



1. Einleitung und Aufgabenbeschreibung

Die Erhöhung des Anteils an biogenen Energien im Verkehrssektor und die Senkung der Treibhausgase (THG) ist nicht nur in Europa, sondern in vielen Ländern der Welt ein vorrangig zu verfolgendes Ziel.

Die Erhöhung des regenerativen Anteils kann die Abhängigkeit vom Erdöl verringern, deshalb wurde zur Erreichung dieses Ziels bereits im Jahr 2006 eine Biokraftstoffquote (Biokraftstoffquotengesetz – BioKraftQuG) zur Einhaltung der EU-Richtlinie 2003/30/EG und der EU-Richtlinie 2003/96/EG eingeführt (Naumann et al. 2014). Diese Richtlinie 2009/28/EG (Erneuerbare-Energie-Richtlinie) besagt, dass bis 2020 der Zielwert für den Anteil von Energien aus erneuerbaren Quellen am Bruttoendenergieverbrauch bei 18 Prozent liegen soll (Europäische Union 05.06.2009a). Somit ist das Ziel, dass mindestens zehn Prozent des Endenergieverbrauchs im Verkehrssektor aus erneuerbaren Energiequellen stammen. Dieses Mindestziel ist bis 2020 zu erreichen. Über dieses Datum hinaus existieren bisher keine weiteren europäischen Vorgaben. Im April 2015 stimmte der Ministerrat dem Umweltausschuss des Europäischen Parlaments zu, die Menge des Biokraftstoffs aus Nutzpflanzen (1. Generation) auf maximal sieben Prozent zu deckeln (Bölle 2015).

Die Europäische Union strebte zwischen 2008 und 2012 bereits eine Verminderung des Treibhausgasausstoßes um acht Prozent nach dem Kyoto-Protokoll von Marrakesch (erste Verpflichtungsperiode) an (Umweltbundesamt 2015). Für die zweite Verpflichtungsperiode (2013-2020) des Kyoto-Protokolls von 2012 bekannte sich die Europäische Union zu einer THG-Reduktion von 20 Prozent gegenüber 1990 (Umweltbundesamt). Nach Aussage des Aktionsprogramms Klimaschutz 2020, veröffentlicht vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), hat sich die Bundesregierung dafür ausgesprochen eine THG-Minderung von 40 Prozent gegenüber 1990 zu erzielen. Dies entspricht einer Minderung von rund 1.250 Megatonnen (Mt) CO₂-Äquivalent im Jahr 1990 auf einen Zielwert von höchstens 750 Mt CO₂-Äquivalent in 2020 (BMUB 2014). Mit der Beschlussfassung vom 09. Oktober 2014 zur 12. Änderung des Bundesimmissionschutzgesetzes ist nun eine THG-Minderung im Jahr 2015 von 3,5 Prozent, 2017 vier Prozent und 2020 sechs Prozent vorgesehen (UFOP 2014).

Im Rahmen eines abgeschlossenen Projekts wurde ein 100 %-iger biogener Kraftstoff verwendet, der als *Diesel regenerativ* bezeichnet wurde. *Diesel regenerativ* bestand aus hydriertem Pflanzenöl (HVO) mit Biodieselbeimischung von zwei Prozent bzw. sieben Prozent. Dieser Kraftstoff wurde in zwei unterschiedlichen Fahrzeugflotten eingesetzt. Das gleichnamige Projekt wurde vom StMUG (Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit) und der Europäischen Union gefördert und bereits 2011 erfolgreich abgeschlossen. Im Ergebnis zeigte der Kraftstoff *Diesel regenerativ* eine grundsätzlich gute Kompatibilität zu den Motorengenerationen Euro 3 bis Euro 6. Es ist davon auszugehen, dass eine umfängliche Abwärtskompatibilität gegeben ist (Krahl et al. 2012).

Emissionsseitig wurden für *Diesel regenerativ* mit Ausnahme der Stickoxidemissionen, tendenziell verbesserte Abgaswerte für die limitierten Komponenten gefunden. Für die Fahrzeuge der Abgasklassen Euro 5 und 6 war sowohl für Dieselkraftstoff als auch für *Diesel regenerativ* im bakteriellen Rückmutationstest (OECD Guideline for Testing of Chemicals) mit den



S. typhimurium-Teststämmen TA98 und TA100 keine erhöhte mutagene Wirkung des Abgases mehr nachweisbar.

Mit Blick auf die Stickoxiderhöhung besteht für *Diesel regenerativ* jedoch die Option der softwareseitigen Motorapplikation. Diese lässt sich allerdings nur in neuen Fahrzeugen umsetzen, bei denen eine entsprechende Information im Motorsteuergerät hinterlegt sein muss.

An einem Versuchsträger (Passat cc) wurde im Rahmen des abgeschlossenen Vorhabens jene prinzipielle Möglichkeit der softwareseitigen Applikation demonstriert.

Der eigentliche Nachteil von Diesel regenerativ bestand aber darin, dass seine geringe Dichte nicht ausreichte, um den Anforderungen der Norm für Dieselkraftstoff DIN EN 590 zu entsprechen. Verantwortlich dafür ist die zu geringe Dichte von HVO. Sie liegt mit 780 kg/m^3 bei $15 \text{ }^\circ\text{C}$ unter dem vorgeschriebenen Mindestwert von 820 kg/m^3 . Somit verlören Fahrzeuge jeglichen Garantieanspruch im Betrieb mit *Diesel regenerativ*. Da die zu geringe Dichte das einzige Problem des neuen Kraftstoffs war, wurden Anstrengungen unternommen, hier Abhilfe zu schaffen. Als probater Ausweg eröffnete sich die Zumischung von Kraftstoffkomponenten mit erhöhter Dichte.

Im Ergebnis der Überlegungen fand sich der Kraftstoff, der die DIN EN 590 und auch die 10. BImSchV erfüllt. Er erhielt den Namen *Diesel R33* und besteht zu sieben Prozent aus Altspeiseölmethylester, zu 26 % aus HVO sowie einem qualitativ hochwertig additivertem Dieselkraftstoff. Der im Projekt verwendete Altspeiseölmethylester wurde überwiegend aus gebrauchtem Speiseöl gewonnen, das in der Region Coburg eingesammelt wurde. Das HVO wurde aus Rapsöl und nachhaltigem Palmöl hergestellt. Der Begriff *Diesel R33* drückt den Regenerativitätsgrad von 33 Prozent aus. *Diesel R33* liegt mit diesem hohen Biogehalt und dem gleichzeitigen Erfüllen der Normanforderungen europaweit sehr weit oben.

Um die Technologiebrücke zu zukünftigen Kraftstoffen zu beschreiten, die nicht der so genannten Teller-Trog-Tank-Diskussion unterliegen, wurde ein Fahrzeug der *Diesel R33*-Versuchsflotte mit einem HVO-Äquivalent aus hydriertem Algenöl betrieben. Zusätzlich war ein Fahrzeug mit einem HVO-Äquivalent auf Hefeölbasis in den Versuch eingebunden. *Diesel R33* stellt somit kein Einzelprodukt dar, sondern ist eine Produktfamilie mit definierten Zusammensetzungsgrenzen, die offen für eine Vielzahl unterschiedlicher Kraftstoffprovenienzen ist.

Diesel R33 wurde in Coburg in einem Flottenversuch getestet. Die Flotte bestand aus rund 280 Fahrzeugen (Lkw, Pkw, Busse und mobile Arbeitsmaschinen) der Abgasklassen Euro 0 bis Euro 6. An der Walther Tankstelle in Coburg wurden vom 01.08.2013 bis zum 04.03.2015 insgesamt 214.100 Liter *Diesel R33* verkauft. Zusätzlich versorgte die SÜC Betriebstankstelle in Coburg die eigene Flotte mit 1.685.408 Litern *Diesel R33*. In Summe wurden 1.899.508 Liter *Diesel R33* verbraucht, ohne dass es zu Schäden kam.

Neben der Kompatibilitätsprüfung zum gesamten deutschen Fahrzeugbestand war für *Diesel R33* die Abgasuntersuchung ein sehr wichtiger Aspekt. Hieran knüpfte sich das mögliche Potenzial von *Diesel R33*, auch als Innenstadtkraftstoff oder als Kraftstoff zur Verlängerung des Ölwechselintervalls geeignet zu sein.

Aufgrund der Einführung des Dieselkraftstoffpartikelfilters (DPF) in Fahrzeugen ist für dessen Regeneration eine Nacheinspritzung notwendig. Diese Nacheinspritzung führt dazu, dass Kraftstoff über die Kolbenwände ins Motoröl eingetragen wird. Dieselkraftstoff kann aus dem



Motoröl aufgrund der hohen Temperaturen und der geringen Siedelage (170 – 380 °C) zu großen Teilen destillieren (Mollenhauer und Tschöke 2007; Krahl et al. 2012). In der Norm für Dieselkraftstoffe DIN EN 590 ist die Temperatur für den 95 % verdampften Anteil auf 360 °C festgesetzt (Mollenhauer und Tschöke 2007). Biodiesel hingegen hat einen Siedebereich zwischen 320 °C bis 360 °C und verbleibt aus diesem Grund im Motoröl. *Diesel R33* besitzt zwar 33 Prozent Biogenitätsgehalt, aber hinsichtlich seines Biodieselanteils ist er mit herkömmlichen Dieselkraftstoff vergleichbar, der maximal 7 Prozent Biodiesel beträgt. HVO ist mit Blick auf die Siedelage (265 – 320 °C) (Reschetilowski 2009; Krahl et al. 2012) einen Dieselkraftstoff (DK) vergleichbar und kann analog zu diesem destillativ aus dem Motoröl entfernt werden.

Unter der Annahme, dass in Deutschland ca. fünf Millionen Diesel-Pkw mit Dieselpartikelfilter mit einer jährlichen Fahrleistung von 20.000 km, einem Ölwechselintervall gleicher Länge sowie einem Motorölvolumen von vier Litern betrieben werden, ergibt sich ein jährlicher Motorölverbrauch von 20 Millionen Litern. Eine Verlängerung des Ölwechselintervalls um beispielsweise 10 % ergäbe eine Einsparung von zwei Millionen Litern Motoröl, was neben dem wirtschaftlichen Kundennutzen mit einem wahrnehmbaren ökologischen Vorteil verbunden wäre.

HVO ist aromatenfrei und könnte daher als Komponente von *Diesel R33* zu einer geringeren Rußbildung führen. Unter dieser Arbeitshypothese und ungeachtet anderer Einflüsse wie einer erhöhten Cetanzahl wurde zu Projektbeginn nicht ausgeschlossen, dass *Diesel R33* die Anzahl der Regenerationszyklen des DPF reduzieren kann. Daraus resultierten ein geringerer Eintrag von Biodiesel ins Motoröl und eine verlängerte Haltbarkeit des DPF-Systems. Jedoch zeigte Harndorf (2013) nach Projektbeginn, dass es aufgrund der hohen Cetanzahl von HVO schon bei 30 Prozent HVO in Dieselkraftstoff zu einer Verrußung der Abgasrückführung kommen kann.

Neben der Weiterentwicklung der Motortechnologie und der Abgasnachbehandlung wurde in den letzten Jahren auch die Kraftstoffforschung intensiviert, um die aktuellen EU-Abgas- und Klimagasgrenzwerte einhalten zu können. In diesem Zusammenhang wurde den Abgasemissionen von Kraftstoffen aus regenerativen Quellen (Pflanzenölmethylester, Biodiesel) und aktuell HVO verstärkt Aufmerksamkeit gewidmet.

Aus arbeits- und umweltmedizinischer Sicht ist es geboten, die Wirkungen von Dieselmotoremissionen (DME) bei der Neu- und Weiterentwicklung von Motoren, Abgasreinigungssystemen und Kraftstoffen zu erfassen, denn seit 2012 sind Dieselmotoremissionen von der Internationalen Agentur für Krebsforschung als kanzerogen für den Menschen klassifiziert (International Agency for Research on Cancer und World Health Organization 2012). Daher war es im Projekt *Diesel R33* wichtig, Wirkungsuntersuchungen mit dem neuen Kraftstoff durchzuführen. Im Einzelnen wurden vergleichende Mutagenitätsuntersuchungen für DK- und *Diesel R33*-Abgas durchgeführt.

2. Kraftstoffkomponenten

Heutige Tankstellendieselmotorkraftstoffe beinhalten maximal 7 % Biodiesel. Aufgrund der deutschen Treibhausgasreduzierungsziele werden vermehrt Biokraftstoffe eingesetzt. Mit *Diesel R33* ist ein 33 %-iger biogener Dieselmotorkraftstoffblend gelungen, der neben dem fossilen Dieselmotorkraftstoff (67 %) 26 % hydriertes Pflanzenöl und 7 % Biodiesel beinhaltet. Zusätzlich sind in dieser Kraftstoffformulierung 500 ppm hochwertige Additive enthalten.

2.1. Dieselmotorkraftstoff

Die Dieselmotorkraftstoff (DK) zählt zu den Mitteldestillaten und besteht aus einer Mischung aus mehr als 200 unterschiedlichen Kohlenwasserstoffverbindungen. Hierzu zählen Paraffine, cyclische Paraffine, Aromaten und Olefine. Die herkömmliche Herstellung von DK erfolgt mittels Rohölordestillation. Neben der atmosphärischen und katalytischen Destillation existieren auch weitere Produktionsmethoden, wie z. B. das thermische oder katalytische Cracken bzw. das Hydrocracken. Durch diese Verfahren lassen sich Ausbeute und Qualität der produzierten Dieselmotorkraftstoffe erhöhen.

2.2. Hydriertes Pflanzenöl

Im Projekt *Diesel R33* wurden nachhaltig zertifizierte Pflanzenöle, wie Palmöl und Rapsöl für die HVO-Herstellung eingesetzt. Der Anteil von Rapsöl und Palmöl beträgt je 50 Prozent. Der Hydrotreating-Prozess läuft nach folgendem Schema (Abbildung 1) ab.

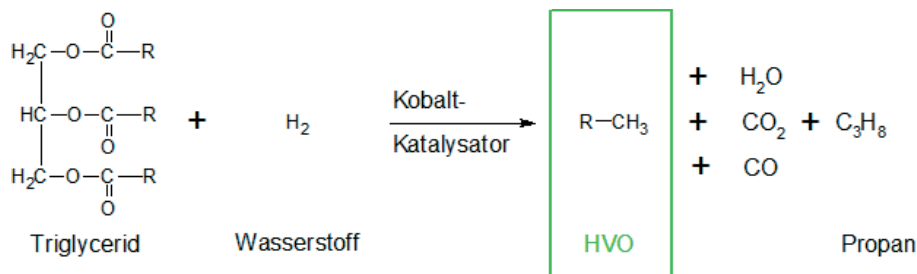


Abbildung 1: Reaktion des Herstellungsprozesses von HVO (Krahl et al. 2012)

Für diese Reaktion müssen die verwendeten Pflanzenöle zu Beginn vorbehandelt werden, um Feststoffe und Wasser abzuscheiden. Das Hydrotreating-Verfahren erfolgt unter Einsatz eines Kobalt- oder Nickelmolybdän-Katalysators bei Temperaturen von 350 bis 450 °C und einem Wasserstoffpartialdruck von 48 bis 152 bar. Bei einem Einsatz von 1,23 Tonnen Rapsöl wird eine Tonne Kraftstoff gewonnen, das einem Wirkungsgrad von 81 % entspricht. Durch das Triglycerid strömt Wasserstoff und durch den Prozess entsteht neben dem HVO auch Propangas. Dieses Gas kann im Anschluss verflüssigt oder zu Brenn- oder Heizgas, bei PKW als Autogas oder als Brenngas für Heißluftballons weiterverarbeitet werden (Reif 2010). Natürlich kann Propangas auch anderweitig thermisch oder thermochemisch genutzt werden.



2.3. Biodiesel

Der im *Diesel R33* verwendete Biodiesel wurde aus gebrauchtem Pflanzenöl gewonnen, das im Raum Coburg eingesammelt wurde. Der Herstellungsprozess ist die Umesterung von Altspeseöl zu Altspeseölmethylester (Used cooking oil methylester – UCOME). Dieser Prozess ist in Abbildung 2 dargestellt.

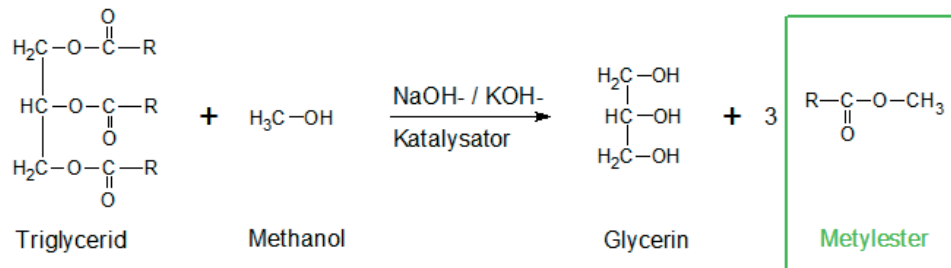


Abbildung 2: Reaktion des Herstellungsprozesses von UCOME (Krahl et al. 2012)

Nach einer Vorbehandlung des gebrauchten Rapsöls – entschleimt, gefiltert und anschließend getrocknet – findet die Umesterung oder auch Alkohololyse des Triglycerids mittels Methanol und eines Katalysators statt. Hierbei wird das relativ hoch-molekulare Triglycerid in drei niedrig-molekulare Verbindungen (Fettsäuremethylester) gespalten. Als Nebenprodukt entsteht bei dieser Reaktion Glycerin, das vielseitig (z. B. für die Herstellung von Seife und Kosmetika) weiterverwendet werden kann. Nach einer mehrstufigen Aufarbeitung durch Abtrennung von Glycerin und überschüssigem Methanol steht Biodiesel mit einem Wirkungsgrad von rund 100 % zur Verfügung (Kaltschmitt et al. 2009).

2.4. Additive

Da in *Diesel R33* ein hochwertiges Additivpaket enthalten ist, verfügt *Diesel R33* über WWFC-Qualität (World Wide Fuel Charter-Qualität). Dieses Paket wurde aus Verbesserern der thermischen Stabilität und Lagerstabilität, Korrosions- und Verschleißschutz, Injektorreinigung, Entschäumen und Demulgatoren hergestellt. Die folgende Liste (Tabelle 1) zeigt die verwendeten Additivkomponenten in herkömmlichen Dieselkraftstoffen und Premiumkraftstoffen sowie deren Eigenschaften.



Tabelle 1: Additivgruppen mit Eigenschaften (Reif 2010)

ANTIOXIDANTIEN	Steigerung der thermischen Stabilität
ANTISCHAUMMITTEL (DEFOAMANT)	Verhinderung von übermäßigem Schäumen bei schneller Betankung
DETERGENZIEN	Reinhaltung der Einlasssysteme
FLIEßVERBESSERER	Herabsetzung des Grenzwertes der Filtrierbarkeit
KORROSIONINHIBITOREN	Schutz vor Korrosion von metallischen Oberflächen beim Eintrag von Wasser
SCHMIERFÄHIGKEITSVERBESSERER	Steigerung der Schmierfähigkeit
ZÜNDVERBESSERER	Verkürzung des Zündverzugs



3. Quotenhandel

Quotenhandel ist der Handel der energetischen Mindestanteile von Biokraftstoffen an der Gesamtkraftstoffmenge. Doch die Biokraftstoffe sind derzeit aufgrund ihrer kostenintensiveren Herstellung im Vergleich zu fossilem Kraftstoff, der für seine Klimaauswirkungen nur bedingt aufkommen muss, heute nicht wettbewerbsfähig. Um Biokraftstoffe wettbewerbsfähig zu gestalten, wurden regulatorische Eingriffe getätigt, z. B. wurde bis zum Jahr 2006 die Steuerbefreiung von Biokraftstoffen in Deutschland umgesetzt und seit dem Jahr 2007 eine Quote eingeführt. Dies bedeutet für einen Inverkehrbringer von Kraftstoffen, dass dieser entsprechend der von ihm in den Markt gebrachten Menge an fossilem Kraftstoff auch eine vorgeschriebene Menge (Quote) an Biokraftstoff in den Markt bringen muss. Bis zum Jahr 2014 wurde diese Quote bzw. die Menge an Biokraftstoff auf Basis des Energiegehaltes des Kraftstoffs ermittelt. Seit Beginn des Jahres 2015 muss eine vorgeschriebene Treibhausgaseinsparung (THG-Einsparung) erzielt werden (siehe Kapitel 1). Dies bedeutet, dass die Menge an Biokraftstoff, die in den Markt eingebracht werden muss, abhängig vom THG-Einsparungspotenzial des eingesetzten Biokraftstoffs ist. Die eingesetzten Biokraftstoffe müssen sowohl nachhaltig produziert, als auch deren THG-Wert durch ein zertifiziertes Unternehmen belegt sein. Somit ist der Inverkehrbringer gleichzeitig der Quotenverpflichtete. Er muss die Einhaltung der von ihm in den Markt zu bringenden Biokraftstoffquote durch entsprechende Nachweise bescheinigen. Eine Erfüllung dieser Verpflichtung kann dadurch erfolgen, dass er entsprechende Zertifikate von einem anderen Verpflichteten zukaufte. Im Falle einer Übererfüllung der eigenen Quote kann der Verpflichtete die nicht selbst benötigten Zertifikate an einen Dritten Quotenverpflichteten abgeben. Erfüllt ein Quotenverpflichteter seine Quote nicht oder nur zum Teil, so muss dieser für die nicht erfüllte Menge eine Pönale entrichten. Die Höhe der Pönale richtet sich nach dem Kraftstoff, für den die vorgeschriebene biogene Menge nicht erreicht wurde (Europäische Union 05.06.2009a).

Ein Quotenverpflichteter kann beim Verkauf von Dieselmethylester, geblendet mit Biodiesel aus Rapsöl, 2,22 % THG einsparen. Um die Treibhausgase um zehn Prozent zu senken, müsste 26 % Biodiesel im Blend enthalten sein, was nicht konform zur DIN EN 590 ist. Rapsölmethylester (Standardwert: 52 g CO₂eq/MJ) besitzt ein geringeres THG-Einsparungspotenzial als Altspeiseölmethylester (Standardwert: 14 g CO₂eq/MJ) (Europäische Union 05.06.2009a). Setzt der Verpflichtete also einen Biokraftstoff aus Altspeiseöl ein, so müsste dieser nach der Berechnung aus der Richtlinie 2009/30/EG zu zwölf Prozent im Blend eingesetzt werden. Für Altspeiseölmethylester gilt, wie für Biodiesel (FAME) in der DIN EN 590, die Beimischungsgrenze von sieben Prozent. Da zwar die Zugabe von FAME, nicht aber für HVO reglementiert ist, könnten für letzteren Kraftstoff höhere Beimischungen eingesetzt werden, um für ein definiertes Kraftstoffvolumen eine THG-Minderung zu erzielen. Im Diesel R33 wird somit ein höherer THG-Einsparungswert erreicht als gefordert. Die sogenannte Überschussmenge kann anschließend mit Kraftstoffen, die keine oder eine nicht ausreichende Biokraftstoffquote erfüllen, verrechnet werden. Ferner können Inverkehrbringer diese als Zertifikat ausgewiesenen Überschüsse per Quotenhandel an andere Quotenverpflichtete verkaufen.

4. Treibhausgasbilanzierung

Wie bereits in Kapitel 3 erläutert, haben Kraftstoffe mit biogenen Komponenten das Potenzial, Treibhausgase zu mindern. Um das Treibhausgaspotenzial von *Diesel R33* relativ zur fossilem DK zu ermitteln, erfolgten Berechnung von O'Connor, der bereits für die IEA Bioenergy derartige Arbeiten ausgeführt hat (O'Connor 2014).

4.1. Verwendetes Modell

Bei der THG-Kalkulation wird der gesamte Lebenszyklus eines Produktes berücksichtigt. Eine solche Lebenszyklusanalyse (LCA) ist schematisch in Abbildung 3 aufgeführt. Bei der LCA werden alle Stufen des Produktes modular betrachtet. Die Lebenszyklusanalyse stellt unter Einbeziehung von Vor- und Nachkette eine Übersicht der Massen- und Energieströme sowie der wesentlichen Umweltaspekte des Produktes oder Prozesses dar.

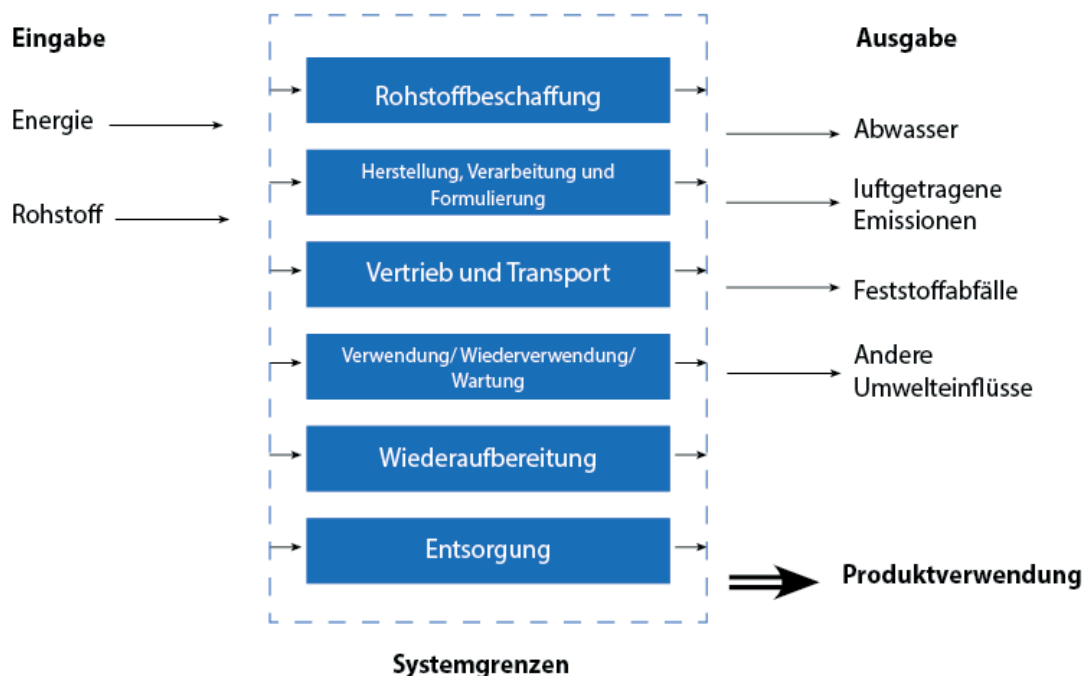


Abbildung 3: Lebenszyklus (nach O'Connor 2014)

Für die Berechnung wurde das BioGrace-Modell ausgewählt. Dieses Modell entstand in einem von der EU geförderten Projekt mit dem Ziel der Harmonisierung der Treibhausgasemissionskalkulation von Biokraftstoffen. Diese sind in den EU Richtlinien 2009/28/EG (Erneuerbare Energie) und 2009/30/EG (Kraftstoffqualität) enthalten. In diesen Richtlinien setzte die EU im Jahr 2009 nachhaltige Kriterien für Biodiesel ein. In beiden Richtlinien sind Standardwerte von 22 Biokraftstoffherstellungswegen aufgezeigt. Ein Auszug ist in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Auszug von typischen Werten und Standardwerten für Biokraftstoffe bei Herstellung ohne Netto-CO₂-Emissionen infolge von Landnutzungsänderungen (Europäische Union 05.06.2009a, 05.06.2009b)

HERSTELLUNGSWEG DES BOKRAFTSTOFFS	TYPISCHE WERTE FÜR DIE MINDE- RUNG VON THG-EMISSIONEN	STANDARDWERTE FÜR DIE MINDE- RUNG VON THG-EMISSIONEN
Biodiesel aus Raps	45 %	38 %
Biodiesel aus Sonnenblumen	58 %	51 %
Biodiesel aus Sojabohnen	40 %	31 %
Biodiesel aus pflanzlichen oder tierischen ¹ Abfallölen	88 %	83 %
Hydriertes Rapsöl	51 %	47 %
Hydriertes Sonnenblumenöl	65 %	52 %
Hydriertes Palmöl (Verfahren nicht spezifiziert)	40 %	26 %
Hydriertes Palmöl (Verarbeitung mit Methanabtrennung an der Ölmühle)	68 %	65 %

Diese Emissionsminderungswerte können auch mit der folgenden Gleichung (1) berechnet werden.

$$E = e_{ec} + e_l + e_p + e_{td} + e_u - e_{sca} - e_{ccs} - e_{ccr} - e_{ee} \quad (1)$$

E	=	Gesamtemissionen bei der Verwendung des Kraftstoffs
e_{ec}	=	Emission bei der Gewinnung oder beim Anbau der Rohstoffe
e_l	=	Auf das Jahr umgerechnete Emissionen aufgrund von Kohlenstoffbestandsänderungen infolge von Landnutzungsänderungen
e_p	=	Emissionen bei der Verarbeitung
e_{td}	=	Emissionen bei Transport und Vertrieb
e_u	=	Emissionen bei der Nutzung des Kraftstoffs
e_{sca}	=	Emissionseinsparung durch Akkumulierung von Kohlenstoff im Boden infolge besserer landwirtschaftlicher Bewirtschaftungspraktiken

¹ Ohne tierisches Öl aus tierischen Nebenprodukten, die in der Verordnung (EG) Nr. 1774/2002 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 3. Oktober 2002 mit Hygienevorschriften für nicht für den menschlichen Verzehr bestimmte tierische Nebenprodukte (ABl. L 273 vom 10.10.2002, S. 1) als Material der Kategorie 3 eingestuft werden.



e_{ccs}	=	Emissionseinsparung durch Abscheidung und geologische Speicherung von Kohlendioxid
e_{ccr}	=	Emissionseinsparung durch Abscheidung und Ersetzung von Kohlendioxid
e_{ee}	=	Emissionseinsparung durch überschüssige Elektrizität aus Kraft-Wärme-Kopplung

Das BioGrace-Modell besitzt die Möglichkeit, die aktuellen Werte der Wertschöpfungskette zu verwenden. Daher können die anschließend berechneten Werte für den verwendeten U-COME und das verwendete HVO von den Werten in Tabelle 2 abweichen.

Neben der Verwendung der aktuellen Werte für Altspeiseölmethylester und HVO aus Rapsöl und Palmöl fand eine Modifikation des BioGrace-Modells statt. Es wurden Chemikalien für die Biokraftstoffherstellung hinzugefügt, da für die beiden berechneten Biokraftstoffe nicht jede Chemikalienzufuhr und Lebenszyklusstation vorhanden war. Des Weiteren wurde das Modell dahingehend modifiziert, dass für UCOME und HVO zusätzlich die Transportvarianten, Herstellungsort-Blendort und Blendort-Verkaufsort, verwendet werden können. Diese waren ursprünglich nicht Bestandteil des BioGrace-Modells. Die vorgenommenen Modifikationen sind konsistent zur existierenden Struktur des Modells.

Des Weiteren erlaubt das BioGrace-Modell die Berechnung des Treibhauspotenzials mit den Werten des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) aus den Jahren 2001 und 2007. Die in diesem Bericht dargestellten Ergebnisse basieren auf den in Tabelle 3 dargestellten Zahlenwerten für das massenbezogene Treibhauspotenzial der Klimagase Methan und Lachgas relativ zu CO₂.

Tabelle 3: Massenbezogenes Treibhausgaspotenzial von Methan und Lachgas relativ zu CO₂ (O'Connor 2014)

	2001	2007
Kohlenstoffdioxid	1	1
Methan	23	25
Lachgas	296	298

4.2. Dieselkraftstoff

Das BioGrace-Modell deckt nicht den Dieselkraftstoff-Produktionsweg ab. Allerdings ist im Modell bereits ein Standardwert von 87,64 g CO₂eq/MJ (H_u) für die Berechnungen mit DK hinterlegt, was dem Wert der Erneuerbaren Energie Richtlinie (83,8 g CO₂eq/MJ (H_u)) annähernd entspricht. Weitere Anhaltswerte sind in Tabelle 4 dargestellt, aus der bereits ersichtlich ist, dass die Standardwerte sich deutlich voneinander unterscheiden. Dies liegt an der Gewinnung der unterschiedlichen Rohöle.