



DIPLOMARBEIT

Master Thesis

Beurteilung der Umweltbelastung von Kraftstoffen: Ein Vergleich der Treibhausgas-Emissionen von Bioethanol aus Zuckerrohr und Benzin anhand einer Lebenszyklus-Analyse

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades
eines Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Helmut Rechberger

Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft (E226)

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Ivan Henrique Soriano da Silva

Neustiftgasse 96/2/11, A-1070 Wien

Matrikelnummer: 0626792

Studienkennzahl: 066467

Wien, September 2010

Kurzfassung:

Beurteilung der Umweltbelastung von Kraftstoffen: Ein Vergleich der Treibhausgas-Emissionen von Bioethanol aus Zuckerrohr und Benzin anhand einer Lebenszyklus-Analyse.

Ivan Soriano

Biokraftstoffe haben sich immer mehr zu einem Schwerpunkt aktueller Forschungen entwickelt - insbesondere in Hinblick auf ihre Fähigkeit, Kraftstoffe aus fossilen Energieträgern ersetzen zu können. Konsens herrscht im Allgemeinen darüber, dass ihre physikalisch-chemischen Eigenschaften in Bezug auf Leistung und Sicherheit alle Anforderungen für eine Substitution der fossilen Kraftstoffe erfüllen. Weniger klar hingegen ist, ob die Biokraftstoffe auch wirklich eine wesentlich bessere Alternative für die Umwelt darstellen als die aus Erdöl hergestellten, heute weit verbreiteten Kraftstoffe.

Obwohl die Biokraftstoffe aus erneuerbaren und „saubereren“ Quellen herrühren als die aus Erdöl erzeugten Brennstoffe, werden während ihrer gesamten Produktionskette verschiedene andere Energiequellen verwendet - einschließlich derselben fossilen Brennstoffe, welche sie ersetzen sollen. Um die tatsächlichen Vorteile (wenn es denn Vorteile sind) der Biokraftstoffe feststellen zu können, ist es daher erforderlich, ihren gesamten Lebenszyklus zu analysieren und eine sorgfältige Bestandsaufnahme der durch sie in jeder Phase des Lebenszyklus verursachten (direkten und indirekten) Emissionen durchzuführen.

In diesem Zusammenhang soll die vorliegende Arbeit zur Bewertung der Verwendung von Bioethanol (hergestellt aus Zuckerrohr) beitragen, in Hinblick auf eine mögliche Substitution von Benzin für Zwecke des Individual-Personenverkehrs. Um die Auswirkungen für die Umwelt zu beurteilen, sollen die jeweils entstehenden Treibhausgas-Emissionen (d.h. die Emissionen der den Treibhauseffekt verursachenden und damit zur Erderwärmung und zum globalen Klimawandel beitragenden Gase) während des gesamten Lebenszyklus beider Kraftstoffe untersucht und einander gegenübergestellt werden.

Für den Vergleich beider Kraftstoffe und der Berechnung der durch sie freigesetzten THG-Emissionen wird eine Lebenszyklus-Analyse durchgeführt, die sämtliche von der Herstellung bis zum Verbrauch ablaufenden Prozesse mit einschließt. Dabei wird für jeden Kraftstoff ein jeweils spezifisches Szenario konstruiert, wo dessen Verwendung in österreichischem Territorium zu derzeit herrschenden (und vergleichbaren) Rahmenbedingungen simuliert werden kann. Das erste Szenario konstituiert eine Sequenz hypothetischer Prozesse, welche mit dem Anbau von Zuckerrohr, des Rohstoffs für Bioethanol, und dessen Raffination in Brasilien beginnt und mit dem Konsum des hergestellten Biokraftstoffs in Österreich (ausgehend von den 24 derzeit existierenden Tankstellen) endet. Das zweite Szenario zur Repräsentation der Emissionen des österreichischen Benzins berücksichtigt alle Prozesse des Lebenszyklus dieses Kraftstoffs - angefangen bei den verschiedenen Rohöllieferanten bis zum durchschnittlichen FFV-Auto, das den Kraftstoff konsumiert.

Bei beiden Szenarien werden für den gesamten Lebenszyklus des Kraftstoffs die wichtigsten Quellen der THG-Emissionen erhoben - sowohl für die direkten als auch für die indirekten Emissionen. Nach einer Quantifizierung der Emissionen in jedem Prozess der Szenarien werden die einzelnen Werte in die funktionelle Einheit dieser Studie umgewandelt ($\text{kg CO}_2 \text{ eq} / 100 \text{ km}$) und können dadurch summiert und miteinander verglichen werden.

Abstract:

Assessing the environmental impact of fuels: A comparison of greenhouse gas emissions from gasoline and bioethanol made of sugar cane through a life cycle analysis.

Ivan Soriano

Biofuels have become a focus of current research, especially in order to evaluate whether they may be able to replace fossil fuels. In general there is consensus that their physical and chemical properties comply, in terms of performance and security, all requirements for a substitution of fossil fuels. Less clear, however, is whether biofuels are really a much better alternative for the environment than the petroleum products, which are nowadays the most widely used fuels.

Although biofuels derive from renewable and "cleaner" sources than the fuels produced from petroleum, during their entire production chain various other energy sources are used - including the same fossil fuels, which they are supposed to replace. To assess the actual benefits (if there are benefits) of the use of biofuels, it is therefore necessary to analyze their entire life cycle and to accomplish a careful inventory of the (direct and indirect) emissions caused by them in every phase of the life cycle.

In this context, the present study should contribute to evaluate the use of bioethanol (produced from sugar cane), having in view a possible substitution of gasoline for purposes of individual passenger transport. To assess the impact on the environment, the resulting greenhouse gas emissions (i.e., the emissions of gases that cause the greenhouse effect and thus contribute to global warming and climate change) have to be examined throughout the life cycle of both fuels and compared with each other.

For the comparison of the two fuels and the calculation of the GHG emissions released by them, a life cycle analysis is performed, which includes all involved processes (from production until consumption). For each fuel a specific scenario is constructed, where its use can be simulated in Austrian territory under similar and currently existing (or probable) conditions. The first scenario constitutes a hypothetical sequence of processes that begins with the cultivation of sugar cane, the raw material for bioethanol, and the refining in Brazil and ends with the consumption of the produced biofuel in Austria (based on the 24 currently existing gas stations). The second scenario should represent the emissions of the Austrian gasoline and takes into account all processes of the life cycle of this fuel - from the various crude oil suppliers to the average FFV-car that consumes the fuel.

In both scenarios the main sources of GHG emissions are analyzed for the entire life cycle of the fuel - considering the direct as well as the indirect emissions. After a quantification of the emissions in each process of the scenarios, the individual values are converted in the functional unit of this study (kg CO₂ eq / 100 km) and can thus be summed and compared.

Danksagung

Zum Zustandekommen dieser Arbeit haben verschiedene Personen wesentlich beigetragen.

Ihnen möchte ich im Folgenden danken:

- Helmut Rechberger und Anton Zuser für die Betreuung dieser Arbeit.
- Meiner Frau für die Zeit und die Mühe, die sie für die Übersetzung dieser Arbeit aufgewendet hat, und für die Geduld, mit mir fast täglich über die ihrem Leben eigentlich so fremden Themen dieser Arbeit zu diskutieren.
- Meinen Schwiegereltern für die Unterstützung in vielen tagtäglichen Angelegenheiten, insbesondere in Bezug auf meine Tochter Clara, sodass es mir möglich wurde, mich auf die Ausarbeitung dieser Arbeit zu konzentrieren.

Inhalt

Einleitung	07
-------------------	-----------

TEIL A:

GRUNDLAGEN UND BESCHREIBUNG DER SYSTEME

1) Die Hauptkraftstoffe für Personenkraftwägen	10
-------------------------------------------------------	-----------

1.1) Die Biokraftstoffe	10
-------------------------	----

1.1.1) Bioethanol	11
-------------------	----

1.2) Kraftstoffe aus fossilen Energieträgern	12
----------------------------------------------	----

1.2.1) Benzin	12
---------------	----

2) Beschreibung der Systeme: Bioethanol und Benzin	14
-----------------------------------------------------------	-----------

2.1) Hauptprozesse der Bioethanolproduktion	15
---------------------------------------------	----

2.1.1) Biomasseanbau	15
----------------------	----

2.1.2) Bioethanolerzeugung	16
----------------------------	----

2.2) Hauptprozesse der Benzinproduktion	17
-----------------------------------------	----

2.2.1) Erdölförderung	17
-----------------------	----

2.2.2) Benzinerzeugung	19
------------------------	----

TEIL B:

BESCHREIBUNG DER SZENARIEN, DARSTELLUNG UND

VERGLEICH DER ERGEBNISSE

1) Bioethanol: Beschreibung des Szenarios und Analyse	23
--------------------------------------------------------------	-----------

1.1) Prozess Biomasseanbau (P1)	24
---------------------------------	----

1.1.1) Berechnungen - Prozess Biomasseanbau (P1)	26
--------------------------------------------------	----

1.2) Andere Prozesse (P2, P3 und P4)	27
--------------------------------------	----

1.2.1) Berechnungen der Prozesse P2, P3 und P4	29
------------------------------------------------	----

1.3) Die Transportprozesse (T1, T2 und T3)	30
--------------------------------------------	----

1.3.1) Berechnung der Transportprozesse (T1, T2 und T3)	33
---------------------------------------------------------	----

1.4) Gesamt-Emissionen des Bioethanol-Szenarios und die funktionelle Einheit	34
------------------------------------------------------------------------------	----

1.4.1) Umrechnungen auf die funktionelle Einheit	35
--------------------------------------------------	----

2) Benzin: Beschreibung des Szenarios und Analyse	36
2.1) Erdölförderung (P1)	37
2.1.1) Berechnungen - Prozess Erdölförderung (P1)	38
2.2) Andere Prozesse (P2 und P3)	40
2.2.1) Berechnungen der Prozesse P2 und P3	41
2.3) Die Transportprozesse (T1 und T2)	41
2.3.1) Berechnungen der Transportprozesse (T1 und T2)	43
2.4) Gesamt-Emissionen des Benzin-Szenarios und die funktionelle Einheit	46
2.4.1) Umrechnungen auf die funktionelle Einheit	47
3) Darstellung der Ergebnisse und Vergleich mit anderen Studien	48
3.1) Kraftstoff-Emissionen im Vergleich: Bioethanol x Benzin	50
3.2) Bioethanol-Studien im Vergleich (Zuckerrohr x Zuckerrohr)	51
3.3) Benzin-Studien im Vergleich	52
3.4) Bioethanol- und Benzin-Studien im Vergleich	53
3.5) Vergleich der Studien unter „einheitlichen Bedingungen“	55
3.5.1) Variante 1: Ohne Berücksichtigung des Konsum-Prozesses und des Benzin-Anteils bei Bioethanol	55
3.5.2) Variante 2: Mit Berücksichtigung des Konsum-Prozesses und des Benzin-Anteils bei Bioethanol	58

TEIL C:

WEITERE ASPEKTE IN BEZUG AUF DEN ZUCKERROHRANBAU

1) Prekäre Arbeitsbedingungen in den Zuckerrohranbaugebieten	63
2) Konzentration des Grundbesitzes	65
3) Flächenkonkurrenz des Zuckerrohranbaus zur Nahrungsmittelproduktion und Bedrohung des Amazonischen Regenwalds	66
Schlussbetrachtungen	70

ANHANG

A) Der Treibhauseffekt	74
B) Lebenszyklus-Analyse (Life Cycle Assessment)	76
C) Indirect land use change (iLUC) and direct land use change (dLUC)	78
D) Die Bioethanol-Tankstellen	82
E) Das FFV-Auto	83
E.1) Funktionsweise - Flex-Fuel Vehicles	83
E.2) Das durchschnittliche FFV-Auto Österreichs	84
Literaturverzeichnis	86
Abbildungsverzeichnis	89
Tabellenverzeichniss	91

Einleitung

Fragestellung und Zielsetzung

Biokraftstoffe haben sich immer mehr zu einem Schwerpunkt aktueller Forschungen entwickelt - insbesondere in Hinblick auf ihre Fähigkeit, Kraftstoffe aus fossilen Energieträgern ersetzen zu können. Konsens herrscht im Allgemeinen darüber, dass ihre physikalisch-chemischen Eigenschaften in Bezug auf Leistung und Sicherheit alle Anforderungen für eine Substitution der fossilen Kraftstoffe erfüllen. Weniger klar hingegen ist, ob die Biokraftstoffe auch wirklich eine wesentlich bessere Alternative für die Umwelt darstellen als die aus Erdöl hergestellten, heute weit verbreiteten Kraftstoffe.

Obwohl die Biokraftstoffe aus erneuerbaren und „saubereren“ Quellen herrühren als die aus Erdöl erzeugten Brennstoffe, werden während ihrer gesamten Produktionskette verschiedene andere Energiequellen verwendet - einschließlich derselben fossilen Brennstoffe, welche sie ersetzen sollen. Um die tatsächlichen Vorteile (wenn es denn Vorteile sind) der Biokraftstoffe feststellen zu können, ist es daher erforderlich, ihren gesamten Lebenszyklus zu analysieren und eine sorgfältige Bestandsaufnahme der durch sie in jeder Phase des Lebenszyklus verursachten (direkten und indirekten) Emissionen durchzuführen.

In diesem Zusammenhang soll die vorliegende Arbeit zur Bewertung der Verwendung von Bioethanol (hergestellt aus Zuckerrohr) beitragen, in Hinblick auf eine mögliche Substitution von Benzin für Zwecke des Individual-Personenverkehrs. Um die Auswirkungen für die Umwelt zu beurteilen, sollen die jeweils entstehenden Treibhausgas-Emissionen (d.h. die Emissionen der den Treibhauseffekt¹ verursachenden und damit zur Erderwärmung und zum globalen Klimawandel beitragenden Gase) während des gesamten Lebenszyklus beider Kraftstoffe untersucht und einander gegenübergestellt werden.

Unter den derzeit weltweit meist verwendeten Biokraftstoffen sticht Bioethanol hervor - da es in großem Maßstab und in einigen Ländern, insbesondere in den USA und Brasilien, bereits seit mehreren Jahrzehnten in Verwendung ist. Neueste Technologien wie die FFV-Autos² haben zu einer größeren Akzeptanz von Ethanol als Ersatz für Benzin auch in Europa geführt.

Fast 90% der weltweiten Bioethanolproduktion basiert auf den Rohstoffen Mais und Zuckerrohr. Das brasilianische Bioethanol, das aus Zuckerrohr gewonnen wird, unterscheidet sich von anderen Programmen und Projekten zur Biokraftstoffherstellung durch die Bestrebung seiner Produzenten, es weltweit zu exportieren, während andere nationale Programme (wie in den USA und in der EU) sich darauf konzentrieren, eine interne Nachfrage nach Biokraftstoffen in ihren Ländern zu bedienen (oder zu schaffen).

In diesem Zusammenhang ist es erforderlich zu wissen: Was wären - aus ökologischer Sicht - die Vorteile des brasilianischen Bioethanols im Vergleich zu Benzin? Und vor allem, bestünden Vorteile im Import des brasilianischen Bioethanols und seinem Verbrauch in österreichischem Territorium?

¹ Mehr Details über den Treibhauseffekt befinden sich im Anhang A.

² FFV-Auto (Fuel Flexible Vehicle): ein Automobil, das mit Benzin und Ethanol angetrieben wird.

Methodik

Für den Vergleich beider Kraftstoffe und der Berechnung der durch sie freigesetzten THG-Emissionen wird eine Lebenszyklus-Analyse³ durchgeführt, die sämtliche von der Herstellung bis zum Verbrauch ablaufenden Prozesse mit einschließt. Dabei wird für jeden Kraftstoff ein jeweils spezifisches Szenario konstruiert, wo dessen Verwendung in österreichischem Territorium zu derzeit herrschenden (und vergleichbaren) Rahmenbedingungen simuliert werden kann.

Das erste Szenario konstituiert eine Sequenz hypothetischer Prozesse⁴, welche mit dem Anbau von Zuckerrohr, des Rohstoffs für Bioethanol, und dessen Raffination in Brasilien beginnt und mit dem Konsum des hergestellten Biokraftstoffs in Österreich (ausgehend von den 24 derzeit existierenden Tankstellen) endet.

Das zweite Szenario zur Repräsentation der Emissionen des österreichischen Benzins berücksichtigt alle Prozesse des Lebenszyklus dieses Kraftstoffs - angefangen bei den verschiedenen Rohöllieferanten bis zum durchschnittlichen FFV-Auto⁵, das den Kraftstoff konsumiert.

Bei beiden Szenarien werden für den gesamten Lebenszyklus des Kraftstoffs die wichtigsten Quellen der THG-Emissionen erhoben - sowohl für die direkten als auch für die indirekten Emissionen. Nach einer Quantifizierung der Emissionen in jedem Prozess der Szenarien werden die einzelnen Werte in die funktionelle Einheit dieser Studie umgewandelt (kg CO₂ eq / 100 km⁶) und können dadurch summiert und miteinander verglichen werden.

Aufbau und Gliederung der Arbeit

Die Arbeit gliedert sich im Wesentlichen in drei Teile:

- Im ersten Teil (Teil A) werden die wichtigsten Prozesse beider Systeme genauer beschrieben. Dabei werden Biomasseanbau und Bioethanolproduktion sowie Erdölförderung und Benzinherstellung näher erläutert.
- Teil B, der Kern dieser Arbeit, beinhaltet eine spezifische Beschreibung der Szenarien und eine Berechnung der Emissionen jedes einzelnen Prozesses des Lebenszyklus von Bioethanol und Benzin. Am Ende dieses zweiten Teils befinden sich eine Präsentation der Ergebnisse der Studie sowie ein Vergleich dieser Ergebnisse mit anderen Studien, die in den letzten Jahren über das Thema veröffentlicht wurden.

³ Mehr Details zur Lebenszyklus-Analyse (LCA) siehe Anhang B.

⁴ In Österreich wird Bioethanol derzeit an 27 Tankstellen vertrieben (zum Zeitpunkt der Erhebung, im April 2010, waren es 24). Es wird allerdings aktuell kein Import von Ethanol brasilianischen Ursprungs registriert. Daher werden die ersten Etappen des Szenarios als hypothetisch bezeichnet.

⁵ FFV-Auto (Fuel Flexible Vehicle) - Details zum FFV- Auto und zur Definition des „durchschnittlichen Autos“ dieser Studie werden im Anhang E gezeigt.

⁶ Andere Gase als CO₂, die ebenfalls zur Entstehung des Treibhauseffekts beitragen, werden zu entsprechenden Konversionsfaktoren in CO₂ - Äquivalente umgewandelt (CO₂=1; CH₄=23; N₂O=296 - nach IPCC 2001).

- Der dritte Teil (Teil C) diskutiert kurz und bündig einige sozio-ökonomische Fragen, die mit dem Zuckerrohranbau in Brasilien direkt verbunden sind.

In den Schlussbetrachtungen erfolgen eine Bewertung der wichtigsten Ergebnisse der Studie sowie eine Erörterung allgemeiner daraus abgeleiteter Schlussfolgerungen und Empfehlungen. Im Anhang der Arbeit befinden sich Texte und Tabellen, die zu einem tieferen Verständnis einiger Punkte beitragen, in der Studie selbst aber nicht genauer ausgeführt werden, um vom gewählten Forschungsschwerpunkt nicht zu stark abzuweichen.

Teil A - Grundlagen und Beschreibung der Systeme

1) Die Hauptkraftstoffe für Personenkraftwägen

1.1) Die Biokraftstoffe

Als Biokraftstoffe werden jene Kraftstoffe bezeichnet, die aus Biomasse hergestellt werden. Einige der Biokraftstoffe besitzen ähnliche physikalische und chemische Eigenschaften wie die Brennstoffe aus fossilen Energieträgern, die für Transportzwecke in weit verbreiteter Verwendung sind (wie z.B. Diesel, Benzin oder - in einem geringeren Ausmaß - Erdgas⁷). Sie können daher - mit Hilfe relativ einfacher und in vielen Ländern gewerblich genutzter Technologien - mit diesen gemischt werden bzw. diese komplett ersetzen⁸.

Im Gegensatz zu den fossilen Brennstoffen, werden Biokraftstoffe aus erneuerbaren Ressourcen hergestellt. Darüber hinaus kann ein großer Teil der Emissionen, die beim Prozess „Konsum“ der Biokraftstoffe, d.h. bei der internen Verbrennung in Fahrzeugmotoren, erzeugt werden, als neutral betrachtet werden, da der Großteil des freigesetzten CO₂ zu einem früheren Zeitpunkt - während des Wachstums der als Rohstoffe für Biokraftstoffe dienenden Pflanzen - aus der Atmosphäre aufgenommen worden ist⁹.



Abbildung A 1-1: Die wesentlichen Prozessphasen des Lebenszyklus von Biokraftstoffen

Bioethanol, Biodiesel und Biogas sind die Hauptkonkurrenten für fossile Brennstoffe (wie Benzin, Diesel und Erdgas), die für Transportzwecke verwendet werden. Biogas kann durch verschiedene Verfahren aus gesteuerten biologischen Abbauprozessen produziert werden. Biodiesel kann aus tierischen oder pflanzlichen Fetten hergestellt werden, wobei die am häufigsten für die Produktion verwendeten Rohstoffe Soja, Rizinus, sowie Palm- und Rapsöl sind.

Bioethanol, der Schwerpunkt dieser Arbeit, wird im Folgenden ausführlicher behandelt.

⁷ Fahrzeuge, die mit Erdgas angetrieben werden, können auch mit Benzin getankt werden.

⁸ Bei Fahrzeugen mit der FFV-Technologie (*Flexible Fuel Vehicles*) ist die Zufuhr von Bioethanol (E85) und Benzin (E05) in unterschiedlichen Mischverhältnissen beider Kraftstoffe möglich. Siehe Anhang E.

⁹ Bei dieser Studie werden die Treibhausgas-Emissionen während der Verbrennungsphase (Prozess „Konsum“) von Bioethanol (E85) als nicht ganz neutral angesehen. Denn abgesehen von CH₄ und N₂O, beides auch Treibhausgase (THG), wird auch eine bestimmte (zusätzliche) Menge an CO₂ freigesetzt, die auf den Benzin-Anteil der Mischung zurückzuführen ist. E85 = 85% Ethanol + 15% Benzin.

1.1.1) Bioethanol

Bioethanol – $C_2H_5(OH)$ –, oder einfach EtOH genannt, ist ein Alkohol, der aus Biomasse hergestellt wird, und stellt derzeit den für Transportzwecke meistgenutzten Biokraftstoff weltweit dar - sei es pur oder gemischt mit Benzin¹⁰.

Ein Großteil der weltweiten Produktion von Bioethanol wird aus Zuckerrohr (Brasilien) oder Mais (USA) produziert (siehe Abbildung A 1-2). In kleinerem Ausmaß kommen auch z.B. Weizen, Zuckerrüben und Kartoffeln (Europa) vor. Die Bioethanol-Herstellung aus Holz (Lignocellulose) oder aus Abfällen ist derzeit nicht von wirtschaftlicher Bedeutung und befindet sich noch in der Forschungsphase.

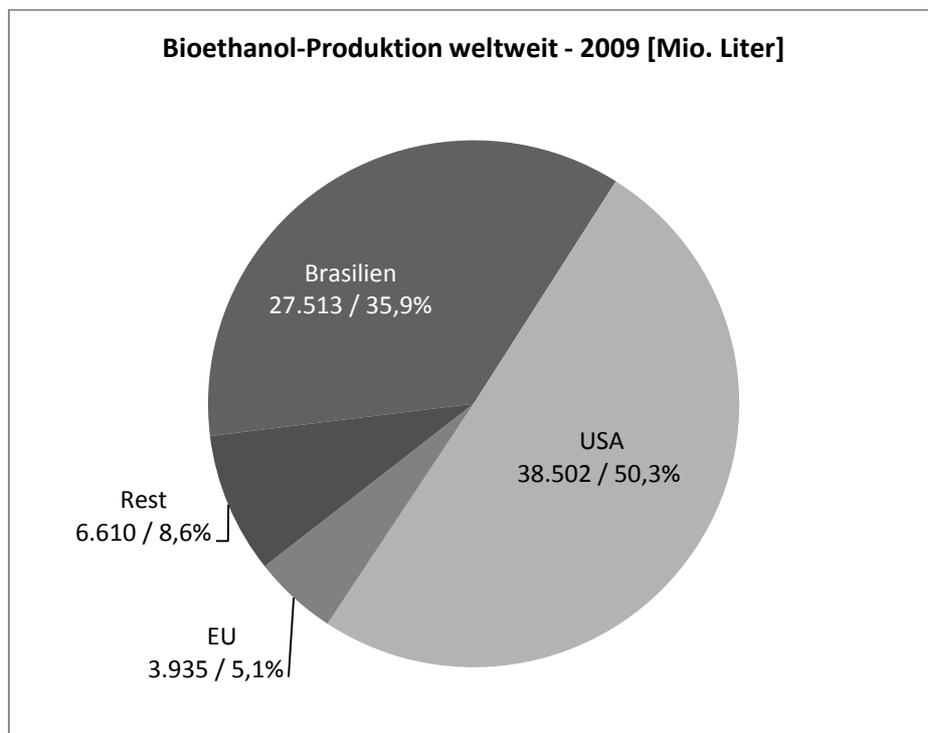


Abbildung A 1-2: Weltweite Produktion von Bioethanol – 2009. Quelle: RFA und Unica

Im Vergleich mit Benzin, besitzt Bioethanol ca. $\frac{2}{3}$ ¹¹ von dessen Energiedichte, weshalb die mit diesem Biokraftstoff angetriebenen Autos einen höheren Verbrauch für die gleiche gefahrene Strecke aufweisen. Andererseits zeigt Ethanol bessere Bedingungen für die Verbrennung¹² und bewirkt dadurch eine höhere Effizienz des Motors. Der Zusatz von Benzin zu wasserfreiem Ethanol¹³ verursacht zwar eine Erhöhung der Treibhausgas-Emissionen, verleiht der Mischung aber bessere Bedingungen für den Kaltstart und für die Sicherheit.

¹⁰ In Brasilien wird die Version E100 (100% Ethanol 96GL) und in Österreich die Mischung E85 (85% Ethanol 99,7GL + 15% Benzin) vertrieben.

¹¹ Unterer Heizwert [MJ/L] - Benzin: 31,88, Bioethanol: 21,41 (Quelle: Ökobilanz von Energieprodukten, 2007)

¹² Bioethanol besitzt eine höhere Oktanzahl (104 ROZ) als Normalbenzin (91 ROZ).

¹³ Wie bei der Mischung E85.

1.2) Kraftstoffe aus fossilen Energieträgern

Erdöl und Erdgas sind die Rohstoffe für die wichtigsten im Transportwesen eingesetzten Kraftstoffe - Diesel, Benzin und Erdgas. Beides sind fossile Brennstoffe, die im Laufe von Jahrmillionen durch die Zersetzung organischer Materie (wie Meerespflanzen und -tiere) entstanden sind.

Die Grundlage ihrer Zusammensetzung ist Kohlenwasserstoff, eine Substanz aus Kohlenstoff und Wasserstoff, mit welcher sich andere Atome verbinden und dadurch Tausende unterschiedliche molekulare Zusammensetzungen bilden können. Erdöl ist nichts weiter als ein komplexes Gemisch von Kohlenwasserstoffen, deren gemeinsames Merkmal die leichte Oxidation und die daraus folgende Freisetzung von Energie ist, was sie zu einem möglichen Rohstoff für verschiedene Arten von Kraftstoffen macht. In der Verbrennungsphase von solchen fossilen Brennstoffen wird allerdings nicht nur Energie freigesetzt, sondern auch eine gewisse Menge an Luft-Emissionen verursacht, von denen einige für den so genannten Treibhauseffekt¹⁴ mitverantwortlich sind.



Abbildung A 1-3: Die wesentlichen Prozessphasen des Lebenszyklus von Kraftstoffen aus fossilen Energieträgern

1.2.1) Benzin

Benzin ist eine Mischung aus verschiedenen Arten von Kohlenwasserstoffen und - im Wesentlichen - das Produkt der fraktionierten Destillation¹⁵ von Erdöl. Zu Beginn der Mineralölwirtschaft wurde es als Nebenprodukt oder Rückstand der Produktion von Materialien wie Lampenöl und Schmierölen angesehen. Mit der Erfindung des Ottomotors im Jahr 1876 und der darauf folgenden Massenherstellung von Automobilen mit Benzinmotoren, bekam Benzin die Schlüsselrolle in der Ölindustrie und besitzt bis heute in der ganzen Welt eine große Bedeutung für die Transportwirtschaft - vor allem im motorisierten Individualverkehr.

Benzin ist, so wie Diesel, das Produkt nicht erneuerbarer Quellen und, trotz aller Verbesserungen und neuer angewandeter Technologien, noch immer kein umweltfreundlicher Kraftstoff. Gerade deswegen steht dieser Kraftstoff weltweit im Mittelpunkt von Forschungsprojekten, die auf der Suche nach seiner Substitution durch mögliche alternative Kraftstoffe für den Verkehrssektor sind.

¹⁴ Zu Details über den Treibhauseffekt siehe Anhang A.

¹⁵ Fraktionierte Destillation: Prozess, bei dem ein bestimmtes Gemisch nach den unterschiedlichen Siedepunkten seiner Komponenten getrennt wird. Benzin muss im Zuge der Rohölraffinerie noch durch andere Prozesse behandelt werden bevor er als fertiges Produkt für Benzinmotoren zur Anwendung kommt.

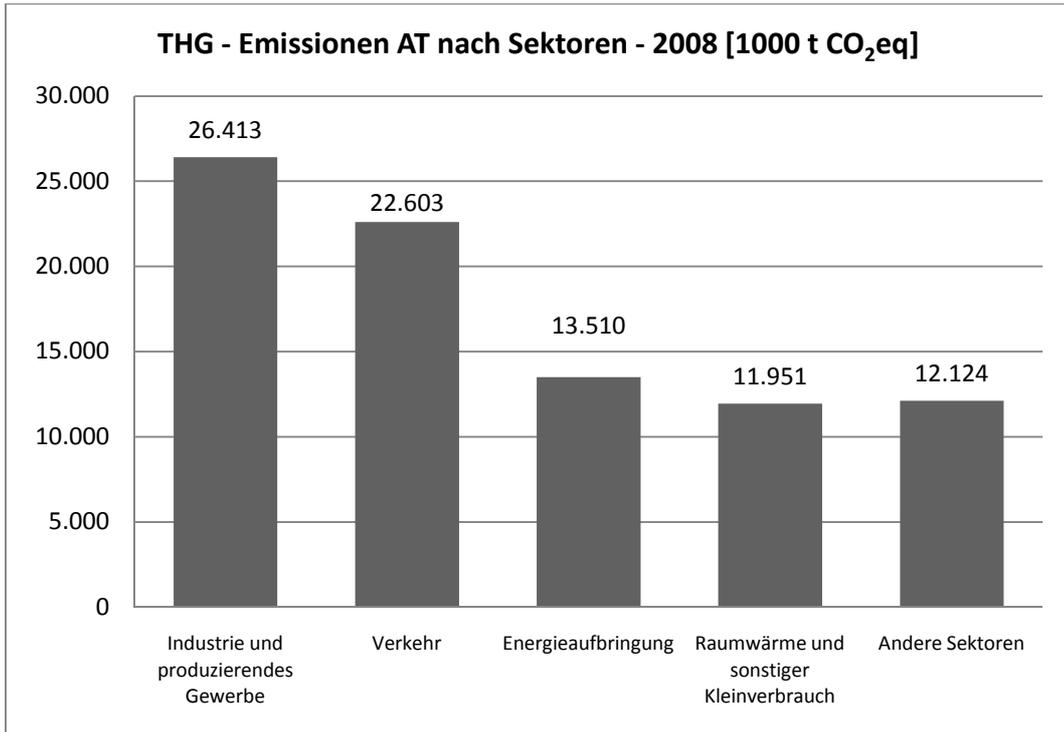


Abbildung A 1-4: Treibhausgas-Emissionen in Österreich nach Sektoren - 2008. Quelle: Umweltbundesamt 2010

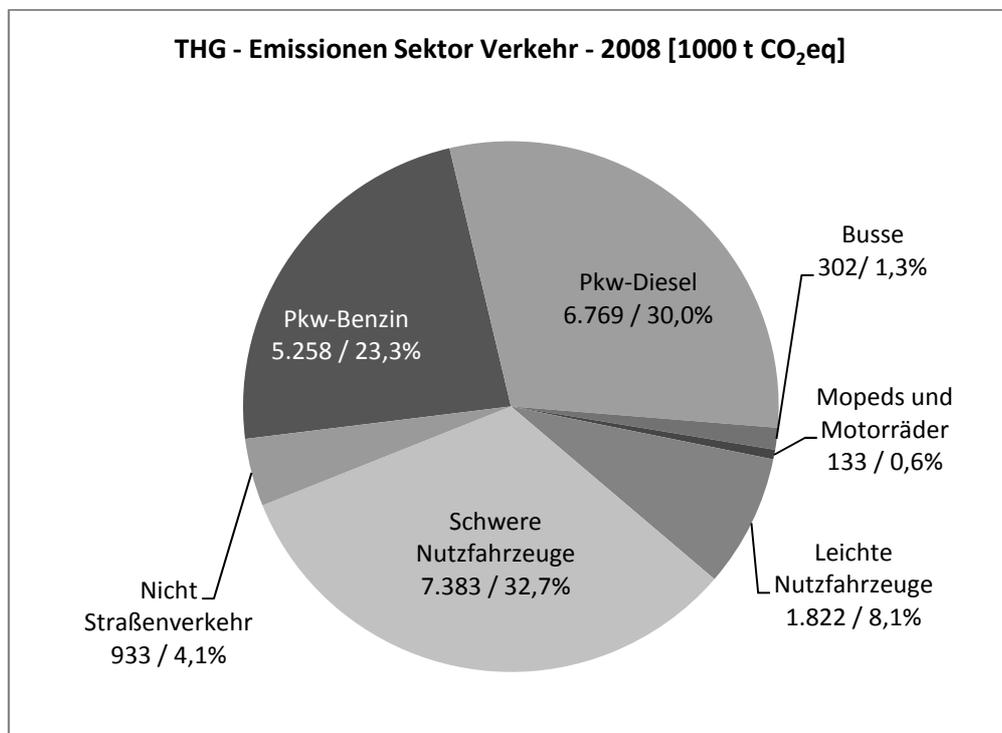


Abbildung A 1-5: Treibhausgas-Emissionen in Österreich für den Sektor Verkehr - 2008. Quelle: Umweltbundesamt 2010

2) Beschreibung der Systeme: Bioethanol und Benzin

Ziel dieses Kapitels ist eine Darstellung der wichtigsten Prozesse bei der Produktion von Bioethanol und Benzin. Es soll ein Überblick über die wichtigsten Definitionen gegeben werden, die bei der Untersuchung der Treibhausgas-Emissionen und bei der Auswahl der Emissionsfaktoren der Lebenszyklen beider Kraftstoffe wesentlich sind. Ein vertieftes Verständnis der Hauptemissionsflüsse der Teile des jeweils untersuchten Systems ermöglicht dabei auch ein verbessertes Verständnis des gesamten Systems.

Der Prozess „Konsum“ befindet sich nicht in den folgenden Kapiteln (des Teils A). Er trägt zwar zur Summe der Treibhausgas-Emissionen bei, ist allerdings ein relativ simpler, unmittelbar mit dem Automobil und dessen Verbrennungsprozess verbundener Prozess¹⁶.

Gleiches gilt für die Transportprozesse der Kraftstoffe oder ihrer Rohstoffe. Denn abgesehen vom Transport durch Pipelines, wo die Emissionen während der Energieerzeugung für die Pumpen entstehen, ähneln sich die anderen in dieser Studie berücksichtigten Transportmittel - LKW und Schiff - ihrem Wesen nach: Die Energie stammt aus der Verbrennung in den durch fossile Brennstoffe angetriebenen Motoren.

Die Darstellungen, die im Zusammenhang mit dem Lebenszyklus von Benzin sowie dem Lebenszyklus von Bioethanol stehen, versuchen die in der Produktionskette des untersuchten Szenarien¹⁷ bestehenden Prozesse zu beschreiben.

Die Beschreibung in Bezug auf Biomasseanbau und Ethanol-Produktion ist vollkommen auf das gewählte Szenario ausgerichtet, d.h. den Anbau von Zuckerrohr und die Produktion von Bioethanol aus diesem Rohstoff. Beide Prozesse werden so definiert wie sie in den wichtigsten Produktionszentren in Brasilien in der Regel praktiziert werden.

Bei der Ölförderung werden unterschiedliche Förderungsarten beschrieben, da das in Österreich verbrauchte bzw. weiterverarbeitete Erdöl aus 18 Ländern¹⁸ importiert wird und in jedem Land die Ölförderung anders verläuft - d.h. die Erdöl-Quellen stammen aus unterschiedlichen Förderungsweisen (*onshore* oder *offshore*) und unterschiedlichen Förderungsphasen (Primär-, Sekundär-, oder Tertiärförderung)¹⁹. Der Prozess „Raffinerie“ beschreibt eine typische moderne Raffinerie wie in Schwechat bei Wien.

¹⁶ Zu den *Flexible Fuel Vehicles*, die mit Bioethanol und Benzin angetrieben werden, siehe Anhang E.

¹⁷ Szenario E85: Bioethanol hergestellt in Brasilien, aus brasilianischem Zuckerrohr, nach Österreich transportiert, gemischt und konsumiert in österreichischem Territorium;
Szenario Benzin: Normalbenzin, hergestellt in Österreich aus in verschiedenen Ländern gefördertem Erdöl, konsumiert in österreichischem Territorium.

¹⁸ Quelle: Jahresbericht 2008 – Fachverband der Mineralölindustrie Österreichs (FVMI)

¹⁹ Details dazu siehe weiter unten folgende Erläuterungen.

2.1) Hauptprozesse der Bioethanolproduktion

2.1.1) Biomasseanbau²⁰

Der Anbau von Zuckerrohr in Brasilien basiert auf dem *Ratoon*-System, bei dem das Zuckerrohr über mehrere Jahre einmal jährlich geschnitten wird. Der vollständige Zyklus in diesem System dauert im Schnitt 6 Jahre und variiert je nach den lokalen klimatischen und kulturellen Bedingungen, wobei ein Jahr eine intensive Vorbereitung des Bodens²¹ und danach jährliche Schnitte in den 5 Folgejahren erfolgen (mit einem allmählichen Abfall in der Produktivität²²), bis das Areal wieder von Neuem vorbereitet und ein neuer Zyklus begonnen wird.

Selbst mit der Steigerung der Mechanisierung²³ des Zuckerrohranbaus in den letzten Jahren, besteht die Praxis der Feldverbrennung in mehreren Regionen Brasiliens weiterhin fort. Mit dem Ziel, die manuelle Ernte zu erleichtern und zukünftige landwirtschaftliche Abfälle sowie gefährliche Tiere, die in der Region leben, zu beseitigen, wird das Feld vor jedem Schnitt in kontrollierter Weise verbrannt. Der Rückgang dieser Praxis hat zur Wiederverwendung der landwirtschaftlichen Abfälle beim Anbauprozess geführt, indem diese - zusammen mit den Rückständen der Ethanolproduktion - für die Düngung des Bodens herangezogen werden. Auf diese Weise wird die Notwendigkeit von künstlichem Dünger reduziert.

Durch Fotosynthese speichern die Pflanzen Sonnenenergie und, in diesem Prozess, wird eine bestimmte Menge an Kohlendioxid (CO₂) aus der Atmosphäre aufgenommen. Das CO₂, das später bei der Verbrennung von Bioethanol freigesetzt wird, wird daher als „neutral“ angesehen. Obwohl diese erste Phase des Lebenszyklus von Ethanol die Besonderheit besitzt, dass Treibhausgas-Emissionen absorbiert werden, wird genau an dieser Stelle der Produktionskette des Biokraftstoffs auch der größte Teil an Emissionen generiert.

Die wichtigsten Quellen für die Treibhausgas-Emissionen in der landwirtschaftlichen Anbauphase sind:

1. N₂O - und CO₂ - Emissionen des Bodens aufgrund der Anwendung von künstlichem Dünger, Kalk und Rückständen der Bioethanol-Produktion.
2. Emission von Metangas (CH₄) und Stickstoffgasen (N₂O) durch die Zuckerrohrfeldverbrennung vor der Ernte oder von anderen landwirtschaftlichen Abfällen (CO₂ - Emissionen werden als neutral angesehen).
3. Der direkte Konsum von fossilen Brennstoffen für Maschinen und Fahrzeuge.
4. Die Energie, die für die Herstellung von chemischen Produkten und anderen in der Landwirtschaft verwendeten Materialien wie Dünger, Kalk, Herbiziden und Insektiziden erforderlich ist - indirekte Emission.

²⁰ In dieser Studie ist keine direkte oder indirekte Änderung der Anbauflächenverwendung berücksichtigt (*indirect land use change* (iLUC) und *direct land use change* (dLUC) – siehe Anhang C).

²¹ Anwendung von Herbiziden, Insektiziden, Dünger, Kalk, Rückständen der Bioethanol-Produktion (Vinsasse, *filter cake* und Asche) sowie Verteilung des Saatguts.

²² Die durchschnittliche Produktivität des gesamten Zyklus beträgt 87,1 t Zuckerrohr/ha für die Region „Zentral-Süden“ Brasiliens (Macedo 2008).

²³ Macedo 2008

2.1.2) Bioethanolerzeugung

Der Prozess der Bioethanolerzeugung beginnt mit der Reinigung des transportierten Zuckerrohrs und dessen anschließender Zerkleinerung in Stücke von 20-25 cm. Der nächste Schritt ist die Quetschung des Zuckerrohrs zur Extraktion von dessen Saft. Während der flüssige Saft (*Sucrose*) zur Weiterverarbeitung geführt wird, wird der Rückstand des Extraktionsprozesses (*Bagasse*) zur Erzeugung elektrischer Energie²⁴ für den internen Konsum der Fabrik und, in einigen Fällen, bei Energieüberschuss sogar für die Belieferung des öffentlichen Stromnetzes genützt.

Der Saft wird zur Filtration, zur chemischen Behandlung und zur Pasteurisierung weitergeleitet. Im folgenden Schritt wird die Zuckerkonzentration durch Verdampfung erhöht und danach die resultierende Substanz durch Erwärmung kristallisiert. Die zwei dabei entstehenden, miteinander gekoppelten Produkte (Zuckerkristalle und *Molasse*) werden später durch Zentrifugierung getrennt.

Nach dem Purifizierungsprozess wird die *Molasse* vergoren und in Ethanol²⁵ umgewandelt. Bevor das Ethanol zum Endprodukt wird, durchläuft es eine Destillation in verschiedenen Intensitäten. Das Resultat der ersten Destillierung ist noch ein Ethanol-Wasser-Gemisch²⁶. Wenn dieses fortgeschrittenere Prozesse der Destillierung²⁷ durchmacht, erhält man wasserfreies Ethanol²⁸.

Die wichtigsten Quellen für die Treibhausgas-Emissionen in modernen Bioraffinerien zur Verarbeitung von Zuckerrohr sind²⁹:

1. Emissionen während der Verbrennung der Bagasse zur Erzeugung von elektrischer Energie (CH₄ und N₂O; CO₂ - Emissionen werden als neutral angesehen).
2. Emissionen während der Herstellung von Chemikalien und Schmiermittel, die bei der Bioethanolproduktion verwendet werden (indirekte Emissionen).

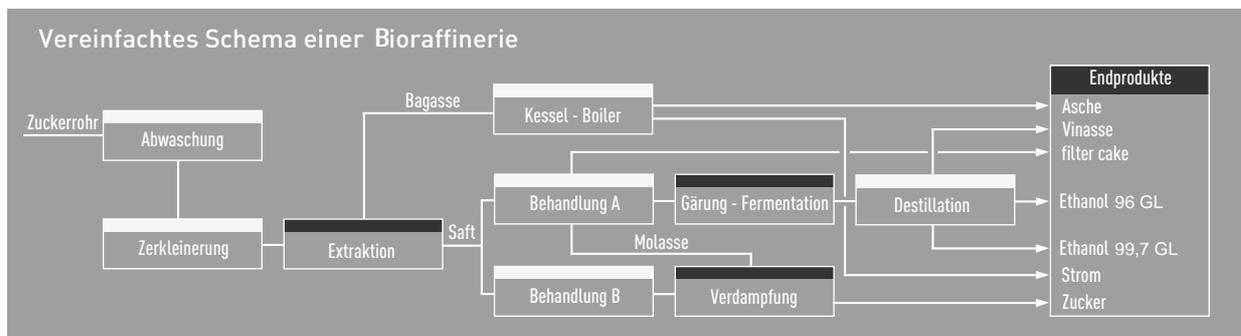


Abbildung A 2-1: Vereinfachtes Schema einer Bioraffinerie. Quelle: van den Wall Bake 2007

²⁴ Die Erzeugung von thermo-elektrischer Energie erfolgt durch die Verbrennung der *Bagasse* in einem Boiler.

²⁵ 7-10 GL (van den Wall Bake 2007)

²⁶ 96 GL (van den Wall Bake 2007)

²⁷ Dabei wird auch Cyclohexan zugeführt (Macedo 2000).

²⁸ 99,7 GL (van den Wall Bake 2007)

²⁹ Die Emissionen während des Gärungsprozesses werden als neutral angesehen, d.h. abgesehen von CO₂, gibt es keine anderen THG-Emissionen. Die Emissionen, die durch die Produktionsrückstände (Asche, Vinasse und *filter cake*) verursacht werden, sind im landwirtschaftlichen Prozess berücksichtigt, wo sie ihren finalen Verwendungszweck finden.

2.2) Hauptprozesse der Benzinproduktion

2.2.1) Erdölförderung

Onshore und Offshore

Ein großer Anteil der weltweiten Erdölvorkommen liegt nicht auf dem Festland (*onshore*), sondern unter flachen Meeresstellen (*offshore*), etwa in der Nordsee oder im Golf von Mexiko. *Offshore*-Bohrungen basieren generell auf denselben Techniken wie *Onshore*-Bohrungen, sie erfolgen allerdings von schwimmenden oder am Meeresboden verankerten Bohrplattformen aus. Durch die schwierigeren Bedingungen sind sie meist wesentlich aufwändiger und mit höheren Kosten verbunden. Bei der Suche nach neuen Ölvorkommen stoßen die Bohrequispen immer weiter in Extrembereiche vor. Heute wird bei der Suche nach weiteren Ölreserven in immer entlegene Gebiete vorgedrungen (z.B. in der Arktis oder im tiefen Wasser des Golfs von Mexiko).

Förderung mit natürlichem Druck

Dünnflüssiges Öl, das unter hohem Druck steht und eine große Menge an gelöstem Gas enthält, steigt von alleine im Bohrloch auf. In manchen Ölfeldern ist dieser natürliche Druck bereits ausreichend, das Öl über mehrere Jahre ohne weitere zusätzliche Maßnahmen an die Oberfläche sprudeln zu lassen.

Förderung mit Pumpen

Im Laufe der Zeit lässt der Druck in der Lagerstätte nach. Wenn das Öl nicht mehr alleine zur Oberfläche fließt, werden so genannte Plungerpumpen eingesetzt.

Förderung mit Gasdruck

Viele Lagerstätten enthalten neben Erdöl auch Erdgas. Dieses kann ebenfalls für die Ölförderung genutzt werden. Wenn Erdgas in das Gestein rund um das Förderrohr gepresst wird, vermischt es sich mit dem im Untergrund bestehenden Öl zu einem Schaum, der ohne weiteres Zutun im Bohrloch aufsteigt.

Förderung mit Wasserdruck

Wird der in der Lagerstätte vorhandene Druck noch geringer, kann Wasser eingepresst werden, welches das noch vorhandene Öl nach oben ins Förderrohr drückt.

Förderung mit Dampf und Chemikalien

Mittels Dampfinjektionen und der Zugabe von Chemikalien ist es möglich die Oberflächenspannung des Erdöls zu senken. Dadurch löst es sich leichter vom Gestein und die Förderausbeute wird gesteigert.

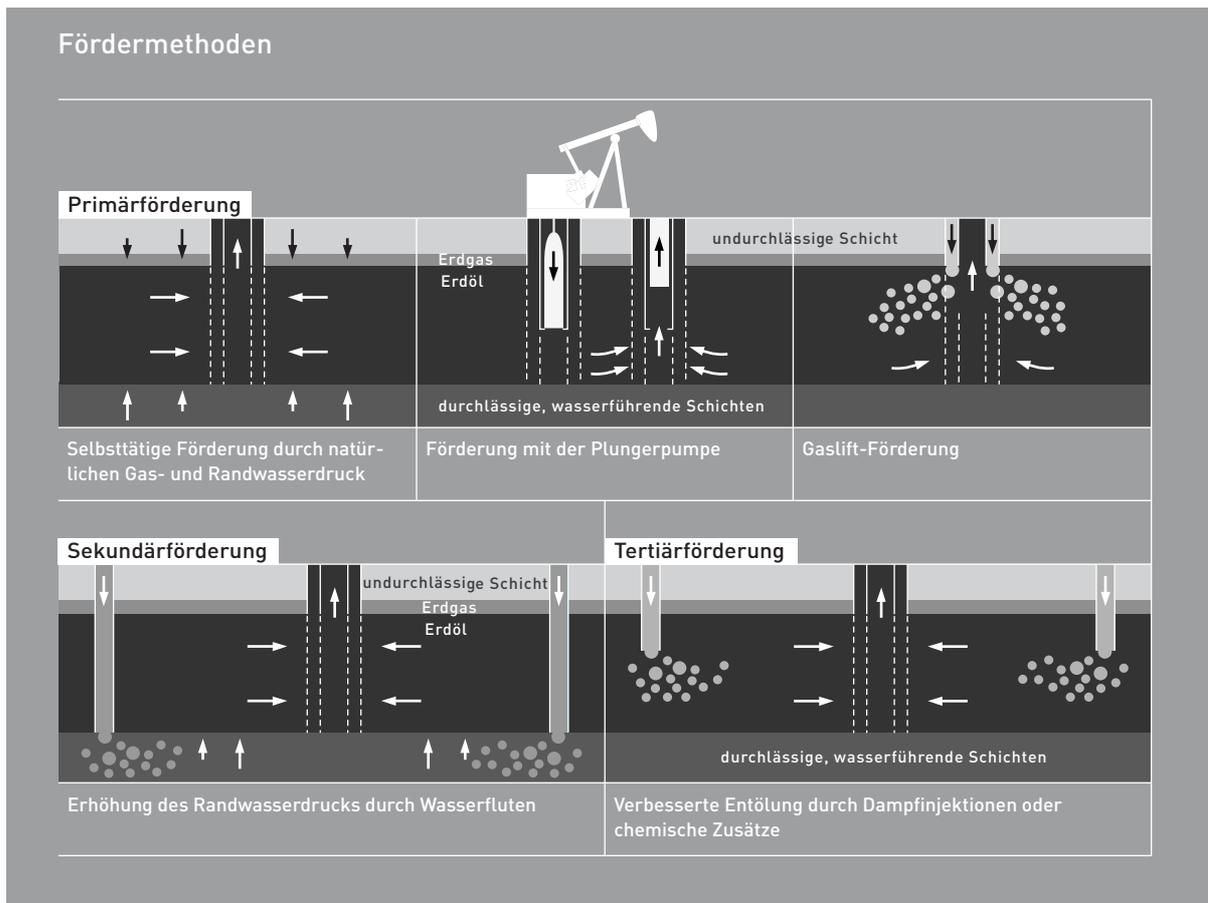


Abbildung A 2-2: Erdöl-Fördermethoden. Quelle: Schweizer Erdöl-Vereinigung (EV) 2010

Versiegen der Quelle

Irgendwann versiegt die Ölquelle - selbst wenn noch nicht das gesamte Öl an die Oberfläche gepumpt wurde. In feinen Gesteinsporen wird ein beachtlicher Teil des Erdöls von starken Kräften zurückgehalten. Auch unter Einsatz verschiedener Fördermethoden ist es selten möglich, mehr als 50% des im Gestein gespeicherten Erdöls zu gewinnen. Diese Ausbeute ist allerdings bereits deutlich höher als z.B. vor 20 Jahren, wo meist nur ca. 25% des vorhandenen Erdöls gefördert werden konnten.

Die Menge an Treibhausgas-Emissionen während des Förderprozesses kann variieren - je nach verwendeter Technologie, je nach Förderungsweise (*onshore* oder *offshore*) und nach Förderungsphase (Primär-, Sekundär- oder Tertiärförderung). Aber im Allgemeinen besitzt der Förderprozess des Erdöls die gleichen wesentlichen Quellen für Emissionen. Diese sind:

1. Eine beachtliche Menge an Erdgas (77% CH₄) ist direkt mit der Förderung von Erdöl verbunden – $150 \text{ m}^3_{\text{Erdgas}}/\text{t}_{\text{Erdöl}}$. Ein Teil davon wird (u.a. für die Förderung selbst) weiterverwendet, ein Teil wird abgefackelt.
2. Emissionen, die mit der Vorbehandlung des Erdöls vor Ort verbunden sind (Prozesswärme).
3. Indirekte Emissionen in Zusammenhang mit der Herstellung von Chemikalien für die Tertiärförderung.
4. Erzeugung von Energie für die Pumpen (Sekundär- und Tertiärförderung und andere Maschinen).

2.2.2) Benzinerzeugung

Das Rohöl ist kein einheitliches Produkt, sondern ein komplexes Gemisch aus verschiedenen Kohlenwasserstoffen, geringen Schwefelmengen sowie Spuren von Sauerstoff, Stickstoff und Metallen. Der Rohstoff muss daher in seine Bestandteile zerlegt und weiterverarbeitet werden.

Destillation in der Raffinerie

In der Raffinerie wird das Rohöl stark erhitzt und durch Destillation in seine Bestandteile aufgetrennt. Bei der Destillation werden die unterschiedlichen Siedetemperaturen der verschiedenen im Erdöl enthaltenen Kohlenwasserstoffverbindungen ausgenutzt. Flüssiggas, Benzin, Petrol, Mitteldestillate (Heizöl und Diesel), Schweröl und Bitumen können auf diese Weise sauber voneinander getrennt werden. Bei der Gewinnung eines bestimmten Produkts fällt dabei stets auch eine bestimmte Menge der anderen Produkte an. Diese so genannte Koppelproduktion kennzeichnet die Herstellung von Mineralölprodukten.

Die atmosphärische Destillation

In einer ersten Stufe, der atmosphärischen Destillation, wird das Rohöl erhitzt und in einen Destillationsturm geleitet (Temperatur: maximal 350°C). Die Mischung verdampft, steigt im Destillationsturm auf und kühlt dabei allmählich ab. Je tiefer die Siedetemperatur einer Verbindung ist, desto höher steigt sie, ehe sie sich wieder verflüssigt. Zwischenböden im Inneren des Destillationsturms fangen die getrennten Verbindungen einzeln auf. Gase durchströmen den ganzen Turm und werden ganz oben gesammelt. Benzin, Petrol und Gasöl werden auf verschiedenen Zwischenböden aufgefangen. Die schwersten Bestandteile des Rohöls bleiben allerdings auch bei den höchsten Temperaturen flüssig und sammeln sich am Boden des Destillationsturms.

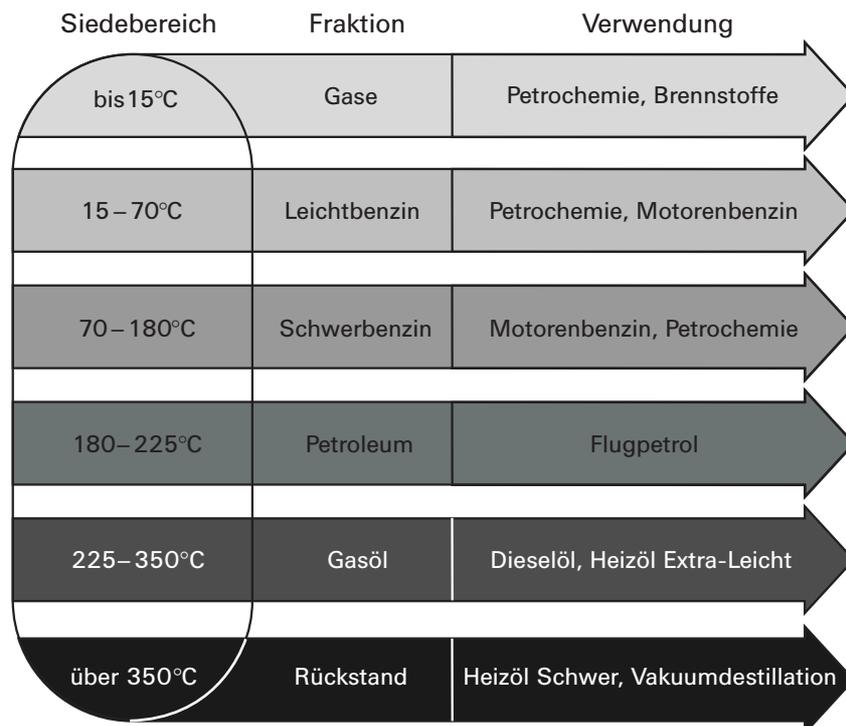


Abbildung A 2-3: Schema der atmosphärischen Destillation. Quelle: Schweizer Erdöl-Vereinigung (EV) 2010

Die Vakuumdestillation

Der Rückstand aus der atmosphärischen Destillation wird nochmals erhitzt und zur Vakuumdestillation geführt. In diesem zweiten Destillationsturm herrscht ein Teilvakuum. Dadurch werden die Siedetemperaturen um ca. 100°C erniedrigt und die vorhandenen Rückstände lassen sich so weiter auftrennen. Doch selbst im Vakuum können nicht alle Bestandteile des Rohöls verdampft werden. Die verbleibenden Rückstände werden - je nach Qualität - als schweres Heizöl verwendet oder zu Bitumen weiterverarbeitet und im Straßenbau eingesetzt.

Das Cracking

Zur Herstellung von leichten und mittelschweren Erdölprodukten wie Benzin (oder Heizöl Extra-Leicht) sind viele moderne Raffinerien mit einem *Cracker* ausgerüstet. Beim *Cracking* werden die komplexen und schweren Kohlenwasserstoffketten aus den Destillationsrückständen in kürzere Molekülketten gespalten.

Dabei können drei Verfahren unterschieden werden: das thermische Cracken, das katalytische Cracken und das Hydrocracken.

Die Raffination

Auf Destillation und *Cracking* folgt die eigentliche Raffination - d.h. die Veredelung der bisher gewonnenen Produkte. Dabei werden einerseits Kohlenwasserstoffe chemisch umgewandelt in höherwertige Verbindungen (Konversion) sowie andererseits unerwünschte Inhaltsstoffe (wie z.B. Schwefel) entfernt. Durch Verfahren wie *Reforming* und Isomerisation werden bestimmte Kohlenwasserstoffmoleküle chemisch umgebaut. So kann beispielsweise eine Erhöhung der Oktanzahl und damit der Klopfestigkeit von Benzin bewirkt werden.

Die Entschwefelung

Schwefel ist ein natürlicher Bestandteil des Erdöls und - je nach Herkunft des Rohöls - in unterschiedlicher Menge enthalten. Der Schwefelgehalt von Benzin, Diesel, Heizöl und Flugtreibstoffen unterliegt allerdings gesetzlichen Beschränkungen. Zum Schutz von Mensch und Umwelt erfolgt daher eine Entschwefelung von Brenn- und Treibstoffen - d.h. in der Raffinerie wird Schwefel aus den Produkten entfernt. Zu diesem Zweck werden die Produkte unter hohem Druck und hoher Temperatur mit Wasserstoff vermischt und über einen Katalysator geleitet. Der dort gebildete Schwefelwasserstoff wird aufgefangen, abgetrennt und zu reinem Schwefel umgewandelt. Dieser kann als Rohstoff in der chemischen Industrie weiter Verwendung finden.

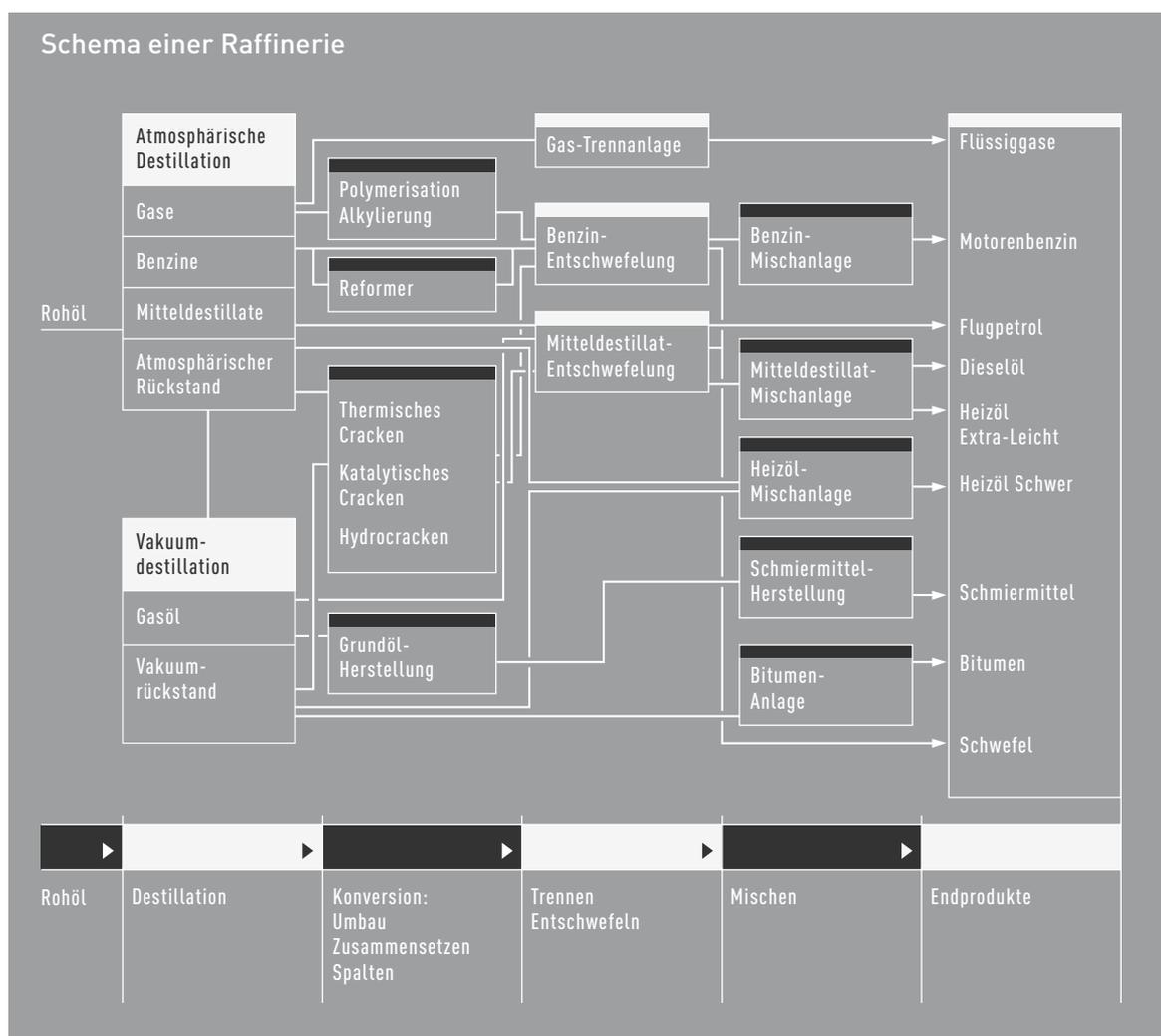


Abbildung A 2-4: Schema einer Erdöl-Raffinerie. Quelle: Schweizer Erdöl-Vereinigung (EV) 2010

Die wichtigsten Quellen für Treibhausgas-Emissionen am Beispiel der Raffinerie Schwechat:

Emissionen von Einzelanlagen ¹⁾		
Anlage	CO ₂ [t/a]	Anteil
Heizkraftwerke ²⁾	1.145.356	46,8%
Steamcracker	450.692	18,4%
Atmosphärische Destillation	298.149	12,2%
Katalytisches Cracken	272.243	11,1%
Platformer ³⁾	95.848	3,9%
Vakuum Destillation	76.170	3,1%
Sonstige Anlagen	108.284	4,4%
Σ	2.446.742	100%

1) Es existieren keine Daten über CH₄ - und NO₂ - Emissionen im Bericht.
 2) Summe der zwei Kraftwerke zur Erzeugung elektrischer Energie: HKW1 (angetrieben durch Gase) und HKW2 (angetrieben durch Gase und Produktionsrückstände).
 3) Platformer ist Teil des Benzinent Schwefelungsprozesses.

Tabelle A 2-1: Emissionen von Einzelanlagen in der Raffinerie Schwechat (Daten von 1997)
 Quelle: Umweltbundesamt 2000 - Stand der Technik bei Raffinerien im Hinblick auf die IPPC-Richtlinie

Teil B - Beschreibung der Szenarien, Darstellung und Vergleich der Ergebnisse

1) Bioethanol: Beschreibung des Szenarios und Analyse

Die Abbildung B 1-1 zeigt eine graphische Darstellung des untersuchten Szenarios. Im Gegensatz zu Benzin, wird für Bioethanol ein hypothetisches Szenario gezeigt, da derzeit kein Import von in Brasilien hergestelltem Bioethanol nach Österreich registriert wird.

Einige Etappen des Szenarios werden basierend auf den Erwartungen des Exporteurs definiert - wie die Auswahl des Hafens in Koper/Slowenien als Eingangshafen für die Kommerzialisierung des Ethanols in der Zentral-Südlichen Region Europas³⁰ - und auf sehr plausiblen Annahmen, was Produktionsstandort in Brasilien bzw. Endverarbeitung in Österreich betrifft. Im präsentierten Szenario wird das Bioethanol in Ribeirão Preto im Bundesstaat São Paulo/BR, einer Stadt im Zentrum des größten Produktionsgebiets Brasiliens, hergestellt. Nach Transportprozessen per LKW, Tankerschiff und LKW erfolgt in Schwechat bei Wien, der größten Raffinerie Österreichs, die Mischung und Endverarbeitung des Kraftstoffs.

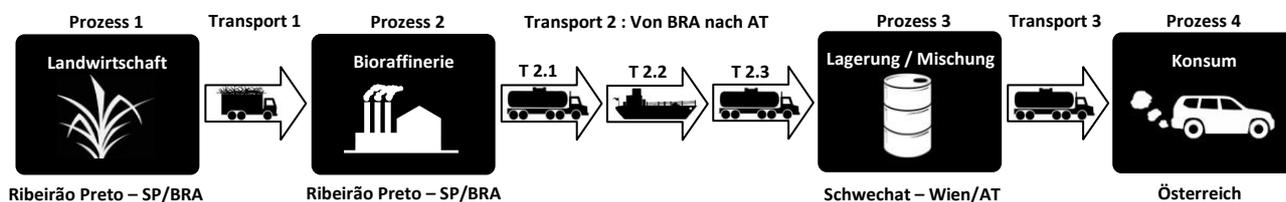


Abbildung B 1-1: Lebenszyklus von Bioethanol

Transportprozesse - Überblick	Transport 1	Transport 2			Transport 3
		T 2.1	T 2.2	T 2.3	
Start	RP-SP/BRA ²⁾	RP-SP/BRA	Santos-SP/BRA	Koper/SL	Schwechat/AT
Ziel	RP-SP/BRA ²⁾	Santos-SP/BRA	Koper/SL	Schwechat/AT	Tankstellen/AT
Distanz [km]	23	392	11.151	584	94 ⁴⁾
Transportmittel	LKW	LKW	Tankerschiff ³⁾	LKW	LKW

1) Kraftstoffverbrauch, basierend auf den 24 bis April 2010 existierenden Tankstellen.
 2) Als Start und Ziel (Anbau und Verarbeitung) werden interne Punkte des Gebiets um Ribeirão Preto – SP angenommen (vgl. Erhebung von Macedo 2008).
 3) Als Modell dient das Schiff vom Typ Suezmax mit der Kapazität 130.000 t zu transportieren.
 4) Durchschnittliche Distanz zwischen Schwechat und den 24 existierenden Tankstellen.

Tabelle B 1-1: Transportprozesse von Bioethanol im Überblick

³⁰ Vergleiche ein Interview von 12.02.2010 – UNICA: „Etanol brasileiro pode ajudar a UE a atingir meta no uso de energias renováveis em transportes“.

1.1) Prozess Biomasseanbau (P1)

Die folgenden Tabellen B 1-2 und B 1-3 zeigen die direkten und die indirekten Treibhausgas-Emissionen beim Zuckerrohranbau. Die direkten Emissionen werden während des landwirtschaftlichen Prozesses selbst verursacht, die indirekten Emissionen entstehen bei der Erzeugung einzelner Inputs, die für den Prozess erforderlich sind.

Stickstoff, Kalium (K_2O) und Phosphor (P_2O_5) sind Düngemittel. Die in der Tabelle gezeigten Werte sind mittlere Werte der ersten Pflanzung und der folgenden Schnitte (im *Ratoon*-System), wobei auch die Verwendung von Rückständen der Bioethanolproduktion (wie *Vinasse* und *filter cake*) berücksichtigt wird. D.h. durch die Nutzung der Nährstoffe, die in diesen Rückständen enthalten sind, ist eine geringere Menge an Düngemitteln erforderlich.

Die angegebene Menge an „Abfallverbrennung“ berücksichtigt die Verbrennung des gesamten landwirtschaftlichen Abfalls, der auf dem Feld verbleibt. Dazu werden die Emissionen, die durch die Feldverbrennung vor der Ernte entstehen, addiert - unter der Annahme, dass 50% der vorhandenen Fläche verbrannt wird, um die manuelle Ernte zu erleichtern, und 50% der Ernte durch maschinelle Prozesse erfolgt, bei welchen keine Feldverbrennung erforderlich ist³¹. Nach heutigem Stand der Technik sind diese mechanisierten Ernteprozesse allerdings nur bei einer Geländeneigung von bis zu 12% durchführbar.

Indirekte Emissionen bei Zuckerrohranbau		
Input Name	[kg CO ₂ eq/ha]	Emission Anteil
Stickstoff ¹⁾	238,2	47,9%
Phosphor ¹⁾	32,5	6,5%
Kalium ¹⁾	26,3	5,3%
Kalk	19,0	3,8%
Herbizide	55,0	11,1%
Insektizide	4,6	0,9%
Diesel Gesamt ²⁾	122,0	24,5%
Σ	497,6	100,0%
1) Düngemittel.		
2) Kraftstoff für Maschinen und Fahrzeuge.		

Tabelle B 1-2: Indirekte Emissionen bei Zuckerrohranbau (Berechnung folgt in Kap. 1.1.1)

Diesel-Gesamt in der Tabelle B 1-3 bezieht sich auf den Verbrauch dieses fossilen Brennstoffs, der für Maschinen und Fahrzeuge bei der Ernte, beim Beladen und beim Transport innerhalb des Felds verwendet wird.

³¹ Nach H. Ribeiro und T.R.A. Ficarelli 2010

Der Dieselverbrauch beim Transport des Zuckerrohrs vom Feld bis zur Raffinerie wird später in einem unabhängigen Prozess berücksichtigt (Prozess Transport 1).

Direkte Emissionen bei Zuckerrohranbau		
Name	[kg CO ₂ eq/ha]	Emission Anteil
Stickstoff	465,4	15,5%
Kalk	906,3	30,3%
Diesel Gesamt ¹⁾	510,9	17,1%
Abfallverbrennung ²⁾	899,4	30,0%
Vinasse ³⁾	170,3	5,7%
filtercake ³⁾	43,3	1,4%
Σ	2.995,6	100,0%

1) Kraftstoff für Maschinen und Fahrzeuge.
 2) Verbrennung der landwirtschaftlichen Abfälle + Feldverbrennung.
 3) Rückstände der Bioethanolproduktion.

Tabelle B 1-3: Direkte Emissionen bei Zuckerrohranbau (Berechnung folgt in Kap.1.1.1)

Da die Komponenten Herbizide, Insektizide, Phosphor und Kalium wenig zu den gesamten THG-Emissionen beitragen (1,6%, 0,9%, 0,8% und 0,1%), befinden sie sich in der Abbildung B 1-2, welche die gesamten Teibhausgas-Emissionen beim Zuckerrohranbau darstellt, unter „Sonstiges“.

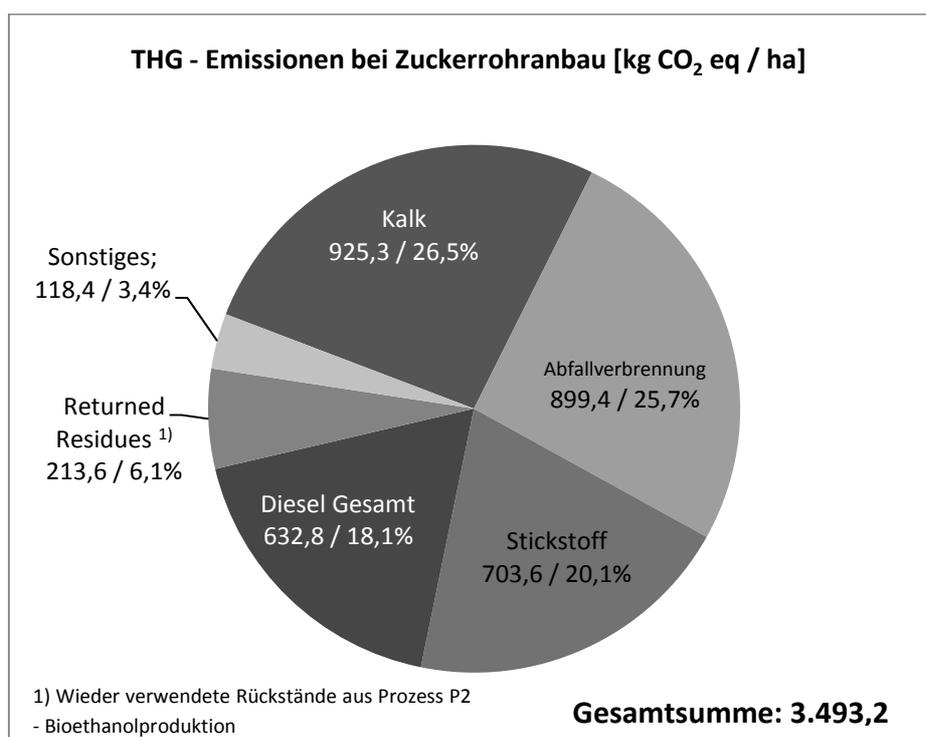


Abbildung B 1-2: Gesamte THG-Emissionen bei Zuckerrohranbau

1.1.1) Berechnungen - Prozess Biomasseanbau (P1)

Grunddaten für den Prozess 1 - Zuckerrohranbau				
Parameter		Einheit	Menge	Anmerkungen
A	Stickstoff Anwendung	kg/ha	60,00	Gesamtdurchschnitt mit/ohne Ratoon (Macedo 2007)
B	Phosphor Anwendung	kg/ha	25,00	Gesamtdurchschnitt mit/ohne Ratoon (Macedo 2007)
C	Kalium Anwendung	kg/ha	37,00	Gesamtdurchschnitt mit/ohne Ratoon (Macedo 2007)
D	Kalk Anwendung	kg/ha	1900,0	(Macedo 2007)
E	Herbizide Anwendung	kg/ha	2,20	(Macedo 2007)
F	Insektizide Anwendung	kg/ha	0,16	(Macedo 2007)
G	Diesel Verbrauch	L _{diesel} /ha	191,77	(Macedo 2007)
H	Abfallmenge - Gesamt	% cane stalks	14%	(Macedo 2007)
I	Abfallmenge - auf dem Boden	% Abfallmenge	68%	(Hassuani 2005)
J	Feldverbrennung	% Fläche	50%	(Ribeiro und Ficarelli 2010)
K	Verbrannter Anteil bei Feldverbrennung	% cane stalks	5%	Eigene Schätzung
L	Zuckerrohr Ausbeute	t/ha	87,10	(Macedo 2007)
THG-Faktoren für die Input-Produktion im Zuckerrohranbau				
M	Stickstoff	kg CO ₂ eq/kg	3,97	(EBAMM + GREET)
N	Phosphor	kg CO ₂ eq/kg	1,30	(EBAMM + GREET)
O	Kalium	kg CO ₂ eq/kg	0,71	(EBAMM + GREET)
P	Kalk	kg CO ₂ eq/kg	0,01	(EBAMM + GREET)
Q	Herbizide	kg CO ₂ eq/kg	25,00	(EBAMM + GREET)
R	Insektizide	kg CO ₂ eq/kg	29,00	(EBAMM + GREET)
S	Diesel	kg CO ₂ eq/L _{diesel}	0,64	(IPCC 2006 + Wang 2006)
THG-Faktoren für die direkten Emissionen im Zuckerrohranbau				
T	Stickstoff	kg CO ₂ eq/kg N	7,76	Boden Emissionen CH ₄ + N ₂ O (Macedo 2007)
U	Kalk	kg CO ₂ eq/kg _{kalk}	0,48	Boden Emissionen (Macedo 2007)
V	Diesel	kg CO ₂ eq/L _{diesel}	2,66	Verbrennung (IPCC 2006 + Wang 2006)
W	Abfallverbrennung	kg CO ₂ eq/kg _{abfall}	0,083	CH ₄ + N ₂ O (IPCC 2006)
X	Zuckerrohrverbrennung	kg CO ₂ eq/kg _{cane}	0,097	CH ₄ + N ₂ O (Wang und Andere)
Y	Vinasse	kg CO ₂ eq/kg _{vinasse}	0,002	Boden Emissionen (Macedo 2007)
Z	„filtercake“	kg CO ₂ eq/kg _{filtercake}	0,071	Boden Emissionen (Macedo 2007)

Tabelle B 1-4: Grunddaten für den Prozess Biomasseanbau (P1)

Grunddaten aus dem Prozess 2 - Bioethanolproduktion (Returned Residues)				
Parameter		Einheit	Menge	Anmerkungen
AA	Bioraffinerie Leistung	L/t _{cane}	86,30	(Macedo 2007)
AB	Vinasse Produktion	L _{vinasse} /L _{ethanol}	11,00	(Macedo 2007)
AC	Vinasse Dichte	kg/L	1,03	(CTC 2004)
AD	„filtercake“ Produktion	kg _{filtercake} /t _{cane}	7,00	(Macedo 2007)

Tabelle B 1-5: Grunddaten für die wiederverwendeten Rückstände aus der Bioethanolproduktion (P2)

Berechnung der Tabelle B 1-2	
Parameter	Berechnung
Stickstoff	A*M
Phosphor	B*N
Kalium	C*O
Kalk	D*P
Herbizide	E*Q
Insektizide	F*R
Diesel Gesamt	G*S

Tabelle B 1-6: Berechnung der Tabelle B 1-2

Berechnung der Tabelle B 1-3	
Parameter	Berechnung
Stickstoff	A*T
Kalk	D*U
Diesel Gesamt	G*V
Abfallverbrennung	$L*1000*(H*W*I+J*K*X)$
Vinasse	$L*AA*AB*AC*Y$
filtercake	$Z*L*AD$

Tabelle B 1-7: Berechnung der Tabelle B 1-3

1.2) Andere Prozesse (P2, P3 und P4)

Nicht weniger wichtig, aber weniger komplex als der landwirtschaftliche Prozess des Zuckerrohranbaus, werden nun die Prozesse der Bioethanolproduktion (Prozess 2), der Lagerung und Mischung (Prozess 3) sowie des Konsums (Prozess 4) zusammengefasst dargestellt. Die Transportprozesse werden anschließend gesammelt in einem eigenen Kapitel behandelt.

Der Prozess 2, die Bioethanolproduktion, wird - wie bei Macedo 2007 - als eine autonome Destillerie betrachtet, d.h. alle in dieser Studie verwendeten Daten und die dabei gewonnenen Ergebnisse beruhen auf dem angenommenen Modell einer Fabrik, die alleine der Herstellung von wasserfreiem Ethanol (99,7 GL) dient. Es liegen zwar große Vorteile in der simultanen Produktion von Ethanol und Zucker, aber aufgrund der einfacheren Zuordnung der Emissionen wird in dieser Arbeit die Betrachtung eines autonomen Systems bevorzugt.

In einer weiteren Vereinfachung wird angenommen, dass die gesamte entstehende *Bagasse* für die Erzeugung elektrischer Energie verwendet wird. Dadurch erfährt der generierte Stromüberschuss einen Zuwachs und die Menge der auf diese Weise indirekt vermiedenen Emissionen vergrößert sich. So kann nicht nur der Eigenbedarf innerhalb der Fabrik gedeckt werden, sondern auch das öffentliche Stromnetz mit dem Überschuss von elektrischer Energie beliefert werden und die in der Fabrik erzeugte Elektrizität würde einen bestimmten Teil der Energieerzeugung in der Region „Zentral-Süden“³² Brasiliens ersetzen.

³² Dies sind die Regionen Südosten und Zentral-Westen in Brasilien.

In anderen Studien, wie Macedo 2007, wird der Überschuss an *Bagasse* getrennt kommerzialisiert und auch für die Erzeugung elektrischer Energie in anderen industriellen Anlagen außerhalb des Systems verwendet.

Gesamt-Emissionen der Bioethanolproduktion	
Name	[g CO ₂ eq/L _{E100}] ²⁾
Chemikalien und Schmierprodukte (indirekt)	21,0
Bagasse Verbrennung (Strom Erzeugung) (direkt)	41,0
Strom Überschuss ¹⁾ - CO ₂ Vermeidung (indirekt)	-25,0
Σ	37,0
1) Summe aus der durchschnittlichen Menge an Stromüberschuss und des zusätzlichen aus der Bagasse in der Fabrik hergestellten Stroms.	
2) Liter in dieser Einheit bezieht sich auf 1l wasserfreies Ethanol (99,7 GL).	

Tabelle B 1-8: Gesamt-Emissionen der Bioethanolproduktion (Berechnung folgt in Kap.1.2.1)

In dieser Phase werden die Rückstände (v.a. Vinasse und filtercake) produziert, die beim landwirtschaftlichen Anbauprozess wieder Verwendung finden und die im vorangegangenen Kapitel zitierten Düngemittel ergänzen bzw. ersetzen. Die Menge der in dieser Phase erzeugten Rückstände (83 m³/ha an Vinasse und 0,6 t/ha an filtercake) ist niedriger als die Grenzwerte, die für eine Anwendung höchstens als geeignet angesehen werden (das wären 140 m³/ha und 5 t/ha, nach Macedo 2007), D.h. der Einsatz dieser Rückstände stellt für Boden und Umwelt kein Problem dar.

Der Prozess 3, Lagerung und Mischung, wird - dem definierten Szenario zufolge - in Österreich, genauer gesagt in Schwechat bei Wien, durchgeführt. Aus wirtschaftlichen Gründen würde das reine Ethanol von Brasilien nach Österreich transportiert werden und erst dort mit Benzin gemischt werden (Mischverhältnis: 0,85 Ethanol : 0,15 Benzin). Die Verwendung von Zusätzen zur Verbesserung der Eigenschaften des Endprodukts sowie andere Faktoren wie die für diesen Prozess erforderliche Energie werden in dieser Studie nicht berücksichtigt. Auf diese Weise ist der für die Mischung erforderliche Benzin alleine für die Treibhausgas-Emissionen von Prozess 3 verantwortlich. Dieser Wert entspricht 15% der gesamten Emissionen bei der Produktion³³ von 1 Liter Benzin pro Liter E85:

$$\text{Gesamte THG-Emissionen im Prozess 3 – Lagerung und Mischung} = 101 \text{ g CO}_2 \text{ eq / L}_{\text{E85}}^{34}$$

Der vierte und letzte Prozess dieses Szenarios, der Konsum, bezieht sich auf die bei der Verbrennung des Bioethanols (E85) in Automobilen entstehenden Emissionen. Die Verbrennung jenes Teils des Kraftstoffs, der durch das Ethanol konstituiert wird, trägt nur zu Emissionen von CH₄ und N₂O bei, da - wie bereits an früherer Stelle erläutert - das freigesetzte CO₂ als „neutral“ angesehen wird.

³³ Emissionen während des gesamten Lebenszyklus von Benzin, außer Verbrennung/Konsum.

³⁴ Der hier angeführte Liter bezieht sich auf 1 Liter des Endprodukts E85.

Der Benzin-Anteil innerhalb der Mischung trägt signifikativ zu den gesamten Emissionen dieses Prozesses bei, nämlich mit 15% der THG-Emissionen während der Verbrennung von 1 Liter Benzin pro Liter E85:

$$\text{Gesamte THG-Emissionen im Prozess 4 – Konsum} = 379 \text{ g CO}_2 \text{ eq / L}_{\text{E85}}^{35}$$

Die für die Pumpen in den Tankstellen erforderliche Energie sowie andere Faktoren werden in Hinblick auf die Treibhausgas-Emissionen als insignifikant angesehen³⁶. Der Transport des Endprodukts bis zu den Tankstellen wird im Folgenden noch behandelt.

1.2.1) Berechnungen der Prozesse P2, P3 und P4

Grunddaten für den Prozess 2 - Bioethanolproduktion				
Parameter	Einheit	Menge	Anmerkungen	
A	Bioraffinerie Leistung	L/t _{cane}	86,30	(Macedo 2007)
B	Chemikalien und Sonstiges	kJ/L _{ethanol}	222,90	(Macedo 2007)
C	Vinasse Produktion	L _{vinasse} /L _{ethanol}	11,00	(Macedo 2007)
D	Vinasse Dichte	kg/L	1,03	(CTC 2004)
E	"filtercake" Produktion	kg _{filtercake} /t _{cane}	7,00	(Macedo 2007)
F	Bagasse Produktion	kg _{bagasse} /t _{cane}	140,00	(Macedo 2001)
G	Bagasse für Stromerzeugung	% Bagassemenge	100%	
H	Stromerzeugung	kWh/kg _{bagasse}	0,184	(Macedo 2007)
I	Strom (Überschuss) ¹⁾	kWh/t _{cane}	11,80	
J	Electricity use in processes	kWh/t _{cane}	14,00	(Macedo 2007)
THG-Faktoren				
K	Chemikalien und Sonstiges	kg CO ₂ eq/GJ	95,00	Produktion-Indirekte Emissionen (Macedo 2007)
L	Bagasse Verbrennung	kg CO ₂ eq/kg _{bagasse}	0,025	Direkte Emissionen von CH ₄ + N ₂ O (Wang 2006)
M	Stromerzeugung - BRA ²⁾	kg CO ₂ eq/MWh	180,00	(Macedo 2007)
1) Summe aus der durchschnittlichen Menge an Stromüberschuss und des zusätzlichen aus der Bagasse in der Fabrik hergestellten Stroms.				
2) Durchschnittliche typische Werte der Region der Produktionsstätte.				

Tabelle B 1-9: Grunddaten für den Prozess Bioethanolproduktion

³⁵ Der hier angeführte Liter bezieht sich auf 1 Liter des Endprodukts E85.

³⁶ Erforderliche elektrische Energie in den Tankstellen: $100 \cdot 10^{-6} \text{ TJ}_{\text{strom}} / \text{TJ}_{\text{kraftstoff}}$

Berechnung der Tabelle B 1-8	
Parameter	Berechnung
Chemikalien und Schmierprodukte (indirekt)	$B \cdot K / 1000000$
Bagasse Verbrennung (Strom Erzeugung) (direkt)	$(F/A) \cdot L$
Strom Überschuss - CO ₂ Vermeidung (indirekt)	$(M^*)/A$

Tabelle B 1-10: Berechnung der Tabelle B 1-8

Grunddaten für die Prozesse 3 und 4 - Lagerung/Mischung und Konsum				
Parameter		Einheit	Menge	Anmerkungen
A	Benzin / Ethanol	$L_{\text{benzin}}/L_{\text{E85}}$	0,15	Mischungsverhältnis
B	E85 Verbrauch ¹⁾	$L_{\text{E85}}/100 \text{ km}$	8,76	Mittelwert ¹⁾
THG Faktoren				
C	Benzin Produktion	$\text{kg CO}_2\text{eq}/L_{\text{benzin}}$	0,67	Autor
D	Benzin Verbrennung	$\text{kg CO}_2\text{eq}/L_{\text{benzin}}$	2,39	Autor
E	E100 Verbrennung	$\text{kg CO}_2\text{eq}/L_{\text{E100}}$	0,025	Direkte Emissionen von CH ₄ + N ₂ O (Wang 2006)
1) Der Wert ist das Ergebnis des gewichteten Mittelwerts des Verbrauchs von Autos, die mit Bioethanol und Benzin angetrieben werden (FFV), die zwischen März 2009 und März 2010 in Österreich neu zugelassen wurden. Es scheinen in dieser Erhebung keine für den Antrieb mit Ethanol konvertierten Autos auf, ebensowenig wie in Österreich verkehrende, aber im Ausland registrierte Autos.				

Tabelle B 1-11: Grunddaten für die Prozesse Lagerung/Mischung und Konsum

Berechnung der Prozesse 3 und 4	
Parameter	Berechnung
Benzin Produktion (indirekt)	$A \cdot C$
Benzin Verbrennung (direkt)	$A \cdot D$
Ethanol Verbrennung (direkt)	$(1-A) \cdot E$

Tabelle B 1-12: Berechnung der Prozesse 3 und 4

1.3) Die Transportprozesse (T1, T2 und T3)

Beim angenommenen Szenario erfolgen wesentliche Prozesse in großer Entfernung voneinander. Der Prozess der Ethanolproduktion in der Bioraffinerie (P2) in Brasilien und der Prozess der Lagerung und Mischung sowie der Prozess des Konsums (P3 sowie P4) in Österreich erfolgen sogar in unterschiedlichen Kontinenten. Die dazwischen liegenden Transportprozesse erfordern daher eine entsprechend sorgfältige Analyse.

Zur Vereinfachung werden in dieser Studie die (geringfügig vorkommenden) Materialverluste des transportierten Materials während jedes Transportprozesses und die durch diese hervorgerufenen Emissionen nicht berücksichtigt.

Im Grunde bedeutet dies, dass das Material, das aus einem Prozess herauskommt, exakt das gleiche ist, das in den nächsten Prozess hineingeht, und während den drei Transportprozessen des Lebenszyklus von Bioethanol keinerlei physikalisch-chemischen Veränderungen erfährt. Auf diese Weise sind die einzigen Komponenten in den Berechnungen der Treibhausgas-Emissionen bei den Transportprozessen die Emissionen, die durch die Verwendung von Kraftstoffen in den Verkehrsmitteln des Szenarios verursacht werden. D.h. die indirekten Emissionen entsprechen den Emissionen, die während der Produktionskette der verwendeten Kraftstoffe entstehen, und die direkten Emissionen sind diejenigen, die während deren Konsum (Verbrennung) auftreten.

Eine andere wesentliche Überlegung in der Analyse der Transportprozesse betrifft die Entscheidung, ob Hin- und Rückweg oder nur der Hinweg (vom Ausgangspunkt bis zum Zielpunkt) des jeweiligen Fahrzeugs in die Berechnungen miteinbezogen werden.

Im ersten Fall - Hin- und Rückweg - wird davon ausgegangen, dass das Fahrzeug notwendigerweise an seinen Ausgangspunkt zurückkehren müsse, da es ausschließlich diesem Zweck diene. Es würde sich also um einen spezifischen und exklusiven Transportprozess des Lebenszyklus von Bioethanol handeln.

Im zweiten hypothetischen Fall würde das Fahrzeug vor seiner Rückkehr an den Ausgangspunkt (wenn es zurückkehrt) andere Produkte transportieren. Dieses Wegstück, der Rückweg oder ein Teil des Rückwegs, würde dabei Teil des Lebenszyklus eines anderen Produkts sein und sich außerhalb der Grenzen des Systems des Lebenszyklus von Bioethanol befinden.

Aufgrund der schwierigen Erlangung und Überprüfung entsprechender Daten erfolgt im dargestellten Szenario eine Vereinfachung - es wird in dieser Frage der Faktor 1,5 angewendet und damit ein Kompromiss zwischen beiden möglichen Hypothesen gewählt.

Der Prozess T2.2 wurde jedoch anders behandelt, da das Auf- und Abladen des Schiffes Tage dauern kann und währenddessen eine beachtliche Menge an Kraftstoff verbraucht wird. Eine direkte Anwendung dieses Faktors ist nicht möglich, da in beiden beschriebenen Hypothesen Aufladen und Abladen des Ethanol nur einmal berücksichtigt werden.

Transportprozesse - kenndaten	Transport 1	Transport 2			Transport 3
		T 2.1	T 2.2	T 2.3	
Start	RP-SP/BRA	RP-SP/BRA	Santos-SP/BRA	Koper/SL	Schwechat/AT
Ziel	RP-SP/BRA	Santos-SP/BRA	Koper/SL	Schwechat/AT	Tankstellen/AT
Rohstoffe	Zuckerrohr	E100	E100	E100	E85
Distanz [km]	23	392	11.151	584	94
Transportmittel	LKW	LKW	Tankerschiff	LKW	LKW
Transportdauer	~ 35 Min.	~ 5 Stunden	~ 23 Tage	~ 5,5 Stunden	~ 1,5 Stunden
Kraftstoffe	Diesel	Diesel	Schweröl	Diesel	Diesel

Tabelle B 1-13: Kenndaten der Transportprozesse

Der erste Transportprozess (T1) verbindet den Prozess Biomasseanbau (P1) mit dem Prozess Bioethanolproduktion (P2). Die dabei zurückgelegte Distanz zwischen Feld und Raffinerie beträgt im gewählten Szenario 23,1 km - was dem durchschnittlichen Wegstück von 39 untersuchten Fabriken bei Macedo et al. 2008 entspricht. Die energetische Effizienz der Lastwägen von 52,4 tkm/L wird aus der gleichen Studie übernommen. Bei Anwendung des Faktors „Hin- und Rückweg“ von 1,5 und Kombination des Ergebnisses mit den THG-Faktoren³⁷ erhalten wir:

Indirekte THG-Emissionen des Transportprozesses T1 = 421 g CO₂ eq / t_c

und

Direkte THG-Emissionen des Transportprozesses T1 = 1762 g CO₂ eq / t_c

Der nächste Transportprozess (T2) ist der wichtigste dieser Studie. Er ist in drei Teile geteilt (siehe Abbildung B 1-1 und Tabelle B1-1), welche - dem definierten Szenario zufolge - den Transport zwischen dem Prozess Bioethanolproduktion in Brasilien (P2) dem Prozess Lagerung/Mischung des Kraftstoffs in Österreich (P3) in drei Wegstrecken beschreiben (Transportmittel: LKW - Schiff - LKW).

Prozess T2	Indirekte Emissionen	Direkte Emissionen	Σ
	[kg CO ₂ eq/L _{E100}]		
T2.1	0,009	0,038	0,047
T2.2	0,003	0,030	0,033
T2.3	0,013	0,056	0,069
Σ	0,026	0,124	0,149

Tabelle B 1-14: Direkte und indirekte Emissionen beim Transportprozess T2 (Berechnung folgt in Kap.1.3.1)

Der letzte Transportprozess des präsentierten Szenarios (T3) entspricht der Verbindung zwischen dem Ort der Lagerung und Mischung (Prozess P3) und den verschiedenen Tankstellen. Die bei dieser Studie verwendete Entfernung ist daher der Mittelwert der verschiedenen Entfernungen zwischen dem Lager in Schwechat bei Wien und den 24 in Österreich registrierten Tankstellen, welche Bioethanol (E85) vertreiben (Stand: April 2010)³⁸. Es handelt sich dabei um einen einfachen Mittelwert - in der Annahme, dass alle betrachteten Tankstellen die gleiche Menge an Kraftstoff verkaufen:

Indirekte THG-Emissionen des Transportprozesses T3 = 2,2 g CO₂ eq / L_{E85}

und

Direkte THG-Emissionen des Transportprozesses T3 = 9,0 g CO₂ eq / L_{E85}

³⁷ Details zu den THG-Faktoren werden im folgenden Punkt „Berechnungen der Transportprozesse“ gezeigt.

³⁸ Beim Szenario für Benzin wird später der gleiche Wert verwendet.

1.3.1) Berechnungen der Transportprozesse (T1, T2 und T3)

Grunddaten für die Prozesse T1, T2 und T3 - Transport			
Parameter	Einheit	Menge	Anmerkungen
A	Distanz (T1)	km	23,10 (Macedo 2007)
B	LKW energetische Effizienz (T1)	$t_c \cdot \text{km}/L_{\text{diesel}}$	52,40 (Macedo 2007)
C	Distanz (T2.1)	km	392,00 googlemaps 2010
D	Diesel Verbrauch LKW (T2.1;T2.3;T3)	$L_{\text{diesel}}/m^3 \cdot \text{km}$	0,024 Seabra 2008
E	Distanz (T2.2)	km	11.150,9 World Shipping Register 2010
F	Schiff Last (T2.2)	Mio. L_{E100}	160,00
G	Schweröl Dichte (T2.2)	kg/L	0,90
H	Schiff-Transportdauer (belastet) (T2.2)	Tage	17,90 World Shipping Register 2010
I	Schiff-Transportdauer (unbelastet) (T2.2)	Tage	9,00 Estimation with factor
J	Schiff-Tempo (Aufladen) (T2.2)	Tage	2,00 World Shipping Register 2010
K	Schiff-Tempo (Abladen) (T2.2)	Tage	3,00 World Shipping Register 2010
L	Schiff Verbrauch (belastet) (T2.2)	$t_{\text{schweröl}}/\text{Tag}$	60,00 (Martins 2009)
M	Schiff Verbrauch (unbelastet) (T2.2)	$t_{\text{schweröl}}/\text{Tag}$	50,00 (Martins 2009)
N	Schiff Verbrauch (Aufladen) (T2.2)	$t_{\text{schweröl}}/\text{Tag}$	2,00 (Martins 2009)
O	Schiff Verbrauch (Abladen) (T2.2)	$t_{\text{schweröl}}/\text{Tag}$	2,00 (Martins 2009)
P	Distanz (T2.3)	km	584,00 googlemaps 2010
Q	Distanz (T3)	km	93,70
THG-Faktoren			
R	Diesel (Produktion) (T1;T2.1;T2.3;T3)	$\text{kg CO}_2\text{eq}/L_{\text{diesel}}$	0,64 (IPCC 2006 + Wang 2006)
S	Diesel (Verbrennung) (T1;T2.1;T2.3;T3)	$\text{kg CO}_2\text{eq}/L_{\text{diesel}}$	2,66 (IPCC 2006 + Wang 2006)
T	Schweröl (Produktion) (T2.2)	$\text{kg CO}_2\text{eq}/L_{\text{schweröl}}$	0,32 (IPCC 2006 + ELCD 2010)
U	Schweröl (Verbrennung) (T2.2)	$\text{kg CO}_2\text{eq}/L_{\text{schweröl}}$	2,84 (IPCC 2006)

Tabelle B 1-15: Grunddaten für die Transportprozesse T1, T2 und T3

Berechnung der Transportprozesse	
Parameter	Berechnung
Prozess Transport 1 - T1	
Diesel Produktion (indirekt)	$(A/B) \cdot 1,5 \cdot R$
Diesel Verbrennung (direkt)	$(A/B) \cdot 1,5 \cdot S$
Prozess Transport 2 - T2	
T2.1 Indirekte	$C \cdot (D/1000) \cdot 1,5 \cdot R$
T2.1 Direkte	$C \cdot (D/1000) \cdot 1,5 \cdot S$
T2.2 Indirekte	$\left(\frac{(H \cdot L + I \cdot M + J \cdot N + K \cdot O)}{G} \cdot 10^3 / (F \cdot 10^6) \right) \cdot T$
T2.2 Direkte	$\left(\frac{(H \cdot L + I \cdot M + J \cdot N + K \cdot O)}{G} \cdot 10^3 / (F \cdot 10^6) \right) \cdot U$
T2.3 Indirekte	$P \cdot (D/1000) \cdot 1,5 \cdot R$
T2.3 Direkte	$P \cdot (D/1000) \cdot 1,5 \cdot S$
Prozess Transport 3 - T3	
Diesel Produktion (indirekt)	$Q \cdot (D/1000) \cdot 1,5 \cdot R$
Diesel Verbrennung (direkt)	$Q \cdot (D/1000) \cdot 1,5 \cdot S$

Tabelle B 1-16: Berechnung der Transportprozesse

1.4) Gesamt-Emissionen des Bioethanol-Szenarios und die funktionelle Einheit

Bisher wurden die Emissionen - dem jeweiligen Prozess entsprechend - in 4 unterschiedlichen Einheiten präsentiert: CO₂ eq / ha (Prozess Biomasseanbau – P1), CO₂ eq / t_c (Prozess Transport 1 – T1), CO₂ eq / L_{E100} (Prozess Bioethanolproduktion – P2 und Prozess Transport 2 – T2) und CO₂ eq / L_{E85} (Prozess Lagerung / Mischung – P3, Prozess Transport 3 – T3 und Prozess Konsum – P4).

Dies erschien für ein besseres Verständnis der einzelnen Prozesse des untersuchten Szenarios sinnvoll. Tabellen und Abbildungen wurden in der Reihenfolge präsentiert, in der sie berechnet wurden und in der sie üblicherweise in der wissenschaftlichen und spezialisierten Literatur angetroffen werden.

Für einen Vergleich verschiedener Prozesse oder Szenarien ist es jedoch erforderlich eine funktionelle Einheit auszuwählen und dem Vergleich zugrunde zu legen. Da diese Arbeit den Vergleich zwischen verschiedenen Kraftstoffen (Bioethanol und Benzin) für Transportzwecke behandelt, stellt eine bestimmte zurückzulegende Distanz für beide Kraftstoffe zu gleichen Bedingungen (d.h. ausgehend von den gleichen Tankstellen und dem gleichen FFV-Automobil³⁹) die geeignetste funktionelle Einheit dar, um beide zu vergleichen.

Die Distanz von 100 km ist bereits in weitverbreiteter Verwendung für den Vergleich des Kraftstoffverbrauchs von unterschiedlichen Motorisierungen oder Automobilen. Daher ist eine Menge in kg CO₂ - Äquivalenten⁴⁰ auf je 100 (durch das gleiche Automobil gefahrene) Kilometer die funktionelle Einheit, die für Darstellung und Vergleich der Treibhausgas-Emissionen in dieser Arbeit herangezogen wird.

Funktionelle Einheit: kg CO₂ eq / 100 km

Gesamt-Emissionen für das Szenario Bioethanol					
Prozesse		Indirekte Em.	Direkte Em.	Σ	Emission Anteil
		[kg CO ₂ eq/100 km]			
P1	Biomasseanbau	0,49	2,97	3,46	37,0%
T1	Transport 1	0,04	0,15	0,19	2,0%
P2	Bioethanolproduktion	-0,03	0,31	0,28	2,9%
T2	Transport 2	0,19	0,92	1,12	12,0%
P3	Lagerung / Mischung	0,88	0,00	0,88	9,5%
T3	Transport 3	0,02	0,08	0,10	1,0%
P4	Konsum	0,00	3,32	3,32	35,5%
Σ		1,60	7,75	9,35	100,0%

Tabelle B 1-17: Gesamt-Emissionen für das Szenario Bioethanol (Berechnung folgt in Kap.1.4.1)

³⁹ Zum Modell-Automobil: Die Berechnungen basieren auf dem gewichteten Mittelwert des Verbrauchs von Autos, die mit Bioethanol und Benzin angetrieben werden (FFV), die zwischen März 2009 und März 2010 in Österreich neu zugelassen wurden.

⁴⁰ Diese ergeben die gesamte Summe der THG-Emissionen. Für die Berechnung der Äquivalente (eq) werden folgende Faktoren nach IPCC 2001 herangezogen: CO₂ - 1; CH₄ - 23; N₂O - 296.

1.4.1) Umrechnungen auf die funktionelle Einheit

Grunddaten für Berechnung der Gesamtemissionen				
Parameter		Einheit	Menge	Anmerkungen
A	P1 Indirekte Emissionen	kg CO ₂ eq / ha	497,60	Kapitel TB 1.1
B	P1 Direkte Emissionen	kg CO ₂ eq / ha	2995,64	Kapitel TB 1.1
C	T1 Indirekte Emissionen	g CO ₂ eq / t _c	421,00	Kapitel TB 1.3
D	T1 Direkte Emissionen	g CO ₂ eq / t _c	1762,00	Kapitel TB 1.3
E	P2 Indirekte Emissionen	g CO ₂ eq / L _{E100}	-4,00	Kapitel TB 1.2
F	P2 Direkte Emissionen	g CO ₂ eq / L _{E100}	41,00	Kapitel TB 1.2
G	T2 Indirekte Emissionen	g CO ₂ eq / L _{E100}	26,00	Kapitel TB 1.3
H	T2 Direkte Emissionen	g CO ₂ eq / L _{E100}	124,00	Kapitel TB 1.3
I	P3 Indirekte Emissionen	g CO ₂ eq / L _{E85}	101,00	Kapitel TB 1.2
J	P3 Direkte Emissionen	g CO ₂ eq / L _{E85}	0,00	Kapitel TB 1.2
K	T3 Indirekte Emissionen	g CO ₂ eq / L _{E85}	2,15	Kapitel TB 1.3
L	T3 Direkte Emissionen	g CO ₂ eq / L _{E85}	8,99	Kapitel TB 1.3
M	P4 Indirekte Emissionen	g CO ₂ eq / L _{E85}	0,00	Kapitel TB 1.2
N	P4 Direkte Emissionen	g CO ₂ eq / L _{E85}	379,00	Kapitel TB 1.2
O	Durchschnittlicher Verbrauch (E85)	L _{E85} /100 km	8,76	Autor
P	Input P3 (E100)	L _{E100} /100 km	7,45	Autor
Q	Bioraffinerie Ausbeute	L/t _{cane}	86,30	(Macedo 2007)
R	Input P2 (Zuckerrohr)	t _{cane} /100 km	0,086	
S	Ernteerträge	t _{cane} /ha	87,10	(Macedo 2007)
T	Benötigte Fläche	ha/100 km	0,00099	

Tabelle B 1-18: Grunddaten für die Berechnung der Gesamtemissionen - Szenario Bioethanol

Umrechnungen Szenario Bioethanol		
Parameter	Berechnung	
	Indirekte	Direkte
P1-Biomasseanbau	A*T	B*T
T1-Transport 1	C*R/1000	D*R/1000
P2-Bioethanolproduktion	P*E/1000	P*F/1000
T2-Transport 2	P*G/1000	P*H/1000
P3-Lagerung / Mischung	I*O/1000	J*O/1000
T3-Transport 3	K*O/1000	L*O/1000
P4-Konsum	M*O/1000	N*O/1000

Tabelle B 1-19: Umrechnungen - Szenario Bioethanol

2) Benzin: Beschreibung des Szenarios und Analyse

Das in Abbildung B 2-1 gezeigte Szenario soll den Lebenszyklus des in Österreich verbrauchten Benzins darstellen - ausgehend von den gleichen Tankstellen, die auch Bioethanol in Österreich vertreiben. Für die Untersuchung werden aktuelle Daten über die Benzinproduktion in Österreich⁴¹ mit weiteren unverzichtbaren Informationen - wie der durchschnittlichen Distanz des Transportprozesses 2 und den Emissionen des „Modell-Autos“⁴² - kombiniert und die für den Vergleich relevanten Treibhausgas-Emissionen berechnet. Das hier analysierte Szenario befasst sich also nicht mit dem Benzin, der generell in Österreich verbraucht wird, sondern mit dem „durchschnittlichen Benzin“, der vom „durchschnittlichen FFV-Auto“⁴³ - ausgehend von den 24 betrachteten Tankstellen in Österreich - konsumiert wird.

Anders als beim Szenario von Bioethanol, erfolgt die Gewinnung des Rohstoffs für Benzin (Erdöl) nicht an einem Ort und nicht immer auf die gleiche Weise. Daher sind die dargestellten Emissionen aus den Prozessen P1 (Förderung) und T1 (Transport 1) Mittelwerte, deren Berechnungen in den jeweiligen Unterkapiteln detailliert ausgeführt werden. Ein weiterer Unterschied zum davor betrachteten Szenario liegt in der Abwesenheit des Prozesses Lagerung/Mischung. Beim gezeigten Szenario von Benzin wird dieser Prozess als Bestandteil von P2 (Raffinerie) und nicht als eigenständiger Prozess angesehen.

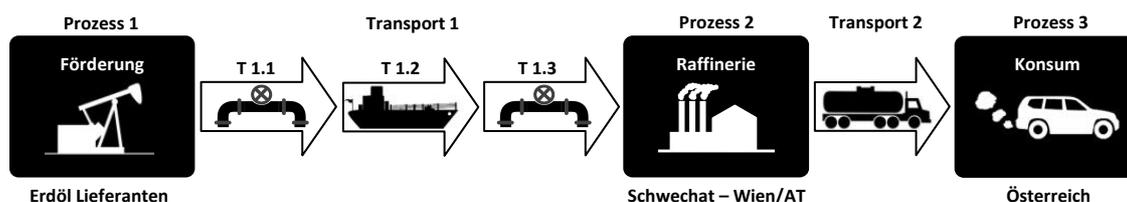


Abbildung B 2-1: Lebenszyklus von Benzin

Transportprozesse - Überblick	Transport 1			Transport 2
	T 1.1	T 1.2	T 1.3	
Start	Quelle	Hafen	Triest	Schwechat/AT
Ziel	Hafen	Triest	Schwechat/AT	Tankstellen/AT
Distanz [km]	1.179	4.206	560	94 ⁴⁾
Transportmittel	Pipeline	Tankerschiff ³⁾	Pipeline	LKW
1) Konsum ausgehend von den ausgewählten 24 Tankstellen und dem „durchschnittlichen Automobil“. 2) Das in Österreich verbrauchte / weiterverarbeitete Erdöl wird aus 18 Ländern importiert. 3) Als Modell dient das Schiff vom Typ Suezmax mit der Kapazität 130.000 t zu transportieren. 4) Durchschnittliche Distanz zwischen Schwechat und den 24 existierenden Tankstellen.				

Tabelle B 2-1: Transportprozesse von Benzin im Überblick

⁴¹ Mineralölbericht 2008 – Fachverband der Mineralölindustrie Österreichs (FVMI)

⁴² Beide Werte sind identisch mit denjenigen des Szenarios von Bioethanol.

⁴³ Durchschnittliches Automobil: Die Daten für Emissionen und Konsum werden aus dem gewichteten Mittelwert der zwischen März 2009 und März 2010 in Österreich neu zugelassenen Autos gewonnen.

2.1) Prozess Erdölförderung (P1)

Der erste Prozess des Szenarios von Benzin, der Prozess der Erdölförderung (P1), besitzt eine in dieser Studie einzigartige Charakteristik. Im Gegensatz zu den anderen Prozessen⁴⁴, erfolgt die Gewinnung des Rohstoffs an verschiedenen Orten der Welt, in verschiedenen Förderphasen (Primär-, Sekundär- und Tertiärförderung) und auf verschiedene Förderweisen (*on-* und *offshore*). Mit dem Ziel, eine größtmögliche Übereinstimmung des hier untersuchten Szenarios mit der aktuellen Realität zu erreichen, werden daher die verschiedenen Faktoren der Treibhausgas-Emissionen der Rohöllieferanten in den Berechnungen berücksichtigt. Die Emissionen des Prozesses P1 werden durch einen gewichteten Mittelwert errechnet - die Gewichtungen entsprechen den Mengen der im Jahr 2008 aus verschiedenen Ländern nach Österreich erfolgten Rohöllieferungen⁴⁵ und die verwendeten Daten sind Mittelwerte der entsprechenden Emissionen. Die Mittelwerte der THG-Emissionen in jedem Land sind einfache Mittelwerte der in der Datenbank GEMIS⁴⁶ vorhandenen Daten (Primär-, Sekundär- oder Tertiärförderung, *on-* oder *offshore*). Die daraus resultierenden durchschnittlichen Emissionen jedes Landes sind in der Tabelle B 2-2 dargestellt, ebenso wie der gewichtete Mittelwert aus diesen Werten⁴⁷.

Rohöl- lieferanten	Erdöl		Emissionen [kg CO ₂ eq / TJ] ¹⁾		
	[t]	Anteil	Direkte	Indirekte	Gesamt
Kasachstan	1.977.718	22,5%	2112,3	3446,7	5559,0
Irak	1.459.891	16,6%	1308,2	1466,7	2774,9
Algerien	1.187.650	13,5%	1308,2	1466,7	2774,9
Österreich	861.639	9,8%	517,7	4896,6	5414,3
Libyen	838.656	9,5%	1308,2	1466,7	2774,9
Venezuela	598.950	6,8%	1308,2	1466,7	2774,9
Saudi-Arabien	457.152	5,2%	1308,2	1466,7	2774,9
Nigeria	338.678	3,8%	1308,2	1466,7	2774,9
Russland	290.627	3,3%	3114,9	3950,5	7065,4
Rest ²⁾	793.371	9,0%	2112,3	3446,7	5559,0
Gewichteter Durchschnitt			1543,5	2507,6	4051,1
1) Diese Einheit [kg CO ₂ eq / TJ], bei der TJ sich auf 1 TJ Rohöl bezieht, wird am Ende des Kapitels in die funktionelle Einheit umgewandelt.					
2) Die Summe der aus diesen Ländern gelieferten Rohölmenge liegt unter 10% des gesamten Imports. Iran 3,6%; Syrien 2,5%; Tunesien 1,1%; Turkmenistan 1,1%; Ägypten 1,0%; Tschechien 0,2%; Korea 0,2%; Slowakei 0,2%; Deutschland 0,04%; Frankreich 0,0001%.					

Tabelle B 2-2: THG-Emissionen bei der Erdölförderung (Berechnung folgt in Kap.2.1.1)

⁴⁴ Der Transportprozess T1 könnte in der gleichen Weise verstanden werden. Die Transportprozesse zwischen den Förderstätten und der Raffinerie unterscheiden sich jedoch voneinander nur quantitativ und nicht qualitativ, wie wir später sehen werden.

⁴⁵ Mineralölbericht 2008 – Fachverband der Mineralölindustrie Österreichs (FVMI)

⁴⁶ Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme

⁴⁷ Die genauen Details und Berechnungen befinden sich im folgenden Unterkapitel.

2.1.1) Berechnungen - Prozess Erdölförderung (P1)

Grunddaten für den Prozess 1 - Erdölförderung				
	Parameter	Einheit	Menge	Anmerkungen
A	Kasachstan Rohölimport Menge	t	1.977.718	Mineralölbericht 2008 (FVMI)
B	Irak Rohölimport Menge	t	1.459.891	Mineralölbericht 2008 (FVMI)
C	Algerien Rohölimport Menge	t	1.187.650	Mineralölbericht 2008 (FVMI)
D	Österreich Rohölproduktionsmenge	t	861.639	Mineralölbericht 2008 (FVMI)
E	Libyen Rohölimport Menge	t	838.656	Mineralölbericht 2008 (FVMI)
F	Venezuela Rohölimport Menge	t	598.950	Mineralölbericht 2008 (FVMI)
G	Saudi-Arabien Rohölimport Menge	t	457.152	Mineralölbericht 2008 (FVMI)
H	Nigeria Rohölimport Menge	t	338.678	Mineralölbericht 2008 (FVMI)
I	Russland Rohölimport Menge	t	290.627	Mineralölbericht 2008 (FVMI)
J	Rest (10 Länder)	t	793.371	Mineralölbericht 2008 (FVMI)
THG-Faktoren - Gesamt-Emissionen				
K	OPEC Länder - Förderung onshore-Primär	kg CO ₂ eq / TJ _{öl}	2.403,2	GEMIS 4.5
L	OPEC Länder - Förderung onshore-Sekundär	kg CO ₂ eq / TJ _{öl}	3.146,6	GEMIS 4.5
M	Österreich - Förderung onshore-Sekundär	kg CO ₂ eq / TJ _{öl}	1.771,3	GEMIS 4.5
N	Österreich - Förderung onshore-Tertiär	kg CO ₂ eq / TJ _{öl}	9.057,2	GEMIS 4.5
O	Russland - Förderung onshore-k.A.	kg CO ₂ eq / TJ _{öl}	7.065,4	GEMIS 4.5
P	generisch - Förderung offshore-k.A.	kg CO ₂ eq / TJ _{öl}	8.386,9	GEMIS 4.5
Q	generisch - Förderung onshore-Primär	kg CO ₂ eq / TJ _{öl}	4.062,6	GEMIS 4.5
R	generisch - Förderung onshore-Sekundär	kg CO ₂ eq / TJ _{öl}	4.227,5	GEMIS 4.5
THG-Faktoren - Direkte Emissionen				
S	OPEC Länder - Förderung onshore-Primär	kg CO ₂ eq / TJ _{öl}	1.308,2	GEMIS 4.5
T	OPEC Länder - Förderung onshore-Sekundär	kg CO ₂ eq / TJ _{öl}	1.308,2	GEMIS 4.5
U	Österreich - Förderung onshore-Sekundär	kg CO ₂ eq / TJ _{öl}	517,7	GEMIS 4.5
V	Österreich - Förderung onshore-Tertiär	kg CO ₂ eq / TJ _{öl}	517,7	GEMIS 4.5
W	Russland - Förderung onshore-k.A.	kg CO ₂ eq / TJ _{öl}	3.114,9	GEMIS 4.5
X	generisch - Förderung offshore-k.A.	kg CO ₂ eq / TJ _{öl}	2.479,0	GEMIS 4.5
Y	generisch - Förderung onshore-Primär	kg CO ₂ eq / TJ _{öl}	1.928,9	GEMIS 4.5
Z	generisch - Förderung onshore-Sekundär	kg CO ₂ eq / TJ _{öl}	1.928,9	GEMIS 4.5

Tabelle B 2-3: Grunddaten für den Prozess Erdölförderung (P1)

Berechnungen für den Prozess 1 - Erdölförderung		
Parameter		Berechnung
AA	Kasachstan Emissionen - Gesamt	$(P+Q+R)/3$
AB	Kasachstan Emissionen - Direkte	$(X+Y+Z)/3$
AC	Kasachstan Emissionen - Indirekte	AA-AB
AD	Irak Emissionen - Gesamt	$(K+L)/2$
AE	Irak Emissionen - Direkte	$(S+T)/2$
AF	Irak Emissionen - Indirekte	AD-AE
AG	Algerien Emissionen - Gesamt	$(K+L)/2$
AH	Algerien Emissionen - Direkte	$(S+T)/2$
AI	Algerien Emissionen - Indirekte	AG-AH
AJ	Österreich Emissionen - Gesamt	$(M+N)/2$
AK	Österreich Emissionen - Direkte	$(U+V)/2$
AL	Österreich Emissionen - Indirekte	AJ-AK
AM	Libyen Emissionen - Gesamt	$(K+L)/2$
AN	Libyen Emissionen - Direkte	$(S+T)/2$
AO	Libyen Emissionen - Indirekte	AM-AN
AP	Venezuela Emissionen - Gesamt	$(K+L)/2$
AQ	Venezuela Emissionen - Direkte	$(S+T)/2$
AR	Venezuela Emissionen - Indirekte	AP-AQ
AS	Saudi-Arabien Emissionen - Gesamt	$(K+L)/2$
AT	Saudi-Arabien Emissionen - Direkte	$(S+T)/2$
AU	Saudi-Arabien Emissionen - Indirekte	AS-AT
AV	Nigeria Emissionen - Gesamt	$(K+L)/2$
AW	Nigeria Emissionen - Direkte	$(S+T)/2$
AX	Nigeria Emissionen - Indirekte	AV-AW
AY	Russland Emissionen - Indirekte	O-W
AZ	Rest Emissionen - Gesamt	$(P+Q+R)/3$
BA	Rest Emissionen - Direkte	$(X+Y+Z)/3$
BB	Rest Emissionen - Indirekte	BB-BC
BC	Summe des konsumierten Rohöls - Österreich	A+B+C+D+E+F+G+H+I+J
BD	Szenario Förderungsemissionen - Gesamt	$(1/BC) * (A * AA + B * AD + C * AG + D * AJ + E * AM + F * AP + G * AS + H * AV + I * O + J * AZ)$
BE	Szenario Förderungsemissionen - Direkte	$(1/BC) * (A * AB + B * AE + C * AH + D * AK + E * AN + F * AQ + G * AT + H * AW + I * W + J * BA)$
BF	Szenario Förderungsemissionen - Indirekte	BD-BE

Tabelle B 2-4: Berechnungen für den Prozess Erdölförderung (P1)

2.2) Andere Prozesse (P2 und P3)

Der Prozess Raffinerie (P2) beginnt gleich im Anschluss an den ersten Transportprozess (T1, der später noch behandelt wird) und liefert als Endprodukt den zum Verbrauch bestimmten, fertigen Benzin. Anders als beim Prozess Bio Raffinerie des Szenarios für Bioethanol, beinhaltet der Prozess P2 des hier betrachteten Szenarios für Benzin auch den Prozess Lagerung und Mischung. D.h. es wird angenommen, dass beide Prozesse am selben Ort stattfinden und kein spezifischer Transportprozess zwischen ihnen erforderlich ist.

Es existieren keine Daten über österreichische Raffinerien auf der Datenbank GEMIS, die für die Darstellung der Treibhausgas-Emissionen der Raffinerie Schwechat - entsprechend des definierten Szenarios - benötigt würden. Da die Daten auf GEMIS, die sich auf eine „generische Raffinerie“⁴⁸ beziehen, der österreichischen Realität nicht so getreu entsprechen, werden für die Berechnungen Daten verwendet, die sich auf eine deutsche Raffinerie beziehen. Im Modell GEMIS sind THG-Emissionen eines bestimmten Prozesses mit zwei Kategorien verbunden. Die erste Kategorie, die direkten Emissionen, sind diejenigen, welche direkt in der Raffinerie während der Benzinproduktion freigesetzt werden. Die zweite Kategorie, die Gesamtemissionen, ist die Summe der direkten Emissionen der Benzinherstellung und der bei der Gewinnung/Herstellung des Hauptrohstoffs (Erdölförderung und -transport) sowie der Hilfsmaterialien (z.B. Energie, Wasser, NaOH, NH₃ und N₂) verursachten Emissionen.

Um die indirekten Emissionen zu erhalten, die sich nur auf den Prozess P2 beziehen, müssen daher von den Gesamtemissionen nicht nur die direkten Emissionen, sondern auch die Emissionen, die im vorliegenden Szenario bereits den vorangegangenen Prozessen (Erdölförderung und -transport) zugewiesen wurden, abgezogen werden⁴⁹.

Die für den Prozess der Benzinherstellung berechneten Werte der Treibhausgas-Emissionen sind:

Indirekte THG-Emissionen im Prozess P2 - Raffinerie = 3676,1 kg CO₂ eq / TJ_{benzin}

und

Direkte THG-Emissionen im Prozess P2 - Raffinerie = 5520,0 kg CO₂ eq / TJ_{benzin}

Die Treibhausgas-Emissions-Äquivalente sind mit der Einheit der Energie TJ von Benzin assoziiert. Wie beim davor betrachteten Szenario werden die Einheiten aller Prozesse später in die funktionelle Einheit dieser Studie (kg CO₂ eq / 100 km) umgewandelt und vereinheitlicht.

Der dritte und letzte Prozess dieses Szenarios, der Prozess Konsum (P3), bezieht sich auf die bei der inneren Verbrennung von Benzin in den Fahrzeugen verursachten Emissionen. Die Gesamtemissionen setzen sich ausschließlich aus direkten Treibhausgas-Emissionen durch den Fahrzeugauspuff zusammen.

⁴⁸ Die „generische Raffinerie“ ist als Modell für Raffinerie-Standorte auf der ganzen Welt zu sehen. Sie weist aber relativ hohe Werte für Emissionen auf, die bei einer modernen Raffinerie wie Schwechat nicht erreicht werden.

⁴⁹ Bei GEMIS nennt sich dieser Prozess „PipelineÖl-roh-DE-mix-2010“.

Der dargestellte Wert wird durch einen gewichteten Mittelwert⁵⁰ berechnet, wobei die Gewichtungen nach der Menge der FFV-Autos erfolgt, die zwischen März 2009 und März 2010 in Österreich neu zugelassen wurden, und die entsprechenden von den Fabrikanten angegebenen Emissionswerte als Daten verwendet werden.

Gesamte THG-Emissionen im Prozess P3 - Konsum = 0,1548 kg CO₂ eq / km

Die für die Pumpen an den Tankstellen erforderliche Energie sowie andere Faktoren werden in Hinblick auf die Treibhausgas-Emissionen als insignifikant angesehen⁵¹. Der Transport des Endprodukts Benzin zu den Tankstellen wird im nächsten Punkt behandelt.

2.2.1) Berechnungen der Prozesse P2 und P3

Grunddaten für den Prozess 2 - Raffinerie				
Parameter		Einheit	Menge	Anmerkungen
A	Ressourceninanspruchnahme (Erdöl)	TJ _{rohöl} / TJ _{benzin}	1,170	GEMIS 4.5 (Benzin Herstellung)
THG Faktoren				
B	Prozess Raffinerie\Benzin-DE-2010 (Gesamt)	kg CO ₂ eq / TJ _{benzin}	15.421,4	GEMIS 4.5
C	Prozess Raffinerie\Benzin-DE-2010 (Direkt)	kg CO ₂ eq / TJ _{benzin}	5.520,0	GEMIS 4.5
D	Prozess Pipeline\Öl-roh-DE-mix-2010 (Gesamt)	kg CO ₂ eq / TJ _{rohöl}	5.320,5	GEMIS 4.5

Tabelle B 2-5: Grunddaten für den Prozess Raffinerie (P2)

Berechnungen für den Prozess 2 - Raffinerie		
Parameter		Berechnung
E	Raffinerie Direkte Emissionen	C
F	Raffinerie Indirekte Emissionen	B-C-A*D
G	Raffinerie Gesamt-Emissionen	E+F

Tabelle B 2-6: Berechnungen für den Prozess Raffinerie (P2)

2.3) Die Transportprozesse (T1 und T2)

Etwas komplexer als beim Szenario zuvor⁵², haben die Transportprozesse des nun untersuchten Szenarios aber auch einige Ähnlichkeiten mit den Transportprozessen im Lebenszyklus von Bioethanol. Der größte Unterschied besteht am Beginn des Lebenszyklus von Benzin, da nicht nur ein Lieferant des wichtigsten Rohstoffs (Rohöl) vorhanden ist, sondern 19 auf dem Globus verteilte Länder.

⁵⁰ Details siehe Anhang.

⁵¹ An den Tankstellen erforderliche elektrische Energie: $100 \cdot 10^{-6} \text{ TJ}_{\text{strom}} / \text{TJ}_{\text{kraftstoff}}$

⁵² Siehe Transportprozesse für das Szenario Bioethanol - Kapitel B 1.3.

Die Rohöl liefernden Länder mit einem kleinen Beitrag zum österreichischen Verbrauch werden unter der Bezeichnung "Rest"⁵³ zusammengefasst - analog zur Untersuchung des Prozesses P1.

Wie bei Bioethanol werden auch beim Szenario für Benzin Materialverluste des transportierten Materials während des Transports und dabei entstehende Emissionen während der einzelnen Transportprozesse vernachlässigt. D.h. im Wesentlichen, dass das Material, das aus einem Prozess herauskommt, genau das gleiche ist, das in den nächsten Prozess hineingeht, und während der beiden erfolgenden Transportprozesse keinerlei physikalisch-chemische Veränderungen erfährt. Die Treibhausgas-Emissionen werden mit Hilfe der Prozesse des Modells GEMIS kalkuliert, mit Ausnahme des Transportsubprozesses T1.2⁵⁴.

Eine weitere Ähnlichkeit mit dem Szenario für Bioethanol stellt die Berücksichtigung des Faktors „Hin- und Rückweg“ beim Subprozess T1.2 und beim Prozess T2 dar⁵⁵.

Transportprozesse - kenndaten	Transport 1			Transport 2
	T 1.1	T 1.2	T 1.3	
Start	Quelle	Hafen	Triest	Schwechat/AT
Ziel	Hafen	Triest	Schwechat/AT	Tankstellen/AT
Rohstoffe	Rohöl	Rohöl	Rohöl	Benzin
Distanz [km]	1.190	4.206	560	94 ²⁾
Transportmittel	Pipeline	Tankerschiff ¹⁾	Pipeline	LKW
Kraftstoffe / Energie	Strom	Schweröl	Strom	Diesel
1) Als Modell dient das Schiff vom Typ Suezmax mit der Kapazität 130.000 t zu transportieren.				
2) Durchschnittliche Distanz zwischen Schwechat und den 24 existierenden Tankstellen.				

Tabelle B 2-7: Kenndaten der Transportprozesse

Der erste Transportprozess (T1) ist der wichtigste dieses Kapitels. Er ist in drei Teile geteilt (siehe Abbildung B 2-1 und Tabelle B 2-1), die den Transport des in verschiedenen Ländern geförderten/hergestellten Rohöls bis zur Raffinerie in Schwechat beschreiben. Das Szenario nimmt an, dass das Rohöl innerhalb des Herkunftslandes eine gewisse Distanz transportiert wird - von der Förderstätte bis zum Exporthafen (Subprozess T1.1). Die dabei zurückgelegte Entfernung - zur Vereinfachung via Pipeline - wird geschätzt als ungefähr die Entfernung zwischen dem geographischen Zentrum des jeweiligen Herstellungslandes und dessen wichtigstem Exporthafen. Der folgende Subprozess T1.2 verbindet diese Exporthäfen mittels Tankerschiffen mit Triest/Italien. Der letzte Subprozess T1.3 ist der Transport via Pipeline von Triest nach Schwechat (575 km⁵⁶).

⁵³ Die Summe der aus diesen Ländern gelieferten Rohölmenge liegt unter 10% des gesamten Imports. Iran 3,6%; Syrien 2,5%; Tunesien 1,1%; Turkmenistan 1,1%; Ägypten 1,0%; Tschechien 0,2%; Korea 0,2%; Slowakei 0,2%; Deutschland 0,04%; Frankreich 0,0001%.

⁵⁴ Die auf GEMIS dazu verfügbaren Daten liegen bereits zu weit zurück (aus dem Jahr 1990 bzw. 1995). Der Subprozess wird daher - analog zum Szenario Bioethanol - selbst berechnet.

⁵⁵ Siehe Transportprozesse für das Szenario Bioethanol - Kapitel B 1.3. Aus nachvollziehbaren Gründen kann der Faktor nicht für die Subprozesse T1.1 und T1.3 angewendet werden, welche mit Pipeline erfolgen.

⁵⁶ Pipelines: TAL - Transalpine Ölleitung (Abschnitt) & AWP - Adria-Wien-Pipeline.

Prozess T1	Indirekte Emissionen	Direkte Emissionen	Σ
	[kg CO ₂ eq/TJ _{rohöl}]		
T1.1	2482,1	0,0	2482,1
T1.2	79,8	709,3	789,2
T1.3	1167,4	0,0	1167,4
Σ	3729,3	709,3	4438,7

Tabelle B 2-8: Direkte und indirekte Emissionen beim Transportprozess T1 (Berechnung folgt in Kap.2.3.1)

Der letzte Transportprozess des gezeigten Szenarios entspricht der Verbindung zwischen der Raffinerie und den Tankstellen. Die dabei berücksichtigte Entfernung (der gleiche Wert wie beim Szenario für Bioethanol) ist ein Mittelwert aus den Entfernungen zwischen dem Lager in Schwechat bei Wien und den 24 bis April 2010 in Österreich registrierten Tankstellen, welche auch Bioethanol (E85) verteilen. Es handelt sich um einen einfachen Mittelwert - unter der Annahme, dass an allen Tankstellen die gleiche Menge an Kraftstoff verkauft wird.

Indirekte THG-Emissionen des Transportprozesses T2 = 2,7 g CO₂ eq / L_{benzin}

und

Direkte THG-Emissionen des Transportprozesses T2 = 11,5 g CO₂ eq / L_{benzin}

2.3.1) Berechnungen der Transportprozesse (T1 und T2)

Grunddaten für den Prozess T1.1 - Transport				
	Parameter	Einheit	Menge	Anmerkungen
A	Kasachstan Landzentrum bis Hafen (T1.1)	km	2.500	Schätzung
B	Irak Landzentrum bis Hafen (T1.1)	km	520	Schätzung
C	Algerien Landzentrum bis Hafen (T1.1)	km	960	Schätzung
D	Libyen Landzentrum bis Hafen (T1.1)	km	720	Schätzung
E	Venezuela Landzentrum bis Hafen (T1.1)	km	100	Schätzung
F	Saudi-Arabien Landzentrum bis Hafen (T1.1)	km	640	Schätzung
G	Nigeria Landzentrum bis Hafen (T1.1)	km	320	Schätzung
H	Russland Landzentrum bis Hafen (T1.1)	km	2.500	Schätzung
I	Kasachstan Rohölimport Menge (Anteil) (T1.1)	%	24,9	Mineralölbericht 2008 (FVMI)
J	Irak Rohölimport Menge (Anteil) (T1.1)	%	18,4	Mineralölbericht 2008 (FVMI)
K	Algerien Rohölimport Menge (Anteil) (T1.1)	%	15,0	Mineralölbericht 2008 (FVMI)
L	Libyen Rohölimport Menge (Anteil) (T1.1)	%	10,6	Mineralölbericht 2008 (FVMI)
M	Venezuela Rohölimport Menge (Anteil) (T1.1)	%	7,5	Mineralölbericht 2008 (FVMI)
N	Saudi-Arabien Rohölimport Menge (Anteil) (T1.1)	%	5,8	Mineralölbericht 2008 (FVMI)
O	Nigeria Rohölimport Menge (Anteil) (T1.1)	%	4,3	Mineralölbericht 2008 (FVMI)
P	Russland Rohölimport Menge (Anteil) (T1.1)	%	3,7	Mineralölbericht 2008 (FVMI)
Q	Rest (10 Länder) Rohölimport Menge (Anteil) (T1.1)	%	10,0	Mineralölbericht 2008 (FVMI)

Tabelle B 2-9: Grunddaten für den Transportprozess T1.1

Grunddaten für den Prozess T1.2 - Transport				
	Parameter	Einheit	Menge	Anmerkungen
R	Kasachstan Entfernung nach Triest (T1.2)	mi	1.450	World Shipping Register 2010
S	Irak Entfernung nach Triest (T1.2)	mi	4.650	World Shipping Register 2010
T	Algerien Entfernung nach Triest (T1.2)	mi	1.250	World Shipping Register 2010
U	Libyen Entfernung nach Triest (T1.2)	mi	920	World Shipping Register 2010
V	Venezuela Entfernung nach Triest (T1.2)	mi	5.354	World Shipping Register 2010
W	Saudi-Arabien Entfernung nach Triest (T1.2)	mi	2.017	World Shipping Register 2010
X	Nigeria Entfernung nach Triest (T1.2)	mi	4.742	World Shipping Register 2010
Y	Russland Entfernung nach Triest (T1.2)	mi	1.450	World Shipping Register 2010
Z	Schiff Last (T1.2)	Mio. L _{rohöl}	100,00	
AA	Schweröl Dichte (T1.2)	kg/L	0,90	
AB	Rohöl Dichte (T1.2)	kg/L	0,95	GEMIS
AC	Rohöl Heizwert (T1.2)	MJ/L	38,00	GEMIS
AD	Rohöl Heizwert (T1.2)	MJ/kg	40,00	GEMIS
AE	Schiff-Transportdauer (belastet) (T1.2)	Tage	10,00	World Shipping Register 2010
AF	Schiff-Transportdauer (unbelastet) (T1.2)	Tage	5,00	Schätzung
AG	Schiff-Tempo (Aufladen) (T1.2)	Tage	3,00	World Shipping Register 2010
AH	Schiff-Tempo (Abladen) (T1.2)	Tage	3,00	World Shipping Register 2010
AI	Schiff Verbrauch (belastet) (T1.2)	t _{schweröl} /Tag	60,00	(Martins 2009)
AJ	Schiff Verbrauch (unbelastet) (T1.2)	t _{schweröl} /Tag	50,00	(Martins 2009)
AK	Schiff Verbrauch (Aufladen) (T1.2)	t _{schweröl} /Tag	2,00	(Martins 2009)
AL	Schiff Verbrauch (Abladen) (T1.2)	t _{schweröl} /Tag	2,00	(Martins 2009)

Tabelle B 2-10: Grunddaten für den Transportprozess T1.2

Grunddaten für den Prozess T1.3 - Transport				
	Parameter	Einheit	Menge	Anmerkungen
AM	Kasachstan Rohölkonsum AT Menge (Anteil) (T1.3)	%	22,5	Mineralölbericht 2008 (FVMI)
AN	Irak Rohölkonsum AT Menge (Anteil) (T1.3)	%	16,6	Mineralölbericht 2008 (FVMI)
AO	Algerien Rohölkonsum AT Menge (Anteil) (T1.3)	%	13,5	Mineralölbericht 2008 (FVMI)
AP	Österreich Rohölkonsum AT Menge (Anteil) (T1.3)	%	9,8	Mineralölbericht 2008 (FVMI)
AQ	Libyen Rohölkonsum AT Menge (Anteil) (T1.3)	%	9,5	Mineralölbericht 2008 (FVMI)
AR	Venezuela Rohölkonsum AT Menge (Anteil) (T1.3)	%	6,8	Mineralölbericht 2008 (FVMI)
AS	Saudi-Arabien Rohölkons. AT Menge (Ant.) (T1.3)	%	5,2	Mineralölbericht 2008 (FVMI)
AT	Nigeria Rohölkonsum AT Menge (Anteil) (T1.3)	%	3,8	Mineralölbericht 2008 (FVMI)
AU	Russland Rohölkonsum AT Menge (Anteil) (T1.3)	%	3,3	Mineralölbericht 2008 (FVMI)
AV	Rest (10 Länder) Rohölkons. AT Menge (Ant.) (T1.3)	%	9,0	Mineralölbericht 2008 (FVMI)
AW	Pipeline Länge von Triest nach Schwechat (T1.3)	km	575	Mineralölbericht 2008 (FVMI)
AX	Pipeline Länge nur AWP (T1.3)	km	420	Mineralölbericht 2008 (FVMI)
THG-Faktoren T1				
AY	Prozess Pipeline\Öl-roh-AT-2010 je 500 km (T1.1)	kg CO ₂ eq / T _{J_{rohöl}}	1.043	GEMIS (Förderung abgezogen)
AZ	Schweröl (Produktion) (T1.2)	kg CO ₂ eq/L _{schweröl}	0,32	(IPCC 2006 + ELCD 2010)
BA	Schweröl (Verbrennung) (T1.2)	kg CO ₂ eq/L _{schweröl}	2,84	(IPCC 2006)
BB	Prozess Pipeline\Öl-roh-AT-2010 je 500 km (T1.3)	kg CO ₂ eq / T _{J_{rohöl}}	1.043	GEMIS (Förderung abgezogen)

Tabelle B 2-11: Grunddaten für den Transportprozess T1.3

Berechnungen für den Prozess T1		
Parameter		Berechnung
BC	Rest (10 Länder) Landzentrum bis Hafen	$(A+B+C+D+E+F+G+H)/8$
BD	Pipeline Inland (T1.1) Durchschnittliche Länge	$A*I+B*J+C*K+D*L+E*M+F*N+G*O+H*P+BC*Q$
BE	Pipeline Indirekt Emissionen (T1.1)	$AY*(BD/500)$
BF	Schwerölverbrauch (T1.2)	$(AE*AI+AF*AJ+AG*AK+AH*AL)/(AA)$
BG	Tanker Direkt Emissionen [kg CO ₂ eq/L _{rohöl}] (T1.2)	$(BF*1000/(Z*1000000))*BA$
BH	Tanker Indirekt Emissionen [kg CO ₂ eq/L _{rohöl}] (T1.2)	$(BF*1000/Z)*AZ$
BI	Tanker Direkt Emissionen [kg CO₂eq/TJ_{rohöl}] (T1.2)	$BG*(1000000/AC)$
BJ	Tanker Indirekt Emissionen [kg CO₂eq/TJ_{rohöl}] (T1.2)	$BH*(1000000/AC)$
BK	Pipeline (TAL,AWP) (T1.3) Durchschnittliche Länge	$(9*AW+AX)/10$
BL	Pipeline Direkt Emissionen (T1.3)	$BB*(BK/500)$

Tabelle B 2-12: Berechnungen für den Transportprozess T1

Grunddaten für den Prozess T2 - Transport				
Parameter		Einheit	Menge	Anmerkungen
BM	Distanz	Km	93,70	
BN	Lkw Last	T	5,6	
BO	Benzin Dichte	kg/L	0,75	ecoinvent-report
THG-Faktoren T2				
BP	Lkw-D-m. Anh.-AO-klein-2010 Indirekt	g CO ₂ eq / km	145,7	GEMIS
BQ	Lkw-D-m. Anh.-AO-klein-2010 Direkt	g CO ₂ eq / km	613,6	GEMIS

Tabelle B 2-13: Grunddaten für den Transportprozess T1.2

Berechnungen für den Prozess T2		
Parameter		Berechnung
BR	Indirekte Emissionen	$BM*BP*1,5/(BN*1000/BO)$
BS	Direkte Emissionen	$BM*BQ*1,5/(BN*1000/BO)$

Tabelle B 2-14: Berechnungen für den Transportprozess T2

2.4) Gesamt-Emissionen des Benzin-Szenarios und die funktionelle Einheit

Wie bereits beim zuvor präsentierten Szenario wurden die Emissionen bisher - dem jeweiligen Prozess entsprechend - in 4 unterschiedlichen Einheiten präsentiert: kg CO₂ eq / TJ_{rohöl} (Prozess Erdölförderung – P1 und Prozess Transport 1 – T1), kg CO₂ eq / TJ_{benzin} (Prozess Raffinerie – P2), g CO₂ eq / L_{benzin} (Prozess Transport 2 – T2) und kg CO₂ eq / km (Prozess Konsum – P3).

Dies erschien für ein besseres Verständnis der einzelnen Prozesse des untersuchten Szenarios sinnvoll. Tabellen und Abbildungen wurden in der Reihenfolge präsentiert, in der sie berechnet wurden und in der sie üblicherweise in der wissenschaftlichen und spezialisierten Literatur angetroffen werden.

Für einen Vergleich verschiedener Prozesse oder Szenarien ist es jedoch erforderlich eine funktionelle Einheit auszuwählen und dem Vergleich zugrunde zu legen. Da diese Arbeit den Vergleich zwischen verschiedenen Kraftstoffen (Bioethanol und Benzin) für Transportzwecke behandelt, stellt eine bestimmte zurückzulegende Distanz für beide Kraftstoffe zu gleichen Bedingungen (d.h. ausgehend von den gleichen Tankstellen und dem gleichen FFV-Automobil⁵⁷) die geeignetste funktionelle Einheit dar, um beide zu vergleichen.

Die Distanz von 100 km ist bereits in weitverbreiteter Verwendung für den Vergleich des Kraftstoffverbrauchs von unterschiedlichen Motorisierungen oder Automobilen. Daher ist eine Menge in kg CO₂ - Äquivalenten⁵⁸ auf je 100 (durch das gleiche Automobil gefahrene) Kilometer die funktionelle Einheit, die für Darstellung und Vergleich der Treibhausgas-Emissionen in dieser Arbeit herangezogen wird.

Funktionelle Einheit: kg CO₂ eq / 100 km

Gesamt-Emissionen für das Szenario Benzin					
Prozesse		Indirekte Em.	Direkte Em.	Σ	Emission Anteil
		[kg CO ₂ eq/100 km]			
P1	Erdölförderung	0,65	0,40	1,06	5,3%
T1	Transport 1	0,97	0,18	1,16	5,8%
P2	Raffinerie	0,82	1,23	2,05	10,3%
T2	Transport 2	0,02	0,07	0,09	0,5%
P3	Konsum	0,00	15,48	15,48	78,1%
Σ		2,46	17,37	19,83	100,0%

Tabelle B 2-15: Gesamt-Emissionen für das Szenario Benzin

⁵⁷ Zum Modell-Automobil: Die Berechnungen basieren auf dem gewichteten Mittelwert des Verbrauchs von Autos, die mit Bioethanol und Benzin angetrieben werden (FFV), die zwischen März 2009 und März 2010 in Österreich neu zugelassen wurden.

⁵⁸ Diese ergeben die gesamte Summe der THG-Emissionen. Für die Berechnung der Äquivalente (eq) werden folgende Faktoren nach IPCC 2001 herangezogen: CO₂ - 1; CH₄ - 23; N₂O - 296.

2.4.1) Umrechnungen auf die funktionelle Einheit

Grunddaten für Berechnung der Gesamtemissionen				
Parameter		Einheit	Menge	Anmerkungen
A	P1 Indirekte Emissionen	kg CO ₂ eq / TJ _{rohöl}	2507,6	Kapitel TB 2.1
B	P1 Direkte Emissionen	kg CO ₂ eq / TJ _{rohöl}	1543,5	Kapitel TB 2.1
C	T1 Indirekte Emissionen	kg CO ₂ eq / TJ _{rohöl}	3729,3	Kapitel TB 2.3
D	T1 Direkte Emissionen	kg CO ₂ eq / TJ _{rohöl}	709,3	Kapitel TB 2.3
E	P2 Indirekte Emissionen	kg CO ₂ eq / TJ _{benzin}	3676,1	Kapitel TB 2.2
F	P2 Direkte Emissionen	kg CO ₂ eq / TJ _{benzin}	5520,0	Kapitel TB 2.2
G	T2 Indirekte Emissionen	g CO ₂ eq / L _{benzin}	2,7	Kapitel TB 2.3
H	T2 Direkte Emissionen	g CO ₂ eq / L _{benzin}	11,6	Kapitel TB 2.3
I	P3 Indirekte Emissionen	kg CO ₂ eq / km	0,0	Kapitel TB 2.2
J	P3 Direkte Emissionen	kg CO ₂ eq / km	0,15	Kapitel TB 2.2
K	Distanz Funktionelle Einheit	km	100,0	
L	Durchschnittlicher Verbrauch Benzin	L/100 km	6,490	Autor
M	Benzin Heizwert	[MJ/L]	34,301	GEMIS
N	Ressourceninanspruchnahme (Erdöl)	TJ _{rohöl} / TJ _{benzin}	1,170	GEMIS

Tabelle B 2-16: Grunddaten für die Berechnung der Gesamtemissionen - Szenario Benzin

Umrechnungen Szenario Benzin		
Parameter	Berechnung	
	Indirekte	Direkte
P1 - Erdölförderung	$A \cdot (M \cdot L / 1000000) \cdot N$	$B \cdot (M \cdot L / 1000000) \cdot N$
T1 - Transport 1	$C \cdot (M \cdot L / 1000000) \cdot N$	$D \cdot (M \cdot L / 1000000) \cdot N$
P2 - Raffinerie	$E \cdot L \cdot M / 1000000$	$F \cdot L \cdot M / 1000000$
T2 - Transport 2	$G \cdot L / 1000$	$H \cdot L / 1000$
P3 - Konsum		$J \cdot K$

Tabelle B 2-17: Umrechnungen - Szenario Benzin

3) Darstellung der Ergebnisse und Vergleich mit anderen Studien

Ziel dieses dritten Kapitels im Teil B ist die Präsentation der wichtigsten Ergebnisse, die aus den Berechnungen für die Szenarien der Lebenszyklen von Bioethanol und Benzin in den beiden vorangegangenen Kapiteln hervorgehen. Die Ergebnisse sollen dabei auch mit ähnlichen Studien verglichen werden, die in den letzten Jahren in den relevanten Medien zur Verbreitung von wissenschaftlichen Arbeiten im Bereich Umwelt publiziert wurden⁵⁹.

Bisher wurden die Berechnungen dieser Studie auf eine Weise präsentiert, dass sie das Verständnis beim Lesen erleichtern - d.h. Schritt für Schritt in derselben Reihenfolge, in der die Resultate gewonnen wurden. Die Auswahl der Prozesse folgte der Logik der Konstruktion eines Szenarios, das wirklichkeitsgetreu oder plausibel (im dargestellten hypothetischen Fall von Bioethanol) die Lebenszyklen der untersuchten in Österreich verbrauchten Kraftstoffe repräsentierte. Um aber eine bessere Interpretation des Vergleichs dieser Studie mit anderen ähnlichen Studien zu ermöglichen, müssen einige Bemerkungen gemacht werden:

1. Es existieren zahlreiche Studien über THG-Emissionen von Bioethanol und Benzin, jedoch stellen die wenigsten Studien ihre Ergebnisse in einer Weise dar, dass ein Vergleich zwischen den Emissionen jedes einzelnen Prozesses (Förderung, Transport, Raffinerie, etc.) gezogen werden könnte. Der Großteil der bei der Literaturrecherche gefundenen Studien zeigt Teilergebnisse (wie im Fall von Benzin für Produktion und Verbrennung) bzw. Gesamtergebnisse (wie im Fall von Bioethanol), aber keine vollständigen Szenarien mit einer genaueren Aufschlüsselung der darin enthaltenen Prozesse.
2. Die in dieser Arbeit untersuchten Prozesse sind in ähnlichen Studien häufig anders an- und zugeordnet. Um die durchgeführte Studie mit anderen zu vergleichen, werden daher in beiden Szenarien die Transportprozesse unter der Bezeichnung „Transport und Verteilung“ zusammengefasst und der Prozess „Lagerung und Mischung“ im Szenario des Lebenszyklus von Bioethanol mit dem Prozess „Bioraffinerie“ vereinigt.
3. Die Ergebnisse aus anderen für den Vergleich ausgewählten Studien wurden in die funktionelle Einheit dieser Studie umgewandelt: Kg CO₂ eq / 100 km.
4. Mit Ausnahme von Ca-GREET, betrachten alle ausgewählten Studien über Bioethanol die während des Kraftstoffverbrauchs des Fahrzeugs freigesetzten Emissionen als neutral. Daher zeigen sie den Wert Null für die Emissionen des Prozesses Konsum. Ca-GREET betrachtet die CO₂ - Emissionen während der Verbrennung (Prozess Konsum) ebenfalls als neutral, die CH₄ - und N₂O - Emissionen, die ebenfalls zum Treibhauseffekt beitragen, sind jedoch in ihren CO₂ äquivalenten Werten berücksichtigt. Das Szenario für Bioethanol in dieser Studie beinhaltet nicht nur die CH₄ - und N₂O - Emissionen, so wie in Ca-GREET, sondern auch die THG-Emissionen, die durch den Benzin-Anteil in der Mischung des in Österreich verwendeten Bioethanols (E85) verursacht werden.
5. Obwohl sie nicht Schwerpunkt dieser Arbeit sind, werden auch die Emissionen dargestellt, die durch aus anderen Rohstoffen (wie Zuckerrübe, Weizen oder Mais) hergestelltes Bioethanol verursacht werden. Diese Resultate sind dem Gesamtüberblick über Bioethanol- und Benzin-Studien beigefügt und besitzen an dieser Stelle einen rein illustrativen Charakter.

⁵⁹ Wie z.B. ScienceDirect ®

6. Vereinheitlichung der Methoden der Studien zu Bioethanol: In einem Versuch, die Methoden der verschiedenen ausgewählten Studien und der in dieser Arbeit durchgeführten Studie einander anzugleichen, werden abschließend einige Modifikationen an den Ergebnissen durchgeführt, um diese „zu einheitlichen Bedingungen“ einander gegenüber stellen zu können und dadurch eine höhere Vergleichbarkeit zu erreichen. In den letzten beiden Unterkapiteln werden die Diagramme mit den Ergebnissen in diesem Sinn in zwei Varianten dargestellt (Kapitel B 3.5.1 und B 3.5.2).

Vereinheitlichung Variante 1: Die Studien zu Bioethanol, welche die Emissionen im Prozess „Konsum“ nicht berücksichtigen, werden als Mischung E100 behandelt (d.h. ohne Addition von Benzin). Damit alle Studien zu einheitlichen Bedingungen verglichen werden können, werden die Emissionen, die durch das Ethanol beim Prozess „Konsum“ verursacht werden (CH_4 und N_2O), von CA-GREET und „Autor 2010“ entfernt ebenso wie die direkten und indirekten Emissionen, die bei der Mischung E85 von „Autor 2010“ durch den Benzin-Anteil verursacht werden. Folglich erhöht sich der Konsum bei „Autor 2010“ und dieser Faktor wird berücksichtigt.

Vereinheitlichung Variante 2: Alle zuvor als E100 behandelten Studien, werden nun den Bedingungen von E85 angepasst (Addition der durch den Benzin-Anteil in der Mischung verursachten Emissionen und Berücksichtigung der CH_4 - und C_2O -Emissionen des Ethanol). Die Addition von Benzin zum Ethanol beeinflusst den Konsum entgegengesetzt zur Variante 1 und es wird eine Anpassung vorgenommen.

3.1) Kraftstoff-Emissionen im Vergleich: Bioethanol x Benzin

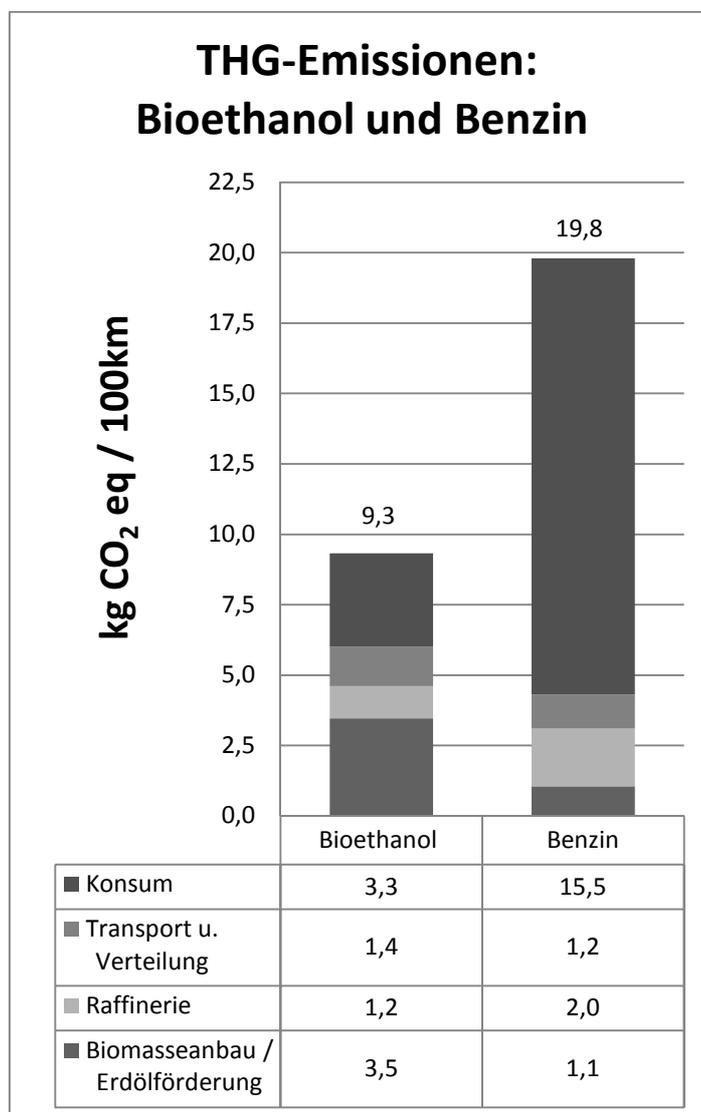


Abbildung B 3-1: THG-Emissionen im Vergleich - Bioethanol und Benzin

Der Vergleich zwischen Bioethanol und Benzin in der Abbildung B 3-1 - entsprechend den für diese Studie gewählten Szenarien - zeigt deutlich, wie die „Neutralität“ der während der Verbrennung von Bioethanol freigesetzten CO₂-Emissionen das Endergebnis beeinflusst. Obwohl die THG-Emissionen während des Prozesses Biomasseanbau mehr als dreimal so hoch sind wie bei der Erdölförderung, bestimmen die THG-Emissionen des Benzinverbrauchs, die fast fünf Mal so hoch sind wie beim Konsum von Bioethanol, das Resultat und machen die Verwendung von Benzin in Österreich - in Hinblick auf die Treibhausgas-Emissionen - mehr als doppelt so schadstoffreich wie den Konsum von Bioethanol aus brasilianischem Zuckerrohr.

3.2) Bioethanol-Studien im Vergleich (Zuckerrohr x Zuckerrohr)

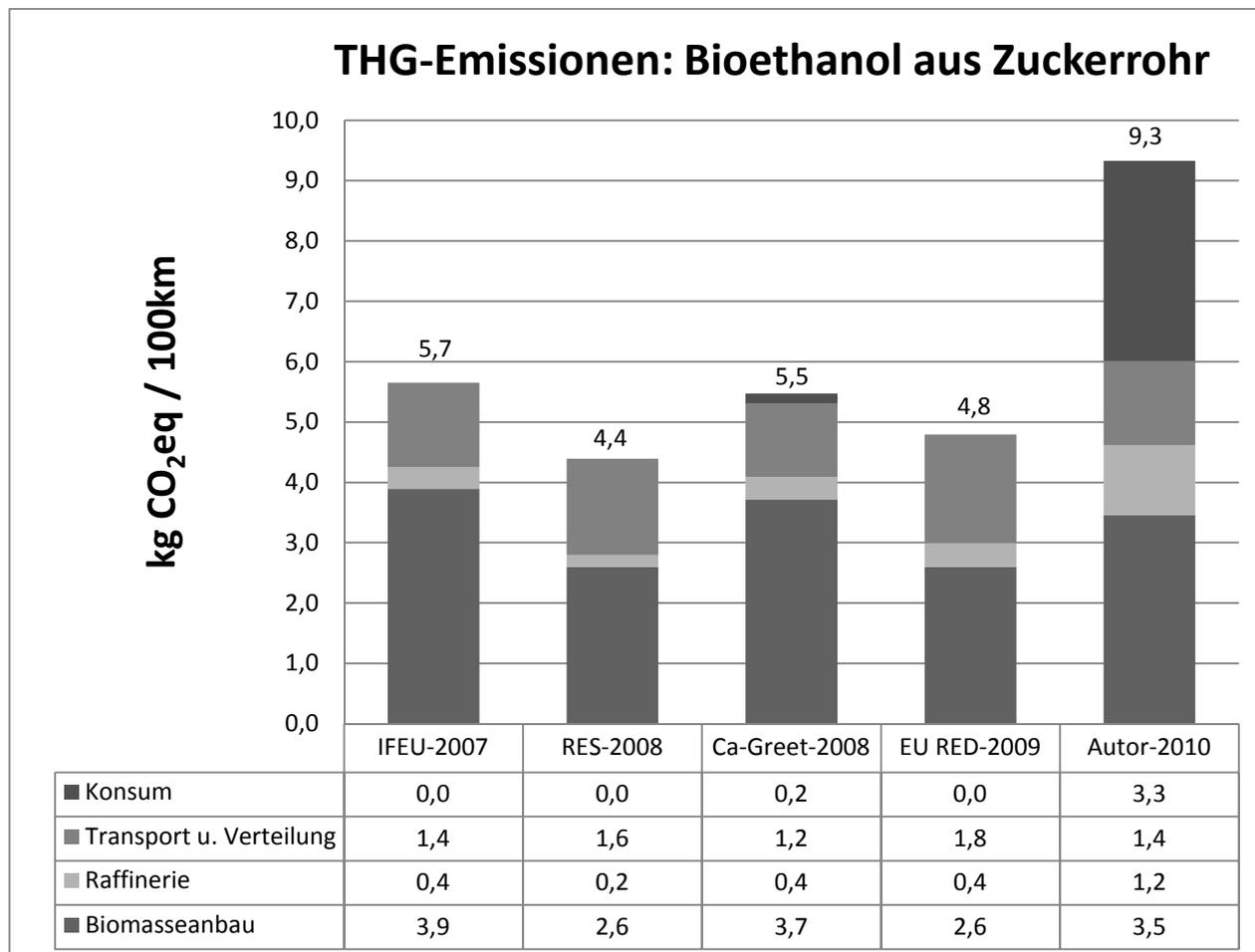


Abbildung B 3-2: THG-Emissionen im Vergleich - Studien über Bioethanol aus Zuckerrohr

Ausgewählte Studien, welche die Analyse des Lebenszyklus für Bioethanol aus Zuckerrohr in Hinblick auf die entstehenden THG-Emissionen als Schwerpunkt haben, werden miteinander verglichen (siehe Abbildung B 3-2). Dabei wird klar ersichtlich, dass der Prozess „Biomasseanbau“ in allen Studien den wesentlichsten Anteil an den gesamten verursachten THG-Emissionen besitzt. Beim Prozess „Raffinerie“ kann festgestellt werden, dass der Wert von 1,2 kg CO₂ eq / 100 km dieser Studie („Autor-2010“) weit höher ist als bei den anderen Studien – möglicherweise aufgrund der indirekten Emissionen, die sich aus dem während des Prozesses „Lagerung und Mischung – P3“ hinzugefügten Benzin-Anteils ergeben (0,9 kg CO₂ eq / 100 km) und die in den anderen Studien nicht vorhanden sind. Im Prozess „Transport und Verteilung“ existieren keine relevanten Unterschiede zwischen den gezeigten Ergebnissen. Im Prozess „Konsum“ findet sich hingegen ein entscheidender Anteil an der gezeigten Differenz der Gesamtemissionen.

3.3) Benzin-Studien im Vergleich

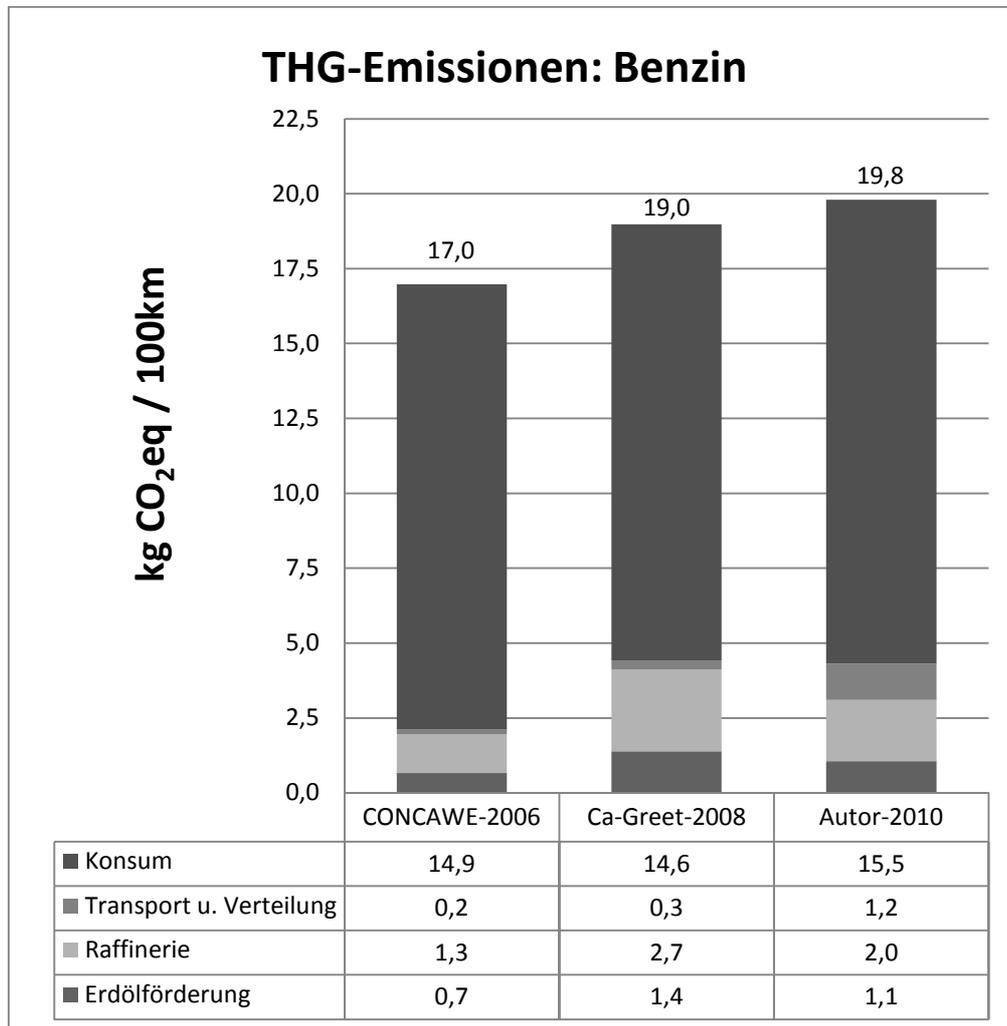


Abbildung B 3-3: THG-Emissionen im Vergleich - Studien über Benzin

Ausgewählte Studien über die THG-Emissionen von Benzin werden mit den Ergebnissen dieser Studie verglichen (siehe Abbildung B 3-3). Die drei hier gegenübergestellten Studien zeigen geringfügige Unterschiede, die möglicherweise auf die Partikularität des jeweils definierten Szenarios zurückzuführen sind. Darüber hinaus muss hervorgehoben werden, dass – abgesehen von methodischen Unterschieden – die Studie CONCAWE 2006 ein allgemeines Szenario für den Verbrauch von Benzin in der EU darstellen soll, während Ca-GREET 2008 die spezifischen Bedingungen für den in Kalifornien (USA) konsumierten Benzin widerspiegelt.

3.4) Bioethanol- und Benzin-Studien im Vergleich

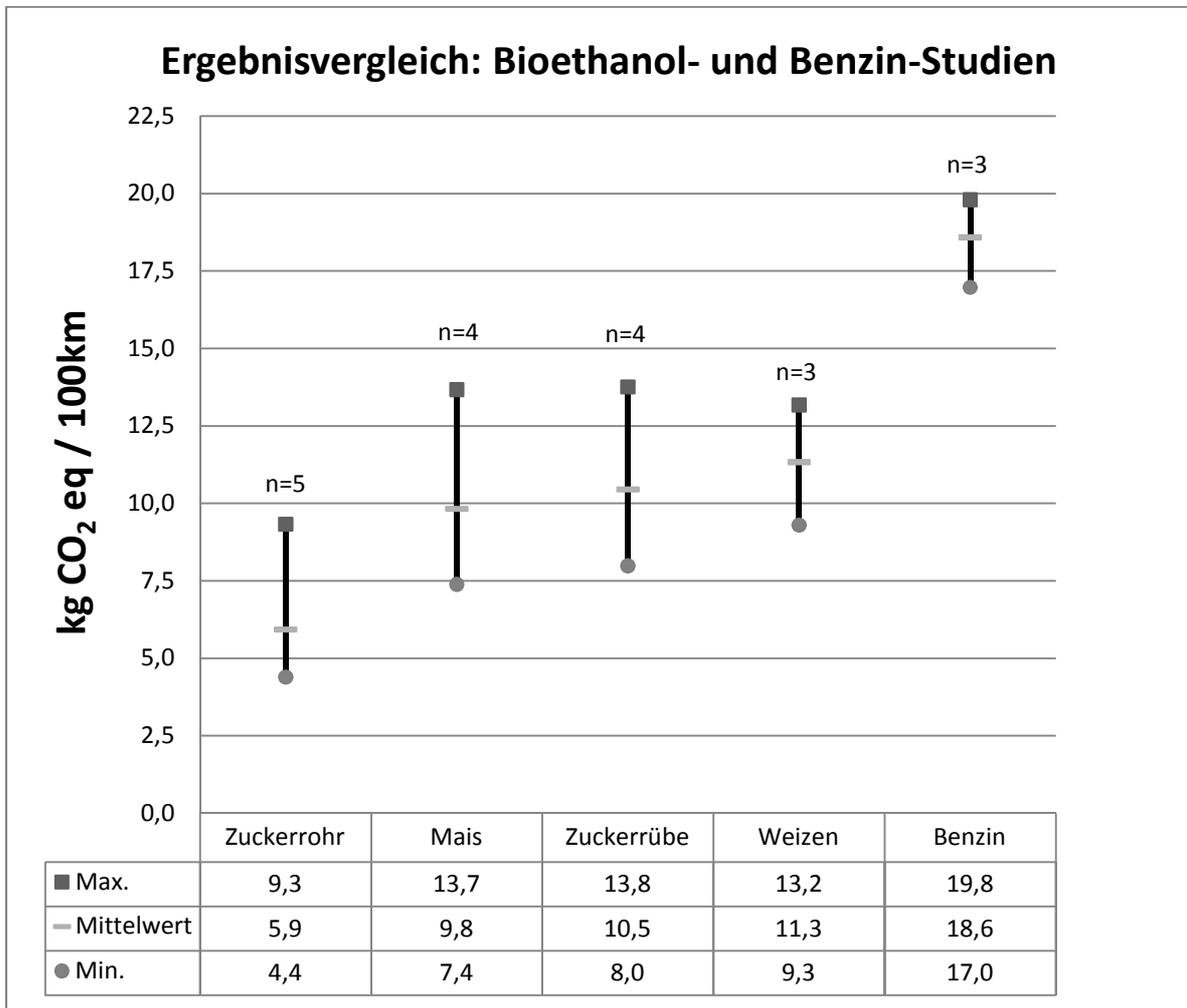


Abbildung B 3-4: THG-Emissionen im Vergleich - Studien über Bioethanol und Benzin (n = Anzahl der Studien)

An dieser Stelle werden alle ausgewählten Studien miteinander verglichen. Die Abbildung B 3-4 zeigt die Bandbreite der Ergebnisse (Minimalwerte, Mittelwerte und Maximalwerte) von Studien zu Bioethanol (hergestellt aus unterschiedlichen Rohstoffen) und Benzin, inklusive dieser Studie.

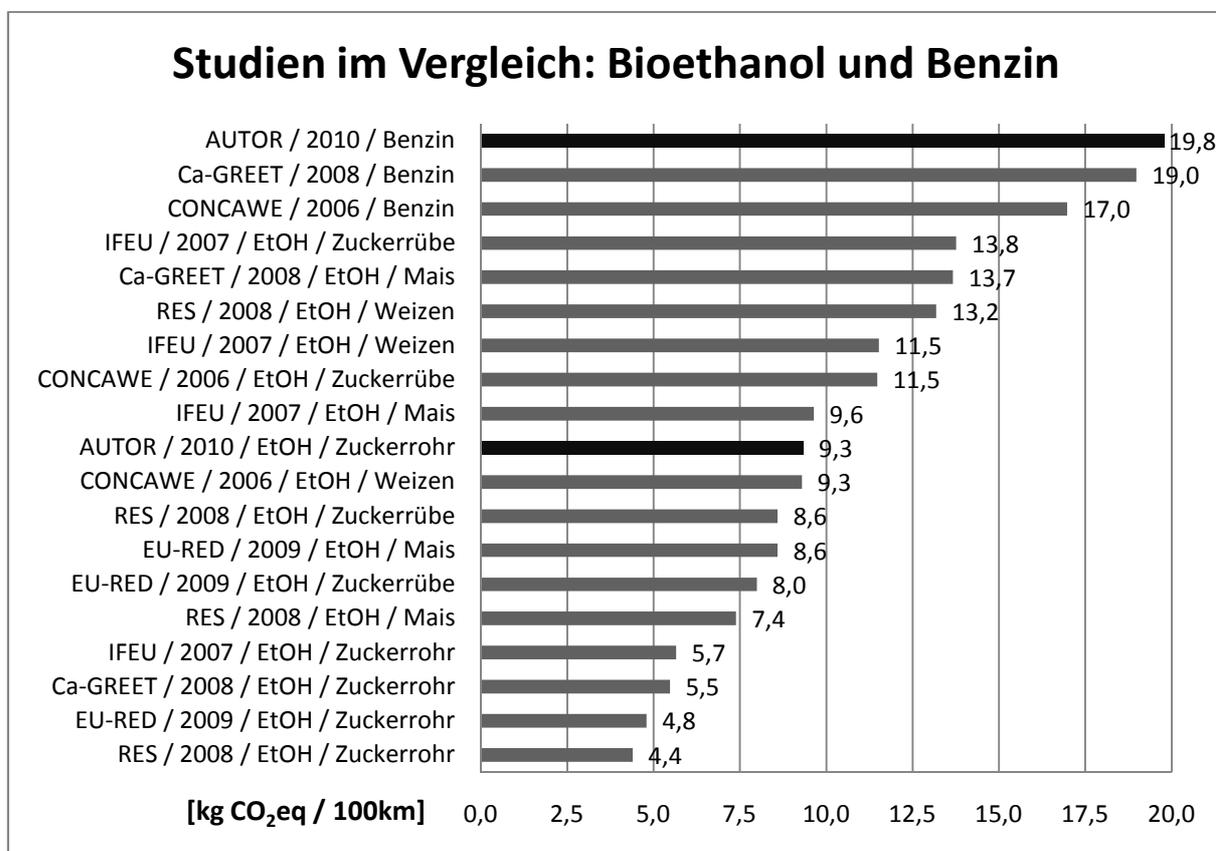


Abbildung B 3-5: Gesamte THG-Emissionen im Vergleich - Studien über Bioethanol und Benzin

Die Abbildung B 3-5 zeigt die Ergebnisse der gesamten THG-Emissionen aller ausgewählten Studien zu Bioethanol (hergestellt aus unterschiedlichen Rohstoffen) und Benzin, inklusive dieser Studie, angeordnet in aufsteigender Reihenfolge.

3.5) Vergleich der Studien unter „einheitlichen Bedingungen“

3.5.1) Variante 1: Anpassung des Bioethanols von „Autor 2010“ auf E100

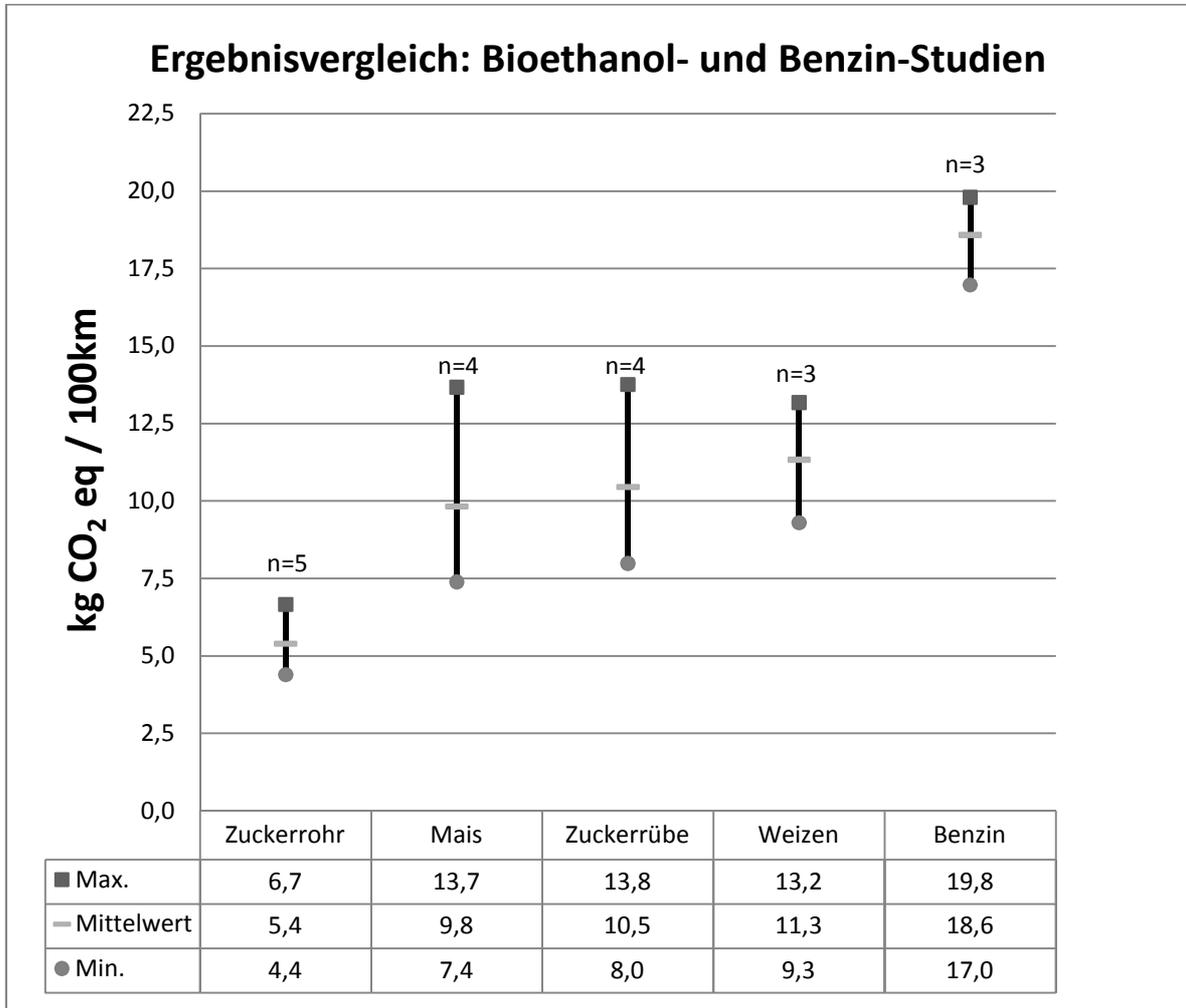


Abbildung B 3-6: THG-Emissionen im Vergleich - Studien über Bioethanol und Benzin (Vereinheitlichung Variante 1)

Um eine höhere Vergleichbarkeit der Ergebnisse der verschiedenen Studien zu erreichen, werden die Emissionen aus dem Prozess „Konsum“ von „Autor-2010“ und Ca-GREET abgezogen (die bei den übrigen Studien zu Bioethanol als „neutral“ angesehen werden). Bei dieser Studie („Autor-2010“) werden außerdem auch die indirekten Emissionen (0,9 kg CO₂ eq / 100 km), die auf den Benzin-Anteil aus dem Prozess „Lagerung und Mischung“ zurückzuführen sind, abgezogen (die bei den übrigen Studien zu Bioethanol ebenfalls nicht vorhanden sind). Nach Abzug des Benzin-Anteils der Mischung (d.h. Anpassung von E85 auf E100) erhöht sich der Konsum.

Das Ergebnis dieser Rechenoperationen ist - wie in Abbildung B 3-6 ersichtlich wird - eine Annäherung der Gesamtwerte für Bioethanol aus Zuckerrohr.

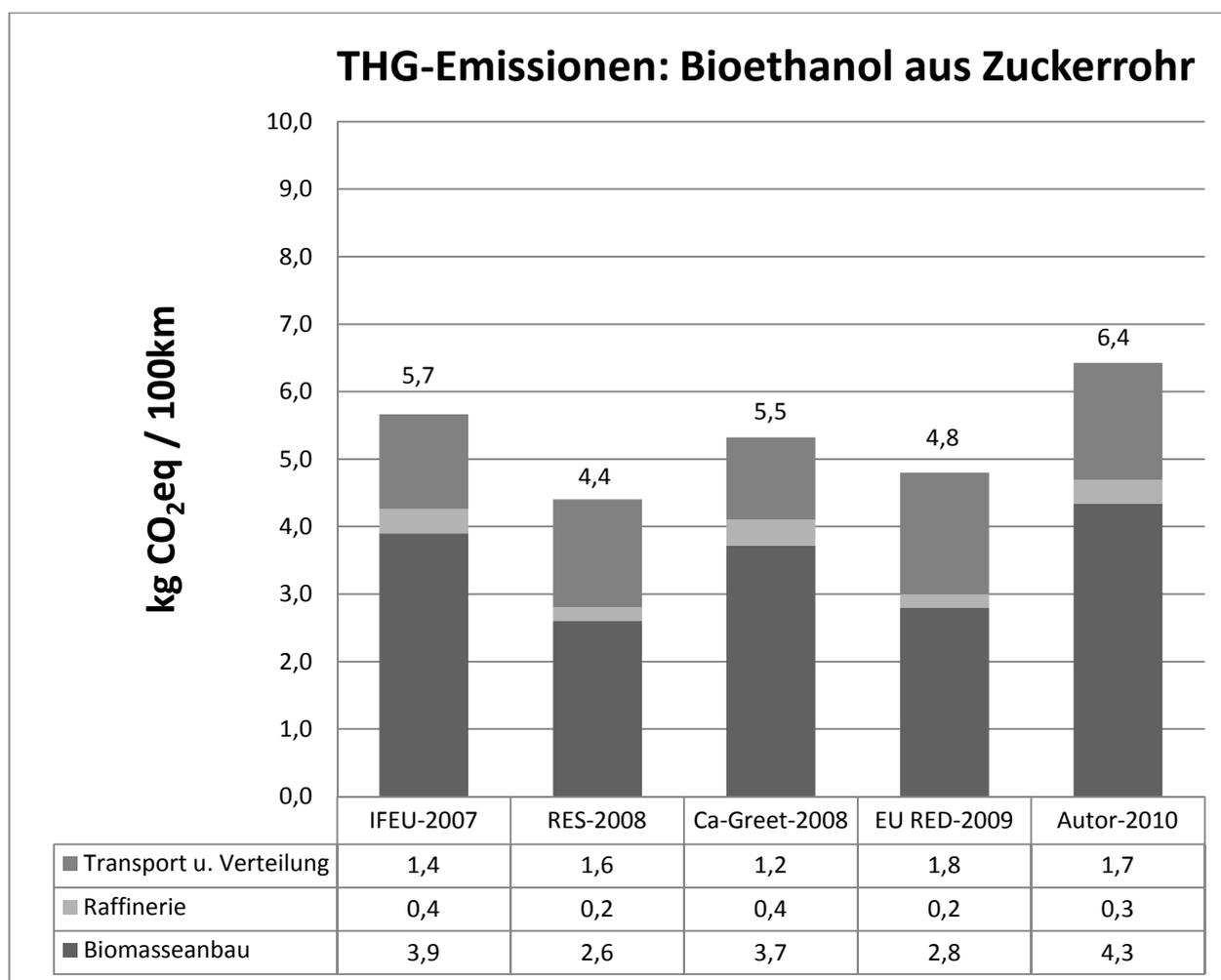


Abbildung B 3-7: THG-Emissionen im Vergleich - Studien über Bioethanol aus Zuckerrohr (Vereinheitlichung Variante 1)

Dieser erste Versuch einer "Vereinheitlichung" der Methoden zeigt - bei einem genaueren Blick auf die Studien zu Bioethanol aus Zuckerrohr (wie in Abbildung B 3-7) - dass die größten Unterschiede bei Teilergebnissen der Studien in der Phase des Biomasseanbaus zu finden sind.

Anpassung des Bioethanols von „Autor 2010“ auf E100:

	Einheit	E85			E100		
		Bioethanol	Benzin	E85	Bioethanol	Benzin	E100
Verbrauch	L/100km	7,45 ¹	1,31 ¹	8,76	9,33 ³	0,00	9,33
P1 - Biomasseanbau	kgCO ₂ eq/100km	3,46	[-] ²	3,46	4,33 ⁴	0,00	4,33
P2 - Produktion	kgCO ₂ eq/100km	0,28	0,87	1,15	0,35 ⁴	0,00	0,35
P4 - Konsum	kgCO ₂ eq/100km	0,19	3,13	3,32	[-] ⁵	0,00	0,00
T1 - Transport 1	kgCO ₂ eq/100km	0,19	[-] ²	0,19	0,24 ⁴	0,00	0,24
T2 - Transport 2	kgCO ₂ eq/100km	1,11	[-] ²	1,11	1,39 ⁴	0,00	1,39
T3 - Transport 3	kgCO ₂ eq/100km	0,083	0,015	0,10	0,12 ⁶	0,00	0,12
Σ	kgCO ₂ eq/100km	5,31	4,02	9,33	6,43	0,00	6,43

1) Verbrauch Bioethanol = 0,85 * Verbrauch E85; Verbrauch Benzin = 0,15 * Verbrauch E85

2) Nicht zutreffend, da Erdölförderung in „Benzinproduktion“ enthalten ist (0,87 kgCO₂eq/100km)

3) Neuer Verbrauch E100 = (Verbrauch E85 * u. Heizwert E85)/(u. Heizwert E100) = (8,76 L/100km * 22,79 MJ/L) / (21,41 MJ/L)

4) Neue Emissionen = Emissionen bei „Autor 2010 (E85)“ - für P1, P2, T1 und T2 - multipliziert mit 9,33/7,45 (Verbrauch Bioethanol bei E100/Verbrauch Bioethanol bei E85)

5) Nicht zutreffend, aufgrund der neuen Bedingungen der „Variante 1“

6) Zuvor wurden 8,76 L transportiert, nun 9,33 L. D.h. neue Emissionen = Emissionen bei „Autor 2010 (E85)“ * (9,33/8,76)

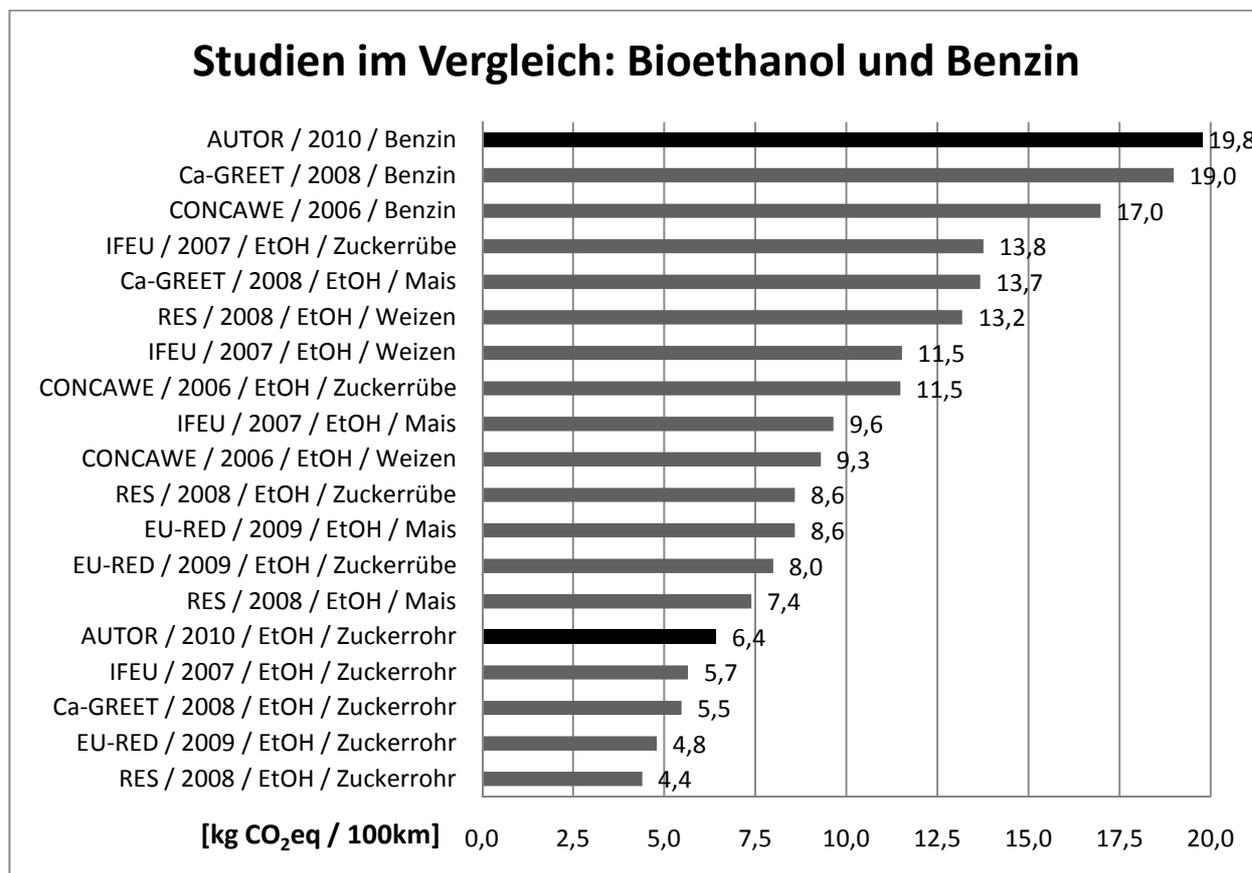


Abbildung B 3-8: Gesamte THG-Emissionen im Vergleich - Studien über Bioethanol und Benzin (Vereinheitlichung Variante 1)

Mit der vorgenommenen Veränderung und der daraus folgenden Verringerung der Gesamt-Emissionen von „Autor-2010“ für Bioethanol, nimmt die vorliegende Studie eine nähere Position zu den anderen Studien zu Bioethanol aus Zuckerröhren ein (vgl. den gezeigten Überblick über alle Studien in der Abbildung B 3-8).

3.5.2) Variante 2: Anpassung der anderen Bioethanol-Studien auf E85

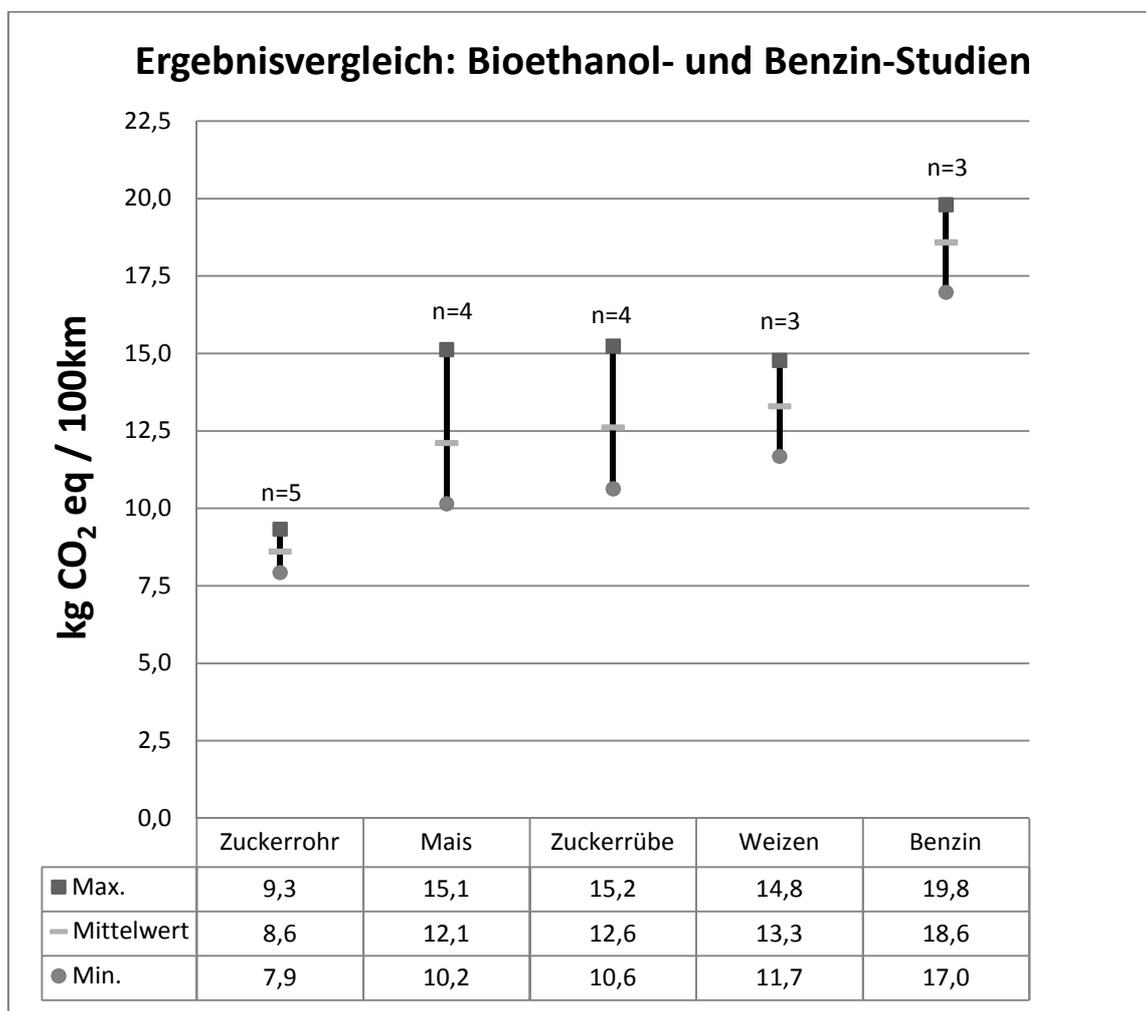


Abbildung B 3-9: THG-Emissionen im Vergleich - Studien über Bioethanol und Benzin (Vereinheitlichung Variante 2)

Bei diesem zweiten Versuch, "einheitlichere" Bedingungen für eine Vergleichbarkeit der Studien herzustellen, werden bei allen Studien zu Bioethanol die Emissionen des Prozesses „Konsum“ (3,3 kg CO₂ eq / 100 km) sowie die indirekten Emissionen des Benzin-Anteils aus dem Prozess „Lagerung und Mischung“ (0,9 kg CO₂ eq / 100 km) hinzugefügt⁶⁰. Durch die Anpassung der Studien auf E85 wird allerdings auch der Konsum verringert. Dadurch nähern sich die Gesamt-Emissionen für Bioethanol aus Zuckerrohr wiederum einander an (vgl. Abbildung B 3-9). Durch die zusätzliche Berücksichtigung der genannten Werte, nähern sich einige Werte von Studien der THG-Emissionen für Bioethanol sogar den in der Studie CONCAWE-2006 genannten THG-Emissionen für Benzin.

⁶⁰ Bei Ca-GREET wird der in der Original-Studie angegebene Wert für Konsum durch diesen ersetzt.

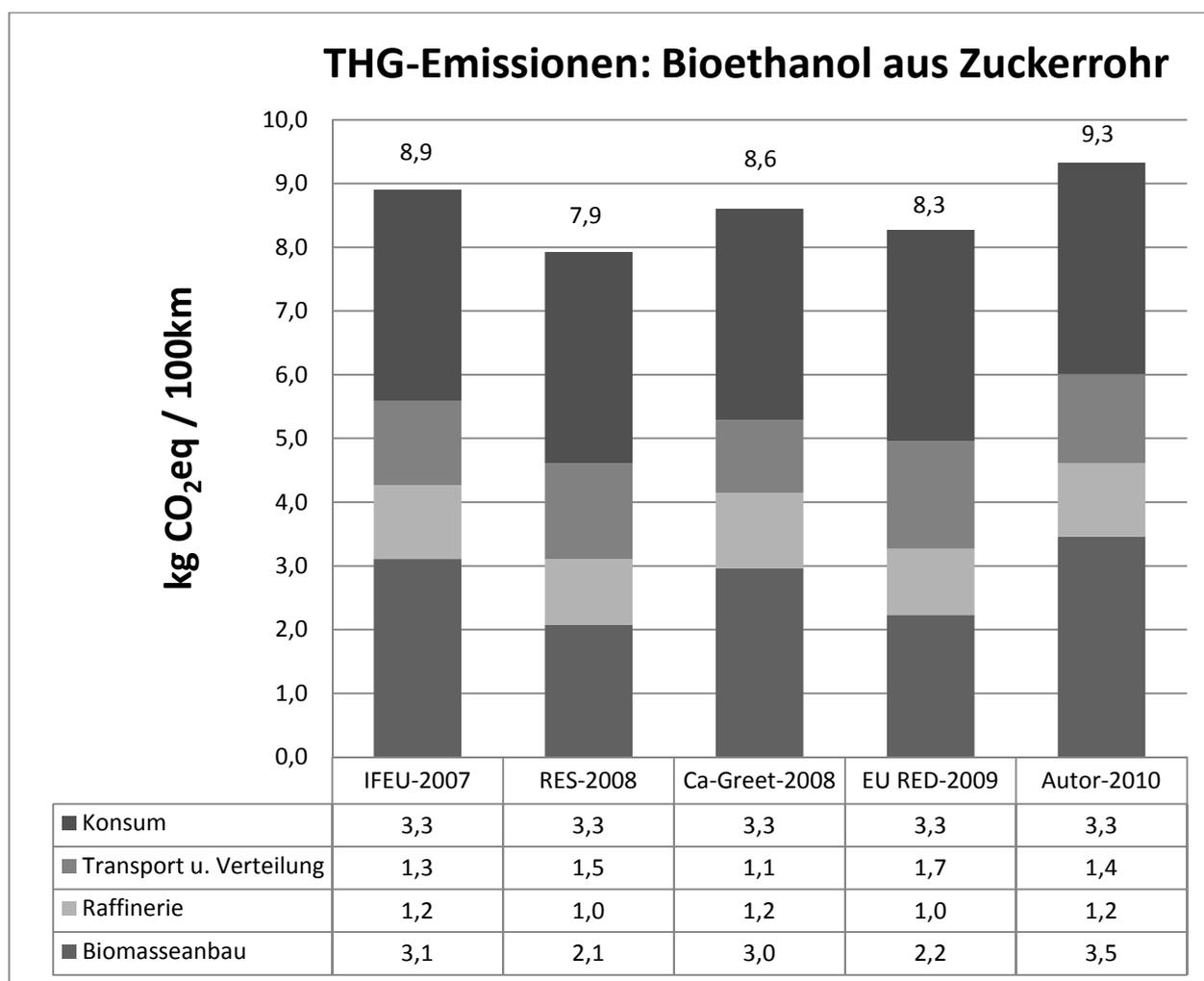


Abbildung B 3-10: THG-Emissionen im Vergleich - Studien über Bioethanol aus Zuckerrohr (Vereinheitlichung Variante 2)

Auch bei diesem zweiten Versuch einer "Vereinheitlichung" der Methoden zeigt sich - bei einem genaueren Blick auf die Studien zu Bioethanol aus Zuckerrohr (wie in Abbildung B 3-10) - dass die größten Unterschiede bei Teilergebnissen der Studien in der Phase des Biomasseanbaus zu finden sind.

Anpassung der anderen Bioethanol-Studien auf E85:

	Einheit	E100			E85		
		Bioethanol	Benzin	E100	Bioethanol	Benzin	E85
Verbrauch	L/100km	9,33	0,00	9,33	7,45	1,31	8,76
Biomasseanbau	kgCO ₂ eq/100km	X1	0,00	X1	X1*Y ¹	[-]	X1*Y ¹
Produktion	kgCO ₂ eq/100km	X2	0,00	X2	X2*Y ¹	0,87 ²	X2*Y ¹ +0,87 ²
Konsum	kgCO ₂ eq/100km	X3	0,00	X3	X3*Y ¹	3,32 ³	X3*Y ¹ +3,32 ³
Transp. u. Vert.	kgCO ₂ eq/100km	X4	0,00	X4	X4*Y ¹	[-]	X4*Y ¹ +T3 ⁴
Σ	kgCO ₂ eq/100km	X1+X2+X3+X4	0,00	X1+X2+X3+X4	(X1+X2+X3+X4)*Y ¹	4,20	(X1+X2+X3+X4)*Y ¹ +4,20+T3 ⁴

1) Y = 7,45/9,33 (Verbrauch Bioethanol bei E85/Verbrauch Bioethanol bei E100)

2) Emissionen für die Produktion von 1,31 Litern Benzin

3) Emissionen für den Konsum von 1,31 Litern Benzin und 7,45 Litern Bioethanol (CH₄ und N₂O)

4) Emissionen aus dem Transportprozess T3.

Transport vom Ort der Mischung (E85) bis zu den Tankstellen: ca. 0,10 kg CO₂ eq / 100 km

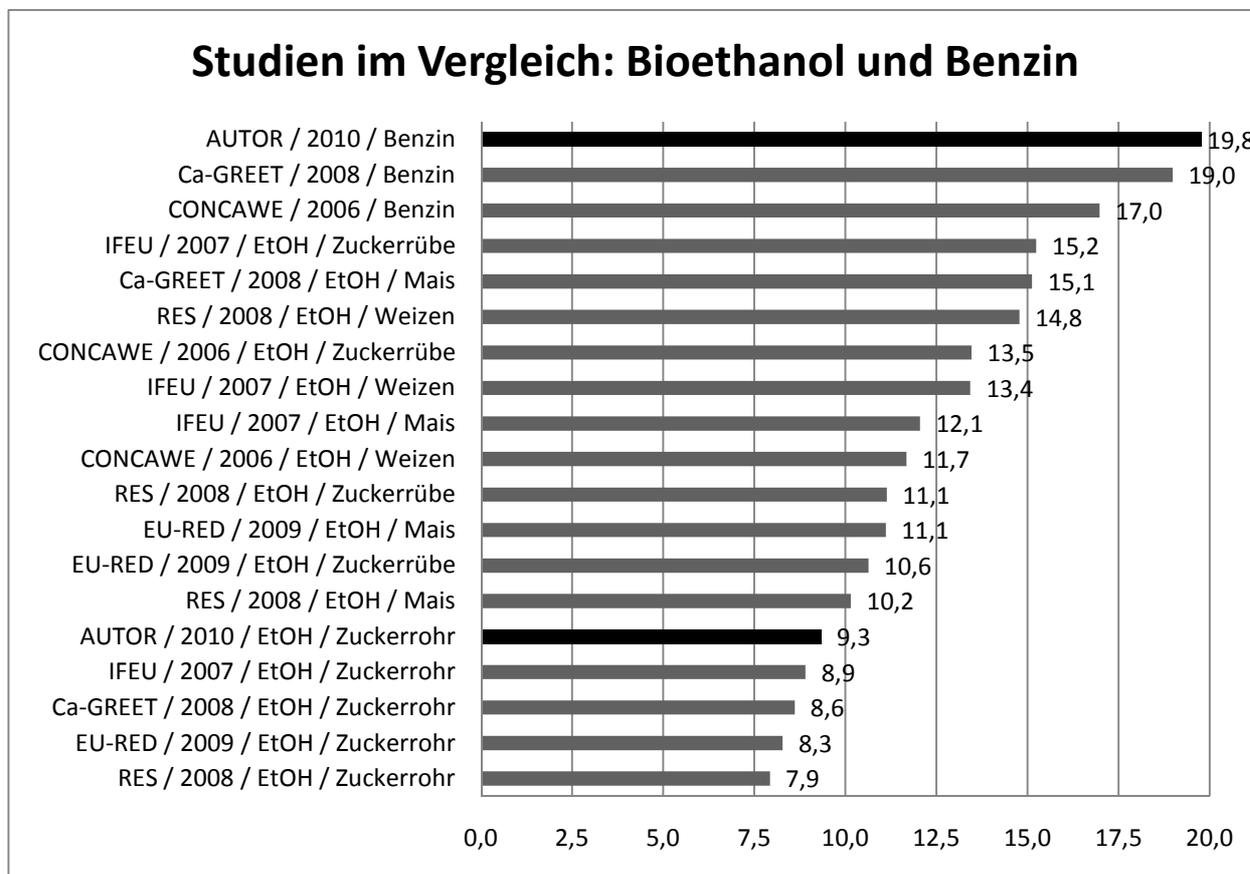


Abbildung B 3-11: Gesamte THG-Emissionen im Vergleich - Studien über Bioethanol und Benzin (Vereinheitlichung Variante 2)

In der Übersicht aller ausgewählten Studien (Abbildung B 3-11) zeigt sich, dass einige Studien zu Bioethanol sich nun (bei dieser 2. Variante der „Vereinheitlichung“ der Bedingungen) in ihren Emissionswerten an die THG-Emissionen von Benzin annähern - aufgrund der Addition des Benzins in den auf diese Weise zu E85 umgerechneten Biokraftstoffen.

**Teil C - Weitere Aspekte in Bezug auf den
Zuckerrohranbau**

Vorbemerkung

Eine Studie über Biokraftstoffe wäre nicht vollständig, wenn nicht auch andere relevante Aspekte in Zusammenhang mit dem Anbau des Rohstoffs analysiert und dargestellt würden. Ziel des Teils C dieser Arbeit ist es daher, diese in einigen Studien über das Thema bestehende Lücke zu füllen - ohne jedoch den Fokus der vorliegenden Untersuchung aus den Augen zu verlieren.

Eine Analyse der Kosten und der Besteuerung für Produktion und Verkauf von Biokraftstoffen ist dabei von äußerster Relevanz, da die Kosten des Endprodukts Bioethanol im Verhältnis zu Benzin auch attraktiv sein müssen, um mit den existierenden fossilen Brennstoffen konkurrieren zu können.

Die Energie-Bilanz eines Biokraftstoffs ist ebenfalls von Bedeutung. Denn was ließe sich über einen Biokraftstoff sagen, der für seine Erzeugung mehr Energie benötigt als das Endprodukt liefern kann?

Die Produktionskosten, die Besteuerungspolitik sowie die Energie-Bilanz gehören u.a. zu den allgemeinen Fragen, die jeden beliebigen Biokraftstoff betreffen.

Dieser Teil der Arbeit ist hingegen einigen spezifischen Fragen gewidmet, die mit dem Zuckerrohranbau und der Bioethanolproduktion in Brasilien in Zusammenhang stehen. Im folgenden werden daher einige (auch delicate) Punkte über die Praxis des Zuckerrohranbaus präsentiert, die mit in Betracht gezogen werden müssen, wenn es um die Frage einer Substitution von Benzin durch Bioethanol in großem Maßstab geht.

1) Prekäre Arbeitsbedingungen in den Zuckerrohranbaugebieten

Es sind nicht wenige Autoren (im Allgemeinen sind diese in irgendeiner Form mit den großen Produktionsunternehmen verbunden), die im wissenschaftlichen Milieu die positiven sozio-ökonomischen Auswirkungen der Praxis des Zuckerrohranbaus hervorheben. Es wird von ca. 1 Million Arbeitsplätzen⁶¹ gesprochen, die in Brasilien direkt an den Sektor geknüpft sind - in den Phasen der Produktion von Säzlingen, des Anbaus, der Bekämpfung von Schädlingen, der Erhaltung der erforderlichen Infrastruktur auf den Ländereien, der Operation von diversen Maschinen und der manuellen Ernte des Zuckerrohrs, welche den größten Anteil (ca. zwei Drittel) der gesamten Arbeitskräfte beschäftigt.

Laschefski und Assis (2006) beschäftigen sich jedoch in einer Studie mit dem Titel "In Richtung einer Nachhaltigkeit der Ethanolproduktion aus Zuckerrohr in Brasilien"⁶² in einem Kapitel auch mit den Arbeitsbedingungen beim Zuckerrohranbau und stellen fest:

„Die Form der Bezahlung, die in dieser Phase [des Biomasseanbaus in der Produktionskette von Bioethanol] verwendet wird, ist die Entlohnung nach der Produktivität des Arbeiters, bei der das fixe Monatseinkommen bei einer größeren erbrachten Leistung im Zuckerrohrschneiden vermehrt wird.

Die durchschnittliche Produktion der Arbeiter in der Region von Ribeirão Preto erreicht heute 12 Tonnen pro Tag, während sie in den 1980er Jahren 6 Tonnen pro Tag betrug. Obwohl die geforderte Produktivität in 20 Jahren verdoppelt wurde, ist der durchschnittliche Lohn der Zuckerrohr-Schneider praktisch auf die Hälfte reduziert worden (ALVES, 2006). Im Vergleich zu damals 2,5 Mindestlöhnen, verdient ein Zuckerrohr-Schneider heute im Schnitt R\$ 620 oder 1,5 Mindestlöhne. Dieser Wert ist zwar nicht unter den niedrigsten für die Lohnarbeiter im ländlichen Gebiet, aber die temporäre Natur der Arbeitsplätze (maximal 8 Monate im Jahr) macht es erforderlich, einen Teil des Monatseinkommens auf die restlichen Monate des Jahres umzuverteilen.“⁶³ (LASCHEFSKI; ASSIS 2006)

Um die anstrengenden, immer höheren Produktionsniveaus der manuellen Ernte zu erreichen, werden in einigen Regionen Brasiliens von den Zuckerrohr-Schneidern die eigenen Kinder beschäftigt und so die „Produktivität“ pro Arbeiter erhöht.

Obwohl diese Praxis in den letzten Jahren aufgrund vermehrter Kontrollen durch die Bundesregierung zurückgegangen ist, beschreibt Araújo (1999) folgende Situation:

⁶¹ UNICA (2006)

⁶² Übersetzung des Autors. Originaltitel: „Em direção à sustentabilidade da produção de etanol de cana de açúcar no Brasil“ - Laschefski; Assis 2006.

⁶³ Übersetzung des Zitats durch den Autor.

“1993 waren 25% der Zuckerrohr-Schneider im Bundesstaat Pernambuco zwischen 7 und 17 Jahre alt. Von ihnen erhielten 42,2% keinen Lohn und 89,7% waren nicht legal gemeldet.”⁶⁴ (ARAÚJO, 1999)

Rodrigues und Ortiz (2006) schreiben weiter über die Arbeitsbedingungen:

“Die Tätigkeit, welche die meisten Personen im Zuckerrohr-Sektor beschäftigt, ist - trotz des Fortschritts der Mechanisierungsprozesse - noch immer das [manuelle] Schneiden des Zuckerrohrs. Dies ist eine eintönige Aktivität, die beschwerlich ist und die Erwartung der Erwerbsfähigkeit um 10 Jahre verkürzt. Ein Zuckerrohr-Schneider macht [pro Tag] im Schnitt 6.000 bis 10.000 Schläge mit dem Messer und geht 4.000 Meter zwischen den Reihen der Zuckerrohrpflanzungen.”

“Im [Zuckerrohr-] Sektor wird noch immer Sklavenarbeit registriert, nicht nur im Nordosten, wo sich die ältesten Zuckerrohrplantagen des Landes befinden, sondern auch in den modernen Produktionsgebieten des Bundesstaats São Paulo. Vor kurzem fand eine Kontrolle des Arbeitsministeriums 430 Zuckerrohr-Arbeiter, die in prekären Bedingungen in der Region von Bauru (São Paulo) arbeiteten. Wenige Tage zuvor hatten die Kontrollbeamten 249 Arbeiter aus Sklaverei ähnlichen Bedingungen in Campos de Julho (Mato Grosso) befreit.”⁶⁵ (RODRIGUES; ORTIZ 2006)

Zur Sklavenarbeit schreibt auch Ansel (2009):

„Verschlimmert wird die Situation durch die prekären Arbeitsbedingungen der Arbeiter. Keine offizielle Arbeitsregistrierung, keine oder schadhafte Schutzausrüstung, schlechte und unzureichende Verpflegung und prekäre, überbezahlte Unterkünfte prägen den Arbeitsalltag der meisten Zuckerrohrschneider.

Häufig entstehen durch den Transport in die Zuckerrohrregionen und Spesen für Unterkunft und Verpflegung so hohe Kosten, dass die ArbeitsmigrantInnen in die Schuldenfalle geraten. Der Weg in moderne Formen der Sklaverei ist von hier aus nicht mehr weit. Sklavenarbeit, in Brasilien seit 1888 offiziell verboten, ist heute noch in vielen Branchen ein Problem. Dies gilt besonders für den Zucker/Ethanolsektor: Von den 6.000 Sklaven, die 2007 in Brasilien befreit wurden, kamen 3.131 (mehr als die Hälfte!) aus den Zuckerrohrplantagen.“ (ANSEL 2009)

⁶⁴ Übersetzung des Zitats durch den Autor.

⁶⁵ Übersetzung des Zitats durch den Autor.

2) Konzentration des Grundbesitzes

Die Notwendigkeit großer Ländereien für den Anbau von Zuckerrohr ist eine der grundlegenden Charakteristiken des Sektors. Rodrigues und Ortiz (2006) dazu:

“Der Grundstücksmarkt repräsentiert eine wesentliche Komponente bei der Expansion von Monokulturen und übt auf kleinen und mittleren Landbesitz Druck aus. Seine Dynamik und Flexibilität, angezeigt durch den jährlichen Transaktionsindex [in Bezug auf Kauf bzw. Verkauf] von Ländereien, erreicht in Brasilien bis zu 5%, [ist also] einer der höchsten der Welt und ist durch eine hohe Konzentration des Grundbesitzes⁶⁶ gekennzeichnet. Für Guedes et al. (2006), ist die Dynamik dieses Marktes ein Indikator für den Nachdruck der land- und viehwirtschaftlichen Aktivitäten und der Veränderungen in den produktiven Strukturen und hilft im Verständnis des Verhältnisses Veränderung/Fortbestand der Produktionsweisen von verschiedenen sozialen Gruppen. So wird die Expansion der Zuckerrohr-Monokultur durch einen juristisch und sozial wenig reglementierten Grundstücksmarkt erleichtert, was positive Rückwirkungen auf die Produktionskosten des Sektors mit sich bringt, aber gleichzeitig Besitzverhältnisse konzentriert und die Verwendung für familiäre Subsistenzlandwirtschaft verhindert.

Laut Rede Social und CPT (2006), gab es in der letzten Zeit eine wachsende Beteiligung ausländischer Unternehmen⁶⁷ am Landbesitz sowie einen Anstieg der Landkonzentration und der wirtschaftlichen Macht einiger Gruppen. Der Rhythmus an Fusionen und Übernahmen beschleunigte sich zwischen 2000 und 2004, als über 20 Fabriken, der Großteil im Bundesstaat São Paulo, verhandelt wurde. Diese Tatsache wurde von einer Tendenz der Schließung kleiner Fabriken begleitet. Im Nordosten zeigt sich diese Tendenz [bereits] seit längerer Zeit: in den letzten 20 Jahren sank die Anzahl der Fabriken von 43 auf 22, ohne jedoch die Fläche der Anbaugelände zu verändern, [also] mit einer höheren Konzentration des Landbesitzes.“⁶⁸ (RODRIGUES; ORTIZ 2006)

Darüber hinaus sind es nur wenige unter den 60.000 kleinen Besitzern (unabhängige Lieferanten mit Plantagen von bis zu 150 ha), die zum Ernteertrag von 2005/2006 mit 27% der gesamten Zuckerrohrproduktion beitrugen (Rodrigues; Ortiz 2006), die tatsächlich selbst auf ihren Ländereien arbeiten. In den meisten Fällen verpachten sie ihren Grundbesitz an große Produzenten und geben dadurch die steuerlichen Vorteile, die kleinen Produzenten gesetzlich zuerkannt werden, an diese weiter.

⁶⁶ Brasilien weist eine der höchsten Konzentrationen von Grundbesitz auf, wo nur 1,7% der Immobilien 43,8% der gesamten durch das Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) kadastrierten Fläche einnehmen.

⁶⁷ In der Region Zentral-Süden sind z.B. die französischen Unternehmen *Louis Dreyfus* e *Béghin-Say* tätig.

⁶⁸ Übersetzung des Zitats durch den Autor.

3) Flächenkonkurrenz des Zuckerrohranbaus zur Nahrungsmittelproduktion und Bedrohung des Amazonischen Regenwalds

Ein anderer viel diskutierter Aspekt im Zusammenhang mit dem Zuckerrohranbau betrifft eine mögliche Konkurrenz dieser Kultur mit dem Anbau von Getreide und diversen anderen Nahrungsmitteln. Auch die Bedrohung der Wälder, im Speziellen des Amazonischen Regenwalds, in Folge der Expansion der Zuckerrohranbaugebiete stellt darüber hinaus ein sensibles Thema dar.

Beide Problematiken sind hier zusammengefasst, da sie - in ihrer Essenz - auf die Ausbreitung der Anbaugebiete des Zuckerrohrs zurückzuführen sind.

Die Argumentation der großen Produzenten zur Rechtfertigung des Zuckerrohranbaus ist im Grunde stets die gleiche: Die Expansion der Zuckerrohrpflanzungen passiere vorwiegend auf ehemaligen Weideländern, wo die Viehwirtschaft, die in den letzten Jahren immer intensiver wurde, für ihre Aktivitäten immer weniger Platz benötigt.

“Der Zuckerrohranbau geht nicht in neue Gebiete. Die Logistik selbst erlaubt nicht, dass die Gebiete expandieren. Was passiert ist nur die nicht sehr signifikante Umwandlung von Weideländern in Zuckerrohrplantagen, da ja die Viehhaltung intensiver geworden ist.”⁶⁹

Laura Tetti, Beraterin der UNICA, in einem Interview in São Paulo am 25.07.2006.

“Wir haben die Expansion des Zuckerrohranbaus überwacht und gesehen, welche Aktivitäten [durch diesen] ersetzt wurden. Im Wesentlichen handelt es sich um Gebiete der Viehhaltung.

Und wohin geht das Vieh? Wir haben gesehen, dass die Fläche für die Viehhaltung geringer geworden ist, während die Anzahl der Köpfe pro Hektar zugenommen hat - was bedeutet, dass die Viehwirtschaft intensiver geworden ist und sich von 1,1-1,2 auf 1,9 Köpfe pro Hektar [an Flächenbedarf] verändert hat. Das heißt, dass kein Druck auf die Nahrungsmittelproduktion besteht und auch keine Migrationen von wirtschaftlichen Aktivitäten in andere Gebiete.”⁷⁰

Suani Teixeira, Vize-Sekretärin des Sekretariats für Umwelt des Bundesstaats São Paulo, in einem Interview am 26.07.2006.

⁶⁹ Übersetzung des Zitats durch den Autor.

⁷⁰ Übersetzung des Zitats durch den Autor.

Nach Laschefski (2006) kann jedoch konstatiert werden, dass in einem Zeitraum von 5 Jahren, zwischen 2000 und 2005, die Zuckerrohranbau- und -erntegebiete von 15,23% auf 18,37% ein entsprechendes Wachstum verzeichneten.

Da sich das Wachstum auf die Region "Zentral-Süden" des Landes konzentriert, ist es auch möglich eine Reduzierung anderer Kulturen sowie eine Umgestaltung und Umstrukturierung des ländlichen Raums festzustellen. Die Schätzungen der landwirtschaftlichen Produktion für den Bundesstaat São Paulo bei der Ernte im Jahr 2005/2006 weisen auf eine Reduzierung des Anbaus von Tomaten, Erdnüssen und Orangen hin, die durch Zuckerrohr ersetzt werden (IEA/SP, 2006). Auch Erhebungen für die Kaffee-Ernte zeigen die Perspektive einer Reduzierung der bebauten Fläche um 2,63% in Minas Gerais, 4,15% in Espírito Santo und 7,66% in São Paulo, alle in Folge des signifikativen Wachstums der Zuckerrohrproduktion in der Region „Südosten“ (CONAB, 2006). Auf Grundlage dieser Daten wird erkennbar, dass - im Gegensatz zu den Aussagen der Zuckerrohr-Industrie - eine größere Verbreitung des Zuckerrohranbaus direkt auf die Produktion von Grundnahrungsmitteln Einfluss nimmt und dieser Restriktionen auferlegt.

Ausgehend von aktuellen Daten, schreibt Ansel (2009):

„Während die Flächen für den Anbau von Zuckerrohr und Soja in Brasilien seit 1990 kontinuierlich gewachsen sind, sind die Flächen für wichtige Grundnahrungsmittel deutlich kleiner geworden. Die Zuckerrohrfläche wuchs von ca. 4,2 Mio ha auf heute 6,9 Mio ha, die Sojaflächen von 9,7 Mio ha auf 21,1 Mio ha (Wachstumsraten + 64% bzw. + 122%). Die Flächen für Bohnen und Reis sind im gleichen Zeitraum um 28% bzw. 32% geschrumpft. Daten des nationalen Statistikinstituts IBGE belegen, dass die Verdrängung von Reis und Bohnen seit 1990 besonders in den Landkreisen stattgefunden hat, in denen die Expansion von Zuckerrohr am stärksten ausgeprägt war.

In jüngster Zeit kam es in Brasilien zu teils drastischen Preissteigerungen: Innerhalb eines Jahres (April 2007-April 2008) stiegen die Preise für die Grundnahrungsmittel Bohnen um 160%, Mais um 37% und Reis um 23%. Dies lässt sich teils durch globale Entwicklungen erklären, aber auch die jüngst beschleunigten Flächenumnutzungen haben dazu beigetragen. (...) 72,6 Mio BrasilianerInnen leben in Ernährungsunsicherheit - d.h. sie wissen nicht, ob ihre finanziellen Mittel bis zum Monatsende ausreichen, um ihnen eine ausreichende Ernährung zu gewährleisten. Für arme Familien, die bis zu 70% ihres Einkommens für Nahrungsmittel ausgeben müssen, bedeutet jede Preiserhöhung bei Grundnahrungsmitteln mehr Hunger.“ (ANSEL 2009)

In Bezug auf das Amazonas-Gebiet gibt es unter Forschern und Produzenten einen Konsens, dass die Region keine idealen Bedingungen für den Zuckerrohranbau bieten würde.

Dennoch induziert die Preissteigerung einiger Nahrungsmittel, die früher auf Flächen produziert wurden, welche nun Zuckerrohr für den Markt liefern, die Suche nach neuen Produktionsgebieten für die durch den Zuckerrohranbau verdrängten Kulturen. Selbst wenn sich der Zuckerrohranbau nicht direkt bis zum Amazonischen Regenwald ausbreitet (vgl. Abbildung C 3-1) werden die land- und viehwirtschaftlichen Aktivitäten, die aus den heutigen Zuckerrohrgebieten verdrängt wurden, früher oder später in andere Gebiete wandern und bedrohen so nicht nur das Amazonas-Gebiet sondern auch andere Bioformationen in Brasilien.

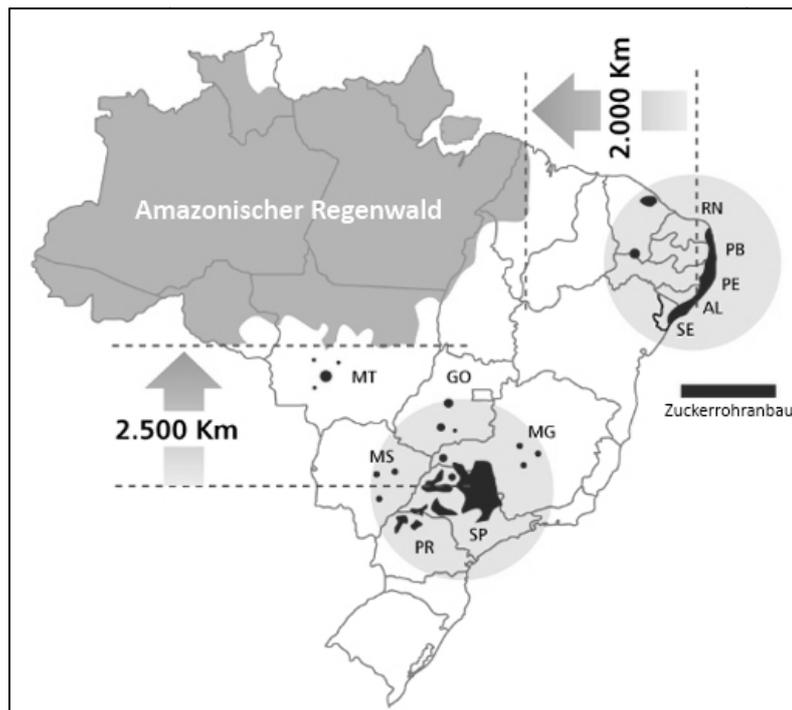


Abbildung C 3-1: Zuckerrohranbauggebiete und Amazonischer Regenwald - Quelle: UNICA 2010

Schlussbetrachtungen

Bioethanol und das Kyoto-Protokoll

Die Substitution von Benzin durch Bioethanol als Kraftstoff für den Verkehrssektor ist für jedes Land ein wichtiger Schritt bei der Erfüllung des Ziels der Reduktion von Emissionen, die zur globalen Erwärmung beitragen. Speziell in Österreich wird der Verkehrssektor als einer der problematischsten Sektoren angesehen, was die Erfüllung der Ziele des Kyoto-Protokolls⁷¹ betrifft. In diesem Sektor befindet sich die größte Abweichung zum sektoralen Ziel der Klimastrategie (rund 3,7 Mio. Tonnen CO₂ - Äquivalente). Mit einer Strategie der (zumindest teilweisen) Substitution von fossilen Kraftstoffen durch Biokraftstoffe wäre dieses Ziel hingegen eher zu erreichen.

Durch die Beimischung von Bioethanol zum Benzin, konnte - laut Klimaschutzbericht⁷² - bereits ein signifikanter Unterschied in den Treibhausgas-Emissionen des Verkehrssektors im Vergleichszeitraum 2007 bis 2008 registriert werden. Diese Studie zeigt, dass die Verwendung von aus Zuckerrohr hergestelltem Bioethanol weniger als die Hälfte (47%) der THG-Emissionen als Benzin verursacht. In einem Szenario⁷³, bei dem ca. 30% des gesamten Benzins durch die Verwendung von Bioethanol (konsumiert durch FFV-Autos) ersetzt würde, könnten die Reduktionsziele für den Sektor⁷⁴ erreicht werden.

Bewertung der Ergebnisse

Das in dieser Studie erhaltene Ergebnis der THG-Emissionen in Bezug auf Benzin weist keine großen Abweichungen oder Verzerrungen im Vergleich mit anderen ähnlichen Studien auf, wie sie im Kapitel 3 des Teils B präsentiert werden. Der Prozess, der den größten Unterschied zu den übrigen Studien zeigt, ist der Transport und die Verteilung. Bei diesem Prozess ist der Wert dieser Studie („Autor 2010“) beinahe 5 Mal höher als der Mittelwert zwischen „CONCAWE-2006“ und „Ca-GREET-2008“. Abgesehen von den Besonderheiten des österreichischen Szenarios, liegt ein anderer wesentlicher Faktor, auf den dieser Unterschied zurückzuführen sein kann, in der Annahme einer innerhalb der Export-Länder durchlaufenen Entfernung, durch welche der Transportprozess T1 erheblich größer wird⁷⁵, sowie im Faktor „Hin- und Rückweg“, der die Emissionen in einigen Abschnitten um bis zu 50% erhöht.

⁷¹ Kyoto-Protokoll: internationales Abkommen mit strengeren Auflagen für die Reduktion von Treibhausgas-Emissionen.

⁷² vgl. Klimaschutzbericht 2010

⁷³ Bei diesem Szenario würden 31% aller Fahrtstrecken, die heute mit Benzin gemacht werden, mit aus Zuckerrohr erzeugtem Bioethanol gefahren. Daten: Emission PKW-Benzin (2008) 5.258.000 t CO₂ eq und eine zu erreichende Reduktion von 16,4% (Klimaschutzbericht 2010); Emissionsfaktoren: Benzin 19,8 kg CO₂ eq /100 km und Bioethanol 9,3 kg CO₂ eq / 100 km (laut den Ergebnissen der durchgeführten Studie).

⁷⁴ Unter Berücksichtigung, dass alle Emissionen des Straßenverkehrs um 16,4% reduziert werden müssen, würde die Reduktion des dem PKW-Benzin entsprechenden Anteils mit dem geschilderten Szenario (einer Substitution von ca. 30% des Benzins durch Bioethanol) erreicht.

⁷⁵ Für „Ca-GREET-2008“ beginnt der Transport des Rohöls z.B. mit dem Schiff, d.h. der interne Transport davor wird nicht berücksichtigt. Bei „Autor-2010“ stellt der interne Transport hingegen 53% der Gesamtemissionen der Transportprozesse (T1+T2) dar.

In Bezug auf Bioethanol besteht die Schlüsselfrage beim Vergleich der Ergebnisse dieser Studie mit anderen Studien darin, ob die Emissionen des Benzin-Anteils, welcher im Bioethanol enthalten ist, im Endergebnis berücksichtigt wurden oder nicht. Wenn die Werte wie in ihren Original-Studien dargestellt werden⁷⁶, sind die Unterschiede zwischen den Gesamtsummen der Emissionen - nach einer entsprechenden erforderlichen Umwandlung in die funktionelle Einheit - offensichtlich. Wenn aber der methodische Unterschied beseitigt wird, indem entweder der Benzin bei der Summe der Emissionen in der vorliegenden Studie entfernt wird oder dieses Kriterium (der aus dem Benzin-Anteil der Mischung entstehenden Emissionen) bei den anderen Studien hinzugefügt wird, besitzen die verglichenen Ergebnisse eine größere Ähnlichkeit untereinander.

Eine andere interessante Frage in Hinblick auf die Ergebnisse befindet sich im Vergleich der Studien des Lebenszyklus von Bioethanol, das aus anderen Rohstoffen als aus Zuckerrohr hergestellt wird. Bei der Festlegung einheitlicher Kriterien in Bezug auf die Emissionen des Benzin-Anteils in der Mischung E85⁷⁷, zeigt sich für den Gesamtemissionen-Vergleich der Endergebnisse von Bioethanol aus verschiedenen Rohstoffen, dass einige Ergebnisse sich an die Emissionswerte des reinen Benzins annähern! Die Substitution des Benzins durch Bioethanol erweist sich in diesen Fällen daher als nicht so vorteilhaft wie die FürsprecherInnen dieser Biokraftstoffe sich zu zeigen bemühen.

Empfehlungen

Abschließend folgen einige Empfehlungen für den nachhaltigen Anbau von Zuckerrohr, die Produktion von Bioethanol und die Verwendung von Bioethanol als Kraftstoff in Österreich:

Maßnahmen für die sozio-ökonomische Nachhaltigkeit:

- Kleine Produzenten fördern - sei es durch technische oder durch steuerliche Unterstützungen. Es existieren Studien⁷⁸ die zeigen, dass die Herstellung von Ethanol in Mikrodestillieren (d.h. in kleiner Produktion) möglich ist - vorausgesetzt, dass sich die Landwirte in Kooperativen organisieren. Diese Maßnahme könnte die Konzentrationstendenz des Zuckerrohranbaus und ihre sozialen Konsequenzen abschwächen.
- Es werden in Brasilien noch immer jedes Jahr Fälle von Sklavenarbeit im Zuckerrohrsektor aufgedeckt. Darüber hinaus werden Sicherheitsnormen zur Vorbeugung von Unfällen der Arbeiter in vielen Fällen missachtet, vor allem bei der Ernte des Zuckerrohrs. Die Einführung eines internationalen Zertifikats, seitens der EU, welches die Erfüllung des Arbeitsrechts und die Beachtung des Umweltschutzes (z.B. Maximalindex für Emissionen) im produzierenden Land überwacht und ausweist, könnte die Produzenten zu einer selbständigen Einhaltung dieser Erfordernisse anregen. Der Import von Bioethanol sollte dann ausschließlich von Produzenten erfolgen, die dieses Zertifikat besitzen.

⁷⁶ Siehe Abbildung B 3-5.

⁷⁷ Siehe Kapitel 3.5 des Teils B.

⁷⁸ Melo 2006

Maßnahmen für die Reduzierung der Emissionen während des Lebenszyklus von Bioethanol:

- Ein Ende der Feldverbrennungen vor der Ernte. Diese Praxis trägt nicht nur negativ zur Gesamtbilanz der THG-Emissionen bei, sondern ruft auch verschiedene gesundheitliche Probleme bei den für die Ernte verantwortlichen Arbeitern und der Bevölkerung im Umfeld der Zuckerrohrplantagen hervor.
- Derzeit wird eine große Menge der landwirtschaftlichen Abfälle unter freiem Himmel auf dem Feld verbrannt. Eine Wiederverwendung dieser Abfälle für die Energieerzeugung könnte die Menge an vermiedenen Emissionen steigern und daher den gesamten Wert der Treibhausgas-Emissionen im Lebenszyklus von Bioethanol reduzieren.
- Verwendung von Stromgeneratoren mit einer besseren Ausnutzung der thermischen Energie⁷⁹. Nach Macedo 2008, könnte die Menge des in den Bioraffinerien erzeugten Stroms verzehnfacht werden - unter Anwendung neuer Generatoren und bei Wiederverwendung der oben beschriebenen Abfälle.
- Verwendung von Biokraftstoffen während der gesamten Produktionskette von Bioethanol. Die in der Landwirtschaft eingesetzten Maschinen und Fahrzeuge könnten beispielsweise durch solche ersetzt werden, die mit Biodiesel und Bioethanol angetrieben werden, und somit Diesel und Benzin substituieren.
- Einen Ersatz für den Benzin-Anteil zur Mischung mit Ethanol bei der Zusammenstellung des Endprodukts finden oder das Ethanol selbst in der Form modifizieren, dass der Zusatz nicht mehr erforderlich ist.

Allgemeine Empfehlungen:

- Die endgültige Bewertung der Umweltbelastung eines Biokraftstoffs kann nicht ohne eine entsprechende Analyse anderer Emissionen, die nicht mit dem Treibhausgas-Effekt in Verbindung stehen, erfolgen. Die Ergebnisse von Studien wie dieser müssen daher mit Studien über die Energie-Bilanz, die Kohlenstoff-Bilanz und die Kohlenmonoxid-Emissionen, Schwermetalle, Staub, etc. kombiniert werden.
- Vergrößerung des Angebots an FFV-Autos auf dem Markt und steuerliche Anreize für ihren Vertrieb.
- Vergrößerung der Anzahl an Tankstellen mit Bioethanol. Aufgrund des höheren Verbrauchs und der daraus folgenden geringeren Autonomie der mit Ethanol angetriebenen Fahrzeuge, müssen diese öfters getankt werden. Das Fehlen eines dichten Netzes an Tankstellen ist für den Konsum von Bioethanol nicht förderlich.

⁷⁹ Mit Hochdruck von 9,0 MPa, anstelle der üblicherweise verwendeten 2,2 MPa.

ANHANG

A) Der Treibhauseffekt

Auszug aus dem Artikel:

Antworten auf Leserzuschriften. Stefan Rahmstorf - Potsdam Institute for Climate Impact Research
In Website: http://www.pik-potsdam.de/~stefan/leser_antworten.html

(...)

„Wie funktioniert eigentlich der Treibhauseffekt?“

Die Temperatur der Erde ist Ergebnis eines Strahlungsgleichgewichts: einerseits kommt kurzwellige Sonnenstrahlung bei uns an, andererseits strahlt die Erde langwellige Infrarotstrahlung ab. Jeder Körper gibt Strahlung ab - je wärmer er ist, desto mehr (Stefan-Boltzmann-Gesetz). Die Erde erreicht dabei gerade die Temperatur, bei der ankommende und abgegebene Strahlung sich ausgleichen.

Setzt man die ankommende Sonnenstrahlung (abzüglich des reflektierten Anteils von 30%) in die Stefan-Boltzmann-Gleichung ein, so ergibt sich für die Erde bei einer Temperatur von -18°C ein Strahlungsgleichgewicht. Die Oberflächentemperatur der Erde ist aber im Mittel $+15^{\circ}\text{C}$. Woher diese Diskrepanz?

Der Unterschied von 33 Grad wird vom natürlichen Treibhauseffekt verursacht - liegt also daran, daß die Erde von einer Atmosphäre umgeben ist, die für Infrarotstrahlung nicht gut durchlässig ist. Vorallem Wasserdampf und CO_2 -Moleküle absorbieren einen Teil der von der Erde abgegebenen Strahlung, und strahlen dann selber die Energie wieder in alle Richtungen ab. Ein Teil der Strahlungsenergie kommt damit wieder auf die Erde zurück. Die Strahlungstemperatur von -18°C wird deshalb nicht an der Erdoberfläche gemessen, sondern diese ins All abgehende Strahlung wird höher oben in der Atmosphäre abgegeben. Dort oben in der Atmosphäre ist es ja tatsächlich so kalt.

An der Erdoberfläche gilt eine etwas andere Energiebilanz - zur Sonnenstrahlung kommt der Anteil der langwelligen Strahlung noch dazu, der von den Molekülen weiter oben teilweise auch nach unten gestrahlt wird. Daher kommt unten mehr Strahlung an, und zum Ausgleich muß die Oberfläche mehr Energie abgeben, also wärmer sein ($+15^{\circ}\text{C}$), um auch dort unten wieder ein Gleichgewicht zu erreichen. Ein Teil dieser Wärme wird von der Oberfläche auch durch atmosphärische Konvektion nach oben abgeleitet. Ohne diesen natürlichen Treibhauseffekt wäre die Erde lebensfeindlich und völlig vereist.

Manche „Skeptiker“ behaupten, der Treibhauseffekt könne gar nicht funktionieren, da (nach dem 2. Hauptsatz der Thermodynamik) keine Strahlungsenergie von kälteren Körpern (der Atmosphäre) zu wärmeren Körpern (der Oberfläche) übertragen werden könne. Doch der 2. Hauptsatz ist durch den Treibhauseffekt natürlich nicht verletzt, da bei dem Strahlungsaustausch in beide Richtungen netto die Energie von warm nach kalt fließt.

Was hat der Mensch mit dem Treibhauseffekt zu tun? Der Mensch hat durch die Anreicherung der Atmosphäre mit Spurengasen (vorallem CO_2) den an sich lebenswichtigen Treibhauseffekt um ca. 2% (bezogen auf die Strahlungswirkung in W/m^2) verstärkt - man spricht hier vom „anthropogenen“ Treibhauseffekt, der nun zum natürlichen Treibhauseffekt hinzukommt. Diese Störung der Strahlungsbilanz muß zu einer Erwärmung der Erdoberfläche führen, wie sie ja auch tatsächlich beobachtet wird.

Abbildung der Energiebilanz:

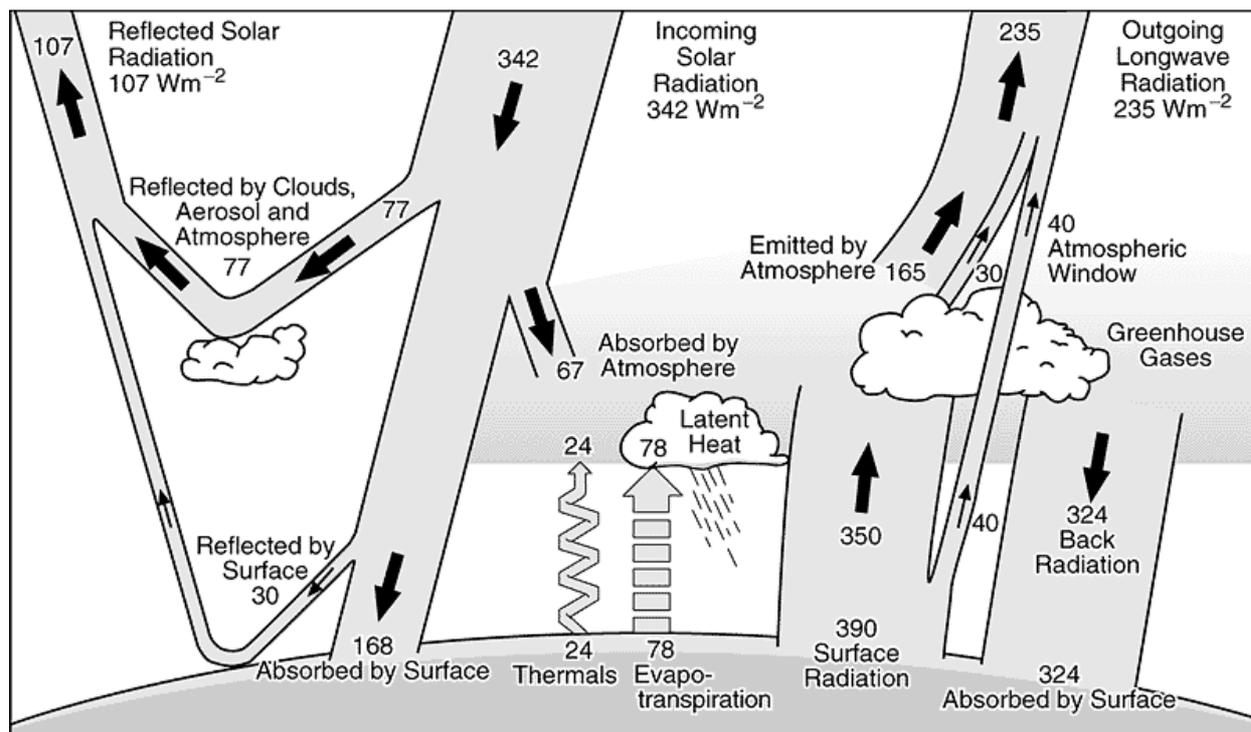


Figure: The Earth's annual and global mean energy balance. Of the incoming solar radiation, 49% (168 Wm^{-2}) is absorbed by the surface. That heat is returned to the atmosphere as sensible heat, as evapotranspiration (latent heat) and as thermal infrared radiation. Most of this radiation is absorbed by the atmosphere, which in turn emits radiation both up and down. The radiation lost to space comes from cloud tops and atmospheric regions much colder than the surface. This causes a greenhouse effect. Source: Kiehl and Trenberth, 1997: Earth's Annual Global Mean Energy Budget, Bull. Am. Met. Soc. 78, 197-208.

Abbildung X A-1: Abbildung der Energiebilanz

B) Lebenszyklus-Analyse (Life Cycle Assessment)

Auszug aus dem Artikel:

A review of assessments conducted on bio-ethanol as a transportation fuel from a net energy, greenhouse gas, and environmental life cycle perspective. Harro von Blottnitz, Mary Ann Curran

In: Journal of Cleaner Production 15 (2007) S. 607-619

(...)

Life cycle assessment

Life cycle assessment (LCA) is a tool for the systematic evaluation of the environmental aspects of a product or service system through all stages of its life cycle. It provides a holistic, i.e. cradle-to-grave, approach to evaluate environmental performance by considering the potential impacts from all stages of manufacture, product use (including maintenance and recycling), and end-of-life management. LCA provides an adequate instrument for environmental decision support. Life cycle assessment has proven to be a valuable tool to document the environmental considerations that need to be part of decisionmaking towards sustainability. A reliable LCA performance is crucial to achieve a life cycle economy. The International Organization for Standardization (ISO), a worldwide federation of national standards bodies, has standardised this framework within the ISO 14040 series on LCA [26]. There are four basic elements involved in conducting an LCA:

- 1) definition of the goal and scope of the study;
- 2) identification and quantification of environmental loads involved; e.g., the energy and raw materials consumed, the air emissions, water effluents, and wastes generated (inventory);
- 3) evaluation of the potential environmental impacts of these loads (impact assessment);
- 4) assessment of available options for reducing these environmental impacts (interpretation).

Whilst LCA is not a single uniform approach at this time, life cycle impact assessment (LCIA) methodology seems to be converging on similar categories [27]. The 10 most common are listed below with brief descriptions. In addition, odour, noise and radiation effects are sometimes included, but their occurrence is not as frequent. Typical LCIA practice employs midpoint modelling. Midpoint refers to the placement along the stressor-impact (cause-effect) chain where the impacts are modelled. For example, the inventory output data for different greenhouse gases is modelled to indicate potential global warming (expressed in CO₂ equivalents, then added up), not the damage caused by climate change. In general this definition works, but it is not applicable to all impact categories. Especially, the categories of human health and ecological health are not considered to have a common midpoint in the cause-effect chain. This has led to the application of various modelling approaches to these categories. Although modelling to the endpoint results in a more environmentally relevant and meaningful result, this level of detail would require impossibly large amounts of time, data, resources and knowledge of how to interpret the results. Analysis at a midpoint is an effective approach to LCIA in that it reduces the complexity of modelling by minimizing the amount of forecasting and effect modelling. It also results in simplifying communication of the results with fewer categories to report.

Acidification potential: Acidification results when sulphur dioxide and nitrogen oxides reach the atmosphere and react with water vapour to form acids. These acids fall to earth and can damage plants, animals, and structures. Acid deposition can occur through wet (e.g., rain, snow, and sleet), dry, or cloud water deposition (e.g., fog). Acidification compares the capacity of substances to release hydrogen and is expressed in SO₂ equivalents.

Ecological toxicity potential: Ecotoxicity characterization provides a relative prediction of the potential of chemicals to cause harm to plant and animal life. Whilst determining an ecotoxicity potential for a single chemical in a known environment is a difficult task, expanding the list of chemicals and environments to which the modelling is applicable makes this task even more difficult, especially since impacts of the stressors on plant and animal species can have multiple components. A reference chemical is often selected for the comparison, e.g., 2,4-Dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D), and thus the units of the ecotoxicity potentials are expressed in kg 2,4-D equivalents/kg emissions.

Eutrophication potential: Eutrophication occurs when fertilisers move from land to surface waters and cause an increase in the aquatic plant growth. This is followed by a chain of other events including fish death, decreased biodiversity, and foul odour and taste. The limiting nutrient is often phosphorus for freshwater systems and nitrogen for estuaries and coastal waters, and thus the location of the release often makes a significant impact on the relative potential for damage.

Global warming potential: Global warming refers to the potential change in climate that may occur with increasing concentrations of “greenhouse gases” which trap heat that would have otherwise passed out of the earth’s atmosphere. Resultant effects may include increased droughts, floods, loss of polar ice caps, sea-level rise, soil moisture loss, forest loss, change in wind and ocean patterns, and changes in agricultural production. Greenhouse gases include carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄), and nitrous oxide (N_xO), as well as some compounds that are not naturally occurring (hydrofluorocarbons (HFCs), perfluorocarbons (PFCs), sulphur hexafluoride (SF₆), etc.). The impact of a greenhouse gas is compared to the warming potential of carbon dioxide, so global warming potential is expressed in units of CO₂ equivalents.

Human toxicity potential: Human toxicity characterization provides relative comparisons of a large number of chemicals which may have the potential to contribute to cancer or other negative human health effects. The focus of this category is not on the localised use of chemicals within a work environment (e.g., industrial hygiene), but the long-term exposures to chemicals in the regional and global environment.

Ozone depletion potential: Ozone depletion is the reduction of the protective ozone layer within the stratosphere caused by the emissions of ozone-depleting substances (such as freon, chlorofluorocarbons, carbon tetrachloride, methyl chloroform, etc.). Models often adopt the ozone depletion potentials published in the Handbook for the International Treaties for the Protection of the Ozone Layer where chemical scores are based on CFC-11 as the reference compound.

Photochemical ozone creation potential: Also known as ground-level smog, ozone is formed within the troposphere from a variety of chemicals including nitrogen oxides, carbon monoxide, methane, and other volatile organic compounds in the presence of high temperatures and sunlight. High concentrations of ozone lead to negative impacts on human health and the environment. POCP is often measured relative to ethylene and is expressed as C₂H₄ equivalents.

Natural resource depletion: There are several ways currently being used to analyse resource use, but no method is currently recognised as the standard methodology. Resources are any naturally occurring material, such as ores and fossil energy sources. This category may also include land use and water use.

Literaturverzeichnis zu diesem Artikel:

[26] ISO. Environmental management Life cycle assessment principles and framework 14040. Geneva: International Standards Organization; 1997.

[27] Curran MA. Status of LCA as an environmental management tool. Environmental Progress 2004;23(4):277-83.

C) Indirect land use change (iLUC) and direct land use change (dLUC)

Auszug aus dem Artikel:

Energy- and greenhouse gas-based LCA of biofuel and bioenergy systems: Key issues, ranges and recommendations. Francesco Cherubinia, Neil D. Birda, Annette Cowieb, Gerfried Jungmeiera, Bernhard Schlamadingerc, Susanne Woess-Gallascha

In: Resources, Conservation and Recycling 53 (2009) S. 434-447

(...)

5. Methodological concerns of bioenergy LCA

5.1. Land use change in bioenergy systems

The production of feedstock for bioenergy requires land that was previously used, and would otherwise be used, for a different purpose. This means that, besides a direct land use change which can have an influence on the GHG balance, there may also be further impact on GHG balance if the displacement of the previous land use leads to land use change elsewhere (Hamelinck et al., 2008). Therefore, both direct and indirect land use change must be considered. In the following paragraphs, these two effects are depicted and some technical indications for estimating the direct and indirect effect are provided with the help of recent scientific references.

5.1.1. Direct land use change

Direct land use change occurs when new agricultural land is taken into production and feedstock for biofuel purposes displaces a prior land use (e.g. conversion of forest land to sugarcane plantations), thereby generating possible changes to the carbon stock of that land. Depending on the previous use of the land and the crop to be established, this can be a benefit or a disadvantage: when a forest is converted to agricultural land for biofuel production there would be a loss of carbon stocks; on the other hand, when set-aside land is taken into production the carbon stock may increase. A study conducted on agricultural land converted from annual row crops to perennial grasses demonstrated an increase in carbon sequestration: up to 1.1 t C/ha were sequestered during the five years of monitoring (Gebhart et al., 1994). Other studies have also shown that switchgrass grown for biomass feedstock production has the potential to substantially increase soil C levels (Lal et al., 1998; Garten and Wullschlegel, 2000; Conant et al., 2001; Zan et al., 2001; Franck et al., 2004). It can be summarized that converting cropland to grassland typically increases soil C at rates of 0.2–1.0 t C/ha per year for several decades. Therefore, beyond GHG emission savings coming from fossil fuel replacement, carbon sequestration strategies related to land use change might broaden the GHG mitigation benefits of bioenergy.

Although GHG emissions from direct land use change have been included in LCA studies of biofuels only recently, some default values already exist. IPCC provides default values by which it is possible to estimate the annual effect of direct land use change (IPCC, 2006); an example of total soil carbon stock changes are reported in Table 1; through division by the plantation life time (IPCC default value: 20 years), the annual soil carbon stock change is found and can be converted to CO₂ emissions and accounted for in the GHG balance.

Besides soil carbon stocks, above ground carbon stocks may also be affected. For most bioenergy crops, the annual change in above ground carbon is equal to zero, since the whole crop is harvested annually. The change in above ground biomass is summarized in Table 2, where set-aside land, temperate and tropical grassland are assumed to contain negligible amounts of above ground biomass (Hamelinck et al., 2008).

However, drawing general figures for the quantification of direct land use change in GHG balances is difficult and each case study should be addressed autonomously. Several software tools able to model C stock changes are also available (Gabrielle and Kengni, 1996; Skjemstad et al., 2004; Easter et al., 2007).

5.1.2. Indirect land use change

Indirect land use change (or leakage) occurs when land currently used for feed or food crops is changed into bioenergy feedstock production and the demand for the previous land use (i.e. feed, food) remains, because the displaced agricultural production will move to other places where unfavorable land use change could occur (Fritsche, 2008a).

In order to meet a given demand of bioenergy a certain amount of feedstock is needed and, in general, these feedstock quantities can be obtained by (Gnansonou et al., 2008):

- biomass use substitution (i.e. destined to bioenergy production instead of food and feed purposes),
- crop area expansion,
- shortening the rotation length and
- yield increment in the same land.

Apart from the last option, all the other strategies may result in indirect land use effects. GHG emissions from indirect land use change are claimed to be even more important than emissions from direct land use change and, despite the high inaccuracy and calculation difficulties, some authors elaborated a range of values to show the magnitude of this effect (Farrell and O'Hare, 2008; Searchinger et al., 2008; Fritsche, 2008b; Fargione et al., 2008).

An example of one approach for calculating the indirect land use change and its influence on final results considers that use of arable land for additional biomass feedstock production will induce indirect land use change risks due to displacement, but that the risk is small and can be ignored for feedstock produced from wastes and on degraded land and also on set-aside and idle land, as well as biomass feedstock derived by increasing yields (Fritsche, 2008b; RFA, 2008). The indirect land use change (iLUC) factor is derived by considering the potential release of GHG from land use change caused by displacement to be a function of the land used to produce agricultural products for export purpose on the basis that only trade flows will be affected by displacement. An average CO₂ emission factor per hectare of displaced land is then derived, and discounted over a time horizon of 20 years. A "full" indirect land use change factor would have to be applied if the risk of displacement is 100%. Fritsche suggests that in practice the risk will be lower for feedstock produced on idle land, through intensification of existing cultivation schemes and use of marginal land. As a consequence, the indirect land use change factor can range from a "minimum" assuming 25% of all non-zero risk biofuels are subject to the iLUC factor, "medium" meaning a 50% share of non-zero risk feedstocks, and "maximum" for the 75% level of the iLUC factor (Fritsche, 2008b). In Table 3, the life cycle GHG emissions of biofuels, where the iLUC factor is included, are reported. Results suggest no net savings for biodiesel from rapeseed oil, and only small savings for ethanol from maize and wheat for the "minimum" iLUC factor. With a medium level of 50% risk of indirect land use change, rapeseed, wheat and maize will not be reducing GHG emissions. For a high level of the iLUC factor, only ethanol from sugarcane, and second-generation Biomass to Liquid (BtL) technologies would still provide a GHG reduction.

However, if bioenergy crops are cultivated on fallow, marginal or degraded land where previously no conventional crops were grown, and management strategies such as those proposed by Cerri and Cerri (2007) are implemented, no indirect GHG emissions occur and the GHG balance can be favourable, as in the case of perennial grasses discussed above.

(...)

Tabellen zu diesem Artikel:

Table 1
Soil C stock change in tC/ha (cold dry temperate conditions for set-aside, temperate grassland and forest). Source: Hamelinck et al. (2008).

From	To						
	Wheat	Sugar beet	Sugar cane	Maize	Palm oil	Rapeseed	Soy bean
Set-aside	-9	-9	n.a.	-9	n.a.	-9	-9
Temperate grassland	-9	-9	n.a.	-9	n.a.	-9	n.a.
Temperate forest	-13	-13	n.a.	-13	n.a.	-13	n.a.
Tropical grassland	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	-2	n.a.	n.a.
Tropical moist rain forest	n.a.	n.a.	-31	n.a.	-4	n.a.	-31

Tabelle X C-1: Veränderung des Kohlenstoff-Bestands im Boden

Table 2
Above ground carbon stock change in tC/ha (cold dry temperate conditions for set-aside, temperate grassland and forest). Source: Hamelinck et al. (2008).

From	To						
	Wheat	Sugar beet	Sugar cane	Maize	Palm oil	Rapeseed	Soy bean
Set-aside	0	0	n.a.	0	n.a.	0	0
Temperate grassland	0	0	n.a.	0	n.a.	0	n.a.
Temperate forest	-35	-35	n.a.	-35	n.a.	-35	n.a.
Tropical grassland	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	63	n.a.	n.a.
Tropical moist rain forest	n.a.	n.a.	-120	n.a.	-57	n.a.	-120

Tabelle X C-2: Veränderung des Kohlenstoff-Bestands oberhalb des Bodens

Table 3
Life cycle GHG emissions of biofuels, including indirect land use change. Source: Fritsche (2008b).

Biofuel route, location	Life cycle GHG emissions ^d (gCO ₂ -eq./MJ)		
	Maximum	Medium	Minimum
Rapeseed to FAME ^b , EU	260	188	117
Palm oil to FAME ^b , Indonesia	84	64	45
Soyoil to FAME ^b , Brazil	101	76	51
Sugarcane to EtOH, Brazil	48	42	36
Maize to EtOH, USA	129	101	72
Wheat to EtOH, EU	144	110	77
SRC ^c to BtL ^d , EU	109	75	42
SRC ^c to BtL ^d , Brazil (tropical)	34	25	17
SRC ^c to BtL ^d , Brazil (savannah)	59	42	25
Conventional gasoline	87-90		
Conventional diesel	85-90		

^a Including cultivation, processing, by-products and indirect land use change.

^b Fatty acid methyl ester.

^c Short rotation crop.

^d Biomass to liquid.

Tabelle X C-3: THG-Emissionen der Biokraftstoffe (inkl. *indirect land use change*)

Literaturverzeichnis zu diesem Artikel:

Cerri CE, Cerri CC. Biofuel carbon footprint: basis for a greenhouse gas emission reduction. Presentation at Biofuels and SocietyWorkshop; 14 November 2007.

Conant RT, Paustian K, Elliot ET. Grassland management and conversion into grassland: effects on soil carbon. *Ecol Appl* 2001;11:343–55.

Easter M, Paustian K, Killian K, Williams S, Feng T, Al-Adamat R, et al. The GEFSOC soil carbon modelling system: a tool for conducting regional-scale soil carbon inventories and assessing the impacts of land use change on soil carbon. *Agric Ecosyst Environ* 2007;122(1):13–25.

Franck AB, Berdahl JD, Hanson JD, Liebig MA, Johnson HA. Biomass and carbon partitioning in switchgrass. *Crop Sci* 2004;44:1391–6.

Fritsche UR. Bioenergy Life Cycle Analysis: beyond biofuels—Background paper for the EEA Expertmeeting in Copenhagen, June 10, 2008 (Draft version), Öko Institute; 2008a.

Fritsche UR. The “iLUC Factor” as a Means to Hedge Risks of GHG Emissions from Indirect Land-Use Change Associated with Bioenergy Feedstock Provision, working paper prepared for BMU, Darmstadt (forthcoming), Oeko-Institute; 2008b.

Gebhart DL, Johnson HB, Mayeux HS, Polley HW. The CRP increases soil organic carbon. *J SoilWater Conserv* 1994;49:488–92.

Gabrielle B, Kengni L. Analysis and field-evaluation of the CERES models’ soil components: nitrogen transfer and transformation. *Soil Sci Soc Am J* 1996;60:142–9.

Garten CT, Wullschlegel SD. Soil carbon dynamics beneath switchgrass as indicated by stable isotope analysis. *J Environ Qual* 2000;29:645–53.

Gnansonou E, Panichelli L, Dauriat A, Villegas JD. Accounting for indirect land use changes in GHG balances of biofuels—review of current approaches, Working paper REF. 437.101, Ecole Polytechnique Federale de Lausanne, March 2008; website: [http://infoscience.epfl.ch/record/121496/files/Accounting for ILUC in biofuels production.pdf](http://infoscience.epfl.ch/record/121496/files/Accounting%20for%20ILUC%20in%20biofuels%20production.pdf) (last visited: 23/06/2008); 2008.

Hamelinck C, Koop K, Croezen H, Koper M, Kampman B, Bergsma G. Technical specification: greenhouse gas calculator for biofuel, SenterNovem, Ecofys 2008; website: <http://www.senternovem.nl/mmfiles/Technicalspecificationv2.1b20080813tcm24-280269.pdf>; 2008.

IPCC. Guidelines for national greenhouse gas inventories, volume 4, Agriculture, forestry and other land use, Intergovernmental Panel on Climate Change; 2006.

LaI R, Kimble LM, Follet RF, Cole CV. The potential of U.S. cropland to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect. Chelsea, MI: Ann Arbor Press; 1998.

RFA-Renewable Fuels Agency. The Gallagher Review of the indirect effects of biofuels production, published on RFA; website (July 2008): [www.dft.gov.uk/rfa/db/ documents/Report of the Gallagher review.pdf](http://www.dft.gov.uk/rfa/db/documents/Report%20of%20the%20Gallagher%20review.pdf); 2008.

Skjemstad JO, Spouncer LR, Cowie B, Swift RS. Calibration of the Rothamsted organic carbon turnover model (RothC ver. 26.3), using measurable soil organic carbon pools. *Aust J Soil Res* 2004;42:79–88.

Zan CS, Fyles JW, Girouard P, Samson RA. Carbon sequestration in perennial bioenergy, annual corn and uncultivated systems in Southern Quebec. *Agric Ecosyst Environ* 2001;86:135–44.

D) Die Bioethanol-Tankstellen:

Durchschnittliche Entfernung zwischen Raffinerie Schwechat und Tankstelle

Tankstelle	PLZ	Ort	Adresse	Schwechat - Entfernung [km]	
1	AWI	1010	Wien	Löwelstraße 12	18,1
2	GENOL	1110	Wien	Alberner Hafenzufahrtstr. 17	5,4
3	AVANTI	1140	Wien	Guldengasse 13	28,2
4	AWI	1210	Wien	Prager Straße 136-140	24,6
5	GENOL	2041	Wullersdorf Hollabrunn-Horn	Parzelle 301	61,0
6	GENOL	2115	Ernstbrunn Korneuburg u. Umgeb.	Wienerstr. 2	59,0
7	GENOL	2291	Lasseesee	Bahnstr. 62	25,3
8	GENOL	2460	Bruck/Leitha Eco-Plus-Park	Autobahnausfahrt Bruck/Ost	27,7
9	OMV	2473	Potzneusiedl	A6	42,6
10	GENOL	2483	Ebreichsdorf	Bahnstraße 29	38,0
11	GENOL	2842	Thomasberg	Lagerhausstr. 1	83,0
12	GENOL	3040	Neulengbach Tulln-Neulengbach	Umseestr. 37	66,0
13	GENOL	3340	Waidhofen/Ybbs Amstetten	Ybbsitzerstraße 130	174,0
14	GENOL	3382	Roggendorf Mostviertel Mitte	Dorfstr. 45	102,0
15	AWI	3430	Tulln/Donau	Jahnstr. 47	59,6
16	AVANTI	3452	Mitterndorf	Gewerbestr. 4	73,9
17	GENOL	3482	Absdorf	Bahnhofstr. 23	66,4
18	GENOL	3830	Waidhofen/Thaya	Raiffeisenstr. 10	135,0
19	SHELL	3910	Zwettl (GENOL)	Syrnauerplatz 3	137,0
20	AVANTI	4020	Linz	Union Str. 71a	200,0
21	GENOL	4291	Lasberg	Oswalderstr. 33	240,0
22	GENOL	4482	Ennsdorf	Ennsdorferstr. 2/2	181,0
23	GENOL	4714	Meggenhofen Trappenhof Süd 1	Autobahn A8 - Ausfahrt Exit 38	202,0
24	A1	8010	Graz	Fischer Gasse 12	199,0
Durchschnittliche Entfernung zwischen Tankstelle und Schwechat-Wien				93,7	

Tabelle X D-1: Liste der in Österreich registrierten Tankstellen (Stand April 2010) – Quelle: www.superethanol.at

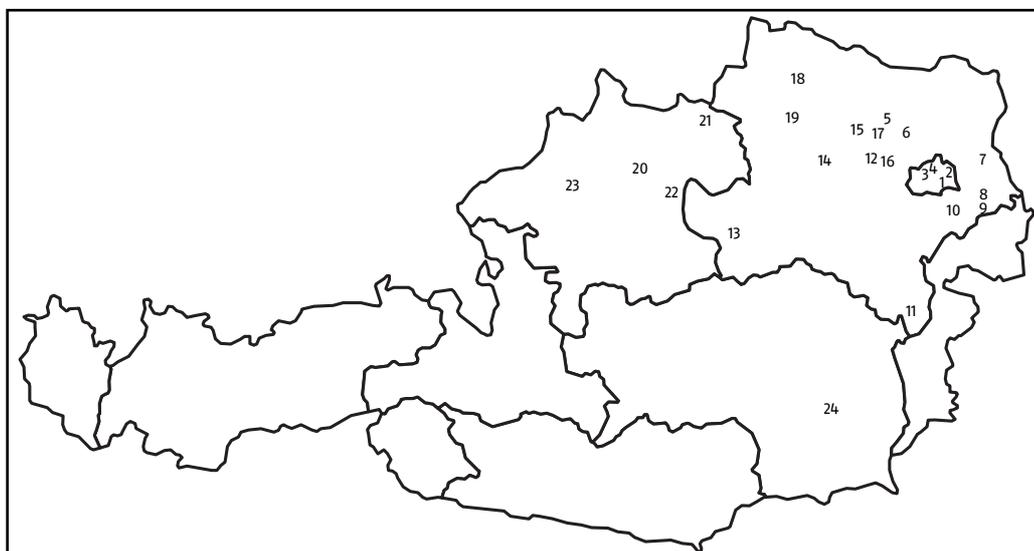


Abbildung X D-1: Übersicht über die in Österreich registrierten Tankstellen – Quelle: www.superethanol.at

E) Das FFV-Auto

E.1) Funktionsweise - Flex-Fuel Vehicles (FFV)

Auszüge aus dem Artikel:

Building out alternative fuel retail infrastructure: Government fleet spillovers in E85.

Kenneth S. Corts

In: Journal of Environmental Economics and Management 59 (2010) S. 219-234

(...)

Flex-fuel vehicles (FFV)

While all gasoline vehicles can burn blends of up to 10% ethanol, only specially designed flex-fuel vehicles (FFVs) can burn ethanol in its higher concentrations such as E85. FFVs can burn any combination of gasoline and ethanol up to 85% ethanol, meaning that the two types of fuel can be mixed in any proportion in a single fuel tank. The vehicle's engine control system includes sensors that determine the level of ethanol in the fuel and adjust the engine's function accordingly. There is essentially no difference in the performance of the vehicle, and no additional maintenance is required. The one difference apparent to the driver is the lower per-gallon mileage when fueling with E85, which is a direct consequence of its lower energy content compared to gasoline. E85 contains between 70% and 75% of the energy per gallon of gasoline, which limits the range of the vehicle and of course also affects the way one interprets the price per gallon of fuel.

Schematische Darstellung eines FFV-Autos:

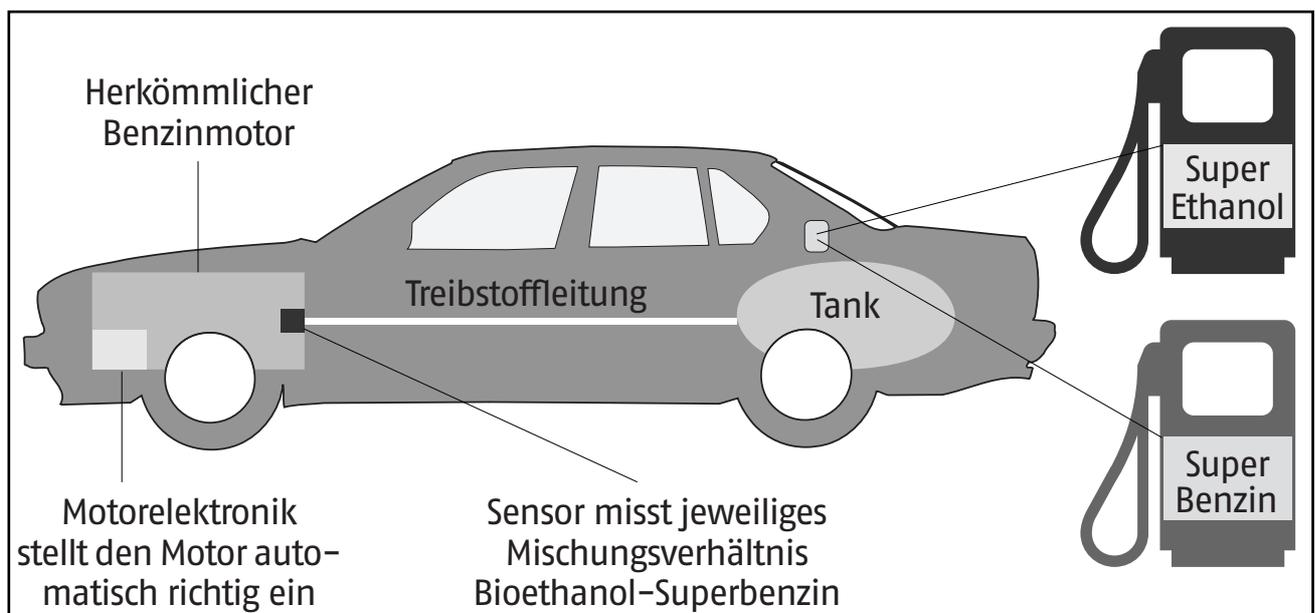


Abbildung X E-1: „So funktioniert ein Flexi-Fuel Vehicle (FFV)“ – Superethanol-Initiative, Quelle: www.superethanol.at

E.2) Das durchschnittliche FFV – Auto Österreichs

Auto Marke	CO ₂ - Ausstoß	Verbrauch [L/100 km]		Zulassungs- Statistik ⁴⁾
	[g CO ₂ /km] ²⁾	E05 ²⁾	E85 ³⁾	[STK]
Dacia Logan MCV 1.6 16 V Hi-Flex	172	6,90	9,32	4
Ford C-Max Flexifuel				0
Ford S-MAX 2,0 I Flexifuel	194	8,10	10,94	1
Ford Focus Flexifuel	167	7,00	9,45	2
Ford Galaxy 2,0 I Flexifuel	197	8,20	11,07	2
Ford Mondeo 2,0I Flexifuel	189	7,90	10,67	6
Renault Clio 1.2 16V Hi-Flex	139	5,90	7,97	200
Renault Kangoo 1.6 16V Hi-Flex	172	8,10	10,94	2
Renault Laguna Grandtour 2.0 16V Hi-Flex	194	8,10	10,94	3
Renault Laguna Limousine 2.0 16V Hi-Flex	194	8,10	10,94	1
Renault Mégane 5-Türer 1.6 16V 110 Hi-Flex	172	6,90	9,32	65
Renault Mégane Coupé 1.6 16V 110 Hi-Flex	172	6,90	9,32	13
Renault Mégane Grandtour 1.6 16V Hi-Flex	172	6,90	9,32	54
Renault Modus 1.2 16V Hi-Flex	139	5,90	7,97	74
Renault Scenic 1.6 16V Hi-Flex				0
Renault Grand Scenic 1.6 16V Hi-Flex	172	7,50	10,13	55
Saab 9-3 Cabriolet 1.8t BioPower				0
Saab 9-3 Cabriolet 2.0t BioPower				0
Saab 9-3 SportLimousine 1.8t BioPower				0
Saab 9-3 SportLimousine 2.0t BioPower	189	9,00	12,15	1
Saab 9-3 SportCombi 1.8t BioPower				0
Saab 9-3 SportCombi 2.0t BioPower	189	8,80	11,88	5
Saab 9-5 SportCombi 2.0t BioPower				0
Saab 9-5 SportCombi 2.3t BioPower				0
Saab 9-3X XWD 2.0 Turbo BioPower				0
Volvo C30 Flexifuel				0
Volvo S40 Flexifuel	174	7,40	9,99	1
Volvo V50 Flexifuel				0
Volvo S80 FlexiFuel				0
Volvo V70 FlexiFuel				0
Volvo S80 2,5FT	219	9,20	12,42	2
Volvo S80 2,5FT Aut				0
Volvo V70 2,5FT	227	9,50	12,83	2
Volvo V70 2,5 FT Aut				0
Bio-Ö Durchschnittliche Werte	154,8⁴⁾	6,49⁴⁾	8,76⁴⁾	

1) Zulassungsstatistik der Neuzulassungen zwischen März 2009 und März 2010 (Stand März 2010) -
Quelle:datafact. [Vor März 2009 wurden in Österreich nur 5 Autos neu zugelassen.]

2) Laut Fabrikanten.

3) Schätzung nach dem Verhältnis (Verbrauch E 85-Bioethanol) / (Verbrauch E05-Benzin) = ca. 1,35.
Verwendete Daten laut Fabrikanten.

4) Gewichteter Mittelwert (Gewichtung erfolgt nach den zwischen März 2009 und März 2010 in
Österreich neu zugelassenen Autos).

Tabelle X E-1: Liste der in Österreich neu zugelassenen Autos (Stand April 2010) – Quelle: www.superethanol.at

Literaturverzeichnis:

Alves, FJC. Diagnóstico e Propostas de Políticas Públicas para o Complexo Agroindustrial Canavieiro na Macro Região de Ribeirão Preto. In: MORAES, M.A.F.D.; SHIKIDA, P.F.A. Agroindústria Canavieira no Brasil. São Paulo, Atlas, 2006.

Anderl M., Bednar W., Böhmer S., et al. Klimaschutzbericht 2010 – REP0267, In: <www.umweltbundesamt.at> 2010

Ansel K. Brasilien – bald das „Grüne Saudiarabien Lateinamerikas“? – Quetzal: Politik und Kultur in Lateinamerika – Online-Magazin, Oktober 2009.

Araújo, TC. Trabalhadores Invisíveis – Crianças e Adolescentes dos Canaviais de Pernambuco. Centro Josué de Castro - GT Condições de Vida e Trabalho de Crianças e Adolescentes, Recife, 1999.

Ca-GREET 2009a. California Environmental Protection Agency – Air Resources Board. Detailed California-Modified GREET Pathway for Brazilian Sugar Cane Ethanol, 2009. p. 54

Ca-GREET 2009b. California Environmental Protection Agency – Air Resources Board. Detailed CA-GREET Pathway for California Reformulated Gasoline Blendstock for Oxygenate Blending (CARBOB) from Average Crude Refined in California, 2009. p. 52

Capek C. Mineralölbericht 2008 / Jahresbericht 2008 – Fachverband der Mineralölindustrie Österreichs (FVMI); September 2009.

CONCAWE 2006. Edwards R., Larive´ JF., Mahieu V., Rouveiroles P. Well-to-wheels analysis of future automotive fuels and power trains in the European context. well-to-wheels Report version 2c: CONCAWE, EUCAR, JRC; 2006.

CPT 2006. Comissão pastoral da Terra (CPT): Conflitos no Campo, Brasil. Goiânia, 2006.

CTC – Centro de Tecnologia Canavieira. Internal benchmark report on 15 usinas in the state of São Paulo, 2004.

Datafact online, Autodaten und Fakten. Vorsitz: Schiller Herbert In: <<http://www.datafact-online.at>> 12.04.2010

EBAMM - Release 1.0. The ERG biofuels analysis meta-model. Energy and Resources Group and Richard & Rhoda Goldman School of Public Policy at UC Berkeley, December 26, 2005.

Ecker A, Winter B. Stand der Technik bei Raffinerien in Hinblick auf die IPCC – Richtlinie, Monographien Band 119 / M – 119. Umweltbundesamt GmbH, 2000.

ELCD. European Reference Life Cycle Database (ELCD core database), version II. In: <<http://lca.jrc.ec.europa.eu/lcainfohub/datasetArea.vm>> 2010

GEMIS. Fritsche, U et al.: Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme – GEMIS version 4.5. Ökoinstitut, Darmstadt, 2010.

GREET 1.6. Greenhouse gases, regulated emissions, and energy use in transportation. Argonne, IL, USA, Argonne National Laboratory.

Guedes, SNR et al. Mercado de Terra e de Trabalho na (Re)Estruturação da Categoria Social dos Fornecedores de Cana de Ribeirão Preto. In: AGRIC/SP. São Paulo, v 53, nº 1, 2006. p.107-122

Hassuani SJ., Leal MRLV., Macedo IC. Biomass power generation: sugar cane bagasse and trash. Piracicaba, PNUD Brasil and Centro de Tecnologia Canavieira, 2005.

IEA 2006 – INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA/SP. Previsões e Estimativas das Safras Agrícolas no Estado de São Paulo, Safra 2005/06. IEA/4º Levantamento, 2006. In:< www.iea.sp.gov.br>. 02.07.2006

IFEU 2007. Fehrenbach H. GHG accounting methodology and default data according to the biomass sustainability ordinance (BSO). 2nd GBEP Task Force Meeting on GHG Methodologies. Washington DC, UN Foundation, 2007.

Initiative Superethanol. AGRANA Beteiligungs – AG. In: <<http://www.superehanol.at>> 2010

IPCC 2001. Climate Change 2001: the scientific basis. Contribution of working group I to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In: Houghton JT, Ding Y, Griggs DJ, Noguer M, van der Linden PJ, Dai X, Maskell K, Johnson CA, editors. Cambridge, UK and New York, NY, USA; Cambridge University Press; 2001. pp. 881

IPCC 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. In: Eggleston HS, Buendia L, Miwa K, Ngara T, Tanabe K, editors. Japan, IGES, 2006.

Laschefski K., Assis WFT. Mais cana para o bioetanol, mais eucalipto para a biomassa e o carvão mineral. Agronegócio + Agroenergia. 2006.

Macedo IC., Cortez LAB. Industrial uses of biomass energy – the example of Brazil. London, England; 2000. p. 140–54

Macedo, IC. Geração de energia elétrica a partir de biomassa no Brasil: situação atual, oportunidades e desenvolvimento. Relatório Técnico. 2001.

Macedo IC., Seabra JEA. Sugarcane ethanol – Contributions to climate change mitigation and the environment / Mitigation of GHG emissions using sugarcane bioethanol. 2007. p. 95-110

Macedo IC., Seabra JEA., Silva JEAR. Greenhouse gases emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: the 2005/2006 averages and a prediction for 2020. Biomass Bioenergy 2008; 32(7) p. 582-595.

Martins, PJCS. Avaliação da flexibilidade contratual da indústria do transporte marítimo utilizando opções reais. Master Thesis. 2009.

Rede Social. Rede Social de Justiça e Direitos Humanos: Direitos humanos e a industria da cana. São Paulo, 2008.

RES 2008. Council of the European Union. Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the Promotion of the Use of Energy from Renewable Sources. 2008/0016 (COD). 2008.

RFA - Renewable Fuels Association. Ethanol Industry Outlook – Climate of Opportunity. In: <www.dft.gov.uk> 2010

Ribeiro H, Ficarelli TRA. Sucarcane Burning and Perspectives for Harvesters in Macatuba, São Paulo. Saúde Soc. São Paulo, v.19, n.1, 2010, p 48-63,

Rodrigues D., Ortiz L. Em direção à sustentabilidade da produção de etanol de cana de açúcar no Brasil. 2006. p. 37

Seabra, JEA. Avaliação técnico-econômica de opções para o aproveitamento integral da biomassa de cana no Brasil. Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, PhD Thesis, 2008. p. 273

Schweizer Erdöl-Vereinigung (EV). Erdöl – Entstehung, Förderung und Verarbeitung, 2003. In: <<http://www.erdoel-vereinigung.ch>> 2010

UNICA – União Agroindústria Canavieira Estado de São Paulo. Quotes & Stats, 2010. In: <www.unica.com.br> 2010

UNICA – União Agroindústria Canavieira Estado de São Paulo. „Etanol brasileiro pode ajudar a UE a atingir meta no uso de energias renováveis em transportes“. In: <www.unica.com.br> 12.02.2010.

UNICA 2006 – UNIÃO AGROINDÚSTRIA CANAVIEIRA ESTADO DE SÃO PAULO. Memória, Cana-de-Açúcar e Sociedade. ÚNICA, 2005. In: <www.portalunica.com.br> 16.06.2006

van den Wall Bake JD., Junginger M., Faaij A., Poot T., Walter A. Explaining the experience curve: Cost reductions of Brazilian ethanol from sugarcane. 2007. In: Biomass and Bioenergy 33 (2009) p. 644-658

Wang M. GREET 1.7 Beta – Transportation Fuel Cycle Model. U.S. Dept. Of Energy, Argonne National Laboratory. 2006.

World Shipping Register. Sea Distances and Voyage Calculator. In: <<http://e-ships.net/dist.htm>> 14.05.2010

Zah R., Böni H., Gauch M., Hischier R., Lehmann M. & Wäger P. Empa - Abteilung Technologie und Gesellschaft. Ökobilanz von Energieprodukten: Ökologische Bewertung von Biotreibstoffen; 2007.

Abbildungsverzeichnis:

Abbildung A 1-1: Die wesentlichen Prozessphasen des Lebenszyklus von Biokraftstoffen	10
Abbildung A 1-2: Weltweite Produktion von Bioethanol	11
Abbildung A 1-3: Die wesentlichen Prozessphasen des Lebenszyklus von Kraftstoffen aus fossilen Energieträgern	12
Abbildung A 1-4: Treibhausgas-Emissionen in Österreich nach Sektoren - 2008	13
Abbildung A 1-5: Treibhausgas-Emissionen in Österreich für den Sektor Verkehr - 2008	13
Abbildung A 2-1: Vereinfachtes Schema einer Bioraffinerie	16
Abbildung A 2-2: Erdöl-Fördermethoden	18
Abbildung A 2-3: Schema der atmosphärischen Destillation	19
Abbildung A 2-4: Schema einer Erdöl-Raffinerie	21
Abbildung B 1-1: Lebenszyklus von Bioethanol	23
Abbildung B 1-2: Gesamte THG-Emissionen bei Zuckerrohranbau	25
Abbildung B 2-1: Lebenszyklus von Benzin	36
Abbildung B 3-1: THG-Emissionen im Vergleich - Bioethanol und Benzin	50
Abbildung B 3-2: THG-Emissionen im Vergleich - Studien über Bioethanol aus Zuckerrohr	51
Abbildung B 3-3: THG-Emissionen im Vergleich - Studien über Benzin	52
Abbildung B 3-4: THG-Emissionen im Vergleich - Studien über Bioethanol und Benzin	53
Abbildung B 3-5: Gesamte THG-Emissionen im Vergleich - Studien über Bioethanol und Benzin	54
Abbildung B 3-6: THG-Emissionen im Vergleich - Studien über Bioethanol und Benzin (Vereinheitlichung Variante 1)	55
Abbildung B 3-7: THG-Emissionen im Vergleich - Studien über Bioethanol aus Zuckerrohr (Vereinheitlichung Variante 1)	56
Abbildung B 3-8: Gesamte THG-Emissionen im Vergleich - Studien über Bioethanol und Benzin (Vereinheitlichung Variante 1)	57
Abbildung B 3-9: THG-Emissionen im Vergleich - Studien über Bioethanol und Benzin (Vereinheitlichung Variante 2)	58
Abbildung B 3-10: THG-Emissionen im Vergleich - Studien über Bioethanol aus Zuckerrohr (Vereinheitlichung Variante 2)	59

Abbildung B 3-11: Gesamte THG-Emissionen im Vergleich - Studien über Bioethanol und Benzin (Vereinheitlichung Variante 2)	60
Abbildung C 3-1: Zuckerrohranbauggebiete und Amazonischer Regenwald	68
Abbildung X A-1: Abbildung der Energiebilanz X A-1	75
Abbildung X D-1: Übersicht über die in Österreich registrierten Tankstellen	82
Abbildung X E-1: „So funktioniert ein Flexi-Fuel Vehicle (FFV)“	83

Tabellenverzeichnis

Tabelle A 2-1: Emissionen von Einzelanlagen in der Raffinerie Schwechat (Daten von 1997)	21
Tabelle B 1-1: Transportprozesse von Bioethanol im Überblick	23
Tabelle B 1-2: Indirekte Emissionen bei Zuckerrohranbau	24
Tabelle B 1-3: Direkte Emissionen bei Zuckerrohranbau	25
Tabelle B 1-4: Grunddaten für den Prozess Biomasseanbau (P1)	26
Tabelle B 1-5: Grunddaten für die wiederverwendeten Rückstände aus der Bioethanolproduktion (P2)	26
Tabelle B 1-6: Berechnung der Tabelle B 1-2	27
Tabelle B 1-7: Berechnung der Tabelle B 1-3	27
Tabelle B 1-8: Gesamt-Emissionen der Bioethanolproduktion	28
Tabelle B 1-9: Grunddaten für den Prozess Bioethanolproduktion	29
Tabelle B 1-10: Berechnung der Tabelle B 1-8	30
Tabelle B 1-11: Grunddaten für die Prozesse Lagerung/Mischung und Konsum	30
Tabelle B 1-12: Berechnung der Prozesse 3 und 4	30
Tabelle B 1-13: Kenndaten der Transportprozesse	31
Tabelle B 1-14: Direkte und indirekte Emissionen beim Transportprozess T2	32
Tabelle B 1-15: Grunddaten für die Transportprozesse T1, T2 und T3	33
Tabelle B 1-16: Berechnung der Transportprozesse	33
Tabelle B 1-17: Gesamt-Emissionen für das Szenario Bioethanol	34
Tabelle B 1-18: Grunddaten für die Berechnung der Gesamtemissionen - Szenario Bioethanol	35
Tabelle B 1-19: Umrechnungen - Szenario Bioethanol	35
Tabelle B 2-1: Transportprozesse von Benzin im Überblick	36
Tabelle B 2-2: THG-Emissionen bei der Erdölförderung	37
Tabelle B 2-3: Grunddaten für den Prozess Erdölförderung (P1)	38
Tabelle B 2-4: Berechnungen für den Prozess Erdölförderung (P1)	39
Tabelle B 2-5: Grunddaten für den Prozess Raffinerie (P2)	41
Tabelle B 2-6: Berechnungen für den Prozess Raffinerie (P2)	41
Tabelle B 2-7: Kenndaten der Transportprozesse	42
Tabelle B 2-8: Direkte und indirekte Emissionen beim Transportprozess T1	43

Tabelle B 2-9: Grunddaten für den Transportprozess T1.1	43
Tabelle B 2-10: Grunddaten für den Transportprozess T1.2	44
Tabelle B 2-11: Grunddaten für den Transportprozess T1.3	44
Tabelle B 2-12: Berechnungen für den Transportprozess T1	45
Tabelle B 2-13: Grunddaten für den Transportprozess T1.2	45
Tabelle B 2-14: Berechnungen für den Transportprozess T2	45
Tabelle B 2-15: Gesamt-Emissionen für das Szenario Benzin	46
Tabelle B 2-16: Grunddaten für die Berechnung der Gesamtemissionen - Szenario Benzin	47
Tabelle B 2-17: Umrechnungen - Szenario Benzin	47
Tabelle X C-1: Veränderung des Kohlenstoff-Bestands im Boden	80
Tabelle X C-2: Veränderung des Kohlenstoff-Bestands oberhalb des Bodens	80
Tabelle X C-3: THG-Emissionen der Biokraftstoffe (inkl. indirect land use change)	80
Tabelle X D-1: Liste der in Österreich registrierten Tankstellen (Stand April 2010)	82
Tabelle X E-1: Liste der in Österreich neu zugelassenen Autos (Stand April 2010)	84

