

Möglichkeiten und Kosten der Energieproduktion aus landwirt- schaftlicher Biomasse in der Schweiz

—

Eine Bestandesaufnahme

Michael Hartmann
Dr. Michael Weber
Prof. Dr. Bernard Lehmann



Abschlussbericht im Rahmen des Projektes „Bioenergie“ des Bundesamtes für Landwirtschaft (BLW), Modul 1: Umfeld & Szenarien, Submodul Technologiefragen (19. Juli 2007)

Impressum

ETH Zürich
School Domain for Environment and Natural Resources S-ENETH
Institute for Environmental Decisions IED
Gruppe Agrar-, Lebensmittel und Umweltökonomie

ETH Zürich
Gruppe Agrar-, Lebensmittel und Umweltökonomie
SOL, C6
8092 Zürich

Tel. +41 44 632 48 28
Fax +41 44 632 10 86
mhartmann@ethz.ch

www.iaw.agrl.ethz.ch

Copyright:

© 2007, Gruppe Agrar-, Lebensmittel und Umweltökonomie, ETH Zürich

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Inhaltsverzeichnis | 1 |
| Tabellenverzeichnis | 2 |
| Abbildungsverzeichnis..... | 3 |
| 1 Einleitung..... | 4 |
| 2 Technologien zur Bereitstellung von Energie aus Biomasse..... | 6 |
| 3 Mögliche Technologien in der Schweiz | 11 |
| 4 Wirtschaftlichkeit zur Erzeugung von Energien aus Biomasse in der Schweiz | 14 |
| 4.1 Strom..... | 14 |
| 4.2 Wärme..... | 15 |
| 4.3 Treibstoff..... | 16 |
| 4.3.1 Rapsöl und Biodiesel | 18 |
| 4.3.2 Bioethanol | 21 |
| 4.3.3 Treibstoffe aus Biomasse im internationalem Vergleich..... | 25 |
| 4.4 Modell-Biogasanlagen für die Verwendung in S_INTAGRAL | 25 |
| 5 Untersuchungsergebnisse in Kürze und Folgerungen für die Modellierung | 27 |
| 5.1 Ergebnisse der Untersuchungen..... | 27 |
| 5.2 Folgerungen für die Modellierung | 29 |
| Literatur..... | 30 |
| Anhang..... | 35 |

Tabellenverzeichnis

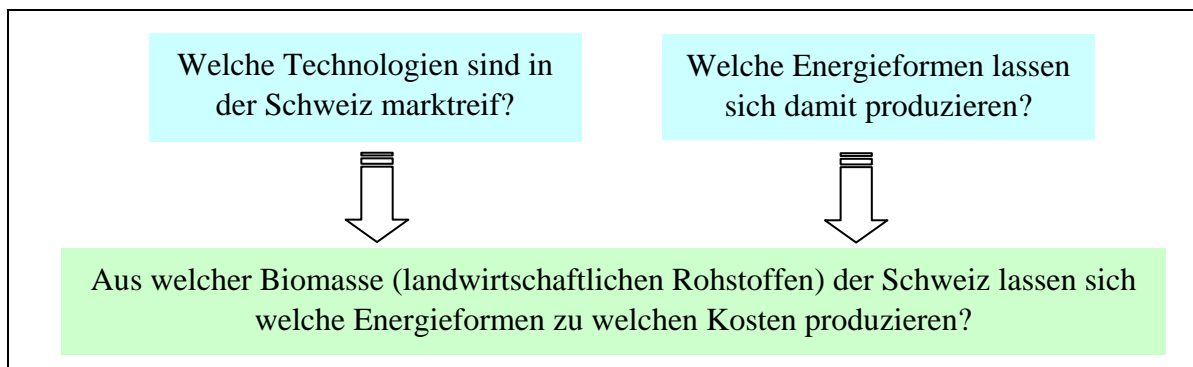
| | |
|---|----|
| Tabelle 1: Konversionspfade, Technologien und Stand der Verbreitung in der Schweiz..... | 9 |
| Tabelle 2: Landwirtschaftliche Rohstoffe als Grundlage zur Energiebereitstellung | 10 |
| Tabelle 3: Konversionspfade mit praktischer Anwendung in der Schweiz inkl. Energiepotential (Heizwert) aus Biomasse der Schweiz..... | 13 |
| Tabelle A 1: Konversionspfade, Technologien und Stand der Verbreitung in der Schweiz (Zusatzinformationen)..... | 35 |
| Tabelle A 2: Energiepotential Referenzwerte Benzin, Diesel, Heizöl, Erdgas, Strom..... | 35 |
| Tabelle A 3: Energieanfall aus pflanzlichen Rohstoffen (ohne Reststoffe) | 36 |
| Tabelle A 4: Energieanfall aus Hofdünger (ohne Reststoffe)..... | 37 |
| Tabelle A 5: Konsumentenpreise für Energie aus fossilen Ressourcen | 38 |
| Tabelle A 6: Gestehungskosten für Strom und Wärme verschiedener Produktionswege ... | 39 |
| Tabelle A 7: Gestehungs- und Produktionskosten für Erneuerbare Energien | 39 |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abbildung 1: Herangehensweise im Submodul Technologiefragen | 4 |
| Abbildung 2: Konzept des Modells S_INTAGRAL..... | 5 |
| Abbildung 3: betrachtete Systemgrenzen und getroffene Annahmen | 6 |
| Abbildung 4: Energiebereitstellung aus Biomasse | 7 |
| Abbildung 5: Anzahl Anlagen zur Treibstoffherstellung aus erneuerbaren Rohstoffen (Stand: 14. Mai 2007)..... | 8 |
| Abbildung 6: Kriterien für Technologien in der Schweiz | 11 |
| Abbildung 7: Konversionspfade in der Schweiz entsprechend den Kriterien | 12 |
| Abbildung 8: Kraftstoffäquivalente von Treibstoffen aus Biomasse in Liter..... | 13 |
| Abbildung 9: Produktionskosten für Strom aus Biomasse im Vergleich zu anderen Erzeugungswegen in der Schweiz | 15 |
| Abbildung 10: Produktionskosten für Wärme aus Biomasse im Vergleich zu anderen Erzeugungswegen in der Schweiz | 16 |
| Abbildung 11: Produktionskosten (inkl. Handelsspanne) für Treibstoff aus Biomasse im Vergleich zu anderen Erzeugungswegen in der Schweiz..... | 17 |
| Abbildung 12: Produktionskosten für Treibstoff aus Biomasse und aus Fossilen bezogen auf das jeweilige Kraftstoffäquivalent (Basis: Benzin/Diesel =1) | 17 |
| Abbildung 13: Zusammensetzung der Konsumpreise für Treibstoff aus Biomasse und Fossilen bezogen auf das jeweilige Kraftstoffäquivalent (Basis: Benzin/Diesel = 1)..... | 18 |
| Abbildung 14: Zusammenhang Produktion Treibstoff, Verarbeitungsbeitrag Ölsaaten und Produzentenpreis für Landwirte | 19 |
| Abbildung 15: Rohstoffkosten Raps aus der Schweiz zur Produktion von RME und Rapsöl in Abhängigkeit des Verarbeitungsbeitrages | 19 |
| Abbildung 16: Aufteilung der Produktionskosten für Treibstoffe aus Raps-Biomasse | 20 |
| Abbildung 17: Notwendige Produzentenpreise ohne Verarbeitungsbeitrag von Rapssaaten zur Produktion von Treibstoff | 21 |
| Abbildung 18: Aufteilung der Produktionskosten für Bioethanol als Treibstoff | 22 |
| Abbildung 19: Rohstoffkosten Roggen aus der Schweiz zur Produktion von Bioethanol .. | 22 |
| Abbildung 20: Rohstoffkosten Weizen aus der Schweiz zur Produktion von Bioethanol .. | 23 |
| Abbildung 21: Rohstoffkosten Kartoffeln aus der Schweiz zur Produktion von Bioethanol..... | 23 |
| Abbildung 22: Rohstoffkosten Zuckerrüben aus der Schweiz zur Produktion von Bioethanol..... | 24 |
| Abbildung 23: Produktionskosten für Treibstoffe aus Biomasse im internationalem Vergleich | 25 |
| Abbildung 24: Charakteristika der Biogasanlagen für S_INTAGRAL..... | 26 |
| | |
| Abbildung A 1: Rohstoffkosten Raps aus der Schweiz zur Produktion von RME und Rapsöl in Abhängigkeit des Verarbeitungsbeitrages..... | 40 |

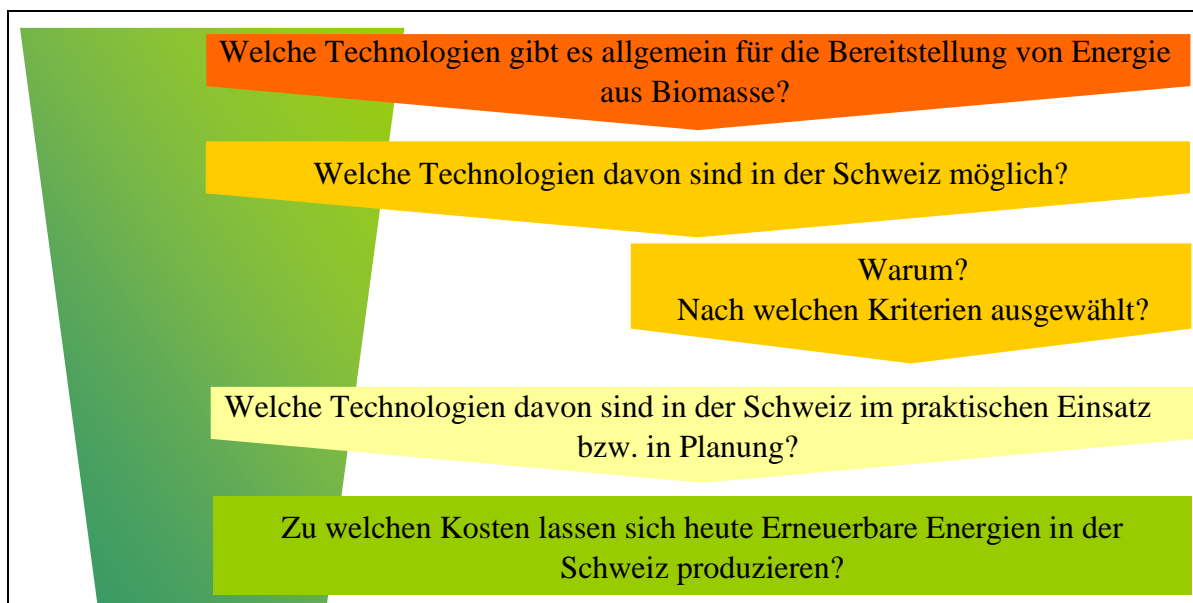
1 Einleitung

Mit dem Energieprojekt möchte das Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) den Einfluss der Energiemärkte auf die Agrarmärkte untersuchen. Das Gesamtprojekt ist modular aufgebaut. Mit dem Modul 1 werden das Umfeld und die Szenarien prioritär mittels bereits vorhandener Studien aufgezeigt und zusammengestellt. Innerhalb des Modul 1 wird mit dem vorliegend beschriebenen Submodul *Technologiefragen* die Technische Wirtschaftlichkeit dargestellt. Die hierbei zentrale Frage lautet ausgehend von der Frage nach möglichen Technologien und produzierbaren Energieformen:



Das Vorgehen zur Beantwortung dieser Fragen ist in folgender Abbildung 1 schematisch aufgezeigt:

Abbildung 1: Herangehensweise im Submodul Technologiefragen

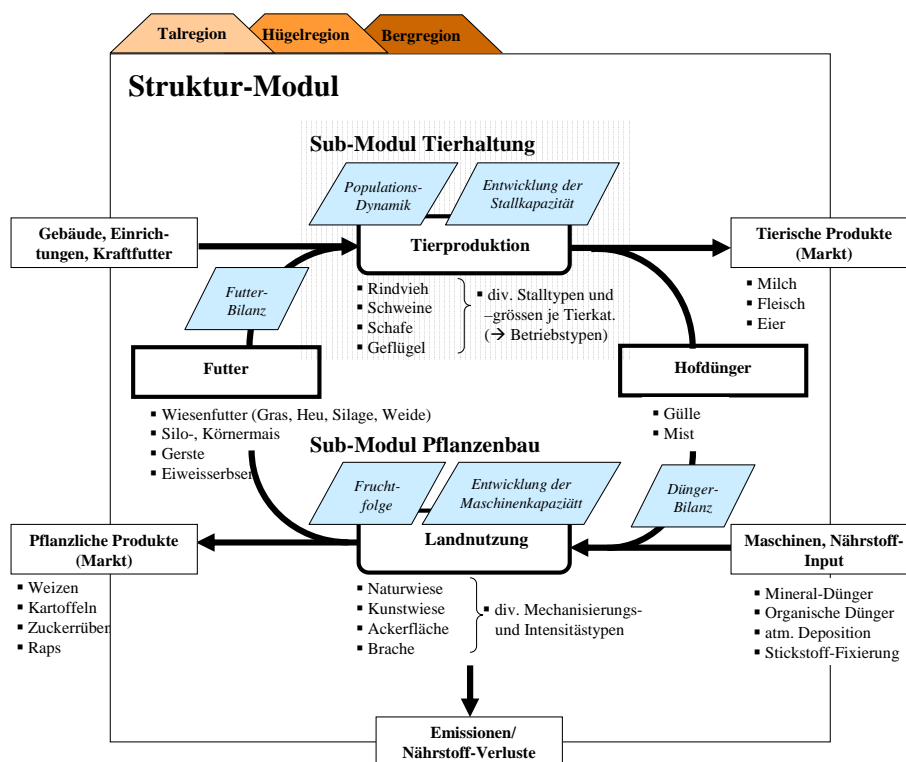


Für die Bearbeitung haben wir uns in erster Linie auf Quellen aus der Schweiz gestützt (Berichte, Studien, Ansprechpartner). Teilweise war es notwendig, die Angaben umzurechnen bzw. aufzuarbeiten, um sie

- in vergleichbare Form zu bringen und um sie
- für die später geplanten Modellrechnungen verwenden zu können.

Die Modellrechnungen im weiteren Verlauf des Gesamtprojektes werden mit dem agrarwirtschaftlichen Allokationsmodell S_INTAGRAL¹ erfolgen. Sie bilden den primären Fokus innerhalb des Gesamtprojektes. Dieses Modell ist u.a. bereits im Zusammenhang mit der Beurteilung landwirtschaftlicher Treibhausgasemissionen in der Schweiz (HEDIGER ET. AL, 2004), sowie zur Untersuchung umweltrelevanter Stickstoffverbindungen (PETER ET. AL, 2006) zum Einsatz gekommen. Der strukturelle Aufbau von S_INTAGRAL ist in Abbildung 2 dargestellt.

Abbildung 2: Konzept des Modells S_INTAGRAL

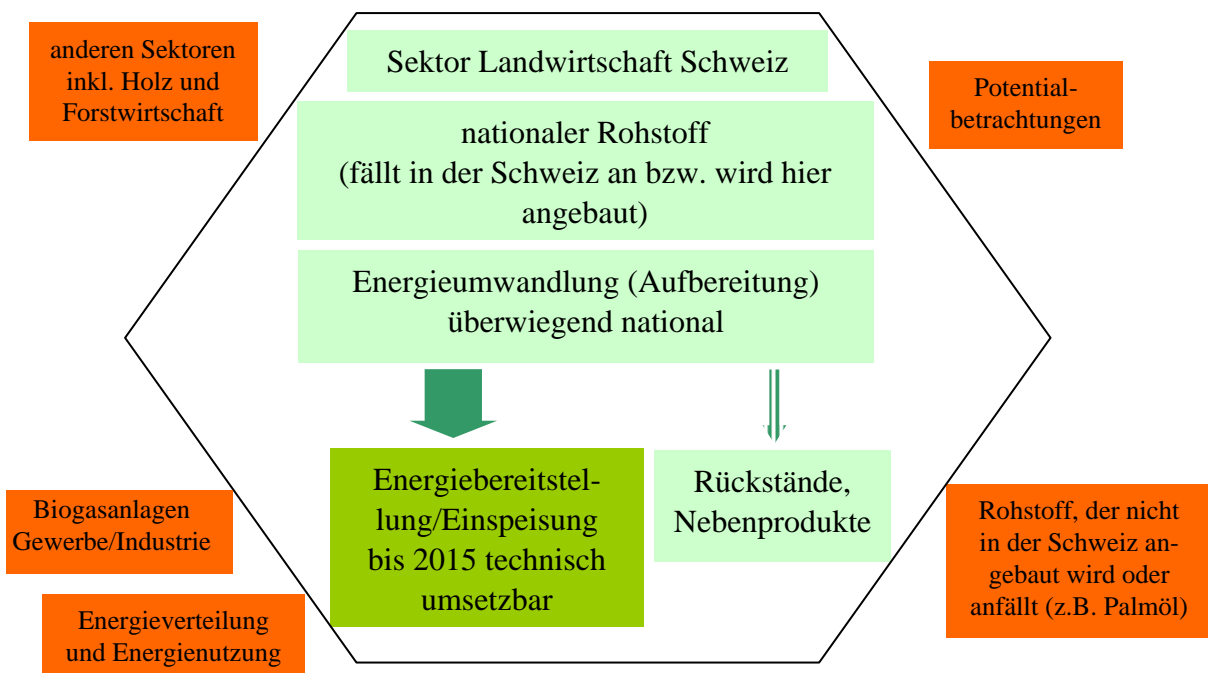


Mit dem Hauptziel, vorhandenes Wissen zusammenzutragen, wurden im Rahmen der vorliegenden Studie keine neuen, eigenen Rechnungen, sowie keine Potentialabschätzungen durchgeführt.

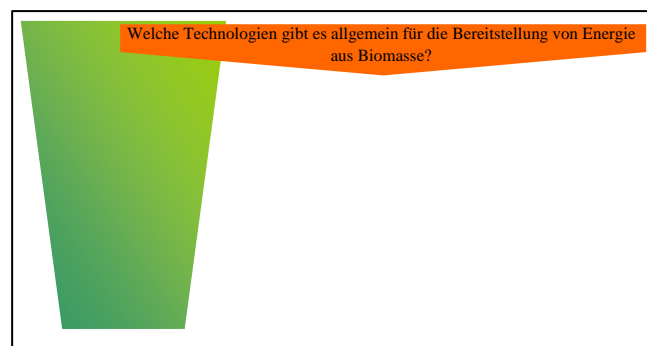
Die Systemgrenzen für die nachfolgenden Ausführungen sind in Abbildung 3 skizziert.

¹ Das Swiss INTegrated AGRicultural ALlocation model S_INTAGRAL ist ein in der Gruppe Agrar-, Lebensmittel- und Umweltökonomie des Instituts für Umweltentscheidungen (IED) (ehemals Institut für Agrarwirtschaft, IAW) entwickeltes integriertes agrarwirtschaftliche Allokationsmodell.

Abbildung 3: betrachtete Systemgrenzen und getroffene Annahmen



2 Technologien zur Bereitstellung von Energie aus Biomasse

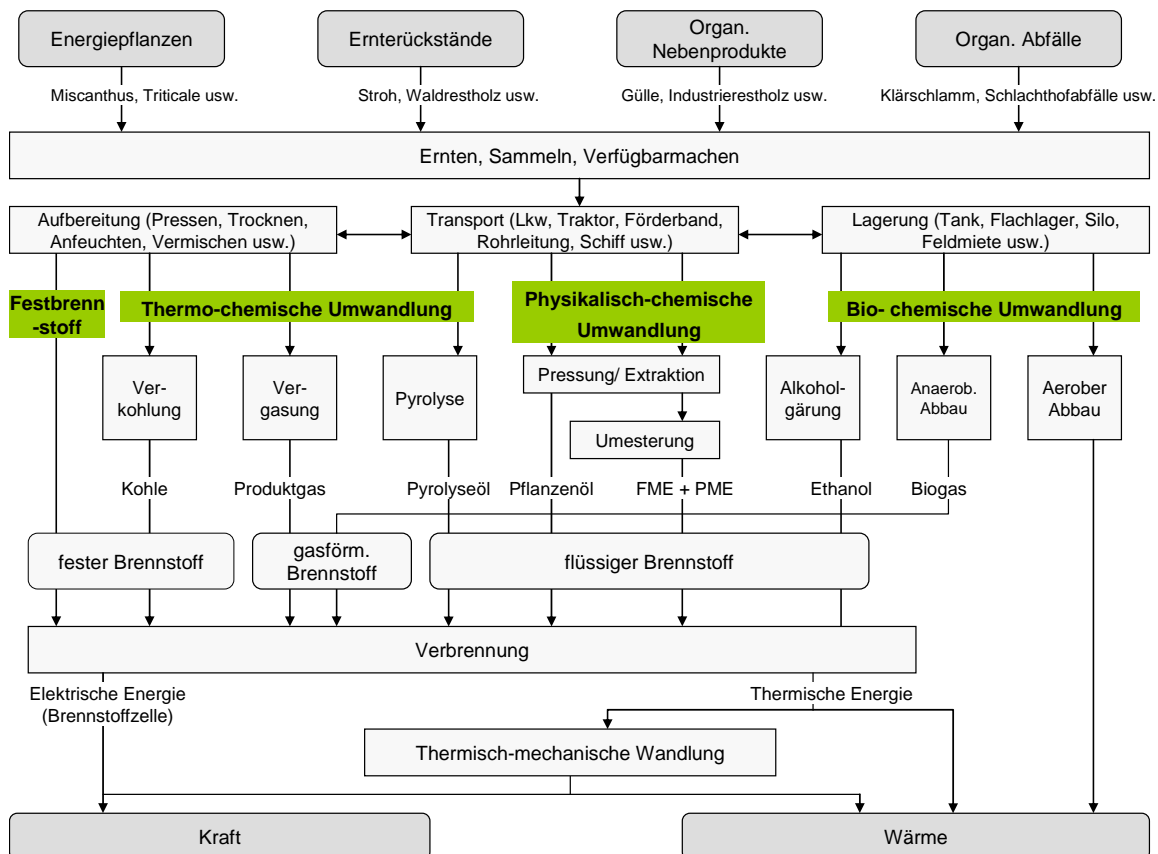


Stoffe organischer Herkunft (d.h. aus kohlenstoffhaltiger Materie) werden nach KALTSCHMITT UND HARTMANN (2001) mit dem Begriff Biomasse zusammengefasst. Die in der Biomasse enthaltene Sonnenenergie ist durch die Photosynthese fixiert. Zum einen kann diese photosynthetische Energie direkt genutzt werden, z.B. durch die gesamte Pflanzenmasse oder pflanzliche Rückstände und Nebenprodukte. Zum anderen wird diese Energie durch den Ab- oder Umbau organischer Substanz in höheren Organismen indirekt nutzbar, z.B. die gesamte Zoomasse und ihre Exkrememente.

In Abbildung 4 sind die für Mitteleuropa nutzbaren Konversionspfade aufgezeigt, ausgehend von der Primärenergie in der Biomasse die entsprechende End- bzw. Nutzenergie bereitzustellen. Im Wesentlichen wird die erzeugte Energie in Form von Wärme und/oder Kraft genutzt. Berücksichtigt werden hierbei die Produktion der Biomasse, ihre Bereitstellung, die Nutzung sowie die Verwertung bzw. Entsorgung der anfallenden Rückstände oder

Abfälle. Dabei setzt sich jeder einzelne Abschnitt wiederum aus zahlreichen Einzelprozessen zusammen (z.B. Saatbettbereitung, Ausbringen von Dünger und Pflanzenschutzmittel (PSM)). Die verschiedenen Abschnitte werden durch Transporte überbrückt, weil sie i.d.R. nicht am gleichen Ort stattfinden.

Abbildung 4: Energiebereitstellung aus Biomasse



Quelle: in Anlehnung an KALTSCHMITT ET. AL (2006)

Die Bereitstellung von Nutzenergie kann auf sehr unterschiedlichen Wegen erfolgen:

- Nach einer mechanischen Aufbereitung kann im einfachsten Fall beispielsweise lignocellulosehaltige Biomasse direkt durch **Verbrennung** genutzt werden. Oft ist es hingegen sinnvoll oder notwendig, über Veredlungsprozesse beispielsweise die Energiedichte, die Handhabung oder die Verwertbarkeit von Rückständen aufzuwerten, um flüssige oder gasförmige Energieträger bereitstellen zu können. Dabei kann zwischen thermochemischen, physikalisch-chemischen und biochemischen Veredlungsverfahren unterschieden werden.
- Die **thermo-chemischen** Verfahren umfassen die Pyrolyse, die Verkohlung und die Vergasung. Bei letzterer wird die Biomasse bei hohen Temperaturen in brennbare Gase umgewandelt, welches über Brenner zur Wärmenutzung und über Gasmotoren/-turbinen zur Stromerzeugung eingesetzt werden kann. Ausserdem kann das entstehende Produktgas durch weitere Umwandlungen in flüssige Sekundärenergieträger wie Methanol oder synthetische Biokraftstoffe (Biomass-to-Liquid, BtL) überführt werden.

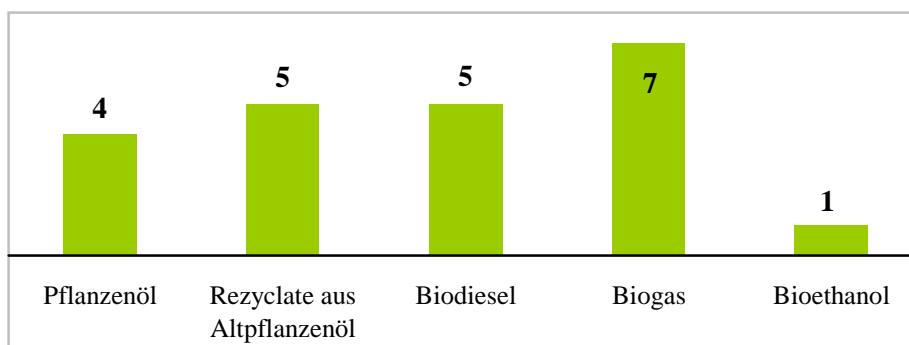
- Die **physikalisch-chemischen** Umwandlungen beruhen auf der Energiebereitstellung aus Pflanzenölen und/oder tierischen Fetten, welche in Reinform oder nach einer chemischen Umwandlung zu Pflanzenöl- (PME) oder Fettsäuremethylester (FME) in Motoren oder Blockheizkraftwerken (BHKW) als Treib- oder Brennstoff zum Einsatz kommen.
- Dagegen basiert die Energiebereitstellung bei der **bio-chemischen** Umwandlung auf biologischen Prozessen von Mikroorganismen. Durch die (Hefe)-Vergärung von Biomasse entsteht mit Ethanol ein Treib- oder Brennstoff. Aus organischer Masse entsteht mittels anaeroben Abbau mit Biogas ((Methan)-Vergärung) ebenfalls ein Brenn- bzw. nach einer notwendigen Aufbereitung ein Treibstoff.

Nicht alle der in Abbildung 4 aufgeführten Umwandlungspfade für Primärenergie aus Biomasse in Nutz- bzw. Endenergie finden in der Schweiz Anwendung. Wesentliche Bestimmungsgründe sind in den Rahmenbedingungen sowohl der Biomasseproduktion als auch der Nutzenergiebereitstellung gegeben. Daneben spielen aber auch technische sowie ökonomische und administrative Bedingungen bei der Realisierung einzelner Umwandlungspfade eine wichtige Rolle.

Mit der Verbrennung, der Vergasung, der Pressung/Veresterung und der Vergärung stehen vier Haupt-Konversionspfade zur Verfügung, mit denen sich die Biomasse in der Schweiz in Form von Wärme, Strom und Treibstoff nutzen lässt. Dabei ist jedoch zu beachten, dass die Technologien für eine energetische Nutzung erst teilweise im praktischen Einsatz, andere dagegen noch im Entwicklungsstadium sind.

In Tabelle 1 sind entsprechend den Konversionspfaden Technologien aufgeführt, welche in der Schweiz bereits angewendet werden oder die sich im Entwicklungsstadium befinden. Zusätzlich sind nach eigenen Recherchen konkrete Firmen aufgeführt, die Treibstoffe aus Biomasse produzieren. Diese Angaben in Verbindung mit Abbildung 5 geben einen Hinweis darauf, wie weit eine Technik in der Schweiz bereits im praktischen Einsatz bzw. in Planung ist.

Abbildung 5: Anzahl Anlagen zur Treibstoffherstellung aus erneuerbaren Rohstoffen (Stand: 14. Mai 2007)



Quelle: EFD (2007)

In der Schweiz sind mit dem 14. Mai 2007 insgesamt 47 Pilot- oder Demonstrationsanlagen (P/D-Anlagen) vom Eidg. Finanzdepartement gutgeheissen, Treibstoffe aus erneuerbaren Rohstoffen zu produzieren. Davon sind 22 Anlagen produktiv, die sich entsprechend

Abbildung 5 auf die einzelnen Treibstoffe verteilen. Durch die Produktion der Treibstoffe im Inland sind diese Anlagen bisher von der Mineralölsteuer befreit. Nach Angaben der Eidg. Zollverwaltung (EZV, 2007c) wurden im Jahr 2006 einzig ca. 1.3% der im Inland abgesetzten Menge an Biodiesel importiert und damit versteuert.

Tabelle 1: Konversionspfade, Technologien und Stand der Verbreitung in der Schweiz

| Konversionspfad | Anwendung | Anlagen in der Schweiz | |
|--|--|---|---|
| | | im Betrieb | in Planung/Entwicklung |
| Verbrennung | | | |
| Verbrennung biogener Festbrennstoffe | Einzelraumheizungen mit Holz | ca. 600'000 in 2005 ^{a)} Wärme | |
| | Gebäudeheizungen mit Holz | ca. 91'000 in 2005 ^{a)} Wärme | |
| | Automatische Feuerungen mit Holz | ca. 5'300 in 2005 ^{a)} Wärme, über WKK auch Strom | |
| | Feuerungen mit Holzanteilen | 44 in 2005 ^{a)} Wärme, kleiner Teil Strom | |
| Bio-chemische Umwandlung | | | |
| Vergärung Biogas | Biogasanlagen Landwirtschaft | 72 in 2005 ^{a)} Strom, Wärme | - weitere Anlagen im Bau/ in der Planung ^{b)} |
| | Biogasanlagen Gewerbe/Industrie | 14 in 2005 ^{a)} Strom, Erdgas, Treibstoff, Wärme (Kompogas) | - weitere Anlage in Klingnau im Bau ^{c)} - ARA-Klärgas mit Gas-einspeisung |
| Vergärung Alkohol | Bioethanol | Borregaard Schweiz AG Treibstoff | - etha+ [®] (Projekt Alcosuisse: Pilotphase) ^{d)} - Betalool ^{h)} |
| Thermo-chemische Umwandlung | | | |
| Vergasung | synthetische Kraftstoffe Fischer-Tropsch-Synthese (Biomass-to-Liquid, BtL) | | - noch keine Marktreife ^{e)+f)} (10-15 Jahre) |
| | Methanol | | in Entwicklung ^{e)+f)} |
| | Dimethylether | | in Entwicklung ^{e)+f)} |
| Physikalisch-chemische Umwandlung | | | |
| Pressung/Extraktion | Pflanzenöl | <ul style="list-style-type: none"> • AgroEnergie GmbH^{h)} • Biodrive AG^{h)} • Schneider Protec^{h)} | |
| Veresterung | Pflanzenmethylester (PME) oder Fettsäuremethylester (FME) | <ul style="list-style-type: none"> • Eco Energie Etoy^{h)} • BioPower Fardin GmbH^{h)} • RB Bioenergie AG^{h)} (Frittier-, Rapsöl und tierische Fette) • Ekura^{h)} (aus Altspeiseöl) • Biocarb SA^{h)} • Werner Humbel^{h)} (Biodiesel, Lebensmittelrecycling) | neue Anlage in Uri (Admano) ^{g)} |


Quellen: a) KAUFMANN UND RIGASSI (2006), b) BIOMASSENERGIE (2007), c) KOMPOGAS (2007), d) etha+[®] (2007), e) FNR (2005b), f) KAMPA UND WOLFENSBERGER (2007), g) ADMANO (2007), h) vgl.

Tabelle A 1

Tabelle 2 bietet eine Übersicht zu organischen Rohstoffen, die Grundlage entlang der jeweiligen Umwandlungspfade sein können. Farblich markiert sind solche, die landwirtschaftlichen Ursprungs sind. Die schraffiert dargestellten Felder beinhalten auch Rohstoffe, die nicht in der Schweiz angebaut werden bzw. anfallen. Es ist zu erwähnen, dass für die Verbrennung, die Vergasung und teilweise die Vergärung zu Biogas allgemein auch weitere der in Tabelle 2 aufgeführten Rohstoffe verwendet werden können. Diese sind jedoch nicht markiert, weil es keine landwirtschaftlichen Rohstoffe innerhalb der betrachteten Systemgrenzen dieses Projektes sind.

Tabelle 2: Landwirtschaftliche Rohstoffe als Grundlage zur Energiebereitstellung

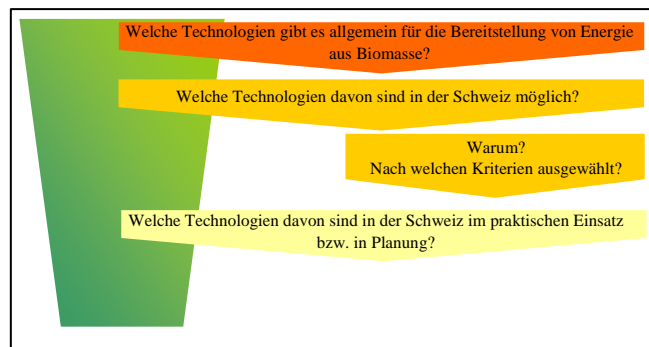
| Mögliche Rohstoffe Landwirtschaft = farblich markiert | Verbrennung | Vergasung | Pressung/ Extraktion | Veresterung | Vergärung | |
|--|-------------|-----------|-------------------------|-------------|-----------|---------|
| | | | | | Biogas | Ethanol |
| Rückstände, Nebenprodukte Stroh, Landschaftspflegeheu, halmgutartige Grünabfälle, Ausputzgetreide | ja | ja | | | ja | |
| Reststoffe aus Industrie Altspeise- und Tierfette, Speisereste | ja | ja | | ja | ja | |
| Reststoffe aus Industrie Schlempe, Trester, Prozesswasser, Molke, Fruchtsäfte, Pressrückstände | ja | ja | | | ja | ja |
| Reststoffe aus Kommunen Rasenschnitt, Obst- und Gemüseabfälle | ja | ja | | | ja | |
| Energiepflanzen Getreideganzpflanzen, ein- und mehrjährige Energiegräser, Mais | ja | ja | | | ja | |
| Holz Wald- und Restholz, Schnellwuchsplantagen | ja | ja | | | | ja |
| Ölpflanzen Raps, Sonnenblume, Soja, Palmen und Oliven | ja | ja | ja | ja | | |
| zucker-, stärke- und cellulosehaltige Pflanzen Weizen, Roggen, Kartoffeln, Mais, Zuckerrüben, Zuckerrohr | ja | ja | | | | ja |
| Hofdünger Gülle, Mist | ja | ja | | | ja | |

 Anfall/Anbau in der Schweiz

 Anfall/Anbau auch nicht in der Schweiz

Quellen: CORTESI (2007), etha+ (2007), FNR (2006a), FNR (2005a+b), GUBLER ET. AL (2007), HARTMANN ET. AL (2003), KAMPA UND WOLFENBERGER (2007), ZAH ET. AL (2007)

3 Mögliche Technologien in der Schweiz



Im vorherigen Abschnitt sind die allgemeinen Konversionspfade für die Bereitstellung von Energie aus Biomasse aufgezeigt worden. In Abbildung 6 sind die Kriterien aufgeführt, nach denen wir aus den allgemeinen Pfaden diejenigen ausgewählt haben, die für die weiteren Betrachtungen berücksichtigt sind. Die Auswahl lehnt sich auch an die aufgezeigten Systemgrenzen in Abbildung 3 an.

Abbildung 6: Kriterien für Technologien in der Schweiz

- Sektor Landwirtschaft
- Anbau in der Schweiz möglich und auch praktiziert
- Rohstoffanfall hauptsächlich in der Schweiz
- Stand der Technik (Einsatz in Praxis, aber mindestens Pilotanlage)
- Zeithorizont bis 2015

Basierend auf den Angaben aus Tabelle 1 und Tabelle 2 sind in Abbildung 7 nur noch diejenigen Konversionspfade eingezeichnet, die den Kriterien entsprechen. Diese Pfade beruhen heute in der Schweiz hauptsächlich auf inländischen Rohstoffanfall und sind im praktischen Einsatz.

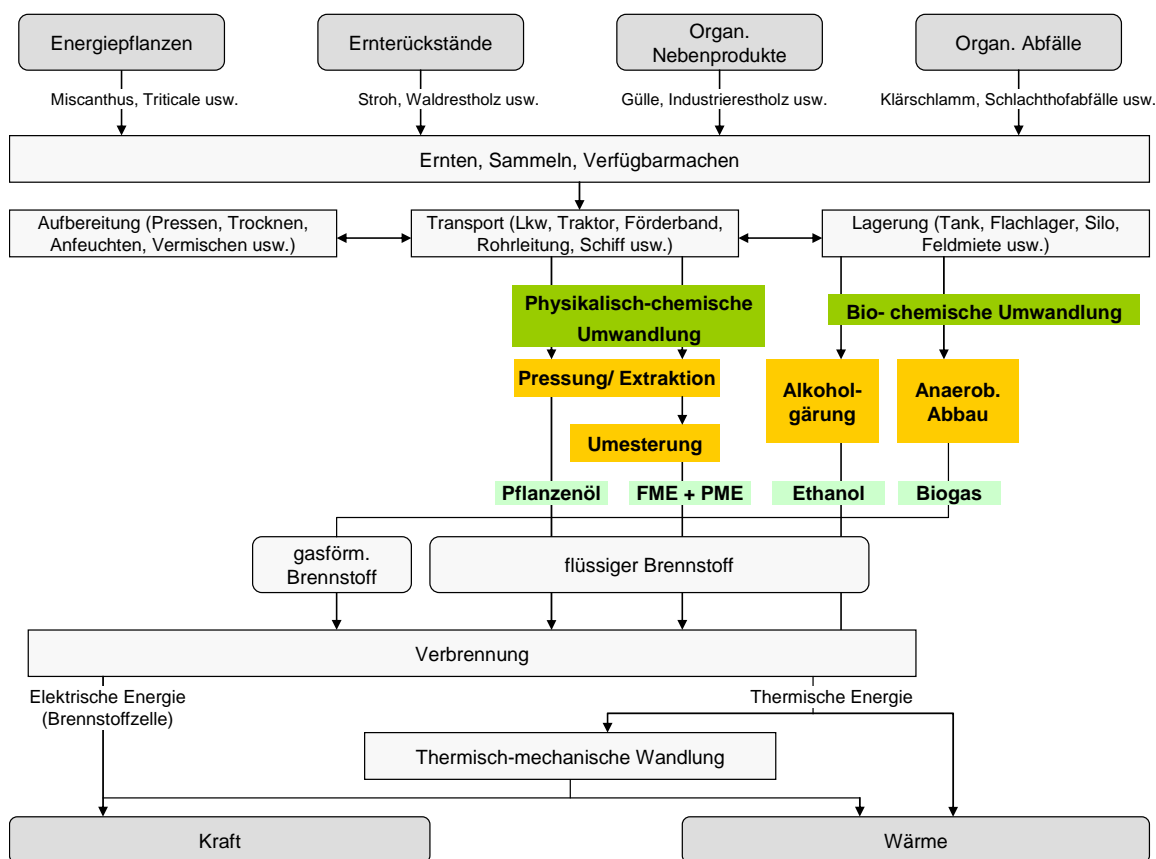
Von den anfänglich vier Haupt-Konversionspfaden bleiben damit noch die Physikalisch-chemische Umwandlung sowie die Bio-chemische Umwandlung mit ihren jeweiligen Ausprägungen Pressung/Veresterung bzw. Vergärung.

Der Pfad der Thermo-chemischen Umwandlung mit der Vergasung von Biomasse zur Energiebereitstellung befindet sich noch im Erprobungsstadium und wird deshalb bei den weiteren Ausführungen nicht weiter berücksichtigt. Die Recherchen haben für die Schweiz keine Anlage im Pilotbetrieb bzw. im praktischen Einsatz ergeben. Die bisherigen Erkenntnisse aus Pilotanlagen in anderen Ländern sind jedoch vielversprechend. Die Firma Choren Industries GmbH in Freiberg/Deutschland beispielsweise plant dieses Jahr die Inbetriebnahme einer ersten Anlage mit einer jährlichen Produktionskapazität von 15'000 Tonnen

synthetischem Kraftstoff. Weitere fünf Anlagen mit jeweils 200'000 Tonnen Jahresproduktion sind in Planung (CHOREN, 2007).

Weiterhin wird der Pfad der Verbrennung in den weiteren Ausführungen aus den folgenden beiden Gründen nicht weiter berücksichtigt. Zum einen ist der Rahmen dieser Arbeit auf den landwirtschaftlichen Sektor begrenzt, Energie aus Biomasse zu produzieren. Holz liegt wie in der Einleitung aufgeführt ausserhalb dieser Systemgrenze für unsere Betrachtungen. Zum anderen wird die Verbrennung von Stroh oder Getreide in der Schweiz nicht praktiziert. Nach BRINER (2007) sind die Öfen für die Verbrennung von Biomasse deutlich teurer im Vergleich zu Heizöl. Auch ist die Problematik der anfallenden Schadstoffe bei der Verbrennung noch nicht ausreichend gelöst. Die Recherchen haben weiterhin ergeben, dass Energiepflanzen (Getreide, Mais) zur Produktion von Energie, insbesondere für Treibstoff, zum heutigen Zeitpunkt nicht grossflächig angebaut und damit nachfolgend auch nicht berücksichtigt werden.

Abbildung 7: Konversionspfade in der Schweiz entsprechend den Kriterien



Quelle: in Anlehnung an KALTSCHMITT ET. AL (2006)

Die Tabelle 3 gibt entsprechend der verbliebenen Konversionspfade in obiger Abbildung eine Zusammenfassung der Rohstoffe, die in der Schweiz anfallen bzw. angebaut werden. Darauf basierend wird in Tabelle 3 zusätzlich aufgeführt, welches Energiepotential in den jeweiligen Nutz- bzw. Endenergieträgern (Strom, Wärme oder Treibstoff) enthalten ist. Die Referenzwerte für Benzin, Diesel, Heizöl und Erdgas sind in Tabelle A 2 im Anhang angegeben.

Tabelle 3: Konversionspfade mit praktischer Anwendung in der Schweiz inkl. Energiepotential (Heizwert) aus Biomasse der Schweiz

S = Strom

W = Wärme

T = Treibstoff

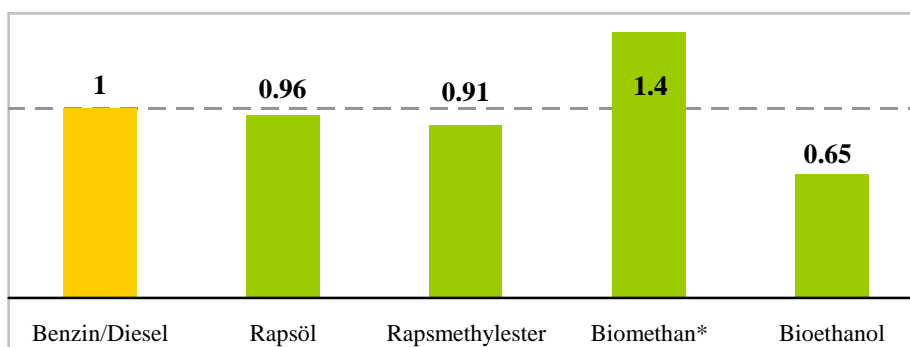
| Mögliche Rohstoffe Landwirtschaft aus der Schweiz | Pressung/ Extraktion | Veresterung | Vergärung | |
|--|---|---|--|--|
| | | | Biogas | Ethanol |
| Reststoffe aus Industrie Schlempe, Trester, Prozesswasser, Molke, Fruchtsäfte, Pressrückstände | | | (S + W) Heizwert*: 4-7.5 kWh/m ³ (T) Biomethan (50 MJ/kg bzw. 36 MJ/m ³) | (T) Bioethanol (26.8 MJ/kg bzw. 21.17 MJ/l) |
| Reststoffe aus Kommunen Rasenschnitt, Obst- und Gemüseabfälle | | | dito | |
| Ölpflanzen Raps, Sonnenblume | (T) Rapsöl (37.6 MJ/kg bzw. 34.59 MJ/l) ^{a)} (T) Sonnenblume (37.1 MJ/kg) | (T) RME (37.1 MJ/kg bzw. 32.65 MJ/l) | | |
| zucker-, stärke- und cellulosehaltige Pflanzen Weizen, Roggen, Kartoffeln, Zuckerrüben | | | | dito |
| Hofdünger Gülle, Mist | | | dito | |

* bezogen auf m³ Biogas abh. vom Methangehalt (1 kWh = 3.6 MJ -> 14.4 – 27 MJ/m³)

Quelle: KAMPA UND WOLFENBERGER (2007)

Das Kraftstoffäquivalent von Treibstoffen, die aus Biomasse hergestellt werden können, ist in Abbildung 8 dargestellt. Hiermit ist gemeint, wieviel Einheiten Diesel/Benzin durch 1 Einheit Treibstoff aus Biomasse substituiert werden können.

Abbildung 8: Kraftstoffäquivalente von Treibstoffen aus Biomasse in Liter

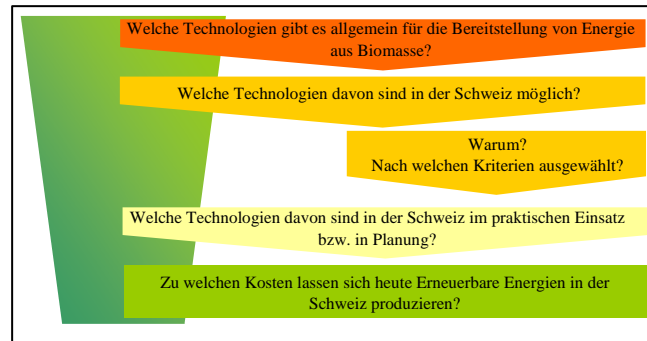


*Angaben für Biomethan in kg (1 kg Biomethan ersetzt 1.4 l Benzin)

Quelle: KAMPA UND WOLFENBERGER (2007)

Der Energieanfall aus den unterschiedlichen Rohstoffträgern ist beträchtlichen Schwankungen unterworfen. Die Bandbreiten beruhen auf diversen Gründen, wie beispielsweise pflanzenbaulichen oder tierhalterischen Faktoren. Eine Zusammenstellung von Energieausbeuten tierischer und pflanzlicher Rohstoffe ist im Anhang in den Tabellen A3 und A4 aufbereitet. Sie bilden auch die Grundlage für die Verwendung bei den späteren Modellrechnungen.

4 Wirtschaftlichkeit zur Erzeugung von Energien aus Biomasse in der Schweiz



Mit der Vergärung zu Biogas bzw. Ethanol, der Pressung/Extraktion zu Pflanzenöl sowie der Veresterung zu Pflanzenmethylester sind die technischen Möglichkeiten aufgeführt, die nach den Kriterien aus Abbildung 6 für die Schweiz aktuell eine Rolle spielen bzw. spielen könnten. Ob diese Technologien auch wettbewerbsfähig sind im Vergleich zur Produktion von Energie aus herkömmlichen Rohstoffen, ist Gegenstand der folgenden Ausführungen.

Für aussagekräftige Ergebnisse ist es notwendig, eine vergleichbare Basis zu finden, mit der Energie aus Biomasse mit solcher aus Fossilen verglichen werden kann. Dies hat sich bei der Recherche sowohl in der Literatur als auch bei der Befragung potentieller Produzenten als schwierig erwiesen. Aus diesem Grund sind mit den vorhandenen Informationen nur indirekte und damit auch nur grob annähernde Aussagen möglich.

Die folgenden Abbildungen geben einen Überblick zu den Kosten, zu denen die jeweiligen Nutz- bzw. Endenergien (Strom, Wärme, Treibstoff) in der Schweiz produziert werden können. Dieser Vergleich basiert auf der Produktion der Energien aus Biomasse oder fossilen Rohstoffen. Die Ergebnisse sind teilweise nur bedingt vergleichbar, da aus den Angaben in der Literatur nicht immer klar hervorgeht, aus welchen Komponenten sich die Kosten zusammensetzen. Es wird bei den entsprechenden Abbildungen jeweils separat erläutert, wie sich die Kosten zusammensetzen.

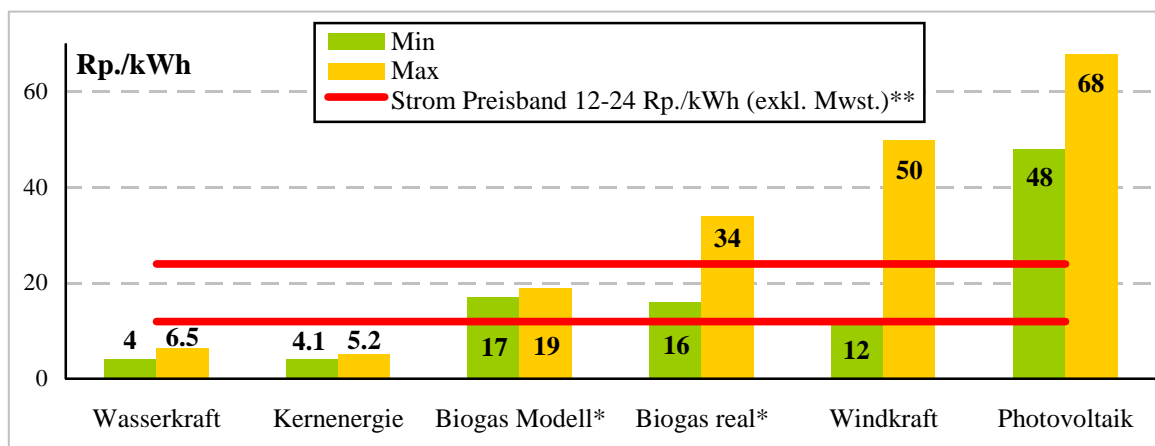
4.1 Strom

Die Angaben in Abbildung 9 zeigen die Produktionskosten, zu denen Strom in der Schweiz auf verschiedenen Wegen produziert werden kann. Demgegenüber ist zusätzlich die Preisspanne für Strom abgebildet, zu dem der Konsument den Strom beziehen kann. Neben der Windkraft (bei einer hohen Sensitivität) stehen mit Biogasanlagen Techniken zur Verfügung, mit denen konkurrenzfähig Strom aus erneuerbaren Energien produziert werden kann. Je nach Erlös pro erzeugter kWh ist dabei auch ein Gewinn zu erzielen. Die Kosten für die Erzeugung von Strom aus Biomasse sind in den Literaturangaben mit einem bottom-up-Ansatz hergeleitet. Hierzu wurden die Produktionskosten ausgehend von den Investitions- und Arbeitskosten errechnet.

Die erneuerbare Produktion von Strom (ohne Wasserkraft) hat einen Anteil von 1.8% an der gesamten Produktion von Elektrizität in der Schweiz im Jahr 2005 (BFE, 2006). Davon entfallen ca. 1.4% auf Elektrizität aus Abfall sowie 0.07% auf Strom aus Biomasse (inkl.

Biogas aus der Landwirtschaft und Holz). Im Vergleich dazu beträgt der Anteil der Wasserkraft an der gesamten Produktion von Elektrizität in der Schweiz 56.6% sowie 41.6% aus nicht erneuerbarer Stromproduktion.

Abbildung 9: Produktionskosten für **Strom** aus Biomasse im Vergleich zu anderen Erzeugungswegen in der Schweiz



* **Biogas Modell** = Ergebnis von Modellrechnungen ***Biogas real** = erfragte Ergebnisse realer Anlagen

** **Strompreis** = mittlerer Preis über alle Kategorien „Haushalte“ aller Elektrizitätsverteilunternehmen (EVU) der Schweiz (inkl. fixe Gebühren (Grundgebühr, Leistungspreis, Zählermiete) und konsumabhängigen Energiegebühren)

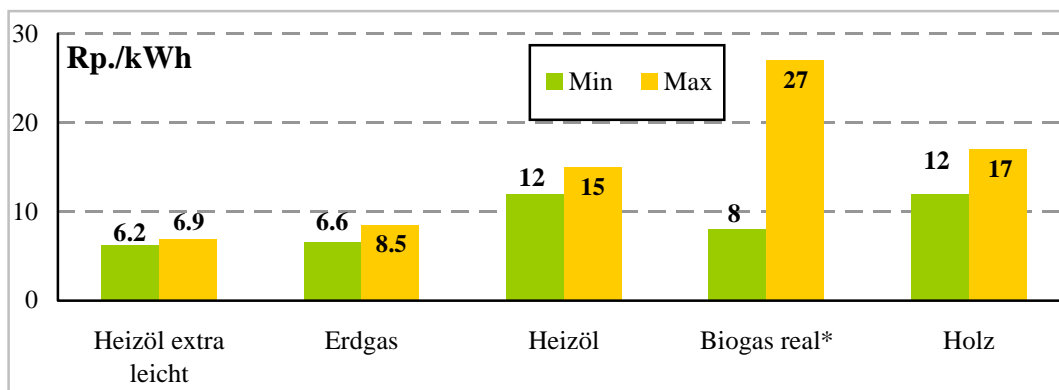
Quellen: Tabelle A 5, Tabelle A 6 und Tabelle A 7 im Anhang (mit ausführlichen Quellen)

Mit dem Vernehmlassungsentwurf der Energieverordnung (EnV, 2007) wird eine Grundvergütung für Biomasseenergieanlagen festgelegt, die in Abhängigkeit von der Leistungsklasse bis zu 24 Rp./kWh elektrischer Energie betragen kann. Ein zusätzlicher Bonus bis zu 15 Rp./kWh je nach Leistungsklasse kann für landwirtschaftliche Biomasse (u.a. Hofdünger, Ernterückstände, Reststoffe) vergütet werden, wenn der Anteil nicht landwirtschaftlicher Co-Substrate $\leq 20\%$ sowie der Anteil von Energiepflanzen $\leq 10\%$ (bezogen auf die Frischmasse) beträgt. Abschliessend kann für die externe Nutzung der anfallenden Wärme ein WKK-Bonus (Wärme-Kraftkopplung) von 1 Rp./kWh gezahlt werden, wenn die Mindestanforderung (10% extern genutzte Wärme) um weitere mindestens 10% übertroffen wird.

4.2 Wärme

In Abbildung 10 sind die Kosten für die Produktion von Wärme mit verschiedenen Technologien in der Schweiz abgebildet. Mit der Erzeugung von Wärme aus Biogas mittels Wärmekraftkopplung (WKK) existiert eine Technik, die kompetitiv betrieben werden kann, allerdings mit einer grossen Spannbreite. Die beiden Angaben zu Heizöl beruhen auf zwei unterschiedlichen Quellenangaben und sind der Vollständigkeit halber beide aufgeführt (vgl. Tabellen A5 und A6 im Anhang).

Abbildung 10: Produktionskosten für **Wärme** aus Biomasse im Vergleich zu anderen Erzeugungswegen in der Schweiz



***Biogas real** = erfragte Ergebnisse realer Anlagen

Quellen: Tabelle A 5, Tabelle A 6 und Tabelle A 7 im Anhang (mit ausführlichen Quellen)

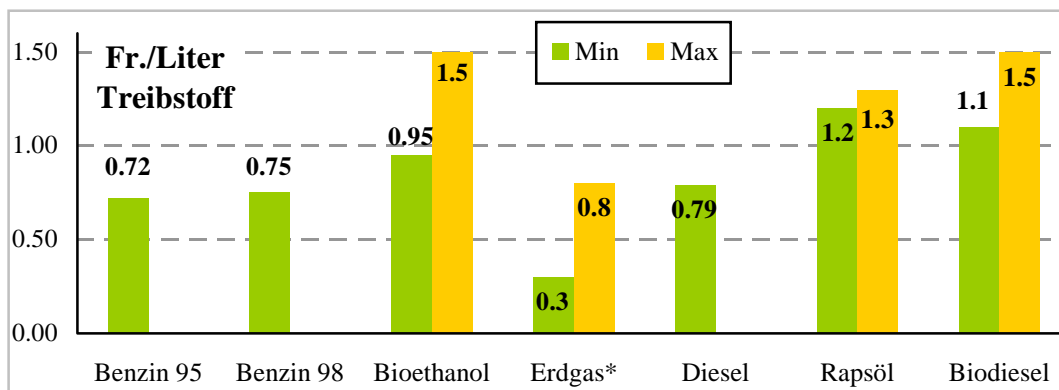
Die Kosten für Wärme aus Biomasse sind analog zu den Stromkosten ausgehend von den Investitions- und Arbeitskosten den jeweiligen Quellen entnommen. Dagegen sind die Kosten für Wärme aus fossilen Rohstoffen in einem top-down-Ansatz von den Autoren annäherungsweise abgeleitet, in dem die Konsumentenpreise um die Steuern und Abgaben bereinigt wurden. Für den verbliebenen Betrag ist zu berücksichtigen, dass er noch eine Marge beinhaltet.

4.3 Treibstoff

Die Produktionskosten für Treibstoffe aus Biomasse im Vergleich zu fossilen Rohstoffen sind in Abbildung 11 dargestellt. Diese Kosten beziehen sich hier auf den jeweiligen Treibstoff. Die Kosten für Treibstoffe aus fossilen Rohstoffen sind wie bei der Wärme in einem top-down-Ansatz von den Autoren annäherungsweise abgeleitet, in dem die Konsumentenpreise um die Steuern und Abgaben, jedoch nicht um eine Handelsspanne bereinigt wurden. Dagegen entsprechen die Kosten für Treibstoffe aus Biomasse den Angaben aus der Literatur.

Deutlich erkennbar sind die Treibstoffe aus Biomasse teurer in der Produktion als ihre entsprechenden fossilen Substitute. Biogas als Treibstoff ist in diesen Ausführungen nicht berücksichtigt, weil es momentan keine landwirtschaftliche Biogasanlage gibt, die Biogas zu Erdgas und damit zu einem Treibstoff aufbereitet. Diese Aufbereitung wird statt dessen von industriellen Biogasanlagen vorgenommen, die jedoch nicht Gegenstand der Betrachtung sind (vgl. Abbildung 3).

Abbildung 11: Produktionskosten (inkl. Handelsspanne) für **Treibstoff** aus Biomasse im Vergleich zu anderen Erzeugungswegen in der Schweiz

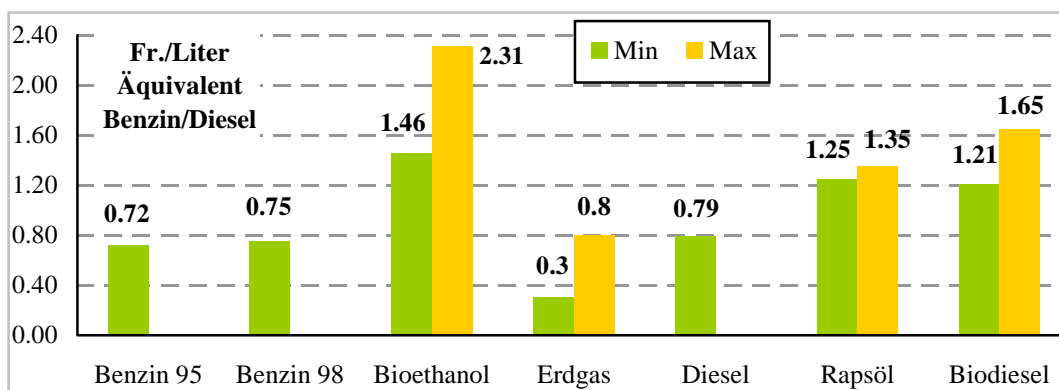


*Erdgas zur besseren Vergleichbarkeit in Fr./Liter umgerechnet (Erdgas wird an der Tankstelle in Fr./kg verkauft -> angegebenen Werte entsprechen 0.47 – 1.10 Fr./kg Erdgas)

Quellen: Tabelle A 5 und Tabelle A 7 im Anhang (mit ausführlichen Quellen)

Basierend auf den Kraftstoffäquivalenten der jeweiligen Treibstoffe aus Abbildung 8 sind in Abbildung 12 die resultierenden Produktionskosten aufgeführt, um 1 Liter Benzin oder Diesel durch Treibstoffe aus Biomasse ersetzen zu können. Die Treibstoffe aus Biomasse (Ethanol, Rapsöl und Biodiesel) liegen mit ihren Erzeugungskosten ohne Berücksichtigung von Steuern oder Abgaben teilweise deutlich über den Kosten für Treibstoffe aus Fossilen.

Abbildung 12: Produktionskosten für **Treibstoff** aus Biomasse und aus Fossilen bezogen auf das jeweilige Kraftstoffäquivalent (Basis: Benzin/Diesel = 1)

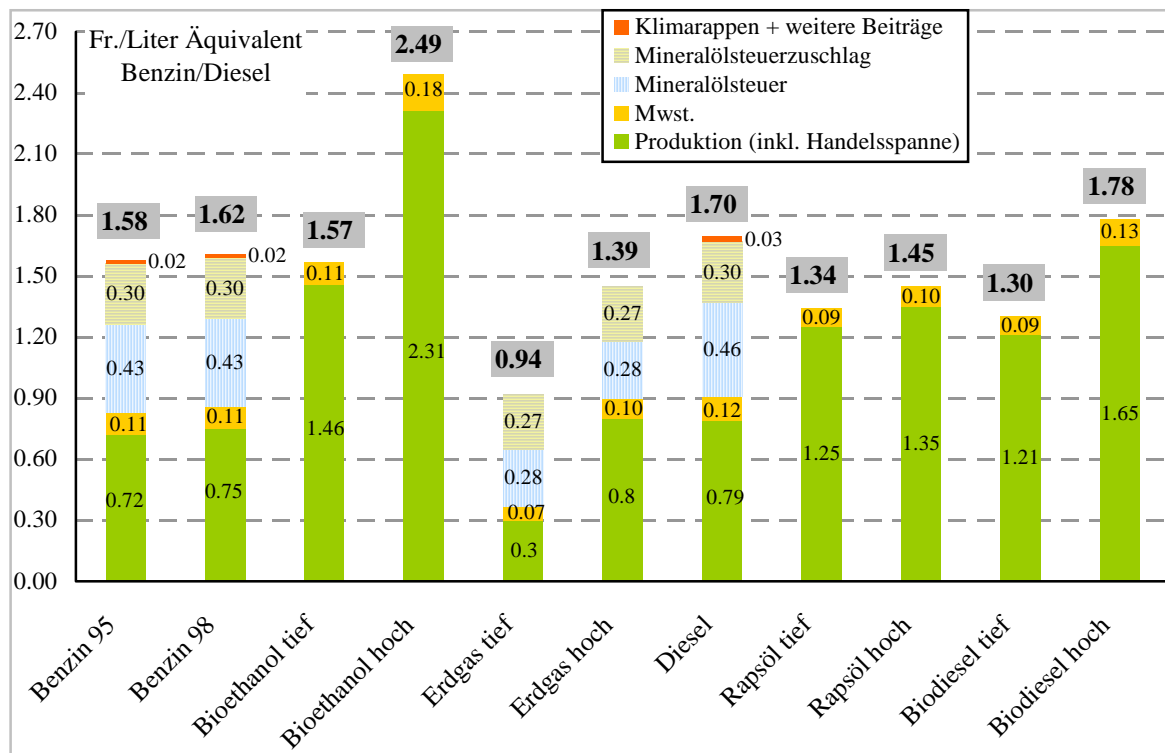


Quellen: Tabelle A 5 und Tabelle A 7 im Anhang (mit ausführlichen Quellen) in Verbindung mit Abb. 8

Ausgehend von den Angaben in vorheriger Abbildung werden in Abbildung 13 zusätzlich die Steuern und Abgaben berücksichtigt. Daraus resultiert der Preis, den der Endkonsument für den entsprechenden Treibstoff unter heutigen Bedingungen zahlt.

Die Angaben tief bzw. hoch beziehen sich auf die Spanne der in den vorherigen Abbildungen angegebenen unteren bzw. oberen Werte jeweiliger Treibstoffe. Jene, produziert aus Biomasse, sind unter heutigen Bedingungen nur kompetitiv bei einer Befreiung von der Mineralölsteuer, wie es bei Pilot- und Demonstrationsanlagen (P/D-Anlagen) der Fall ist.

Abbildung 13: Zusammensetzung der Konsumpreise für **Treibstoff** aus Biomasse und Fossilen bezogen auf das jeweilige Kraftstoffäquivalent (Basis: Benzin/Diesel = 1)



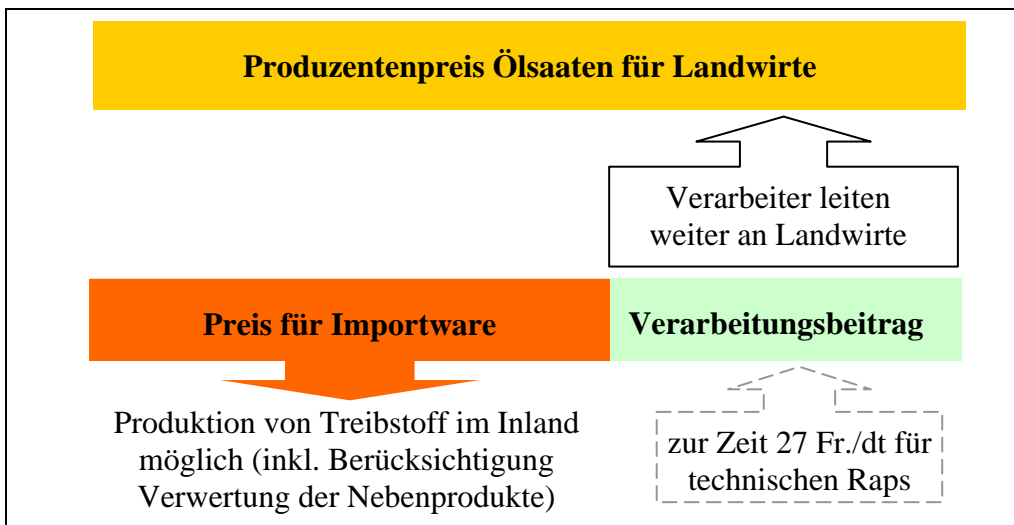
Quellen: Abbildung 12 und Tabelle A 5 im Anhang (mit ausführlichen Quellen)

Mit Rapsöl sowie unter günstigen Bedingungen auch Biodiesel sowie Bioethanol sind Treibstoffe aus Biomasse mit einer Befreiung von der Mineralölsteuer in einem vergleichbaren Preisband wie die fossilen Treibstoffe.

4.3.1 Rapsöl und Biodiesel

Nach Recherchen der Autoren ist die Produktion von Treibstoffen aus einheimischen Ölsaaten weiterhin jedoch nur in Verbindung mit einem Verarbeitungsbeitrag für technischen Raps in Höhe von momentan 270 Fr./t profitabel. Dieser Verarbeitungsbeitrag senkt die Rohstoffkosten (Ölsaaten aus einheimischer Produktion) auf das Niveau von Importware (vgl. Abbildung 14). Mit dem Preisniveau von Importware (45 – 50 Fr./dt) ist unter heutigen Bedingungen eine wirtschaftliche Produktion von Treibstoffen möglich. Nach Angaben der befragten Produzenten ist jedoch die Verwertung der Nebenprodukte (z.B. Presskuchen an Futtermittelhersteller) dabei unerlässlich. Der Verarbeitungsbeitrag wird nach übereinstimmenden Informationen des Bundesamtes für Landwirtschaft (BLW) und der Branchenorganisation für Getreide, Ölsaaten und Eiweisspflanzen (swiss granum) zum letzten Mal mit der Ernte 2008 ausbezahlt und mit der AP 2011 für die Verwendung zu Speise- und Futterzwecken ersatzlos gestrichen. Für P/D-Anlagen wird jedoch in der zur Zeit in der Anhörung befindlichen Ackerbaubetragsverordnung im Rahmen der Ersten Anhörung der Ausführungsbestimmungen zur Agrarpolitik 2011 ab 2008 pro anerkannter Anlage ein Verarbeitungsbeitrag von maximal Fr. 400'000 beraten.

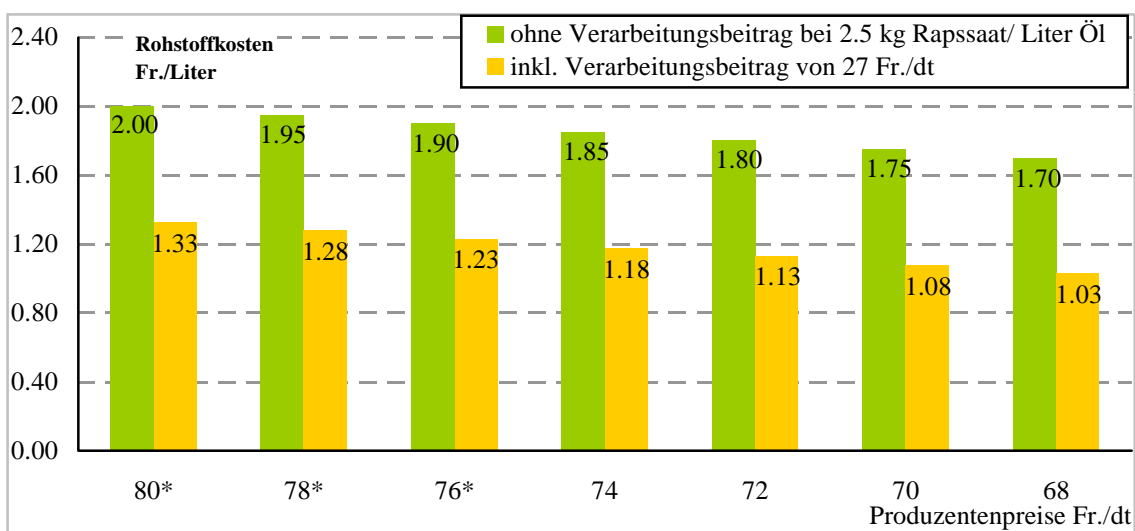
Abbildung 14: Zusammenhang Produktion Treibstoff, Verarbeitungsbeitrag Ölsaaten und Produzentenpreis für Landwirte



Quelle: nach Auskunft verschiedener Produzenten von Treibstoffen aus Biomasse, BLW und swiss granum

Die Auswirkung des Verarbeitungsbeitrages für Ölsaaten auf die resultierenden Rohstoffkosten bei der Verarbeitung zu Treibstoffen aus Biomasse zeigt Abbildung 15. Ausgehend von verschiedenen Produzentenpreisen sind die Rohstoffkosten jeweils mit und ohne Berücksichtigung des Verarbeitungsbeitrages abgebildet. Diese Abbildung ist im Anhang in Abbildung A1 ergänzt um die Werte bezogen auf die Kraftstoffäquivalente von RME und Rapsöl.

Abbildung 15: Rohstoffkosten Raps aus der Schweiz zur Produktion von RME und Rapsöl in Abhängigkeit des Verarbeitungsbeitrages



* Richtpreis 2006: 77.60 – 80.60 Fr./dt (swissgranum, 2007a)

Quelle: Tabelle A-3

Diese Angaben geben einen groben Anhaltspunkt, sind sie doch abhängig zum einen von Spannbreiten bei der Ölausbeute pro Kilogramm Raps. Zum anderen sind die Erlöse anfal-

lender Nebenprodukte (z.B. Rapskuchen) nicht berücksichtigt. Nach Auskunft einiger Treibstoffproduzenten spielen aber genau diese Nebenprodukte eine erhebliche Rolle bei der Rentabilität für die Verarbeitung von Ölsaaten. Die Nebenprodukte fallen zu rund 2/3 bei der Verarbeitung an, das Öl zu circa 1/3.

Die Rohstoffkosten spielen für die Erzeuger und/oder Verarbeiter von Energie aus Biomasse eine bedeutende Rolle. Das zeigen neben den Ergebnissen von GUBLER ET AL. (2007) bzw. von BFE (2007) in ihren Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit von Biogasanlagen auch die Auskünfte von Produzenten von Treibstoffen aus Raps-Biomasse. Für Letztere ist die Aufteilung der Produktionskosten in Abbildung 16 schematisch und annäherungsweise aufgeschlüsselt. Diese anonymisierten Angaben beruhen auf telefonischen Angaben derjenigen Produzenten von Treibstoffen aus Biomasse, die Auskunft gegeben haben. Ein nicht unerheblicher Anteil an Rohstoffen wird heute meist aus dem grenznahen Ausland importiert. Ölsaaten sowie Rapsöl unterliegen keinem Importkontingent (TAGMANN, 2007).

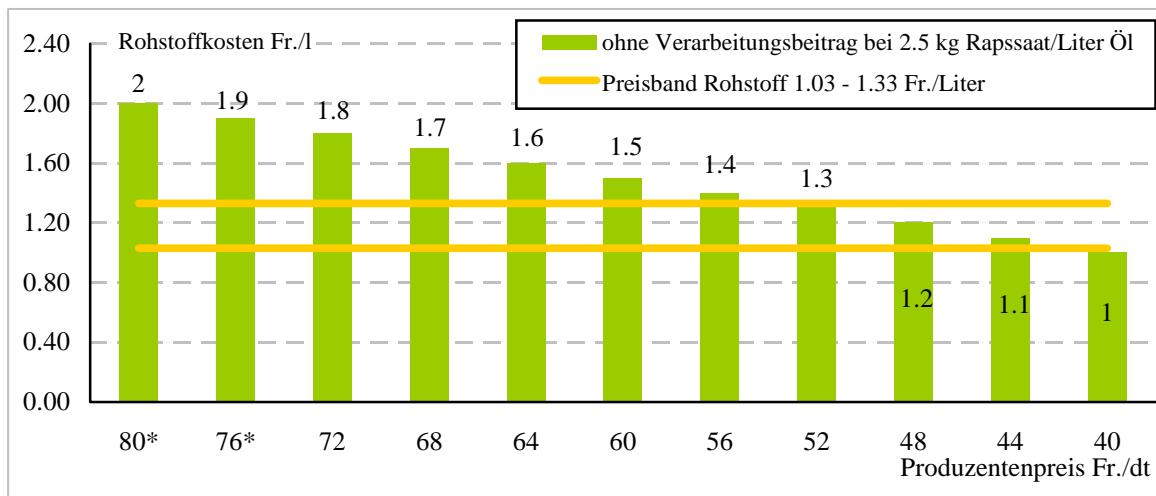
Abbildung 16: Aufteilung der Produktionskosten für Treibstoffe aus Raps-Biomasse

| Schematisch | | |
|---|---|-------------------------------|
| Rohstoff: 60 – 90% | Verarbeitung + Transport 15 – 30% | Marge ?? % |
| Rapsöl (inkl. Verarbeitungsbeitrag) 1.20 – 1.30 Fr./l (vgl. Abbildung 11) | | |
| Rohstoff: 1.03 – 1.33 Fr./Liter | Verarbeitung + Transport 0.20 – 0.25 Fr./l | Marge ?? Fr./l |
| Biodiesel (inkl. Verarbeitungsbeitrag) 1.10 – 1.50 Fr./l (vgl. Abbildung 11) | | |
| Rohstoff: 1.03 – 1.33 Fr./Liter | Verarbeitung + Transport 0.25 – 0.35 Fr./l | Marge ?? Fr./l |

Quelle: nach Angaben verschiedener Produzenten von Treibstoffen aus Biomasse + Abbildung 11

Ohne Verarbeitungsbeitrag und mit der Berücksichtigung des Anteils der Verarbeitung müsste sich der Produzentenpreis einheimischer Rapssaaten um circa 1/3 auf die Höhe von Fr. 53 – 41 pro Dezitonne Raps reduzieren (80 – 68 Fr./dt minus 27 Fr./dt), um für die Produktion von Treibstoffen aus Rohstoffen der Schweiz lohnend zu sein wie in Abbildung 17 dargestellt.

Abbildung 17: Notwendige Produzentenpreise ohne Verarbeitungsbeitrag von Rapssaaten zur Produktion von Treibstoff



* Richtpreis 2006: 77.60 – 80.60 Fr./dt (swissgranum, 2007a)

Quelle: Abbildung 13 und Tabelle A-3

4.3.2 Bioethanol

Für die Produktion von Bioethanol aus Biomasse gibt es nach TAGMANN (2007) Verarbeitungsbeiträge nur für Pilot- und Demonstrationsanlagen (P/D-Anlage). Die maximale Höhe kann nach Art. 10 ABBV (2006) zum jetzigen Zeitpunkt bis 200 Fr./Hektoliter reinem Ethanol (bzw. 4 Rp./kWh produzierter Energie) betragen. Das Projekt der Alcosuisse etha+[®] zählt beispielsweise aufgrund seiner angestrebten Jahresproduktion von mindestens 45 Mio. Liter Ethanol nicht als P/D-Anlage. Zur Zeit existiert keine P/D-Anlage für die Produktion von Bioethanol in der Schweiz.

Analog zu den Treibstoffen aus Ölsaaten wird für P/D-Anlagen jedoch in der zur Zeit in der Anhörung befindlichen Ackerbaubeitragsverordnung im Rahmen der Ersten Anhörung der Ausführungsbestimmungen zur Agrarpolitik 2011 ab 2008 pro anerkannter Anlage ein Verarbeitungsbeitrag von maximal Fr. 400'000 beraten.

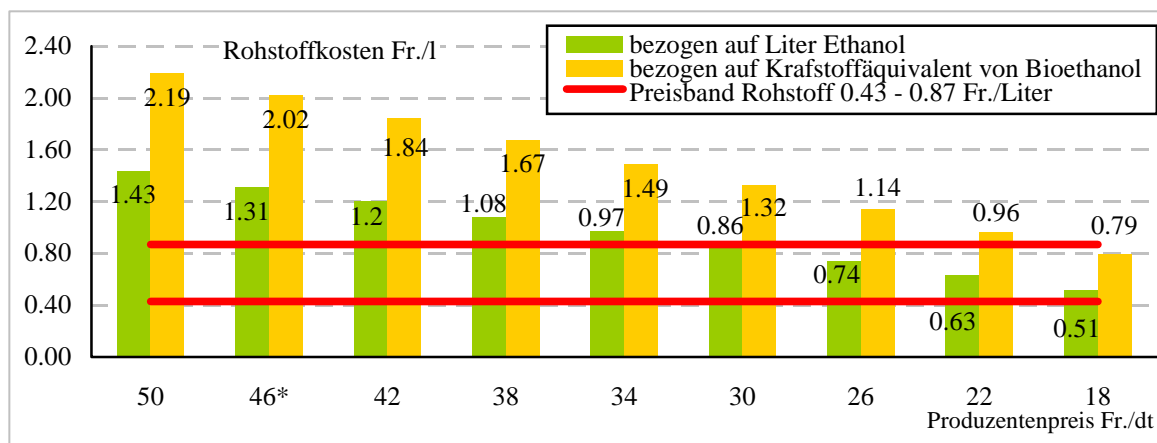
In Abbildung 18 sind die Kosten zur Herstellung von Ethanol basierend auf TANGERMANN UND VON LAMPE (2007) sowie HENNIGES (2007) schematisch aufgeschlüsselt. Letzterer verglich die Wettbewerbsfähigkeit der Bioethanolproduktion u.a. in Brasilien, den USA und Deutschland. Dabei wurden neben Weizen und Zuckerrüben auch Mais sowie Zuckerröhre als Rohstoff berücksichtigt. Während die Kosten bei allen Rohstoffen weitgehend in der gleichen Grössenordnung liegen, besteht der grösste Unterschied in den Kosten der Betriebsmittel. Aus Abbildung 18 geht weiterhin hervor, wie hoch die Rohstoffkosten in der Schweiz sein dürfen, um Produktionskosten für Ethanol von 0.95 – 1.50 Fr./Liter aus Abbildung 11 zu erreichen.

Abbildung 18: Aufteilung der Produktionskosten für Bioethanol als Treibstoff

| Schematisch | | | |
|---|--|---|----------------------|
| Rohstoff: 45 – 58% | Betriebsmittel (inkl. Energie) 14 – 35% | Nebenkosten, Personal, Investition 22 – 28% | Marge ?? % |
| Bioethanol 0.95 – 1.50 Fr./l (vgl. Abbildung 11) | | | |
| Rohstoff: 0.43 – 0.87 Fr./Liter | Betriebsmittel (inkl. Energie) 0.13 – 0.53 Fr./l | Nebenkosten, Personal, Investition 0.21 – 0.42 Fr./l | Marge ?? % |

Quelle: HENNIGES (2007), TANGERMANN UND VON LAMPE (2007) und Abbildung 11

Die resultierenden Rohstoffkosten in Abhängigkeit von verschiedenen Niveaus der Produzentenpreise sind in den Abbildungen 19 bis 22 für Roggen, Weizen, Kartoffeln sowie Zuckerrüben aufgezeigt. Hierbei werden die Rohstoffkosten zum einen bezogen auf 1 Liter des Biotreibstoffes selber (linke Säule), zum anderen auf das Äquivalent für 1 Liter fossilen Kraftstoff (rechte Säule). Die in Tabelle 1 aufgeführten Firmen, die bereits Ethanol produzieren bzw. die planen, Ethanol zu produzieren, verwenden keinen Mais als Rohstoff. Aus diesem Grund wird Mais als Rohstoff bei den folgenden Ausführungen nicht weiter berücksichtigt.

Abbildung 19: Rohstoffkosten **Roggen** aus der Schweiz zur Produktion von Bioethanol

* Richtpreis 2006: 46 Fr./dt (swissgranum, 2007b)

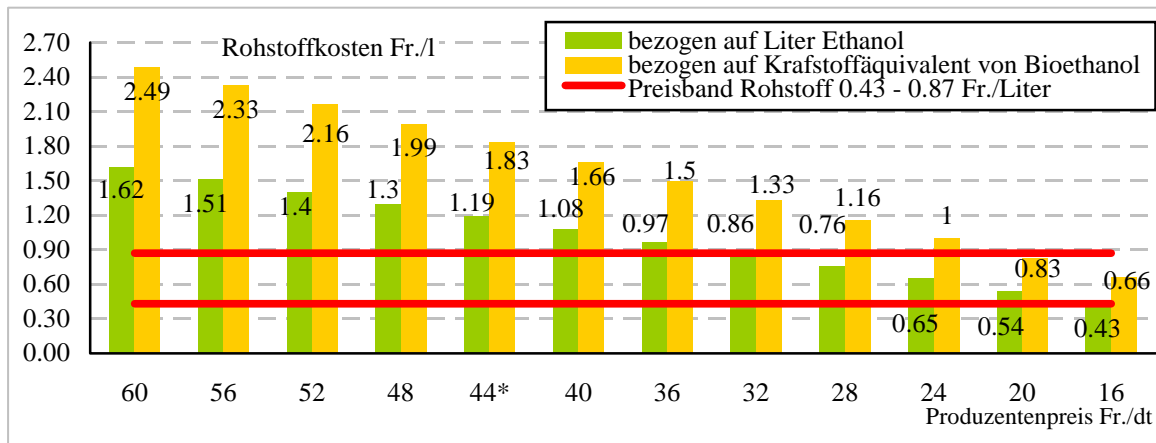
Quelle: Tabelle A-3

Um Roggen als Rohstoff für die Herstellung von Ethanol zu 0.95-1.50 Fr./l (vgl. Abbildung 11) kompetitiv werden zu lassen, muss der heutige Produzentenpreis von 46 Fr./dt um circa 30% auf mindestens 32 Fr./dt bezogen auf 1 Liter Ethanol sinken (linke Säule). Bezogen

auf 1 Liter Äquivalent fossilem Kraftstoff, muss der Produzentenpreis auf unter 19 Fr./dt sinken (rechte Säule).

Auch für die Verwendung von Futterweizen zur Ethanolherstellung müsste sich der Erzeugerpreis um 1/3 von 43.50 Fr./dt auf ca. 32 Fr./dt bezogen auf 1 Liter Ethanol reduzieren (linke Säule). Wird als Bezugsbasis das Kraftstoffäquivalent von Ethanol zu Grunde gelegt, muss der Produzentenpreis auf ca. 20 Fr./dt sinken (rechte Säule).

Abbildung 20: Rohstoffkosten Weizen aus der Schweiz zur Produktion von Bioethanol

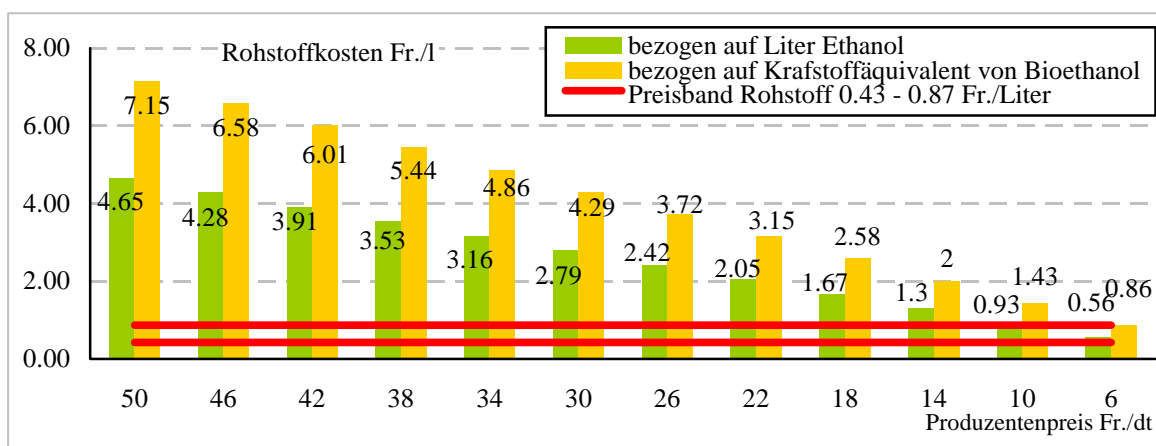


* Richtpreis 2006: 43.50 Fr./dt für Futterweizen (swissgranum, 2007b)

Quelle: Tabelle A-3

Eine Verwendung von Kartoffeln zur Ethanolherstellung würde einen Erzeugerpreis von unter 10 Fr./dt bezogen auf 1 Liter Ethanol bedingen (linke Säule). Die heutigen Produzentenpreise für Speise- und Verarbeitungskartoffeln liegen in einem Bereich von 45 – 24 Fr./dt je nach Sortierung.

Abbildung 21: Rohstoffkosten Kartoffeln aus der Schweiz zur Produktion von Bioethanol

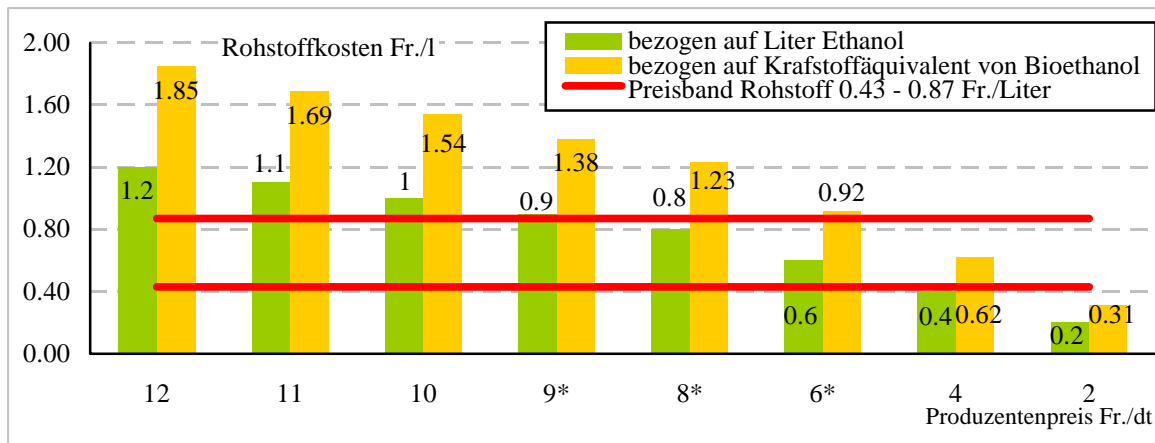


Quelle: Tabelle A-3

Zuckerrüben bilden aus Sicht der Rohstoffkosten bereits mit einem Preis der A-Quote eine Grundlage zur Produktion von Ethanol zu 0.95-1.50 Fr./l (vgl. Abbildung 11) in der Schweiz (linke Säule). Werden die Rohstoffkosten auf das Kraftstoffäquivalent bezogen,

muss Preis für Zuckerrüben als Rohstoff auf unter das Niveau der B-Quote sinken (rechte Säule).

Abbildung 22: Rohstoffkosten **Zuckerrüben** aus der Schweiz zur Produktion von Bioethanol



* Grundpreis Ernte 2007: A-Quote: 9.10 Fr./dt; B-Quote: 7.10 Fr./dt; C3-Quote: 1/3 von B-Quote (Interprofession, 2007)

Quelle: Tabelle A-3

Die Ausführungen in den Abbildungen 19 – 22 zeigen, dass bis auf Zuckerrüben bei den derzeitigen Produzentenpreisen keine agrarischen Rohstoffe aus der Schweiz zu Rohstoffkosten von 0.43 – 0.87 Fr./Liter Ethanol angeboten werden können. Dieses Niveau der Rohstoffkosten resultiert entsprechend Abbildung 18 aus Produktionskosten für Ethanol im Bereich von 0.95 – 1.50 Fr./l (vgl. Abb. 11). Abbildung 11 zeigt jedoch auch deutlich, dass unbeachtet von Steuern oder Abgaben, selbst diese Produktionskosten deutlich über denen der fossilen Treibstoffe liegen.

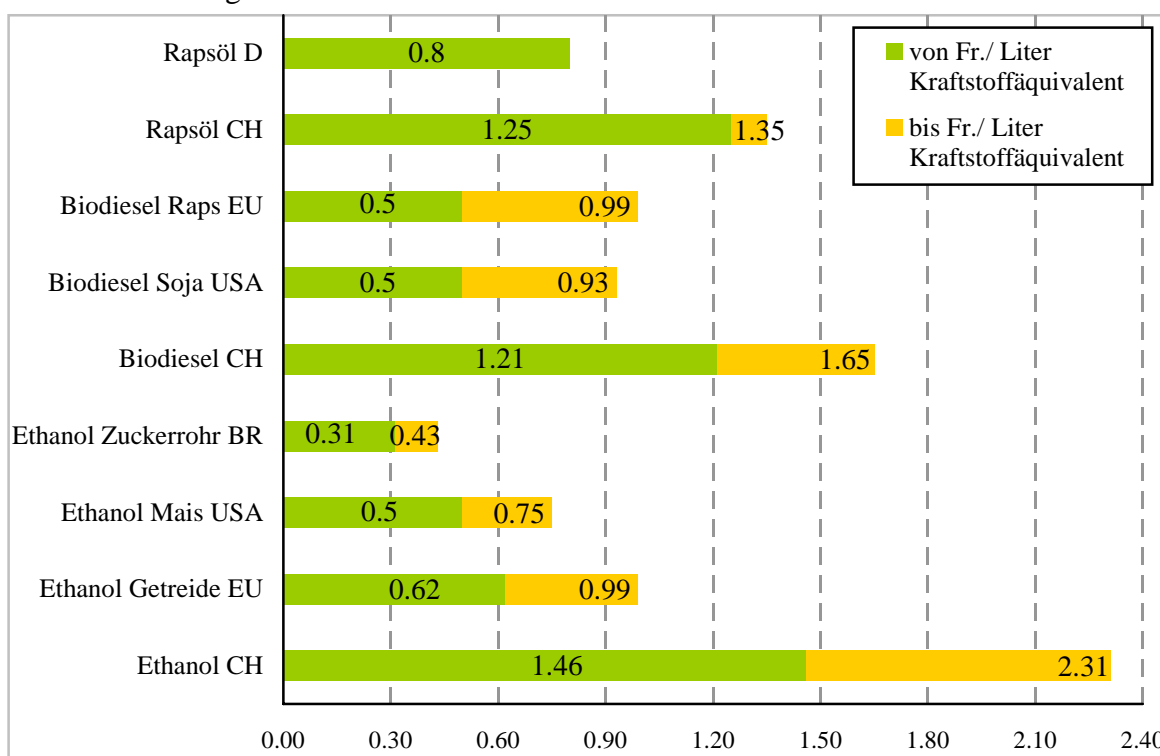
Das wird auch durch die Ausführungen von Herrn Pierre Schaller² vom Projekt etha+ bestätigt. In diesem geplanten Projekt kann nach bisherigen Kalkulationen Ethanol zu 1.38 Fr./Liter produziert werden. Dabei betragen die kalkulierten durchschnittlichen Rohstoffkosten 1.16 Fr./Liter, was rund 84% Anteil an den gesamten Kosten entspricht. Aus Kostengründen bestehen die Rohstoffe hauptsächlich aus Abfällen. Bei Getreide handelt es sich um Mühlenabgang sowie bei Zuckerrüben aus Gründen einer besseren Haltbarkeit bei der Lagerung um die Melasse. Kartoffeln bilden einen weiteren Rohstoff. Hierbei werden nach Angaben von Herrn Schaller die Kartoffeln verarbeitet, die bisher für die Flockenherstellung verwendet wurden. Ergänzend ist anzufügen, dass der Produktionspreis von 1.38 Fr./Liter für Ethanol eher als Obergrenze anzusehen ist. Dieser Preis kann ebenfalls nach Angaben von Herrn Schaller auf 1 Fr./Liter oder gar auf 0.95 Fr./Liter gesenkt werden, wenn die Anlage erst mal den Betrieb aufgenommen und sich alles eingespielt hat.

² Telefonat vom 27. Juni 2007

4.3.3 Treibstoffe aus Biomasse im internationalem Vergleich

Die Produktionskosten für Treibstoffe aus Biomasse sind in der Schweiz im Vergleich zu anderen Ländern oder Regionen zum Teil deutlich höher, was in Abbildung 23 dargestellt ist. Dabei sind für jeden Treibstoff aus Biomasse die jeweiligen Schwankungsbereiche der Produktionskosten mit einer unteren und einer oberen Grenze abgebildet. Auffallend ist, dass die jeweiligen unteren Grenzen für Treibstoffe aus der Schweiz allesamt über den oberen Grenzen für Treibstoffe aus den anderen verglichenen Ländern oder Regionen liegen.

Abbildung 23: Produktionskosten für Treibstoffe aus Biomasse im internationalem Vergleich



Anmerkung: Angaben aus den Quellen umgerechnet mit 1.2419 Fr./\$ für das Jahr 2004 bzw. mit 1.5729 Fr./€ für das Jahr 2006 nach Angaben Statistisches Monatsheft Juni 2007 der Schweizerischen Nationalbank

Quellen: IEA (2004), FNR (2006b), Abbildung 12

4.4 Modell-Biogasanlagen für die Verwendung in S_INTAGRAL

In den vorherigen Kapiteln wurden die Bereiche zusammengefasst, die in den Modellrechnungen Anwendung finden könnten. Aufgrund der Kostenbetrachtungen zählt dazu in erster Linie die Produktion von Biogas. Aus diesem Grund werden in das Modell S_INTAGRAL zwei Anlagentypen integriert, die sich eng an den betrachteten Modellanlagen in GUBLER ET AL. (2007) orientieren. In nachfolgender Abbildung 24 sind diese kurz skizziert.

Abbildung 24: Charakteristika der Biogasanlagen für S_INTAGRAL

| | 120 kW | 240 kW |
|--|---|--------|
| Verhältnis Hofdünger/Co-Substrat % | 100/0 | |
| | 50/50 | |
| Anzahl notwendiger GVE im Modell | 143 | 201 |
| Verhältnis HD-Anfall im Modell | Rind 70%, Schwein 25%, Geflügel 5% | |
| Co-Substrate | analog GUBLER ET AL. (2007) (inkl. Kosten + Entsorgungsgebühren) | |
| Wirkungsgrad elektrisch | 38% | |
| Wirkungsgrad thermisch | 48% | |
| Auslastung pro Jahr | 65% – 88% | |
| Erlös Strom | 0.15 – 0.24 Fr./kWh | |
| Bonus landwirtschaftliche Biomasse | 0.135 – 0.15 Fr./kWh | |
| Wärme Kraft-Kopplung (WKK)-Bonus | 0.01 Fr./kWh | |
| Erlös Wärme | 0.04 Fr./kWh | |
| Investitionskosten, Arbeitsaufwand, Maschinen, Unterhalt, etc. | analog GUBLER ET AL. (2007) | |
| Kapital und Finanzierung | in Anlehnung an S_INTAGRAL | |

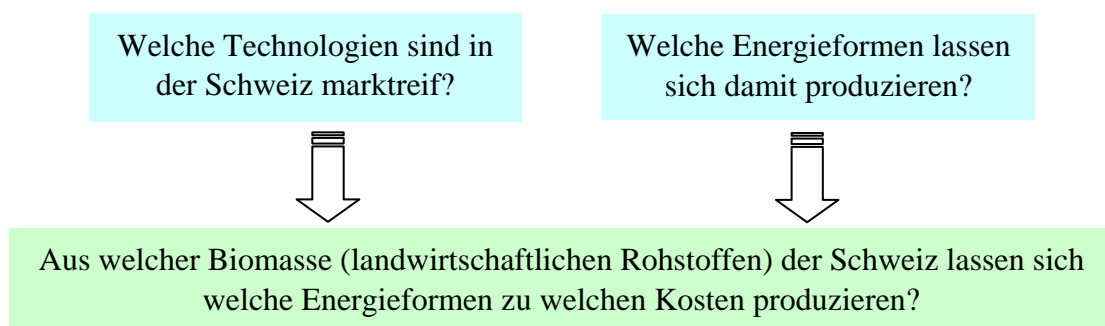
Neben den Biogasanlagen werden auch die Rohstoffe für die Treibstoffproduktion modelliert, ohne jedoch die Erzeugung von Treibstoffen aus Biomasse selber zu modellieren.

5 Untersuchungsergebnisse in Kürze und Folgerungen für die Modellierung

5.1 Ergebnisse der Untersuchungen

Die Ausführungen in diesem Bericht wurden mit dem Hintergrund zusammengestellt, diese in den geplanten Modellrechnungen mit S_INTAGRAL zu verwenden. Die Autoren haben aus diesem Blickwinkel bestehende Quellen zusammengetragen, analysiert und entsprechend aufbereitet.

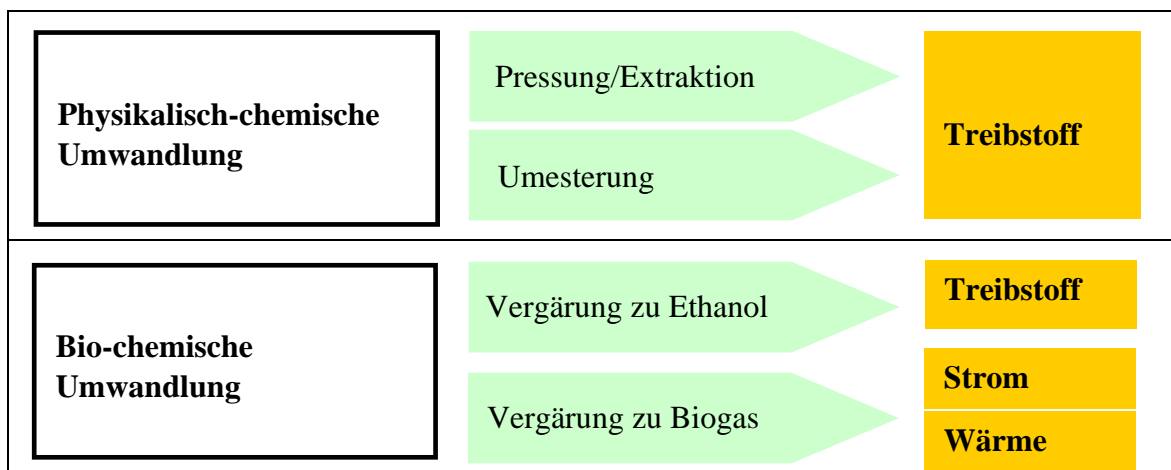
Ausgehend von der Untersuchung der zwei Teilaspekte marktreifer Technologien sowie der damit produzierbaren Energieformen lag der Fokus der vorliegenden Studie auf der Beantwortung folgender Frage:



Mit den Kriterien im Kapitel 3 haben wir aus den vier Haupt-Konversionspfaden

- Verbrennung
- Thermo-chemische Umwandlung
- Physikalisch-chemische Umwandlung
- Bio-chemische Umwandlung

folgende zwei Haupt-Konversionspfade mit ihren Ausprägungen herausfiltern können, die heute in der Schweiz eine relevante Rolle spielen könnten:



Mittels der physikalisch-chemischen und der bio-chemischen Umwandlung lassen sich aus dem Sektor Landwirtschaft in der Schweiz die nutzbaren Energieformen Strom, Wärme und Treibstoff produzieren.

Während sich die thermo-chemische Umwandlung (Vergasung zu Biomass-to-Liquid, BtL) noch im Entwicklungsstadium befindet und damit nicht weiter betrachtet wurde, ist auch die Verbrennung nicht weiter explizit ausgeführt worden, obwohl Holz im weiteren landwirtschaftlichen Umfeld eine Rolle spielt. Der Grund dafür ist, dass sich die vorliegende Untersuchung auf den Agrarsektor beschränkt.

Die Analyse der Kosten für Energien aus Biomasse in der Schweiz in Kapitel 4 zeigt, dass aus heutiger Sicht sowohl Strom als auch Wärme und Treibstoff mit den beiden aufgezeigten Umwandlungspfaden erzeugt werden können. Dies jedoch teilweise mit unterschiedlichen Voraussetzungen.

Strom lässt sich unter günstigen Bedingungen mit Biogasanlagen zu Kosten von 16 Rp./kWh erzeugen. Diese Kosten liegen im Preisband von 12-24 Rp./kWh, in dem Strom in der Schweiz an Haushalte abgegeben wird. Dies gilt selbst ohne die deutlich höheren Grundvergütungen aus dem Vernehmlassungsentwurf der Energieverordnung. Ebenso kann Wärme mittels Biogasanlagen in optimalen Fällen zu 8 Rp./kWh erzeugt, was nur geringfügig über den Kosten für Wärme aus Erdgas bzw. Heizöl mit ca. 6 Rp./kWh liegt.

Dagegen bilden eine Befreiung von der Mineralölsteuer sowie die Gewährung eines Verarbeitungsbeitrages für die Produzenten von Treibstoffen Grundvoraussetzungen zur Herstellung von Kraftstoffen aus Biomasse. Ohne diese sind inländische Treibstoffe aus Biomasse, wie aufgezeigt, kaum kompetitiv. Dies gilt sowohl im Vergleich mit fossilen Kraftstoffen, als auch vor allem im Vergleich mit Treibstoffen aus Biomasse aus anderen Ländern. Die neue Mineralölsteuerverordnung befindet sich nach Abschluss der parlamentarischen Beratungen in Vorbereitung durch die Bundesverwaltung. Die Höhe eines Verarbeitungsbeitrages für Pilot- oder Demonstrationsanlagen (P/D-Anlagen) wird zur Zeit in der ersten Anhörung der Ausführungsbestimmungen zur Agrarpolitik 2011 beraten.

Weiterhin spielt für die Bereitstellung von Biomasse zur Energieproduktion der Rohstoff bei den berücksichtigten Pfaden eine entscheidende Rolle. Die Untersuchungen zur notwendigen Höhe der Rohstoffpreise zur Treibstoffproduktion im Inland haben gezeigt, dass die Produzentenpreise in den meisten Fällen noch deutlich gesenkt werden müssten, damit der Anbau agrarischer Rohstoffe zur Energieproduktion eine Alternative darstellt. Das wird auch durch Aussagen angefragter Treibstoffproduzenten bestätigt, die entweder Reststoffe und Abfälle verarbeiten oder auf die Wichtigkeit des Verarbeitungsbeitrages verweisen. Die durchgeführten Recherchen haben an mehreren Stellen auch die Sensitivität angedeutet, die mit der Produktion von Energie aus Biomasse verbunden ist. Erwähnt seien hier beispielsweise die grossen Bandbreiten pflanzlicher Erträge, der Kosten oder der Preise. So spielen die Preise für die Rohstoffe eine grosse Rolle. Dieser Punkt lässt sich im Sektor Landwirtschaft z.B. aus der Produktivität im Ackerbau und den damit verbundenen Kostenstrukturen ableiten. Hohe Produktionskosten für agrarische Rohstoffe führen zu hohen Rohstoffkosten für die Verarbeiter.

Ein spezieller Anbau von Energiepflanzen in der Schweiz hat sich im betrachteten Sektor Landwirtschaft entsprechend Quellenangaben als unwirtschaftlich herausgestellt.

Nach der Analyse der aufgeführten Quellen kann festgehalten werden, dass die Biogasproduktion die Pilot- oder Demonstrationsphase hinter sich gelassen hat. Dagegen gibt es im Bereich Pressung/Extraktion, Umesterung und Ethanol noch eine grosse Anzahl solcher Pilot- oder Demonstrationsanlagen (P/D-Anlagen), obwohl die Techniken als ausgereift gelten. Hier handelt es sich i.d.R. um kleinere Anlagen, die durch Wachstum und den daraus resultierenden Effekten auch aus der Phase einer P/D-Anlage heraus kommen sollten.

5.2 Folgerungen für die Modellierung

Die Modellrechnungen werden aus zwei Gründen bis in das Jahr 2015 ausgelegt sein. Zum einen ist es aus der Sicht des Modellierens schwierig, verlässliche Szenarien für die Zukunft zu finden bzw. zu entwerfen, die sich auf einen sehr schnell wachsenden Bereich wie die Energieerzeugung aus Biomasse beziehen. Zum anderen wird ungefähr zu diesem Zeitpunkt mit der Marktreife von thermo-chemischen Umwandlungsmöglichkeiten gerechnet. Insbesondere ist hier die Vergasung von Biomasse und den resultierenden Treibstoffen der 2. Generation (Biomass-to-Liquid, BtL) gemeint. Nach derzeitigen Erkenntnissen wird der 2. Generation der Energieerzeugung aus Biomasse ein beträchtlich höheres Potential vorausgesagt, da bisher kaum nutzbare Biomassebestandteile wie Zellulose oder Lignin verwendet werden können. Dafür gibt es jedoch zum jetzigen Zeitpunkt keine oder nur grob vorhergesagte Angaben zu Energieausbeuten oder Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen. Mit dem Vorliegen solcher Daten ist jedoch nicht vor dem Erreichen der Marktreife zu rechnen, sodass auch Modellrechnungen ohne den Einbezug dieser Technologien über das Jahr 2015 hinaus nur beschränkt aussagekräftig sind.

Die durchgeführten Recherchen zeigen ausschliesslich für die Biogasproduktion eine Kostenbandbreite, die attraktiv für die Landwirtschaft erscheint. Dennoch sollen auch die anderen möglichen Rohstoffe aus der Schweizer Landwirtschaft für die Bioenergieproduktion in die Modellrechnungen einbezogen werden. Damit kann sichergestellt werden, dass solche Rohstoffe ins Produktionsprogramm landwirtschaftlicher Betriebe kommen könnten, wenn sich die Preisrelationen auf den Produkt- und Faktormärkten entsprechend verschieben würden.

Aufgrund der vorliegenden Untersuchungsergebnisse mit den relativ grossen Bandbreiten wird es im Rahmen der Modellrechnungen wichtig sein, für ausgewählte Eckwerte Sensitivitätsbetrachtungen durchzuführen.

Literatur

ABBV (2006). Verordnung über Flächen- und Verarbeitungsbeiträge im Ackerbau (Ackerbaubeitragsverordnung, ABBV). Stand 5.12.2006

ADMANO (2007). <http://www.admano.com/d/kurzportrait.html> vom 30.05.2007

BFE (2007). Wirtschaftlichkeit von heutigen Biomasse-Energieanlagen. Bundesamt für Energie (BFE), Bern 2007

BFE (2006). Bild 1.6 (S.6) aus Schweizerische Statistik der erneuerbaren Energien. Ausgabe 2005. Bundesamt für Energie (BFE), Bern 2006

BIODRIVE (2007). Konzept. <http://www.biodrive.ch/de/firma.htm> vom 08.06.2007

BIOMASSEENERGIE (2007). Anlagenverzeichnis. <http://www.biomasseenergie.ch/Markt/Anlagenverzeichnis/tabid/166/Default.aspx> vom 30.05.2007

BRINER S. (2007). Produktion von Energie aus Biomasse in Bayern und Österreich. Bericht aus Forschungsprojekt in Food- and Resource Economics der Agri-food and Agri-environmental Economics Group am Institute for Environmental Decisions der ETH Zürich

CHOREN (2007). http://www.choren.com/de/choren_industries/unternehmen/geschichte/ vom 31.05.2007

CORTESI F. (2007). Ein Vergleich von Angebots- und Nachfrageszenarien für Biofuels in der Schweiz. Technische Semesterarbeit am Centre for Corporate Responsibility and Sustainability at the University of Zurich (CCRS) Uni Zürich

DIE LANDWIRTSCHAFT 1 (1998). Die Landwirtschaft: Band 1 Pflanzliche Erzeugung. 11., völlig neubearbeitete und erweiterte Auflage. BLV Verlagsgesellschaft mbH München Wien Zürich, 1998

EDER B. UND SCHULZ H. (2006). Biogas Praxis. Grundlagen, Planung, Anlagenbau, Beispiele, Wirtschaftlichkeit. 3. vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage. ökobuch Verlag Staufen bei Freiburg

EFD (2007). EFD befreit drei weitere Pilot- und Demonstrationsanlagen von der Mineralölsteuer. Medienmitteilung Eidgenössisches Finanzdepartement (EFD) vom 18. Mai 2007 <http://www.efd.admin.ch/aktuell/medieninformation/00462/index.html?lang=de&msgid=12626> vom 12.06.2007

EnV (2007). Energieverordnung (EnV), Vernehmlassungsentwurf vom 27. Juni 2007. http://www.admin.ch/ch/d/gg/pc/documents/1528/Vorlage_1.pdf vom 02.07.2007

-
- ERDÖL-VEREINIGUNG (2007). Preise Treibstoffe Monats- und Jahresmittel.
<http://www.erdoel.ch/site/erd565106/pre978268/mon454094/mon962307156.asp?osLang=1> vom 07.06.2007
- etha+® (2007). <http://www.etha-plus.ch/page.asp?page=1000> vom 30.05.2007
- EZV (2007a). Steuersätze für die wichtigsten Treib- und Brennstoffe (Stand: 01.01.2007).
http://www.ezv.admin.ch/zollinfo_firmen/steuern_abgaben/00382/01841/index.html?lang=de vom 07.06.2007
- EZV (2007b). Belastung der Treib- und Brennstoffe (Stand: April 2007).
http://www.ezv.admin.ch/zollinfo_firmen/steuern_abgaben/00382/01841/index.html?lang=de vom 07.06.2007
- EZV (2007c). Versteuerte Mengen von Treibstoffen aus erneuerbaren Rohstoffen 2006. Eidgenössische Zollverwaltung (EZV).
http://www.ezv.admin.ch/zollinfo_firmen/steuern_abgaben/00382/00632/01466/index.html?lang=de vom 12.06.2007
- Flamol (2007). Tankstellen <http://www.flamol.ch/> vom 08.06.2007
- FNR (2006a). Einspeisung von Biogas in das Erdgasnetz. Studie bearbeitet durch Institut für Energetik und Umwelt gGmbH (IE). Hrsg: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR)
- FNR (2006b). Biokraftstoffe – eine vergleichende Analyse. Hrsg. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR)
- FNR (2005a). Leitfaden Bioenergie – Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen. Hrsg. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR)
- FNR (2005b). Biokraftstoffe. Hrsg. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR)
- FNR (2005c). Handreichung Biogasgewinnung und –nutzung. Hrsg. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR)
- GUBLER N., GAZZARIN C., DUX D. UND ENGELI H. (2007). Wirtschaftlichkeit von Biogasanlagen. Wichtige Einflussfaktoren am Beispiel von zwei Modellanlagen. ART-Berichte Nr. 676/2007. Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Tänikon (Hrsg.)
- HARTMANN H., THUNEKE K., HÖLDRICH A. UND ROSSMANN P. (2003). Handbuch Bioenergie Kleinanlagen. Hrsg. Hartmann H. im Auftrag Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR).

-
- HEDIGER, W., HARTMANN M., PETER S., LEHMANN B. (2004). Ökonomische Beurteilung und Monetarisierung der landwirtschaftlichen Leistungen im Klimaschutz. Schriftenreihe Nr. 2004/3, Institut für Agrarwirtschaft, ETH Zürich
- HEITZER A. (2007). Alternative Treibstoffe. Potenziale und Grenzen. gwa 4/2007, 287-296. Schweiz. Verein des Gas- und Wasserfaches, Zürich
- HEIZEN MIT ÖL (2007). Konsumentenpreise Heizöl Extra-Leicht.
<http://www.erdoel.ch/site/hei578030/pre958432/kon112163723.asp?osLang=1> vom 07.06.2007
- HENNIGES O. (2007). Die Bioethanolproduktion. Wettbewerbsfähigkeit in Deutschland unter Berücksichtigung der internationalen Konkurrenz. Josef Eul Verlag, Lohmar, 2007
- IEA (2004). Biofuels for transport – an international perspective. International Energy Agency (IEA), Paris
- INFORMATIONSTELLE HEIZÖL (2007). Klarheit über die verschiedenen Heizölqualitäten.
<http://www.heizenmitoel.ch/doc/845852077112062006.pdf> vom 31.05.2007
- Interprofession (2007). Branchenvereinbarung 2007.
http://zucker.internetgalerie.ch/d/rueben/zuckerruebenanbau/branchenvereinbarung_d_2007.pdf vom 25.06.2007
- JUNIORDIESEL (2007). Lieferkonditionen
<http://www.juniordiesel.ch/html/lieferkonditionen.html> vom 08.06.2007
- KALTSCHMITT M. UND HARTMANN H. (2001). Energie aus Biomasse. Grundlagen, Technik und Verfahren. Springer Verlag Berlin Heidelberg
- KALTSCHMITT M., STREICHER W. UND WIESE A. (2006). Erneuerbare Energien. Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte. Springer Verlag Berlin Heidelberg, 4. Auflage
- KAMPA A. UND WOLFENSBERGER U. (2007). Biotreibstoffe. Grundlagen für die Beurteilung aus Schweizer Sicht. ART-Schriftenreihe 5. Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART
- KAUFMANN U. UND RIGASSI R. (2006). Schweizerische Statistik der erneuerbaren Energien Ausgabe 2005. Studie erstellt von Dr. Eicher+Pauli AG im Auftrag von Bundesamt für Energie BFE, Bern
- KOMPOGAS (2007). Grundsteinlegung für die Kompogas-Anlage in Klingnau.
<http://www.kompogas.ch/> vom 30.05.2007

LIPS M. (2007). Wirtschaftlichkeit der Bioenergie im Hochpreisland Schweiz. Vortrag ART-Tagung „Bioenergie – Option für eine nachhaltige Schweizer Landwirtschaft“, 10. Mai 2007. Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART.
<http://www.art.admin.ch/dienstleistungen/00882/01020/01032/index.html?lang=de> vom 14.06.2007

PETER S., HARTMANN M., HEDIGER, W. (2006). Entwicklung der landwirtschaftlichen Emissionen umweltrelevanter Stickstoffverbindungen. Schriftenreihe Nr. 2006/1, Gruppe Agrar-, Lebensmittel und Umweltökonomie, ETH Zürich

Preise Erdgas (2007). IWB Basel (<http://www.iwb.ch/de/erdgas/tarife.php>), EWB Bern (http://www.ewb.ch/wv/de/pub/produkte/erdgas/aktuelle_preise.cfm), TBW Weinfelden (http://www.tbweinfelden.ch/_pdf/20_erdgas/TBW_Erdgas_Preise%200704.pdf) und Regionalwerke Baden (<http://www.regionalwerke.ch/egocms/index.php?page=30>) alle vom 08.06.2007

Preisüberwachung (2007). Strompreisvergleich (aktualisiert 02/2007).
<http://strompreise.preisueberwacher.ch/web/d/preis3.asp> vom 08.06.2007

PSI (2005). Neue erneuerbare Energien und neue Nuklearanlagen: Potenziale und Kosten. Paul Scherrer Institut (PSI). PSI Bericht Nr. 05-04, Mai 2005

RB Bioenergie (2007). Aktueller Biodieselpreis vom 22.05.2007. <http://www.rb-bioenergie.ch/news/detail.php?id=16> vom 08.06.2007

www.schlau-fahren.ch (2007) Tankstellenliste. vom 08.06.2007

SVGW (2004). Preisanschrift an Zapfsäulen und Preisschildern (“Totem”) an öffentlichen Erdgastankstellen. Merkblatt G 2004 / 1 d Ausgabe Juli 04. Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfaches (SVGW). <http://www.svgw.ch/deutsch/filesPR/v802d.pdf> vom 08.06.2007

swissgranum (2007a). Ölsaaten: Durchschnittspreise Ernte 2006.
http://www.swissgranum.ch/chd/6_prix/6b_oleagineux/d_6b_oleagineux1.html vom 25.06.2007

swissgranum (2007b). Produzenten-Richtpreise - Ernte 2007.
http://www.swissgranum.ch/chd/6_prix/6a_crl_et_prot/d_6a_crl_et_prot1.html vom 25.06.2007

TAGMANN H.-U. (2007). Bundesamt für Landwirtschaft (BLW), Sektion Acker- und Futterbau. telefonische Auskunft vom 25.06.2007.

TANGERMANN S. UND VON LAMPE M. (2007). Globaltrend Bioenergie. Eine Herausforderung für Landwirtschaft, Ernährungsindustrie und Politik. in: DLG e.V. (Hrsg.) Aufbruch in ein neues Zeitalter. Nahrung und Energie. Tagungsband der DLG-Wintertagung 2007 vom 9.-11. Januar in München. DLG-Verlags-GmbH, Frankfurt/Main

UVEK (2007). CO₂-Abgabe auf Brennstoffe wird auf Januar 2008 eingeführt. Medienmitteilung vom 28.06.2007. Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

<http://www.uvek.admin.ch/dokumentation/00474/00492/index.html?lang=de&msgid=13369> vom 03.07.2007

WALTHER U., RYSER J.-P. UND FLISCH R. (2007). Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau 2001. Hrsg.: Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Reckenholz (FAL) und Eidgenössische Forschungsanstalt für Pflanzenbau, Changins (RAC). Agrarforschung Juni 2001

ZAH R., BÖNI H., GAUCH M., HISCHIER R., LEHMANN M. UND WÄGER P. (2007). Ökobilanz von Energieprodukten: Ökologische Bewertung von Biotreibstoffen. Ausarbeitung durch Empa. Hrsg: Bundesamtes für Energie (BFE), Bundesamt für Umwelt (BAFU) und Bundesamt für Landwirtschaft (BLW)

Anhang

Tabelle A 1: Konversionspfade, Technologien und Stand der Verbreitung in der Schweiz
(Zusatzinformationen)

| Konversionspfad | Anwendung | Anlagen in der Schweiz | |
|--|---------------------|--|--|
| | | im Betrieb | in Planung/Entwicklung |
| Verbrennung | | | |
| Bio-chemische Umwandlung | | | |
| Vergärung Alkohol | Bioethanol | | - Betalcool (http://www.betalcool.ch/) |
| Thermo-chemische Umwandlung | | | |
| Physikalisch-chemische Umwandlung | | | |
| Pressung/Extraktion | Ölsaaten | <ul style="list-style-type: none"> • AgroEnergie GmbH http://www.juniordiesel.ch/ • Biodrive AG http://www.biodrive.ch/de/index.htm • Schneider Protec http://www.4tec.ch/ | |
| Veresterung | Pflanzenmethylester | <ul style="list-style-type: none"> • Eco Energie Etoy http://www.ecoenergie.ch/ • BioPower Fardin GmbH http://www.biopower-fardin.ch/ • RB Bioenergie AG (Frittier-, Rapsöl und tierische Fette) http://www.rb-bioenergie.ch/news/ • Ekura (aus Altspeseöl) http://www.ekura.ch/index.htm in Verbindung mit http://www.biodiesel-swiss.ch/ • Biocarb SA http://www.biocarb.ch/index.htm • Werner Humbel (Biodiesel, Lebensmittelrecycling) http://www.humbel-stetten.ch/index.html | |

Tabelle A 2: Energiepotential Referenzwerte Benzin, Diesel, Heizöl, Erdgas, Strom

| | unterer Heizwert | Dichte | 1 Liter entspricht | |
|-----------------------------|------------------|-------------------|--------------------|----------------|
| | MJ/kg | kg/m ³ | MJ/l | kWh/l |
| Benzin ^{a)} | 42.5 | 745 | 31.6625 | 8.795 |
| Diesel ^{a)} | 42.8 | 830 | 35.524 | 9.867 |
| Heizöl ^{b)} | 42.6 | 820-860 | 34.932-36.636 | 9.703 - 10.176 |
| Erdgas ^{a)} | 46.5 | 0.78 | 0.03627 | 0.01008 |
| Strom | 1 kWh = 1 kWh | | | |

Quellen: a) HEITZER (2007), b) INFORMATIONSSTELLE HEIZÖL (2007)

Tabelle A 3: Energieanfall aus pflanzlichen Rohstoffen (ohne Reststoffe)

| pflanzliche Rohstoffe Landwirtschaft (LW) | Ertrag dt/ha FM* oder TM* | | Rohstoffeinsatz aus der LW | | Energieprodukt | Energieanfall | | | |
|--|------------------------------|----|-------------------------------|----------------|------------------------------------|---------------|-----------------|-----------------------|-----------------------------|
| | | | | Einheit | | Liter pro ha | Liter pro dt FM | m ³ pro ha | m ³ pro dt TM |
| Raps | 20 - 40 ^{a)} | FM | 2.4 - 2.6 | kg/l | Öl ^{b)} PME ^{c)} | 800 - 1600 | | | |
| Sonnenblume | 25 - 35 ^{a)} | FM | 2 - 2.8 | kg/l | Öl ^{b)} | 900 - 1800 | | | |
| Winterweizen | 65 - 80 ^{a)} | FM | 2.7 | kg/l | Ethanol ^{b)} | 2400 - 3000 | | | |
| Sommerweizen | 55 - 65 ^{a)} | FM | | | | | | | |
| Roggen | 65 - 80 ^{a)} | FM | 2.85 | kg/l | Ethanol ^{b)} | 2300 - 2800 | | | |
| Triticale | 55 - 80 ^{a)} | FM | 2.75 | kg/l | Ethanol ^{b)} | 2000 - 2900 | | | |
| Gerste | 60 - 90 ^{a)} | FM | | | | | | | |
| Kartoffeln (Stärke 12 - 20%) | 330 - 500 ^{a)} | FM | 10 | kg/l | Ethanol ^{b)} | 3300 - 5000 | | | |
| Zuckerrüben (Zucker 15.5 - 17.5%) | 400 - 700 ^{a)} | FM | 9.3 | kg/l | Ethanol ^{b)} | 4300 - 7500 | | | |
| Mais Körner | 80 - 100 ^{a)} | FM | 2.4 | kg/l | Ethanol ^{b)} | 3000 - 4200 | | | |
| | | | | | | | | | |
| Maissilage | 120 - 270 ^{d)} | TM | | m ³ | Methan ^{d)} | | | 3000 - 8000 | 25 - 29 |
| Gras- und Ganzpflanzensilage | 40 - 120 ^{d)} | TM | | m ³ | Methan ^{c+d)} | | | 1000 - 4000 | 18 - 25 |

* FM = Frischmasse TM = Trockenmasse

Quellen: a) DIE LANDWIRTSCHAFT 1 (1998), b) KAMPA UND WOLFENSBERGER (2007), c) FNR (2005b), d) EDER UND SCHULZ (2006)

Tabelle A 4: Energieanfall aus Hofdünger (ohne Reststoffe)

| tierische Rohstoffe Landwirtschaft | Einheit | Gülleanfall m ³ /a | Mistanfall t/a | Biogas m ³ /(Einheit * a) | Methan m ³ /(Einheit * a) | Methan m ³ /(m ³ Gülle * a) | Methan m ³ /(t Mist * a) |
|--|----------------|----------------------------------|-------------------|---|---|--|--|
| Milchvieh - Vollgülle ^{a) + b) + c)} | pro Tier | 22 | | 308 - 770 | 169 - 462 | 8 - 20 | |
| Milchvieh - Stapelmist ^{a) + b) + c)} | pro Tier | | 20 | 630 - 900 | 347 - 540 | | 18 - 27 |
| Rindvieh - Vollgülle ^{a) + b) + c)} | pro Tier | 7.5 | | 98 - 244 | 54 - 146 | 7 - 20 | |
| Kälber - Mist ^{a) + b) + c)} | pro Tier | | 2.2 | 69 - 99 | 38 - 59 | | 18 - 27 |
| Schweine - Gülle Mast ^{a) + b) + c)} | pro Platz | 1.6 | | 17 - 40 | 10 - 28 | 7 - 18 | |
| Schweine - Gülle Zucht ^{a) + b) + c)} | pro Platz | 6 | | 59 - 139 | 36 - 97 | 6 - 16 | |
| Schweine - Mist ^{a) + b) + c)} | pro Platz | | 1.2 | 13 - 22 | 8 | | 6 - 10 |
| Pouletmist ^{a) + b) + c)} | pro 100 Plätze | | 0.8 | 88 - 158 | 53 - 103 | | 65 - 130 |

Quellen: a) WALTHER ET. AL (2001), b) EDER UND SCHULZ (2006), c) FNR (2005c)

Tabelle A 5: Konsumentenpreise für Energie aus fossilen Ressourcen

| | Treibstoff | | | Brennstoff ***** | | Strom | |
|--|----------------------------|----------------------------|----------------------------|--|-------------------------------------|---|-----------------------|
| | Benzin ^{a)} | | Diesel ^{a)} | Erdgas | Heizöl Extra Leicht ^{b)} | | |
| | Bleifrei 95 Fr./l | Bleifrei 98 Fr./l | Fr./l | Treibstoff Fr./kg ^{e)} | Brennstoff Rp./kWh ^{f)} | Fr./100l ** | Rp./kWh ^{g)} |
| ø 01/2007 - 04/2007 * | 1.5775 | 1.6175 | 1.695 | | | | |
| ø 01/2007 - 05/2007 * | | | | | | 68.566 - 75.576 | |
| April 2007 * | 1.65 (18.76 Rp./kWh) | 1.69 (19.22 Rp./kWh) | 1.72 (17.43 Rp./kWh) | | | | |
| Mai 2007 | | | | 1.38 - 2.05 (0.94 - 1.39 Fr./l)* + *** | 7.1 - 9.14 * + **** | 73.30 - 77.11 (7.203 - 7.947 Rp./kWh) | 12-24 ***** |
| davon Belastung | | | | | | | |
| Mineralölsteuer Fr./l ^{c)} | 0.4312 | | 0.4587 | 0.4099 (pro kg) | 0.0021 (pro kg) | 0.003 | |
| Mineralölsteuer- zuschlag Fr./l ^{c)} | 0.3 | | | 0.3993 (pro kg) | | | |
| Mwst. 7.6% vom ø | 0.11 | 0.11 | 0.12 | 0.1-0.14 | 0.5-0.6 | 0.05 | |
| Klimarappen Fr./l ^{d)} | 0.015 | | | | | | |
| weitere Beiträge Fr./l ^{d)} | 0.00405 | | 0.01205 | | | 0.00105 | |
| Belastung gesamt | 0.86 Fr./l | | 0.91 Fr./l | 0.91-0.95 Fr./kg | 0.52-0.66 Rp./kWh | 0.05-0.06 Fr./l | |
| ø Preis ohne Bela- stung Fr./l | 0.72 | 0.75 | 0.79 | 0.32 - 0.75 | | 0.63 - 0.70 | |
| ø Preis ohne Bela- stung Fr./kg | | | | 0.47 - 1.10 | | | |
| ø Preis ohne Bela- stung Rp./kWh | | | | | 6.6 - 8.5 | 6.2 - 6.9 | 12 - 24 |

* inkl. Mwst. 7.6%

** 3'000-6'000 l bis über 20'000 l

*** umgerechnet mit: 1kg Erdgas = 1.47 l Benzin 95 (SVGW, 2004)

**** Arbeitspreis (abhängig vom Versorgungsunternehmen und Grundpreis)

***** mittlerer Preis über alle Kategorien „Haushalte“ aller Elektrizitätsverteilunternehmen (EVU) der Schweiz (inkl. fixe Gebühren (Grundgebühr, Leistungspreis, Zählermiete) und konsumabhängigen Energiegebühren)

***** Einführung einer CO₂-Abgabe auf fossile Brennstoffe ab 1. Januar 2008 in Höhe 12 Fr./Tonne CO₂-Emissionen (entspricht 3 Rp./Liter Heizöl bzw. 2.5 Rp./m³ Erdgas) -> **BEACHTEN:** ist in den Berechnungen des vorliegenden Berichts nicht berücksichtigt (UVEK, 2007)Quellen: a) ERDÖL-VEREINIGUNG (2007), b) HEIZEN MIT ÖL (2007), c) EZV (2007a), d) EZV (2007b), e) www.schlau-fahren.ch (2007), f) Preise Erdgas (2007), g) Preisüberwachung (2007)

Tabelle A 6: Gestehungskosten für Strom und Wärme verschiedener Produktionswege

| Stromgestehung Rp./kWh ^{a)} | | | | |
|--------------------------------------|--|---------|---------|---------|
| Kleinwasserkraftwerke | | | | |
| Trinkwasser | 4 - 23 | | | |
| Abwasser | 6.5 - 85 | | | |
| Hoch- und Niederdruck | 4 - 30 | | | |
| Windkraft CH | | | | |
| Mt. Crosin | 12 - 20 | | | |
| Grenchenberg | 50 - 60 | | | |
| Kleinanlage | max. 90 | | | |
| Photovoltaik Schweizer Mittelland | | | | |
| Dachanlage | 68 - 89 | | | |
| Grossanlage | 48 - 62 | | | |
| Kernenergie | 4.1 - 5.2 (inkl. Finanzierung Rückbau und Entsorgung über Entsorgungsfonds) | | | |
| Wärmegestehung Rp./kWh ^{b)} | | | | |
| | 0.1 MW | 0.2 MW | 0.5 MW | 1 MW |
| Holz | 17 - 24 | 16 - 21 | 14 - 17 | 12 - 14 |
| Heizöl | 15 - 18 | 13 - 15 | 12 - 14 | 12 - 13 |

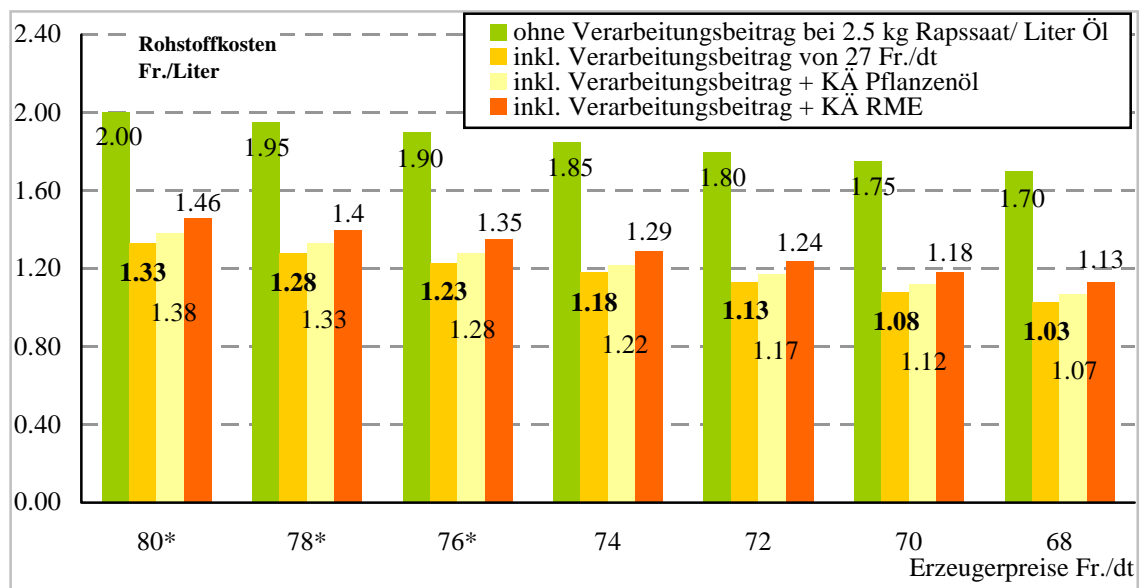
Quelle: a) PSI (2005), b) BFE (2007)

Tabelle A 7: Gestehungs- und Produktionskosten für Erneuerbare Energien

| | Strom | Wärme | Treibstoff | |
|---|---------|---------|-------------|-------------|
| | Rp./kWh | Rp./kWh | Fr./kWh | Fr./l |
| Pressung/Extraktion | | | | |
| Pflanzenöl | | | | |
| Rapsöl (exkl. Mwst., ab Ölmühle) ^{d)} | | | | 1.30-1.45 |
| Rapsöl (inkl. Mwst., Mineralölsteuer befreit) ^{e)} | | | | 1.29 |
| Veresterung | | | | |
| Biodiesel ^{b)} | | | 0.12 - 0.14 | 1.11 - 1.27 |
| Biodiesel (Verkaufspreis, inkl. Mwst.) ^{f)} | | | | 1.62 |
| Biodiesel (exkl. Mwst., Selbstabholung) ^{g)} | | | | 1.35 |
| Vergärung | | | | |
| Biogas | | | | |
| Modell (120 kW-Anlage) ^{a)} | 19 | | | |
| Modell (240 kW-Anlage) ^{a)} | 17 | | | |
| Modell (NaWaRo) ^{a)} | 32 | | | |
| Befragung realer Betriebe 100 kW ^{b)} | 16 | 8 | | |
| Befragung realer Betriebe 80 kW ^{b)} | 34 | 27 | | |
| Befragung realer Betriebe 55 kW ^{b)} | 24 | 14-24 | | |
| Ethanol | | | | |
| Bioethanol ^{b)} | | | 0.16 - 0.24 | 0.95 - 1.43 |
| Bioethanol ^{c)} | | | 0.23 | 1.38 |
| Bioethanol ^{h)} | | | | 1.49 |

Quellen: a) GUBLER ET AL. (2007), b) BFE (2007), c) etha+[®] (2007), d) JUNIORDIESEL (2007), e) BIODRIVE (2007), f) Flamol (2007), g) RB Bioenergie (2007), h) LIPS (2007)

Abbildung A 1: Rohstoffkosten Raps aus der Schweiz zur Produktion von RME und Rapsöl in Abhängigkeit des Verarbeitungsbeitrages



* Richtpreis 2006: 77.60 – 80.60 Fr./dt (swissgranum, 2007a)

KÄ = Kraftstoffäquivalent, vgl. Abbildung 8

Quelle: Tabelle A-3