0,03
Euro VI	2013	WHTC	4,0	0,16**	0,46	0,01

*Non-Methane Hydrocarbons (alle Kohlenwasserstoffe mit Ausnahme von Methan) – auch CH₄ – Grenzwerte für Erdgasfahrzeuge

**THC für Diesel

Tabelle 18.

Emissionsgrenzwerte für PKW und leichte Nutzfahrzeuge mit Dieselmotor

Stufe	Jahr	Testzyklus	CO	g/km		
				HC+NOx	NOx	PM
Euro 1	1992	ECE+EUDC	2,72	0,97	-	0,14
Euro 2 (IDI)	1996	ECE+EUDC	1,0	0,70	-	0,08
Euro 2 (DI)*	1996	ECE+EUDC	1,0	0,90	-	0,10
Euro 3	2000	NEDC	0,64	0,56	0,50	0,05
Euro 4	2005	NEDC	0,50	0,30	0,25	0,025
Euro 5	2009	NEDC	0,50	0,23	0,18	0,005
Euro 6	2014	NEDC	0,50	0,17	0,08	0,005

*Bis zum 30.09.1999 (danach müssen DI-Motoren die IDI-Grenzwerte einhalten)

Die Tabellen basieren auf Quelle [7].

Anhang 2

Emissionstests – ergänzende Informationen

Die Emissionstests wurden von Shell in Zusammenarbeit mit Partnern durchgeführt. [3] [12] [27] [28] [29]

A2.1. Schwere Nutzfahrzeuge

A2.1.1. Spezielle Emissionstests

Diesem Abschnitt sind alle Angaben über die getesteten Nutzfahrzeuge (Tabelle 19) und der entsprechende prozentuale Vorteil bei lokalen Emissionen durch den Einsatz von Shell GTL Fuel (Tabelle 20) zu entnehmen, wie in Kapitel 5 beschrieben.

Tabelle 19.

Nutzfahrzeugtests – Übersicht über die getesteten Fahrzeuge

Ref.	Euro-Stufe	OEM	Modell	Motor	Nachbehandlung
A.	Euro I	Mercedes-Benz	OM366	6L	Keine
B	Euro II	Mercedes-Benz	OM366	6L	Keine
C	Euro III	-	-	11L	Keine
D	Euro III	-	-	6L	Keine
E	Euro IV	Scania	DC12	10,6L	AGR und DPF
F	Euro IV	MAN	D2066	10,5L	Vor der Nachbehandlung gemessen ¹³
G	Euro V	Scania	DC12	11,7L	SCR
H*	Euro V	Scania	R400	12,7L	AGR (ohne DPF oder SCR)
I**	Euro V	Scania	R400	12,7L	AGR (ohne DPF oder SCR)
J	Euro V	Mercedes-Benz	Actros 1846 LS	12,0L	SCR
K	Euro V	Volvo	FH 480	12,8L	SCR
L	Euro V	MAN	TGX 440	10,5L	SCR
M	Euro V	Mercedes-Benz	Actros 1846 LS	12,0L	SCR
N	Euro V	Volvo	FH 480	12,8L	SCR
O	Euro V	MAN	TGX 440	10,5L	SCR

* Tests außerhalb des Raumtemperaturbereichs durchgeführt (5 °C)

** Tests außerhalb des Raumtemperaturbereichs durchgeführt (40 °C)

Die Emissionstests wurden von Shell in Zusammenarbeit mit Partnern durchgeführt.

¹³ Zusätzliche Untersuchungen haben ergeben, dass die prozentualen Vorteile von Shell GTL Fuel beim selben Motor nach der Nachbehandlung mindestens ebenso groß sind (oder sogar größer) wie die Vorteile vor der Nachbehandlung. Es erschien daher zulässig, obwohl in Test B die Emissionen vor der Nachbehandlung gemessen wurden, die Prozentvorteile mit anderen Tests zu vergleichen, weil nach der Nachbehandlung gemessene Vorteile mindestens ebenso groß, wenn nicht größer, ausgefallen wären.

Tabelle 20.

Nutzfahrzeugtests – prozentuale Emissionsvorteile

Diese Tabelle zeigt prozentuale Vorteile für lokale Emissionen beim Einsatz von Shell GTL Fuel aus allen in Tabelle 5 aufgeführten Nutzfahrzeug-Emissionstests.

Ref.	Euro-Stufe	Testzyklus	Schwefelgrenzwert des Referenzdiesels	% Emissionen im Verbrauch EN 590 Diesel			
				PM	NO _x	HC	CO
A.	Euro I	R49	< 400 mg/kg	18	16	13	22
B	Euro II	R49	< 400 mg/kg	18	15	23	5
C	Euro III	ESC	< 400 mg/kg	34	5	K. D.	9
D	Euro III	ESC	< 400 mg/kg	10	19	9	20
E	Euro IV	ESC	50 mg/kg	38	17	28	K. D.
F	Euro IV	ETC	10 mg/kg	31	5	10	9
G	Euro V	ESC	50 mg/kg	23	26	K. D.	K. D.
H*	Euro V	WHTC	10 mg/kg	32	10	23	8
I**	Euro V	WHTC	10 mg/kg	31	11	19	14
J	Euro V	ETC	10 mg/kg	22	13	K. D.	16
K	Euro V	ETC	10 mg/kg	33	11	K. D.	22
L	Euro V	ETC	10 mg/kg	26	5	K. D.	14
M	Euro V	ESC	10 mg/kg	26	32	K. D.	8
N	Euro V	ESC	10 mg/kg	25	37	K. D.	17
O	Euro V	ESC	10 mg/kg	25	18	K. D.	9

Nicht mit einem Konfidenzniveau von $\geq 95\%$ statistisch relevant

*Tests außerhalb des Raumtemperaturbereichs durchgeführt (5 °C)

**Tests außerhalb des Raumtemperaturbereichs durchgeführt (40 °C)

K. D. = keine Daten – absolute Emissionswerte so niedrig, dass versuchte Messungen aufgrund gegebener geringer Emissionen und schadstoffbelasteter Umgebungsluft im Störbereich lagen

Anhang 2

A2.1.2.

Emissionstests bei Feldversuchen

Diese Tabelle zeigt die prozentualen Emissionsvorteile in allen Nutzfahrzeug-Emissionstests, die im Rahmen von Feldversuchen durchgeführt wurden.

Tabelle 21.

Nutzfahrzeugfeldversuche – Prozentuale Emissionsvorteile

Euro-Stufe	Name der Erprobung	Testzyklus	Schwefelgrenzwert des Referenzdiesels	% Vorteil gegenüber herkömmlichem Diesel				
				PM	NO _x	HC	CO	CO ₂
Euro II	Shanghai ¹⁴	R-49	< 350 mg/kg	35	15	-8	13	4
Euro II	Van Gansewinkel ¹⁵	CARB-Müllfahrzeugzyklus	10 mg/kg	18	2	16	12	1
Euro III	Van Gansewinkel ¹⁶	CARB-Müllfahrzeugzyklus	10 mg/kg	19	8	4	37	3
Euro III	*London Bus ¹⁵	London Millbrook-Buszyklus (MLTB)	< 50 mg/kg	20 (15)	4 (0)	20 (28)	12 (0)	3 (2)
Euro III	Shanghai ¹⁴	ESC	< 350 mg/kg	40	3	18	8	3
Euro III	Peking ¹⁷	ESC	< 350 mg/kg	33	5	19	20	K. D.
Euro III	Delft	Connexion ¹⁶	Niederländischer Stadtbus-Zyklus <10 mg/kg	15	12	17	3	3
Euro III	*London TfL ¹⁶	London Millbrook-Buszyklus	< 10 mg/kg	9 (16)	12	11	-9	4
Euro III	*London TfL ¹⁶	London Millbrook-Buszyklus	< 10 mg/kg	-23 (23)	3	-13	-6.5	4
US 2001 (ähnlich Euro III)	Yosemite Waters ¹⁸	NYCB/CSHVR-Zyklus	2mg/kg	33/23	8/13	69/58	10/-1	K. D.
US 2002 (ähnlich Euro III)	Ralph's Groceries ¹⁸	NYComp	2mg/kg	18	6	K. D.	K. D.	K. D.
Euro IV	*London TfL ¹⁶	London Millbrook-Buszyklus	< 10 mg/kg	22 (10)	13	3	11	4
Euro V	Van Gansewinkel ¹⁵	CARB-Müllfahrzeugzyklus	10 mg/kg	0	5	13	72	0

*(Vor Nachbehandlung)

Nicht mit einem Konfidenzniveau von $\geq 95\%$ statistisch relevant

Keine statistische Analyse

¹⁴ Tongji-Universität, China /2007

¹⁷ Tsinghua-Universität, China /2007

¹⁵ TNO, Niederlande/2010

¹⁸ NREL, USA/2002, 2004

¹⁶ Millbrook, Großbritannien/2003, 2007, 2008

A2.2. PKW und leichte Nutzfahrzeuge

A2.2.1.

Spezielle Emissionstests

Diesem Abschnitt sind alle Angaben zu den in Kapitel 5 aufgeführten Emissionstests an PKW und leichten Nutzfahrzeugen zu entnehmen.

Tabelle 22.

Tests an PKW und leichten Nutzfahrzeugen – Übersicht über die getesteten Fahrzeuge

Ref.	Euro-Stufe	OEM	Modell	Motor	Nachbehandlung
A.	Euro 1	Ford	Transit	2,5L (IDI)	Keine
B	Euro 1	Ford	Orion	1,8L (IDI)	Keine
C	Euro 1	Peugeot	605	2,1L (IDI)	Keine
D	Euro 1	Renault	21	2,1L (IDI)	Keine
E	Euro 2	Audi	80	1,9L (DI)	Oxicat
F	Euro 2	Audi	100	2,5L (DI)	Oxicat
G	Euro 2	Volkswagen	Golf	1,9L (IDI)	Oxicat
H	Euro 2	Ford	Orion	1,8L (IDI)	Keine
I	Euro 3	Mercedes-Benz	C220 CDI	2,2L (DI)	Oxicat
J	Euro 3	Volkswagen	Bora Combi	1,9L (DI)	Oxicat
K	Euro 3	Citroen	Xantia HDI	2,0L (DI)	Oxicat
L	Euro 3	Ford	Focus	1,8L (DI)	Oxicat
M	Euro 3	Citroen	Xantia HDI	1,9L (DI)	Oxicat
N	Euro 4	Toyota	Avensis	2,0L (DI)	Oxicat
O	Euro 4	Honda	Civic	2,2L (DI)	Oxicat
P	Euro 4	Ford	Focus	1,8L (DI)	Oxicat
Q	Euro 4	Peugeot	407	2,0L (DI)	Oxicat + DPF

Angesichts des großen Bestands an Emissionsdaten für PKW- und Nutzfahrzeuge und der Konsistenz der prozentualen lokalen Emissionsvorteile werden sie als Mittelwert aller auf der betreffenden Euro-Stufe getesteten Fahrzeuge angegeben. Die Emissionstests wurden von Shell in Zusammenarbeit mit Partnern durchgeführt.

Anhang 2

Tabelle 23.

Tests mit PKW und leichten Nutzfahrzeugen – Prozentuale Emissionsvorteile

Ref.	Euro-Stufe	Testzyklus	Schwefelwert des Referenzdiesels	% Emissionen im Verbrauch EN 590 Diesel			
				PM	NO _x	HC	CO
A, B, C, D	Euro 1	ECE+EUDC	400mg/kg	42	10	45	40
E, F, G, H	Euro 2	ECE+EUDC	400mg/kg	39	5	63	53
I, J, K, L, M	Euro 3	NEDC	400 mg/kg	41	5	62	75
N, O, P, Q	Euro 4	NEDC	10 mg/kg	14 bis 20*	6 bis 2*	66 bis 77*	73 bis 83*

*Bereichsangaben ergeben sich aus dem Vergleich mit zwei verschiedenen Referenz-Dieselmotoren (mit unterschiedlicher Dichte)

A2.2.2.

Emissionstests bei Feldversuchen

Diese Tabelle zeigt die prozentualen lokalen Emissionsvorteile aller Emissionstests an PKW und leichten Nutzfahrzeugen, die im Rahmen von Feldversuchen durchgeführt wurden.

Tabelle 24.

Feldversuche mit PKW und leichten Nutzfahrzeugen – Prozentuale Emissionsvorteile

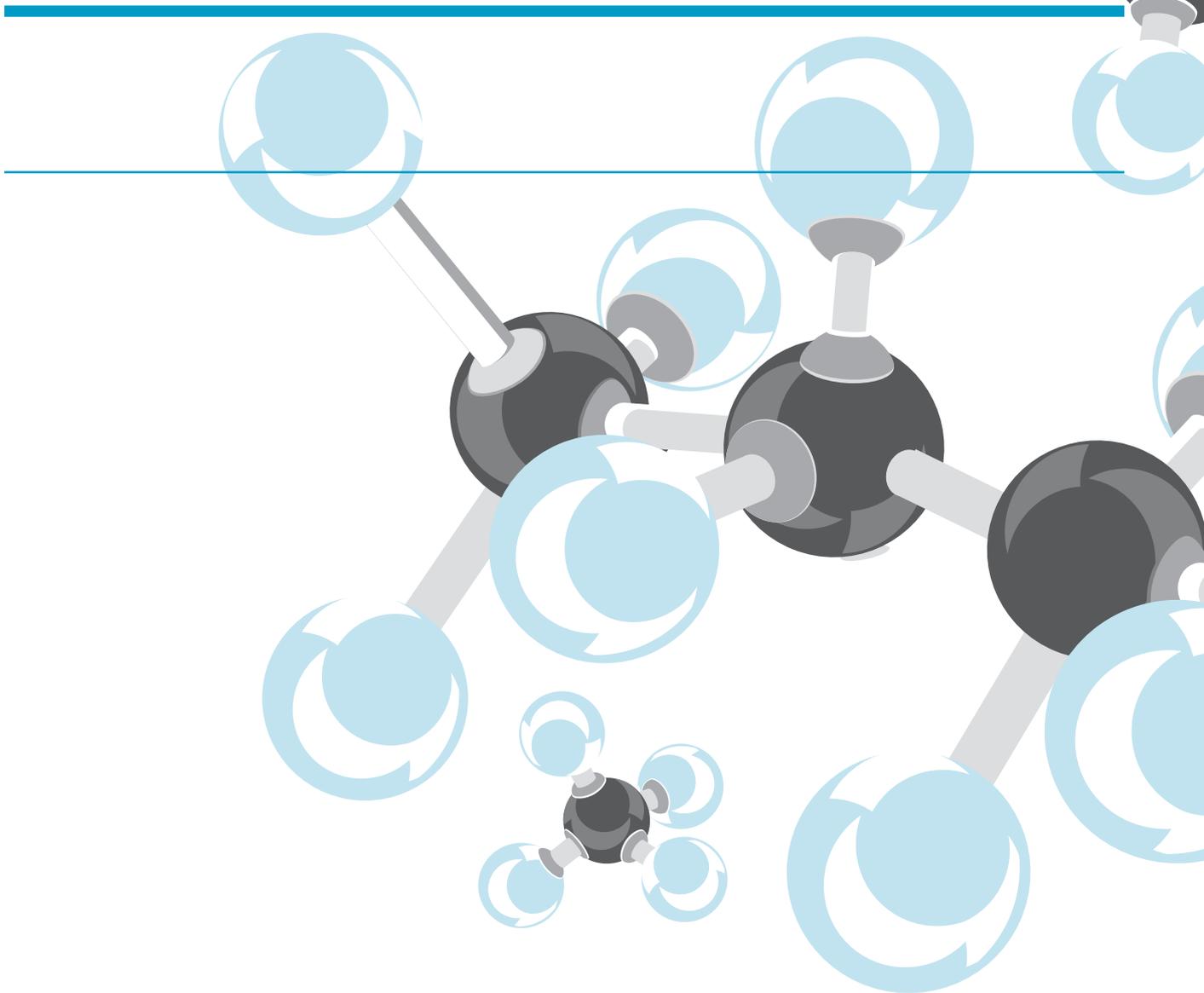
Euro-Stufe	Name der Erprobung	Testzyklus	Schwefel-grenzwert des Referenzdiesels	% Vorteil gegenüber Diesel				
				PM	NO _x	HC	CO	CO ₂
Euro 3	Berlin VW ¹⁹	ECE+EUDC	10 mg/kg	26	6	63	91	4
Euro 3	Shanghai Taxis ²⁰	NEDC	350 mg/kg	42	6	68	57	2
Euro 4	London Toyota ²¹	ECE+EUDC	10 mg/kg	25	5	73	94	4
Euro 4	Michelin Bibendum Challenge ²² (A2)	ECE+EUDC	10 mg/kg	38	5	57	82	4
Euro 4	Michelin Bibendum Challenge ²² (A8)	ECE+EUDC	10 mg/kg	36	2	63	90	4

Nicht mit einem Konfidenzniveau von $\geq 95\%$ statistisch relevant
Keine statistische Analyse

¹⁹ Volkswagen/2003
²⁰ Tongji-Universität/2006

²¹ Toyota/2004
²² On-Board-Messungen/2004

Raum für eigene Notizen



© Das Urheberrecht an diesem Dokument liegt bei Shell Global Solutions International, B.V. Den Haag, Niederlande.
Alle Rechte vorbehalten.

Ohne die vorherige schriftliche Genehmigung des Urheberrechtinhabers darf das Dokument weder vollständig noch teilweise in irgendeiner Form (weder elektronisch, noch mechanisch, reprografisch oder durch Aufzeichnung usw.) reproduziert, gespeichert oder weitergegeben werden. Shell Global Solutions ist eine Handelsbezeichnung, die von einem Netzwerk von Technologieunternehmen der Shell Gruppe verwendet wird.
