

Erdöl-Vereinigung / Biofuels Schweiz

Marktpotenzial für flüssige Biotreib- und Biobrennstoffe in der Schweiz 2020 – 2030

Schlussbericht Zürich, 28. Juni 2018

Hans-Jörg Althaus, Alexander Wunderlich, Jürg Füssler

Impressum

Marktpotenzial für flüssige Biotreib- und Biobrennstoffe in der Schweiz 2020 – 2030

Zürich, 28. Juni 2018
B_3056a_Schlussbericht_V3_Marktpotenzial_Biotreib-und -brennstoffe.docx

Auftraggeber

Erdöl-Vereinigung / Biofuels Schweiz

Projektleitung

Hans-Jörg Althaus

Autoren

Hans-Jörg Althaus, Alexander Wunderlich, Jürg Füssler INFRAS, Sennweg 2, 3012 Bern Tel. +41 31 370 19 19

Inhalt

Impre	essum	2
Inhalt		3
Zusan	nmenfassung	5
1.	Ausgangslage	10
2.	Ziel, Vorgaben und Einschränkungen der Studie	_ 11
2.1.	Ziel der Studie	11
2.2.	Vorgaben und Einschränkungen	11
3.	Vorgehen	13
4.	Rahmenbedingungen in der Schweiz und in Europa	14
4.1.	Situation Schweiz	14
4.2.	Situation in der EU	_ 18
5.	Szenarien in dieser Studie	19
5.1.	Szenario «Swiss-Finish»	20
5.2.	Szenario «EU-Finish»	20
6.	Produktionspfade von Biotreib- und Biobrennstoffen	22
7.	Rohstoffpotenzial für Biotreib- und Biobrennstoffe	23
8.	Ökonomisches Potenzial von Biotreib- und Biobrennstoffen	30
8.1.	Transesterifizierung von Pflanzenöl (FAME)	32
8.2.	Hydrierung von Pflanzenöl (HVO)	32
8.3.	Vergärung / Destillation von Zucker- und Stärke	33
8.4.	Aufschluss / Vergärung / Destillation von Cellulose	33
8.5.	Biomass to Liquid (BtL)	35
8.6.	Szenarien zur Ölpreisentwicklung	36
8.7.	Kostenvergleich Biotreib- und Biobrennstoffe mit fossilen Treib- und Brennstoffen	39

9.	Realisierbares Potenzial von Biotreib- und Biobrennstoffen für den Europäischen und					
	den Schweizer Markt 2020 - 2030	41				
10.	Fazit	43				
Annex	c	45				
I.	Ziele der Renewable Energy Directive der EU	45				
II.	Abschätzung von Produktionskosten für cellulosebasierten Alkohol	46				
III.	Abschätzung von Produktionskosten für BtL Diesel bzw. BtL Heizöl	48				
IV.	Abschätzung von Produktionskosten fossile Treib- und Brennstoffe	49				
Abbilo	dungsverzeichnis	51				
Tabell	lenverzeichnis	52				
Litera	tur	53				

Zusammenfassung

Das Pariser Klimaabkommens verlangt, dass die globalen Treibhausgasnettoemissionen in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts auf null reduziert werden. Entsprechend haben sich fast alle Länder der Welt, darunter die Schweiz, zu Reduktionen ihrer Treibhausgasemissionen bis 2030 verpflichtet. Die Substitution von fossilen Energieträgern durch Biotreib- und Biobrennstoffe stellt eine Möglichkeit dar, um einen Teil dieser Verpflichtung zu erfüllen. Die vorliegende Studie schätzt ab, wie gross das Potenzial für diese Substitution in der Schweiz zwischen 2020 und 2030 sein könnte. Das methodische Vorgehen dazu ist in Abbildung 1 dargestellt.

Biotreib- und Biobrennstoffe für die Schweiz

Zuerst wird bestimmt, welche Biotreib- und Biobrennstoffe für die Schweiz überhaupt in Frage kommen, und wie sie gegebenenfalls gefördert werden. Da die gesetzliche Grundlage mit der Revision des CO₂-Gesetzes per 2020 verändert wird, gehen wir zum Zeitpunkt der Erarbeitung der Studie (September 2017) von zwei Szenarien für die geforderte Qualität der Biotreib- und Biobrennstoffe ab 2020 aus:

- Swiss-Finish: Die für die Schweiz relevanten Biotreib- und Biobrennstoffe entsprechen denjenigen, welche heute von der Mineralölsteuer befreit sind.
- **EU-Finish**: Die für die Schweiz relevanten Biotreib- und Biobrennstoffe entsprechen denjenigen, welche im Entwurf zur «Renewable Energy Directive» (RED) der Europäischen Union «moderne Biokraftstoffe» genannt werden. Es sind dies, neben den heute in der Schweiz zum Einsatz kommenden Biotreibstoffen, vor allen solche, die aus landwirtschaftlichen Abfällen wie z.B. Stroh hergestellt werden.

Nachhaltig verfügbares Potenzial der Rohstoffe

Das Rohstoffpotenzial für moderne Biotreibstoffe in der Schweiz allein (gemäss «Swiss-» oder «EU-Finish») erlaubt nur die Deckung von ca. 3% des Gesamtenergiebedarfs des Strassenverkehrs. Für höhere Beimischungen muss deshalb auf Importe abgestellt werden, weshalb die Analyse auch den EU-Raum betrachtet.

Aufgrund der Angaben in der Literatur und unseren Abschätzungen gehen wir davon aus, dass die zwischen 2020 und 2030 nachhaltig zur Verfügung stehenden Rohstoffe für «moderne Biokraftstoffe» in der EU für die Produktion von insgesamt 34 Mia. I/Jahr reichen würden. Damit könnten knapp 7% des Gesamtenergieverbrauchs der EU im Schienen- und Strassenverkehr gedeckt werden (Abbildung 2).

Ökonomisches Potenzial

Aufgrund von Literaturangaben und unseren Abschätzungen gehen wir davon aus, dass die Kosten für die Produktion oder Beschaffung von modernen Biotreib- und Biobrennstoffen in der Schweiz unter Berücksichtigung der Kompensations- und Förderinstrumente tiefer werden könnten, als die Kosten zur Beschaffung von fossilem Heizöl, Diesel oder Benzin. Dies könnte je nach Biotreib- und Biobrennstoff teilweise ab 2020 und weitgehend ab 2025 der Fall sein. Diese Abschätzung berücksichtigt die Mineralölsteuer, CO2-Abgabe, Mehrwertsteuer und die maximal mögliche Förderung (Pönale) durch den Kompensationsmechanismus gemäss dem Entwurf des revidierten CO2-Gesetzes. Nach 2025 dürfte der Preisvorteil bis 2030 etwa konstant bleiben oder sich wieder etwas abschwächen. Diese Erwartung gilt sowohl im Szenario «Swiss-Finish», als auch im Szenario «EU-Finish», wobei der Preisvorteil für Biotreib- und Biobrennstoffe für den «EU-Finish» etwas deutlicher ist.

Gesamtbild

EU-weit könnten, unter der Berücksichtigung der Rohstoffverfügbarkeit und der Kosten, 6% bis 7% der fossilen Treibstoffe durch «moderne Biokraftstoffe» ohne solche aus gebrauchtem Speiseöl substituiert werden. Inklusive Biogas und Biodiesel aus gebrauchtem Speiseöl läge der Anteil zwischen 8% und 8.5%. In Bezug auf Treib- und Brennstoffe könnten insgesamt noch rund 3.5% durch flüssige «moderne Biokraftstoffe» substituiert werden. Diese Zahlen liegen deutlich über den Europäischen Beimischquoten für 2020 bis etwa 2028 und im Bereich der vorgesehenen Quote für 2030¹. Der Verbrauch an Treib- und Brennstoffen in der Schweiz beträgt nur wenige Prozent des Europäischen Bedarfs. Dementsprechend kann davon ausgegangen werden, dass in dieser Betrachtung auch für den Import in die Schweiz bis etwa 2028 ein relativ grosses Potenzial besteht. Ab 2030 dürfte sich das Potenzial aus Europäischer Produktion jedoch wegen der reduzierten Rohstoffverfügbarkeit verknappen.

-

¹ Nachtrag: Im neuesten am 21.6.2018 publizierten «finalen Kompromiss» zur geplanten Neuauflage der Renewable Energy Directive fehlt der Hinweis auf eine explizite Beimischquote für «moderne Biokraftstoffe» (siehe Box 3 in Kapitel 7). Insgesamt werden die benötigten Mengen an «modernen Biotreibstoffen» durch die Änderungen am Vorschlag der Kommission von 2016 eher reduziert, was die Aussagen der Studie stützt.

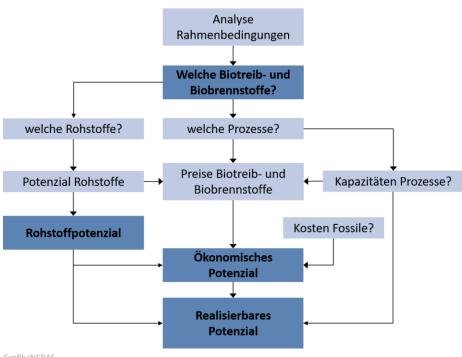


Abbildung 1: Methodisches Vorgehen zur Bestimmung des Potenzials von Biotreib- und Biobrennstoffen

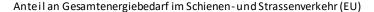
Grafik INFRAS.

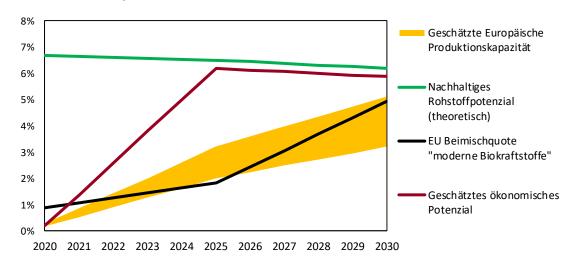
Realisierbares Potenzial

Ein Vergleich des Europäischen Rohstoffpotenzials mit der globalen Produktionskapazitätsprognose zeigt, dass bis 2025 auf EU-Ebene die Produktionskapazität der limitierende Faktor für die Nutzung von Biotreib- und Biobrennstoffen sein dürfte und nicht die Verfügbarkeit von Rohstoffen oder die Kostenstruktur (Abbildung 2).

Ab 2030 wird es unklar, ob eine weitere Steigerung der geplanten Beimischquoten der EU und der Verfügbarkeit für die Schweiz noch möglich ist, da zu diesem Zeitpunkt das nachhaltig verfügbaren Rohstoffpotenzial zum limitierenden Faktor werden dürfte.

Abbildung 2: Limitierende Faktoren für die Beimischung von «modernen Biokraftstoffen» zu Treibstoffen in der EU





Die Graphik zeigt den geplanten Verlauf der EU Beimischquote (schwarz) 2020 – 2030. Liegt diese Beimischquote (schwarz) unter oder auf den limitierenden Faktoren (grün: nachhaltiges Rohstoffpotenzial, rot: geschätztes ökonomisches Potenzial und gelb: Unsicherheitsbereich der geschätzten europäischen Produktionskapazität), so ist die Beimischquote realisierbar und damit die Verfügbarkeit von genügenden Mengen auch für den Schweizer Markt wahrscheinlich. Die Graphik illustriert die dominierende Rolle der Produktionskapazität als limitierender Faktor.

Sämtliche Werte beziehen sich auf Biotreibstoffe aus Rohstoffen gem. Annex IX, Teil A des Entwurfs für eine überarbeitete Renewable Energy Directive (EC 2016). Das bedeutet, dass die Beiträge von Biogas sowie Treibstoffen aus gebrauchtem Speiseöl und tierischen Fetten nicht enthalten sind.

Die geschätzte Europäische Produktionskapazität liegt zwischen 25% und 40% der globalen Produktionskapazität. Das geschätzte ökonomische Potenzial berücksichtigt die vorgesehenen Kompensations- und Förderinstrumente und wird limitiert durch die Rohstoffverfügbarkeit.

Nachtrag: Im neuesten am 21.6.2018 publizierten «finalen Kompromiss» zur geplanten Neuauflage der Renewable Energy Directive fehlt der Hinweis auf eine explizite Beimischquote für «moderne Biokraftstoffe» (siehe Box 3 in Kapitel 7). Insgesamt werden die benötigten Mengen an «modernen Biotreibstoffen» durch die Änderungen am Vorschlag der Kommission von 2016 eher reduziert, was die Aussagen der Studie stützt.

Grafik INFRAS.

Abhängigkeit vom Aufbau der Produktionskapazität

Die sinkenden Produktionskosten für Biotreib- oder Biobrennstoffe dürften bis etwa 2025 dazu führen, dass diese unter Berücksichtigung der Kompensations- und Förderinstrumente ein wettbewerbsfähiges Niveau erreichen dürften. Dies alleine wird vermutlich nicht ausreichen, um grosse Investitionen in Produktionsanalgen auszulösen. Darum geht beispielsweise die IEA davon aus, dass der forcierte Aufbau von Produktionskapazität für Biotreib- oder Biobrennstoffe weiterer (staatlicher) Anreize bedürfte. Zurzeit ist unklar, ob der Kapazitätsaufbau in der EU genügend rasch fortschreiten wird, um bereits ab 2020 ausreichend Produktionskapazität zur Erfüllung der EU Beimischziele oder gar für den Export in die Schweiz zur Verfügung zu stellen.

Bei einem schleppenden Aufbau der Produktionskapazität in Europa würden ab 2020 zu wenig «moderne Biokraftstoffe» zur Verfügung stehen. Dadurch könnte der Anteil von Biotreib- und Biobrennstoffen in der Schweiz auch mit Hilfe des Kompensationsmechanismus nicht signifikant erhöht werden. Die knappe Verfügbarkeit dürfte für Biotreib- und Brennstoffe des «Swiss-Finish» – insbesondere für Bioethanol – noch etwas ausgeprägter sein, als unter dem «EU-Finish». Allerdings dürfte die Schweiz durch Kompensationsprojekte oder durch andere Instrumente einen höheren Förderbeitrag an Biotreib- und Biobrennstoffe leisten können als das EU-Umland. Daher wäre es denkbar, dass die Schweiz durch ihre im internationalen Vergleich potentiell höhere Zahlungsbereitschaft den Anteil an «modernen Biokraftstoffen» trotz Limitierungen in der Produktionskapazität erhöhen könnte.

Unsichere Datengrundlage und Preisentwicklung

Grundsätzlich hat sich gezeigt, dass die Datenlage und die wissenschaftliche Literatur nur beschränkte Aussagen zu Potenzialen und Kosten von Biotreib- und Biobrennstoffen für den Zeitraum 2020 – 2030 zulassen. Die Abschätzungen im vorliegenden Bericht basieren auf zahlreichen Datenquellen und Annahmen. Insbesondere die Entwicklung der Produktionskosten für Biotreib- und Biobrennstoffe sowie die Szenarien der zukünftigen Preisentwicklung für fossile Treib- und Brennstoffe und den Kapazitätsaufbau sind mit beträchtlichen Unsicherheiten behaftet.

1. Ausgangslage

Biotreibstoffe und Biobrennstoffe können fossile Treib- und Brennstoffe ersetzen und so CO₂- Emissionen reduzieren. Technisch ist die Beimischung von Bioethanol zu Benzin und von FAME-Biodiesel zu Diesel bis zu einer Grenze von 10% bzw. 7% möglich ohne die Eigenschaften des Treibstoffes so zu verändern, dass negative Auswirkungen auf die damit betriebenen Fahrzeuge zu erwarten wären (SN/EN 228 2013; SN/EN 590 2014). HVO-Biodiesel und erneuerbarer Diesel können und dürfen in beliebigen Mengen zu konventionellem Diesel beigemischt werden (SN/EN 590 2014). Darum haben viele Länder und die EU Beimischziele definiert. Gewisse Fraktionen von Biodiesel eignen sich technisch auch zum Ersatz von Heizöl. Für die Schweiz stehen Beimischziele im Moment nicht zur Diskussion², doch stellt sich auch hier die Frage, wie viel die Nutzung von flüssigen Biotreibstoffen und Biobrennstoffen zur Reduktion der Treibhausgasemission des Verkehrs und der stationären Verbrennung zu Heizzwecken beitragen können.

Konventionelle Biotreibstoffe – das sind vor allem Ethanol aus Zucker- und Stärkepflanzen (Zuckerrohr, Zuckerrüben, Weizen, Mais, Kartoffeln, ...) sowie Biodiesel aus Ölpflanzen (Palmöl, Sojaöl, Raps, ...) - dominieren mit weit über 99% der Menge den globalen Markt der Biotreibstoffe (IEA 2015a). Die sogenannten «modernen Biokraftstoffe³» (engl. «advanced biofuels») basieren, im Gegensatz zu den konventionellen Biotreibstoffen, auf Abfällen und Produktionsrückständen und stehen so nicht in direkter Konkurrenz zur Nahrungsproduktion. Sie trugen 2015 mit einer globalen Produktion von ca. 0.5 Mia. I (IEA 2015a) weniger als 0.5% zu der totalen globalen Biotreibstoffproduktion bei.

Die globale Produktion von konventionellem Bioethanol stieg von 2008 bis 2015 von ca. 85 auf 122 Mia. I pro Jahr an (OECD/FAO 2016a)⁴. Die OECD prognostiziert, dass diese Menge bis 2025 fast konstant bleiben wird (128 Mia. I im Jahr 2025). Die Produktion von konventionellem Biodiesel stieg seit 2008 relativ betrachtet deutlich stärker an (von ca. 16 auf 35 Mia. I pro Jahr) und soll auch bis 2025 weiter ansteigen (auf ca. 41 Mia. I pro Jahr). Damit kann gut 4% der Treibstoffnachfrage für den globalen Strassentransport gedeckt werden (IEA 2015a). Der Grossteil dieser produzierten Biotreibstoffe wird in den Produktionsländern verbraucht. Mit 2 bis 5 Mia. I pro Jahr macht der globale Handel mit Biotreibstoffen nur wenige Prozent der Produktion aus.

² Erst am 1.12.2017 publizierte der Bundestar einen Entwurf zur Totalrevision des CO2-Gesetzes für die Zeit nach 2020, in dem ein Ziel von 5% THG-Reduktion durch Beimischung von Biotreibstoffen vorgeschlagen wird.

³ Wir verwenden den Begriff «moderne Biokraftstoffe» in dem Sinne, wie er in dem deutschsprachigen Revisionsvorschlag zur «Renewable Energy Directive» der EU verwendet wird. Dies bezeichnet Biotreib- und Biobrennstoffe, die aus bestimmten Rohstoffen hergestellt werden.

⁴ Die entsprechenden Zahlen und Prognosen der IEA liegen etwas tiefer als die Zahlen der OECD/FAO. In ihrem Medium Term Market Report zu erneuerbaren Energien (IEA 2015a), ging die IEA von einer Biotreibstoffproduktion (Bioethanol und Biodiesel) von rund 136 Mia. I im Jahr 2015 und gut 144 Mia. I im Jahr 2020 aus.

Gemäss Analysen der FAO soll Bioethanol 2025 vor allem in den USA (44%) und in Brasilien (28%) produziert und verbraucht werden. Die EU dürfte dann 7% der globalen Menge an Bioethanol produzieren und verbrauchen. Bei Biodiesel hingegen wird erwartet, dass 2025 die EU mit 28% der globalen Produktion und des globalen Konsums weiterhin der grösste Markt sein wird, wobei sich der Anteil von heute rund einem Drittel verringert. Der zweite grosse Markt könnte die USA mit 24% der Produktion und 27% des Konsums werden. (OECD/FAO 2016b).

Die Schweiz steigerte den Verbrauch von Biotreibstoffen in den letzten Jahren: 2015 2'066 TJ, 2016 3'560 TJ und 2017 5'630 TJ (BFE 2016 und 2018). Das entspricht 2017 rund 2.6% der konsumierten Treibstoffmenge (ohne Flugtreibstoffe).

2. Ziel, Vorgaben und Einschränkungen der Studie

2.1. Ziel der Studie

Die Studie untersucht, welchen Beitrag flüssige Biotreibstoffe und Biobrennstoffe zur Erfüllung der CO₂-Inlandziele gemäss CO₂-Gesetzt in der Periode 2020 bis 2030 leisten können. Zur Beantwortung diese Frage wird untersucht, welche Beiträge sich aufgrund von erwarteten Mengen- und Preisentwicklungen bei den fossilen und den biogenen Treib- und Brennstoffen einstellen könnten, wenn einerseits die globalen Marktentwicklungen und andererseits auch die Veränderungen der politischen klima- und energiepolitischen Rahmenbedingungen insbesondere in der Europäischen Union berücksichtigt werden.

Konkret fokussiert die Studie auf die Entwicklung von Angebot und Nachfrage sowie die Preisentwicklung von Biotreib- und Biobrennstoffen im Schweizer Kontext unter zwei verschiedenen Randbedingungen (Szenarien):

- Die Szenarien betreffen einerseits die Kriterien für Biotreib- und Brennstoffe:
 - mit «Swiss-Finish»: hier wird angenommen, dass in Verkehr gesetzte Biotreib- und Biobrennstoffe die den heutigen Anforderungen für die Befreiung von der Mineralölsteuer (MinÖSt) in der Schweiz genügen müssen,
 - mit «EU-Finish»: hier wird angenommen, dass in Verkehr gesetzte Biotreib- und Biobrennstoffe den künftigen Anforderungen der EU bezüglich Produktion von «modernen Biokraftstoffen» genügen müssen.
- Andererseits werden unterschiedliche Preisentwicklungen beim Rohöl und damit bei den Produkten Benzin und Diesel angenommen.

2.2. Vorgaben und Einschränkungen

Die Nutzung von Bioenergie durch die direkte Verbrennung von festem organischem Material (z.B. Holz) sowie die Nutzung von Biogas werden ausdrücklich nicht berücksichtigt, obwohl

diese Nutzungen zum Teil auf denselben Rohstoffen basieren wie die untersuchten flüssigen Biotreib- und Biobrennstoffe. Fragen zu den qualitativen und logistischen Grenzen des Einsatzes von Biotreib- und Biobrennstoffen werden ebenfalls ausdrücklich nicht untersucht. Die Studie geht ausserdem nicht spezifisch auf Massnahmen ein, mit denen die Anteile der Biotreibund Biobrennstoffe verändert werden können.

Die Annahmen zum Gesamtabsatz an Diesel (ohne Flugpetrol), Benzin und Heizöl werden von den Auftraggebern vorgegeben (siehe Tabelle 3 in Kapitel 7, unter Schweiz; Diesel-, Benzinund Heizölverbrauch).

Die Frage nach der Entwicklung von Angebot und Nachfrage sowie von Preisen im Europäischen Kontext und damit auch der potenzielle Beitrag von Biotreib- und Biobrennstoffen zu Erfüllung der Schweizer Inlandziele über einen Zeitraum bis 2030 würde eigentlich eine dynamische Modellierung des Anbaus der Rohstoffe sowie der Nachfrage nach Biotreib- und Biobrennstoffen verlangen, jeweils in verschiedenen Ländern (oder ggf. Regionen), mit globalen Systemgrenzen und unter Berücksichtigung der jeweiligen energiepolitischen Rahmenbedingungen und wirtschaftlichen Entwicklungen der Länder. Weiter ist auch die Datenlage zu diesen Entwicklungen in der Literatur relativ beschränkt. Da eine umfassende Modellierung und das umfangreiche Sammeln von Daten im Rahmen dieses Auftrags nicht möglich ist wird in der vorliegenden Studie die Frage pragmatisch angegangen. Dabei muss darauf hingewiesen werden, dass die Ergebnisse, insbesondere wegen der relativ schwachen Datengrundlage für die im Schweizerischen Kontext interessanten Biotreib- und Biobrennstoffe, mit relativ hohen Unsicherheiten verbunden sind.

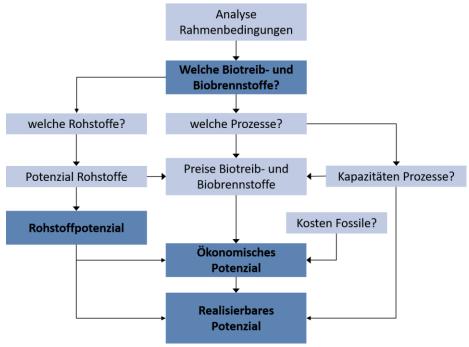
Weiter nimmt die Studie keine Wertung der Szenarien bezüglich der durch die Biotreibund Brennstoffe zu erfüllende Kriterien bezüglich ihrer Umwelt-, Klima- und Nachhaltigkeitswirkung vor.

Die Studie fusst auf den Stand der geplanten Regelungen auf Ebene der EU und der Schweiz zum Zeitpunkt der Erarbeitung (September 2017).

3. Vorgehen

Abbildung 3 zeigt das prinzipielle Vorgehen in dieser Studie schematisch auf.

Abbildung 3: Prinzipielles Vorgehen zur Bestimmung des Potenzials von Biotreib- und Biobrennstoffen



Grafik INFRAS.

Da über 99% der globalen Produktion von flüssigen Biotreib- und Brennstoffen auf Nahrungsoder Futtermittel als Rohstoffe basieren, diese aber in der Schweiz politisch unerwünscht sind,
beginnen wir in dieser Studie mit einer Analyse der heutigen und der absehbaren Rahmenbedingungen für Biotreib- und Biobrennstoffe in der Schweiz und in Europa. Auf dieser Basis werden zwei Szenarien mit unterschiedlichen Rahmenbedingungen für Biotreib- und Biobrennstoffe in der Schweiz definiert. Damit wird festgelegt, welche Biotreib- und Biobrennstoffe ab
2020 für den Schweizer Markt relevant sein werden.

Aus der Analyse folgt weiter wie gross die Nachfrage nach diesen Biotreib- und Biobrennstoffen in der EU sein dürfte.

Weiter wird auf Basis von bestehenden Prognosen für Rohöl- und Treibstoffpreise die Kosten für fossile Treib- und Brennstoffe in der Schweiz zwischen 2020 und 2030 modelliert um später die Kosten für Biotreib- und Biobrennstoffe damit verglichen zu können.

Auf der Basis einer Übersicht über mögliche Produktionspfade von Biotreib- und Biobrennstoffen werden die benötigten Rohstoffe identifiziert und in einem nächsten Schritt, auf Basis von bestehenden Arbeiten, deren nachhaltige Verfügbarkeit abgeschätzt. Daraus wird das **Rohstoffpotenzial** für Biotreib- oder Brennstoffen abgeschätzt.

Ebenfalls basierend auf bestehenden Studien und Daten werden die aktuellen und künftigen Produktionskosten für die Rohstoffe und für die verschiedenen Prozesse abgeschätzt. Da die Datenbasis dafür ziemlich dünn ist, stützen wir uns dabei auf Produktionsprognosen und generische Skalierungsgesetze ab.

Die resultierenden Produktionskosten für Biotreib- und Biobrennstoffe werden, unter Berücksichtigung von Steuern und Kompensationsbeiträgen, mit den Kosten für fossile Brennund Treibstoffe verglichen. Anhand dieses Vergleichs wird beurteilt, ob- und in welchen Fällen eine Substitution von fossilen Brenn- und / oder Treibstoffen aus ökonomischer Sicht sinnvoll wäre. So ergibt sich das **ökonomische Potenzial**.

Dies wiederum muss verglichen werden mit der Produktionskapazität, die zur Verfügung stehen wird. So lässt sich das **reale Potenzial** bestimmen. So zeigt sich auch, welcher Faktor (Rohstoffe, Kosten oder Produktionskapazität) die Produktion und den Konsum von Biotreibund Biobrennstoffen limitieren wird und wo in etwa die Grenze liegen dürfte.

4. Rahmenbedingungen in der Schweiz und in Europa

4.1. Situation Schweiz

4.1.1. Aktuelle Rahmenbedingungen

Die Schweiz bevorzugt bisher Biotreibstoffe, die spezifische ökologische und soziale Kriterien erfüllen, durch eine Befreiung von der Mineralölsteuer sowie durch das Instrument der Kompensationspflicht gemäss CO₂-Gesetz. Diese spezifischen Anforderungen zur Befreiung von der Mineralölsteuer werden als «Swiss-Finish» bezeichnet.

Biogene Treibstoffe

Die Steuererleichterung für biogene Treibstoffe ist im Mineralölsteuergesetz (MinöStG 1996) Artikel 12b geregelt. Aktuell gelten folgende Voraussetzungen für eine Befreiung der Treibstoffe von der Mineralölsteuer:

- Mindestens 40 Prozent weniger Treibhausgasemissionen als fossiles Benzin⁵ aus Gewinnung der Rohstoffe bis zu ihrem Verbrauch,
- höchstens 25 Prozent mehr gesamthafte Umweltbelastung⁶ als fossiles Benzin,

⁵ Benzin gilt auch für Biodiesel als Referenz

⁶ gemessen in Umweltbelastungspunkten (UBP) von der Gewinnung bis zum Verbrauch

- kein Anbau auf Flächen, die nach dem 1. Januar 2008 umgenutzt wurden und vor der Umnutzung einen hohen Kohlenstoffbestand oder eine grosse biologische Vielfalt aufgewiesen haben,
- der Anbau der Rohstoffe erfolgte auf Flächen, die rechtmässig erworben wurden,
- die biogenen Treibstoffe wurden unter sozial annehmbaren Bedingungen produziert.

Mit Ausnahme der letzten, bezüglich sozial annehmbaren Produktionsbedingungen, gelten die genannten Anforderungen gemäss Mineralölsteuergesetz bei biogenen Treibstoffen, die «nach dem Stand der Technik aus biogenen Abfällen oder Produktionsrückständen hergestellt werden», in jedem Fall als erfüllt. Dabei ist allerdings zu beachten, dass die Definition von "Abfällen oder Produktionsrückständen" Raum für Interpretation offenlässt (siehe Box 1). Bei biogenen Treibstoffen aus anderen (nicht Abfall-basierten) Rohstoffen müsste mit dem Antrag auf Steuererleichterung ein detaillierter Nachweis erbracht werden, dass die Bedingungen erfüllt sind. Unseres Wissens werden aktuell in der Schweiz aber nur Biotreibstoffe importiert und eingesetzt, die aus offiziell anerkannten Abfällen oder Produktionsrückständen hergestellt wurden und den spezifischen Nachweis deshalb nicht benötigen.

Zusätzlich zu den oben aufgelisteten Anforderungen kann der Bundesrat die Anforderung einführen, dass die Produktion der biogenen Treibstoffe nicht zulasten der Ernährungssicherheit erfolgen darf. Allerdings kann die wissenschaftliche Literatur bisher kaum generalisierbaren Aussagen dazu machen, unter welchen Umständen diese Bedingung erfüllt wäre (Robledo Abad et al. 2017). Entsprechend ist es schwierig abzuschätzen, wie eine solche Forderung operationalisiert werden könnte.

Mineralölsteuerbefreite Biotreibstoffe sind aktuell auch von der Kompensationspflicht gem. Art. 26 des aktuellen CO₂-Gesetzes⁷ ausgenommen und deren Nutzung kann zur Kompensation von CO₂-Emissionen angerechnet werden. Entsprechend kann diese Nutzung maximal im Rahmen der angedrohten Ersatzleistung bei fehlender Kompensation von bisher 160 Fr pro Tonne CO₂ finanziell gefördert werden. Ein entsprechendes Programm zur Kompensation durch Mineralölsteuerbefreite Biotreibstoffe von Biofuels Schweiz läuft seit 2014 bei der Stiftung Klimaschutz und CO₂-Kompensation (KLIK).

Biogene Brennstoffe

Biogene *Brenn*stoffe dagegen sind bisher automatisch und unabhängig von ökologischen und sozialen Produktionsauswirkungen von der Mineralölsteuer befreit. Eine Änderung dieser Regelung ist nicht vorgesehen. Da auf fossile Brennstoffe nur eine minimale Mineralölsteuer erhoben wird (3 CHF/ m³), erzielen Biobrennstoffe durch die Befreiung von der Mineralölsteuer

⁷ CO2-Gesetz vom 23. Dezember 2011 (Stand am 1. Januar 2013)

allerdings keinen relevanten Marktvorteil. Biobrennstoffe profitieren jedoch von der Befreiung von der CO₂-Abgabe auf Brennstoffen. Diese wird für fossile Brennstoffe ab 2018 von 84 CHF/Tonne CO₂ auf 96 CHF/Tonne CO₂, was etwa 25 Rappen pro Liter Heizöl entspricht, erhöht. Grundsätzlich wäre auch die Substitution von fossilen Brennstoffen durch Biobrennstoffe im Rahmen der Kompensation gem. Art. 26 des aktuellen CO₂-Gesetzes anrechenbar.

Box 1: Abfälle, Produktionsrückstände oder Koppelprodukte?

Im Sinne des Schweizer Umweltschutzgesetzes (USG) vom 7. Oktober 1983 gelten Produkte als Abfälle, wenn deren Inhaber sich ihrer entledigen will oder wenn deren Entsorgung im öffentlichen Interesse liegt. Auch die Abfallverordnung (VVEA) vom 4. Dezember 2015 und die Verordnung des UVEK über Listen zum Verkehr mit Abfällen (VeVA) vom 22. Juni 2005 liefern keine Definition, die eine eindeutige, objektive Beurteilung zulässt, ob ein Produkt als Abfall oder als Wertstoff zu betrachten ist. Als Anhaltspunkt für diese Beurteilung wird daher oft der ökonomische Wert beigezogen. Produkte, für deren Entsorgung der Inhaber bezahlen muss, gelten so eindeutig als Abfälle. Auch Produkte, die nur wenig zum gesamten Erlös aus einer Produktion beitragen, gelten meist unbestritten als Abfälle bzw. Produktionsrückstände. Ein Beispiel dafür ist das Sägemehl, das bei der Produktion von Holzbrettern anfällt. Wird der Beitrag eines Produktes am gesamten ökonomischen Ertrag einer Produktion hingegen signifikant, kann von einer Koppelproduktion gesprochen werden, womit das Produkt nicht mehr als Abfall gilt. Ein Beispiel dafür ist Weizenstroh: die integrierte Produktion von Weizen in der Schweiz erbringt gemäss der ecoinvent Datenbank (www.ecoinvent.org) rund 6.5 Tonnen Weizen und knapp 4 Tonnen Stroh pro Hektar. Bei Preisen für Weizen von rund 175 CHF/Tonne (http://www.finanzen.ch/rohstoffe/weizenpreis/CHF) und für Weizenstroh von 110 CHF/Tonne (https://www.sbvusp.ch/de/preise/pflanzenbau/futtermittel/stroh/) trägt somit das Stroh zu über einem Viertel des gesamten ökonomischen Ertrages des Weizenanbaus bei. Somit kann Stroh aus ökonomischer Sicht als Koppelprodukt der Weizenproduktion betrachtet werden.

4.1.2. Mögliche Veränderungen der Rahmenbedingungen nach 2020

Die Befreiung von Biotreibstoffen von der MinÖSt ist im aktuellen Gesetz bis zum 30.6.2020 befristet⁸. Die laufende Revision des CO₂-Gesetzes, die 2020 wirksam werden soll, liegt zurzeit erst im Entwurf vor (September 2017), weshalb wir uns auf Annahmen stützen müssen. Diese Revision sieht eine Erhöhung der Pönale bei Nichterreichen der Kompensationsziele von CHF 160.- auf CHF 320.- pro Tonne CO₂ vor (siehe Box 2 für die monetäre Auswirkung der Änderung auf Biotreib- und Biobrennstoffe). Um zu vermeiden, dass Biotreibstoffe bei einem allfälligen Wegfallen der Befreiung von der MinÖSt kompensationspflichtig werden⁹, sieht der Entwurf des CO₂-Gesetzes vor, nur noch die fossilen Treibstoffe als kompensationspflichtig zu definieren. Weiter gehen wir für unsere Analyse davon aus, dass die Anforderungen, welche heute im Rahmen der MinÖSt für die Steuerbefreiung von Biotreibstoffen gelten¹⁰, in ähnlicher Form z.B.

Box 2: Was würde ein Pönale von CHF 320.- pro Tonne CO₂ bedeuten?

Gehen wir davon aus, dass gemäss Entwurf zur Revision des CO₂-Gesetzes maximal 300 CHF/Tonne an die Kompensationsprojekte fliessen würden, lassen sich direkt die maximalen Erträge aus der Kompensation pro Liter produzierten oder importierten Biotreibstoffs bestimmen. Für Biotreibstoffe, die in der Schweiz hergestellt werden, muss bei dieser Berechnung berücksichtigt werden, wie viel Treibhausgase bei der Produktion der Treibstoffe verursacht wurden. Im Ausland anfallende Emissionen werden ignoriert. Mit den im Klik-Programm Biotreibstoffe angewandten CO₂-Einsparungen und Konversionsfaktoren (zur Berücksichtigung der Unterschiede beim Energieinhalt) pro I, ergeben sich folgende maximalen Kompensationserträge:

·	Inlandproduktion Swiss-Finish	Inlandproduktion EU-Finish	Import Swiss-Finish	Import EU-Finish
Biodiesel	0.68 CHF/I	0.66 CHF/I	0.72 CHF/I	0.72 CHF/I
Bioethanol	0.55 CHF/I	0.41 CHF/I	0.5 CHF/I	0.5 CHF/I

Zum Vergleich: Die Mineralölsteuer beträgt derzeit inklusive Zuschlag 0.76 CHF/l für Diesel und 0.73 CHF/l für Benzin.

Bemerkung: Zur Unterscheidung von «Swiss- und EU-Finish» wird auf Kapitel 5 verwiesen.

⁸ Eine parlamentarische Initiative (Eingereicht von T. Burkhart, 27.2.2017) zur Verlängerung der Steuererleichterung bis Ende 2030 ist momentan im Nationalrat hängig.

⁹ Nach Art. 27 sind die gemäss MinöSt steuerpflichtigen Personen kompensationspflichtig. Durch die Befreiung von der MinöSt werden bisher die Biotreibstoffe auch von der Kompensation ausgenommen. Wenn diese Befreiung wegfallen würde, würden ohne eine anderweitige Regelung automatisch auch die Biotreibstoffe kompensationspflichtig. Zur Zeit ist nicht klar, ob diese Befreiung wegfallen oder beibehalten wird.

¹⁰ Die heutige Verordnung über die Reduktion der CO2-Emisionen (641.711) enthält keine Anforderungen ausser der Reduktion von Treibhausgasemissionen.

im Umweltschutzgesetzt oder in den Vorgaben für Kompensationsprojekte aufgenommen würden.

4.2. Situation in der EU

4.2.1. Aktuelle Rahmenbedingungen

Aktuell sind die Bedingungen für die Steuererleichterung von Biotreibstoffen in der Schweiz deutlich anspruchsvoller als die Rahmenbedingungen zur Zumischung von Biotreibstoffen in den Ländern der Europäischen Union. Die «Renewable Energy Directive» (RED) von 2009 schreibt den Mitgliedstaaten der EU vor, «dass der Anteil von Energie aus erneuerbaren Quellen im Verkehrssektor bei allen Verkehrsträgern im Jahr 2020 mindestens 10 % des Endenergieverbrauchs im Verkehrssektor dieses Mitgliedstaats entspricht». Die "Fuel Quality Directive" (FQD) fordert eine 6%-ige Reduktion der GHG Intensität von Treibstoffen, was am einfachsten durch die Beimischung von Biotreibstoffen zu erreichen ist. Die RED und FQD wurden 2015 geändert um die Gefahr zu bannen, dass Biotreibstoffe eingesetzt werden, die aufgrund der von ihnen verursachten indirekten Landnutzungsänderung global gesehen eine stark reduzierte oder gar keine Treibhausgasvorteile gegenüber fossilen Treibstoffen mehr bieten. Die Änderung schränkt vor allem die Nutzung von Biotreibstoffen auf Basis von Getreide und anderen stärkehaltigen Pflanzen sowie Zucker- und Ölpflanzen ein, indem sie deren Anteil auf 7% des Endenergieverbrauchs im Verkehrssektor im Jahre 2020 limitiert.

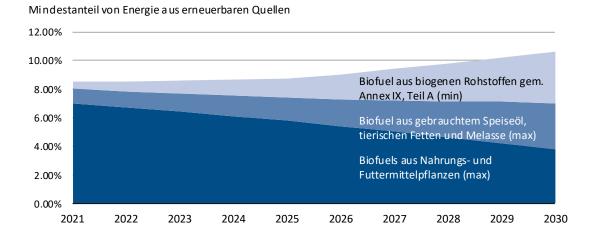
4.2.2. Mögliche Veränderungen der Rahmenbedingungen nach 2020

Die RED befindet sich aktuell in Revision und vieles deutet darauf hin, dass die Direktive ab 2020 noch strengere Anforderungen an Biotreibstoffe stellen wird. Gemäss dem Revisionsentwurf für die RED von 2016 (EC 2016) soll 2030 der angestrebte Anteil erneuerbarer Energien in allen Sektoren bei mindestens 27% liegen. Der Anteil an Biotreibstoffen, die aus Nahrungsoder Futtermittelpflanzen gewonnen werden, soll von der für 2020 geltenden Grenze von 7% weiter auf maximal 3.8% im Jahr 2030 reduziert werden. Gleichzeitig soll der Mindestanteil für «moderne Biokraftstoffe¹¹» von 1.5 % im Jahr 2021 auf 6.8% in 2030 erhöht werden. Dabei

*Moderne Biokraftstoffe» (englisch «advanced biofuels») sind solche, die aus Rohstoffen von einer abschliessenden Liste (in Anhang IX zur RED) hergestellt wurden. Die Rohstoffe sind Algen, Bioabfälle aus privaten Haushalten, Bioabfälle aus Industrie, die nicht als Futtermittel taugen, land- und forstwirtschaftliche Nebenprodukte (z.B. Stroh, Gülle, Bagasse, entkernte Maiskolben, Rinde oder Blätter), gebrauchtes Speiseöl, tierische Fette sowie Melasse aus der Zuckerproduktion.

wiederum gilt ein maximaler Anteil von Biotreibstoffen auf Basis von gebrauchtem Speiseöl, tierischen Fetten und Melasse von 1.7%¹².

Abbildung 4: Anteile an Biotreib- und Biobrennstoffen zur Erreichung des EU-Ziels für Energie aus erneuerbaren Quellen gemäss Artikel 7 Absatz 1 des Revisionsentwurfs der Renewable Energy Directive (EC 2016)



«Moderne Biokraftstoffe» bezeichnet die zwei heller gefärbten Kategorien oben im Bild.

Grafik INFRAS. Quelle: Europäische Kommission 2016 (Annex I)

5. Szenarien in dieser Studie

Global werden Biotreibstoffe bisher vor allem in den Heimmärkten verbraucht und relativ wenig international gehandelt. In der Schweiz hingegen wurden 2015 nur ca. 10% des Konsums im Inland produziert. Somit hängt die potenzielle Verfügbarkeit für den Schweizer Markt auch davon ab, wie gross die Produktion und Nachfrage in der EU und im Rest der Welt sein wird. Entsprechend müssen die Rahmenbedingungen nicht nur für die Produktion und Verwendung von Biotreib- und Biobrennstoffen in der Schweiz, sondern auch in der Europäischen Union und im Rest der Welt definiert werden.

¹² Bemerkung: Das Szenario im vorliegenden Bericht basiert auf dem Revisionsentwurf der Europäischen Kommission. Am 21.6.2018, kurz vor der Publikation dieses Berichtes, hat der Rat der Europäischen Union einen «finalen Kompromiss» dazu veröffentlicht. Darin wird ein Anteil der erneuerbaren Energien von 32% (statt 27%) angestrebt. Im Transportbereich wird demnach ein Ziel von 14% erneuerbarer Energie gesetzt (statt 10%). Dafür wird die von der Kommission vorgeschlagene Reduktion der Agrotreibstoffe auf 3.8% aufgegeben. Agrotreibstoffe dürfen bis 2030 weiterhin maximal 7% beitragen. Der Zielwert für «moderne Biokraftstoffe» von 6.8% im Jahr 2030 wurde ersatzlos gestrichen, der maximale Anteil von Biotreibstoffen auf Basis von gebrauchtem Speiseöl etc. auf 1.7% belassen und der Zielwert von 3.6% für «moderne Biokraftstoffe» ohne Speiseöl auf 3.5% gesenkt. Der Beitrag von Strom für Elektromobilität sollen neu sogar 4-fach und der Strom für Bahntransporte 1.5-fach gezählt werden. Die Beiträge von den «modernen Biokraftstoffen» können doppelt gezählt werden. Insgesamt wurden die benötigten Mengen an «modernen Biotreibstoffen» durch die Änderungen am Vorschlag der Kommission von 2016 eher reduziert. Die potenziellen Auswirkungen solcher Änderungen werden in der Box 3 in Kapitel 7 diskutiert.

Sowohl in der Schweiz wie auch in der EU laufen die bestehenden gesetzlichen Grundlagen 2020 aus und deren Anpassungen sind im Gang. In dieser Studie wird davon ausgegangen, dass die Europäischen Regeln für 2020 bis 2030 so gestaltet sein werden, wie das im Mai 2017 geplant war. Für die Regelung in der Schweiz betrachten wir einerseits ein Szenario mit den zum Mai 2017 geplanten Änderungen der rechtlichen Grundlagen sowie ein Alternativszenario, in dem die Schweiz ihre Regeln denen der EU teilweise angleicht.

Unabhängig von den Biotreib- und Biobrennstoff-Szenarien wird ein Szenario für Preis und Absatz von fossilen Brenn- und Treibstoffen angenommen.

5.1. Szenario «Swiss-Finish»

In diesem Szenario gehen wir davon aus, dass eine staatliche Förderung für Biotreibstoffe im Rahmen des bisher bekannten weiterbestehen wird (mit einer Weiterführung der Mineralölsteuer-Befreiung und/ oder einer Änderung der Pönale für nicht erreichte Kompensation auf 320 CHF/t). Zur Zeit der Erstellung der Studie ist noch offen, ob die Befreiung von Biotreibstoffen von der MinöSt im Juni 2020 wegfallen wird oder nicht. Ebenfalls ist noch nicht beschlossen, wie die Revision des CO2-Gesetzes genau ausfallen wird. Im Sinne eines konservativen Ansatzes¹³ gehen wir davon aus, dass die Förderung der Biotreibstoffe nach 2020 den Kompensationszahlungen gemäss Box 2 entsprechen wird. Weiter gehen wir davon aus, dass die Anforderungen an Kompensationsprojekte mit Biotreib- und Biobrennstoffen so formuliert werden, dass nur Biotreib- und Biobrennstoffe profitieren können, die den heutigen Kriterien der Mineralölsteuer-Befreiung vollständig genügen und schon heute in der Schweiz genutzt werden können. Konkret bedeutet das, dass primär Abfälle und Produktionsrückstände als Rohstoffe in Frage kommen und die Biotreib- und Biobrennstoffe nach dem Stand der Technik produziert werden müssen. Prinzipiell könnten künftig auch Biotreib- und Biobrennstoffe auf Basis von Lignocellulose, z.B. aus nachhaltiger Waldnutzung oder solche auf Algenbasis zum Einsatz kommen.

5.2. Szenario «EU-Finish»

Auch dieses Szenario davon aus, dass eine staatliche Förderung für Biotreibstoffe im Rahmen des bisher bekannten weiterbestehen wird. Im Gegensatz zu «Swiss-Finish» werden in diesem Fall aber die Anforderungen für Produktion und Import von Biotreib- und Biobrennstoffen als Kompensationsprojekte, an die Anforderungen der EU an «moderne Biokraftstoffe» angepasst.

¹³ Falls die Befreiung von der Mineralölsteuer und die maximalen Pönale im CO2-Gesezt bestehen bleiben, läge die maximal mögliche Förderung deutlich höher. In der Praxis kann dann der Ankaufspreis für Bescheinigungen aus Biotreibstoff als Kompensationsprojekt tiefer angelegt werden als die maximale Pönale.

Konkret umfasst dieser Begriff Treibstoffe aus Algen, Bioabfällen aus privaten Haushalten, Bioabfällen aus Industrie, die nicht als Futtermittel taugen, land- und forstwirtschaftlichen Nebenprodukten (z.B. Stroh, Gülle, Bagasse, entkernte Maiskolben, Rinde oder Blätter) sowie aus gebrauchtem Speiseöl, tierischen Fetten und Melasse. Auch in diesem Szenario könnten mit Biotreibstoffen auf Basis von Nahrungs- oder Futtermitteln keine anrechenbaren Kompensationen erreicht werden.

22|

6. Produktionspfade von Biotreib- und Biobrennstoffen

Abbildung 5 zeigt die möglichen Pfade für die Produktion verschiedener Fraktionen von Biotreib- und Biobrennstoffen auf. Wie bereits erwähnt, fallen für die Betrachtungen in dieser Studie die Öl-, Stärke- und Zuckerpflanzen als Rohstoffe weg. Weiter werden in dieser Studie nur flüssige Biotreib- und Biobrennstoffe betrachtet, womit Biogas ebenfalls wegfällt. Es verbleiben Algen und Wasserpflanzen sowie Holz und Gras als primäre Rohstoffe und Abfallfraktionen als sekundäre Rohstoffe, die zur Produktion von Biotreib- und Biobrennstoffen für den Schweizer Markt in Frage kommen. Die Produktionsprozesse, mit denen diese Rohstoffe in Biotreib- und Biobrennstoffe umgewandelt werden können, sind mehrheitlich¹⁴ noch in einem relativ frühen Entwicklungsstadium oder es existieren weltweit erst wenige industrielle Produktionsanlagen, die noch nicht lange produzieren. Es ist offensichtlich, dass für solche Technologien breit abgestützte Erfahrungswerte noch fehlen und dass entsprechend eine Abschätzung der künftigen Kostenentwicklung und Potenziale dieser Verfahren schwierig und mit beträchtlichen Unsicherheiten behaftet sind. Für die Potenzialabschätzung kommt erschwerend hinzu, dass unterschiedliche Verfahren, die unterschiedliche Biotreib- und Biobrennstoffe produzieren, zum Teil auf dieselben Rohstoffe angewiesen sind.

(1) 1 Ölpflanze (Palm, Lignocellulosepflanze Algen und Stärkepflanze (Mais, Zuckerpflanze (Zucker-Soja, Raps,..) (Holz, Gras, Schilf,... Weizen, Kartoffeln Wasserpflanzen rohr, Zuckerrübe,..) Altöl /-fett Restholz / Altholz Landwirtschaftsabfall Siedlungsabfall (2)/(3) 3 2/3 Hydrotherm<mark>ale</mark> Extraktion Vergasung Hydrolyse (2) Anaerobe Zuckerlösung Stärke Vergärung Synthesegas $(CO + H_2O)$ Vergärung (2)/(3) (3) (3) Alkohol-Trans-Chemische Synthese Destillation synthese **Biodiesel Biodiesel** Höhere Erneuerbarer Bio-Bio-Biogas **FAME** HVO Diesel (BtL) methanol Alkohole ethanol

Abbildung 5: Rohstoffe und Produktionsprozesse verschiedener Biotreib- bzw. Brennstoffe

Farbcodes: Grün = Biodiesel; Braun = Biogas; Blau = Bioalkohole

Schwarze Schrift = Produkte; Weisse Schrift = Prozesse

1: nicht Teil dieser Studie; 2: etablierter Prozess; 3: Prozess in Entwicklung

Grafik INFRAS. Quelle: IPCC 2014

_

¹⁴ Mit Ausnahme der Produktion von Biodiesel aus gebrauchtem Speiseöl

7. Rohstoffpotenzial für Biotreib- und Biobrennstoffe

Europaweit existiert ein grosses Potenzial an biogenen Abfällen (rund 3/4 davon sind Haushaltsabfälle) sowie an landwirtschaftlichen und forstwirtschaftliche Abfällen, die zur Produktion von abfallbasierten «modernen Biokraftstoffen» genutzt werden könnten (vgl. Tabelle 1 und Abbildung 6). Abzüglich der empfohlenen Anteile der biogenen Abfälle, die den land- und forstwirtschaftlichen Böden für deren Qualitätserhalt zurückgeführt werden sollten sowie den Anteilen zur Nutzung für Wärme, Strom, Biogas und Anderes, ergibt sich das nachhaltig nutzbare Potenzial an Abfällen zur Produktion von flüssigen modernen Biotreib- und Biobrennstoffen. Damit kann rund ein Drittel der anfallenden Abfälle nachhaltig zur Biotreibstoffproduktion genutzt werden. Der vom Potenzial für «moderne Biokraftstoffe» abgezogene Anteil, welcher für Wärme, Strom und Biogas genutzt wird, beträgt etwa 22 Mio. Tonnen pro Jahr (Searle & Malins 2016).

Tabelle 1: Heute verfügbare Menge an Abfällen/ Produktionsrückständen, nutzbar zur Produktion von «modernen Biokraftstoffen», in EU Staaten

Abfallherkunft	Gesamte anfal- lende Menge Abfall	Nachhaltig verfüg- bare Menge Abfall	Nachhaltig produ- zierbare Biotreib- stoffe aus Abfällen	Nachhaltig produ- zierbare Biotreib- stoffe aus Abfällen
	[Mio. t/Jahr]	[Mio. t/Jahr]	[Mio. t/Jahr]	[PJ/Jahr]
Landwirtschaftliche Abfälle	316	85	14	420
Forstwirtschaftliche Abfälle	68	9	2	60
Biogene Abfälle (v.a. Haushalt)	63	63	11	330
Total	447	157	27	810

Gewicht in Millionen Tonnen pro Jahr (Trockengewicht)

Annahme Biofuel-Ertrag aus Rohstoff: 0.16 bis 0.2 (gemäss Searle & Malins 2016)

Annahme Energiedichte: 30 MJ/kg Biotreibstoff in 2025 (Annahme gemäss Daten aus IEA 2016a Report)

Tabelle INFRAS. Quelle: Searle & Malins 2016

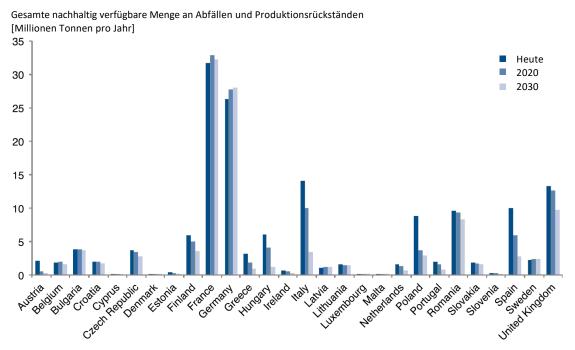
Diese Potenziale passen gut in den Kontext der globalen technischen Bioenergiepotenziale, die im aktuellsten IPCC Sachstandsbericht (IPCC 2014) ausgewiesen werden. IPCC spricht von 40 bis 50^{15} EJ (=40'000 - 50'000 PJ) für forst- und landwirtschaftliche Abfälle pro Jahr. Dabei ist zu beachten, dass diese Zahl den Energieinhalt der global verfügbaren Biomasse angibt während die 800 PJ für Europa sich auf den Energieinhalt der flüssigen Biotreib- und Brennstoffe beziehen. Bei einer Energieeffizienz der Biotreibstoffproduktion aus diesen Rohstoffen von knapp 25% könnten daraus global 10'000 - 12'500 PJ «moderne Biokraftstoffe» produziert werden.

INFRAS | 28. Juni 2018 | Rohstoffpotenzial für Biotreib- und Biobrennstoffe

¹⁵ Range mit hoher Einigkeit in der Literatur. Einzelne wissenschaftliche Publikationen sprechen von einem Potenzial von bis zu 125 FI

Daraus ergibt sich, dass das Potenzial für Europa zwischen 6.5 und 8% des globalen Potenzials ausmacht. Diese Grössenordnung scheint hinsichtlich dem 16% Anteil der Netto-Primärproduktion der Pflanzen (NPP) (Haberl H. et al, 2011) von Europa plausibel, wenn auch eher konservativ. Dass der NPP Anteil von Europa etwas grösser ist als der Anteil des Bioenergiepotenzials kann damit begründet werden, dass land- und forstwirtschaftliche Prozesse in Europa effizienter – also mit weniger Abfallproduktion – sind als im globalen Durchschnitt. Trotzdem ist der in Tabelle 1 ausgewiesene Wert als konservativ einzuschätzen, vor allem wegen der relativ grossen Differenz zwischen gesamten anfallenden und der nachhaltig verfügbaren Menge an Rohstoffen.

Abbildung 6: Nachhaltig verfügbare Abfall- und Produktionsrückstandsmengen von 2015 bis 2030 zur Biotreibstoffproduktion in EU Staaten



Gesamte verfügbare Abfall- und Produktionsrückstandsmenge (biogen, land- und forstwirtschaftlich) heute, 2020 und 2030.

Grafik INFRAS. Quelle: Searle & Malins 2016

Das so bestimmte nachhaltige Potenzial berücksichtigt, dass maximal 65% der landwirtschaftlichen Abfälle realistischerweise gesammelt werden können. Allerdings wird die Wirtschaftlichkeit der Rohstoffsammlung und der Produktion von «modernem Biokraftstoff» nicht berücksichtigt. Entsprechend kann das ausgewiesene Potenzial als ein technisch erreichbarer aber ökonomisch theoretischer Wert gelten.

Das Potenzial von gebrauchtem Speiseöl für die Produktion von Biotreib- oder Biobrennstoff ist in Searle & Malins 2016 nicht enthalten. Deshalb wird es hier noch separat diskutiert. In Europa besteht ein Potenzial von gebrauchtem Speiseöl aus Haushalten von rund 850'000 metrischen Tonnen, wobei heute erst rund 5% davon gesammelt und wiederverwendet werden. Das Potenzial ist dementsprechend noch gross, wobei diesem Potenzial diverse Hindernisse bezüglich der Realisierung gegenüberstehen (z.B. Sammelkosten, fehlendes Bewusstsein oder fehlende Bereitschaft der Haushalte und Restaurationsbetriebe zum Sammeln von gebrauchtem Speiseöl) (GREENEA 2017a). Die Umwandlungseffizienz für gebrauchtes Speiseöl zu Biodiesel liegt bei rund 90% (RECOIL 2013). Das europäische Potenzial für Biotreibstoffe aus gebrauchtem Speiseöl aus Haushalten liegt daher bei rund 870 Millionen Liter, wobei es mit den heute bereits gesammelten Mengen erst bei rund 50 Millionen Litern liegt. Durch die aktuelle Marktsituation wird für diesen Bereich nicht mit einem starken Anstieg der Potenzialausnutzung gerechnet (GREENEA 2017a). Demgegenüber wird im Bereich der Lebensmittelindustrie (Restaurants, etc.) mit einem viel stärkeren Wachstum gerechnet (GREENEA 2014). Das gesamte Potenzial für Biotreib- und Biobrennstoffe aus gebrauchtem Speiseöl (Haushalte und Industrie) beträgt rund 4'000 Millionen Liter (EUBIA 2017).

Gemäss einer analogen Abschätzung zum gesamten Rohstoffpotenzial (vgl. Tabelle 2) könnte die Schweiz von 2020 bis 2030 pro Jahr etwa 5 PJ Biotreibstoff mit den im Inland verfügbaren Abfallmengen aus der Landwirtschaft und Haushaltsabfällen produzieren. Die Menge ist relativ gering, da in der Schweiz ein grosser Teil der geeigneten Abfallfraktionen (vgl. «Gesamte anfallende Menge Abfall» in Tabelle 2), neben den Restmengen zur Erhaltung der Bodenqualität, entweder in Biogasanlagen oder in Kehrichtverbrennungsanlagen (KVA) energetisch genutzt werden oder in Kompostieranlagen stofflich verwendet werden. Daher wäre die Verfügbarkeit von Rohstoffen vermutlich zu gering, um eine kommerzielle Biotreibstoffanlage zu versorgen (Folgerung in Anlehnung an Searle & Malins 2016). Eine WSL Studie (Thees et al. 2017) weist ein ähnliches zusätzliches Potenzial aus landwirtschaftlichen Nebenprodukten (2.6 PJ) und biogenen Abfällen (2.8 PJ) für die Schweiz aus.

Tabelle 2: Abschätzung der heute verfügbaren Menge an Abfällen/Produktionsrückständen, nutzbar zur nachhaltigen Produktion von «modernen Biokraftstoffen», in der Schweiz

Abfallherkunft	Gesamte anfal- lende Menge bare Menge Abfall Abfall		٥.	Nachhaltig produ- zierbare Biotreib- stoffe aus Abfällen	
	[Mio. t/Jahr]	[Mio. t/Jahr]	[kt/Jahr]	[PJ/Jahr]	
Landwirtschaftliche Abfälle	2	0.5	85	2.5	
Forstwirtschaftliche Abfälle	0.5	0	0	0	
Biogene Abfälle (v.a. Haushalt)	0.5	0.5	80	2.4	
Total	3	1	165	5	

Datengrundlage: Die Werte aus Searle & Malins 2016 wurden für die Schweiz adaptiert in Anlehnung an die Werte für Österreich (ähnliche Bevölkerungszahl (Haushaltabfallpotenzial) / Landwirtschaftliche Nutzfläche und Waldfläche in Österreich ca. 3x grösser als in der Schweiz, die Holzernte ist um den Faktor 4 grösser)

Annahme: Holzabfälle werden für Wärme und Stromproduktion eingesetzt

Annahme Biofuel-Ertrag aus Rohstoff: 0.16 bis 0.2 (gemäss Searle & Malins 2016)

Annahme Energiedichte: 30 MJ/kg Biotreibstoff in 2025 (Annahme gemäss Daten aus IEA 2016a Report).

Tabelle INFRAS. Quelle: Abschätzung INFRAS

Setzt man die Menge an «modernen Biokraftstoffen» ohne Biodiesel aus gebrauchtem Speiseöl, die aufgrund der in Europa verfügbaren Rohstoffe potenziell pro Jahr produziert werden könnten, in Vergleich zum erwarteten jährlichen Gesamtenergieverbrauch im Schienen- und Strassenverkehr in der EU¹⁶, kommt man auf einen theoretischen Beitrag von 6.7% in 2020, 6.5% in 2025 und 6.2% in 2030 (siehe Tabelle 3). Die entsprechenden Quoten, welche die RED gemäss Vorschlag der Kommission vom 23.2.17 verlangen werden soll, liegen bei 1.5%, 2.9% und 6.8%. Zur Erfüllung dieser Quoten können neben den oben berücksichtigten Biotreibstoffen auch Biodiesel aus gebrauchtem Speiseöl, Biogas und erneuerbare Elektrizität beitragen. Werden die Beiträge dieser drei Quellen konservativ geschätzt¹⁷, müssten 2020, 2025 und 2030 noch 0.9%, 1.8% und 4.9% «modernen Biokraftstoffe» ohne Speiseöl zu den gesamten Treibstoffen in der EU beigemischt werden. Somit stehen in Europa bis 2025 sicher mehr als genug Rohstoffe zur Produktion der benötigten Mengen an «modernen Biokraftstoffen» zur Verfügung. Auch 2030 reicht das (konservativ abgeschätzte) theoretische Potenzial an Rohstoffen noch zur Erfüllung der Quote, doch müsste dann schon fast 80% des Rohstoffpotenzials ausgenutzt werden.

¹⁶ Die in der RED genannten Ziele und Quoten beziehen sich jeweils auf die Gesamtenergie im Schienen- und Straßenverkehr, die auf dem Markt für den Verbrauch oder die Nutzung bereitgestellt wird. Dabei werden Ottokraftstoff, Dieselkraftstoff, Erdgas, Biokraftstoff, Biogas, im Verkehrssektor eingesetzte flüssige oder gasförmige erneuerbare Kraftstoffe nicht biogenen Ursprungs, abfallbasierte fossile Kraftstoffe und Elektrizität berücksichtigt

¹⁷ 1/7 bis 1/2 der verfügbaren Menge an gebrauchtem Speiseöl gemäss EUBIA (2017) und maximal 1/2 der Biogasmenge des tiefsten Szenarios für Biomethan im Transportsektor gemäss European Biogas Association (EBA 2016).

Box 3: «Finaler Kompromiss» vom 21.6.2018 zur geplanten Neuauflage der EU Renewable Energy Directive

Am 21.6.2018, kurz vor der Publikation dieses Berichtes, hat der Rat der Europäischen Union einen «finalen Kompromiss» zur geplanten Neuauflage der Renewable Energy Directive veröffentlicht. Im Transportbereich soll demnach ein Ziel von 14% erneuerbarer Energie gesetzt werden (statt 10%). Dazu dürfen Agrotreibstoffe bis 2030 weiterhin maximal 7% beitragen (Vorschlag der Kommission war eine Reduktion auf 3.8%). Der explizite Zielwert für «moderne Biokraftstoffe» von 6.8% im Jahr 2030 wurde gestrichen, der maximale Anteil von Biotreibstoffen auf Basis von gebrauchtem Speiseöl etc. auf 1.7% belassen und der Zielwert von 3.6% für «moderne Biokraftstoffe» ohne Speiseöl auf 3.5% gesenkt. Der Beitrag von Strom für Elektromobilität sollen neu 4-fach und der Strom für Bahntransporte 1.5-fach gezählt werden. Die Beiträge von den «modernen Biokraftstoffen» können doppelt gezählt werden. Insgesamt werden die benötigten Mengen an «modernen Biotreibstoffen» durch die Änderungen am Vorschlag der Kommission von 2016 eher reduziert, was die Aussagen der Studie stützt. Im Ganzen betrachtet dürfte auch die höhere Quote auf Basis der europäischen Rohstoffe erfüllt werden können. Allerdings wird ein grösserer Beitrag von Nahrungsmittelbasierten Biotreibstoffen aus europäischen oder aussereuropäischer Quellen dazu benötigt.

Tabelle 3: Rohstoffpotenzial und Beimischquoten für «moderne Biokraftstoffe»						
Potenzial und Beimischquote - EU	Einheit	2020	2025	2030	Quelle:	
Gesamtenergiebedarf im Schienen- und Straßenverkehr (EU)	[PJ]	12'100	11'770	11'640	Europäische Kommission 2016, EU Reference Scenario 2016	
Nachhaltig verfügbares Rohstoffpotenzial						
«Moderne Biokraftstoffe» (ohne Speiseöl und Biogas)	[PJ]	810	765	720	Searle et al. 2016, Harrison et al. 2016	
Biokraftstoff aus gebrauchtem Speiseöl	[PJ]	107	107	107	EUBIA 2017	
Beimischpotenzial «moderne Biokraftstoffe	»	2020	2025	2030		
Beimischpotenzial exkl. Speiseöl und Biogas (Energie im Schienen- und Straßenverkehr)	[%]	6.7%	6.5%	6.2%		
EU-Quote für «moderne Biokraftstoffe»		2020	2025	2030		
Quote für «moderne Biokraftstoffe» (inkl. Biogas, Speiseöl & Elektrizität)	[%]	1.5%	2.9%	6.8%	Europäische Kommission 2016	
davon Elektrizität	[%]	0.2%	0.4%	0.9%	EU Ref. Scenario 2016	
davon aus gebrauchtem Speiseöl	[%]	0.1%	0.3%	0.5%	Speiseöl/Biogas 2030	
davon Biogas	[%]	0.3%	0.4%	0.6%	gemäss ICCT 2017	
davon flüssige «moderne Biokraftstoffe»	[%]	0.9%	1.8%	4.9%	Restlicher Anteil zur Erfüllung der Quote	
Mindestanteil der Quote aus flüssigen «modernen Biokraftstoffen» und Biogas (exkl. Speiseöl & Elektrizität)	[%]	0.5%	1.3%	3.6%	Europäische Kommission 2016	
Übriges Potenzial						
Freier Anteil des Rohstoffpotenzials (exkl. Sp	eiseöl)	87%	72%	21%	Nicht zur Erfüllung der	
	[%]	5.8%	4.7%	1.3%	Quote benötigter An-	
Restliches Potenzial der flüssigen «modernen Biokraftstoffe» (exkl. Speiseöl)	[Mio. Liter]	29'770	23'060	6'290	teil des Rohstoffpoten- zials, respektive der flüssigen «modernen	
(chini spelice)	[PJ]	710	550	150	Biokraftstoffe»	

Tabelle 3: Rohstoffpotenzial und Beimischquoten für «moderne Biokraftstoffe» (Fortsetzung)

Beimischpotenzial - Schweiz	Einheit	2020	2025	2030	Quelle:
Benzinverbrauch	[Mio. Liter]	3'000	2'750	2'500	Vorgabe
Dieselverbrauch	[Mio. Liter]	3'000	3'000	3'000	Erdöl-Vereinigung /
Heizölverbrauch	[Mio. Liter]	3'000	2′500	2'000	Biofuels Schweiz
Benzinverbrauch	[PJ]	97	89	81	
Dieselverbrauch	[PJ]	105	105	105	
Heizölverbrauch	[PJ]	105	88	70	
Potenzial «moderne Biokraftstoffe» Inland-	[Mio. Liter]	210	210	210	INFRAS Abschätzung
rohstoffverfügbarkeit	[PJ]	5	5	5	basierend auf Searle et al. 2016
Beimischpotenzial Treibstoff (gemäss Inlandrohstoffpotenzial)	[%]	2%	3%	3%	
Potenzial «moderne Biokraftstoffe» für Importe aus EU	[-]	gross	gross	gering	
Produktionsprognose - Global	Einheit	2020	2025	2030	Quelle:
Prognose für die globale Produktion von	[Mio. Liter]	2'800	36'000	57'000	Luxresearch 2017, IEA
«modernen Biokraftstoffen»	[PJ]	70	860	1'360	2016a

Tabelle INFRAS. Quelle: Europäische Kommission 2016, Searle et al. 2016, Harrison et al. 2016, Erdöl-Vereinigung / Biofuels Schweiz, INFRAS Abschätzung basierend auf Searle et al. 2016, Luxresearch 2017, IEA 2016a

Wie Tabelle 3 zeigt, könnte die Schweiz zwischen 2020 und 2030 theoretisch rund 3% ihres Treibstoffverbrauchs mit «modernen Biokraftstoffen» aus einheimischen Rohstoffen decken. Da die Nachfrage der Schweiz gegenüber dem Potenzial in der EU relativ klein ist und das Potenzial in der EU zumindest bis 2025 deutlich über den angestrebten Beimischquoten liegt, darf davon ausgegangen werden, dass bis 2025 in Europa genügend Rohstoffe verfügbar wären, um die Schweiz mit einem hohen Anteil an Biotreib- und Brennstoffen aus Europa zu versorgen. Zwischen 2025 und 2030 dürfte sich das Angebot allmählich verknappen und 2030 noch maximal als gering eingeschätzt werden. Das Ziel des Bundesrates 5% der Treibhausgasemissionen von Treibstoffen durch Biotreibstoff zu kompensieren¹⁸, dürfte so bis Mitte der Zwanzigerjahre nicht an mangelnden Rohstoffen in Europa scheitern. Gegen 2030 muss damit gerechnet werden, dass dazu Rohstoffe bzw. Biotreibstoffe aus anderen Weltregionen importiert werden müssten.

¹⁾ Das Rohstoffpotenzial von «modernen Biokraftstoffen» für die Schweiz, aufgrund des im europäischen Raum vorhandenen Rohstoffpotenzials, scheint zumindest theoretisch bis 2025 relativ gross. Die effektive Verfügbarkeit wird insbesondere durch die Produktionskapazitäten und -mengen bestimmt werden.

¹⁸ Entwurf des Bundesrates zur Totalrevision des CO2-Gesetzes für die Zeit nach 2020 vom 1.12.2017. Der Anteil, der durch in der Schweiz durchzuführende Massnahmen kompensiert werden muss, beträgt 15%.

8. Ökonomisches Potenzial von Biotreib- und Biobrennstoffen

Auch wenn der Anteil an «modernen Biokraftstoffen» im globalen Markt in den nächsten Jahren noch gering bleiben dürfte, wird in der Literatur generell mit einem signifikanten Produktionszuwachs gerechnet (siehe Tabelle 3). Die Unsicherheiten sind allerdings beträchtlich. So geht Luxresearch (2017) bis 2022 von einer Vergrösserung der Produktionskapazität aus nichtnahrungsmittelbasierten «modernen Biokraftstoffen» auf rund 36 Milliarden Liter pro Jahr aus. Die IEA (2016a) rechnet hingegen mit lediglich 2.8 Milliarden Litern «modernen Biokraftstoffen» bis 2020 aufgrund der im Jahr 2015 bekannten Projektpipeline.

In den vergangenen Jahren wurde verstärkt in Produktionsanlagen für «moderne Biokraftstoffe» investiert. In den Jahren 2014/2015 wurden weltweit 7 neue Produktionsanlagen für «moderne Biokraftstoffe» in kommerzieller Grösse gebaut. In diesen Anlagen werden Biotreibstoffe aus biogenen, landwirtschaftlichen und forstwirtschaftlichen Abfällen hergestellt. Die meisten neuen Produktionsanlagen stellen Ethanol aus Lignocellulose her. Das Potenzial für sinkende Investitions- und Produktionskosten ist für diese Technologien sehr gross. Auch kann die Wertschöpfung aus Nebenprodukten zu einer verbesserten Wirtschaftlichkeit z.B. der Forstwirtschaft beitragen. Ein künftig stärkerer Ausbau dieser Technologien wird wohl durch weiter sinkende Produktionskosten begünstigt, es wird jedoch erwartet, dass auch entsprechende politische Massnahmen (z.B. Beimischquoten) notwendig sind (IEA 2016b, S. 61). Auf diese Weise könnten «moderne Biokraftstoffe» im Jahr 2040 mehr als 20% des Biotreibstoffverbrauchs abdecken (IEA 2015b, S.365).

Die Produktionskosten von lignocellulosebasiertem Fischer-Tropsch Biodiesel der nächsten Generation waren mit geschätzten Produktionskosten von rund 1'500 CHF pro Tonne im Jahr 2015 (ECOFYS 2016) etwa doppelt so hoch wie der Marktpreis von fossilem Diesel. Über die effektiven Produktionskosten von Fischer-Tropsch Biodiesel sind nur wenige Daten verfügbar. Die Zahlen sind somit mit signifikanten Unsicherheiten behaftet. Die Studie von ECOFYS kommt in ihrer Analyse von drei verschiedenen «modernen Biokraftstoffen» Technologien zum Schluss, dass Ethanol aus Lignocellulose der attraktivste Biotreibstoff für Investoren ist. Die Produktionskosten von Lignocellulose-Ethanol wurden auf rund 850 CHF pro Tonne geschätzt und fallen somit wesentlich tiefer aus, als jene des Fischer-Tropsch Biodiesels oder von «hydrotreated pyrolysis oil» mit 1'900 CHF pro Tonne (ECOFYS 2016, S.9). Der Break-even für «moderne Biokraftstoffe» gegenüber konventionellen Biotreibstoffen liegt bei Produktionskosten von rund 1'000 CHF pro Tonne (130 USD/bbl) (IEA 2015a, S. 229f). Tabelle 4 fasst die Daten aus den verschiedenen Quellen zusammen.

Tabelle 4: Produktionskosten von «modernen Biokraftstoffen» und konventionellem Biodiesel

	Produktionskos- ten 2015 [CHF/t]	Produktionskos- ten 2020 [CHF/t]	Produktionskos- ten 2030 [CHF/t]	Quelle
«moderne Biokraftstoffe»	1′000 – 2′300	850 – 2'300 ¹⁾	k.A.	ECOFYS 2016 / IEA 2015a
Ethanol aus Weizenstroh	800	k.A.	k.A.	DBFZ 2016
Fischer-Tropsch-Diesel (aus Schwarz- lauge, Siedlungsabfällen oder Holz)	1'400 – 1'500	1'400 - 1'500 ³⁾	k.A.	ECOFYS 2016
Ethanol aus Lignocellulose	1′150	850 ³⁾		ECOFYS 2016
Konventionelle Biotreibstoffe	575 – 810	710 – 920	960 – 1'010 ²⁾	OECD/FAO 2016a

¹⁾ Zusammengesetzte Preisspanne basierend auf Schätzungen aus IEA 2015 (oberer Wert) und ECOFYS 2016 (unterer Wert)

Tabelle INFRAS. Quelle: IEA 2015a, ECOFYS 2016, DBFZ 2016, OECD/FAO 2016a

Diese Kosten beinhalten die Kosten für Rohstoffe, Energie, Personalaufwand und Amortisation der Anlagen. Typische Rohstoffpreise sind in Tabelle 5 dargestellt. Die Transportkosten stellen einen wesentlichen Bestandteil dieser Preise dar. So wird von rund 50% Transportkosten ausgegangen (NNFCC 2013). Für die Amortisationskosten der Anlagen wird mit einer technischen Lebensdauer von 20 Jahren gerechnet (ECOFYS 2016).

Tabelle 5: Rohstoffkosten für Agrar- und Forstwirtschaftliche Abfälle

Preisspanne (inkl. Transport)	von [€/t]	bis [€/t]	Quelle
Weizen- und Gerstenstroh (Zentral- und Nordeuropa)	60	80	NNFCC 2013
Weizen- und Gerstenstroh (Süd- und Osteuropa)	30	40	NNFCC 2013
Forstwirtschaftliche Reste/Abfälle	40	65	NNFCC 2013
Landwirtschaftliche Abfälle	65	65	ECOFYS 2016
Forstwirtschaftliche Abfälle	50	50	ECOFYS 2016

Inklusive Transportkosten zwischen 30 und 100 km.

Tabelle INFRAS.

Im Folgenden werden die Entwicklungen der Herstellkosten von Biodiesel und Bioalkoholen mit verschiedener Produktionsverfahren genauer beleuchtet.

²⁾ Preisspanne basierend auf Preisschätzungen aus OECD/FAO 2016 für 2015 bis 2025

³⁾ Produktionskosten Ethanol im Jahr 2020 wiederspiegeln Werte für «next of a kind» Anlagen

⁻ Alle Werte gerundet, k.A. = keine Angaben

^{- 800} CHF/t Ethanol aus Weizenstroh (DBFZ 2016): Ca. 10-20% davon sind Rohmaterialkosten, Strohkosten inkl. Transport von 65 bis 237 CHF/t (ICCT 2017)

⁻ Verwendete Wechselkurse: 1.15 CHF/EUR, 1 CHF/USD

8.1. Transesterifizierung von Pflanzenöl (FAME)

FAME sind Fettsäuremethylester, die aus Pflanzenöl unter Einsatz von Methanol produziert werden. In Hinblick auf «moderne Biokraftstoffe» werden FAME nur aus gebrauchtem Speiseöl hergestellt. FAME sind chemisch ähnlich zu Diesel aber nur begrenzt stabil und können bei der Verbrennung im Vergleich zu Diesel zu höheren Schadstoffemissionen (z.B. NOx) führen. Aufgrund der begrenzten Stabilität eignen sich FAME nicht als Ersatz von Heizöl.

Global dominieren FAME den Biodieselmarkt. Der Produktionsprozess ist günstig und gut etabliert und es gibt global erhebliche Überkapazitäten (REN21, 2016). Die Produktion von konventionellem Biodiesel aus Raps hat einen Rohmaterialkostenanteil von ca. 85% und kostet rund 700 CHF pro Tonne (DBFZ 2016, S.107). Daraus lassen sich Prozesskosten von 0.12 CHF/I ableiten. Eine wesentliche Veränderung dieser Kosten durch Skaleneffekte ist in den nächsten 15 Jahren nicht mehr zu erwarten, da die Technologie bereits ausgereift ist.

Der Marktpreis für gebrauchtes Speiseöl schwankt gemäss (GREENEA 2017b) zwischen 600 und 800 US\$ pro Tonne. Ein Anbieter aus Deutschland bietet es auf Alibaba¹⁹ zurzeit für 150 – 300 US\$/Tonne an. Dies entspricht 0.16 bis 0.86 CHF/l. Zusammen mit den Produktionskosten ergibt sich für die Herstellung von FAME aus gebrauchtem Speiseöl unter Berücksichtigung der Umwandlungseffizienz von 90% ein Kostenbereich von rund 0.30 bis 1.07 CHF/l. Wir gehen in dieser Studie davon aus, dass die Kosten bis 2030 im heutigen Bereich bleiben werden. Da die Nachfrage in der EU mit der Revision der RED voraussichtlich steigen wird, dürfte sich der Wert mit den Jahren eher zum oberen Bereich der Preisspanne verschieben.

8.2. Hydrierung von Pflanzenöl (HVO)

HVO sind hydrierte Pflanzenöle und werden auch «erneuerbarer Diesel» genannt. Sie sind langzeitstabil und können Diesel oder Heizöl 1:1 ersetzen. Wie FAME werden HVO heute vorwiegend aus primären Ölpflanzen gewonnen. Im Rahmen der Produktion von «modernen Biokraftstoffen» kann das Verfahren eine Rolle spielen bei der Verarbeitung von gebrauchtem Pflanzenöl sowie bei Tierfetten und in Zukunft gegebenenfalls bei der Verarbeitung von ölhaltigen Algen.

Global machen HVOs nur 4% der Biotreibstoffproduktion aus. Der Prozess ist noch relativ neu und mit geschätzten 0.3 - 0.4 CHF/l²⁰ deutlich teurer als der FAME-Prozess. Mit den oben genannten Kosten für Altspeiseöl ergeben sich geschätzte HVO Herstellungskosten im Bereich von rund 0.5 bis 1.4 CHF/l. Da die Rohstoffkosten dominieren, sind die Herstellkosten von HVO Biodiesel aus Altspeiseöl nur wenig teurer als das entsprechende FAME. In den nächsten 15

¹⁹ https://www.alibaba.com/showroom/used-cooking-oil-for-biodiesel.html

²⁰ Aufgrund von Angaben in DBFZ 2016

Jahren darf ein Rückgang der Prozesskosten erwartet werden, doch dürfte dieser von tendenziell steigenden Rohstoffkosten kompensiert werden.

8.3. Vergärung / Destillation von Zucker- und Stärke

Direkte Vergärung zu Alkohol und anschliessende Destillation setzt voraus, dass die Rohstoffe einfache Zucker enthalten. Entsprechend ist dieses Verfahren auf Zucker- und Stärkepflanzen beschränkt. Für die «modernen Biokraftstoffe» ist es darum praktisch irrelevant.

8.4. Aufschluss / Vergärung / Destillation von Cellulose

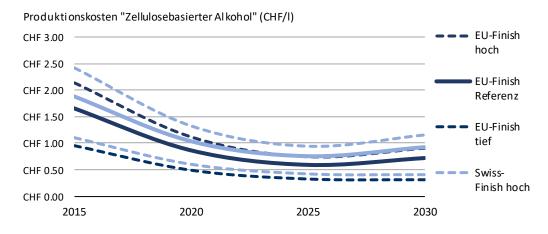
Für die Herstellung von Alkoholen auf Basis von Stroh oder anderer Cellulosematerialien müssen diese erst mechanisch und thermisch und danach chemisch oder biotechnologisch aufgeschlossen werden. Die für den Aufschluss benötigten Enzyme sind dabei auf spezifische Rohstoffe optimiert. Die Prozesse sind mehrheitlich noch im Versuchs,- Pilot- oder vorindustriellen Stadium und entsprechend noch relativ teuer. Abbildung 7 zeigt eine Abschätzung der heutigen und künftigen Produktionskosten mit diesen Verfahren. Die Abschätzung basiert auf einer kombinierten Skalierungs- und Lernkurve, nach der die Preise mit der Produktionsmenge sinken (Berechnung basiert auf Wright 1936, Grundlagen im Annex II). Zum Kalibrieren der Funktion musste auf wenige, stark streuende Kostenangaben zurückgegriffen werden. Die Kosten aus ECOFYS 2016 wurden mit relativ langen technischen Amortisationszeiten für die Produktionsanlagen berechnet. Da für Investitionsentscheide üblicherweise sehr viel kürzere Amortisationszeiten eingesetzt werden, lägen die Kosten aus einer Investitionsrechnung sicher über den hier verwendeten Kosten. Der Streubereich der Kostenangaben in der Literatur wurde dazu verwendet, die Szenarien mit hohen / tiefen Kosten zu definieren.

Wie aus Abbildung 8 deutlich hervorgeht, dominieren vorerst die Prozesskosten. Mit steigender Produktion und Effizienzgewinnen über die Jahre dürften diese aber deutlich sinken während die Rohstoffkosten aufgrund der grösseren Nachfrage steigen werden. Da es sich bei den Rohstoffen um Produktionsabfälle aus der Landwirtschaft handelt, bedeuten grössere (und günstigere) Ethanol-Produktionsanlagen automatisch grössere Transportdistanzen für die Rohstoffe. Bei einer Verdoppelung der Anlagengrösse kann aufgrund von geometrischen Überlegungen mit einem Anstieg der Transportdistanzen für land- und forstwirtschaftliche Abfälle²¹ um 50% gerechnet werden. Da schon heute die Transporte der Rohstoffe einen wesentlichen Teil der Rohstoffkosten ausmacht (gem. NNFCC, 2013 ca. 50%), folgt daraus, dass eine Verdoppelung der Anlagengrösse zu einem Preisanstieg von 25% bei den Rohstoffen führt. Da eine

²¹ Für Produktionsabfälle aus der Holzverarbeitung wäre diese Annahme nicht korrekt. Solche Abfallfraktionen werden aber bereits heute zum allergrössten Teil energetisch genutzt und stehen für «moderne Biokraftstoffe» entsprechend weniger zur Verfügung.

Vervielfachung der globalen Produktionskapazität natürlich nicht dasselbe ist wie die Vervielfachung der Kapazität einer einzigen Produktionsanlage, setzen wir zur Berechnung deutlich reduzierte Skalierungsfaktoren an (Details im Annex II).

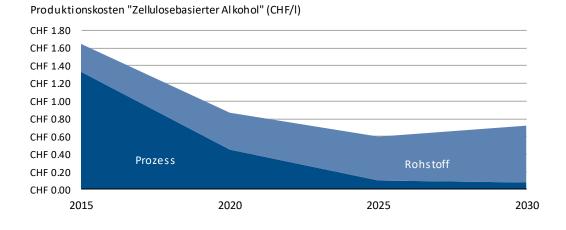
Abbildung 7: Geschätzte Produktionskosten für Ethanol aus Stroh



Grafik INFRAS. Abschätzung auf Basis von Prozess- und Rohmaterialkostenentwicklungen

Die Dominanz der steigenden Rohstoffkosten ab 2025 führt danach zu steigenden Produktionskosten.

Abbildung 8: Geschätzte Aufteilung der Produktionskosten für Ethanol aus Stroh in Prozess- und Rohstoffkosten im EU-Finish



Grafik INFRAS. Abschätzung auf Basis von Prozess- und Rohmaterialkostenentwicklungen

8.5. Biomass to Liquid (BtL)

Im BtL Verfahren wird die Biomasse vergast (Pyrolyse), um Wasserstoff (H₂) und Kohlenmonoxid (CO) zu gewinnen. Aus diesen Bausteinen werden danach flüssige Kohlenwasserstoffe synthetisiert. So kann mit BtL sowohl Diesel als auch Alkohol produziert werden. Die Kosten für beide Produktklassen sind vergleichbar. Als Rohstoff für BtL kommt praktisch jede Biomasse in Frage. Da der Prozess aber deutlich teurer, aufwändiger und aus energetischer Sicht ineffizienter ist, als alle bisher besprochenen Alternativen, kommt er nur für Rohstoffe zur Anwendung, für die kein anderes Verfahren geeignet ist, zum Beispiel spezielle forstwirtschaftliche Abfälle oder Nussschalen.

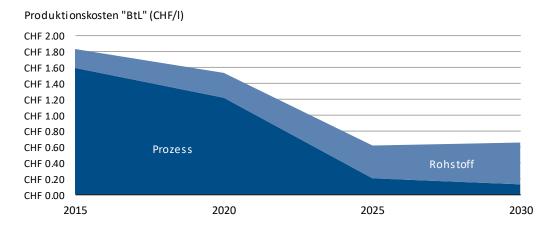
Die Prozesse sind mehrheitlich noch im Versuchs,- Pilot- oder vorindustriellen Stadium und entsprechend relativ teuer. Abbildung 9 zeigt eine Abschätzung der heutigen und künftigen Produktionskosten mit diesen Verfahren (Berechnungsgrundlagen und Ergebnisse im Annex III). Die in 8.4 diskutierten Punkte zu den Daten und zur Methode gelten analog. Wie aus Abbildung 10 deutlich hervorgeht, dominieren vorerst die Prozesskosten. Mit steigender kumulierter Produktion über die Jahre werden diese aber deutlich sinken während die Rohstoffkosten aufgrund der grösseren Nachfrage steigen werden. Im Wesentlichen gelten die Aussagen zu den Rohstoffen, die in 8.4 gemacht wurden. Allerdings sind die Rohstoffe für BtL Prozesse deutlich günstiger als die für Lignocellulose-Alkohole.

Produktionskosten "BtL" (CHF/I) EU-Finish CHF 3.00 hoch CHF 2.50 **EU-Finish** CHF 2.00 Referenz CHF 1.50 **EU-Finish** tief CHF 1.00 CHF 0.50 Swiss-Finish hoch CHF 0.00 2015 2020 2025 2030

Abbildung 9: Geschätzte Produktionskosten für Diesel oder Ethanol mit BtL

Grafik INFRAS. Abschätzung auf Basis von Prozess- und Rohmaterialkostenentwicklungen

Abbildung 10: Geschätzte Aufteilung der Produktionskosten für Diesel oder Ethanol mit BtL in Prozess- und Rohstoffkosten im EU-Finish



Grafik INFRAS. Abschätzung auf Basis von Prozess- und Rohmaterialkostenentwicklungen

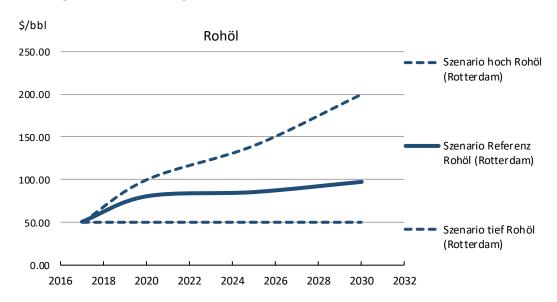
8.6. Szenarien zur Ölpreisentwicklung

Zum Vergleich der Produktionskosten der Biotreib- und Biobrennstoffe werden drei Preisentwicklungsszenarien für Heizöl, Diesel und Benzin angesetzt (Abbildung 11 – Abbildung 14). Das Referenz- und das Hoch-Szenario basieren auf der Entwicklungsprognose der Benzinpreise in EIA 2017 sowie auf einer Aufschlüsselung der Treibstoffkosten des Mineralölwirtschaftsverbandes und der Erdöl-Vereinigung²². Zum Kalibrieren des Modelles wurden die Benzin- und Dieselpreisangaben des TCS Schweiz für 2017 sowie Heizölpreise vom Heizölpreisrechner²³ verwendet. Das Tief-Szenario geht davon aus, dass die Preise auf dem Niveau von 2017 bleiben. Diese Preisszenarien werden angesetzt um die Wettbewerbsfähigkeit von Biotreib- und Biobrennstoffen abzuschätzen. Die Werte sind in Annex IV gegeben.

²² https://www.mwv.de/statistiken/preiszusammensetzung und https://www.erdoel.ch/images/com_evdocs/16_erdoel_preisbildung_d.pdf

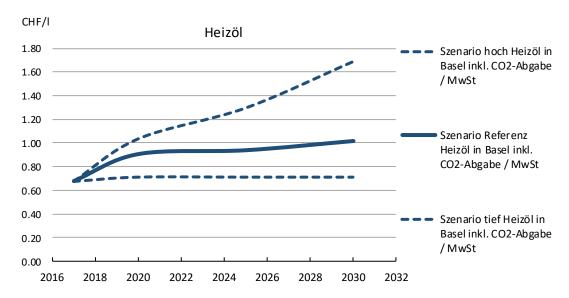
²³ https://www.heizoel24.ch/heizoelpreise

Abbildung 11: Kostenentwicklung für Rohöl in Rotterdam



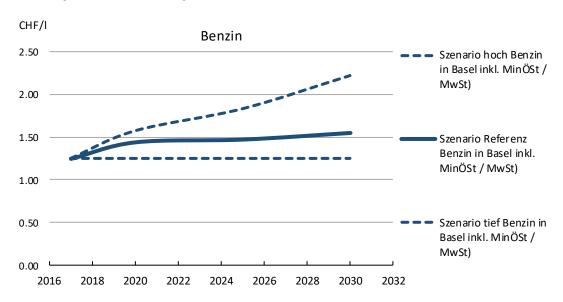
Grafik INFRAS. Abschätzung auf Basis von IEA 2015b / EIA 2017 / Aufschlüsselung der Treibstoffkosten und Zapfsäulenpreisen in der Schweiz

Abbildung 12: Kostenentwicklung für Heizöl



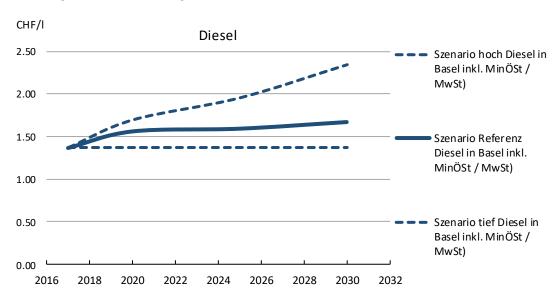
Grafik INFRAS. Abschätzung auf Basis von IEA 2015b / EIA 2017 / Aufschlüsselung der Treibstoffkosten und Zapfsäulenpreisen in der Schweiz

Abbildung 13: Kostenentwicklung für Benzin



Grafik INFRAS. Abschätzung auf Basis von IEA 2015b / EIA 2017 / Aufschlüsselung der Treibstoffkosten und Zapfsäulenpreisen in der Schweiz

Abbildung 14: Kostenentwicklung für Diesel



Grafik INFRAS. Abschätzung auf Basis von IEA 2015b / EIA 2017 / Aufschlüsselung der Treibstoffkosten und Zapfsäulenpreisen in der Schweiz

8.7. Kostenvergleich Biotreib- und Biobrennstoffe mit fossilen Treib- und Brennstoffen

Abbildung 15 zeigt einen Vergleich der Kosten für Erdölprodukte im Rheinhafen Basel (inkl. Mineralöl- und Mehrwertsteuer oder CO₂-Abgabe²⁴ und Mehrwertsteuer) mit den Kosten für entsprechende Biotreib- oder Biobrennstoffe (inkl. Mineralöl und Mehrwertsteuer sowie maximal möglichem Ertrag der Kompensation bei Inlandproduktion²⁵). Demnach kann die die Höhe der Kompensation in praktisch allen Kombinationen der Kostenentwicklungsszenarien von fossilen und biogenen Treib- und Brennstoffen zu allen Zeitpunkten so festgelegt werden dass die Produktion von FAME aus gebrauchtem Speiseöl konkurrenzfähig wird zu fossilem Diesel.²⁶ Einzig, wenn die Kosten für fossile Treibstoffe sehr tief bleiben und die Produktionskosten für FAME aus gebrachtem Speiseöl steigen, dürfte die Wirtschaftlichkeit von FAME inklusive Förderung weniger eindeutig sein²⁷.

HVO aus gebrauchtem Speiseöl wird inklusive Förderung günstiger als Diesel, solange sich die Kosten für HVO nicht gemäss dem Hochkostenszenario entwickeln. In diesem Fall wird HVO nur günstiger als Diesel, wenn sich auch die Dieselpreise gemäss dem Hochkostenszenario entwickeln.

Je nach Szenario könnten die Produktionskosten für Cellulose-Alkohol 2020, im Vergleich zu den Beschaffungskosten für Benzin pro Liter, tiefer, ähnlich oder höher liegen. Da Ethanol einen deutlich tieferen Energieinhalt als Benzin hat, zeigt der Vergleich der erwarteten Kosten pro Energieinhalt für 2020, dass Cellulose-Ethanol (auch inklusive Förderung) nicht konkurrenzfähig sein dürfte. Ab 2025 hingegen könnten die Produktionskosten pro Liter und auch pro Energieinhalt tiefer liegen als die Beschaffungskosten für Benzin. Einzig in der Kombination der Szenarien mit tiefer Kostenentwicklung bei fossilen und hoher Kostenentwicklung bei Ethanol läge Ethanol in einem ähnlichen Bereich für 2025 und bei höheren Kosten für 2030.

Der Vergleich von BtL Diesel zu fossilem Diesel zeigt ein ähnliches Bild. Auch BtL wird 2020 gegenüber Diesel noch nicht konkurrenzfähig sein. Ab 2025 hingegen könnten die BtL Produktionskosten unter den Beschaffungskosten für Diesel liegen.

Im Vergleich zur Beschaffung von Heizöl (inkl. Steuern und CO₂-Abgabe) werden alle Biobrennstoffe ab 2025 günstiger produziert werden können. Speiseöl-HVO kann bereits 2020 günstiger produziert werden, während die anderen Biobrennstoffe in 2020 noch zu teuer sein dürften.

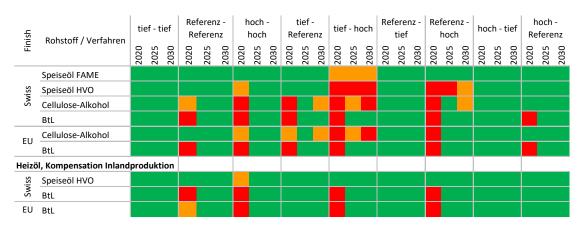
²⁴ Der CO₂-Abgabesatz wird mit 96 CHF/t CO₂ konstant angenommen

²⁵ 0.41 – 0.72 CHF/I, siehe Box 2, Gemäss Revisionsentwurf des CO2-Gesetzes

²⁶ Unter Berücksichtigung entsprechender Steuern, Abgaben und der Förderung als Kompensationsprojekt; siehe Abbildung 15

²⁷ Aufgrund der Prognoseunsicherheiten betrachten wir eine Differenz von weniger als 0.2 CHF als ähnlich.

Abbildung 15: Kostenvergleich «fossil – bio» (mit Steuern, Abgaben und Förderung als Kompensationsprojekt)



«tief – hoch» bedeutet, dass das die Preise von Diesel, Benzin oder Heizöl im Tiefpreisszenario mit den Biotreib- oder Biobrennstoffkosten in Hochpreisszenario verglichen werden.

Grün: Biotreib- oder Biobrennstoff mehr als 0.1 CHF/I günstiger als fossil,

Orange: Biotreib- oder Biobrennstoff etwa gleich teuer wie fossil,

Rot: Biotreib- oder Biobrennstoff mehr als 0.1 CHF/I teurer als fossil.

Grafik INFRAS.

Aus ökonomischer Sicht sollte es demnach jederzeit möglich sein, mit der Förderung als Kompensationsprojekt praktisch jede produzierbare Menge von Biotreib- oder Biobrennstoff aus gebrauchtem Speiseöl auf dem Schweizer Markt abzusetzen. Cellulose-Alkohol könnte aus rein ökonomischer Sicht schon ab 2020 in jeder beliebigen Menge vom Markt aufgenommen werden. Spätestens ab 2025 sollte das aufgrund der geschätzten Kostenentwicklung der Fall sein. Ebenfalls ab 2025 sollten auch BtL Biotreib- oder Biobrennstoffe in beliebiger Menge (im Rahmen der Gesamtnachfrage) vom Schweizer Markt aufgenommen werden können.

9. Realisierbares Potenzial von Biotreib- und Biobrennstoffen für den Europäischen und den Schweizer Markt 2020 - 2030

Produktionskapazität für «moderne Biokraftstoffe» in der EU

Ein Vergleich des Europäischen Rohstoffpotenzials mit der globalen Produktionskapazitätsprognose zeigt, dass bis 2025 die Produktionskapazität der limitierende Faktor für die Nutzung von Biotreib- und Biobrennstoffen sein dürfte und nicht die Verfügbarkeit von Rohstoffen oder die Kostenstruktur.²⁸

Zur Herleitung des realisierbaren Potenzials für die EU muss entsprechend geschätzt werden, welcher Anteil der globalen Produktionskapazität für Europa bzw. für die Schweiz zur Verfügung steht. Keine der analysierten Quellen macht diesbezüglich eine Aussage. Wir nähern uns dieser Frage daher über folgende Ausgangspunkte an:

- Der Anteil der Produktion von «modernen Biokraftstoffen» in Europa lag 2015 bei 26% (IEA 2015a). 43% der Produktionskapazität lag in der USA, 16% in Brasilien, 10% in China und 5% in Kanada (IEA 2015a).
- Europa produziert und konsumiert 11% der globalen Mengen an Biotreib- und Kraftstoffen (OECD/FAO 2016b)
- Die EU und die Schweiz verursachen zusammen rund 14% des globalen Ölkonsums (IEA 2016c).

Geht man davon aus, dass Europa den Anteil an der globalen Produktionskapazität für «moderne Biokraftstoffe» halten wird, dürfte man mit rund 25% rechnen. Geht man weiter davon aus, dass die Märkte – analog zu denen der konventionellen Biotreibstoffe – auch für die «modernen Biokraftstoffe» grossmehrheitlich nationale sind, bedeutet dies, dass die EU mit ihrer Produktion 2020 weniger als 0.2%, 2025 rund 2% und 2030 rund 3% des Gesamtenergiebedarfs für Strassen- und Schienenverkehr decken könnte. Dies wäre 2025 etwas mehr als die revidierte RED (ohne die Anteile aus gebrauchtem Speiseöl, Biogas und Elektrizität; siehe Tabelle 3) verlangt. Im Jahr 2020 und 2030 wären es aber fast 1% bzw. fast 2% zu wenig²⁹. Es kann realistischerweise also nicht damit gerechnet werden, dass die EU die Vorgabe der RED alleine durch Europäisch produzierte «moderne Biokraftstoffe» erfüllen kann, wenn sie bis 2030 weiterhin 25% der globalen Produktion dieser Biotreibstoffe hält. Um die Vorgabe der RED alleine mit

²⁸ In der Literatur wird die globale Produktionskapazität für «moderne Biokraftstoffe», welche den Kriterien des «EU-Finish» entsprechen, auf 0.6 Mia. I/Jahr in 2015, auf 2.8 Mia I/Jahr in 2020 und auf 57 Mia. I/Jahr in 2030 geschätzt (siehe Tabelle 3). Im Jahr 2025 soll die globale Produktionskapazität in der Grössenordnung der Rohstoffkapazität in der EU liegen.

²⁹ Wobei 2020 durchaus mehr gebrauchtes Speiseöl und mehr Biogas eingesetzt werden könnten als in Tabelle 3 angenommen wird. Damit wäre die Beimischquote prinzipiell auch mit 25% der globalen Produktion erfüllbar.

diesen «modernen Biokraftstoffen» zu erreichen, müsste 2030 zwischen 40% und 45% der künftig angenommenen globalen Produktion in Europa angesiedelt sein.

Produktionskapazität und Konsequenzen für die Schweiz

Das Produktionspotenzial aus rein *inländischen* Rohstoffen in der Schweiz liegt im Szenario «EU-Finish» bei weniger als 3% des Schweizer Treibstoffbedarfs. Im «Swiss-Finish» Szenario noch deutlich tiefer. Falls eine Anlage zur Produktion von BtL oder Cellulosealkohol in der Schweiz realisiert würde, müsste diese wahrscheinlich auf zusätzlich importierte Rohstoffe zurückgreifen können, um rentabel produzieren zu können. Da fast die Hälfte des gesamten nachhaltig nutzbaren Rohstoffpotenzials Europas in unseren Nachbarländern Deutschland und Frankreich liegt, dürfte die Versorgung einer solchen Anlage mit Rohstoffen aber möglich sein.

Auf Grund der Produktionskapazität dürfte das Angebot an «modernen Biokraftstoffen» um 2020 in Europa kleiner sein als die Nachfrage. Wenn in der EU rasch mehr Produktionskapazität aufgebaut wird und damit die EU-Beimischquoten erfüllt werden können, dürfte 2025 genügend Biotreibstoffe auf dem Europäischen Markt sein, damit die Schweiz einen hohen Anteil ihrer Treibstoffe und gegebenenfalls auch ihrer Brennstoffe decken könnte. Dabei wäre die Verfügbarkeit von Bioethanol im «Swiss-Finish» Szenario sicher geringer als im «EU-Finish» Szenario. Bei BtL-Diesel dürfte es kaum Unterschiede zwischen «Swiss-Finish» und «EU-Finish» geben, womit die Verfügbarkeit dieser Komponente davon unabhängig ist. Gegen 2030 würde die Produktion von «modernen Biokraftstoffen» in Europa zur Deckung der EU-Beimischquoten einen sehr hohen Anteil der nachhaltig verfügbaren Rohstoffe benötigen. Dies dürfte zu einer Verknappung des Angebots für den Schweizer Markt führen.

Da der forcierte Aufbau von Produktionskapazität gemäss IEA (2016b) von weiteren (staatlichen) Anreizen abhängig sein dürfte, scheint zurzeit unklar, mit welchen Massnahmen genau und wie rasch die EU die für den eigenen Markt benötigte Produktionskapazität bereitstellen wird. Ein zögerlicher Aufbau würde bedeuten, dass direkt nach 2020 noch nicht genügen Biotreib- und Biobrennstoffe aus der EU zur Verfügung stünden, um einen wesentlichen Beitrag zu den Schweizer Klimazielen leisten zu können.

Grundsätzlich hat sich gezeigt, dass die Datenlage und die wissenschaftliche Literatur nur beschränkte Aussagen zu Potenzialen und Kosten von Biotreib- und Biobrennstoffen für den Zeitraum 2020 – 2030 zulassen. Die Abschätzungen im vorliegenden Bericht basieren auf zahlreichen Datenquellen und Annahmen. Insbesondere die Entwicklung der Produktionskosten sowie die Szenarien der zukünftigen Preisentwicklung für fossile Treib- und Brennstoffe sind mit beträchtlichen Unsicherheiten behaftet.

10. Fazit

Das Rohstoffpotenzial für moderne Biotreibstoffe in der Schweiz allein (gemäss «Swiss-» oder «EU-Finish») erlaubt nur die Deckung von ca. 3% des Gesamtenergiebedarfs des Strassenverkehrs. Für höhere Beimischungen muss deshalb auf Importe abgestellt werden.

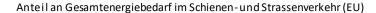
Im Europäischen Kontext (inkl. Schweiz) würde die nachhaltige Rohstoffverfügbarkeit eine Beimischung von etwa 7% erlauben. Gemäss den Abschätzungen der Studie dürften die Produktionskosten von Biotreib- und Biobrennstoffe unter Berücksichtigung der Kompensationsund Förderinstrumente bereits 2020 bei einzelnen Biotreib- und Biobrennstoffen im Bereich der Beschaffungskosten für fossile Energieträger liegen. Bis 2025 gehen die Abschätzungen davon aus, dass alle betrachteten Biotreib- und Biobrennstoffe unter Berücksichtigung der Kompensations- und Förderinstrumente wirtschaftlich darstellbar sein dürften.

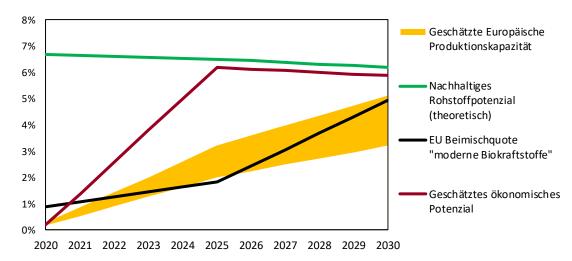
Ein Vergleich des Europäischen Rohstoffpotenzials mit der globalen Produktionskapazitätsprognose zeigt, dass bis 2025 auf EU-Ebene die Produktionskapazität der limitierende Faktor für die Nutzung von Biotreib- und Biobrennstoffen sein dürfte und nicht die Verfügbarkeit von Rohstoffen oder die Kostenstruktur. Bei genügender Produktionskapazität dürften auch die für die Schweiz benötigten Beimischmengen verfügbar sein.

Bei einem schleppenden Aufbau der Produktionskapazität in Europa würden ab 2020 zu wenig «moderne Biokraftstoffe» zur Verfügung stehen. Dadurch könnte der Anteil von Biotreib- und Biobrennstoffen in der Schweiz auch mit Hilfe des Kompensationsmechanismus nicht signifikant erhöht werden. Die knappe Verfügbarkeit dürfte für Biotreib- und Brennstoffe des «Swiss-Finish» – insbesondere für Bioethanol – noch etwas ausgeprägter sein, als unter dem «EU-Finish». Allerdings dürfte die Schweiz durch Kompensationsprojekte oder durch andere Instrumente einen höheren Förderbeitrag an Biotreib- und Biobrennstoffe leisten können als das EU-Umland. Daher wäre es denkbar, dass die Schweiz durch ihre im internationalen Vergleich potentiell höhere Zahlungsbereitschaft den Anteil an «modernen Biokraftstoffen» trotz Limitierungen in der Produktionskapazität erhöhen könnte.

Ab 2030 ist unklar, ob eine weitere Steigerung der geplanten Beimischquoten der EU und der Verfügbarkeit für die Schweiz noch möglich ist, da ab diesem Zeitpunkt das nachhaltig verfügbaren Rohstoffpotenzial zum limitierenden Faktor werden dürfte.

Abbildung 16: Limitierende Faktoren für die Beimischung von «modernen Biokraftstoffen» zu Treibstoffen in der EU





Die Graphik zeigt den geplanten Verlauf der EU Beimischquote (schwarz) 2020 – 2030. Liegt diese Beimischquote (schwarz) unter oder auf den limitierenden Faktoren (grün: nachhaltiges Rohstoffpotenzial, rot: geschätztes ökonomisches Potenzial und gelb: Unsicherheitsbereich der geschätzten europäischen Produktionskapazität), so ist die Beimischquote realisierbar und damit die Verfügbarkeit von genügenden Mengen auch für den Schweizer Markt wahrscheinlich. Die Graphik illustriert die dominierende Rolle der Produktionskapazität als limitierender Faktor.

Sämtliche Werte beziehen sich auf Biotreibstoffe aus Rohstoffen gem. Annex IX, Teil A des Entwurfs für eine überarbeitete Renewable Energy Directive (EC 2016). Das bedeutet, dass die Beiträge von Biogas sowie Treibstoffen aus gebrauchtem Speiseöl und tierischen Fetten nicht enthalten sind.

Die geschätzte Europäische Produktionskapazität liegt zwischen 25% und 40% der globalen Produktionskapazität. Das geschätzte ökonomische Potenzial berücksichtigt die vorgesehenen Kompensations- und Förderinstrumente und wird limitiert durch die Rohstoffverfügbarkeit.

Nachtrag: Im neuesten am 21.6.2018 publizierten «finalen Kompromiss» zur geplanten Neuauflage der Renewable Energy Directive fehlt der Hinweis auf eine explizite Beimischquote für «moderne Biokraftstoffe» (siehe Box 3 in Kapitel 7). Insgesamt werden die benötigten Mengen an «modernen Biotreibstoffen» durch die Änderungen am Vorschlag der Kommission von 2016 eher reduziert, was die Aussagen der Studie stützt.

Grafik INFRAS.

Annex

I. Ziele der Renewable Energy Directive der EU

Tabelle 6: Anteile an Biobrenn- und Biotreibstoffen zum EU-Ziel für Energie aus erneuerbaren Quellen gemäss Artikel 7 Absatz 1

	Mindestanteil v stoffen» und Bio Rohstoffen sow nicht biogenen Treibstoffen und Quellen	Höchstbeitrag von flüssigen Biobrennstoffen aus Nahrungs- und Futtermittelpflanzen	
Jahr	Total	Mindestanteil an nicht aus ge- brauchtem Speiseöl und tieri- schen Fetten	
2021	1.5%	0.5%	7,0
2022	1.85%	0.7%	6,7
2023	2.2%	0.9%	6,4
2024	2.55%	1.1%	6,1
2025	2.9%	1.3%	5,8
2026	3.6%	1.75%	5,4
2027	4.4%	2.2%	5,0
2028	5.2%	2.65%	4,6
2029	6.0%	3.1%	4,2
2030	6.8%	3.6%	3,8

Tabelle INFRAS. Quelle: Europäische Kommission 2016 (Anhang X)

II. Abschätzung von Produktionskosten für cellulosebasierten Alkohol

EU-Finish

Die Prozesskosten werden auf folgender Basis geschätzt:

- Lernfunktion gemäss Wright 1936:
- $f(x) = ax^{-k}$
- k = 0.6 (Standardannahme)
- x= Globale Produktionskapazitäten und Anteile Ethanol aus Lignocellulose an globaler
 Produktionskapazität (bis 2020 aus IEA 2015a, danach geschätzt) in Tabelle 7:

Tabelle 7: Grundlagen zur Modellierung der Produktionspreise von cellulosebasiertem Bioethanol und BtL-Biodiesel

	Mengenentwicklung		Faktor Preissensi-	
Jahr	"moderne Biokraftstoffe total"	Anteil Ethannol	Anteil BtL	tivität
2015	600	0.7	0.3	1.2
2020	2800	0.9	0.1	1.4
2025	36000	0.85	0.15	1.6
2030	57000	0.8	0.2	2

- Faktor Preissensitivität geschätzt um Mengenentwicklung in den Szenarien tief / hoch zu skalieren
- a = Kosten der ersten Produktionseinheit: Kalibriert auf Preise in Literatur (Tabelle 4)

Die Rohstoffkosten für 2015 werden aus der Literatur entnommen (Tabelle 5). Im Szenario Referenz und hoch werden sie mit jedem Schritt um 5 Jahre um 30% erhöht um der steigenden Transportdistanz Rechnung zu tragen. Im Szenario tief werden sie übe die Zeit konstant gehalten. Die Ausgangsgrösse in 2015 wird für die Szenarien hoch / tief mit +/- 10% verändert.

Swiss-Finish

Analog zum «EU-Finish» mit folgenden Anpassungen:

- a = a + 10%
- Rohstoffkosten = Rohstoffkosten EU + 30%

Die Faktoren wurden kalibriert auf Preisdifferenz zu «EU-Finish» 2015 gem. U. Frei (0.30 CHF/I)

Resultate

Tabelle 8: Produktionspreise von cellulosebasiertem Bioethanol in dieser Studie

		EU-Finish			Swiss-Finish	
	tief	Referenz	hoch	tief	Referenz	hoch
2015	CHF 0.96	CHF 1.65	CHF 2.13	CHF 1.11	CHF 1.88	CHF 2.42
2020	CHF 0.50	CHF 0.87	CHF 1.12	CHF 0.60	CHF 1.04	CHF 1.32
2025	CHF 0.33	CHF 0.60	CHF 0.75	CHF 0.42	CHF 0.75	CHF 0.94
2030	CHF 0.32	CHF 0.72	CHF 0.91	CHF 0.41	CHF 0.92	CHF 1.16
	Referenz					
	Prozess	Rohstoff				
2015	CHF 1.33	CHF 0.32				
2020	CHF 0.46	CHF 0.41				
2025	CHF 0.10	CHF 0.49				
2030	CHF 0.08	CHF 0.64				

III. Abschätzung von Produktionskosten für BtL Diesel bzw. BtL Heizöl

Analog cellulosebasierter Ethanol mit folgenden Ausnahmen:

■ Rohstoffkosten Swiss-Finish = Rohstoffkosten EU-Finish + 10%

Resultate

Tabelle 9: Produktionspreise von BtL-Biodiesel / BtL-Bioheizöl in dieser Studie

		EU-Finish			Swiss-Finish	
	tief	Referenz	hoch	tief	Referenz	hoch
2015	CHF 1.33	CHF 1.84	CHF 2.49	CHF 1.40	CHF 1.93	CHF 2.62
2020	CHF 0.99	CHF 1.54	CHF 2.22	CHF 1.04	CHF 1.61	CHF 2.33
2025	CHF 0.34	CHF 0.61	CHF 0.79	CHF 0.36	CHF 0.64	CHF 0.83
2030	CHF 0.28	CHF 0.66	CHF 0.83	CHF 0.30	CHF 0.69	CHF 0.87
	Referenz					
	Prozess	Rohstoff				
2015	CHF 1.60	CHF 0.24				
2020	CHF 1.22	CHF 0.31				
2025	CHF 0.21	CHF 0.41				
2030	CHF 0.13	CHF 0.53				

IV. Abschätzung von Produktionskosten fossile Treib- und Brennstoffe

In der Literatur werden üblicherweise Prognosen zu Rohölpreisen publiziert. Um daraus Prognosen für die Beschaffungskosten von Erdölprodukten in der Schweiz abzuschätzen greifen wir auf Publikationen des Deutschen Mineralölwirtschafts-Verbandes sowie der Schweizer Erdöl-Vereinigung zurück, welche die Beiträge zu den Kosten für Erdölprodukte aufschlüsseln.

Aus https://www.mwv.de/statistiken/preiszusammensetzung/ wurden für den August 2017 die Produktbeschaffungspreise, der Deckungsbeitrag der Erdölwirtschaft in Deutschland, die Mineralöl- und Mehrwertsteuern sowie der Verbraucherpreis entnommen. Aus den produktbeschaffungspreisen und den Rohölkosten in Rotterdam wurde der Deckungsbeitrag für die Raffinerien berechnet.

Diese Zahlen wurden auf die Schweiz adaptiert, indem der Deckungsbeitrag der deutschen Erdölwirtschaft vernachlässigt wurde und dafür die Kosten für die Rheinfracht addiert wurden. Ausserdem wurden die Steuersätze an die Schweizer Verhältnisse angepasst und für Heizöl wurde noch die CO₂-Abgabe berücksichtigt (konstant 96 CHF/t CO₂).

Für die Rohölpreise werden im Referenzszenario die Prognosen des IEA World Energy outlook 2015 (IEA 2015b) verwendet. Gemäss einer Grafik, in der vorab publizierten Zusammenfassung der noch nicht erschienenen Version von 2017 (IEA 2017), dürften die Prognosen noch immer aktuell sein. Die Rohölpreise im Szenario «tief» werden auf dem Niveau von 2017 als konstant angenommen. Im Szenario «hoch» wurden sie auf Basis der entsprechenden Szenarien für die Benzinpreise der EIA (EIA 2017) abgeschätzt. Aus dem Vergleich der Summe aller bisherigen Beschaffungskosten mit den Zapfsäulenpreisen der TCS Website (Diesel 1.55 CHF/I; Benzin 1.50 CHF/I) bzw. dem Heizölpreis (0.77 CHF/I) wurde die Handelsspanne in der Schweiz errechnet.

Unter Konstanthaltung aller Kostenfaktoren, mit Ausnahme der Rohölbeschaffungskosten, wurden dann für die Jahre 2020, 2025 und 2030 die Preise im Basler Hafen bestimmt. Tabelle 10 zeigt die so berechneten Werte.

Tabelle 10: Szenarien für Rohöl, Heizöl, Benzin und Dieselpreise

	Szenario	Szenario	Szenario			
	tief	Referenz	hoch			
Rohöl in Rottero	dam					
2017	50	50	50	\$/bbl		
2020	60	80	140	\$/bbl		
2025	65	85	150	\$/bbl		
2030	75	97	160	\$/bbl		
Benzin in Basel i	inkl. MinÖSt / I	MwSt				
2017	1.23	1.23	1.23	CHF/I		
2020	1.30	1.43	1.56	CHF/I		
2025	1.33	1.46	1.82	CHF/I		
2030	1.39	1.54	2.20	CHF/I		
Diesel in Basel in	nkl. MinÖSt / N	/lwSt				
2017	1.37	1.37	1.37	CHF/I		
2020	1.43	1.56	1.69	CHF/I		
2025	1.47	1.59	1.95	CHF/I		
2030	1.53	1.67	2.34	CHF/I		
Heizöl in Basel inkl. MinÖSt / MwSt						
2017	0.66	0.66	0.66	CHF/I		
2020	0.76	0.89	1.02	CHF/I		
2025	0.79	0.92	1.28	CHF/I		

Die Sätze für Mineralöl- und Mehrwertsteuer sowie für die CO₂-Abgabe werden als konstant angenommen

Tabelle INFRAS. Quelle: Berechnet auf Basis von EIA 2017 sowie Kostenaufschlüsselungen des Deutschen Erdölwirtschaftsverbandes und der Schweizer Erdöl-Vereinigung. Kalibriert mit Schweizer Marktpreisen 2017.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Methodisches Vorgehen zur Bestimmung des Potenzials von Biotreib- und	
Biobrennstoffen	_ 7
Abbildung 2: Limitierende Faktoren für die Beimischung von «modernen Biokraftstoffen» zu	
Treibstoffen in der EU	_ 8
Abbildung 3: Prinzipielles Vorgehen zur Bestimmung des Potenzials von Biotreib- und	
Biobrennstoffen	13
Abbildung 4: Anteile an Biotreib- und Biobrennstoffen zur Erreichung des EU-Ziels für Energie	aus
erneuerbaren Quellen gemäss Artikel 7 Absatz 1 des Revisionsentwurfs der Renewable Energy	,
Directive (EC 2016)	19
Abbildung 5: Rohstoffe und Produktionsprozesse verschiedener Biotreib- bzw. Brennstoffe	_ 22
Abbildung 6: Nachhaltig verfügbare Abfall- und Produktionsrückstandsmengen von 2015 bis 20	030
zur Biotreibstoffproduktion in EU Staaten	_ 24
Abbildung 7: Geschätzte Produktionskosten für Ethanol aus Stroh	34
Abbildung 8: Geschätzte Aufteilung der Produktionskosten für Ethanol aus Stroh in Prozess- ur	nd
Rohstoffkosten im EU-Finish	34
Abbildung 9: Geschätzte Produktionskosten für Diesel oder Ethanol mit BtL	35
Abbildung 10: Geschätzte Aufteilung der Produktionskosten für Diesel oder Ethanol mit BtL in	
Prozess- und Rohstoffkosten im EU-Finish	36
Abbildung 11: Kostenentwicklung für Rohöl in Rotterdam	37
Abbildung 12: Kostenentwicklung für Heizöl	37
Abbildung 13: Kostenentwicklung für Benzin	38
Abbildung 14: Kostenentwicklung für Diesel	38
Abbildung 15: Kostenvergleich «fossil – bio» (mit Steuern, Abgaben und Förderung als	
Kompensationsprojekt)	40
Abbildung 16: Limitierende Faktoren für die Beimischung von «modernen Biokraftstoffen» zu	
Treibstoffen in der EU	44

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Heute verfügbare Menge an Abfällen/ Produktionsrückständen, nutzbar zur Produkti	ion
von «modernen Biokraftstoffen», in EU Staaten	23
Tabelle 2: Abschätzung der heute verfügbaren Menge an Abfällen/Produktionsrückständen,	
nutzbar zur nachhaltigen Produktion von «modernen Biokraftstoffen», in der Schweiz	26
Tabelle 3: Rohstoffpotenzial und Beimischquoten für «moderne Biokraftstoffe»	28
Tabelle 4: Produktionskosten von «modernen Biokraftstoffen» und konventionellem Biodiesel	31
Tabelle 5: Rohstoffkosten für Agrar- und Forstwirtschaftliche Abfälle	31
Tabelle 6: Anteile an Biobrenn- und Biotreibstoffen zum EU-Ziel für Energie aus erneuerbaren	
Quellen gemäss Artikel 7 Absatz 1	45
Tabelle 7: Grundlagen zur Modellierung der Produktionspreise von cellulosebasiertem Bioethar	nol
und BtL-Biodiesel	46
Tabelle 8: Produktionspreise von cellulosebasiertem Bioethanol in dieser Studie	47
Tabelle 9: Produktionspreise von BtL-Biodiesel / BtL-Bioheizöl in dieser Studie	48
Tabelle 10: Szenarien für Rohöl, Heizöl, Benzin und Dieselpreise	50

Literatur

- **BFE 2016:** Schweizerische Gesamtenergiestatistik, Bundesamt für Energie, Bern.
- **BFE 2018:** Überblick über den Energieverbrauch der Schweiz im Jahr 2017. Auszug aus der Schweizerischen Gesamtenergiestatistik 2017. Juni 2018.
 - [https://www.newsd.admin.ch/newsd/message/attachments/52833.pdf]
- **DBFZ 2016:** Monitoring Biokraftstoffsektor (3. Auflage), Deutsches Biomasseforschungszentrum, Leipzig.
- **EBA 2016:** Biomethane in transport, European Biogas Association, Brussels.
- **EC 2016:** Europäische Kommission. Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen (Neufassung) vom 23.2.2016
- **ECOFYS 2016:** How to advance cellulosic biofuels Assessment of costs, investment options and policy support, ECOFYS Netherlands B.V. by order of the International Council for Clean Transportation and the European Climate Foundation.
- **EIA 2017**: Annual Energy Outlook 2017 with projections to 2050. U.S. Energy Information Administration, January 5th 2017. Download from https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/0383(2017).pdf
- **EUBIA 2017:** Used Cooking Oil, European Biomass Industry Association. Information on Website. Accessed on 18.09.2017: [http://www.eubia.org/cms/wiki-biomass/biomass-procurement/used-cooking-oil-recycling/]
- **GREENEA 2014:** Used Cooking Oil collection: a market worth 470 million euros, with France representing only 5%. November 2014. Article published on:

 [https://www.greenea.com/publication/used-cooking-oil-collection-a-market-worth-470-million-euros-with-france-representing-only-5/]
- **GREENEA 2017a:** And do you recycle your used cooking oil at home? March 2017. Article published on: [http://www.greenea.com/publication/and-do-you-recycle-your-used-cooking-oil-at-home/]
- **GREENEA 2017b:** Marktpreise für gebrauchtes Speiseöl (used cooking oil, UCO). Abgerufen am 18.09.2017: [http://www.greenea.com/en/market-analysis/]
- **Haberl H., K-H. Erb, F. Krausmann 2011:** Global bioenergy potentials from agricultural land in 2050: sensitivity to climate change, diets and yields. Biomass and Bioenergy, 35, 4753–4769.
- **Harrison P., C.J. Malins, and S.Y. Searle 2016:** Biofrontiers Responsible innovation for tomorrow's liquid fuels. ICCT International Council on Clean Transportation.

- **OECD/FAO 2016a:** OECD-FAO Agricultural Outlook 2016-2025, OECD Publishing, Paris. [http://dx.doi.org/10.1787/agr_outlook-2016-en]
- **OECD/FAO 2016b:** OECD-FAO Agricultural Outlook 2016-2025 expanded biofuels chapter, OECD Publishing, Paris.
- **IEA 2015a:** Renewable Energy Medium-Term Market Report 2015, OECD/IEA International Energy Agency, Paris.
- IEA 2015b: World energy outlook 2015, OECD/IEA International Energy Agency, Paris.
- **IEA 2016a:** Energy Technology Perspectives 2016, OECD/IEA International Energy Agency, Paris.
- **IEA 2016b:** Energy, Climate Change and Environment 2016 Insights, OECD/IEA International Energy Agency, Paris.
- IEA 2016c: World Energy Statistics 2016, International Energy Agency, Paris.
- IEA 2017: World energy outlook 2017 (Summary) International Energy Agency, Paris.
- **ICCT 2017:** Potential greenhouse gas savings from a 2030 greenhouse gas reduction target with indirect emissions accounting for the European Union, working paper 2017-05, International Council on Clean Transportation.
- IPCC 2014: AR5 WGIII Chapter 11 Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU). In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- **Luxresearch 2017:** Biofuels Outlook 2022: The Dawn of a New Era in Global Biofuel Capacity Expansion. [http://www.luxresearchinc.com/news-and-events/press-releases/read/global-biofuels-rise-67-billion-gallons-2022-next-generation], Last accessed: 08.08.2017
- **MinöstG 1996:** Mineralölsteuergesetz vom 21. Juni 1996 (Stand am 1. Januar 2017). Bundesversammlung der Schweizerischen Eidgenossenschaft, Bern.
- **NNFCC 2013:** Use of sustainably-sourced residue and waste streams for advanced biofuel production in the European Union: rural economic impacts and potential for job creation. A Report for the European Climate Foundation.
- **RECOIL 2013:** Assessment of best practices in UCO processing and biodiesel distribution. D4.3 Guide on UCO processing and biodiesel distribution methods. Promotion of used cooking oil recycling for sustainable biodiesel production (RecOIL).
- **Robledo Abad C. et al. 2017:** Bioenergy production and sustainable development: science base for policymaking remains limited. GCB Bioenergy, 9, 541–556, doi:10.1111/gcbb.12338. [http://doi.wiley.com/10.1111/gcbb.12338]. Last accessed: 03.04.2017
- **Searle S.Y., C.J. Malins 2016**: Waste and residue availability for advanced biofuel production in EU Member States, Biomass and Bioenergy, Volume 89, June 2016, Pages 2-10.

- **SN / EN 228 2013**: Kraftstoffe für Kraftfahrzeuge Unverbleite Ottokraftstoffe Anforderungen und Prüfverfahren. Schweizerische Normen Vereinigung SNV, Winterthur.
- **SN / EN 590 2014**: Kraftstoffe für Kraftfahrzeuge Dieselkraftstoff Anforderungen und Prüfverfahren. Schweizerische Normen Vereinigung SNV, Winterthur.
- **Thees O., V. Burg, M. Erni, G. Bowman, R. Lemm 2017:** Biomassepotenziale der Schweiz für die energetische Nutzung, Ergebnisse des Schweizerischen Energiekompetenzzentrums SCCER BIOSWEET. WSL Ber. 57: 299 S.
- **Wright T.P. 1936:** Factors Affecting the Costs of Airplanes. Journal of Aeronautical Sciences, 1936. 10: p. 302-328.