

KRAFTSTOFFE



[auto-umwelt.at](https://www.auto-umwelt.at)

Kapitel 6: KRAFTSTOFFE

verfügbare weitere Inhalte:

- Kapitel 1: EMISSIONEN
- Kapitel 2: LUFTQUALITÄT
- Kapitel 3: LÄRM
- Kapitel 4: FLÄCHENVERBRAUCH
- Kapitel 5: UMWELTFREUNDLICHE FAHRZEUGANTRIEBE
- Kapitel 7: FAHRSTIL
- Kapitel 8: GESETZLICHE VORSCHRIFTEN

Österreichischer Verein für Kraftfahrzeugtechnik (ÖVK)

Elisabethstraße 26
1010 Wien

Tel.: +43 1 5852741 – 0

Fax.: +43 1 5852741 -99

E-Mail: info@oevk.at

Internet: www.oevk.at

© Inhalt: Österreichischer Verein für Kraftfahrzeugtechnik (ÖVK) 2010

© Titelfoto: Rainer Sturm/pixelio.de

INHALT

1.	WAS SIND KRAFTSTOFFE?.....	1
2.	KRAFTSTOFFKOMPONENTEN UND IHRE WIRKUNG	2
3.	DIESEL.....	3
4.	BENZIN	9
5.	ALTERNATIVE KRAFTSTOFFE	14
5.1.	ALTERNATIVE DIESELKRAFTSTOFFE.....	14
5.1.1.	BIOMASS TO LIQUID (BTL)	14
5.1.2.	GAS TO LIQUID (GTL).....	24
5.1.3.	RAPS-METHYL-ESTER (RME).....	32
5.1.3.	HYDRIERTES PFLANZENÖL (HYDROTREATED VEGETABLE OIL, HVO) ..	42
5.2.	ALTERNATIVE OTTOKRAFTSTOFFE	49
5.2.1.	BIO-ETHANOL: DER BIOKRAFTSTOFF FÜR DEN OTTOMOTOR.....	49
5.2.2.	CNG: COMPRESSED NATURAL GAS – ERDGAS.....	54
6.	ÖKOBILANZ:	58
6.1.	ÖKOBILANZ ALLGEMEIN.....	58
6.2.	ÖKOBILANZ – DIESEL.....	60
6.3.	ÖKOBILANZ – BENZIN	62
6.4.	ÖKOBILANZ – ALTERNATIVE KRAFTSTOFFE	64
6.4.1.	ALTERNATIVE DIESELKRAFTSTOFFE	64
6.4.2.	ALTERNATIVE OTTOKRAFTSTOFFE	73

1. WAS SIND KRAFTSTOFFE?

Kraftstoffe im herkömmlichen Sinn sind Gemische aus vielen verschiedenen Kohlenwasserstoffen, die durch Raffination von Rohöl gewonnen werden. Kraftstoffe sind bei Raumtemperatur flüssig und leicht entflammbar.

Neben den natürlichen Bestandteilen sind jeder Kraftstoffart Additive beigefügt, chemische Zusätze, die unterschiedliche Funktionen übernehmen: etwa als Antiklopfmittel, zur Verbesserung der Kaltstarteigenschaften oder zur Reinigung des Ansaugsystems, um nur einige Beispiele zu nennen.

Kraftstoffe verbrennen nicht vollkommen rückstandsfrei und verursachen daher Emissionen, die man in zwei Kategorien einteilen kann: Jene Emissionen, die während des Fahrens entstehen (im Wesentlichen CO, HC, NO_x und Partikel), und die Verdampfungsemissionen, die abhängig von der Umgebungstemperatur sowohl im Stillstand als auch während des Fahrens auftreten.

Das Angebot der verschiedenen Kraftstoffsorten ergibt sich in der Raffinerie, wo bei Benzin Kraftstoffkomponenten mit unterschiedlicher Klopfestigkeit anfallen. Das Verhältnis Benzin / Diesel, das aus Rohöl gewonnen werden kann, ist zwar nicht beliebig verschiebbar, bewegt sich aber in einem recht breiten Rahmen von 40/60 bis 60/40 Prozent.

2. KRAFTSTOFFKOMPONENTEN UND IHRE WIRKUNG

Früher gehörte Blei als Antiklopfmittel zu den zwar sehr wirksamen, aber auch gesundheitsschädlichen Zusätzen im Benzin. Blei wird schon seit Jahren durch nicht weniger wirksame, aber gesundheitlich unbedenkliche Mittel ersetzt. Eine Entwicklung, die auch durch den Einsatz von Dreiwegkatalysatoren beschleunigt wurde, die nur mit bleifreiem Benzin funktionieren.

Die Verringerung des Schwefelgehalts sowohl im Benzin wie im Dieselkraftstoff war in jüngster Zeit eine der Hauptaktivitäten im Raffineriesektor. Schwefel ist an sich ein natürlicher, aber unbeliebter Bestandteil des Rohöls: Im Diesel, weil er in direktem Zusammenhang mit den Partikelemissionen steht und die Wirkung sowohl von Partikelfilter wie auch von SCR-Katalysatoren beeinträchtigt.

Aus diesem Grund hat die OMV mit Anfang 2004 begonnen, praktisch schwefelfreien Treibstoff österreichweit anzubieten. Kraftstoffe mit niedrigem Schwefelgehalt sind die Voraussetzung für den Einsatz moderner Technologien zur Emissionsabsenkung.

Seit Anfang 2000 schreiben die gesetzlichen Regelungen der EU eine maximale Obergrenze von 150 ppm (parts per million) Schwefel für Benzin und 350 ppm für Diesel vor. Diese Grenzwerte wurden im Jahr 2005 auf jeweils 50 ppm weiter reduziert.

Treibstoffe der OMV in Österreich unterbieten seit Beginn 2004 die geforderten Grenzwerte deutlich und werden mit maximal 10 ppm Schwefel angeboten. Dies gilt sowohl für Ottokraftstoff als auch für Dieselkraftstoff. Solche Treibstoffe werden in der Praxis bereits als schwefelfrei angesehen.

3. DIESEL

ALLGEMEINES [1]

Diesel ist ein auf verschiedenen Kohlenstoffen basierender Kraftstoff, welcher in Raffinerien aus Erdöl gewonnen wird. Er stellt derzeit den bedeutendsten Kraftstoff im Verkehrssektor Österreichs dar. Im Jahr 2006 belief sich der Dieserverbrauch in Österreich auf 6,2 Mio. t (dagegen nur 2 Mio. t Ottokraftstoffe). [2] Von insgesamt 321.000 t Biodiesel, welche in diesem Jahr in Verkehr gebracht wurden, wurden 288.500 t nach Normvorgabe¹ dem Diesel beigemischt und 32.500 t pur, bzw. in höheren Mischungsverhältnissen abgesetzt. Wie in **Abbildung 1** dargestellt, führte dieser Biodieselabsatz im Jahr 2006 zu einer Substitutionsquote von 4,6% (energetisch) für Dieselkraftstoff. Nach Berücksichtigung des abgesetzten Ottokraftstoffes, welchem 2006 noch kein Biokraftstoff beigemischt wurde, ergibt sich eine Gesamt-Substitutionsquote von 3,5%. [3]

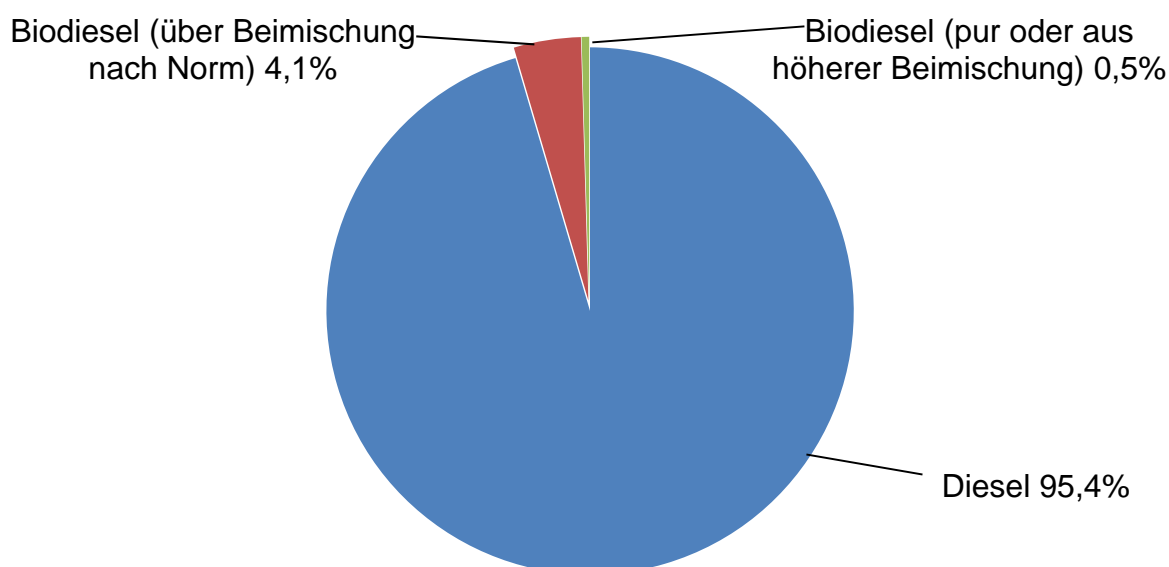


Abbildung 1: Biodieselanteil am Gesamtdieselbedarf in Österreich (Energetische Betrachtung für das Jahr 2006). [3]

Abbildung 2 gibt einen Überblick über den Dieserverbrauch in den Ländern Europas. Im Jahr 2006 benötigte der Straßenverkehr in den EU27 Ländern insgesamt 183 Mio. Tonnen Dieselkraftstoff. [4]

¹ ÖNORM EN 590, Kraftstoffe für Kraftfahrzeuge - Dieselkraftstoff - Anforderungen und Prüfverfahren

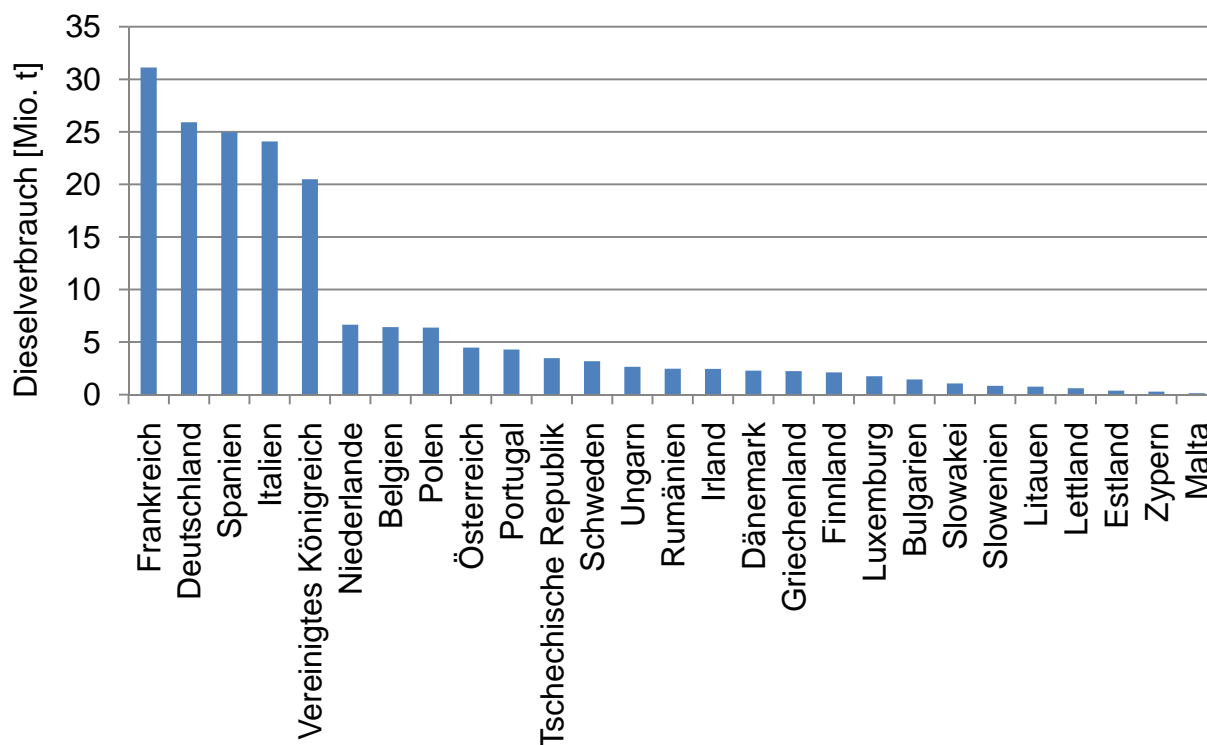


Abbildung 2: Dieserverbrauch des Straßenverkehrs in der EU27 in Mio. Tonnen für das Jahr 2006 [4]

ROHSTOFF

Erdöl als komplexes Gemisch verschiedener Kohlenwasserstoffe besteht im Wesentlichen aus Kohlenstoff und Wasserstoff. Neben Schwefel sind weitere Spuren von Stickstoff, Sauerstoff und Metallen im Rohöl enthalten. [5] Die Zusammensetzung schwankt dabei in engen Bandbreiten und kann, wie in **Tabelle 1** dargestellt, beschrieben werden.

Chemische Komponente	Anteil
Kohlenstoff C	83 – 87%
Wasserstoff H₂	10 – 14%
Stickstoff N	0,1 – 2%
Sauerstoff O₂	0,05 – 1,5%
Metalle (Ni und V)	< 1.000ppm

Tabelle 1: Chemische Zusammensetzung von Rohöl [6]

Der für die Herstellung von Diesel erforderliche Rohstoff Erdöl wurde im Jahr 2007 mit 0,85 Mio. t aus österreichischen Reserven gewonnen und zu 7,6 Mio. t vorwiegend aus den Ländern Kasachstan, Libyen, Irak und Syrien importiert. Eine Zuordnung in die drei wesentlichen Lieferregionen ist **Tabelle 2** zu entnehmen.

Lieferregion	Anteil
Österreich	11 %
GUS ²	64 %
OPEC ³	25 %

Tabelle 2: Lieferregionen und Anteile des in Österreich verarbeiteten Rohöls. [2]

Die sicheren, bzw. wahrscheinlichen Ölreserven werden in Österreich zum Stichtag 31. Dez. 2007 auf 13,8 Mio. t (inkl. Flüssiggas) geschätzt. Bei unveränderten Förderraten reichen die Reserven noch 15 Jahre.

Weltweit werden die Reserven zu Jahresende 2007 auf 180,7 Mrd. t geschätzt, was bei gleichbleibendem Ölverbrauch die Versorgung für 46 Jahre sichert. [2]

HERSTELLUNGSVERFAHREN

Das Rohöl wird in mehreren Verfahrensschritten zu seinen Endprodukten verarbeitet. Anfangs werden über einen Destillationsprozess (stufenweises Verdampfen und Kondensieren) die verschiedenen Fraktionen unterschiedlicher Siedepunkte von einander getrennt. Darauf folgend werden die abgeschiedenen Fraktionen Gas, Primärbenzin, Petroleum und Gasöl unter Druck und Beigabe von Wasserstoff erhitzt und dadurch entschwefelt. Unter Einwirkung von Druck und Temperatur wird anschließend die Oktanzahl des Rohkraftstoffes eingestellt. Unter dem Prozess der Raffination wird die in Schritt zwei und drei beschriebene Reinigung und Veredelung verstanden. Abschließend erfolgt die Mischung zu den gewünschten Endprodukten. Aus Rohöl werden rund 400 unterschiedliche Produkte erzeugt, die bekanntesten sind Diesel, Benzin, Flüssiggas, Heizöl, Bitumen und Schmierstoffe. [5]

Wie in **Abbildung 3** dargestellt stieg die Dieselproduktion, bedingt durch den in **Abbildung 4** abgebildeten Zuwachs an Diesel-PKW deutlich an. Der Dieselanteil an Neuzulassungen erreichte 2003 mit 71,5% seinen Höhepunkt. Seither geht der Neuzulassungsanteil an Diesel-PKW zurück. Die intensive Marktdurchdringung der letzten Jahre führt jedoch zu einem kontinuierlich ansteigenden Bestand an Diesel-PKW, sodass im Jahr 2007 rund 54% der PKW mit Dieselmotoren ausgestattet sind. [7], [8]

² GUS: Gemeinschaft unabhängiger Staaten. Zusammenschluss verschiedener Nachfolgestaaten der Sowjetunion. Mitgliedstaaten: Armenien, Aserbaidschan, Weißrussland, Georgien, Kasachstan, Kirgisistan, Moldawien, Russland, Tadschikistan, Turkmenistan, Ukraine und Usbekistan.

³ OPEC: Organization of the Petroleum Exporting Countries. Mitgliedstaaten: Algerien, Angola, Libyen, Nigeria, Irak, Iran, Katar, Kuwait, Saudi Arabien, Vereinigte Arabische Emirate, Ecuador, Venezuela und Indonesien.

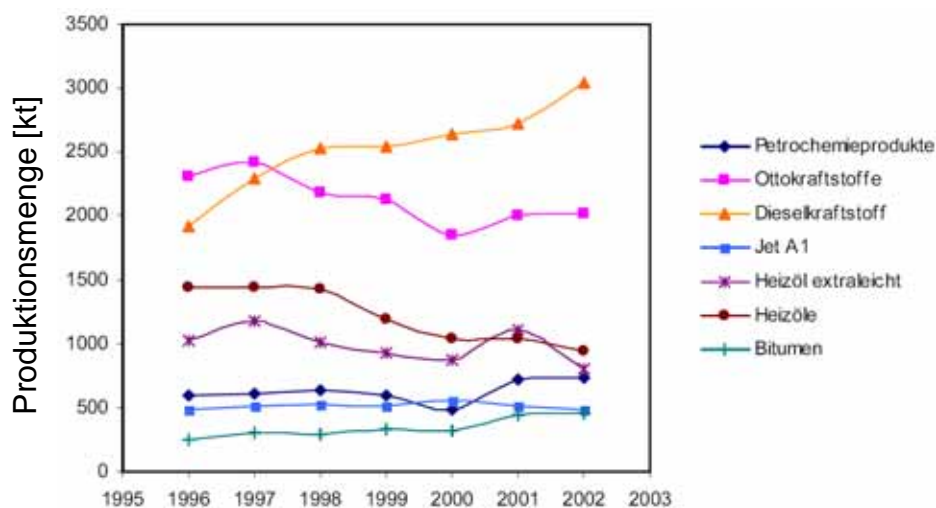


Abbildung 3: Produktionsentwicklung der OMV Raffinerie in Wien-Schwechat in kt [7]

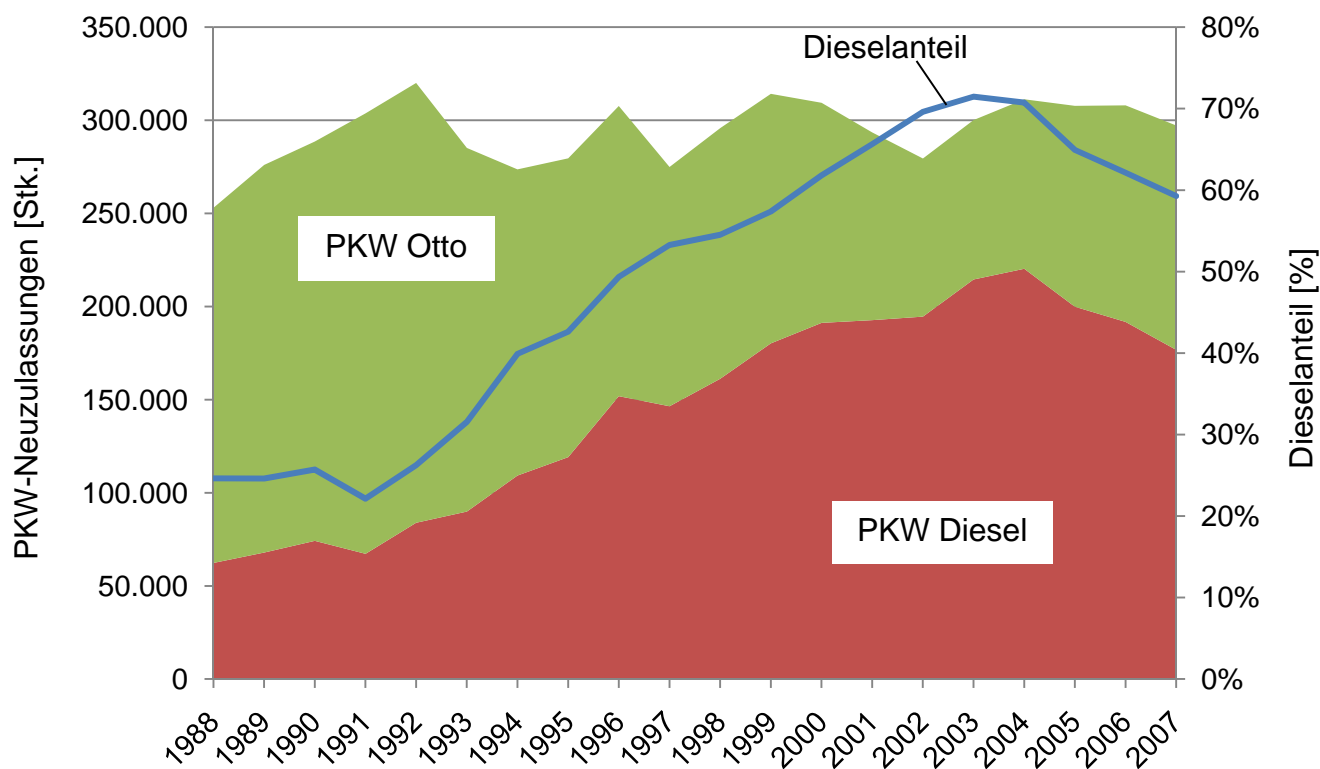


Abbildung 4: PKW-Neuzulassungsentwicklung in Österreich in Stück, sowie Dieselanteil an Neuzulassungen in % [8]

Die Raffinerie der OMV produzierte im Jahr 2006 einen massebezogenen Ausstoß von 8,23 Mio. Tonnen. 33% des Produktausstoßes entfielen dabei auf Diesekraftstoffe und 21% auf Ottokraftstoffe. [9]

VERFÜGBARKEIT

Die Verfügbarkeit des Dieselkraftstoffes wird vorrangig durch die verbleibenden Reserven des Rohstoffes Erdöl bestimmt. Die derzeit überproportionale Nachfrage nach Dieselkraftstoffen sorgt für einen erhöhten Importanteil im Dieselsektor von 56% (bei Ottokraftstoffen 19%).

Es ist davon auszugehen, dass die Erdölindustrie und die Mineralölwirtschaft den Bedarf an Dieselkraftstoff dennoch mittelfristig gewährleisten können. [2]

Um eventuell langfristig zu erwartenden Engpässen in der Versorgung mit Dieselkraftstoff, infolge einer Verknappung der Ressource Erdöl entgegenzuwirken, hat der Rat der Europäischen Union bereits 1998 die Entscheidung über ein mehrjähriges Rahmenprogramm für Maßnahmen im Energiesektor erlassen, in welchem unter anderem die Versorgungssicherheit zum energiepolitischen Ziel erklärt wurde. Die Förderung erneuerbarer Energieträger stellt dabei eines von sechs spezifischen Programmen dar. [10]

UMWELTWIRKUNG UND NACHHALTIGKEIT

Bei der vollständigen Verbrennung eines Kohlenwasserstoffgemisches entstehen durch Oxidation des Kohlenstoffs (C) und des Wasserstoffs (H₂) die Endprodukte Kohlenstoffdioxid (CO₂) und Wasserdampf (H₂O).

Die reale Verbrennung ist jedoch eine unvollständige, bei der neben CO₂ und H₂O Produkte wie Kohlenmonoxid (CO), Stickstoffoxide (NO_x), unverbrannte Kohlenwasserstoffe (HC), Partikel (PM), Schwefeldioxid (SO₂), Schwefelsäure (H₂SO₄) u.a.m. entstehen. [11]

Die im Zuge der motorischen Verbrennung emittierten chemischen Komponenten werden aufgrund ihrer teils negativen Umweltwirkungen durch den Gesetzgeber limitiert.

CHEMISCHE EIGENSCHAFTEN

Dieselmkraftstoff besteht vorwiegend aus langkettig gesättigten (Alkane C_nH_{2n+2}), ringförmig gesättigten (Cycloalkane C_nH_{2n}) und aromatischen Kohlenwasserstoffen, welche bei der Destillation in einem Temperaturbereich von 250 °C bis 360 °C sieden.

Die Qualität des Kraftstoffes kann über die Zugabe von Additiven beeinflusst werden, um beispielsweise die Zündwilligkeit (Kennwert: Cetanzahl) zu verbessern. Diese Eigenschaft ist bei einem Dieselmotor von besonderer Bedeutung, da die Dieselverbrennung auf dem Phänomen der Selbstzündung aufbaut. Für die fehlerfreie Funktion moderner Abgasnachbehandlungssysteme ist zudem ein möglichst schwefelfreier Kraftstoff erforderlich. Die Entfernung des Schwefels erfolgt dabei weitestgehend in der Raffinerie. [5]

Die Bandbreiten der beschreibenden Eigenschaften von Diesel werden zum Einen durch die ÖNORM EN590 [12] beschränkt und zum Anderen von marktspezifischen Anforderungen (seitens Kraftfahrzeughersteller und Markt) bestimmt. In **Tabelle 3** wird eine Auswahl relevanter Kennwerte abgebildet.

Kennwerte	Einheit	[13]	[14]	[15]	[16]	[12]*	Diesel**
Dichte bei 15°C	kg/l	0,84	0,835	0,83	0,831	0,82-0,845	0,84
Unterer Heizwert	MJ/l	35,87	35,7		-	-	35,8
Unterer Heizwert	MJ/kg	42,7	42,7	42,5	-	-	42,6
Viskosität bei 40°C	mm ² /s	-	3,5		2,7	2 – 4,5	3,1
Cetanzahl	-	50	53	53	54	≥ 51	53
Flammpunkt	°C	80			-	≥ 55	80
Aromatengehalt	Gew.%	-	30	20,6	19	-	23,2
Polyaromatengehalt	Gew.%	-	4		0,07	≤ 11	2
Schwefelgehalt	mg/kg	-	< 10	< 10	6	≤ 10	< 10
Verhältnis C/H	Mass%	-	6	-	-	-	6,3
* ÖNORM EN 590							
** Mittelwert							

Tabelle 3: Chemische Eigenschaften von Dieseldieselkraftstoff

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] **Tober, W.:** Abschlussbericht "Einsatz und Potenzial von biogenen Designerkraftstoffen – BTL (Biomass to Liquid) im Motoreneinsatz" Teilbericht zum Arbeitspaket 9 - Erstellen einer Ökobilanz (Life Cycle Assessment - LCA) für BTL. Wien: TU Wien, Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Kraftfahrzeugbau, 2009. B09012.
- [2] **Capek, C.:** Jahresbericht 2007. Wien: Fachverband der Mineralölindustrie Österreichs (FVMI), 2007.
- [3] **Winter, R.:** Biokraftstoffe im Verkehrssektor in Österreich 2007, Zusammenfassung der Daten der Republik Österreich gemäß Art. 4, Abs. 1 der Richtlinie 2003/30/EG für das Berichtsjahr 2006. Wien: Umweltbundesamt GmbH, 2007. ISBN: 3-85457-907-1, REP-0109.
- [4] **Statistisches Amt der Europäischen Gemeinschaften:** Eurostat. *epp.eurostat.ec.europa.eu*. [Online] [Zitat vom: 12. 5. 2008.] http://epp.eurostat.ec.europa.eu/extraction/evalight/EVAlight.jsp?A=1&language=de&root=/theme8/nrg/nrg_102a. Auswahl: Jahr 2006, Länder der EU27, Dieseldieselkraftstoffe und Destillattheizöle, Energetischer Endverbrauch des Strassenverkehrs, Tausend Tonne Öl-Gleichwerte (TÖGW).
- [5] **Erdöl-Vereinigung:** Erdöl – Anwendungen und Produkte. *Die Welt des Erdöls – eine Schriftenreihe der Erdöl-Vereinigung*. N.N.
- [6] **Speight, J.:** *The Chemistry and Technology of Petroleum*, 4. Auflage. Laramie: CRC Press, 2006. ISBN-10: 0849390672, ISBN-13: 978-0849390678.
- [7] **Kutschera, U., et al:** *Medienübergreifende Umweltkontrolle in ausgewählten Gebieten*. Wien: Umweltbundesamt GmbH, 2004. Bd. 168. ISBN 3-85457-757-5, M-168.
- [8] **Statistik Austria:** *Statistik der Kraftfahrzeuge, Neuzulassungen 2007 (Jahresheft)*. Wien: Statistik Austria, Bundesanstalt Statistik Österreich, 2008. ISBN: 20-6013-07.
- [9] **Tuppinger, D.:** Qualitätssicherung und Riskmanagement in der Praxis. *Österreichischer Qualitätstag der Quality Austria*. Salzburg: quality austria, 2007. OMV Refining & Marketing.
- [10] **Europäische Gemeinschaft:** Entscheidung des Rates vom 14. Dezember 1998 über ein mehrjähriges Rahmenprogramm für Maßnahmen im Energiesektor (1998-2002) und flankierende Maßnahmen. *Amtsblatt der Europäischen Union*. 13. 1 1999, L7, S. 16.
- [11] **Geringer, B.:** *Skriptum zur Vorlesung 315.018 - Verbrennungskraftmaschinen Grundzüge*. Wien: Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Kraftfahrzeugbau der TU Wien, 2006. B06006.
- [12] **Österreichisches Normungsinstitut:** *ÖNORM EN 590, Kraftstoffe für Kraftfahrzeuge - Dieseldieselkraftstoff - Anforderungen und Prüfverfahren*. Wien: Österreichisches Normungsinstitut, 2004. EN 590:2004.
- [13] **FNR:** *Basisdaten Biokraftstoffe*. Gülzow: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), 2005.
- [14] **Neville, F.:** NExBTL - A 2nd Generation Renewable Diesel. *Public Workshop on California's Bioenergy Action Plan*. Sacramento: California Energy Commission's, 2007.
- [15] **Steiger, W.:** *Die Basis nachhaltiger Mobilität*. Wolfsburg: Volkswagen AG, 2004. Artikel-Nr. Z04.519.325.00.
- [16] **Rantanen, L., et al:** *NExBTL - Biodiesel fuel of the second generation*. Detroit: SAE International, 2005. SAE 2005-01-3771.

4. BENZIN

Der Benzinabsatz ist in Österreich deutlich geringer als der Absatz von Diesel.

ALLGEMEINES

Benzin ist ein auf verschiedenen Kohlenwasserstoffen basierender Kraftstoff, welcher in Raffinerien aus Erdöl gewonnen wird. Im Jahr 2008 belief sich die in Österreich abgesetzte Benzin-Kraftstoffmenge (inkl. Bioanteil) auf 1,8 Mio. t. Im Gegensatz dazu lag der Absatz von Diesel (inkl. Bioanteil) bei 6,1 Mio. t. Der Benzin-Bioanteil lag bei 84.910 t Bio-Ethanol bzw. Bio-ETBE.

Wie in **Abbildung 1** dargestellt, führte dieser Bioabsatz für Benzin-Kraftstoff im Jahr 2008 zu einer Substitutionsquote von 4,6% (massebezogen) bzw. rund 3% energetisch. [1]

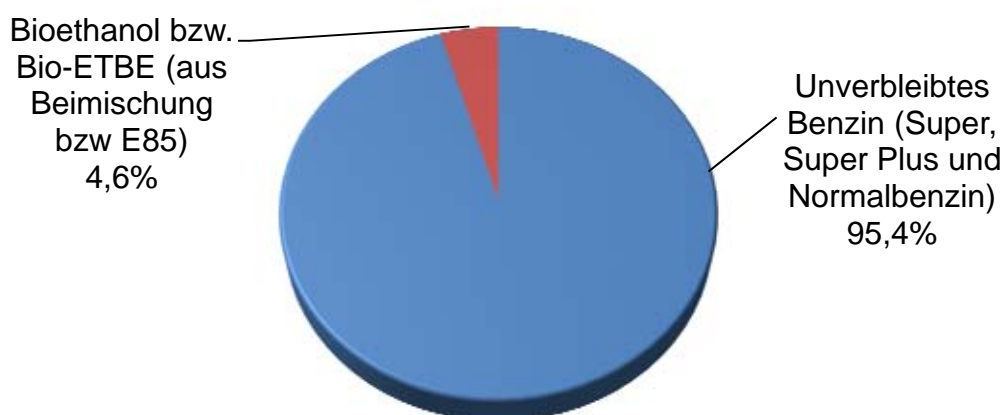


Abbildung 1: Bioanteil am Gesamtbenzinbedarf in Österreich (massebezogen; für das Jahr 2008) [1]

Abbildung 2 gibt einen Überblick über den Benzinverbrauch in den Ländern Europas. Im Jahr 2008 benötigte der Straßenverkehr in den EU27 Ländern insgesamt 108 Mio. Tonnen Benzin-Kraftstoff. [2]

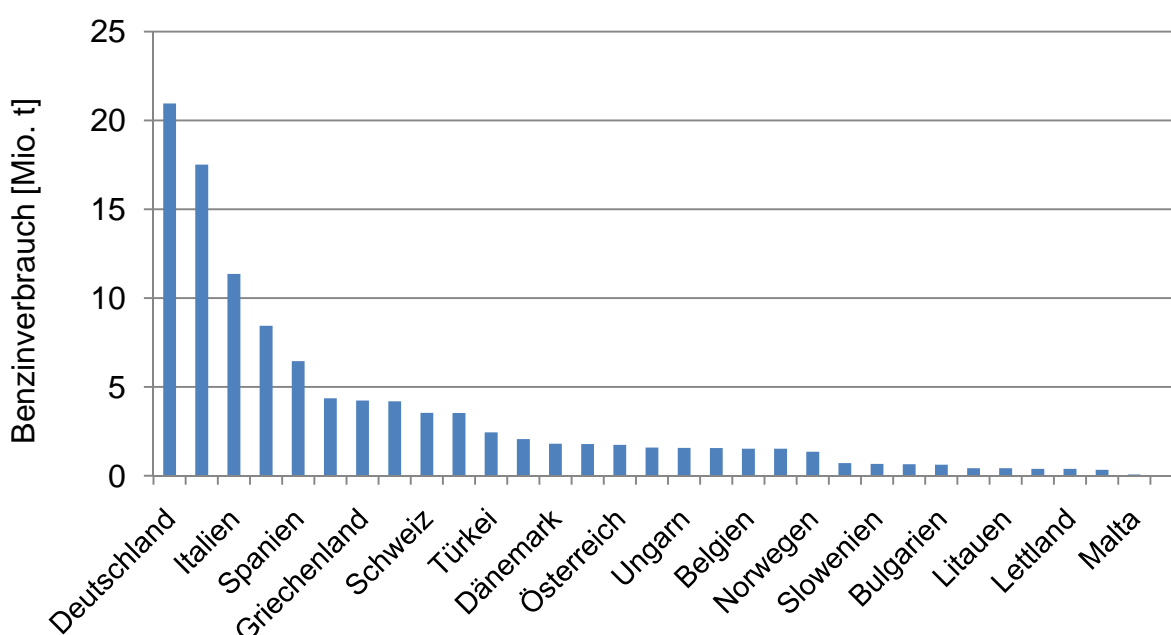


Abbildung 2: Benzinverbrauch des Straßenverkehrs in der EU27 in Mio. Tonnen für das Jahr 2008 [2]

ROHSTOFF

Erdöl als komplexes Gemisch verschiedener Kohlenwasserstoffe besteht im Wesentlichen aus Kohlenstoff und Wasserstoff. Neben Schwefel sind weitere Spuren von Stickstoff, Sauerstoff und Metallen im Rohöl enthalten. [3] Die Zusammensetzung schwankt dabei in engen Bandbreiten und kann, wie in **Tabelle 1** dargestellt, beschrieben werden.

Chemische Komponente	Anteil
Kohlenstoff C	83 – 87%
Wasserstoff H₂	10 – 14%
Stickstoff N	0,1 – 2%
Sauerstoff O₂	0,05 – 1,5%
Metalle (Ni und V)	< 1.000ppm

Tabelle 1: Chemische Zusammensetzung von Rohöl [4]

Der für die Herstellung von Benzin erforderliche Rohstoff Erdöl wurde im Jahr 2007 mit 0,85 Mio. t aus österreichischen Reserven gewonnen und zu 7,6 Mio. t vorwiegend aus den Ländern Kasachstan, Libyen, Irak und Syrien importiert. Eine Zuordnung in die drei wesentlichen Lieferregionen ist **Tabelle 2** zu entnehmen.

Lieferregion	Anteil
Österreich	11 %
GUS¹	64 %
OPEC²	25 %

Tabelle 2: Lieferregionen und Anteile des in Österreich verarbeiteten Rohöls. [5]

Die sicheren, bzw. wahrscheinlichen Ölreserven werden in Österreich zum Stichtag 31. Dez. 2007 auf 13,8 Mio. t (inkl. Flüssiggas) geschätzt. Bei unveränderten Förderraten reichen die Reserven noch 15 Jahre.

Weltweit werden die Reserven zu Jahresende 2007 auf 180,7 Mrd. t geschätzt, was bei gleichbleibendem Ölverbrauch die Versorgung für 46 Jahre sichert. [5]

¹ GUS: Gemeinschaft unabhängiger Staaten. Zusammenschluss verschiedener Nachfolgestaaten der Sowjetunion. Mitgliedstaaten: Armenien, Aserbaidschan, Weißrussland, Georgien, Kasachstan, Kirgisistan, Moldawien, Russland, Tadschikistan, Turkmenistan, Ukraine und Usbekistan.

² OPEC: Organization of the Petroleum Exporting Countries. Mitgliedstaaten: Algerien, Angola, Libyen, Nigeria, Irak, Iran, Katar, Kuwait, Saudi Arabien, Vereinigte Arabische Emirate, Ecuador, Venezuela und Indonesien.

HERSTELLUNGSVERFAHREN

Das Rohöl wird in mehreren Verfahrensschritten zu seinen Endprodukten verarbeitet. Ein detailliertes Fließschema kann [6] entnommen werden. Anfangs werden über einen Destillationsprozess (stufenweises Verdampfen und Kondensieren) die verschiedenen Fraktionen unterschiedlicher Siedepunkte voneinander getrennt. Darauf folgend werden die abgeschiedenen Fraktionen Gas, Primärbenzin, Petroleum und Gasöl unter Druck und Beigabe von Wasserstoff erhitzt und dadurch entschwefelt. Unter Einwirkung von Druck und Temperatur wird anschließend die Oktanzahl des Rohkraftstoffes eingestellt. Unter dem Prozess der Raffination wird die in Schritt zwei und drei beschriebene Reinigung und Veredelung verstanden. Abschließend erfolgt die Mischung zu den gewünschten Endprodukten. Aus Rohöl werden rund 400 unterschiedliche Produkte gewonnen, die bekanntesten sind Diesel, Benzin, Flüssiggas, Heizöl, Bitumen und Schmierstoffe. [3]

Im Laufe der letzten 20 Jahre änderte sich die Nachfrage an Otto- und Dieselmotoren entscheidend, sodass weitreichende Kapazitätsanpassungen erforderlich wurden.

Wie **Abbildung 43** zu entnehmen ist sank der Anteil an Neuzulassungen von Benzinbetriebenen PKW seit dem Jahr 1992 kontinuierlich. Erst seit dem Jahr 2005 stieg dieser wieder auf rund 40%. [7]

Abbildung 34 gibt den immer größer werdenden Zielkonflikt zwischen Bedarfs- und Produktionsmenge wieder. Der hohe Anteil an Neuzulassungen von Diesel-PKW führte zu einem umfassenden Aufbau des Bestandes und somit zu einem stark steigenden Bedarf. In der Produktion kann auf diese Bedarfsänderung nicht in gleichem Umfang reagiert werden. [8]

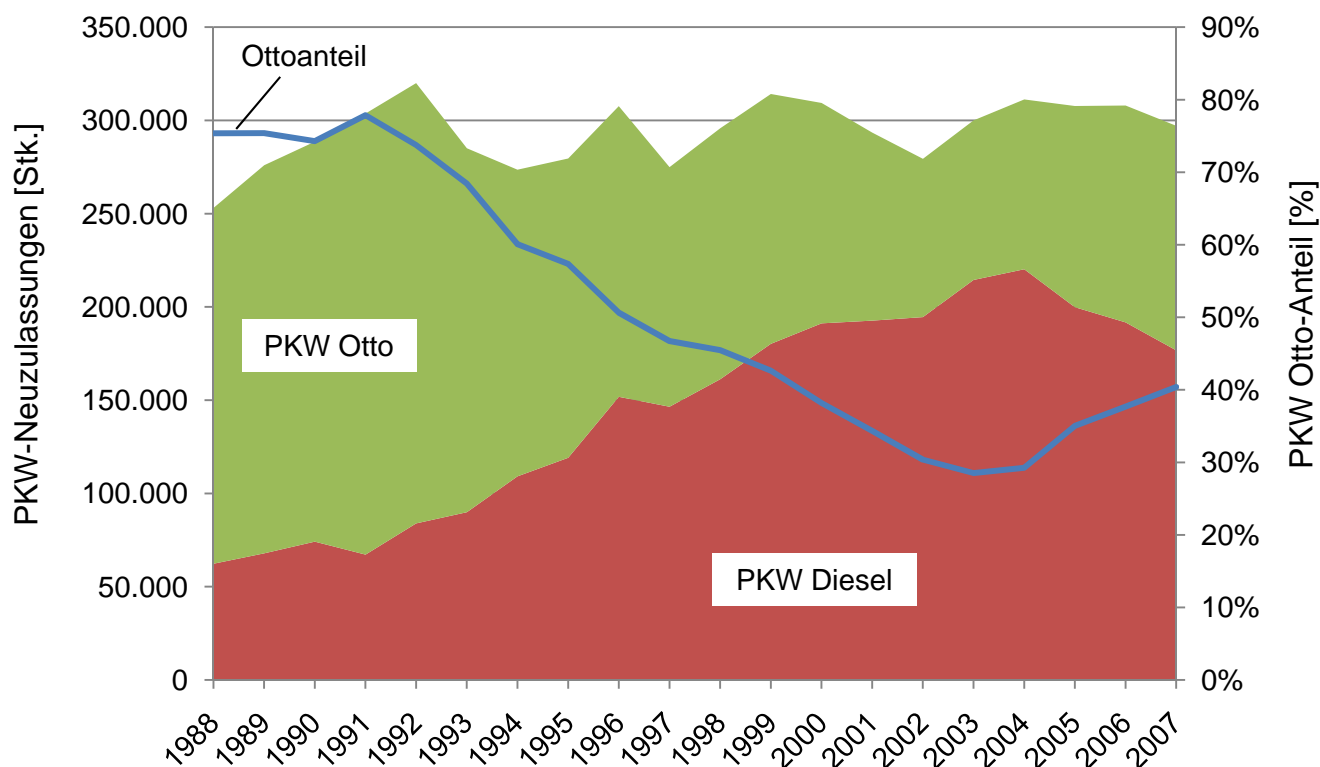


Abbildung 3: PKW-Neuzulassungsentwicklung in Österreich in Stück, sowie PKW Otto-Anteil an Neuzulassungen in % [7]

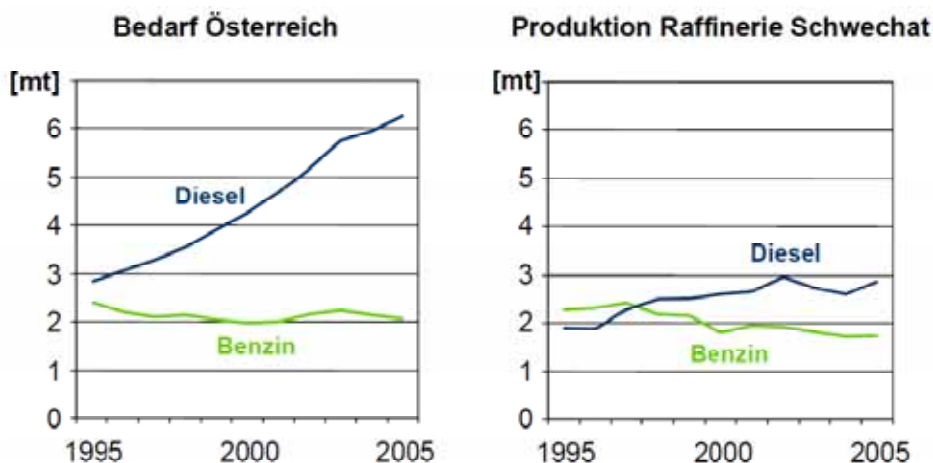


Abbildung 4: Kraftstoffbedarf versus Produktion in Österreich [8]

VERFÜGBARKEIT

Die Verfügbarkeit des Benzin-Kraftstoffes wird vorrangig von den verbleibenden Reserven des Rohstoffes Erdöl bestimmt. Um langfristigen zu erwartenden Engpässen in der Versorgung infolge einer Verknappung der Ressource Erdöl entgegenzuwirken, hat der Rat der Europäischen Union bereits 1998 die Entscheidung über ein mehrjähriges Rahmenprogramm für Maßnahmen im Energiesektor erlassen, in welchem unter anderem die Versorgungssicherheit zum energiepolitischen Ziel erklärt wurde. Die Förderung erneuerbarer Energieträger stellt dabei eines von sechs spezifischen Programmen dar. [9]

UMWELTWIRKUNG UND NACHHALTIGKEIT

Bei der vollständigen Verbrennung eines Kohlenwasserstoffgemisches entstehen durch Oxidation des Kohlenstoffs (C) und des Wasserstoffs (H₂) die Endprodukte Kohlenstoffdioxid (CO₂) und Wasserdampf (H₂O).

Die reale Verbrennung ist jedoch eine unvollständige, bei der neben CO₂ und H₂O Produkte wie Kohlenmonoxid (CO), Stickstoffoxide (NO_x), unverbrannte Kohlenwasserstoffe (HC), Partikel (PM), Schwefeldioxid (SO₂), Schwefelsäure (H₂SO₄) u.a.m. entstehen. [10]

Die im Zuge der motorischen Verbrennung emittierten chemischen Komponenten werden aufgrund ihrer teils negativen Umweltwirkungen durch den Gesetzgeber limitiert.

CHEMISCHE EIGENSCHAFTEN

Benzin enthält die leichten flüssigen Bestandteile des Erdöls, welche während der Destillation bereits bei niedrigen Temperaturen (35°C bis 180°C) zu sieden beginnen. [3] Die Hauptbestandteile sind Alkane, Alkene, Cycloalkane und aromatische Kohlenwasserstoffe mit 5 bis 9 Kohlenstoff-Atomen pro Molekül. Benzin-Kraftstoffe müssen klopfest ausgelegt werden. Darunter wird die Widerstandsfähigkeit gegen Selbstentzündung verstanden. Die Klopfestigkeit wird als Oktanzahl bestimmt. [11]

Die zulässigen Bandbreiten der chemischen Eigenschaften von Benzin werden durch die ÖNORM EN228 definiert. In **Tabelle 3** wird eine Auswahl relevanter Kennwerte wiedergegeben.

Kennwerte	Einheit	Super-Benzin	Normal-Benzin	Quelle
Dichte bei 15°C	kg/l	0,72-0,775	0,72-0,775	[12]
Heizwert (Unterer Heizwert)	MJ/l	32,6	32,45	[13], [14]
Brennwert (Obere Heizwert)	MJ/kg	43,5	42,7	[13], [14]
Viskosität bei 20°C	mm ² /s	< 1	0,6	[13], [14]
Research-Oktananzahl	-	≥ 95	≥ 91	[12]
Motor-Oktananzahl	-	≥ 85	≥ 81	[12]
Bleigehalt	mg/l	≤ 5	≤ 5	[12]
Benzolgehalt	Vol. %	≤ 1	≤ 1	[12]
Aromaten	Vol.%	≤ 35	≤ 35	[12]
Alkene (=Olefine)	Vol.%	≤ 18	≤ 21	[12]
Sauerstoffgehalt	Gew. %	≤ 2,7	≤ 2,7	[12]
Schwefelgehalt	mg/kg	≤ 10	≤ 10	[12]

Tabelle 3: Chemische Eigenschaften von Benzin

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Winter, R.: *Biokraftstoffe im Verkehrssektor 2009 - Zusammenfassung der Daten der Republik Österreich gemäß Art. 4, Abs. 1 der Richtlinie 2003/30/EG für das Berichtsjahr 2008*. Wien: Umweltbundesamt GmbH, 2009.
- [2] Statistisches Amt der Europäischen Gemeinschaften: Eurostat. [Online] [Zitat vom: 25. 06 2010.] epp.eurostat.ec.europa.eu. Auswahl: Jahr 2008, Länder der EU27, Motorenbenzin, Energetischer Endverbrauch des Strassenverkehrs, Tausend Tonne Öl-Gleichwerte (TÖGW).
- [3] Erdöl-Vereinigung: Erdöl – Anwendungen und Produkte. *Die Welt des Erdöls – eine Schriftenreihe der Erdöl-Vereinigung*. N.N.
- [4] Speight, J.: *The Chemistry and Technology of Petroleum, 4. Auflage*. Laramie: CRC Press, 2006. ISBN-10: 0849390672, ISBN-13: 978-0849390678.
- [5] Capek, C.: *Jahresbericht 2007*. Wien: Fachverband der Mineralölindustrie Österreichs (FVMI), 2007.
- [6] Tuppinger, D.: Qualitätssicherung und Riskmanagement in der Praxis. *Österreichischer Qualitätstag der Quality Austria*. Salzburg: quality austria, 2007. OMV Refining & Marketing.
- [7] Statistik Austria: *Statistik der Kraftfahrzeuge, Neuzulassungen 2007 (Jahresheft)*. Wien: Statistik Austria, Bundesanstalt Statistik Österreich, 2008. ISBN: 20-6013-07.
- [8] Rätzsch, T.: Ethanol - Treibstoff aus der Region. *Entwicklungen am Treibstoffmarkt und Aussichten für den Ethanoleinsatz*. St. Pölten: Landes-Landwirtschaftskammer Niederösterreich, 2007.
- [9] Europäische Gemeinschaft: Entscheidung des Rates vom 14. Dezember 1998 über ein mehrjähriges Rahmenprogramm für Maßnahmen im Energiesektor (1998-2002) und flankierende Maßnahmen. *Amtsblatt der Europäischen Union*. 13. 1 1999, L7, S. 16.
- [10] Geringer, B.: *Skriptum zur Vorlesung 315.018 - Verbrennungskraftmaschinen Grundzüge*. Wien: Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Kraftfahrzeugbau der TU Wien, 2006. B06006.
- [11] Basshuysen, R., et al: *Handbuch Verbrennungsmotor: Grundlagen, Komponenten, Systeme, Perspektiven*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag, 2007. 4., akt. u. erw. Aufl.. ISBN: 978-3-8348-0227-9.
- [12] Österreichisches Normungsinstitut: *ÖNORM EN 228, Kraftstoffe für Kraftfahrzeuge - Unverbleite Ottokraftstoffe - Anforderungen und Prüfverfahren*. Wien: Österreichisches Normungsinstitut, 2004. EN228:2004.
- [13] Bristle, J.: *Die Verwendung von Ethanol als Kraftstoff, insbesondere in Dieselmotoren*. Nürtingen: Hochschule für Wirtschaft und Umwelt, 2008. Diplomarbeit.
- [14] FNR: *Basisdaten Biokraftstoffe*. Gülzow: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), 2005.

5. ALTERNATIVE KRAFTSTOFFE

5.1. ALTERNATIVE DIESELKRAFTSTOFFE

5.1.1. BIOMASS TO LIQUID (BTL)

Zukunfts- oder Wunschkraftstoff [1]

ALLGEMEINES

BTL ist ein Kraftstoff der so genannten 2. Generation der Biokraftstoffe und zählt zur Gruppe der synthetischen¹ Kraftstoffe². Aufgrund der durch die spezielle Herstellung gegebenen hohen Anpassungsmöglichkeit der Eigenschaften von Synthetikraftstoffen werden diese auch als Designerkraftstoffe bezeichnet. Der Kraftstoff ist als hochwertiges Kohlenwasserstoffgemisch ein vollwertiger Ersatz für Dieseldieselkraftstoff und kann auf die Ansprüche zukünftiger Motortechnologien optimal abgestimmt werden. [2]

Im Gegensatz zu den Kraftstoffen RME (Raps – Methyl – Ester) und HVO (Hydriertes Pflanzenöl) wird bei BTL feste Biomasse anstelle von Ölfrüchten eingesetzt. Verwertet wird dabei die gesamte Biomasse (inkl. Cellulose³, Hemicellulose⁴ und Lignin⁵) und nicht nur die Frucht (wie bei der Pflanzenölgewinnung für RME und HVO, Biokraftstoffen der 1. Generation). [3]

ROHSTOFFE

Theoretisch ist für die Herstellung von synthetischen Kraftstoffen jeder kohlenstoffhaltige Rohstoff verwertbar. Neben Biomasse aus Land- und Forstwirtschaft sind auch Rest- und Recyclingstoffe geeignet. Die aktuellen Aufbereitungstechnologien verlangen allerdings derzeit noch eine einheitlich konfektionierte Biomassefraktion. [4]

In **Abbildung 1** wird der seitens des BTL-Herstellers Choren erwartete Rohstoffmix festgehalten. Daraus ist zu entnehmen, dass im Bezugsjahr 2009 99% des Rohstoffbedarfes mit Resthölzern gedeckt wird. Bis 2020 wird erwartet, dass der Anteil an Anbaubiomasse (Kurzumtriebsholz) von 1% auf 50% ansteigt. Bis 2030 soll dieser Anteil sogar auf 70% erhöht werden. [5]

Der Flächenertrag von BTL liegt mit rund 3.300 [6] bis 4.000 [7] Liter Kraftstoff pro Hektar Fläche etwa dreimal so hoch wie bei RME.

Zur Ermittlung des optimalen Ertragspotenzials von Kurzumtriebsholz in Deutschland betreibt Choren aktuell ein Pilotprojekt auf einer Fläche von 1.000 Hektar. [8]

Ein Vorteil der Rohstoffbasis von BTL liegt darin, dass sie keine Konkurrenz zur Lebensmittelversorgung darstellt. Insbesondere die Verwertung von Reststoffen beansprucht

¹ Synthese: Zusammensetzung (Umsatz) von mindestens zwei Elementen zu einer Einheit. [31]

² Zur Gruppe der synthetischen Kraftstoffe zählen: BTL (Biomass to Liquid), GTL (Gas to Liquid) und CTL (Coal to Liquid). [22]

³ Cellulose: Hauptbestandteil von pflanzlichen Zellwänden als Stütz- und Gerüststruktur. Massenanteil bei Holz 40 – 50%, Summenformel $(C_6H_{10}O_5)_n$. [29]

⁴ Hemicellulose: Sammelbegriff für vorkommende Polysaccharide (außer Cellulose). Polysaccharide, eine Unterklasse der Kohlenhydrate, ist Vielfachzucker. Sie sind Bestandteil von pflanzlichen Zellwänden als Stütz- und Gerüststruktur. Massenanteil bei Holz 10 – 55%. [29]

⁵ Lignin: Teil des Holzes, welcher bei der Hydrolyse als nicht hydrolysierbarer, unlöslicher Anteil zurückbleibt. [28] Massenanteil bei Holz 20 – 30% [29], Summenformel $C_9H_{10}O_2(OCH_3)_n$. [30]

keine Ackerflächen. Konkurrenzsituationen mit anderen Industrien, wie beispielsweise der Papierindustrie, der Energiewirtschaft u.a.m. können aber nicht ausgeschlossen werden. [3]

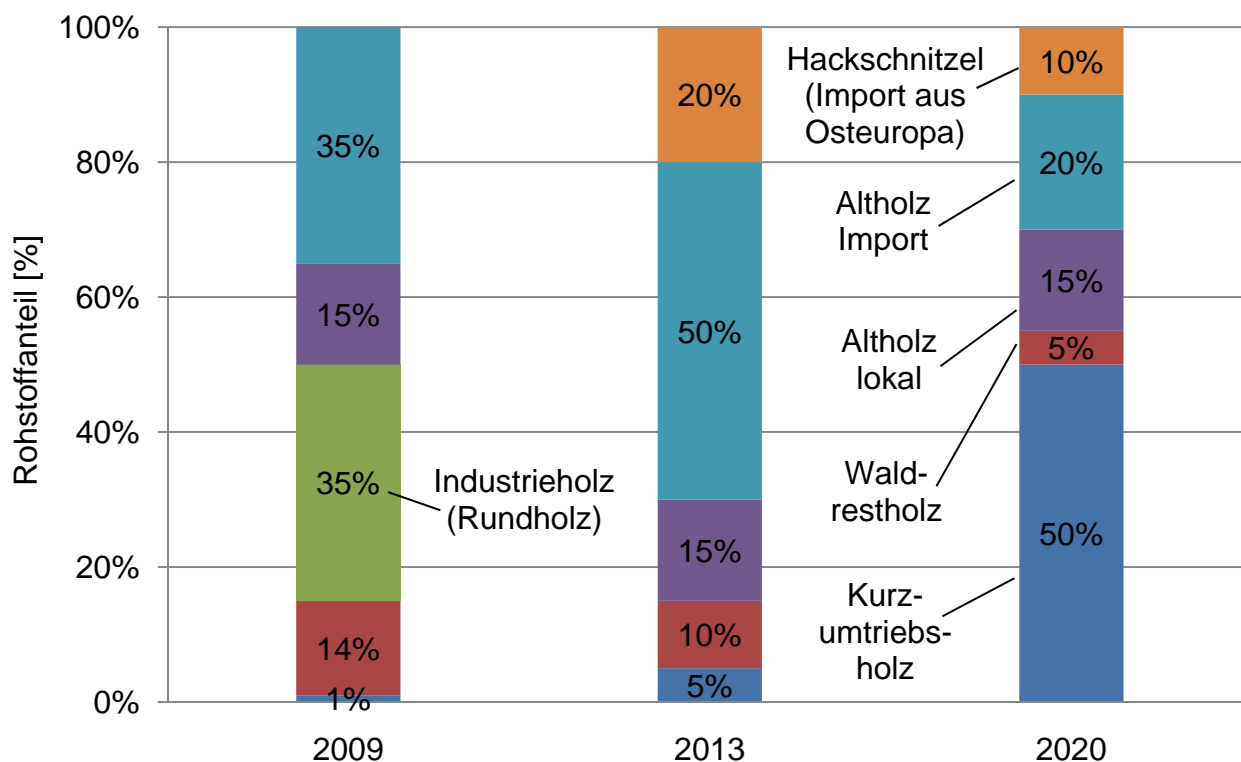


Abbildung 1: BTL Rohstoffmix⁶ nach Choren [5]

Als **Kurzumtriebsholz** werden schnellwachsende Baumarten wie Pappel- und Weidenarten bezeichnet, welche für den feldmäßigen Anbau geeignet sind. Sie zeichnen sich durch einen hohen jährlichen Biomassezuwachs bereits vor dem 20. Lebensjahr aus.

Als **Waldrestholz** wird Holz bezeichnet, welches im Rahmen der Durchforstung, bzw. als Nebenprodukt der Waldpflege gewonnen wird.

Industrieholz ist ein Sammelbegriff für Holz, welches aufgrund unterschiedlicher Kriterien (z.B. ungenügende Dimension, Holzqualität) im Zuge der Holzgewinnung ausgemustert wird, da es sich für eine höherwertige Verwendung nicht eignet.

Als **Altholz** wird der Abfall eines Holz verwertenden Prozesses bezeichnet.

Unter **Hackschnitzel** wird mechanisch zerkleinertes Holz verstanden.

Als **Triticale** wird eine Getreideart bezeichnet, welche aus einer Kreuzung von Weizen (weiblich) und Roggen (männlich) gewonnen wird.

Miscanthus ist eine Pflanzengattung aus der Familie der Süßgräser, welche vorwiegend in Afrika und Asien beheimatet ist und mehrere Untergruppen umfasst. Während einige Pflanzen dieser Gattung primär als Zierpflanzen genutzt werden, ist das Riesen-Chinaschilf den Energiepflanzen zuzuordnen.

⁶ Aufteilung des Altholzes in Lokal und Import für das Jahr 2009 abgeschätzt.

HERSTELLUNGSVERFAHREN

Allgemein kann die Herstellung von BTL in zwei Prozessschritte gegliedert werden:

- Synthesegaserzeugung aus kohlenstoffhaltigem Rohstoff
- Verflüssigung des Synthesegases

Da in der Biomasse ein für die Kohlenwasserstoffkettenherstellung ungünstiges C/H-Verhältnis von 1:1 vorliegt, wird in der Vergasungsanlage unter Verwendung von Sauerstoff (nicht stickstoffhaltige Umgebungsluft) der in der Biomasse gebundene Wasserstoff freigesetzt um das C/H-Verhältnis auf 1:2 zu verschieben. Bei dieser exothermen Reaktion oxidiert der eingebrachte Sauerstoff-Teil des Kohlenstoffs zu CO_2 , wodurch gebundener Wasserstoff frei wird. Das gebildete Synthesegas besteht aus H_2 , CO und CO_2 .

Die Verflüssigung erfolgt bevorzugt über die Fischer-Tropsch-Synthese, bei der das CO und H_2 des Synthesegases an einem Katalysator adsorbiert und aufgespalten wird. Durch die Anlagerung von H_2 an C bilden sich Kohlenwasserstoffketten, welche sich durch Anlagerung von CH_2 Bruchstücken zu länger werdenden Ketten zusammensetzen. Längere Ketten lösen sich vom Katalysator und stoppen dadurch ihr Wachstum. [4]

Die BTL Erzeugung nach dem Hersteller Choren wird in folgende Schritte gegliedert:

- Dreistufige Vergasung der festen Biomasse mittels Carbo-V Verfahren
 - Niedertemperaturvergasung
 - Hochtemperaturvergasung
 - Endotherme Flugstromvergasung
- Gaswäsche und CO_2 Konditionierung
- Verflüssigung mittels Fischer-Tropsch-Synthese
- Veredelung des Rohproduktes

Niedertemperaturvergasung

Nach der Trocknung der Biomasse bei $100 - 110^\circ\text{C}$ auf einen Wassergehalt von $15 - 20\%$ erfolgt dessen Verschwelung (Teilverbrennung; partielle Oxidation) unter Zugabe von Luft oder Sauerstoff bei $400 - 500^\circ\text{C}$. Dabei entsteht Biokoks (fester Kohlenstoff) und teerhaltiges Schwelgas.

Hochtemperaturvergasung

Das Schwelgas wird mit Luft oder/und Sauerstoff unterstöchiometrisch nachoxidiert. Die dabei freiwerdende Wärme erhitzt das Gas auf Temperaturen ($1.300 - 1.500^\circ\text{C}$) oberhalb des Ascheschmelzpunktes der eingesetzten Brennstoffe. Dabei zerfallen unerwünschte langkettige Kohlenwasserstoffe (z.B. Teer) und es bildet sich ein Gas bestehend aus Stickstoff, Kohlenmonoxid, Wasserstoff, Kohlendioxid und Wasserdampf.

Endotherme Flugstromvergasung

Der zu Brennstaub gemahlene Biokoks wird im Anschluss in das Gas eingeblasen und reagiert damit endotherm. Die Gastemperatur fällt sekundenschnell auf $850 - 1.000^\circ\text{C}$. Durch die Abkühlung des Gases entsteht ein Synthese-Rohgas. [9]

Gaswäsche und CO_2 -Konditionierung

Das Rohgas wird gekühlt, entstaubt und in einer mehrstufigen Gaswäsche von Chloriden, Sulfiden und anderen salzartigen und wasserlöslichen Begleitstoffen gereinigt. Nach der Reinigung besteht das Gas (bis auf Spuren) aus Kohlenmonoxid, Wasserstoff und Kohlendioxid. Die Einstellung des für die Fischer-Tropsch-Synthese erforderlichen C/H Verhältnisses erfolgt anschließend mittels katalytischer Wassergas-Shift-Reaktion. Dabei reagiert Wasser mit Kohlenmonoxid zu Wasserstoff und Kohlendioxid, wodurch sich das Verhältnis zwischen Kohlenmonoxid und Wasserstoff verändert. Vor der Überführung des Gases in die Fischer-Tropsch-Synthese wird das Kohlendioxid ausgewaschen. [10]

Verflüssigung mittels Fischer-Tropsch-Synthese und Veredelung des Rohproduktes
Die Verflüssigung des Synthesegases erfolgt nach der im obigen beschriebenen Fischer-Tropsch-Synthese. Das dabei entstehende Kohlenwasserstoffgemisch wird durch

- Hydrocracking⁷,
- Isomerisierung⁸ und
- Fraktionierung⁹

zu hochwertigen Endprodukten (Dieselkraftstoff, u.a.) konvertiert. [11], [12]

Für eine jährliche Kraftstoffproduktion von 15.000 Tonnen (18 Mio. Liter) BTL werden in der bestehenden Beta-Anlage von Choren 75.000 Tonnen (Trockenmasse) Holzhackschnitzel benötigt. Choren schätzt mittelfristig den Bau von fünf weiteren Anlagen als realistisch ein. Diese sogenannten Sigma-Anlagen werden mit einem Rohstoffinput von etwa 1 Mio. Tonne rund 200.000 Tonnen (270 Mio. Liter) BTL produzieren. [13]

Der Baubeginn der ersten Sigma-Anlage ist für das Jahr 2009/10 geplant (in Schwedt, Deutschland, Inbetriebnahme 2012/13). Der Biomassebedarf von rund 1 Mio. Tonne soll dabei aus dem regionalen Umfeld gestellt werden. [8]

Die Anlagenkosten zur Herstellung von BTL liegen um das vier- bis fünffache höher als bei HVO-Anlagen gleichen Outputs. Die Kosten für eine 200.000 Tonnen BTL Anlage liegen bei rund 850 Mio. € (HVO 180 Mio. €, FAME 50 Mio. €). [14]

Die chemischen Zusammenhänge zwischen Input und Output sind in **Abbildung 2** dargestellt.

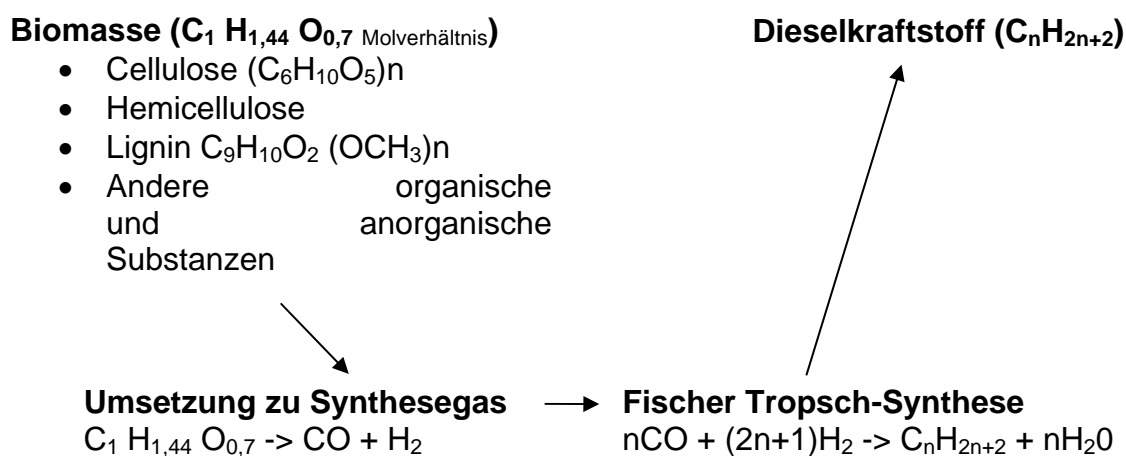


Abbildung 2: BTL-Herstellung - Chemischer Prozess [15], [16]

VERFÜGBARKEIT

Die Optimierung des komplexen Herstellungsprozesses für die großtechnische Produktion und die verhältnismäßig hohen Kosten reißen den BTL (Biomass to Liquid-Kraftstoff) in seiner Verfügbarkeit hinter HVO (Hydriertes Pflanzenöl). Neben der bestehenden Beta-Anlage ist derzeit nur die Realisierung der Sigma-Anlage in Schwedt in einem konkreten Planungsstadium. [17]

⁷ Unter dem Cracken in einem Hydrocracker wird das Spalten von langkettigen Kohlenwasserstoffen in kürzere Ketten verstanden. Die Bildung von Alkene wird dabei durch Zufuhr von H₂ vermieden.

⁸ Isomerisierung: Umwandlung eines Moleküls – Änderung der Atomfolge.

⁹ Fraktionierung: Verfahrenstechnische Trennung in Gruppen; nach definierten Kriterien.

Eine bis 2020 gesicherte Abschätzung wie viele BTL Anlagen realisiert werden, bzw. wie viel BTL Kraftstoff zur Verfügung stehen wird, kann aus heutiger Sicht nicht gemacht werden. Politische Interessen und Entscheidungen werden hierbei ein wesentlicher, mitbestimmender Faktor sein. Aus den obigen Ausführungen folgernd, ist gleichwohl die Annahme zulässig, dass bis 2015 die verfügbaren BTL-Mengen, gemessen am gesamten Dieselverbrauch, unwesentlich sind. Für den Zeitraum 2015 bis 2020 ist ein langsamer Anstieg der Verfügbarkeit zu erwarten.

UMWELTWIRKUNG UND NACHHALTIGKEIT

Wie im Fall von HVO ist aufgrund der Neuheit des Kraftstoffes die Datenlage zu den Umweltwirkungen (insbesondere in der motorischen Verbrennung) von BTL noch sehr schwach. Es können dennoch bereits Trends festgehalten werden:

In **Abbildung 3** werden drei Szenarien der BTL Herstellung miteinander verglichen. Die Angaben verstehen sich als Potenzialabschätzungen gegenüber Dieseldieselkraftstoff.

Als Basisfall dient das **Szenario Teilautark**. Es berücksichtigt, dass der benötigte Wasserstoff über die Shift-Reaktion intern erzeugt wird, sowie Sauerstoff und Elektrizität von außen bezogen werden. Der Wirkungsgrad (Heizwert Output zu Input) wird mit 45% angegeben. Das massebezogene Output zu Inputverhältnis liegt bei 1:6 (Trockenmasse).

Dem **Szenario Autark** liegt die Annahme zu Grunde, dass alle Stoffe oder Energien, welche innerhalb des Prozesses benötigt werden, auch in der Anlage produziert werden. Es wird keine externe Energie zugeführt. Der Wirkungsgrad (Heizwert Output zu Input) wird mit 55% angegeben. Das massebezogene Output zu Inputverhältnis liegt bei 1:4,9 (Trockenmasse).

Im **Szenario Zukunft** wird angenommen, dass Wasserstoff, Elektrizität und Sauerstoff aus anderen erneuerbaren Quellen dem Prozess von außen zugeführt werden. Der Wirkungsgrad (Heizwert Output zu Input) wird mit 64% angegeben. Das massebezogene Output zu Inputverhältnis liegt bei 1:2,2 (Trockenmasse).

Als durchschnittliche Transportwege wurden in allen Szenarien 50 km angenommen (Wald -> Choren-Anlage, sowie Choren-Anlage -> Tankstelle). Als Rohstoffinput wurde Restholz angenommen. [6], [18]

BTL weist im Vergleich zu RME und HVO bereits im Basisszenario „Teilautark“ in allen 4 untersuchten Wirkungsbereichen Vorteile aus. Vor allem die Verbesserung des massebezogenen Output zu Inputverhältnis (über die drei Szenarien) sorgt in den Bereichen Eutrophierung und Versauerung für ein stark zunehmendes Reduktionspotenzial.

Im Zuge einer Sensitivitätsanalyse wurde gezeigt, dass bei länger werdenden Transportwegen (Wald -> Choren-Anlage 200km, sowie Choren-Anlage -> Tankstelle 100km; statt generell 50km) Eutrophierung und Versauerung schlechter zu bewerten sind als bei Diesel.

Bei einer Umstellung auf 100% Kurzumtriebsholz ergibt sich für die Eutrophierung und Versauerung ein ähnlich negatives Bild wie im Falle der Erhöhung der Transportentfernungen. [18], [19]

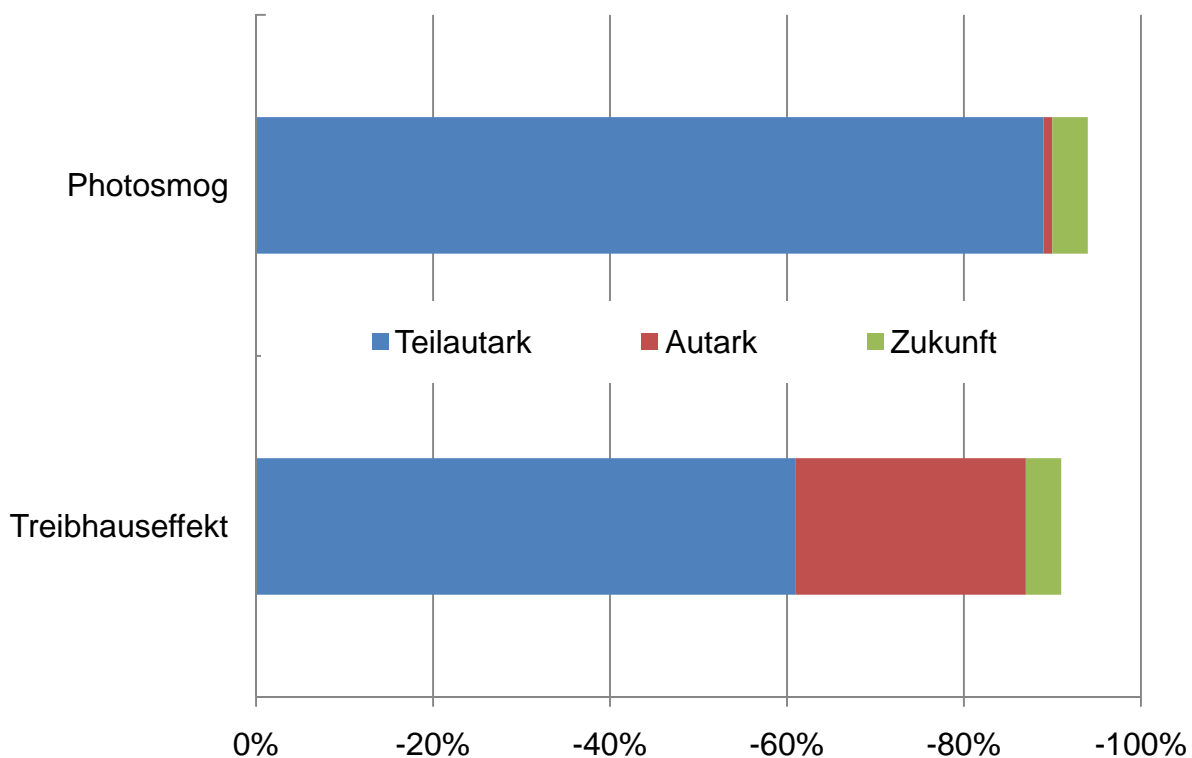


Abbildung 3: Umweltwirkungen von BTL im Vergleich zu Diesel [6]

Die in **Abbildung 3** dargestellten positiven Umweltwirkungen, der rund dreifach höhere Hektarertrag und die deutlich abgeschwächte Konkurrenzsituation mit der Nahrungsmittelindustrie sichern BTL nennenswerte Vorteile im Bereich der Nachhaltigkeit gegenüber RME und HVO.

Mangels Verfügbarkeit des BTL-Kraftstoffes liegen kaum Publikationen über Abgasemissionen vor. In **Abbildung 4** sind die Ergebnisse eines Einzelversuches dargestellt. Durch die Anpassung des Motorsteuergerätes konnte eine Reduktion der NO_x -Abgasemissionen von 32,5% erreicht werden. Trotz der Optimierung der NO_x -Emissionen liegen die Reduktionsraten von HC und CO bei über 65 bzw. 75%. [20]

Die Emissionsvorteile stellen sich in entsprechend reduzierter Form auch bei der Beimischung zu Diesel ein.[12] Selbst bei geringen Beimischungsquoten werden überproportionale Emissionsvorteile erreicht. [21]

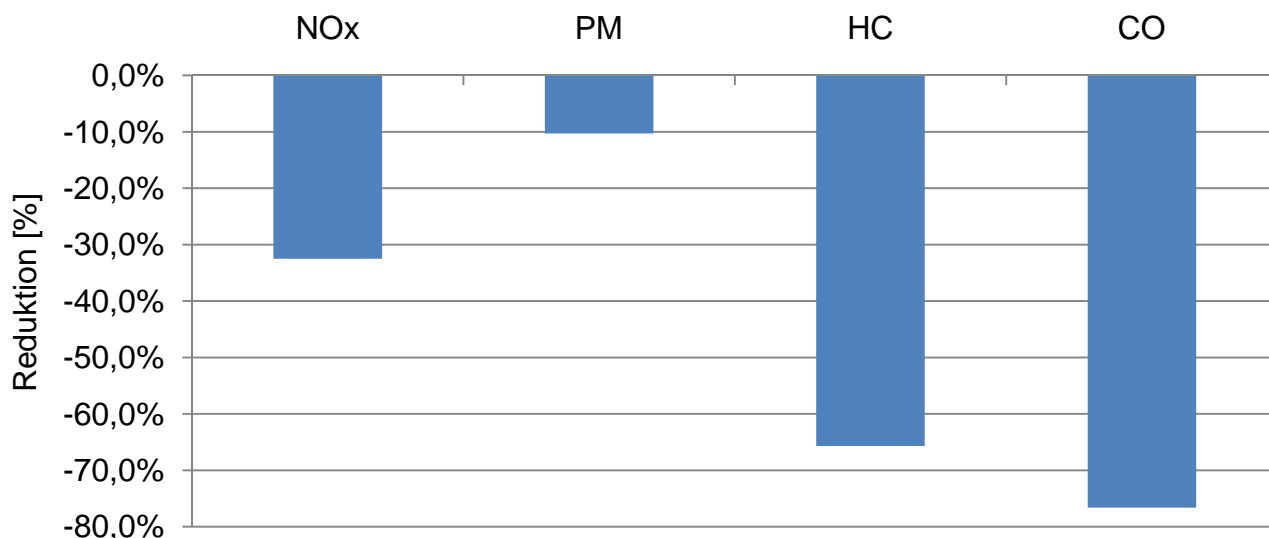


Abbildung 4: Änderung der Abgasemissionen bei Verwendung von BTL anstatt Diesel (Motorsteuergeräтанpassung mit Ziel NO_x-Reduktion) [20]

CHEMISCHE EIGENSCHAFTEN

Wie Dieseldieselkraftstoff basiert BTL auf langkettigen, gesättigten (Alkane C_nH_{2n+2}) Kohlenwasserstoffen. Der Kraftstoff ist frei von Schwefel, Aromaten und Alkenen. [6]

Die geringe Verfügbarkeit von BTL ist dafür verantwortlich, dass bis dato sehr wenige Publikationen zu chemischen Kenndaten, wie in **Tabelle 1** wiedergegeben, veröffentlicht wurden.

Aus der Zusammenstellung in **Tabelle 1** ist zu entnehmen, dass gegenüber Dieseldieselkraftstoff

- die Dichte rund 7% niedriger liegt.
- der Energieinhalt eines Liters rund 6% niedriger ist.
- die Cetanzahl rund 32 - 77% höher liegt.
- keine Aromaten, keine Polyaromaten und
- kein Schwefel enthalten ist.

Kennwerte	Einheit	Diesel	[22]	[6]	[23]	[24]	BTL*
Dichte bei 15°C	kg/l	0,84	0,76	-	0,77	0,76-0,79	0,78
Unterer Heizwert	MJ/l	35,8	33,45	-	33,8	33,45	33,6
Unterer Heizwert	MJ/kg	42,6	43,9	-	43,9	43,9	43,92
Viskosität bei 40°C	mm ² /s	3,1	-	-	2,3	-	2,3
Cetanzahl	-	53	> 70	> 70	94	-	70-94
Flammpunkt	°C	80	88	-	-	-	88
Aromatengehalt	Gew.%	23,2	-	0	-	-	0
Polyaromaten-gehalt	Gew.%	2	-	0	-	-	0
Schwefelgehalt	mg/kg	< 10	-	0	-	-	0
Verhältnis C/H	Mass%	6	-	-	5,6	-	5,6
Kraftstoff-äquivalent	Liter Diesel	1	0,93	-	-	0,97	0,94

* Mittelwert

Tabelle 1: Chemische Eigenschaften von BTL im Vergleich zu Diesel

Die in **Abbildung 55** dargestellten Siedeverläufe von Diesel und BTL zeigen, dass diese in einer geringen Bandbreite ähnlich liegen. Insbesondere die Temperatur des Siedebeginns liegt bei BTL niedriger und demnach günstiger. Als Designerkraftstoff ist zudem eine Anpassung des Siedeverlaufs im Zuge der Kraftstoffherstellung möglich.

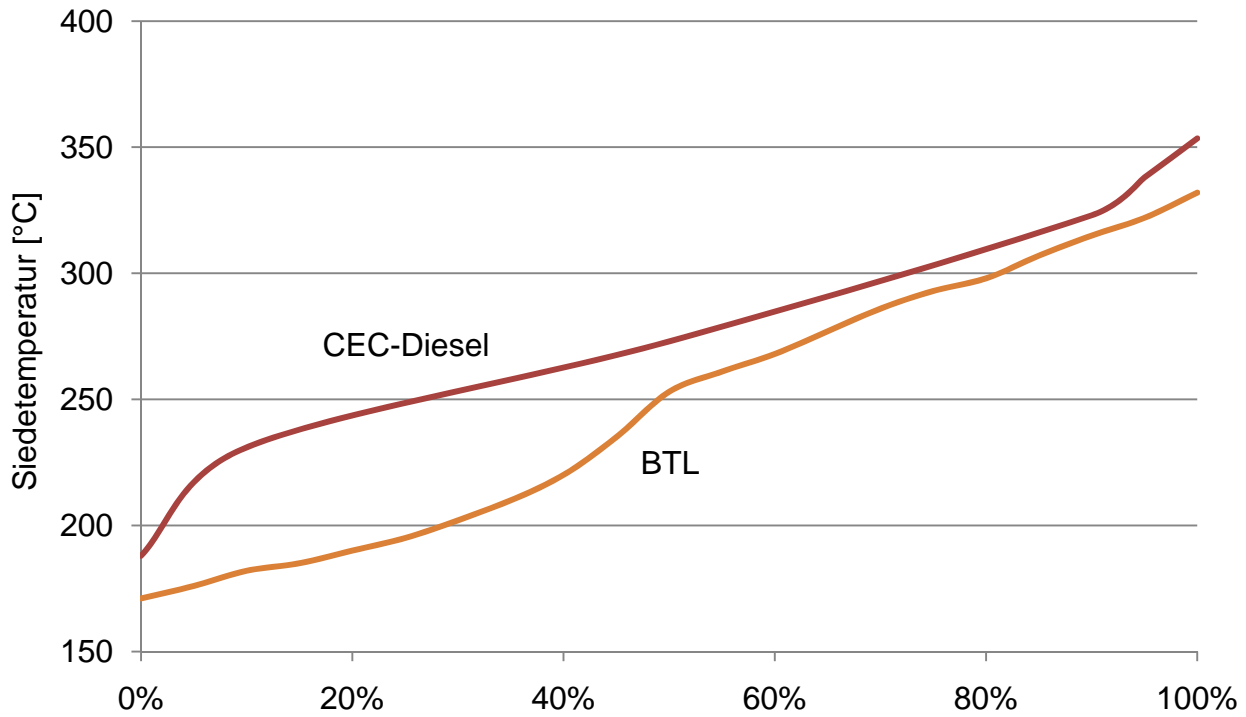


Abbildung 5: Siedeverlauf von CEC-Diesel und BTL - Verdampfter Kraftstoff in % ([25], [26])

TECHNISCHE EIGENSCHAFTEN

BTL ist aufgrund seiner chemischen Zusammensetzung ohne Einschränkungen in jedem Mischungsverhältnis mit Diesel in jedem Dieselmotor einsetzbar. Der 100%-Betrieb mit BTL ist ebenfalls möglich. Durch die hohe Sauberkeit (kein Schwefel und keine Aromaten) des Kraftstoffes ist die Verbrennung bereits ohne Anpassung des Motors bzw. der Motorelektronik schadstoffärmer. [6], [17]

Die Definierbarkeit der Kraftstoffeigenschaften ermöglicht zudem die Realisierung neuer Motorenkonzepte wie HCCI¹⁰ oder CCS¹².

¹⁰ HCCI: Homogeneous Charge Compression Ignition, Kontrollierte Selbstzündung. Bei diesem Verbrennungskonzept erfolgt die Verbrennung des homogenen Gemisches gleichzeitig im gesamten Brennraum. [27]

¹² CCS: Combined Combustion System. Bei diesem Motorenkonzept wird das Kraftstoff-Luftgemisch bei niedrigen und hohen Lasten mittels Fremdzündung gezündet und im mittleren Leistungsbereich wird eine homogene Selbstzündung eingeleitet. Die Verdichtung wird dafür variabel verstellt. [32]

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] **Tober, W.:** Abschlussbericht "Einsatz und Potenzial von biogenen Designerkraftstoffen – BTL (Biomass to Liquid) im Motoreneinsatz" Teilbericht zum Arbeitspaket 9 - Erstellen einer Ökobilanz (Life Cycle Assessment - LCA) für BTL. Wien: TU Wien, Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Kraftfahrzeugbau, 2009. B09012.
- [2] **Leohold, J.:** Biogene Kraftstoffe - Potenziale und notwendige Rahmenbedingungen. *Biokraftstoffe der 2. Generation - Potenziale, Chancen und notwendige Rahmenbedingungen*. Berlin: Forum für Zukunftsenergien e.V., 2006.
- [3] **Angerer, G.:** Zukunftsmarkt Synthetische Biokraftstoffe. [Hrsg.] Umweltbundesamt und Bundesministerium für Umwelt Naturschutz und Reaktorsicherheit. *Umwelt, Innovation, Beschäftigung*. 2007, Nr. 09/2007. Förderkennzeichen: 206 14 132/05.
- [4] **Arbeitsgemeinschaft Bio-Rohstoffe Witzenhausen:** *Potentiale und Perspektiven einer regionalen Erzeugung von Kraftstoffen aus Biomasse in Nordhessen*. Wiesbaden: Hessisches Ministerium für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz, 2006.
- [5] **Bilas, I.:** Persönliche Auskunft per Email. Freiberg: Choren Industries GmbH, 13. 6 2008.
- [6] **Hartmann, U.:** Biogene Kraftstoffe und deren Beiträge für eine umweltverträgliche Mobilität. *Kraftstoff aus Biomasse – Sprit der Zukunft?* Stuttgart: Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung und Umweltakademie Baden-Württemberg, 2005.
- [7] **Deutsche Energie-Agentur GmbH:** *Biomass to Liquid - BtL Realisierungsstudie*. Berlin: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., 2006. Förderkennzeichen 22013105-A (05NR131-A).
- [8] **Hölscher, S.:** Vom Baum zum Kraftstoff - Agrarholz bringt neue Impulse für die Bioenergie. [Hrsg.] Landesarbeitsgemeinschaft (LAG) der Industrie- und Handelskammern (IHK) Land Brandenburg. *Forum - Das Brandenburger Wirtschaftsmagazin*. 2008, 11/2008.
- [9] **Vogel, J.:** *Strom und Wärme aus Biomasse - Das Carbo-V Verfahren*. Freiberg: Choren Industries GmbH, 2005.
- [10] **Bilas, I., et al:** Biomass to Liquids - Die Herstellung von synthetischem Biokraftstoff unter Einsatz des Carvo-V Verfahrens. *7. Sächsischer Kreislaufwirtschaftstag 2008*. Freiberg: Sächsisches Informations- und Demonstrationszentrum "Abfallbehandlungstechnologien" Freiberg, 2008.
- [11] **Heitzer, A.:** Alternative Treibstoffe. *VöV-Fachtagung*. Thun: Verband öffentlicher Verkehr, 2006.
- [12] **Geringer, B. et al:** *Vergleich der alternativen Kraftstoffe CNG und GTL im Hinblick auf ökonomische und ökologische Auswirkungen in Österreich*. Wien: Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Kraftfahrzeugbau, 2004. B04046.
- [13] **Blades, T.:** Der Weg zur industriellen Produktion. *2. BTL Kongress*. Berlin: Bundesministerium für Ernährung Landwirtschaft und Verbraucherschutz und die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, 2006.
- [14] **Böhme, W.:** NExBTL - Stand der Entwicklung und Potentiale. *Alternative Treibstoffe im Öffentlichen Personennahverkehr*. Stuttgart: VDV-Akademie, 2008.
- [15] **Kemnitz, D.:** BTL-Kraftstoffe - Stand der Entwicklung & Wege zur Realisierung. *5. Pflanzenölfahrtreffen*. Luplow: Müritz-Biomassehof und Beratungsgruppe Biokraftstoffe M-V, 2007.
- [16] **de Haan, P.:** *Vorlesung Energie und Mobilität - CO₂-Reduktion: Fischer-Tropsch-Verfahren, H₂-Herstellung*. Zürich: Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETH), 2008.
- [17] **Bienert, K.:** Hoffnungsträger synthetischer Dieselkraftstoff aus Biomasse (BTL) – Potenzial und Verfügbarkeit. *VDV Akademie Seminar "Alternative Treibstoffe im ÖPNV"*. Stuttgart: Verband Deutscher Verkehrsunternehmen, 2008.
- [18] **Baitz, M. et al:** *Vergleichende Ökobilanz von SunDiesel (Choren-Verfahren) und konventionellem Dieselkraftstoff*. Leinfelden-Echterdingen: PE-Europe GmbH, 2004.
- [19] **Uil, H. et al:** *Climate neutral transport fuels from biomass - The BIG-FIT concept*. Utrecht: Sde - Samenwerkingsverband duurzame energie, 2002. P1998-934, O-3450/2002-10164/KUG.
- [20] **Steiger, W.:** *SunFuel – The Way to Sustainable Mobility*. Wolfsburg: Volkswagen AG, 2005.
- [21] **Geringer, B.:** Einsatz von Biotreibstoffen in der Automobilindustrie. *Biosprit - Tank oder Teller?* Wien: Österreichische Volkspartei, 2008.
- [22] **FNR:** *Basisdaten Biokraftstoffe*. Gülzow: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), 2005.
- [23] **Seyfried, F.:** Biokraftstoffe aus Sicht der Automobilindustrie. [Hrsg.] Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS). *Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis*. 4 2006, Heft 1, 15. Jahrgang.
- [24] **Schmitz, N. et al:** *Biokraftstoffe - eine vergleichende Analyse*. Gülzow: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), 2006.
- [25] **Möltner, L.:** *Einsatz und Potential von biogenen Designerkraftstoffen – BTL (Biomass to liquid) im Motoreneinsatz*. Wien: Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Kraftfahrzeugbau der TU-Wien, 2008. Forschungsprojekt.

- [26] **Keppeler, S.:** Nächste Generation Biokraftstoffe auf dem Weg zu höheren Biokraftstoffanteilen. *Kraft- und Schmierstoffe*. Hamburg: MTZ/ATZ Fachkonferenz, 2007.
- [27] **Geringer, B.:** *Skriptum zur Vorlesung 315.018 - Verbrennungskraftmaschinen Grundzüge*. Wien: Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Kraftfahrzeugbau der TU Wien, 2006. B06006.
- [28] **Friedrich, A. et al:** Zur Kenntnis des Lignins. [Hrsg.] Springer Verlag. *Monatshefte für Chemie*. 1 1925, Volume 46, Numbers 1-2, S. 31-46.
- [29] **Lazar, R. et al:** *Biomasse - Berichte aus den Umweltsystemwissenschaften*. Graz: Umweltsystemwissenschaften - Karl-Franzens-Universität Graz, 2006.
- [30] **U.S. Department of Energy:** Energy Efficiency and Renewable Energy. *Feedstock Composition Glossary*. [Online] 10. 11 2005. [Zitat vom: 3. 12 2008.] http://www1.eere.energy.gov/biomass/feedstock_glossary.html#L.
- [31] **Kolbe, H.:** Beiträge zur Kenntnis der gepaarten Verbindungen. *Annalen der Chemie und Pharmacie*. Leipzig: C.F. Winter'sche Verlagshandlung, 1860, Bd. 115, S. 145.
- [32] **Geringer, B.:** *Skriptum zur Vorlesung 315.044 - Verbrennungskraftmaschinen Vertiefung*. Wien: Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Kraftfahrzeugbau der TU Wien, 2007. B07023.

5.1.2. GAS TO LIQUID (GTL)

Große Rohstoffbasis

ALLGEMEINES

GTL zählt wie BTL zur Gruppe der synthetischen Kraftstoffe und kann aus Erdgas oder regenerativen Rohstoffen (Biogas) hergestellt werden.

Der Designerkraftstoff ist als hochwertiges Kohlenwasserstoffgemisch ein vollwertiger Ersatz für Dieselmotorkraftstoff und kann analog zu BTL auf die Ansprüche zukünftiger Motortechnologien optimal abgestimmt werden. [2]

Die Erdgasreserven liegen etwa bei dem dreifachen der Rohölreserven. [3] Diese umfangreiche Verfügbarkeit macht aus heutiger Sicht Erdgas zum bevorzugten Rohstoff der GTL-Erzeugung. [4], [5]

Die zur GTL Herstellung verwendete Fischer-Tropsch-Synthese wurde bereits im Jahr 1925 von Franz Fischer und Hans Tropsch entwickelt, dennoch wurde diese Technologie, vor allem aus Kostengründen in den Hintergrund gedrängt. Derzeit produziert der Mineralölkonzern Shell in kleinen Umfängen GTL mittels Fischer-Tropsch-Synthese. [6]

ROHSTOFFE

Erdgas besteht im Wesentlichen aus Methan, dessen Anteil je nach Herkunftsregion Schwankungen unterliegt. Nebenbestandteile sind Schwefelwasserstoff H_2S , Stickstoff N und Kohlendioxid CO_2 , welches aber an die Umgebungsluft abgegeben wird. Die Zusammensetzung kann, wie in **Tabelle 1** dargestellt, beschrieben werden. [7]

Chemische Komponente	Anteil
Methan CH_4	85 – 98%
Alkane	1 – 8%
Inertgase ¹	1 – 11%

Tabelle 1: Chemische Zusammensetzung von Erdgas. [7]

Die Erdgasaufbringung betrug im Jahr 2007 10,6 Mio. m^3n (Normkubikmeter). Auf die Inlandförderung entfallen dabei 1,9 Mio. m^3n . Die Differenz von 8,7 Mio. m^3n wurde aus Norwegen, GUS und sonstigen (primär Deutschland) Regionen importiert. Gleichzeitig wurden 1,9 Mio. m^3n exportiert, sodass sich die in Österreich verbliebene Erdgasmenge auf 8,7 Mio. m^3n reduziert. Der in **Tabelle 22** dargestellten Aufteilung nach Lieferregionen liegt die Annahme zu Grund, dass sich der Exportanteil aus gewichteten Anteilen aller vier Lieferregionen zusammensetzt. [3]

Lieferregion	Anteil
Österreich	18%
Sonstige (Deutschland)	18%
Norwegen	13%
GUS	51%

Tabelle 2: Lieferregionen und Anteile des in Österreich verarbeiteten Erdgases. [3]

¹ Als Inertgase werden reaktionsträge Gase bezeichnet (z.B. Stickstoff und sämtliche Edelgase).

Erdgas ist im Vergleich zu Rohöl in größeren Umfängen verfügbar. Aktuelle Abschätzungen gehen davon aus, dass bei gleichbleibendem Bedarf die Versorgung noch 132 Jahre (61 Jahre mit bekannten Reserven + 71 Jahre mit als sicher angenommenen Reserven) gesichert ist. [3]

HERSTELLUNGSVERFAHREN

Das Verfahren der GTL-Herstellung lässt sich in die Prozessschritte

- Synthesegaserzeugung,
- Verflüssigung des Synthesegases mittels Fischer-Tropsch-Synthese und
- Veredelung des Rohproduktes

gliedern. [8]

In einem ersten Schritt wird aus Erdgas unter Zufuhr von Sauerstoff ein Synthesegas erzeugt, welches im anschließenden Prozessschritt mittels Fischer-Tropsch-Synthese zu Kohlenwasserstoffen konvertiert wird. [6]

Diese entstehenden vorwiegend langkettigen, wachsartigen Kohlenwasserstoffe (n-Alkane) werden, wie bei der BTL-Herstellung durch

- Hydrocracking
- Isomerisierung und
- Fraktionierung

zu hochwertigen Endprodukten (Dieselkraftstoff, u.a.) konvertiert. [4], [8]

In **Abbildung 1** werden die wesentlichen chemischen Prozessschritte schematisch dargestellt.

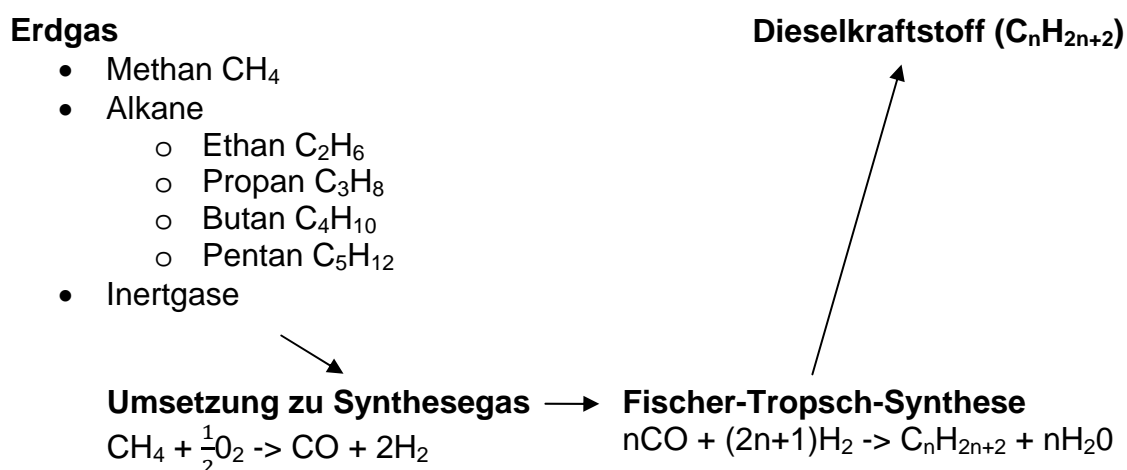


Abbildung 1: GTL-Herstellung - Chemischer Prozess [6]

VERFÜGBARKEIT

Der steigende Bedarf an alternativen Kraftstoffen führt auch bei GTL zu einer Zunahme der Produktionskapazitäten. Wie in **Abbildung 2** dargestellt wird bis 2015 von einem verfügbaren Volumen von rund 29 Mio. Tonnen Erdöl-Äquivalent ausgegangen.

Der in **Abbildung 3** dargestellte direkte Vergleich der geplanten GTL-Produktionsmengen mit dem Dieselbedarf des Straßenverkehrs der EU 27 zeigt ein Beimischungspotenzial von rund 6% im Jahr 2010 auf. Dieser Berechnung liegt allerdings die Annahme zugrunde, dass 100% des weltweit produzierten GTL für den Dieselbedarf des europäischen Straßenverkehrs zur Verfügung stehen.

Unter Berücksichtigung des weltweiten Dieserverbrauchs im Transportsektor von rund 600 Mio. Tonnen im Jahr 2004 [9] und einer zur EU27 analog angenommenen Steigerungsrate ergibt sich für das Jahr 2010 eine weltweites Substitutionspotenzial von 1,7%, bzw. 3,7% für das Jahr 2015.

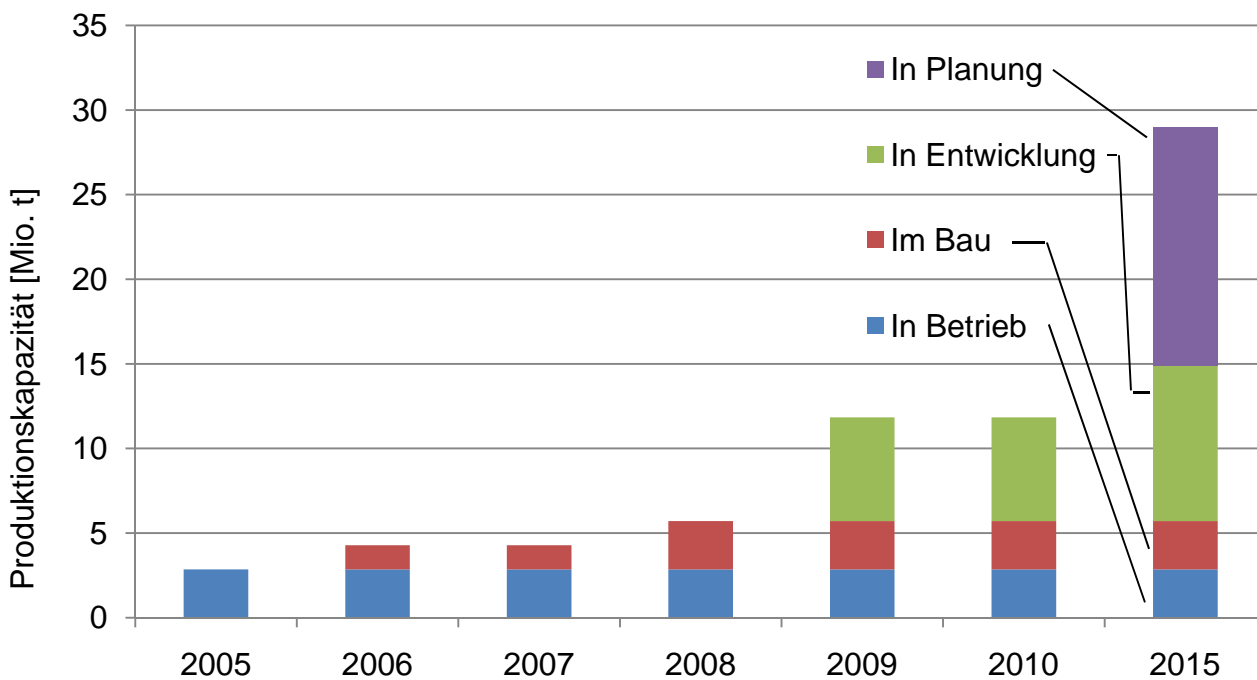


Abbildung 2: Weltweite GTL-Produktion (Kapazität in Mio. Tonnen Erdöl-Äquivalent) [10]

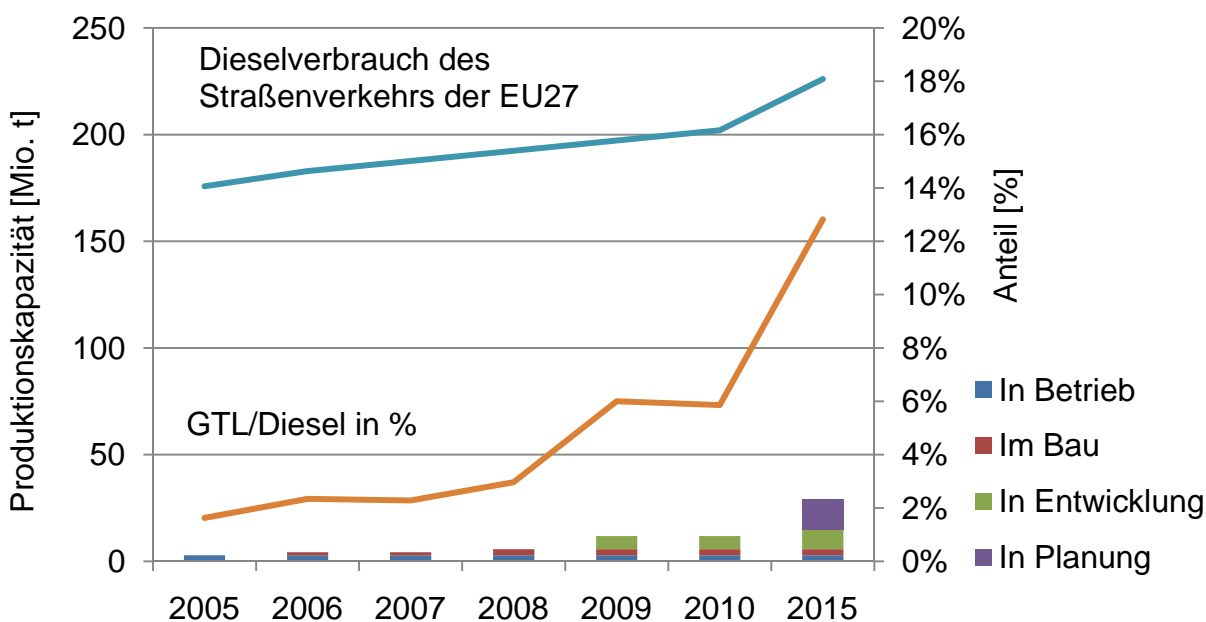


Abbildung 3: Vergleich der weltweiten GTL-Produktion (Kapazität in Mio. Tonnen Erdöl-Äquivalent) [10] mit dem Dieserverbrauch des Straßenverkehrs in der EU27 (in Mio. Tonnen; [11] und eigene Berechnung)

UMWELTWIRKUNG UND NACHHALTIGKEIT

Die Datenlage zu umweltbezogenen Informationen wie Treibhauseffekt, Photosmog, Versauerung oder Eutrophierung für GTL ist als unzureichend zu bezeichnen. Im Fokus vieler Studien stehen primär biogene Kraftstoffe. GTL wird selten betrachtet. Im Zuge der Recherche konnten lediglich Informationen zur Treibhauswirksamkeit dieses fossilen Alternativkraftstoffes gefunden werden. Das Treibhausgas-Einsparungspotenzial kann mit +/- 5% abgeschätzt werden. [12]

Die in **Abbildung 4** dargestellten Emissionsvorteile gegenüber [1] Diesel wurden in den betrachteten Untersuchungen ohne Adaption des Motorsteuergeräts erreicht. Daraus folgt, dass die Verwendung dieses Kraftstoffes zu unmittelbaren Verbesserungen im Emissionsverhalten der gesamten Flotte führt. Vor allem die Kohlenwasserstoff- und Kohlenmonoxidemissionen konnten reduziert werden. Vorwiegend ist dafür die Aromatenfreiheit des Kraftstoffes verantwortlich. [13]

Durch Anpassung des Motors können die NO_x- und PM-Emissionen um bis zu 45%, bzw. 40 % reduziert werden. [5] Die Emissionsvorteile stellen sich in entsprechend reduzierter Form auch bei der Beimischung zu Diesel ein. [8] Selbst bei geringen Beimischungsquoten werden jedoch überproportionale Emissionsvorteile erreicht. [14]

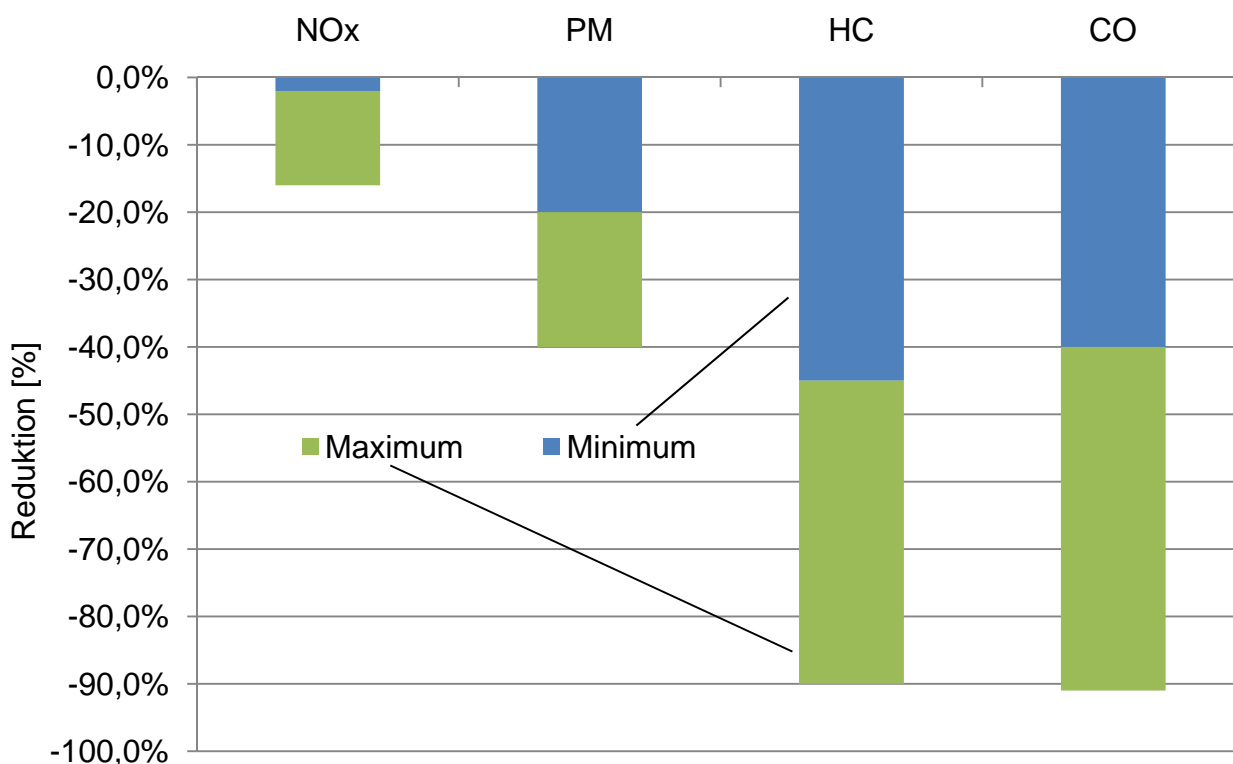


Abbildung 4: Änderung der Abgasemissionen bei Verwendung von GTL anstatt Diesel [15], [13], [5], [16]

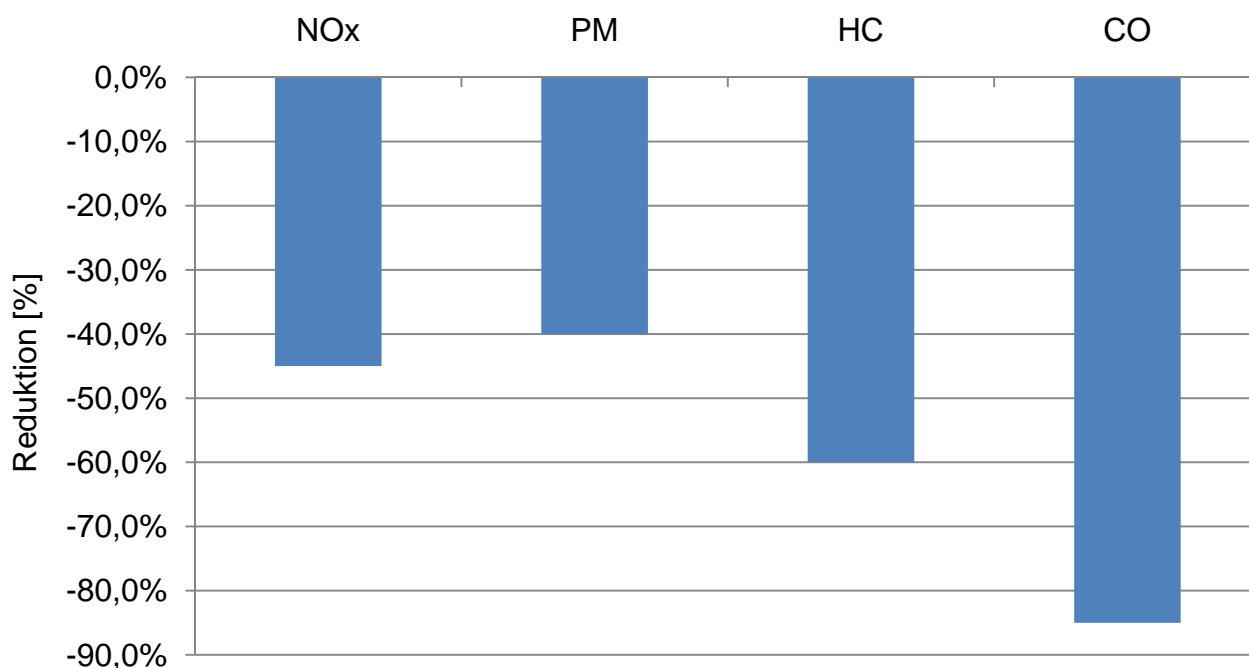


Abbildung 5: Änderung der Abgasemissionen bei Verwendung von GTL anstatt Diesel - mit Anpassung des Motors [5]

CHEMISCHE EIGENSCHAFTEN

Wie Dieselkraftstoff basiert GTL auf langkettigen, gesättigten (Alkane C_nH_{2n+2}) Kohlenwasserstoffen. Der Kraftstoff ist frei von Schwefel, Aromaten und Alkenen. [17]

Der Zusammenstellung in

Tabelle 3 ist zu entnehmen, dass gegenüber dem Dieselkraftstoff

- die Dichte rund 7% niedriger liegt.
- der Energieinhalt eines Liters rund 4,7% niedriger ist.
- die Cetanzahl rund 45% höher liegt.
- keine Aromaten und Polyaromaten enthalten sind.
- kein Schwefel enthalten ist.

Kennwerte	Einheit	Diesel	[18]	[19]	[4]	[17]	[20]	GTL*
Dichte bei 15°C	kg/l	0,84	0,77-0,79	0,77-0,79	0,785	0,78	0,78	0,78
Unterer Heizwert	MJ/l	35,8	34	34	-	34,1	34,31	34,1
Unterer Heizwert	MJ/kg	42,6	43	-	43,8-44,2	43,7	43,99	43,92
Viskosität bei 40°C	mm ² /s	3,1	3,2-4,5	3,2-4,5	1,97-3,61	3,5	-	3,5
Cetanzahl	-	53	73-81	73-81	>75	73	80	77
Flammpunkt	°C	80	-	-	59	-	-	59
Aromatengehalt	Gew.%	23,2	0	-	< 1	0	0	0
Polyaromatengehalt	Gew.%	2	0	0	< 1	0	-	0
Schwefelgehalt	mg/kg	< 10	< 10	< 10	0-5	0	0	0
Verhältnis C/H	Mass%	6	5,6	-	-	5,7	-	5,6
Kraftstoff-äquivalent	Liter Diesel	1	-	-	-	-	-	0,96

* Mittelwert

Tabelle 3: Chemische Eigenschaften von GTL im Vergleich zu Diesel

Ergänzend zu den in

Tabelle 3 angegebenen Werten wird in **Abbildung 6** der Siedeverlauf von GTL dargestellt. Es ist zu erkennen, dass der Verlauf in einer sehr engen Bandbreite im Bereich des Dieseldiesels liegt. Je nach Abstimmung (Sommer- oder Winterqualität) liegt der Verlauf über oder unter der Siedelinie von Diesel.

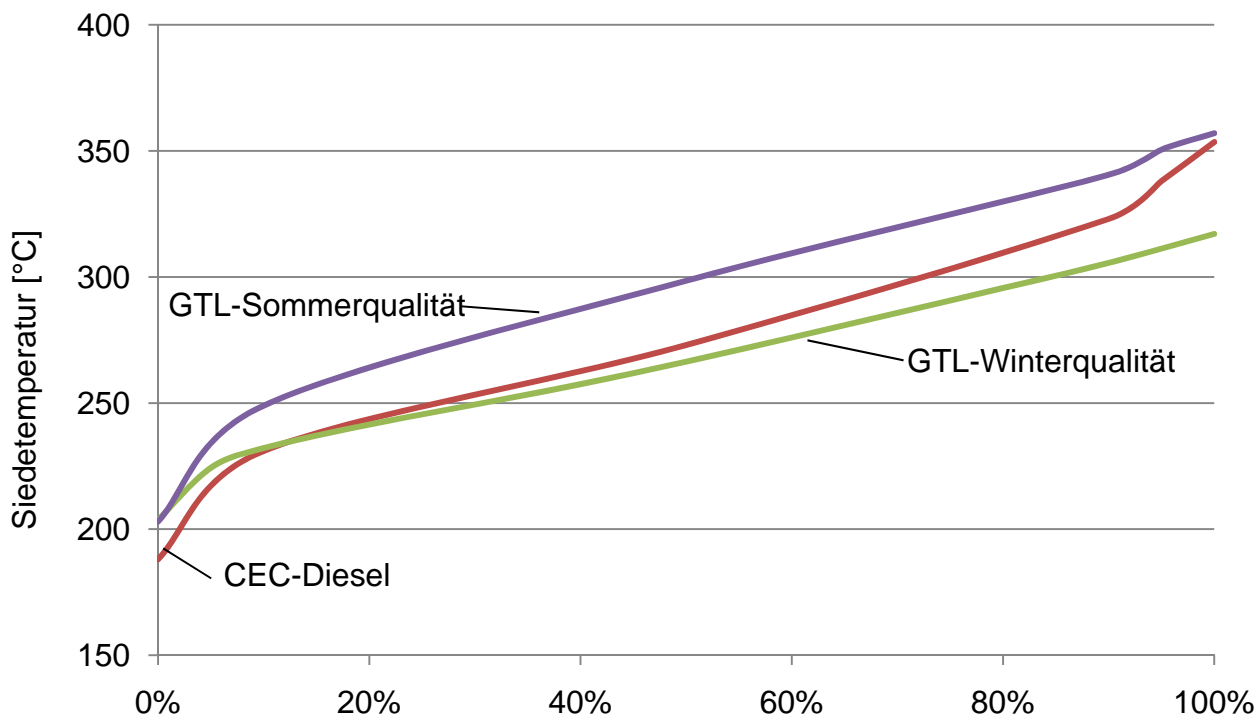


Abbildung 6: Siedeverlauf von CEC-Diesel und GTL - Verdampfter Kraftstoff [%] [21]

TECHNISCHE EIGENSCHAFTEN

Aufgrund seiner chemischen Zusammensetzung kann GTL ohne Einschränkungen in jedem Mischungsverhältnis mit Diesel in jedem Dieselmotor eingesetzt werden. Der reine (100%) GTL-Betrieb ist technisch ebenfalls ohne Beschränkungen möglich. Durch die hohe Sauberkeit des Kraftstoffes, kein Schwefel und keine Aromaten, ist die Verbrennung bereits ohne Anpassung des Motors, bzw. der Motorelektronik schadstoffärmer. [8]

Im Motorbetrieb werden mit GTL nahezu die gleichen Leistungs- und Drehmomentwerte erreicht wie bei der Verwendung von Diesel. Der volumetrische Kraftstoffverbrauch liegt dabei auf vergleichbarem Niveau. Es stellen sich jedoch wesentliche Emissionsvorteile ein. [22]

Die wesentlichen Auswirkungen der chemischen Eigenschaften lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die höhere Cetanzahl verringert den Zündverzug.
- Die Aromatenfreiheit reduziert die Rußbildung (Partikel-Emissionen).
- Reduzierte Partikel-Emissionen ermöglichen eine Applizierung des Motors hin zu niedrigeren NO_x-Emissionen.
- Infolge der Schwefelfreiheit unterbleibt die Sulfatbildung, wodurch eine einfachere und damit kostengünstigere Abgasnachbehandlung eingesetzt werden kann.

- Die Applizierung des Motors auf den Kraftstoff kann präziser erfolgen, da in der Kraftstoffherstellung engere Toleranzen der Eigenschaften gewährleistet werden können.

[14]

Die Definierbarkeit der Kraftstoffeigenschaften ermöglicht zudem die Realisierung neuer Motorenkonzepte wie HCCI² oder CCS³. [23]

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] **Tober, W.:** Abschlussbericht "Einsatz und Potenzial von biogenen Designerkraftstoffen – BTL (Biomass to Liquid) im Motoreneinsatz" Teilbericht zum Arbeitspaket 9 - Erstellen einer Ökobilanz (Life Cycle Assessment - LCA) für BTL. Wien: TU Wien, Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Kraftfahrzeugbau, 2009. B09012.
- [2] **Geringer, B.:** Skriptum zur Vorlesung 315.044 - Verbrennungskraftmaschinen Vertiefung. Wien: Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Kraftfahrzeugbau der TU Wien, 2007. B07023.
- [3] **Capek, C.:** Jahresbericht 2007. Wien: Fachverband der Mineralölindustrie Österreichs (FVMI), 2007.
- [4] **Heitzer, A.:** Alternative Treibstoffe. VöV-Fachtagung. Thun: Verband öffentlicher Verkehr, 2006.
- [5] **Cherrillo, R.:** Shell. The evolution of movement continues. 2008 Diesel Engine-Efficiency and Emissions Research (DEER) Conference Presentations. Dearborn: U.S. Department of Energy - Energy Efficiency and Renewable Energy, 2008.
- [6] **de Haan, P.:** Vorlesung Energie und Mobilität - CO₂-Reduktion: Fischer-Tropsch-Verfahren, H₂-Herstellung. Zürich: Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETH), 2008.
- [7] **Infinite Energie-, Antriebs- und Umwelttechnologie GmbH:** Erdgas. Henndorf am Wallersee: Infinite Energie-, Antriebs- und Umwelttechnologie GmbH, 2008.
- [8] **Geringer, B. et al:** Vergleich der alternativen Kraftstoffe CNG und GTL im Hinblick auf ökonomische und ökologische Auswirkungen in Österreich. Wien: Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Kraftfahrzeugbau, 2004. B04046.
- [9] **Mittelbach, M.:** Einführung in die Umweltsystemwissenschaften Chemie. Graz: Institut für Chemie - Arbeitsgruppe Nachwachsende Rohstoffe, Karl-Franzens-Universität Graz, 2005.
- [10] **Steiger, W.:** SunFuel – The Way to Sustainable Mobility. Wolfsburg: Volkswagen AG, 2005.
- [11] **Statistisches Amt der Europäischen Gemeinschaften:** Eurostat. epp.eurostat.ec.europa.eu. [Online] [Zitat vom: 12. 5 2008.] http://epp.eurostat.ec.europa.eu/extraction/evalight/EVAlight.jsp?A=1&language=de&root=/theme8/nrg/nrg_102a. Auswahl: Jahr 2006, Länder der EU27, Dieselkraftstoffe und Destillatheizöle, Energetischer Endverbrauch des Strassenverkehrs, Tausend Tonne Öl-Gleichwerte (TÖGW).
- [12] **Buch, F.:** Alternative Kraftstoffe – Perspektiven aus Sicht der VOLKSWAGEN Aktiengesellschaft. Trends in der Motorentechnologie 2006. Passau: Bayern Innovativ - Gesellschaft für Innovation und Wissenstransfer mbH, 2006.
- [13] **Rabe, M.:** BTL-Kraftstoff aus Sicht von Volkswagen. Wolfsburg: Volkswagen AG, 2004.
- [14] **Geringer, B.:** Diesel- und Ottomotorische Brennvorgänge für Alternative Kraftstoffe. Trends in der Motorentechnologie. Passau: BAIKA Kooperationsforum, 2005.
- [15] **Hartmann, U.:** Biogene Kraftstoffe und deren Beiträge für eine umweltverträgliche Mobilität. Kraftstoff aus Biomasse – Sprit der Zukunft? Stuttgart: Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung und Umweltakademie Baden-Württemberg, 2005.
- [16] **Shell:** Synthetic Fuels for Large Cities. Den Haag: Royal Dutch Shell plc, 2007.
- [17] **Seyfried, F.:** Biokraftstoffe aus Sicht der Automobilindustrie. [Hrsg.] Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS). Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis. 4 2006, Heft 1, 15. Jahrgang.
- [18] **Neville, F.:** NExBTL - A 2nd Generation Renewable Diesel. Public Workshop on California's Bioenergy Action Plan. Sacramento: California Energy Commission's, 2007.
- [19] **Böhme, W.:** NExBTL - Stand der Entwicklung und Potentiale. Alternative Treibstoffe im Öffentlicher Personennahverkehr. Stuttgart: VDV-Akademie, 2008.

² HCCI: Homogeneous Charge Compression Ignition, Kontrollierte Selbstzündung. Bei diesem Verbrennungskonzept erfolgt die Verbrennung des homogenen Gemisches gleichzeitig im gesamten Brennraum. [24]

³ CCS: Combined Combustion System. Bei diesem Motorenkonzept wird das Kraftstoff-Luftgemisch bei niedrigen und hohen Lasten mittels Fremdzündung gezündet und im mittleren Leistungsbereich wird eine homogene Selbstzündung eingeleitet. Die Verdichtung wird dafür variabel verstellt. [2]

- [20] **Muth, J.:** Feldholz - eine Rohstoff-Option für synthetische Kraftstoffe. *Fachtagung Holzenergie vom Acker – Stand der Technik und Perspektiven*. Bad Hersfeld: Kompetenzzentrum HessenRohstoffe (HeRo), 2006.
- [21] **Möltner, L.:** *Einsatz und Potential von biogenen Designerkraftstoffen – BTL (Biomass to liquid) im Motoreneinsatz*. Wien: Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Kraftfahrzeugbau der TU-Wien, 2008. Forschungsprojekt.
- [22] **Harndorf, H. et al:** BTL Kraftstoffe im motorischen Einsatz. 5. *Pflanzenölfahrertreffen*. Luplow: Müritz-Biomassehof und Beratungsgruppe Biokraftstoffe M-V, 2007.
- [23] **Angerer, G.:** Zukunftsmarkt Synthetische Biokraftstoffe. [Hrsg.] Umweltbundesamt und Bundesministerium für Umwelt Naturschutz und Reaktorsicherheit. *Umwelt, Innovation, Beschäftigung*. 2007, Nr. 09/2007. Förderkennzeichen: 206 14 132/05.
- [24] **Geringer, B.:** *Skriptum zur Vorlesung 315.018 - Verbrennungskraftmaschinen Grundzüge*. Wien: Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Kraftfahrzeugbau der TU Wien, 2006. B06006.

5.1.3. RAPS-METHYL-ESTER (RME)

Der in Österreich am häufigsten eingesetzte und kritisierte Biokraftstoff. [1]

ALLGEMEINES

FAME (Fatty- Acid-Methyl-Ester) ist ein Sammelbegriff für Kraftstoffe, welche auf Verbindungen aus Fettsäure und Methanol beruhen. FAME-Kraftstoffe werden im Allgemeinen als Biodiesel bezeichnet und zählen zur 1. Generation von Biokraftstoffen. Je nach verwendetem Rohstoff (Pflanzenöl, Altspeiseöl oder Tierfett), der zur Gewinnung der Fettsäure verwendet wird, werden die Kraftstoffe unterschiedlich bezeichnet.

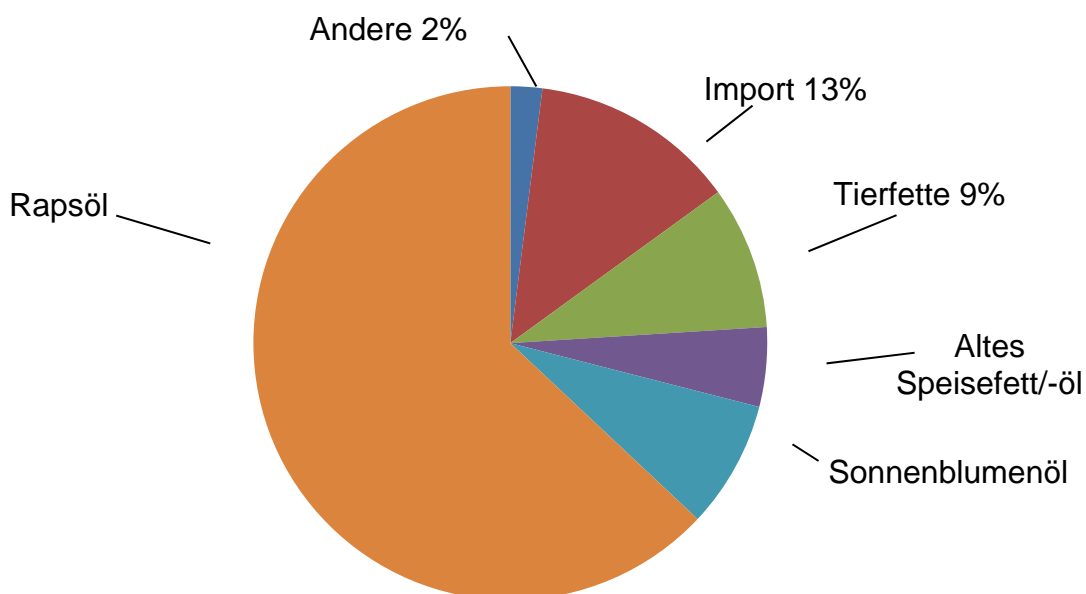
RME steht für Raps-Methyl-Ester, also einen Biodiesel, welcher ausschließlich auf Rapsölbasis hergestellt wurde. RME zeichnet sich im Vergleich zu anderen FAME aufgrund seiner Fettsäurestruktur durch eine gutes Verbrennungsverhalten und eine hohe Kältestabilität aus.

In der ÖNORM EN590 [2] ist geregelt, dass Dieselmotorkraftstoff bis zu 5 Vol.% Fettsäure-Methylester (FAME) beigemischt werden darf. FAME muss dabei den Anforderungen der ÖNORM EN 14214 [3] entsprechen. Eine Auswahl der laut dieser Norm allgemein anzuwendenden Anforderungen werden in **Tabelle 3** dargestellt.

Eine von Greenpeace im Frühjahr 2008 durchgeführte Studie in Österreich ergab das alle untersuchten Biodieselmotorkraftstoffe (unterschiedlicher Lieferanten) bis zu 4% Sojaöl beinhalteten und einige rund 5% Palmöl. Der verbleibende Teil des Biodiesels wurde aus Rapsöl erzeugt, sodass festgehalten werden kann, dass Biodiesel in Österreich vorwiegend aus Raps gewonnen wird und demnach hier der Kraftstoff Raps-Methyl-Ester (RME) analysiert wird. [4]

Auch die in

Abbildung 1 dargestellte Einschätzung des European Biodiesel Board zeigt die vorrangige Bedeutung von Raps bei der Biodieselproduktion in der Europäischen Union. [5]



* High-Oleic... Erhöhter Ölsäureanteil

Abbildung 1: Erforderliche Rohstoffanteile zur Erreichung des 5,75% Biokraftstoffzieles [5]

Weltweit wird die Bedeutung von Rapsöl geringer eingestuft. Wie in **Abbildung 2** zu sehen bleibt Raps jedoch der bedeutendste Rohstoff. [6]

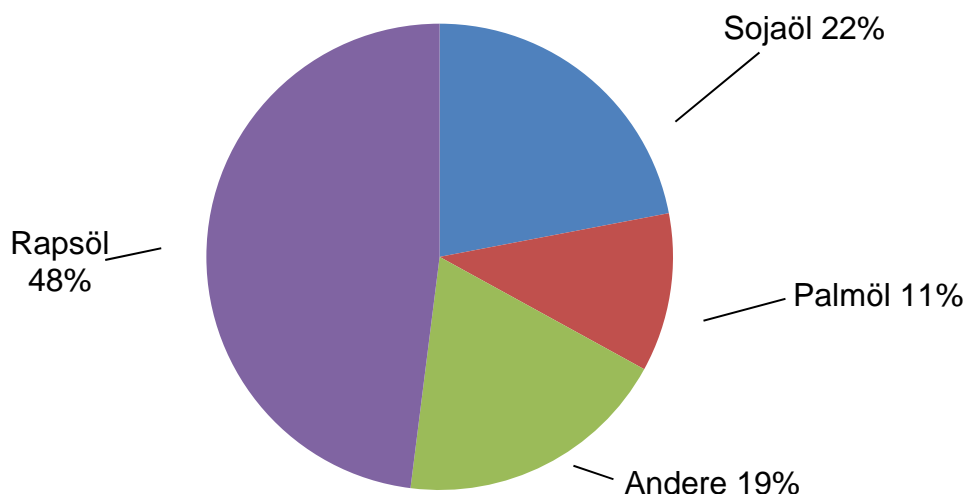


Abbildung 2: Anteilsverteilung der Rohstoffe für die Biodieselherstellung – weltweit [6]

ROHSTOFFE

Wie bereits beschrieben wird in Europa Biodiesel primär aus Raps gewonnen. Raps ist eine Nutzpflanze aus der Rapsöl und Rapskuchen (Tierfutter) gewonnen wird. [7]

Wie **Tabelle 1** zu entnehmen ist, besticht Raps vor allem durch seinen hohen Ölgehalt von 40-50%. Die im Raps vorkommenden Öl- und Fettmoleküle sind zu einem wesentlich Anteil (bis zu 97%) lange C18-Ketten mit stets gleichem Aufbau. Es sind mit Glycerin (dreiwertiger Alkohol) veresterte Fettsäuren (Triglyceride). [8]

Pflanzenart	Fettgehalt %	gesättigte Fettsäuren					ungesättigte Fettsäuren					
		Myristinsäure C 14:0	Palmitinsäure C 16:0	Stearinsäure C 18:0	Arachinsäure C 20:0	Behensäure C 22:0	Monoenfettsäuren			Polyenfettsäuren		
							Ölsäure C 18:1 ¹⁾	Eicosensäure C 20:1	Eruca-säure C 22:1	Linol-säure C 18:2	α-Linol-ensäure C 18:3	γ-Linol-ensäure C 18:3
Kruziferen (Kreuzblütler)												
Raps hohe Erucas.	40-50	0-1,5	1-5	1-4	<1	<1	13-38	5-8	40-64	10-22	1-10	-
Raps niedr. Erucas.	-	0-1	1-5	0,5-2	0-1	0,5-2	50-65	1-3	0-2	15-30	5-13	-
Kompositen (Korbblüter)												
Sonnenblume	35-52	Spur	3-9	1-3	0,4-4	<1	14-43	-	-	44-70	Spur.	-
Leguminosen (Hülsenfrüchtler)												
Sojabohne	18-24	<0,4	2-10	2-6	<0,5	-	23-32	-	-	48-52	2-12	-

¹⁾ dünnflüssiges Wachs mit 30 % C 40-, 50 % C 42- und 10 % C 44-Fettsäuren

Tabelle 1: Fettgehalt und Fettsäurezusammensetzung von verschiedenen Ölpflanzen [8]

Zudem eignen sich die Europäischen Klimaverhältnisse sehr gut für den Rapsanbau, da Raps bevorzugt bei kühl-gemäßigten Temperaturen wächst und hohe Erträge bei Jahresniederschlägen zwischen 600 und 800 mm aufweist.

Der Ernteertrag liegt bei etwa 2,5 - 5,5 Tonnen pro Hektar und Jahr an Körnern, bzw. 1.000 - 2.000 Liter Öl pro Hektar und Jahr. [9]

Der Flächenertrag von RME liegt etwa gleichauf mit dem Ertrag an Pflanzenöl. Im Durchschnitt ist ein Wert von rund 1.200 Liter Kraftstoff pro Hektar Fläche zu erwarten. [10]

Der Anbau von Sonnenblumen eignet sich unter den in Europa vorherrschenden klimatischen Bedingungen ebenfalls sehr gut. Die Ölproduktion ist jedoch deutlich teurer. Weltweit betrachtet haben Soja, Ölpalmfrucht und Oliven Rohstoffe Potenzial. [11]

Langfristig schwierig stellt sich die Zurverfügungstellung der erforderlichen landwirtschaftlichen Flächen dar. Sofern derzeit bestellte Flächen nicht für den Rapsanbau zur Kraftstoffherstellung genutzt werden sollen, werden etwa 54% der stillgelegten Flächen und Brachflächen benötigt, um den Anbauflächenbedarf bis 2010 zu befriedigen. Diese in [12] zusammengefasste Abschätzung wird in **Tabelle 2** abgebildet.

Flächenbedarf und Verfügbarkeit		
Flächenbedarf für pflanzliche Rohstoffe bis 2010 bei 5,75% Substitution		
für Dieselmotoren	7,88	Mio. ha
für Ottomotoren	4,84	Mio. ha
Gesamtbedarf	12,72	Mio. ha
Flächenreserven der EU27 im Jahr 2006		
Stillgelegte Flächen mit Beihilfe	5,98	Mio. ha
Brachland	8,52	Mio. ha
Gesamtreserven	14,5	Mio. ha

Tabelle 2: Bedarf und Verfügbarkeit landwirtschaftlicher Flächen [12]

Aus den oben geschilderten Gesichtspunkten ist Raps, bzw. Raps-Methyl-Ester als aktuell bedeutendster Kraftstoff einzustufen. Gleichzeitig gilt es jedoch festzuhalten, dass aufgrund der zukünftig erforderlichen Kraftstoffmengen und dem Bedarf an landwirtschaftlichen Flächen mittelfristig Alternativen gefunden werden müssen.

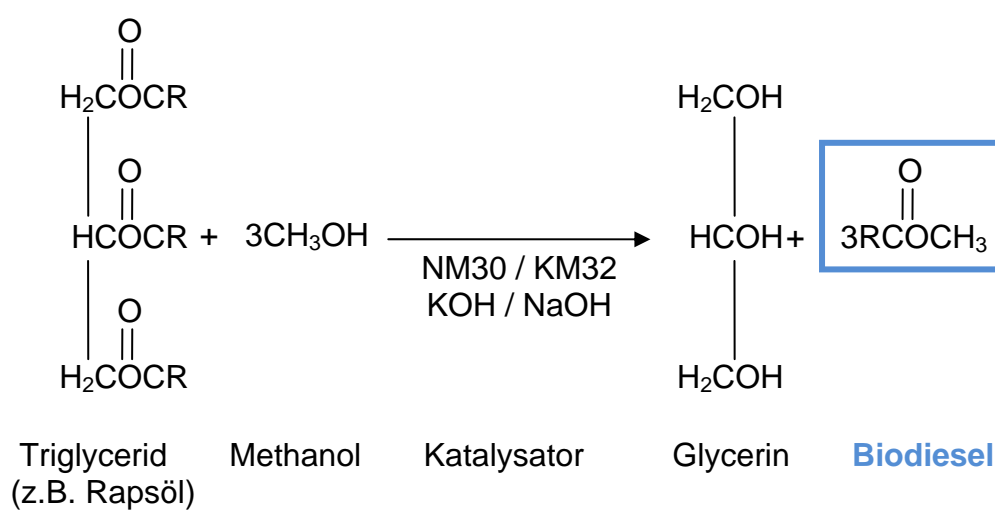
HERSTELLUNGSVERFAHREN

Das erste Patent zur Biodieselherstellung wurde bereits im Jahr 1937 von G. Chavanne (Universität Brüssel) angemeldet. Darin beschrieb er die Umesterung von Pflanzenöl mit Ethanol (auch Methanol wird angeführt), um es für die Nutzung im Verbrennungsmotor aufzubereiten. [13]

Bei der Herstellung des Rapsöls werden zwei Verfahren unterschieden. Zum einen in die dezentrale Kaltpressung bei max. 40°C. Dabei wird unter mechanischem Druck das Öl aus dem Saatgut gepresst und anschließend durch Sedimentation und Filtration von Schwebstoffen gereinigt. Der eiweißreiche Presskuchen kann als Tierfutter oder zur Verfeuerung verwendet werden.

Das zweite Verfahren findet vorwiegend bei zentralen größeren Anlagen Anwendung. Die Ölsaat wird bei höheren Temperaturen von rund 80°C ausgepresst. In einem weiteren Schritt wird aus dem Presskuchen unter Zugabe eines Lösungsmittels das nach der Pressung im Kuchen verbliebene Öl herausgelöst. Lösungsmittel und Öl werden im Folgenden über einen Verdampfungsschritt wieder getrennt. Die verfahrensbedingten Begleitstoffe werden in einem Raffinationsschritt entfernt, sodass das auf diese Weise hergestellte Rapsöl als Vollraffinat gilt.

Das gewonnene Rapsöl wird mittels Methanol (rund 10%) unter Zugabe alkalischer Katalysatoren (0,5-1%) bei Temperaturen zwischen 50 und 80°C umgeestert. Unter Umesterung wird die chemische Aufspaltung des Pflanzenölmoleküls in Glycerin (rund 10%) und Fettsäure und im weiteren die Verbindung der Fettsäure mit Methanol verstanden. Es erfolgt, wie in **Abbildung 3** dargestellt der Austausch des dreiwertigen Alkohols Glycerin gegen den einwertigen Alkohol Methanol. [11]



NM30...Natriummethylat Lösung 30% in Methanol
 KM32...Kaliummethylat Lösung 32% in Methanol
 R... nC

NaOH...Natriumhydroxid
 KOH... Kaliumhydroxid

Abbildung 3: Biodieselherstellung - Chemischer Prozess [14]

Österreich verfügte Mitte 2008 über 18 Produktionsanlagen zur Biodieselherstellung, welche sich an folgenden Standorten befinden:

- Enns
- Asperhofen
- Starrein
- Hohenau
- Zistersdorf
- Wien
- Krems
- Schönkirchen
- Bruck
- Wöllersdorf
- Fehring
- Gaishorn
- Graz
- Mureck

- Arnoldstein
- Güssing
- Lobau
- Aschach

[15]

Für die Herstellung von 200.000 Tonnen FAME werden 221.000 Tonnen Rohstoffe benötigt. Die Anlagenkosten liegen bei rund 50 Mio. € [16]

VERFÜGBARKEIT

Die Produktionskapazitäten für Biodiesel haben sich in den letzten Jahren mehr als Verhundertfacht. Im Jahr 2004 lag der darstellbare Output bei rund 100.000 Tonnen pro Jahr. Die Produktionskapazität im Jahr 2008 liegt dagegen bei rund 560.000 Tonnen pro Jahr.

Die produzierten Mengen liegen hingegen jedoch unter den Produktionsmöglichkeiten. Im Jahr 2007 wurden mit 241.381 Tonnen Biodiesel (Produktionskapazität rund 340.000 Tonnen) knapp 100% mehr produziert als im Jahr 2006, wo der Output bei 161.467 Tonnen (Produktionskapazität rund 200.000 Tonnen) lag. [15]

UMWELTWIRKUNG UND NACHHALTIGKEIT

Die Wirkung von RME auf Mensch und Umwelt und dessen Nachhaltigkeit sind Inhalt zahlreicher Studien. Die unterschiedliche Wahl von Betrachtungsgrenzen und Interpretation von Auswirkungen führt jedoch zu abweichenden Ergebnissen. Tendenziell kann dennoch festgehalten werden, dass wie in **Abbildung 4** dargestellt, RME im Vergleich zu Diesel negative Auswirkungen auf die Eutrophierung (Nährstoffanreicherung) der Gewässer und die Versauerung der Böden infolge der intensiven Stickstoffdüngung aufweist.

Vorteile gegenüber Diesel sind hingegen in den Bereichen Treibhauswirksamkeit und Ressourcenverbrauch zu sehen. Im Zuge des Pflanzenwachstums entnimmt Raps der Umwelt CO₂, welches bei der Verbrennung von RME wieder freigesetzt wird. Dieser geschlossene Kreislauf wird allerdings durch Anbau, Düngung, Umesterung usw. unterbrochen, sodass auch ein Kraftstoff aus Anbaubiomasse (wie Raps) keine ausgeglichene Treibhausgas-Bilanz aufweisen kann. [17]

Die erbgutschädigende und krebserregende Wirkung auf den Menschen wird in zunehmendem Maße als geringer (-60% in [18] und -75% in [17] gegenüber Dieselkraftstoff) bewertet.

Je nach Motorentchnologie liegen die limitierten Emissionen HC, CO und PM tendenziell niedriger als bei der Verwendung von Diesel. Die NO_x-Emissionen liegen dagegen im Trend etwas höher. [19]

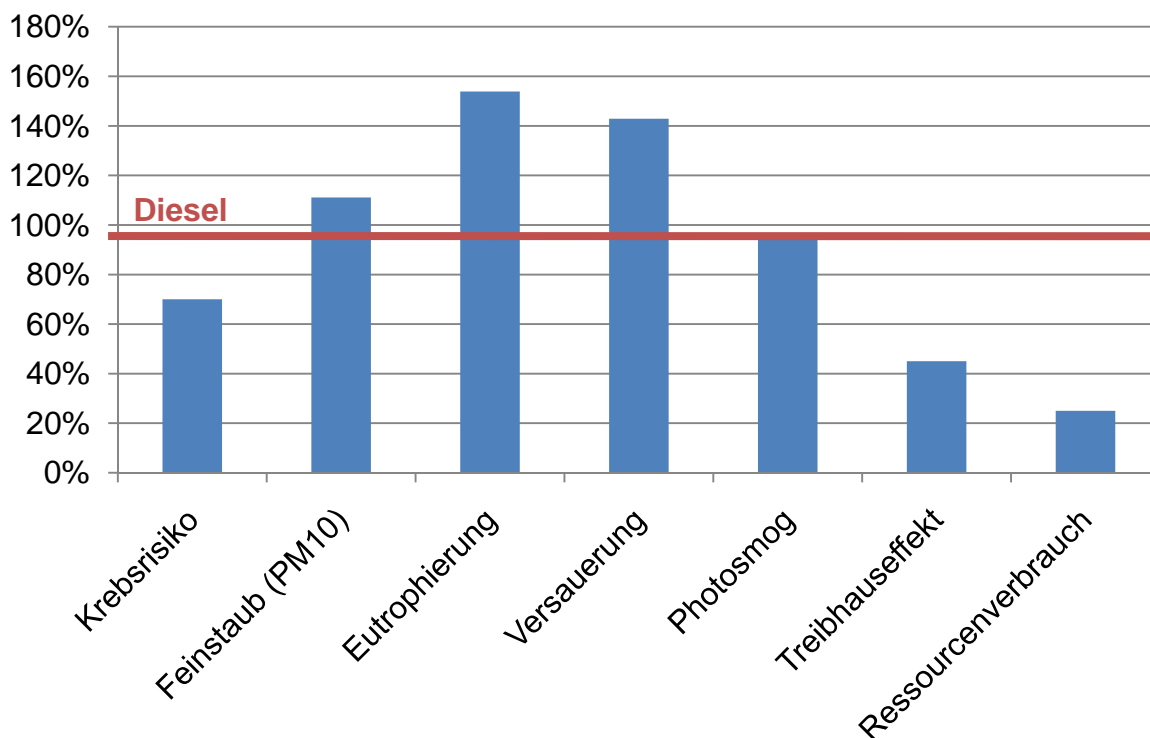


Abbildung 4: Umweltwirkungen und Nachhaltigkeit von RME im Vergleich zu Diesel [17]

CHEMISCHE EIGENSCHAFTEN

Im Unterschied zu Diesel besteht RME nicht aus Kohlenwasserstoffverbindungen, sondern ist ein Ester. Bei Betrachtung der in **Tabelle 3** zusammengefassten Kraftstoffeigenschaften von RME ist zu erkennen, dass gegenüber Dieseldieselkraftstoff

- die Dichte rund 5% höher liegt.
- der Energieinhalt eines Liters rund 7% niedriger liegt.
- die Viskosität rund 42% höher ist.
- keine Aromaten und Polyaromaten enthalten sind.

Bedeutend ist, dass RME im Gegensatz zu Diesel rund 11% Sauerstoff enthält, was den massebezogenen Bedarf an Verbrennungsluft entsprechend reduziert. Der energiebezogene Bedarf bleibt dabei unverändert. Der Sauerstoffanteil bewirkt eine massebezogene Verringerung des Heizwertes um 12%. Die höhere Dichte von RME kompensiert diesen Effekt teilweise bis zu einer verbleibenden Differenz des volumetrischen Energieinhaltes von rund 7%. [20]

Kennwerte	Einheit	Diesel	[21]	[22]	[23]	[24]	[3]*	RME**
Dichte bei 15°C	kg/l	0,84	0,88	0,89	0,89	0,88-0,9	0,86-0,9	0,88
Unterer Heizwert	MJ/l	35,8	32,65	33,2	34		-	33,3
Unterer Heizwert	MJ/kg	42,6	37,1	37,5	38	37,2	-	37,32
Viskosität bei 40°C	mm ² /s	3,1	-	4,5	4,5	3,5-5	3,5-5	4,4
Cetanzahl	-	53	56	51	51	49-62	≥ 51	53,8
Flammpunkt	°C	80	120	-	-	153-179	≥ 120	150,7
Aromatengehalt	Gew. %	23,2	-	0	-	-	-	0
Polyaromatengehalt	Gew. %	2	-	0	0	-	-	0
Schwefelgehalt	mg/kg	< 10	-	< 10	< 10	-	≤ 10	< 10
Estergehalt	%	-	-	-	-	-	≥ 96,5	-
Kraftstoff-äquivalent	Liter Diesel	1	0,91	0,94	0,94	-	-	0,93

* ÖNORM EN 14214 (für FAME; nicht nur RME)
** Mittelwert

Tabelle 3: Chemische Eigenschaften von RME im Vergleich zu Diesel

In **Abbildung 5** wird der Siedeverlauf von RME und Diesel gegenüber gestellt. Es kann festgehalten werden, dass der Siedebeginn im Vergleich zu Dieseldieselkraftstoff auf einem deutlich höheren Temperaturniveau liegt. Dieses höhere Niveau bleibt relativ konstant, bis es bei 100% Verdampfung mit Diesel gleich auf liegt.

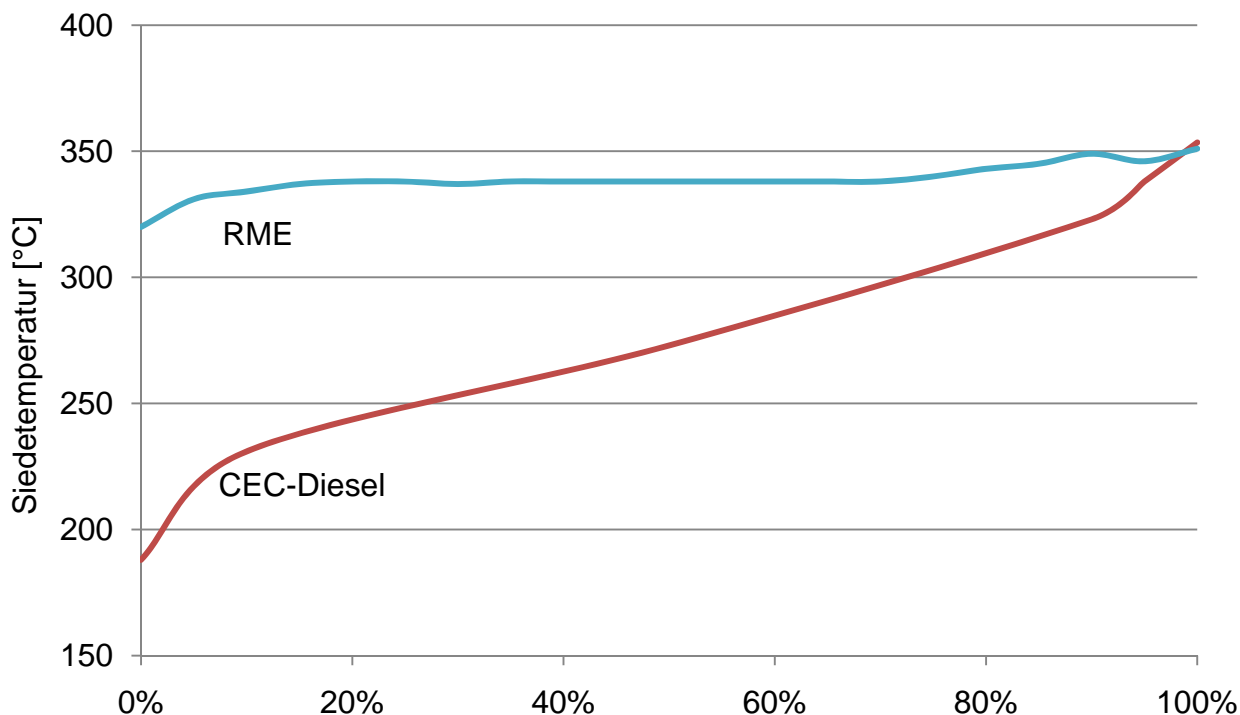


Abbildung 5: Siedeverlauf von CEC-Diesel und RME - Verdampfter Kraftstoff in % ([25], [26])

TECHNISCHE EIGENSCHAFTEN

Lösungsmittleigenschaften:

RME wirkt aufgrund seiner chemischen Zusammensetzung als Lösungsmittel, bzw. Weichmacher und wird als solches in der technischen Industrie verwendet. Sofern kraftstoffführende Schläuche und Dichtungen nicht aus lösungsmittelbeständigen Materialien bestehen, werden diese angegriffen. RME löst dabei den in den Bauteilen enthaltenen Weichmacher (zur Vermeidung von Sprödheit) heraus. [27], [28]

Die Lösungsmittelwirkung von RME löst zudem Altablagerungen von Diesel im Tanksystem, sodass es unmittelbar nach der Umstellung auf RME zu einer Verstopfung des Kraftstofffilters kommen kann. [28], [29]

Kraftstoffeintrag ins Motoröl:

Verbrennungsmotoren führen über die Zylinderwände Kraftstoff in das Motoröl ab. Im Fall von Diesel verdampft der ins Motoröl eingetragene Kraftstoff bei Betriebstemperatur. Aufgrund des in **Abbildung 5** dargestellten höheren Siedebeginns von RME kommt es nicht zu dieser Verdampfung; es verbleibt im Motoröl. Dies führt zu einer kontinuierlichen Ölverdünnung und dadurch zu einer Verschlechterung der Schmiereigenschaften des Motoröls. [30], [28]

Das im Motoröl gebundene, (im Vergleich zu Diesel) chemisch weniger stabile RME zersetzt sich zudem an Stellen mit besonders hoher Temperatur (Ventile, Einspritzdüsen, Kolben, Kolbenringe u.a.) ab, was zur Verkokung (Ablagerungen) am Motor und zur teilweisen Polymerisation (Auflösung) des Motoröls führt. [31], [28]

Alterungsunbeständigkeit:

RME weist eine schlechte Alterungsbeständigkeit auf. Bei längerer Lagerung verschlechtern Oxidation, Wasseranreicherung und Bakterienbefall die Eigenschaften von RME. RME hat die Fähigkeit Wasser aufzunehmen, was den Wassergehalt im Kraftstoff erhöht und zugleich das Bakterienwachstum fördert. [28]

Eine Beimischung von 5 Vol.% FAME zu Diesel wird von den Kraftfahrzeugherstellern als unbedenklich bewertet. In der ÖNORM EN590 [2] wird dies durch eine zulässige Beimischungsquote von 5% Vol.% FAME entsprechend berücksichtigt. Die Änderung der Kraftstoffverordnung erfordert darüber hinausgehend ab 1. Jän. 2009 die Substitution von 6,3% (energetisch) des Dieselkraftstoffes durch Biokraftstoffe oder andere erneuerbare Kraftstoffe [32]. Eine entsprechende Anpassung der Kraftstoffnorm erfolgte in [33]. Darin wird die zulässige Beimischung von FAME auf 7 Vol.% angehoben. Seitens der Kraftfahrzeughersteller wird dieses Maß an Beimischung freigegeben. [34] Eine weitere Erhöhung des FAME-Anteils wird für eine uneingeschränkte Anwendung in der Kraftfahrzeugflotte jedoch ausgeschlossen. [35], [36]

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] **Tober, W.:** Abschlussbericht "Einsatz und Potenzial von biogenen Designerkraftstoffen – BTL (Biomass to Liquid) im Motoreneinsatz" Teilbericht zum Arbeitspaket 9 - Erstellen einer Ökobilanz (Life Cycle Assessment - LCA) für BTL. Wien: TU Wien, Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Kraftfahrzeugbau, 2009. B09012.
- [2] **Österreichisches Normungsinstitut:** ÖNORM EN 590, Kraftstoffe für Kraftfahrzeuge - Dieselmotoren - Anforderungen und Prüfverfahren. Wien: Österreichisches Normungsinstitut, 2004. EN 590:2004.
- [3] **Österreichisches Normungsinstitut:** ÖNORM EN 14214, Kraftstoffe für Kraftfahrzeuge - Fettsäure-Methylester (FAME) für Dieselmotoren - Anforderungen und Prüfverfahren. Wien: Österreichisches Normungsinstitut, 2003. EN 14214:2003.
- [4] **Greenpeace:** FACTS_ENERGIE: Agrotreibstoffe - Urwaldabholzung für Österreichs Biodiesel? Wien: Greenpeace, 2008.
- [5] **Amatruda, L.:** Oil and fats for food, fuels and products. *European Conference on Biofinery Research*. Helsinki: European Commission - Community Research, 2006.
- [6] **Kemnitz, D.:** Biokraftstoffe in Deutschland - Situation und Perspektiven. *Fachtagung - Biokraftstoffe in der Forstwirtschaft - Technik, Ökologie und Wirtschaftlichkeit*. Kassel: Initiative Biokraftstoffe-Hessen, 2008.
- [7] **Krause, F.:** BIODIESEL - eine österreichische Innovation als Beispiel für die nachhaltige Nutzung erneuerbarer Energie. Graz: Institut für Volkswirtschaftslehre und Volkswirtschaftspolitik der Universität Graz, 2003. Diplomarbeit.
- [8] **Schuster, W., H., et al:** Ölpflanzen in Europa. Frankfurt: Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft Verlags-GmbH, 1992. ISBN 3769005015, 9783769005011.
- [9] **Eltrop, L., et al:** Leitfaden Bioenergie. [Hrsg.] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR). Gülzow: Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung und der Fichtner GmbH & Co. KG, 2005. Datensammlung. ISBN-10: 3000153896, ISBN-13: 978-3000153891.
- [10] **Worldwatch Institute:** Biofuels for Transport - Global potential and implications for sustainable energy and agriculture. Washington: London, 2007. ISBN-10: 1844074226, ISBN-13: 978-1844074228.
- [11] **Arbeitsgemeinschaft Bio-Rohstoffe Witzenhausen:** Potentiale und Perspektiven einer regionalen Erzeugung von Kraftstoffen aus Biomasse in Nordhessen. Wiesbaden: Hessisches Ministerium für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz, 2006.
- [12] **Ahn, E.:** Biodiesel Produktion in Österreich. *Biotreibstoffe 2020*. Wien: Österreichischer Biomasseverband, 2007.
- [13] **Knothe, G.:** Historical perspectives on vegetable oil-based diesel fuels. [Hrsg.] The American Oil Chemists' Society (AOCS). *International News on Fats, Oils, and Related Materials (inform)*. 11 2001, Volume 12, S. 1103-1107.
- [14] **Markolwitz, M, et al:** Herstellung von Biodiesel mit Alkoholat-Katalysatoren. [Hrsg.] Degussa Aktiengesellschaft. *Fuels 2003 Konferenz*. Niederkassel-Lülsdorf: Technische Akademie Esslingen, 2003.
- [15] **ARGE Biokraft:** Arbeitsgemeinschaft Flüssige Biokraftstoffe. [Online] [Zitat vom: 26. 11 2008.] http://portal.wko.at/wk/format_detail.wk?angid=1&stid=411327&dstid=8458&opennavid=43196.
- [16] **Böhme, W.:** NExBTL - Stand der Entwicklung und Potentiale. *Alternative Treibstoffe im Öffentlicher Personennahverkehr*. Stuttgart: VDV-Akademie, 2008.
- [17] **Andreas, C., M., et al:** Ökobilanz für die Biodieselherstellung aus tierischen Fetten. Lünen: ecoMotion GmbH, 2003. Auszug aus dem Abschlussbericht "Erstellung einer Ökobilanz für die Biodieselbereitstellung aus tierischen Fetten und Bewertung der Umweltfreundlichkeit" der Universität Rostock, Fachbereich Agrarökologie, Institut für Agrarökonomie und Verfahrenstechnik.
- [18] **Krahl, J., et al:** Untersuchungen der Emissionen von Biodiesel und neuen Dieselmotoren. *Fachtagung, Bioenergie - Umweltfreundliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe*. Coburg: Bayerische Landesamt für Umwelt, 2006.
- [19] **Krahl, J., et al:** Biodiesel - Ein Meilenstein auf dem Weg zur nachhaltigen Mobilität. *Ringvorlesung "Energien für die Zukunft"*. Braunschweig: Technische Universität Braunschweig, 2007.
- [20] **Gloxin, A., et al:** Biodiesel und Sportschiffahrt in der Euregio Bodensee. Konstanz: Fachhochschule Konstanz, Institut für Verbrennungsmotoren, 2000.
- [21] **FNR:** Basisdaten Biokraftstoffe. Gülzow: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), 2005.
- [22] **Neville, F.:** NExBTL - A 2nd Generation Renewable Diesel. *Public Workshop on California's Bioenergy Action Plan*. Sacramento: California Energy Commission's, 2007.
- [23] **Rantanen, L., et al:** NExBTL - Biodiesel fuel of the second generation. Detroit: SAE International, 2005. SAE 2005-01-3771.

- [24] **Mittelbach, M., et al:** *Biodiesel: The Comprehensive Handbook*. Graz: University of Michigan, 2004. ISBN 3200002492, 9783200002494.
- [25] **Möltner, L.:** *Einsatz und Potential von biogenen Designerkraftstoffen – BTL (Biomass to liquid) im Motoreinsatz*. Wien: Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Kraftfahrzeugbau der TU-Wien, 2008. Forschungsprojekt.
- [26] **Keppeler, S.:** *Nächste Generation Biokraftstoffe auf dem Weg zu höheren Biokraftstoffanteilen. Kraft- und Schmierstoffe*. Hamburg: MTZ/ATZ Fachkonferenz, 2007.
- [27] **Haupt, J., et al:** *Biodiesel - Fahrzeuge erfolgreich mit Biodiesel betreiben - Anforderungen an FAME aus der Sicht der Produktqualität*. Berlin: AGQM Arbeitsgemeinschaft Qualitätsmanagement Biodiesel e.V., 2006.
- [28] **Winkler, M.:** *Biodieseleinsatz in modernen Maschinen aus Sicht der DEUTZ AG*. Köln: DEUTZ AG, 2008.
- [29] **ufop:** *Biodiesel - Fakten und Argumente*. Berlin: Union zur Förderung von Öl- und Proteinpflanzen e.V., 2005.
- [30] **Garbe, T.:** *Senkung der Emissionen eines PKW mit direkteinspritzendem Dieselmotor durch Verwendung von Kraftstoffen mit abgestimmtem Siede – und Zündverhalten*. Hannover: Universität Hannover, Fachbereich Chemie, 2002. Dissertation.
- [31] **ufop:** *Freigaben der Nutzfahrzeughersteller für den Betrieb mit reinem Biodiesel*. Berlin: Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanze e. V. (UFOP), 2006.
- [32] **Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft:** *Entwurf - Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, mit der die Kraftstoffverordnung 1999 geändert wird*. Wien: Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 2008.
- [33] **Österreichisches Normungsinstitut:** *ÖNORM C 1590, Kraftstoffe für Kraftfahrzeuge - Dieselmotorkraftstoff B7*. Wien: Österreichisches Normungsinstitut, 2008. ÖNORM C 1590:2008.
- [34] **Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz:** *Roadmap Biokraftstoffe*. Bonn: Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, 2007.
- [35] **Geringer, B.:** *Skriptum zur Vorlesung 315.018 - Verbrennungskraftmaschinen Grundzüge*. Wien: Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Kraftfahrzeugbau der TU Wien, 2006. B06006.
- [36] **VDA:** *Auto Jahresbericht 2008*. Frankfurt: Verband der Automobilindustrie e. V. (VDA), 2008. ISSN 0171-4317.

5.1.3. HYDRIERTES PFLANZENÖL (HYDROTREATED VEGETABLE OIL, HVO)

ALLGEMEINES [1].

Hydriertes Pflanzenöl basiert, wie bereits der Name verrät, analog zu FAME auf Pflanzenölen, aber auch auf Tierfetten und Altspeiseölen. Der Herstellungsprozess unterscheidet sich jedoch von der FAME-Produktion, sodass ein hochwertiges Kohlenwasserstoffgemisch entsteht, dessen Siedeverlauf zu Diesel sehr ähnlich liegt. HVO wird als Kraftstoff der 1. bis 2. Generation gewertet. Das Produktionsverfahren und der Output entsprechen den Ansprüchen der 2. Generation. Die ausschließliche Verwertung der Pflanzenfrucht steht aber für einen Kraftstoff der 1. Generation. [2]

Diese noch sehr junge Kraftstoffart wird derzeit von einem Hersteller (Neste Oil) in Kleinstmengen produziert und steht am Beginn der Markteinführung. [3]

ROHSTOFFE

Wie in der Einleitung bemerkt, sind die Rohstoffe von HVO-Kraftstoffen und FAME ident. Auf Anfrage gibt der Hersteller Neste Oil bekannt, dass wie in **Abbildung 1** dargestellt, der Rohstoffbedarf derzeit vorwiegend über Palmöl gedeckt wird. In zunehmendem Maße sollen Rapsöl aus europäischer Erzeugung und Tierfett das wegen seiner Produktionsbedingungen stark kritisierte Palmöl ersetzen. [4]

Vor allem die Deckungsgleichheit im Bereich der Rohstoffe mit FAME sorgt für den Bedarf an Palmöl. Ein angestellter Vergleich zwischen dem Bedarf an Agrarflächen für den Rapsanbau und den Flächenressourcen lässt keine umfangreichen Reserven für die Rapsproduktion zur HVO-Herstellung erwarten.

Durch das bei der HVO-Herstellung vorwiegend verwendete Palmöl liegt der Flächenertrag mit 5.000 bis 6.000 Liter pro Hektar deutlich höher als bei Raps. [5]

Im Gegensatz zu Rapsöl weist Palmöl, welches aus dem Fruchtfleisch der Ölpalme gewonnen wird, einen, wie in **Tabelle 1** dargestellt, mit rund 45% sehr hohen Anteil gesättigter Fettsäuren auf. Der Prozentsatz ungesättigter Fettsäuren liegt bei etwa 55%. Aus den Kernen der Palmölfrucht kann ebenfalls Öl gewonnen werden, welches zu circa 80% aus gesättigter Laurinsäure besteht. [6]

Mit einem durchschnittlichen Ertrag von 3,5-5 Tonnen Öl pro Hektar zählt die Ölpalme zu den ertragreichsten Ölpflanzen. Bei mittleren Jahresniederschlägen zwischen 1.500-3.000 mm und einer mittleren relativen Luftfeuchtigkeit von 50-70% wächst die Ölpalme auf tiefgründigen und gut drainierten Böden am besten. [7] Angebaut wird die Ölpalme primär auf Plantagen in Südostasien, Afrika und Südamerika. [8]

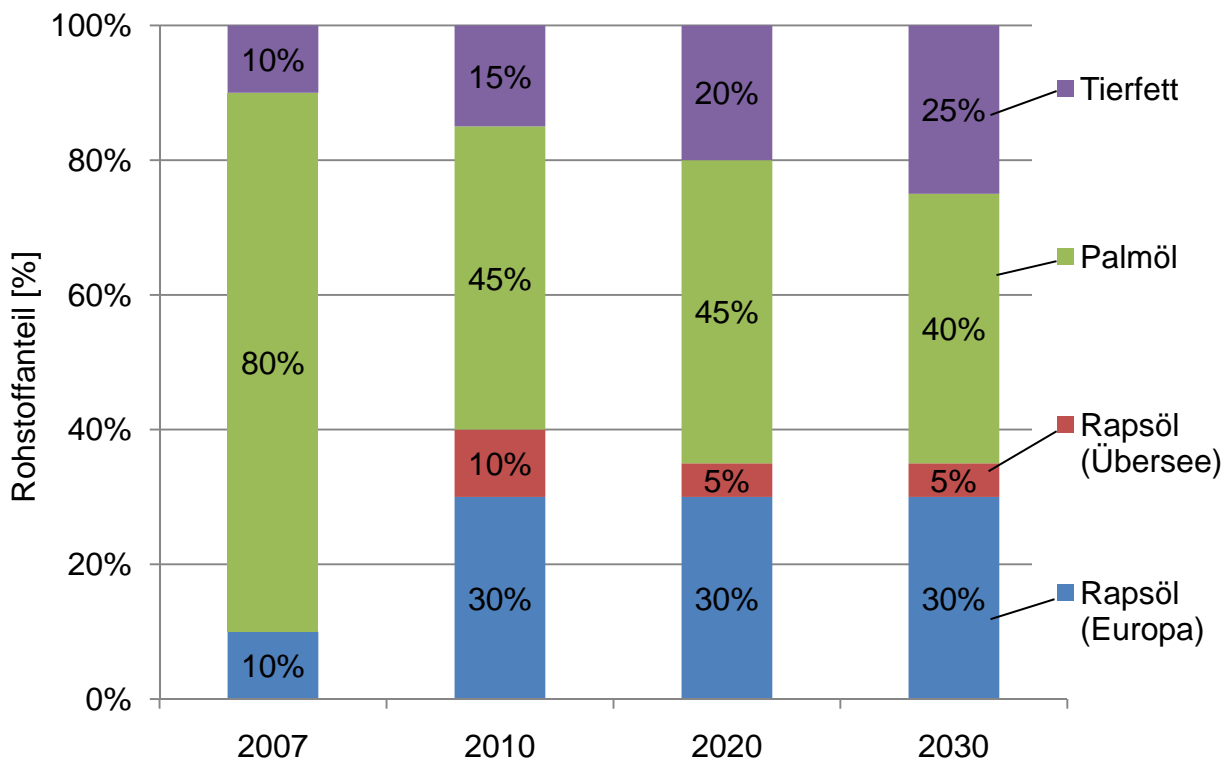


Abbildung 1: HVO Rohstoffmix nach Neste Oil [4]

Pflanzenart	Fett- gehalt %	gesättigte Fettsäuren			ungesättigte Fettsäuren	
		Myristinsäure C 14:0	Palmitinsäure C 16:0	Stearinsäure C 18:0	Monoenfettsäuren Ölsäure C 18:1	Polyenfettsäuren Linolsäure C 18:2
		Baumgewächs				
Palmöl	-	1,5	34-45	5	37-50	9

Tabelle 1: Fettgehalt und Fettsäurezusammensetzung von Palmöl [6]

HERSTELLUNGSVERFAHREN

Im Unterschied zur FAME-Herstellung wird das Pflanzenöl, bzw. Altspiseöl oder Tierfett nach einer Vorbehandlung mit Phosphorsäure (H_3PO_4) und Natronlauge (NaOH) bei einer Temperatur von 320 bis 360°C und unter einem Druck von 20 bis 80 bar am Katalysator mit zugeführtem Wasserstoff zu einem Kohlenwasserstoffgemisch hydriert. Dieser Prozess ist aus der Mineralölindustrie bekannt. Die chemischen Zusammenhänge zwischen Input und Output sind in **Abbildung 2** dargestellt. [9]

Für die Herstellung der gleichen Outputmenge ist bei der HVO-Produktion der Rohstoffeinsatz höher als bei der FAME-Erzeugung. Für eine Kraftstoffmenge von 200.000 Tonnen HVO werden 230.000 Tonnen Rohstoffe eingesetzt (bei FAME 221.000 Tonnen).

Die Anlagenkosten sind dagegen um das drei bis vierfache höher als bei FAME-Anlagen gleichen Outputs. Die Kosten für eine 200.000 Tonnen HVO-Anlage liegen bei rund 180 Mio. € (FAME 50 Mio. €). [9]

Da der Hydrierungsprozess auch Teil der Dieselherstellung ist, kann die HVO Herstellung in die Kraftstoffproduktion einer fossilen Raffinerie integriert werden. Verfahrenstechnisch wird die gemeinsame Hydrierung von Pflanzenölen und Mineralöl als Co-Processing bezeichnet und bringt vor allem wirtschaftliche Vorteile, da bestehende Anlagen genützt werden können. [10]

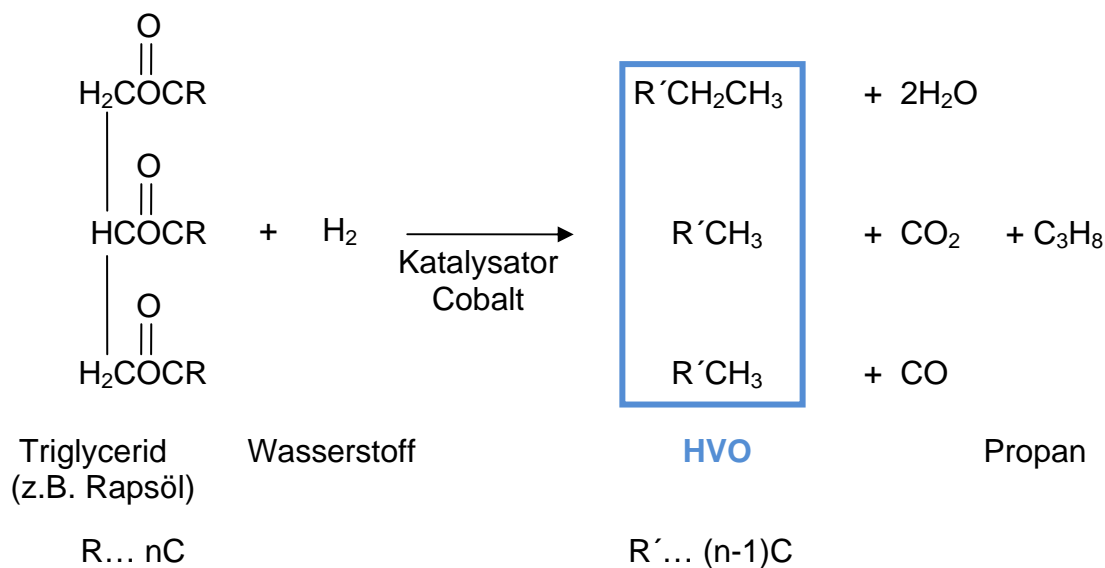


Abbildung 2: HVO-Herstellung - Chemischer Prozess [11]

VERFÜGBARKEIT

Neste Oil nahm die erste HVO Produktionsstätte im Jahr 2007 in Betrieb. Die derzeit verfügbaren Kraftstoffmengen sind europaweit noch nicht relevant. Infolge der technischen Begrenzung von max. 7% FAME im handelsüblichen Dieselkraftstoff bestehen indessen Bestrebungen eine Beimischungsquote von 10% über die Zugabe von 3% hydriertem Pflanzenöl zu erreichen. Um die benötigten Mengen darstellen zu können, sollen auch mittels Co-Processing hergestellte hydrierte Pflanzenöle der Substitutionsquote angerechnet werden. [12]

UMWELTWIRKUNG UND NACHHALTIGKEIT

Die Datenlage zu den Umweltwirkungen (insbesondere in der motorischen Verbrennung) von HVO ist aufgrund der geringen Verfügbarkeit des Kraftstoffes noch sehr gering. Es können dessen ungeachtet bereits Trends festgehalten werden.

Aufgrund des gleichen Rohstoffbedarfs wie bei Herstellung von RME sind auch diesem Kraftstoff negative Auswirkungen auf die Eutrophierung (Nährstoffanreicherung) der Gewässer und die Versauerung der Böden infolge der intensiven Stickstoffdüngung in der Phase des Rohstoffanbaues anzulasten.

Umweltvorteile stellen sich dagegen im Bereich der Treibhauswirksamkeit und des Ressourcenverbrauches dar. Im Zuge des Pflanzenwachstums wird der Umwelt CO_2

entnommen, welches bei der Verbrennung von HVO wieder freigesetzt wird. Dieser geschlossene Kreislauf wird durch Anbau, Düngung etc. unterbrochen, sodass auch dieser Kraftstoff keine ausgeglichene CO₂-Bilanz aufweisen kann. [13]

Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass die HVO Produktionsstätten im besonderen Maße auf eine treibhausgasfreie Herstellung ausgelegt sind. Eine optimale Abstimmung der Verfahrensschritte und die Verwendung von biogenen Energieträgern reduzieren den CO₂ Ausstoß auf ein Minimum. [14]

Wie in **Abbildung 3** dargestellt, können durch die Verwendung von HVO die limitierten und nicht limitierten Abgasemissionen zum Teil deutlich reduziert werden. Leistung, Drehmoment und Verbrauch bleiben im Vergleich zu Dieselmotoren etwa gleich. [15]

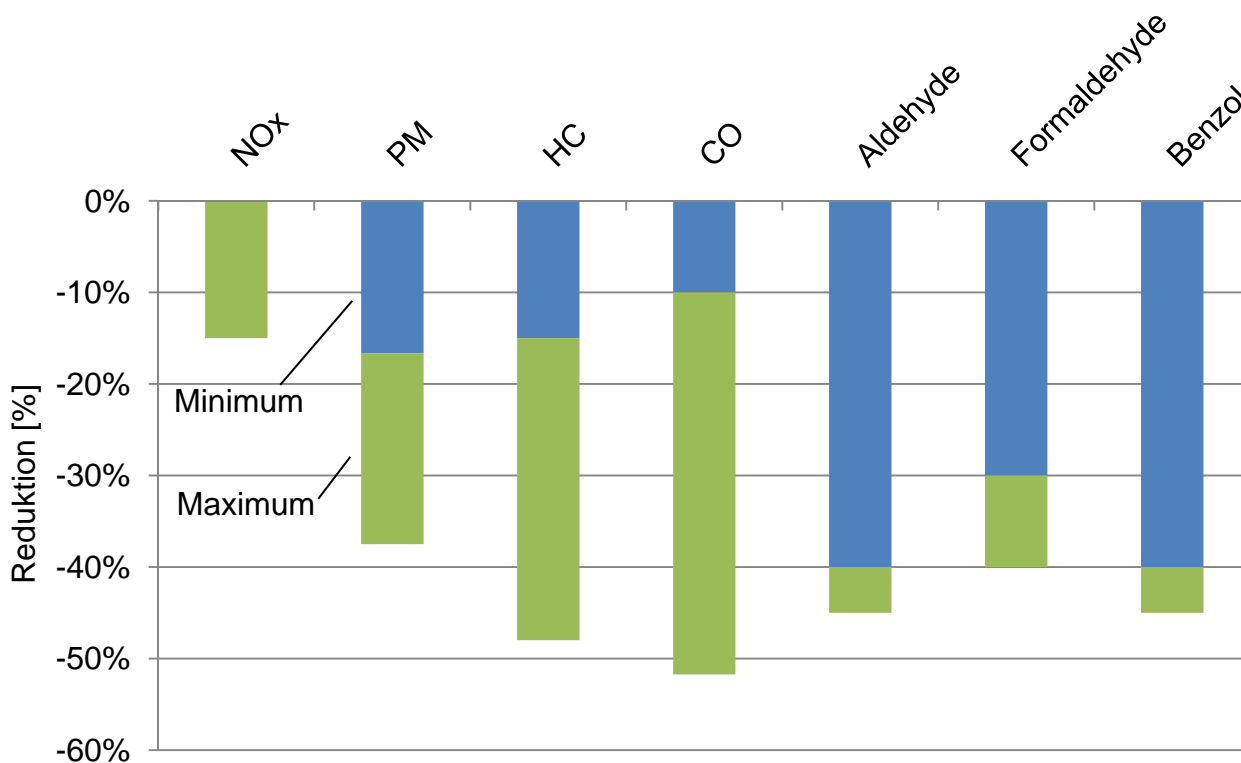


Abbildung 3: Änderung der Abgasemissionen bei Verwendung von HVO statt Diesel [16], [17], [14], [15], [18]

Das annähernd gleiche Output-zu-Input-Verhältnis von HVO und RME lässt ein analoges Potenzial im Bereich des Ressourcenverbrauchs erwarten.

Zu den Aspekten der Versauerung und dem Photosmog konnten bisher keine relevanten Informationen ermittelt werden. Aufgrund der Rohstoffgleichheit mit FAME sind für die Versauerung allerdings Werte in einer ähnlichen Größenordnung zu vermuten.

CHEMISCHE EIGENSCHAFTEN

Wie Dieselkraftstoff basiert HVO auf langkettigen gesättigten (Alkane C_nH_{2n+2}), Kohlenwasserstoffen. [9] Der Kraftstoff enthält keinen Sauerstoff und keinen Stickstoff. [17]

Bei Betrachtung der in **Tabelle 2** zusammengefassten Kraftstoffeigenschaften von HVO ist zu erkennen, dass gegenüber Dieselkraftstoff

- die Dichte rund 7% niedriger liegt.
- der Energieinhalt eines Liters rund 4,5% niedriger ist.
- die Cetanzahl rund 66% höher liegt.
- keine Aromaten und Polyaromaten enthalten sind.
- kein Schwefel (< 1 mg/kg) enthalten ist.

Kennwerte	Einheit	Diesel	[16]	[17]	[19]	[20]	HVO**
Dichte bei 15°C	kg/l	0,84	0,78-0,79	0,78-0,79	0,78	0,777	0,78
Unterer Heizwert	MJ/l	35,8	34,4	34	-	-	34,2
Unterer Heizwert	MJ/kg	42,6	44	44	-	44,02	44,02
Viskosität bei 40°C	mm ² /s	3,1	2,9-3,5	2,9-3,5	3,4	-	3,2
Cetanzahl	-	53	80-99*	84-99*	-	79	88
Flammpunkt	°C	80	-	-	-	-	-
Aromaten-gehalt	Gew. %	23,2	0	-	< 0,02	< 0,2	≈ 0
Polyaromaten-gehalt	Gew. %	2	0	0	-	-	0
Schwefelgehalt	mg/kg	< 10	< 1	0	< 1	-	≈ 0
Verhältnis C/H	Mass%	6	5,6	-	-	5,62	5,6
Kraftstoff-äquivalent	Liter Diesel	1	-	-	-	0,962	0,96
* Blend-Oktanzahl							
** Mittelwert							

Tabelle 2: Chemische Eigenschaften von HVO im Vergleich zu Diesel

Neben den in **Tabelle 2** dargestellten, vorrangig besseren Eigenschaften von HVO gegenüber Dieselkraftstoff stellt auch der in **Abbildung 4** dargestellte Siedeverlauf eine Verbesserung dar. Bei schnelllaufenden, modernen Dieselmotoren wirkt sich eine Absenkung des Siedeeendes positiv auf das Brennverhalten aus, sodass es zu einer Verringerung der Abgasemissionen kommt. [21]

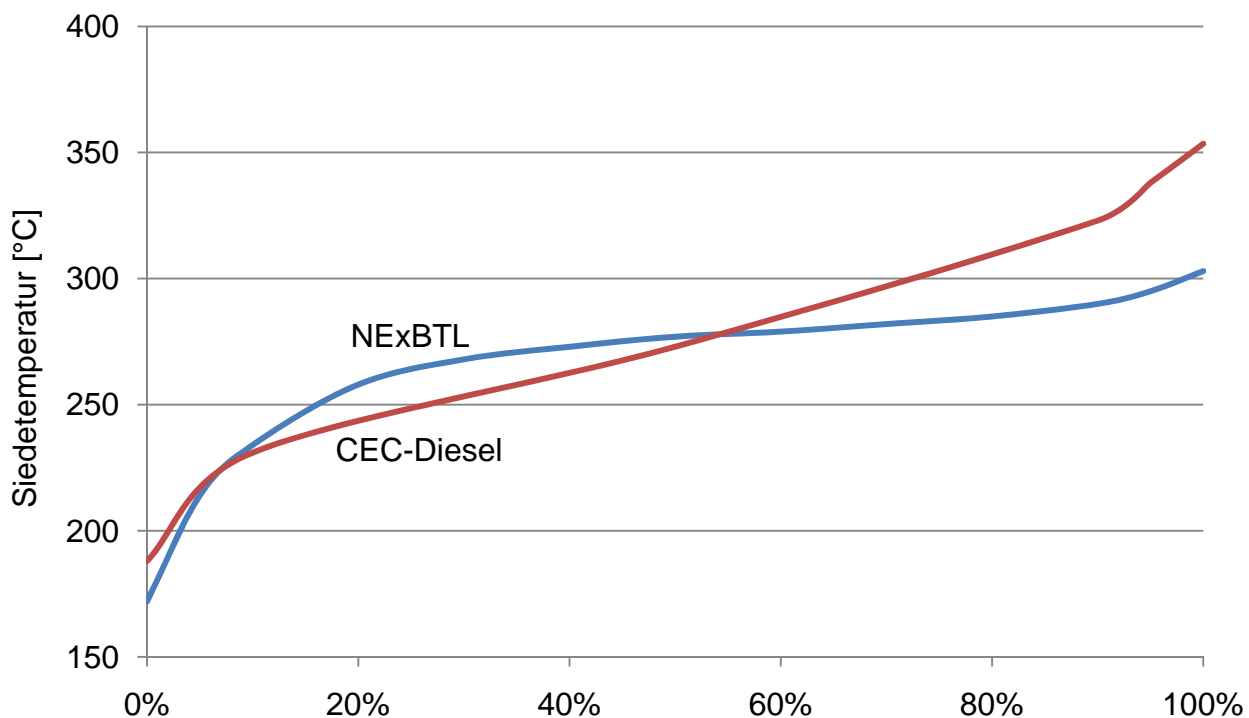


Abbildung 4: Siedeverlauf von CEC-Diesel und HVO - Verdampfter Kraftstoff in % [20]

TECHNISCHE EIGENSCHAFTEN

Die gleichartige chemische Basis (C_nH_{2n+2}) von HVO und Diesel gewährleistet, dass HVO ohne Einschränkungen in jedem Verhältnis mit Diesel gemischt oder auch als 100%-Substitut eingesetzt werden kann.[22]

Im Motorbetrieb werden mit HVO nahezu die gleichen Leistungs- und Drehmomentwerte erreicht wie bei der Verwendung von Diesel. Der volumetrische Kraftstoffverbrauch liegt dabei dichtebedingt wenige Prozentpunkte höher. Jedoch stellen sich, wie beschrieben, wesentliche Emissionsvorteile ein. [15]

Die beschriebenen Probleme bei der Verwendung von RME sind bei HVO nicht gegeben.

- HVO ist kein Lösungsmittel.
- Infolge des ähnlich niedrigen Siedebeginns (von HVO und Diesel) wird der eingetragene Kraftstoff wie beim Diesel verdampft und es kommt zu keinem bleibenden Eintrag.
- HVO ist durch seinen molekularen Aufbau und das Fehlen von Sauerstoff alterungsbeständig.

[15], [18]

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] **Tober, W.:** Abschlussbericht "Einsatz und Potenzial von biogenen Designerkraftstoffen – BTL (Biomass to Liquid) im Motoreneinsatz" Teilbericht zum Arbeitspaket 9 - Erstellen einer Ökobilanz (Life Cycle Assessment - LCA) für BTL. Wien: TU Wien, Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Kraftfahrzeugbau, 2009. B09012.
- [2] **Sauermann, P.:** *Mobilität und Verkehr in Zeiten des Klimawandels: Hydriertes Pflanzenöl als Brücke in die Kraftstoff-Zukunft.* Düsseldorf: Produktentwicklung der BP/Aral Kraftstoff-Forschung, 2007. Presseinformation.
- [3] **Kepler, S.:** Biokraftstoffe – Potentiale und aktueller Stand. *Symposium Nachwachsenden Rohstoffen – Welche Märkte haben Zukunft?* Berlin: Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, 2007.
- [4] **Honkanen, M.:** Persönliche Auskunft per Email. Porvoo: Neste Oil Corporation, 3. 7 2008.
- [5] **Worldwatch Institute:** *Biofuels for Transport - Global potential and implications for sustainable energy and agriculture.* Washington: London, 2007. ISBN-10: 1844074226, ISBN-13: 978-1844074228.
- [6] **Gruber, E.:** *Einführung in die Chemie, Ökologie und Ökonomie der Nachwachsenden Rohstoffe.* Darmstadt: Ernst Berl-Institut für Technische und Makromolekulare Chemie, TU Darmstadt, 2000. Unterlagen zur Vorlesung.
- [7] **Reinhardt, G. et al:** *Regenwald für Biodiesel? Ökologische Auswirkungen der energetischen Nutzung von Palmöl.* Frankfurt: WWF Deutschland, 2007.
- [8] **Graser, S. et al:** Agrarmärkte 2007. [Hrsg.] Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL). *LfL-Schriftenreihe.* 2008, Schriftenreihe 4/008.
- [9] **Böhme, W.:** NExBTL - Stand der Entwicklung und Potentiale. *Alternative Treibstoffe im Öffentlicher Personennahverkehr.* Stuttgart: VDV-Akademie, 2008.
- [10] **Weindorf, W.:** *Vergleichende Betrachtung der Herstellung von Biodiesel und im Co-Processing hydrierten Pflanzenölen.* Ottobrunn: Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH, 2008.
- [11] **Neville, F., et al:** NExBTL - Renewable Synthetic Diesel. *Technology Symposium.* Sacramento: Climate Action Team, 2006.
- [12] **Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz:** *Roadmap Biokraftstoffe.* Bonn: Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, 2007.
- [13] **Andreas, C., M., et al:** *Ökobilanz für die Biodieselherstellung aus tierischen Fetten.* Lünen: ecoMotion GmbH, 2003. Auszug aus dem Abschlussbericht "Erstellung einer Ökobilanz für die Biodieselbereitstellung aus tierischen Fetten und Bewertung der Umweltfreundlichkeit" der Universität Rostock, Fachbereich Agrarökologie, Institut für Agrarökonomie und Verfahrenstechnik.
- [14] **Honkanen, S.:** NExBTL renewable diesel: Focus on new biofuel - The Product and View on Sustainability. *Market Chances of Biofuels.* Rotterdam: Neste Oil, 2008.
- [15] **Geringer, B.:** Einsatz von Biotreibstoffen in der Automobilindustrie. *Biosprit - Tank oder Teller?* Wien: Österreichische Volkspartei, 2008.
- [16] **Neville, F.:** NExBTL - A 2nd Generation Renewable Diesel. *Public Workshop on California's Bioenergy Action Plan.* Sacramento: California Energy Commission's, 2007.
- [17] **Rantanen, L., et al:** *NExBTL - Biodiesel fuel of the second generation.* Detroit: SAE International, 2005. SAE 2005-01-3771.
- [18] **Turpeinen, H.:** Biodiesel from oil and animal tallow - NExBTL synthetic biodiesel. *LA-EU Biofuels Research Workshop.* Campinas: Centre for Strategic Studies and Management – CGEE, 2007.
- [19] **Rothe, D.:** *Physikalische und chemische Charakterisierung der Rußpartikelemission von Nutzfahrzeugdieselmotoren und Methoden zur Emissionsminderung.* München: Lehrstuhl für Hydrochemie, Hydrogeologie und Umweltanalytik der Technischen Universität München, 2006. Dissertation.
- [20] **Möltner, L.:** *Einsatz und Potential von biogenen Designerkraftstoffen – BTL (Biomass to liquid) im Motoreneinsatz.* Wien: Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Kraftfahrzeugbau der TU-Wien, 2008. Forschungsprojekt.
- [21] **Mollenhauser, K., et al:** *Handbuch Dieselmotoren.* Berlin: Springer Verlag, 2007. ISBN 978-3-540-72164-2.
- [22] **Gatermann, R., et al:** VDI Nachrichten. [Online] 11. 4 2008. [Zitat vom: 3. 11 2008.] http://www.vdi-nachrichten.com/vdi_nachrichten/aktuelle_ausgabe/akt_ausg_detail.asp?cat=2&id=37992&source=paging&cp=1.

5.2. ALTERNATIVE OTTOKRAFTSTOFFE

5.2.1. BIO-ETHANOL: DER BOKRAFTSTOFF FÜR DEN OTTOMOTOR

ALLGEMEINES

Bio-Ethanol zählt, je nachdem woraus und wie es gewonnen wird, zu den Kraftstoffen der 1. oder 2. Generation. Wird es nur aus den Pflanzenfrüchten (z.B. Weizen, Zuckerrüben oder Zuckerrohr) gewonnen, wird der Kraftstoff der ersten Generation zugeordnet. Wird hingegen nicht nur die Frucht sondern die ganze Pflanze bzw. Zellulose (Lignozellulose) verwendet, zählt es zur zweiten Generation. [1]

Im Folgenden werden die wesentlichen Vor- und Nachteile von Bio-Ethanol der ersten und zweiten Generation zusammengefasst. [2]

Vorteile von Bio-Ethanol der 1. Generation:

- Einsatz in verschiedenen Mischungsverhältnissen mit Benzin möglich
 - E5 bzw. 10
 - E85
 - E100 (z.B. in Brasilien)
 - ETBE (Zur Erhöhung der Oktanzahl)
- Die eingesetzten Technologien und die großtechnische Produktion ist ausgereift.
- Die Anbaubedingungen für Getreide und Zuckerrüben sind in Zentraleuropa sehr gut.
- Das Rohstoffpotenzial für Getreide und Zuckerrüben ist groß und die Importmöglichkeiten des Rohstoffs und des Biokraftstoffs sind umfassend.
- Als Nebenprodukt wird zusätzlich Futtermittel produziert.

Nachteile von Bio-Ethanol der 1. Generation:

- Die Europäische Bio-Ethanolproduktion (aus Getreide und Zuckerrüben) ist im Vergleich zur brasilianischen (aus Zuckerrohr) nicht wettbewerbsfähig.
- Die Beimischung von Bio-Ethanol zu Benzin verursacht Mehrkosten für die Mineralölindustrie.
- Beimischungsquoten über 10 % erfordern eine eigene Tankstelleninfrastruktur.
- Ein sehr kontrovers diskutiertes Thema betrifft die Konkurrenzsituation mit der Nahrungsmittelproduktion um die Anbauflächen für die Rohstoffe zur Produktion der ersten Bio-Ethanolgeneration.

Vorteile von Bio-Ethanol der 2. Generation:

- Einsatz in verschiedenen Mischungsverhältnissen mit Benzin möglich
 - E5 bzw. 10
 - E85
 - E100 (z.B. in Brasilien)
 - ETBE (zur Erhöhung der Oktanzahl)
- Es sind hohe Kraftstoffträge pro Hektar erreichbar.
- Es liegt ein hohes Rohstoffpotenzial vor.
- Die Verwendung von zellulosehaltigen Rest- und Abfallstoffen ist möglich.
- Der Vorwurf einer Konkurrenz mit Nahrungsmitteln wird entschärft.

Nachteile von Bio-Ethanol der 2. Generation:

- Die Produktion der zweiten Generation ist im Vergleich zur brasilianischen Produktion und den heute in Europa angewendeten Produktionsverfahren nicht wettbewerbsfähig.
- Die Beimischung von Bio-Ethanol zu Benzin verursacht Mehrkosten für die Mineralölindustrie.
- Beimischungsquoten über 10 % erfordern eine eigene Tankstelleninfrastruktur.
- Auch hier ist eine mögliche Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion kritisch zu betrachten.

ROHSTOFFE

Für die Herstellung von Ethanol eignen sich zahlreiche Rohstoffe wie:

- Weizen
- Roggen
- Gerste
- Triticale
- Mais
- Zuckerrüben
- Zuckerrohr
- Cassava
- Cellulose
- Algen

Bewertet werden die verschiedenen Rohstoff/Herstellungspfade nach folgenden Kriterien.

- Kraftstoffenergieertrag
- Nettoenergieertrag
- Erzeugung/Marktanteil
- Produktionskosten
- Internationale Wettbewerbsfähigkeit
- Treibhausgas-Einsparungspotenzial
- Treibhausgas-Vermeidungskosten

Weitere Details sind [2] zu entnehmen.

Wesentlich für die Bio-Ethanolherstellung der 1. Generation ist die Verwendung von Zucker oder stärkehaltiger Rohstoffe. Die Herstellung von Bioethanol der 2. Generation greift hingegen auf cellulosehaltige Rohstoffe zurück.

Kurz- und mittelfristig sind in unseren Breiten Zuckerrüben und verschiedene Getreidearbeiten die geeignetsten Rohstoffe zur Bio-Ethanolherzeugung. Zuckerrüben weisen die höchste Flächenproduktivität auf. Die Emissionen über den gesamten Lebenszyklus sind jedoch ebenfalls am höchsten. Die ebenfalls sehr gut geeigneten Rohstoffe Weizen, Triticale und Roggen liefern einen relativ geringen Kraftstoffenergieertrag je Fläche. Das Emissionsniveau hingegen ist geringer. [4]

HERSTELLUNGSVERFAHREN

Abhängig vom Rohstoff ist die Gewinnung der Glucose, welche für die Ethanolproduktion erforderlich ist, unterschiedlich.

- Zuckerhaltige Rohstoffe (z.B. Zuckerrüben) werden direkt fermentiert.
- Stärkehaltige Rohstoffe (z.B. Getreide) werden in einem ersten Schritt vermahlen. Im Weiteren wird durch enzymatische Zerlegung in der Verflüssigung/Verzuckerung die Stärke in Zucker umgewandelt.
- Cellulosehaltige Rohstoffe (z.B. Stroh) werden mit Säuren und Enzyme aufgespalten.

Die Produktion von Bio-Ethanol der ersten Generation basiert auf zucker- und stärkehaltigen Rohstoffen. In der Fermentation (Gärung) wird die Maische mit Hefe versetzt. Dadurch entsteht eine alkoholische Maische mit etwa 12 % Ethanolgehalt. Mittels Destillation wird die Konzentration auf rund 95 % (Rohalkohol) gebracht. Der verbliebene Wasseranteil wird in einem Adsorptionsprozess (Trocknung) entfernt. Das Endprodukt weist eine Reinheit von über 99,95 % auf.

Für die Produktion von Bio-Ethanol der zweiten Generation (aus cellulosehaltigen Rohstoffen) werden die Cellulose und die Hemicellulosen mittels Säuren und speziellen Enzymen in einzelne Zucker gespalten. Die weiteren Schritte der Fermentation (Gärung mit Hefe), Destillation und Trocknung erfolgt in analoger Weise zur Herstellung von Bio-Ethanol der ersten Generation.

Abbildung 11 gibt den chemischen Zusammenhang zwischen Glucose und Ethanol wieder.



Abbildung 1: Chemische Formel der alkoholischen Gärung [4]

Eine detailliertere Prozessbeschreibung kann [4] entnommen werden.

VERFÜGBARKEIT

Bio-Ethanol wurde im Jahr 2008 hauptsächlich durch Beimischung zu Benzin in Verkehr gebracht. Dabei wurde Bio-Ethanol zum Teil direkt und zum Teil in Form von ETBE abgesetzt. Insgesamt wurden 84.910 Tonnen in Österreich vertrieben. Im Vergleich dazu wurden im selben Jahr 406.291 Tonnen Biodiesel abgesetzt.

Im Herbst 2007 wurden in Österreich eine großindustrielle Bio-Ethanol-Anlage mit einem Produktionsvolumen von 160.000 Tonnen (ausbaubar bis 190.000 Tonnen) erreicht. [5]

Der langfristige Engpass ist jedoch weniger bei den Produktionsstätten zu sehen, als bei den Rohstoffen. Insbesondere die Rohstoffe für Bio-Ethanol der ersten Generation stehen in einer Konkurrenzsituation zur Lebensmittelindustrie, sodass ein steigender Bedarf zukünftig zu Lieferschwierigkeiten führen kann.

UMWELTWIRKUNG UND NACHHALTIGKEIT

Tendenziell liegt das Niveau der HC- und NO_x-Emissionen im Bio-Ethanolbetrieb niedriger als im Benzinbetrieb (ausgenommen NO_x im Hochlastbereich). Bereits geringe Beimischungsquoten können zu überproportionalen Vorteilen führen. Der geringere Heizwert führt zu einem volumetrisch höheren Kraftstoffverbrauch. [6]

Das Treibhausgasreduktionspotenzial von Bio-Ethanol hängt stark vom verwendeten Rohstoff und vom Herstellungsverfahren ab und liegt etwa in einer Bandbreite von rund 30 – 85%. [8]

CHEMISCHE EIGENSCHAFTEN

Bio-Ethanol ist ein Alkohol mit der chemischen Grundformel C_2H_5OH .

Die für die motorische Verbrennung relevanten chemischen Eigenschaften von Bio-Ethanol werden in **Tabelle1** zusammengefasst.

Kennwerte	Einheit	Superethanol E85 [7]	Ethanol E100 [8]
Dichte bei 15°C	kg/l	0,78 [9]	0,79
Heizwert (Unterer Heizwert)	MJ/l		21,06
Brennwert (Obere Heizwert)	MJ/kg		26,7
Viskosität bei 20°C	mm ² /s		1,5
Research-Oktanzahl	-	≥ 95	> 100
Motor-Oktanzahl	-	≥ 85	
Oxidationsstabilität	Min.	≥ 360	
Abdampfrückstand	mg/100ml	≤ 5	
Höhere Alkohole (C ₃ bis C ₈)	Vol.%	≤ 2	
Methanol	Vol.%	≤ 1	
Ether (5 oder mehr C- Atome)	Vol.%	≤ 5,2	
Wassergehalt	Vol.%	≤ 0,3	
Anorganisches Chlor	mg/l	≤ 1	
pHe (L-Phenylalanin)	-	6,5 - 9,0	
Säure (als Essigsäure)	Mass.%	≤ 0,005	
Schwefelgehalt	mg/kg	≤ 10	

Tabelle 1: Chemische Eigenschaften von Bio-Ethanol

TECHNISCHE EIGENSCHAFTEN

Bio-Ethanol ist bis zu einem Mischungsverhältnis von 20% bei gleichzeitiger Anpassung der Leitungssysteme am Fahrzeug ohne weitere Maßnahmen einsetzbar. Der Betrieb von Otto-Motoren mit bis zu 85% Bio-Ethanol erfordert die Anpassung der Motorsteuerung. Bei der Verwendung von 100% Bio-Ethanol sind weitere Optimierungen der ottomotorischen Verbrennung durch neuentwickelte Direkteinspritz-Brennverfahren, Hochaufladung u.a.m. denkbar. Die aktuellen Beimischungsquoten sind auch für Fahrzeuge ohne Anpassung unbedenklich. [10]

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] **Buch, F.:** Alternative Kraftstoffe – Perspektiven aus Sicht der VOLKSWAGEN Aktiengesellschaft. *Trends in der Motorentechnologie 2006*. Passau: Bayern Innovativ - Gesellschaft für Innovation und Wissenstransfer mbH, 2006.
- [2] **Schmitz, N.:** *Biokraftstoffe - Eine vergleichende Analyse*. Köln: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), 2009.
- [3] **Raab, F.:** Lebensmittel versus Treibstoff – Rohstoffpotenziale für die Bioethanolproduktion. *Bioethanol als Kraftstoff*. Wien: ÖAMTC und das Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Kraftfahrzeugbau der TU Wien, 2008.
- [4] **Schmitz, N.:** *Bioethanol in Deutschland*. Münster: Landwirtschaftsverlag GmbH, 2003. ISBN 3-7843-3217-X.
- [5] **Winter, R.:** *Biokraftstoffe im Verkehrssektor 2009 - Zusammenfassung der Daten der Republik Österreich gemäß Art. 4, Abs. 1 der Richtlinie 2003/30/EG für das Berichtsjahr 2008*. Wien: Umweltbundesamt GmbH, 2009.
- [6] **Keppeler, S.:** Nächste Generation Biokraftstoffe auf dem Weg zu höheren Biokraftstoffanteilen. *Kraft- und Schmierstoffe*. Hamburg: MTZ/ATZ Fachkonferenz, 2007.
- [7] **Österreichisches Normungsinstitut:** *ÖNORM C 114, Kraftstoffe für Kraftfahrzeuge - Ottokraftstoff Superethanol E85*. Wien: Österreichisches Normungsinstitut, 2007. ÖNORM C 114:2007.
- [8] **FNR:** *Biokraftstoffe Basisdaten Deutschland*. Gülzow: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), 2008.
- [9] **Hinz, B.:** *Bioethanolblends – Eigenschaften von Kraftstoffen durch Blending mit nachhaltigem und leistungsstarkem Bioethanol*. Düsseldorf: VDI Verlag GmbH, 2006. VDI-Berichte Nr. 1975.
- [10] **Geringer, B.:** Diesel- und Ottomotorische Brennverfahren für Alternative Kraftstoffe. *Trends in der Motorentechnologie*. Passau: BAIKA Kooperationsforum, 2005.

5.2.2. CNG: COMPRESSED NATURAL GAS – ERDGAS

ALLGEMEINES [1], [2], [3]

Erdgas wird in den letzten Jahren als Kraftstoff beworben. Zum einen birgt es das Potenzial in sich, die lokalen Verkehrsemissionen zu verringern. Zum anderen kann es für eine Entspannung am Erdöl-Markt sorgen.

Der Grund für die verstärkte Nutzung der Primärenergieform Erdgas ergibt sich auch aus der guten geographischen Verteilung von Erdgas im Gegensatz zu Erdöl. Erdgas ist relativ gleichmäßig über alle Kontinente verteilt. Dieses kann die Abhängigkeit von politisch sensiblen Ländern mindern. [1]

ROHSTOFFE UND VERARBEITUNG

Unabhängig von Transportpfaden und späteren Verarbeitungs- und Veredlungsschritten wird von der Primärenergieform Erdgas ausgegangen. Die Erdgasgewinnung unterscheidet sich nach den Förderbedingungen:

- Beiprodukt bei Erdölförderung (z.B. Fackelgas)
- Förderung aus großen Erdgasfeldern
- Entlegenen kleineren Feldern (z.B. sog. Stranded Gas und Remote Gas) – jeweils noch differenziert nach off-shore und on-shore.

Erdgas besteht hauptsächlich aus Methan (CH_4 , das einfachste Alkan). Der Methananteil von hochqualitativem Gas liegt bei 99%. Bei Gas von geringer Qualität liegt der Methananteil bei 84%. Je nach Qualität findet man auch größere Mengen weiterer Alkane (Ethan, Propan, Butan, Pentan). Diese werden normalerweise bei der Förderung vom Erdgas getrennt und anderweitig genutzt. Des Weiteren findet man auch CO_2 in geringen Mengen.

Die Stoffwerte verschiedener Erdgasvorkommen können **Tabelle 1** entnommen werden.

Erdgas wird in Abhängigkeit des unteren Heizwertes (Hu) in die Kategorien

- L (low = niedrig; Hu bis etwa 35 MJ/m^3) und
- H (high = hoch; Hu über 35 MJ/m^3)

eingeteilt.

Kennwerte	Einheit	H-Gas Russland	H-Gas Nordsee	L-Gas Holland
Methan	%	98	89	84
Kohlendioxid CO_2	%	-	2	2
Stickstoff NO_2	%	1	1	10
Weitere Alkane	%	1	8	4
Dichte bei 0°C	mm^2/s	0,73	0,83	0,83
Heizwert (Unterer Heizwert)	MJ/m^3	35,9	38,8	33,4
Research-Oktanzahl	-	130	130	115

Tabelle 1: Stoffwerte von verschiedenen Erdgasvorkommen [4]

Ursache für die unterschiedlichen Heizwerte ist die Anreicherung mit Begleitkomponenten. Zu diesen Begleitstoffen zählen: nicht brennende Bestandteile (Inertgase), Kohlendioxid

(CO₂), Stickstoff (N₂), Spuren von Edelgasen, Wasserdampf und Schwefelwasserstoff (H₂S). [5]

Je nach Schwefelgehalt spricht man von

- Süßgas, welches relativ frei von Verunreinigungen ist und
- Sauregas, das einen hohen Anteil an Schwefelwasserstoff aufweist.

Zur Verarbeitung von Erdgas werden im Wesentlichen die Verfahren Trocknung und Entschwefelung eingesetzt.

Unter Trocknung wird der Entzug von Wasser verstanden. Dieser Prozessschritt ist erforderlich, um die Bildung von Methanhydrat zu vermeiden und einen konstanten Heizwert zu gewährleisten. Die Trocknung erfolgt wahlweise über die Absorption mit Glykol oder mittels Molekularsieb.

Die Abtrennung von Schwefel (und auch Kohlendioxid) erfolgt mittels Purisol-Verfahren chemisch. S und CO₂ werden gemeinsam mit der Base N-Methyl-Pyrrolidon in einem hochsiedenden Lösungsmittel gebunden. Alternativ dazu kann der Schwefel durch physikalische Abtrennung (Sulfinol-Prozess) entfernt werden. H₂S wird in weiterer Folge unter hoher Hitze mit O₂ zu S umgesetzt. [1]

VERFÜGBARKEIT

Die Verfügbarkeit des Erdgases hängt direkt von den weltweit verbleibenden Ressourcen ab. **Abbildung 1** gibt eine Abschätzung dieser Reserven wieder. Im Jahr 2007 wurden die Erdgasreserven in Österreich auf etwa 20 Jahresförderungen geschätzt. Gemessen am weltweiten Erdgasverbrauch reichen die Reserven der gesicherten Quellen weltweit für knapp 61 Jahre. Darüber hinausgehend wird von weiteren weltweiten Reserven ausgegangen, welche die Versorgung für weitere 71 Jahre sichern. [6]

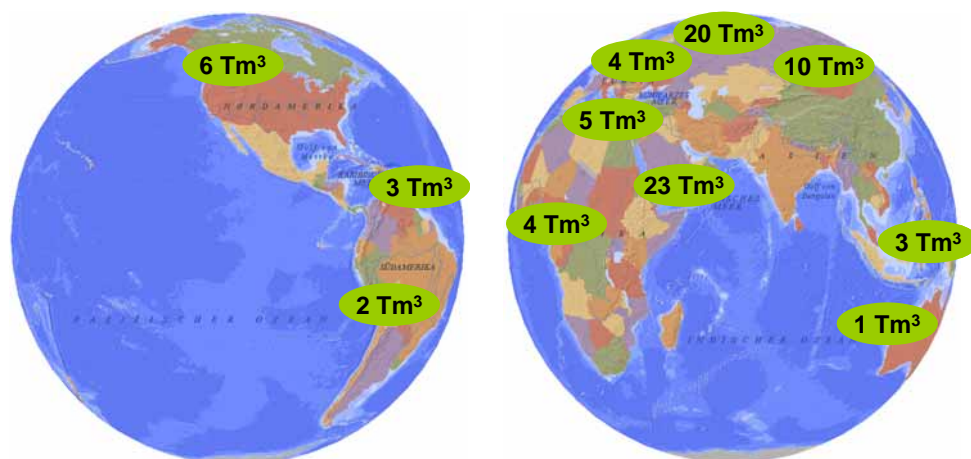


Abbildung 1: Weltweite Erdgasreserven ohne Methanhydrat - konservative Schätzung - in Tm³ [1]

UMWELTWIRKUNG UND NACHHALTIGKEIT

Die spezifischen Abgasemissionen von mit CNG betriebenen Otto-Motoren liegen bis auf CH₄ günstiger als bei Betrieb mit Benzin. Voraussetzung ist eine Abstimmung des Otto-Motors auf die Eigenschaften des Erdgases. Insbesondere das Emissionsniveau von CO und NO_x liegt gegenüber dem Benzinbetrieb niedriger. Auch die HC-Emissionen (NMHC + CH₄) liegt im Gesamten etwas besser. Das günstigere C/H-Verhältnis führt zudem zu einer Reduktion der CO₂-Emissionen. [1], [2]

Dieses CO₂-Einsparungspotenzial kann über das natürlich gegebene C/H-Verhältnis hinaus verbessert werden. Wie in [7] wiedergegeben, sinken die CO₂-Emissionen durch die Umstellung von Benzin auf Erdgas um 20%. Durch die Erhöhung des Verdichtungsverhältnisses können diese um weitere 9% reduziert werden. Bei Magerbetrieb sinken die CO₂-Emissionen um weitere 10%.

Die Umsetzung der theoretischen Potenziale im Serieneinsatz ergibt bei bivalenten Fahrzeugen (geeignet für den Betrieb mit Benzin und Erdgas) Probleme. Das Mehrgewicht durch das zweite Kraftstoffsystem bzw. die Optimierung des Motormanagements für einen Kraftstofftyp kann zu einer deutlichen Reduktion der angeführten Potenziale führen. Das Mehrgewicht zwischen monovalentem Benzinfahrzeug und bivalentem Benzin-/Erdgasfahrzeug wird in [3] mit ca. 8% abgeschätzt.

Bei bivalenten Fahrzeugen ist gegenüber monovalenten ein höherer energetischer Verbrauch zu erwarten, da diese nicht wirkungsgradoptimal ausgelegt werden können. [3]

Zudem ist der Transportweg für die Ökobilanz des Kraftstoffes Erdgas entscheidend. Wie in [3] ausgeführt, liefert Erdgas in Österreich gegenüber dem Benzin höhere indirekte Treibhausgasemissionen. Mit sinkendem Erdgasvorkommen in Österreich und zunehmendem Import über länger werdende Pipelines und den damit verbundenen Leckageverlusten verschärft sich dieser Umstand. [3] Bei Betrachtung des EU-Mix kippt dieses Verhältnis aufgrund der abweichenden Transportdistanzen zugunsten von Erdgas. [8]

Das größte Potenzial bieten demnach monovalente Erdgasfahrzeuge. Weitere kritische Betrachtungen können [3] entnommen werden.

Umfassende Emissionsuntersuchungen, insbesondere im Vergleich zu Biogas, sind [2] zu entnehmen.

CHEMISCHE EIGENSCHAFTEN

Die für die motorische Verbrennung relevanten chemischen Eigenschaften von Erdgas werden in **Tabelle 2** zusammengefasst.

Kennwerte	Einheit	CNG	Quelle
Dichte bei 0°C, 1013mbar	kg/m ³	0,73 – 0,84	[1]
Heizwert (Unterer Heizwert)	MJ/l	32-45	[9]
Brennwert (Obere Heizwert)	MJ/kg	36-50	[9]
Research-Oktananzahl	-	126-132	[1]
Sauerstoff	Mass. %	0	[2]
Schwefelgehalt	mg/kg	<1	[1]

Tabelle 2: Chemische Eigenschaften von Erdgas

Umfassende chemische Analysen, insbesondere im Vergleich zu Biogas, sind [2] zu entnehmen.

TECHNISCHE EIGENSCHAFTEN

Erdgas als Kraftstoff (CNG, Compressed Natural Gas) ist ein alternativer Kraftstoff für konventionelle, adaptierte Verbrennungsmotoren. Erdgas ruft keine speziellen technischen Probleme hervor. [1]

Die geringe Energiedichte von Erdgas macht das Mitführen in entweder tiefgekühlt-flüssiger Form (-163 °C) als Liquefied Natural Gas (LNG) oder in hochkomprimierter Form (200 bar) als Compressed Natural Gas (CNG) notwendig. Beide Möglichkeiten sind mit erheblichem Aufwand und Gewicht verbunden. Voraussetzung für einen vernünftigen und rentablen Einsatz ist selbstverständlich die Verfügbarkeit entsprechender Erdgastankstellen. Das Betanken der Fahrzeuge dauert bei sogenannten „slow-fill“-Anlagen länger als die Betankung mit Benzin, bei „fast-fill“-Anlagen etwa gleich lang. [10]

Die technischen Herausforderungen der bivalenten Auslegung von Benzin-/Erdgasfahrzeugen werden ausführlich in [3] diskutiert. Zielkonflikte wie die Optimierung auf zwei Kraftstoffarten, das Mehrgewicht durch zwei Kraftstoffsysteme, die abweichenden Anforderungen an den Dreiwegekatalysator im Erdgasbetrieb und die Bandbreiten möglicher Kraftstoffqualitäten können zu deutlichen Reduktionen der Vorteile von Erdgas im Fahrbetrieb führen.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] **Rosenitsch, R.:** *Vergleich der alternativen Kraftstoffe CNG und GTL im Hinblick auf ökonomische und ökologische Auswirkungen in Österreich*. Wien: TU Wien, Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Kraftfahrzeugbau, 2004. B04046.
- [2] **Pflaum, H.:** *Biogas im Ottomotor – Einsatz und Potentialabschätzung von Biogas in einem modernen Ottomotor*. Wien: TU Wien, Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Kraftfahrzeugbau, 2009. B09032.
- [3] **Illini, B.:** *Ökologische Bewertung alternativer Kraftstoffe und Aktualisierung der Studie 2006 - Sind erdgasbetriebene Fahrzeuge umweltfreundlicher als benzin- bzw. dieselbetriebene Fahrzeuge?* Wien: ÖVK - Österreichischer Verein für Kraftfahrzeugtechnik, 2007.
- [4] **Bauer, H.:** *Bosch Kraftfahrtechnisches Taschenbuch 25. Auflage*. Wiesbaden: Vieweg & Sohn, 2003. ISBN 3-528-23876-3.
- [5] **Ueberhorst, S.:** *Energieträger Erdgas: Exploration, Produktion, Versorgung; 3. aktualisierte Auflage*. Landsberg/Lech: Moderne Industrie, 1999.
- [6] **Capek, C.:** *Jahresbericht 2007*. Wien: Fachverband der Mineralölindustrie Österreichs (FVMI), 2007.
- [7] **Enderle, C.:** *Der PKW-Dieselmotor im Spannungsfeld der Emissionsgesetzgebung. Tagung 2. Emission Controll*. Dresden: s.n., 2004.
- [8] **Edwards, R. et al:** *Well-to-wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the european context - Well-to-tank report*. Brüssel: EUCAR - CONCAWE - JRC/IES, 2007. Version 2c.
- [9] **Merker, G. et al:** *Grundlagen Verbrennungsmotoren - 4., überarbeitete und aktualisierte Auflage*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner - GWV Fachverlage GmbH, 2009. ISBN 978-3-8348-0740-3.
- [10] **Geringer, B.:** *Skriptum zur Vorlesung 315.018 - Verbrennungskraftmaschinen Grundzüge*. Wien: TU Wien, Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Kraftfahrzeugbau der TU Wien, 2006. B06006.

6. ÖKOBILANZ:

6.1. ÖKOBILANZ ALLGEMEIN

Eine Methode zur Bewertung der Umweltauswirkungen über den gesamten Lebensweg eines Produktes. Dabei werden Energie, konventionelle Abgasemissionen und Treibhausgasemissionen (CO₂, CH₄, N₂O), Versauerungs-, Eutrophierungs-, Gesundheits- und Ökotoxizität sowie Biodiversität bilanziert.

Zur Beurteilung des Treibhausgasreduktionspotenzials von Kraftstoffen werden Ökobilanzen erstellt. Die Ökobilanz ist eine in der ÖNORM EN ISO 14040ff geregelte Umweltmanagementmethode.

Unter dem Begriff Ökobilanz (englisch Life Cycle Assessment) wird darin die *„Zusammenstellung und Beurteilung der Input- und Outputflüsse und der potentiellen Umweltwirkungen eines Produktsystems im Verlauf seines Lebensweges“* verstanden.

Der Lebensweg entspricht dabei den *„aufeinander folgenden und miteinander verbundenen Stufen eines Produktsystems von der Rohstoffgewinnung oder Rohstoffherzeugung bis zur endgültigen Beseitigung“*. [1]

Betrachtet werden dabei:

- Rohstoffgewinnung bzw. -herzeugung
- Rohstoffaufbereitung
- Transport des Rohstoffes zur Raffinerie
- Herstellungsprozess des Kraftstoffes
- Transport des Kraftstoffes zur Tankstelle
- Verwertung des Kraftstoffes in Fahrzeugen

Die ersten fünf Schritte werden in der Regel als Well-to-Tank Phase zusammengefasst. Der sechste und letzte Schritt wird auch als Tank-to-Wheels-Phase bezeichnet.

Weiters werden in Ökobilanzen berücksichtigt:

- Die Vorketten der Stoff- und Energieinputs
- Die Verwertung von Nebenprodukten

Für die Bewertung der Nebenprodukte empfiehlt die Europäische Kommission die Energieallokationsmethode. [2] Als Bezugsgröße wird dabei der Heizwert der Produkte herangezogen. Die aus einem Prozess resultierenden Emissionen werden dabei auf alle Outputs, gewichtet nach deren energetischen Anteilen, aufgeteilt.

Je nach Datenlage finden zudem die Herstellung und Entsorgung der Anlagen, Gebäude und Fahrzeuge Berücksichtigung.

Die am schwierigsten abzuschätzenden Auswirkungen sind jene der direkten und indirekten Landnutzungsänderung bzw. der Änderung der Boden-Kohlenstoff-Bilanz. Dementsprechend finden Sie deutlich seltener Berücksichtigung.

Die bei Kraftstoff-Ökobilanzen in der Regel betrachteten Emissionen sind die treibhausgaswirksamen Gase CO₂, CH₄ und N₂O. Deren unterschiedliches Treibhausgaspotenzial kann als CO₂ Äquivalent ausgedrückt werden. In **Tabelle 1** werden die entsprechenden Treibhausgaspotenziale von Methan und Lachgas in Relation zu

Kohlendioxid angeführt. Die Werte entstammen [3] und beziehen sich auf einen Zeithorizont von 100 Jahren.

Treibhausgas	Summenformel	Treibhausgaspotenzial als CO ₂ -Äquivalent
Kohlendioxid	CO ₂	1
Methan	CH ₄	25
Distickstoffoxid (Lachgas)	N ₂ O	298

Tabelle1: Treibhausgaspotenziale als CO₂ Äquivalent (Zeithorizont 100 Jahre) [3]

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] **Österreichisches Normungsinstitut:** *ÖNORM EN ISO 14040ff, Umweltmanagement - Ökobilanz.* Wien: Österreichisches Normungsinstitut, 2006.
- [2] **Europäische Kommission:** *Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen.* Brüssel: Amt für amtliche Veröffentlichungen der Europäischen Gemeinschaften, 2008. KOM(2008) 19 endg. vom 23.1.2008.
- [3] **IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change):** *Climate Change 2007 -The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC.* New York: Cambridge University Press, 2008. ISBN 978 0521 88009-1.

6.2. ÖKOBILANZ – DIESEL

Die Rohstoffbereitstellung des in **Abbildung 11** dargestellten Lebensweges von Dieselkraftstoff erfolgt gemäß der in [1] ausgewiesenen Aufteilung in die Lieferregionen Österreich, OPEC und GUS. Je Lieferregion wird das Rohöl über abweichende Transportwege zur österreichischen Raffinerie Wien-Schwechat (Rohstoff-Konversion; Dieselherstellung) transportiert. Nach der Verteilung auf das Tankstellennetz erfolgt die abschließende Nutzungsphase.

Jedes dieser Lebenswegmodule wird als Modell mit den erforderlichen Inputs und den resultierenden Outputs abgebildet.

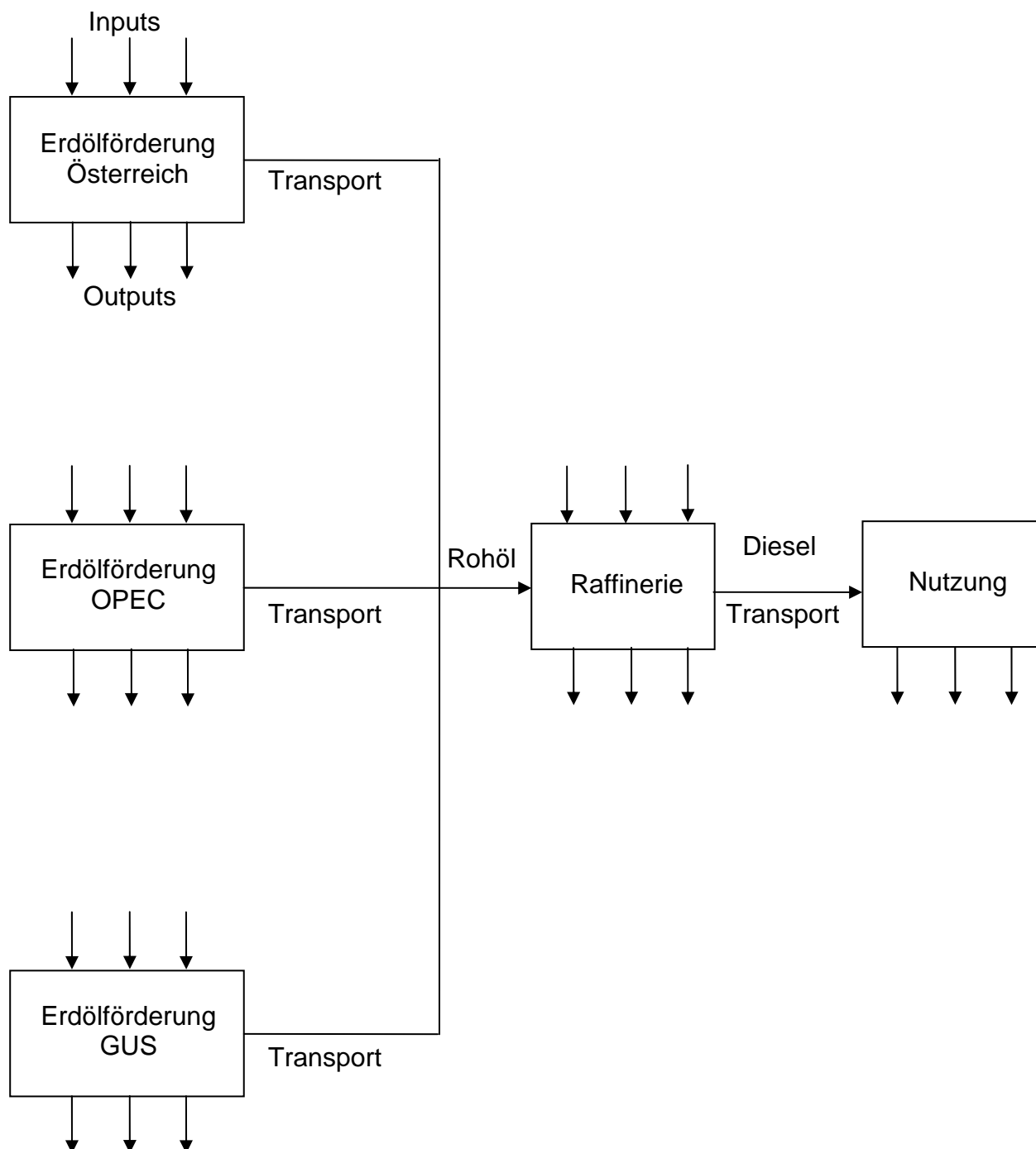


Abbildung 1: Lebenswegmodell - Diesel [1], [2]

Wie **Tabelle1** zu entnehmen ist, erzeugt ein durchschnittlicher PKW der Dekade 2010-2020 beim Einsatz von Diesel Lebenswegemissionen im Ausmaß von 143g/km CO₂e (Kohlendioxidäquivalent - gewichtete Summe von CO₂, CH₄ und N₂O).

Dabei entstammen mit 21 g/km 15% der Well-to-Tank-Phase (also der Rohstoffgewinnung, Konversion und Bereitstellung an der Tankstelle).

Der mit 85% bzw. 122 g/km überwiegende Anteil der CO₂e-Emissionen resultiert aus der Verbrennung des Kohlenstoffs im Kraftfahrzeug.

Der Verbrauch des Durchschnitts-PKW wurde so gewählt, dass bei der Anwendung von Diesel 120 g/km CO₂-Emissionen anfallen.

Weiters kann gezeigt werden, dass 98% der Treibhausgasemissionen (ausgedrückt in CO₂e) durch CO₂ und nur 2% durch CH₄ und N₂O verursacht werden.

		Diesel			
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ e
Well-to-Tank	g/km	19,9	0,047	0,000	21
Tank-to-Wheels	g/km	120,1	0,002	0,005	122
Well-to-Wheels	g/km	140,0	0,049	0,005	143

Tabelle1: Auswertung der Ökobilanz für Dieselmotorkraftstoff

LITERATURVERZEICHNIS

[1] **Capek, C.:** *Jahresbericht 2007*. Wien: Fachverband der Mineralölindustrie Österreichs (FVMI), 2007.

[2] **Öko-Institut:** *Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS)*. Freiburg: Öko-Institut, 2007. GEMIS-Datenbasis Version 4.42.

6.3. ÖKOBILANZ – BENZIN

In **Abbildung 11** werden die wesentlichen Lebenswegabschnitte von Benzin beschrieben. Nach der Erdöl-Extraktion und Förderung erfolgt der Transport zur Raffinerie, wo die Konversion zu Benzin stattfindet. Danach wird der Benzin auf das Tankstellennetz verteilt und der Nutzung im Kraftfahrzeug zugeführt. Weitere Annahmen und Informationen können der zugrundeliegenden Studie [1] entnommen werden.

Jedes dieser Lebenswegmodule wird als Modell mit den erforderlichen Inputs und den resultierenden Outputs abgebildet.

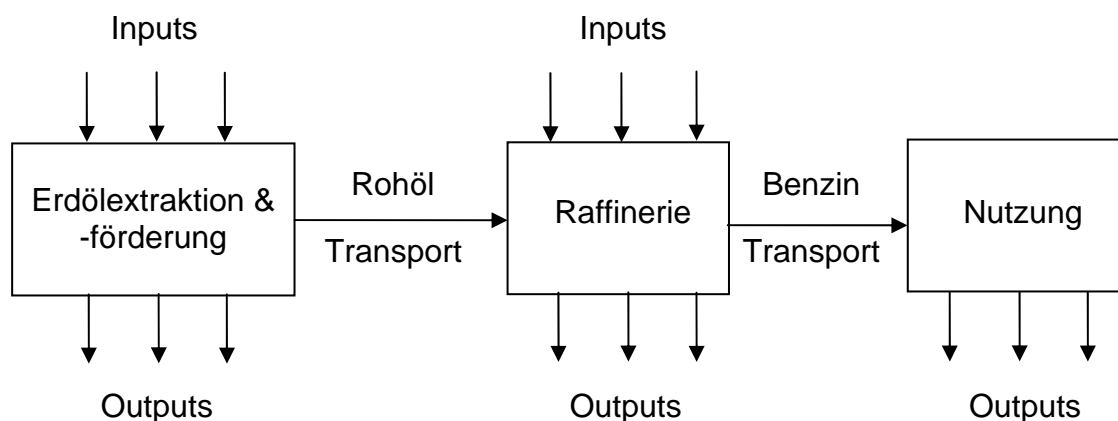


Abbildung 1: Lebenswegmodell - Benzin

Wie **Tabelle 1** zu entnehmen ist, erzeugt ein durchschnittlicher PKW der Dekade 2010-2020 beim Einsatz von Benzin Lebenswegemissionen im Ausmaß von 162 g/km CO₂e (Kohlendioxidäquivalent - gewichtete Summe von CO₂, CH₄ und N₂O).

Dabei entstammen 23 g/km bzw. 14% der Well-to-Tank-Phase (also der Rohstoffgewinnung, Konversion und Bereitstellung an der Tankstelle).

Der mit 86% bzw. 139 g/km überwiegende Anteil der CO₂e-Emissionen resultiert aus der Verbrennung des Kohlenstoffs im Kraftfahrzeug.

Der Verbrauch des hier betrachteten Durchschnitts-PKW der Dekade 2010-2020 wurde mit 5,84 l/100km festgelegt.

Weiters kann gezeigt werden, dass 99% der Treibhausgasemissionen durch CO₂ und nur 1% durch CH₄ und N₂O verursacht werden.

		Benzin			
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ e
Well-to-Tank	g/km	23,5	0,000	0,000	23
Tank-to-Wheels	g/km	137,9	0,022	0,002	139
Well-to-Wheels	g/km	161,4	0,022	0,002	162

Tabelle 1: Ökobilanz für Benzinkraftstoff [1], [2], [3]

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] **Edwards, R et al.:** *Well-to-wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the european context - Well-to-wheels report.* Brüssel: EUCAR-CONCAWE-JRC/IES, 2007. Version 2c.
- [2] **Edwards, R. et al:** *Well-to-wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the european context - Well-to-tank report.* Brüssel: EUCAR - CONCAWE - JRC/IES, 2007. Version 2c.
- [3] **Edwards, R. et al:** *Well-to-wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the european context - Tank-to-wheels report.* Brüssel: EUCAR - CONCAWE - JRC/IES, 2007. Version 2c.

6.4. ÖKOBILANZ – ALTERNATIVE KRAFTSTOFFE

6.4.1. ALTERNATIVE DIESELKRAFTSTOFFE

6.4.1.1. ÖKOBILANZ – BIOMASSTO LIQUID (BTL)

Wie bei der Sachbilanz von hydriertem Pflanzenöl (HVO) wurde auch bei der Abbildung des Lebensweges von BTL eine möglichst gute Annäherung an jenen Kraftstoff angestrebt, welcher der Markteinführung am nächsten ist (Sundiesel des Herstellers Choren).

Eine exakte Darstellung des Lebensweges von Sundiesel konnte nicht erreicht werden, da die Neuartigkeit des Kraftstoffes eine geringe Anzahl an Publikationen und ein hohes Maß an Geheimhaltung seitens des Herstellers mit sich bringt.

Abbildung 1 zeigt das festgelegte Lebenswegmodell für BTL. Die Kombination an Rohstoffen wurde [1] entnommen. Die Rohstoffgewinnung bzw. -erzeugung wurde dabei zu zwei grundsätzlich unterschiedlichen Pfaden zusammengefasst (Anbauholz und Restholz). Das Zwischenprodukt (Hackschnitzel) nach der Verarbeitung der einzelnen Rohstoffe wird durch Vergasung und Fischer-Tropsch-Synthese zu BTL weiterverarbeitet, welches nach dem Transport zur Tankstelle der Nutzung zugeführt wird.

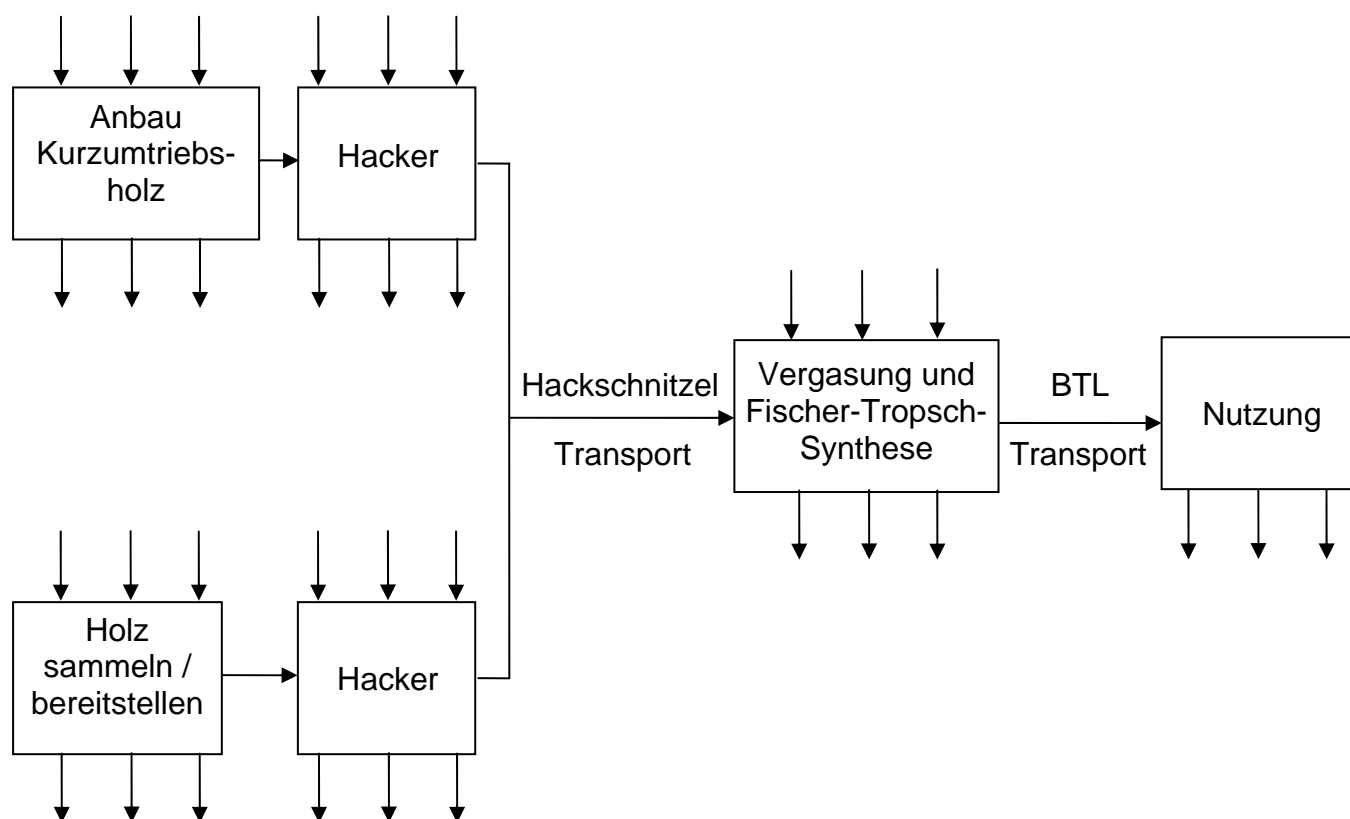


Abbildung 1: Lebenswegmodell - BTL [1], [2], [3]

Der nachstehenden **Tabelle 1** sind die Ergebnisse der Ökobilanz des Kraftstoffes BTL zu entnehmen. Dabei wird die geplante Rohstoffzusammensetzung des Jahres 2020 mit 50% Kurzumtriebsholz (Anbauholz) und 50% Restholz (Waldrestholz, Altholz und Hackschnitzel) berücksichtigt.

Emissionsvorteile sowohl in der Rohstoffgewinnung als auch in der Rohstoffkonversion (Raffinerie) führen gegenüber Diesel zu 49% niedrigeren Well-to-Tank-CO₂e-Emissionen. Bei der Rohstoffgewinnung sorgt vor allem die Verwertung von Restholz für das positive Ergebnis. Im Fall von Restholz erfolgt kein emissionsintensiver Anbau. Die Holzreste werden lediglich gesammelt und direkt der Verwertung zugeführt. Zudem werden die neu zu errichtenden Konversionsanlagen energieeffizient und emissionsarm konzipiert.

Infolge der günstigeren chemischen Eigenschaften von BTL können in der Tank-to-Wheels-Phase 4% der CO₂-Emissionen gegenüber Diesel eingespart werden.

Insgesamt ergibt sich eine Reduktion der CO₂e-Lebenswegemissionen von 91%.

		BTL				
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ e	±% Diesel
Well-to-Tank	g/km	6,8	0,014	0,012	11	-49%
Tank-to-Wheels	g/km	114,7	0,002	0,005	116	-4%
Well-to-Wheels	g/km	121,5	0,016	0,017	127	-11%
CO₂-Gutschrift	g/km	114,7			115	
Well-to-Wheels	g/km	6,8	0,016	0,017	12	-91%

Tabelle 1: Auswertung der Ökobilanz für BTL

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] **Bilas, I.:** Persönliche Auskunft per Email. Freiberg: Choren Industries GmbH, 13. 6 2008.
- [2] **Bilas, I., et al:** Biomass to Liquids - Die Herstellung von synthetischem Biokraftstoff unter Einsatz des Carvo-V Verfahrens. 7. *Sächsischer Kreislaufwirtschaftstag 2008*. Freiberg: Sächsisches Informations- und Demonstrationszentrum "Abfallbehandlungstechnologien" Freiberg, 2008.
- [3] **Öko-Institut:** *Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS)*. Freiburg: Öko-Institut, 2007. GEMIS-Datenbasis Version 4.42.

6.4.1.2. ÖKOBILANZ – GAS TO LIQUID (GTL)

Der Lebensweg des Kraftstoffes GTL wurde an das Produkt des Unternehmens Shell angelehnt. Der Mineralölkonzern betreibt die Produktion von GTL bereits großindustriell und mischt in Teilen Europas GTL mit einem Anteil von 5% dem Premiumdieselmotorkraftstoff V-Power zu. [1] Eine exakte Abbildung des Lebensweges, insbesondere des Herstellungsprozesses ist aufgrund der hohen Geheimhaltung dennoch nicht möglich.

Die Rohstoffbereitstellung des in **Abbildung 1** dargestellten GTL-Lebensweges erfolgt gemäß der in [2] ausgewiesenen Aufteilung in die Lieferregionen Österreich, Deutschland, Norwegen und GUS. Je Lieferregion wird das Erdgas über abweichende Transportwege der Konversion zugeführt. Danach wird der gewonnene Kraftstoff GTL auf das österreichische Tankstellennetz verteilt und in der abschließenden Nutzungsphase verbraucht.

Im weiteren wird von einer Konversionsanlage in Österreich ausgegangen.

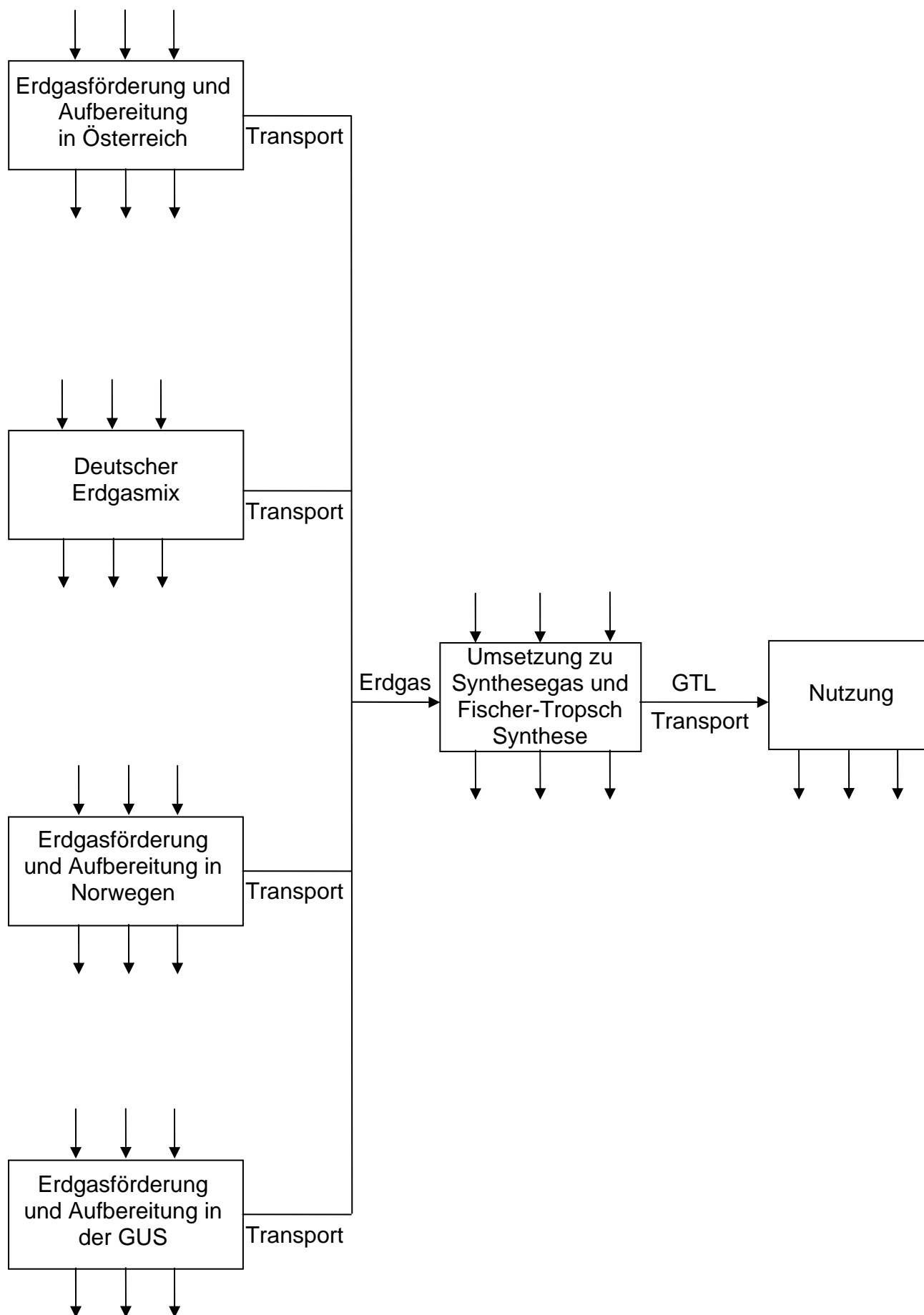


Abbildung 1: Lebenswegmodell – GTL [2], [3]

GTL, als Vertreter der alternativen, aber fossilen Kraftstoffe weist, wie in **Tabelle 1** abgebildet, im Lebensabschnitt Well-to-Tank 120% höhere CO₂e-Emissionen auf. Die höheren CO₂e-Emissionen resultieren dabei aus höheren CH₄-Emissionen der Erdgasbereitstellung und höheren CO₂-Emissionen der Konversionsphase.

Das Reduktionspotenzial von 4% in der Tank-to-Wheels-Phase infolge der besseren chemischen Eigenschaften kompensiert diesen Nachteil jedoch nicht, sodass sich insgesamt eine Verschlechterung der Treibhausgasemissionen von 14% ergibt.

Eine CO₂-Gutschrift kann aufgrund des fossilen Ursprungs des Kraftstoffes nicht berücksichtigt werden.

		GTL				
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ e	±% Diesel
Well-to-Tank	g/km	34,4	0,472	0,002	47	121%
Tank-to-Wheels	g/km	114,7	0,002	0,005	116	-4%
<i>Well-to-Wheels</i>	<i>g/km</i>	<i>149,2</i>	<i>0,474</i>	<i>0,007</i>	<i>163</i>	<i>14%</i>
CO₂-Gutschrift	g/km	0			0	
Well-to-Wheels	g/km	149,2	0,474	0,007	163	14%

Tabelle 1: Auswertung der Ökobilanz für GTL

LITERATURVERZEICHNIS

[1] **Angerer, G.:** Zukunftsmarkt Synthetische Biokraftstoffe. [Hrsg.] Umweltbundesamt und Bundesministerium für Umwelt Naturschutz und Reaktorsicherheit. *Umwelt, Innovation, Beschäftigung*. 2007, Nr. 09/2007. Förderkennzeichen: 206 14 132/05.

[2] **Capek, C.:** *Jahresbericht 2007*. Wien: Fachverband der Mineralölindustrie Österreichs (FVMI), 2007.

[3] **Öko-Institut:** *Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS)*. Freiburg: Öko-Institut, 2007. GEMIS-Datenbasis Version 4.42.

6.4.1.3. ÖKOBILANZ – RAPS-METHYL-ESTER (RME)

Das in **Abbildung 1** dargestellte Lebenswegmodell für RME zeigt die einzelnen Prozessschritte vom Anbau der Biomasse Raps bis zur Nutzung des Kraftstoffes RME.

Nach dem Anbau und der Ernte des Raps erfolgt die Trocknung und Lagerung. Anschließend werden die getrockneten Rapskörner gepresst und zur Stelle der Rohstoff-Konversion transportiert, wo die Veresterung durchgeführt wird. Der Kraftstoff wird darauffolgend zur Tankstelle transportiert und der Nutzung zugeführt.

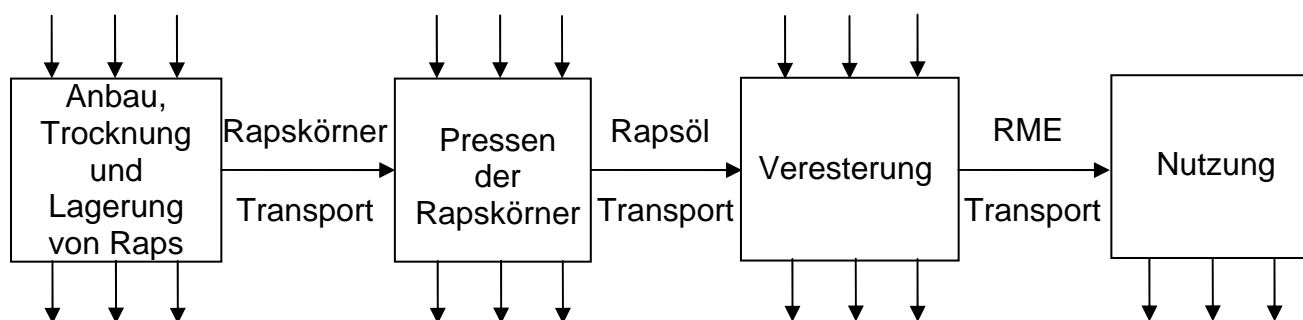


Abbildung 1: Lebenswegmodell - RME [1]

Bei der Auswertung der Ökobilanz für RME kann, wie in Tabelle 1 dargestellt, festgestellt werden, dass im Lebenswegabschnitt Well-to-Tank gegenüber Dieselkraftstoff 228% höhere CO₂e-Treibhausgasemissionen entstehen. Diese ergeben sich vorwiegend aus der Anbauphase des Raps. Die Bestellung und Düngung der Felder führt zu deutlich höheren CO₂ und vor allem N₂O-Emissionen.

Infolge unterschiedlicher Heizwerte bzw. des abweichenden C/H-Verhältnisses der Kraftstoffe RME und Diesel ergeben sich emissionstechnische Vor- bzw. Nachteile. Bei RME führt die abweichende chemische Zusammensetzung zu einer Erhöhung der motorischen CO₂-Emissionen um 2%. Eine Änderung der CH₄ und N₂O-Emissionen ist hingegen nicht nachweisbar.

Für die Betrachtung des gesamten Lebensweges wird zudem die Annahme getroffen, dass biogen gewonnener Kohlenstoff keine CO₂-Emissionen verursacht, da das im Zuge der Verbrennung emittierte CO₂ zuvor beim Pflanzenwachstum der Atmosphäre entnommen wurde. Es ist demnach zulässig, den im Kraftfahrzeug verbrannten, biogenen Kraftstoff als CO₂-neutral (d.h. 0 CO₂-Emissionen) zu werten. Diese wird in untenstehender Tabelle durch die CO₂-Gutschrift berücksichtigt.

Die Lebenswegemissionen (Well-to-Wheels) liegen aufgrund dieser CO₂-Gutschrift um 50% niedriger als bei Diesel.

		RME				
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ e	±% Diesel
Well-to-Tank	g/km	35,9	0,083	0,105	69	228%
Tank-to-Wheels	g/km	122,0	0,002	0,005	123	2%
<i>Well-to-Wheels</i>	<i>g/km</i>	<i>157,9</i>	<i>0,085</i>	<i>0,110</i>	<i>193</i>	<i>35%</i>
CO₂ Gutschrift	g/km	-122,0			-122	
Well-to-Wheels	g/km	35,9	0,085	0,110	71	-50%

Tabelle 1: Auswertung der Ökobilanz für RME

LITERATURVERZEICHNIS

[1] **Öko-Institut:** *Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS)*. Freiburg: Öko-Institut, 2007. GEMIS-Datenbasis Version 4.42.

6.4.1.4. ÖKOBILANZ – HYDRIERTES PFLANZENÖL (HVO)

Ziel der Erstellung des HVO-Lebenswegmodells war eine möglichst gute Annäherung an den Lebensweg des Kraftstoffes NExBTL von Neste Oil. Die mäßige Datenlage in Publikationen und die zurückhaltenden Informationen seitens des Herstellers machten es erforderlich, fehlende Daten durch Annahmen zu ergänzen, sodass festgehalten werden muss, dass es sich bei dem abgebildeten Prozess um keine exakte Abbildung des Kraftstoffes von Neste Oil handelt.

Abbildung1 gibt das Lebenswegmodell für HVO wieder. Als Rohstoffe werden nach [1] Palmöl, Rapsöl und Tierfette eingesetzt. Die modellierte Konversion zu HVO erfolgt in einer eigens errichteten Raffinerie und nicht in einer Erdölraffinerie. Abschließend erfolgt der Transport zur Tankstelle und die Nutzung des Kraftstoffes im Fahrzeug.

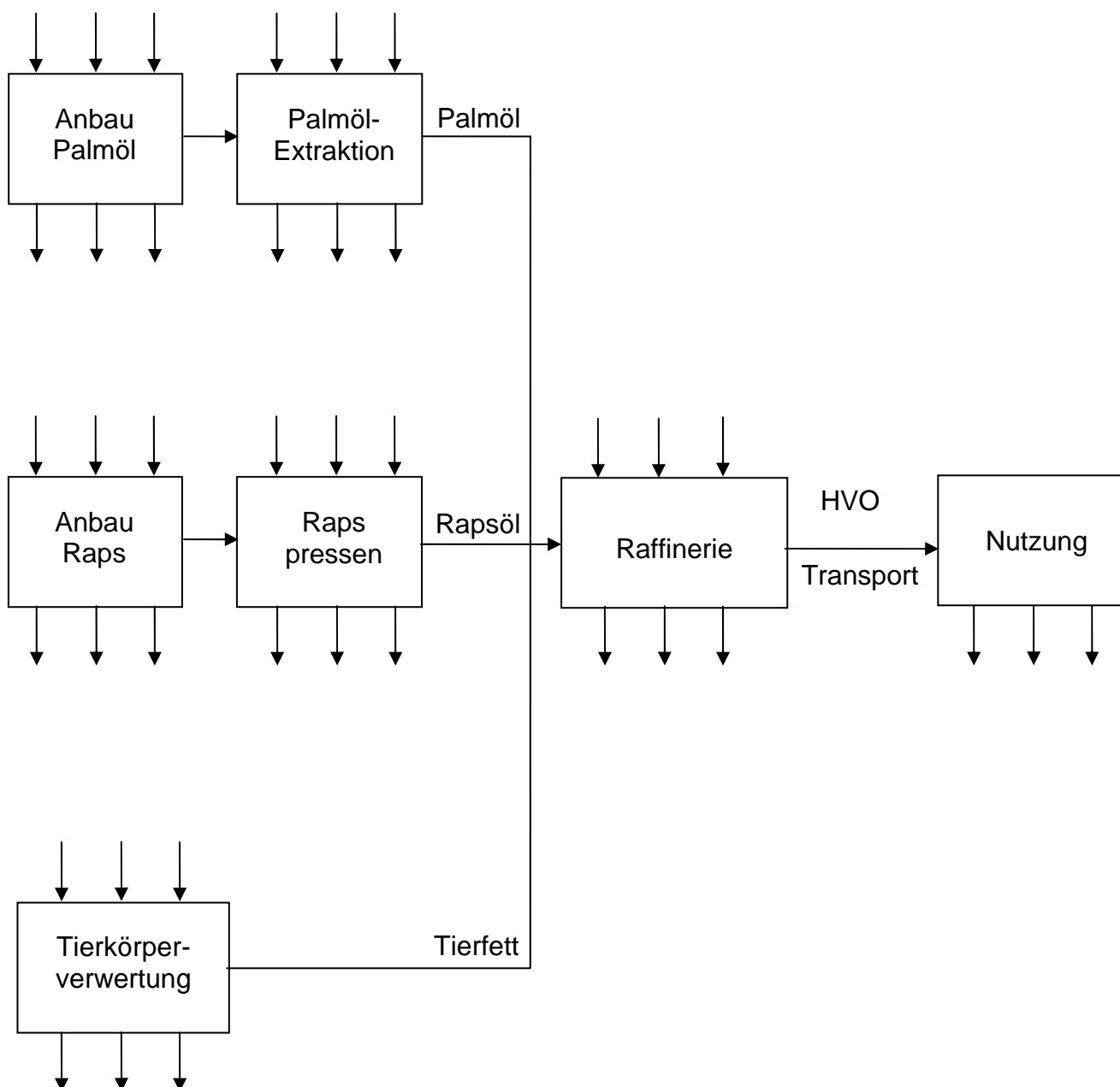


Abbildung 1: Lebenswegmodell - HVO [2], [3], [4]

Die in **Tabelle 11** abgebildeten Ergebnisse für den Kraftstoff HVO berücksichtigt eine für das Jahr 2020 prognostizierte Rohstoffzusammensetzung von 45% Palmöl, 30% Rapsöl aus Europa, 5% Rapsöl aus Übersee und 20% Tierfette.

Wie im Fall von RME resultieren die im Vergleich zu Diesel um 251% höheren CO₂e-Emissionen der Well-to-Tank Phase vorrangig aus der Herstellung von Palmöl und Rapsöl. Der Anbau von Ölpalmen und Raps verursacht CO₂-Emissionen durch die Bestellung und N₂O-Emissionen durch die Düngung. Die Extraktion von Palmöl führt zudem zu erhöhten CH₄-Emissionen.

Infolge der günstigeren chemischen Eigenschaften von HVO können in der Tank-to-Wheels Phase 5% der CO₂-Emissionen gegenüber Diesel eingespart werden.

Über den gesamten Lebensweg ergibt sich bei Verwendung von HVO, nach Berücksichtigung der CO₂ Gutschrift ein Reduktionspotenzial von 47% an CO₂e-Emissionen.

Im Falle einer Verwertung der im Zuge der Palmölextraktion anfallenden CH₄-Emissionen zur Energiegewinnung könnten wesentlich bessere Emissionswerte erzielt werden.

		HVO				
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ e	±% Diesel
Well-to-Tank	g/km	36,9	0,747	0,063	74	251%
Tank-to-Wheels	g/km	114,5	0,002	0,005	116	-5%
<i>Well-to-Wheels</i>	<i>g/km</i>	<i>151,4</i>	<i>0,749</i>	<i>0,068</i>	<i>190</i>	<i>33%</i>
CO₂-Gutschrift	g/km	114,5			114	
Well-to-Wheels	g/km	36,9	0,749	0,068	76	-47%

Tabelle 1: Auswertung der Ökobilanz für HVO

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] **Honkanen, M.:** Persönliche Auskunft per Email. Porvoo: Neste Oil Corporation, 3. 7 2008.
- [2] **Öko-Institut:** *Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS)*. Freiburg: Öko-Institut, 2007. GEMIS-Datenbasis Version 4.42.
- [3] **Department of Transport:** *Carbon and Sustainability Reporting Within the Renewable Transport Fuel Obligation*. London: Department for Transport, 2007. Product Code 78RRLG02872.
- [4] **Schmidt, J.:** *Life cycle assessment of rapeseed oil and palm oil. Part 3: Life cycle inventory of rapeseed oil and palm oil*. Aalborg: Department of Development and Planning, Aalborg University, 2007. Dissertation.

6.4.2. ALTERNATIVE OTTOKRAFTSTOFFE

6.4.2.1. ÖKOBILANZ – ETHANOL

Abbildung 1 zeigt das gewählte Lebenswegmodell für Ethanol. Am Beginn steht der Anbau von Zuckerrüben und die entsprechende Bewirtschaftung und Ernte. Die Zuckerrüben werden in weiterer Folge zur Konversionsanlage transportiert. Neben dem gewonnenen Ethanol werden die Abfälle zur Wärmeerzeugung genutzt. Der Transport zur Tankstelle und die Verbrennung im Kraftfahrzeuge schließen den Lebensweg ab.

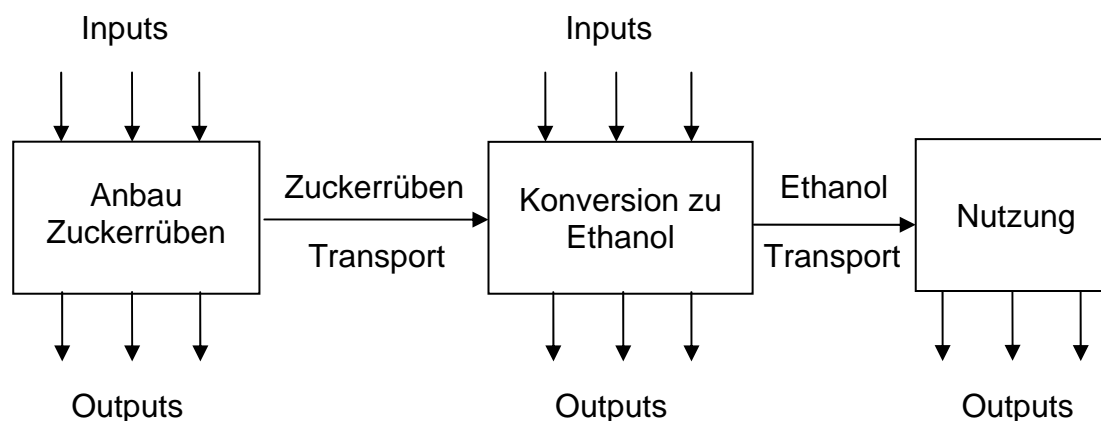


Abbildung 1: Lebenswegmodell - Ethanol

Der nachstehenden **Tabelle 1** sind die Ergebnisse der Ökobilanz des Kraftstoffes Ethanol aus Zuckerrüben (Nebenprodukt Wärme) zu entnehmen.

In der Well-to-Tank-Phase sind gegenüber Benzin um 138% höhere CO₂e-Emissionen auszuweisen. Insgesamt fallen pro gefahrenen Kilometer 56 g CO₂e an. In der Nutzphase (Tank-to-Wheels) ist ein marginaler Vorteil von 3% gegenüber Benzin anzuführen. Erst nach Berücksichtigung der Gutschrift (durch das Nebenprodukt Wärme) fällt die gesamte Lebenswegbilanz um 65% günstiger aus als bei Benzin. Ein mit Ethanol betriebener PKW emittiert somit 57 g/km CO₂e.

Der Verbrauch des hier betrachteten Durchschnitts-PKW der Dekade 2010-2020 wurde mit 8.83 l/100km im 100%-Ethanolbetrieb festgelegt.

Die hohen N₂O-Emissionen aus der Landwirtschaft und die angesetzte Gutschrift führen dazu, dass CO₂ im Fall von Ethanol lediglich einen Anteil von 63% an den gesamten Emissionen aufweist.

		Ethanol				
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ e	±% Benzin
Well-to-Tank	g/km	35,7	0,056	0,064	56	+138%
Tank-to-Wheels	g/km	134,1	0,022	0,002	135	-3%
<i>Well-to-Wheels</i>	<i>g/km</i>	<i>169,8</i>	<i>0,078</i>	<i>0,066</i>	<i>191</i>	<i>+18%</i>
CO₂-Gutschrift	g/km	134,2			134	
Well-to-Wheels	g/km	35,6	0,078	0,066	57	-65%

Tabelle 1: Ökobilanz für Ethanol aus Zuckerrüben (Nebenprodukt Wärme) [1], [2], [3]

Der Betrieb eines PKW mit Mischungen von Benzin und Ethanol führt zu entsprechend geringeren Treibhausgasvorteilen.

Die in **Abbildung 2** angeführten Varianten 1 bis 14 beschreiben unterschiedliche Lebenswege für den Kraftstoff Bio-Ethanol. Je nach Rohstoff, Nebenprodukt und Herstellungsverfahren variieren die Lebenswegemissionen zwischen 19 und 176 g/km CO₂e. Die wesentlichen Unterscheidungsmerkmale der einzelnen Varianten wurden in **Tabelle 2** zusammengefasst. Weitere Details können [3] entnommen werden.

Im Besonderen zu erwähnen sind die Varianten 13 und 14. Trotz Nutzung des biogenen Rohstoffes Weizenkorn, der Verwertung der Nebenprodukte und der Einspeisung von Strom ins Netz aus einer Kraft-Wärme-Kopplungsanlage überwiegen die CO₂-Emissionen der Braunkohle die CO₂-Gutschrift des Pflanzenwachstums, sodass bereits die Well-to-Tank-Phase zu „positiven“ CO₂-Emissionen führt.

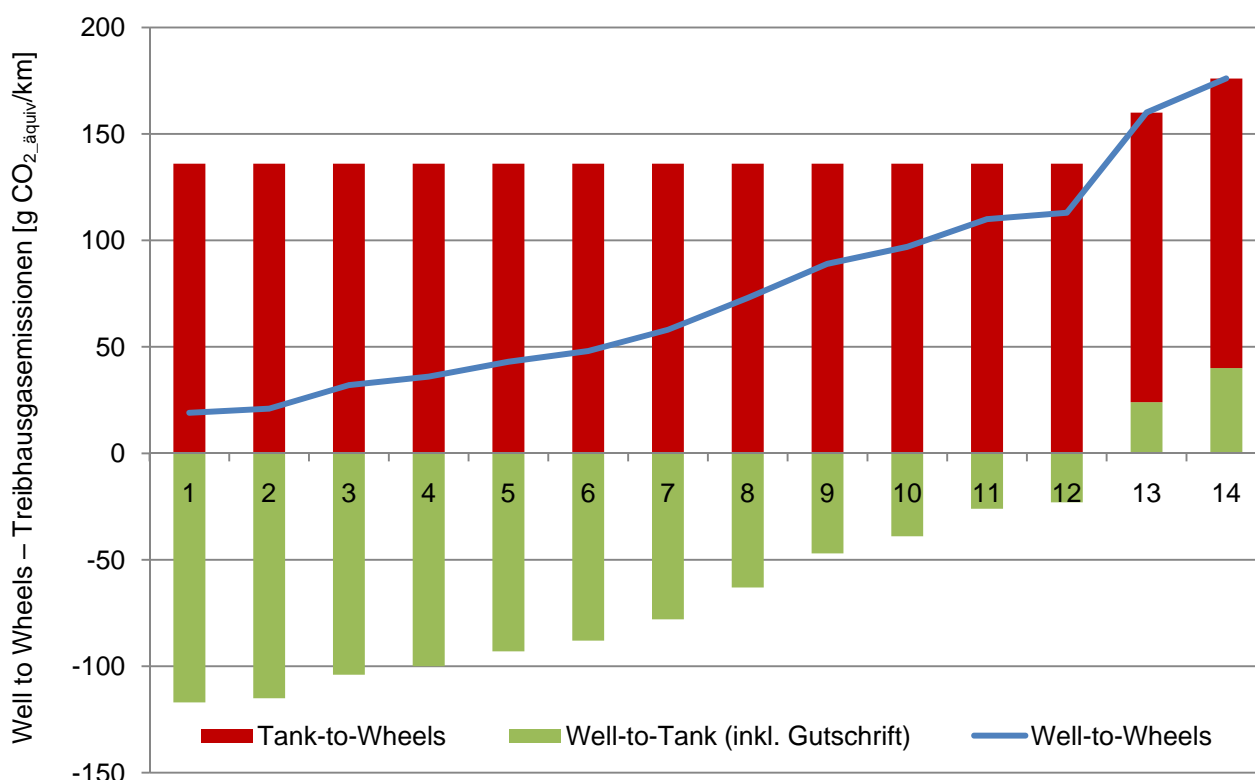


Abbildung 2: Bandbreite der Treibhausgasemissionen in Abhängigkeit von Rohstoff, Nebenprodukt und Herstellungsverfahren (14 Varianten für Bio-Ethanol) [3]

Insbesondere der Vergleich der Varianten 12,13 und 14 zeigt, wie entscheidend der Beitrag der Energiebereitstellung sein kann.

Nr.	Rohstoff	Produktion	Verwertung	Nebenprodukt	Bemerkung
1	Weizenstroh	Europa	Europa	-	Cellulose-Ethanol
2	Zuckerrohr	Brasilien	Europa	Wärme	-
3	Weizenkorn	Europa	Europa	Brennstoff	Stroh Kraft-Wärme-Kopplungsanlage, Einspeisung von Strom ins Netz
4	Abfallholz	Europa	Europa	-	Cellulose-Ethanol
5	Anbauholz	Europa	Europa	-	Cellulose-Ethanol
6	Weizenkorn	Europa	Europa	Tierfutter	Stroh Kraft-Wärme-Kopplungsanlage, Einspeisung von Strom ins Netz
7	Zuckerrübe	Europa	Europa	Wärme	-
8	Weizenkorn	Europa	Europa	Brennstoff	Gas und Dampf Kombikraftwerk, Einspeisung von Strom ins Netz
9	Weizenkorn	Europa	Europa	Tierfutter	Gas und Dampf Kombikraftwerk, Einspeisung von Strom ins Netz
10	Weizenkorn	Europa	Europa	Brennstoff	Erdgas Dampfkessel, Elektrizität vom Netz
11	Zuckerrübe	Europa	Europa	Tierfutter	-
12	Weizenkorn	Europa	Europa	Tierfutter	Erdgas Dampfkessel, Elektrizität vom Netz
13	Weizenkorn	Europa	Europa	Brennstoff	Braunkohle Kraft-Wärme-Kopplungsanlage, Einspeisung von Strom ins Netz
14	Weizenkorn	Europa	Europa	Tierfutter	Braunkohle Kraft-Wärme-Kopplungsanlage, Einspeisung von Strom ins Netz

Tabelle 2: Wesentliche Unterscheidungsmerkmale der 14 betrachteten Lebenswege von Bio-Ethanol. [3]

LITERATURVERZEICHNIS

[1] **Edwards, R. et al:** *Well-to-wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the european context - Well-to-tank report.* Brüssel: EUCAR - CONCAWE - JRC/IES, 2007. Version 2c.

[2] **Edwards, R. et al:** *Well-to-wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the european context - Tank-to-wheels report.* Brüssel: EUCAR - CONCAWE - JRC/IES, 2007. Version 2c.

[3] **Edwards, R et al:** *Well-to-wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the european context - Well-to-wheels report.* Brüssel: EUCAR-CONCAWE-JRC/IES, 2007. Version 2c.

6.4.2.2. ÖKOBILANZ – CNG / ERDGAS

Das in **Abbildung 11** dargestellte vereinfachte Modell zeigt die wesentlichen Lebenswegabschnitte von CNG / Erdgas. Erdgas wird im hier betrachteten Fall innerhalb der Europäischen Union gewonnen und vor Ort verarbeitet (Trocknung, Entschwefelung, Reinigung). Im Anschluss erfolgen Transport und Verteilung auf das Tankstellennetz. Der Lebensweg wird mit der Nutzung im Kraftfahrzeug abgeschlossen.

Jedes dieser Lebenswegmodule wird als Modell mit den erforderlichen Inputs und den resultierenden Outputs abgebildet.

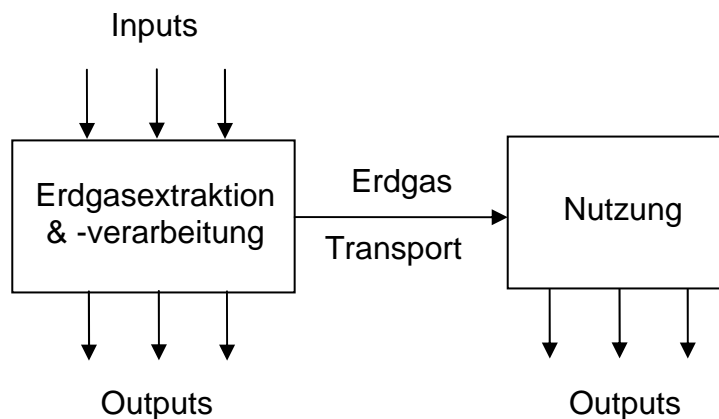


Abbildung 1: Lebenswegmodell – CNG / Erdgas

Wie **Tabelle 1** zu entnehmen ist, erzeugt ein durchschnittlicher PKW der Dekade 2010-2020 beim Einsatz von CNG / Erdgas Lebenswegemissionen im Ausmaß von 124 g/km CO₂e (Kohlendioxidäquivalent - gewichtete Summe von CO₂, CH₄ und N₂O).

Dabei entstammen 16 g/km der Well-to-Tank-Phase (also der Rohstoffgewinnung, Trocknung, Reinigung und Bereitstellung an der Tankstelle).

Der mit 108 g/km überwiegende Anteil der CO₂e-Emissionen resultiert aus der Verbrennung des Kohlenstoffs im Kraftfahrzeug.

Der Verbrauch des hier betrachteten bivalenten (für Benzin- und CNG-Betrieb geeigneten) Durchschnitts-PKW der Dekade 2010-2020 wurde mit 5,85 l/100km (Benzin-Äquivalent) festgelegt.

Weiters kann gezeigt werden, dass 94% der Treibhausgasemissionen durch CO₂ und 6% durch CH₄ und N₂O verursacht werden.

Eine Erweiterung der Transportstrecke des Erdgases von (den im betrachteten Fall angenommenen) 1.000km (innerhalb der EU) auf 7.000km führt zu Lebenswegemissionen von 149 g/km CO₂e. Der Einfluss der Pipelineverlust wirkt sich hier entscheidend aus und reduziert den Emissionsvorteil von -24% deutlich auf -8%.

		CNG - Erdgas				
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ e	±% Benzin
Well-to-Tank	g/km	10,4	0,245	0,000	16	-32%
Tank-to-Wheels	g/km	105,9	0,078	0,002	108	-22%
Well-to-Wheels	g/km	116,3	0,323	0,002	124	-24%

Tabelle 1: Ökobilanz für CNG / Erdgas (EU-Mix) [1], [2], [3]

Die Umsetzung der theoretischen Potenziale im Serieneinsatz stellt insbesondere bei bivalenten Fahrzeugen (geeignet für den Betrieb mit Benzin und Erdgas) ein Problem dar. Das Mehrgewicht durch das zweite Kraftstoffsystem bzw. die Optimierung des Motormanagements für einen Kraftstofftyp kann zu einer deutlichen Reduktion der angeführten Potenziale führen. Eine kritische Betrachtung ist [4] zu entnehmen.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] **Edwards, R. et al:** *Well-to-wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the european context - Well-to-tank report*. Brüssel: EUCAR - CONCAWE - JRC/IES, 2007. Version 2c.
- [2] **Edwards, R. et al:** *Well-to-wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the european context - Tank-to-wheels report*. Brüssel: EUCAR - CONCAWE - JRC/IES, 2007. Version 2c.
- [3] **Edwards, R et al:** *Well-to-wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the european context - Well-to-wheels report*. Brüssel: EUCAR-CONCAWE-JRC/IES, 2007. Version 2c.
- [4] **Illini, B.:** *Ökologische Bewertung alternativer Kraftstoffe und Aktualisierung der Studie 2006 - Sind erdgasbetriebene Fahrzeuge umweltfreundlicher als benzin- bzw. dieselbetriebene Fahrzeuge?* Wien: ÖVK - Österreichischer Verein für Kraftfahrzeugbau, 2007.