



TECHNISCHE UNIVERSITÄT
BERGAKADEMIE FREIBERG

Die Ressourcenuniversität. Seit 1765.



Herstellung THG-reduzierter flüssiger Kraft- und Brennstoffe



Zusammenfassende Auszüge aus der Kurzstudie

erarbeitet durch die TU Bergakademie Freiberg
Professur für Reaktionstechnik

im Auftrag des Instituts für Wärme und Oeltechnik IWO e.V.
und mit freundlicher Unterstützung von eurofuel

Freiberg, 4. September 2017

Autoren:

Dipl.-Ing. Andrej Awgustow
Dr.-Ing. Thomas Kuchling
Dipl.-Ing. Hendrik Wollmerstädt

TU Bergakademie Freiberg
Institut für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen
Professur Reaktionstechnik

Leiter: Prof. Dr. rer. nat. habil. Sven Kureti

Reiche Zeche - Fuchsmühlenweg 9
D-09599 Freiberg

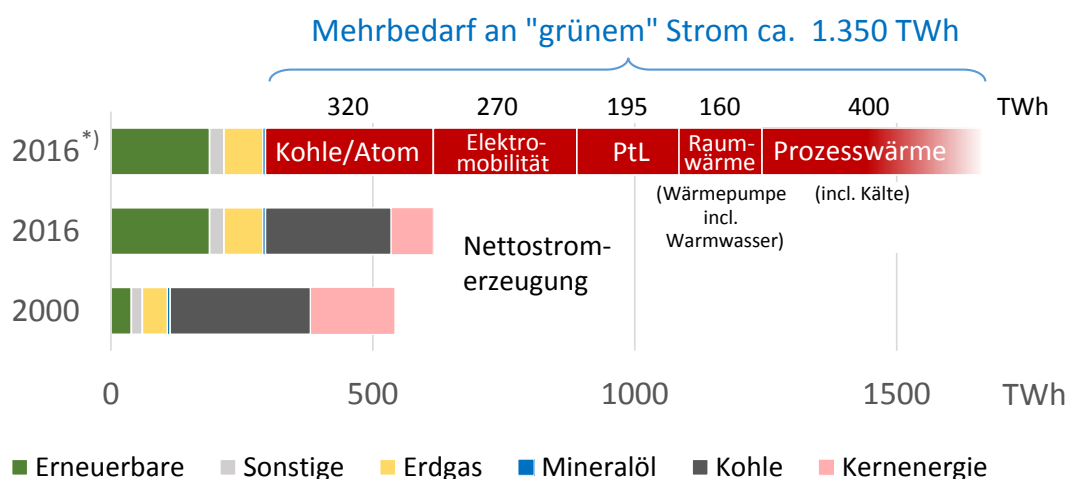
Auszug aus dem Abstract

Globale Erwärmung und Klimaveränderung werden auf die durch die Menschheit verursachte Emission an sogenannten Treibhausgasen (THG) wie Kohlendioxid oder Methan zurückgeführt. Eines der wichtigsten umweltpolitischen Ziele sowohl der Europäischen Union als auch der einzelnen Mitgliedstaaten ist daher eine weitgehende Treibhausgasneutralität in der Energie- und Rohstoffversorgung. Mit der vorliegenden Studie wird gezeigt, wie flüssige Energieträger zur Erreichung dieses Ziels beitragen können.

...Auf der Basis einer umfassenden Literaturrecherche wurden geeignete Verfahren und Prozessketten zur Herstellung treibhausgasreduzierter Kraft- und Brennstoffe identifiziert und beschrieben sowie wichtige Kenngrößen wie Ausbeuten, Reduzierung der THG-Emissionen oder Kosten ermittelt. Die verschiedenen Möglichkeiten wurden insbesondere hinsichtlich ihres rohstofflichen und technischen Potenzials vergleichend bewertet.

Auszug aus dem Kapitel 1.3 Sektorkopplung und „Elektrifizierung“:

Eine zentrale Rolle wird dabei – neben dem „direkten Einsatz erneuerbarer Energien in den jeweiligen Sektoren“ [1] – die Elektrifizierung aller relevanten Bereiche spielen (Sektorkopplung). „Im Verkehrssektor gelingt dies sowohl durch die Einführung und Verbreitung direktelektrischer Antriebstechniken als auch – perspektivisch – durch den Einsatz strombasierter Kraftstoffe“ [1] und „im Gebäudebereich spielt Strom aus erneuerbaren Energien (...) eine immer wichtigere Rolle bei der Wärmeversorgung“ [1].



*) incl. Sektorkopplung (Wärme und Verkehr); Elektromobilität incl. Elektroschwerlastverkehr; PtL für Jet

Abbildung 3: Nettostromerzeugung und Mehrbedarf an Strom für Mobilität und Wärme

Abbildung 3 verdeutlicht die Dimension dieser ambitionierten Ziele. Im Jahr 2016 betrug die Nettostromerzeugung 615 TWh [7], [8], von denen etwa ein Drittel aus erneuerbaren Energiequellen hergestellt wurde. Der zusätzliche Strombedarf für die vollständige Umstellung des Straßenverkehrs auf Elektroantriebe beträgt gegenwärtig etwas mehr als 270 TWh. Basis für diesen Wert sind die Inlandsverbräuche an DK und OK im Jahr 2016 sowie die Tank-to-Wheels-Wirkungsgrade für Verbrennungsmotoren bzw. Elektroantriebe.

Weitere 195 TWh wären für die Synthese von Fluggasttriebstoff (Jet) aus Kohlendioxid und Elektrolysewasserstoff erforderlich (Berechnungsgrundlagen s. Anlage 2). Zumindest bis zum Jahr 2030 werden das Transportaufkommen und damit der Energiebedarf weiter ansteigen.

Die Einbeziehung des Wärmemarktes (Raum- und Prozesswärme, Warmwasser, Kälte) führt zu einer weiteren Erhöhung des Bedarfs an „grünem“ Strom. 2015 wurde in Deutschland Endenergie in Höhe von 1.373 TWh für die Bereitstellung von Wärme und Kälte verbraucht. Abzüglich der Beiträge von Strom und erneuerbaren Energieträgern verbleibt ein Restbedarf von ca. 1.050 TWh, der zukünftig durch Steigerung der Effizienz vermindert und schließlich im Zuge der Sektorkopplung durch elektrische Energie gedeckt werden muss [3]. Unter der Annahme, dass für die Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser zukünftig Wärmepumpen (Leistungszahl 4) zum Einsatz kommen werden, ergibt sich ein zusätzlicher Strombedarf von etwa 160 TWh. Der Bedarf für Prozesswärme und Kälte beziffert sich auf 420 TWh (Berechnungsgrundlagen s. Anlage 2). Zukünftig zu erwartende Einsparungen durch bessere Dämmungen und Effizienzen wurden nicht berücksichtigt.

Die angestrebte Sektorkopplung und Elektrifizierung des Transport- und Wärmemarktes führt aber nur dann zu einer signifikanten Reduzierung der THG-Emissionen, wenn der Energiewandel auch im Bereich der Stromwirtschaft vollzogen und der Ausstieg aus der Kernenergie bis 2022 sowie der Kohleausstieg durch ein zusätzliches Angebot an erneuerbarem Strom kompensiert (320 TWh) wird.

Selbst unter Berücksichtigung von Effizienzgewinnen und Bedarfsreduzierungen ist ein Gesamtstrombedarf von etwa 1.300 bis 1.500 TWh anzunehmen; dem stehen gegenwärtig 200 TWh Strom aus erneuerbarer Energie gegenüber. [Angesichts der immensen Energiemengen müssen alle Möglichkeiten für die Reduzierung der CO₂-Emissionen genutzt werden, damit die Klimaschutzziele erreicht werden können.](#)

... In der vorliegenden Kurzstudie werden geeignete Verfahren und Prozessketten für die Herstellung von THG-reduzierten bzw. THG-freien flüssigen Kraft- und Brennstoffen identifiziert sowie das jeweilige Grundprinzip bzw. der Prozessablauf erläutert. Es werden die Anforderungen an die Rohstoffe aufgezeigt und die herstellbaren Produkte insbesondere hinsichtlich ihrer anwendungstechnischen Eigenschaften charakterisiert. Anhand wichtiger Kenngrößen (z.B. CO₂-Footprint, Ausbeute und energischer Nutzungsgrad), die auf der Grundlage einer Literaturrecherche ermittelt wurden, werden die Prozessketten und Rohstoffe hinsichtlich ihres zukünftigen Potenzials vergleichend bewertet.

Auszüge aus dem Kapitel 4. Vergleichende Bewertung

Für eine vergleichende Bewertung der Technologien zur Herstellung THG-reduzierter Kraft- und Brennstoffe sind verschiedene Kriterien, wie bspw. Produktausbeuten und -qualitäten, energetischer Aufwand, Treibhausgasreduzierung bzw. CO₂-Footprint sowie die Herstellungskosten, aber auch das Rohstoffpotenzial oder der technische Entwicklungsstand heranzuziehen. Eine Wichtung oder Differenzierung einzelner Kriterien ist schwierig und hängt letztlich auch davon ab, welches Ziel bei der Bewertung verfolgt wird.

Entsprechende Angaben sind in den tabellarischen Steckbriefen enthalten, mit denen die einzelnen Kapitel zur Beschreibung der Prozessketten in Abschnitt 3 abgeschlossen und zusammengefasst wurden. Darüber hinaus sind in den Tabellen des [Anhang 1](#) die wichtigsten Kennzahlen vergleichend gegenübergestellt. Dabei wurden die Daten nach Herstellungspfaden und Rohstoffen geordnet. Für die Ermittlung der Daten wurden zahlreiche Quellen gesichtet, darunter auch der „Well-to-Tank-Report“ des europäischen Joint Research Centres (JRC) [22]. Das dort verwendete THG-Bewertungsmodell liefert für viele Kraft- und Brennstoffe der ersten und zweiten Generation wichtige Angaben u. a. zu Ausbeute, Energieaufwand, THG-Emissionen. Diese Daten wurden nach gleichen Kriterien und mit vergleichbaren Algorithmen ermittelt. Sie bilden die Grundlage für die Festsetzung der Standardwerte im Zuge der Neufassung der sogenannten Erneuerbaren-Energien-Richtlinie der EU (RED II) [10], [23]. Dieser Report wurde daher auch im Rahmen der vergleichenden Bewertung als Hauptquelle für die Ermittlung von Daten verwendet. Vorhandene Lücken konnten durch Werte und Angaben aus der Literatur in Kombination mit eigenen Berechnungen geschlossen werden. Zu beachten ist, dass bei der Beschreibung der Prozessketten in Abschnitt 3, soweit vorliegend, noch die derzeit gültigen Standardwerte nach RED angegeben wurden.

Auszug Kapitel 4.2 Energieaufwand

Die Verarbeitung von Erdöl zu Kraft- und Brennstoffen erfordert im Vergleich zu erneuerbaren Rohstoffen einen deutlich geringeren Energieaufwand, unabhängig vom Rohstoff bzw. von der betrachteten Prozessroute (s. Abbildung 27). Daran werden auch zukünftig verbesserte und optimierte Technologien nichts ändern können. Im Zuge der Erdölgenese aus Biomasse hat die Natur über geologische Zeiträume bereits den Großteil der notwendigen Energie aufgebracht.

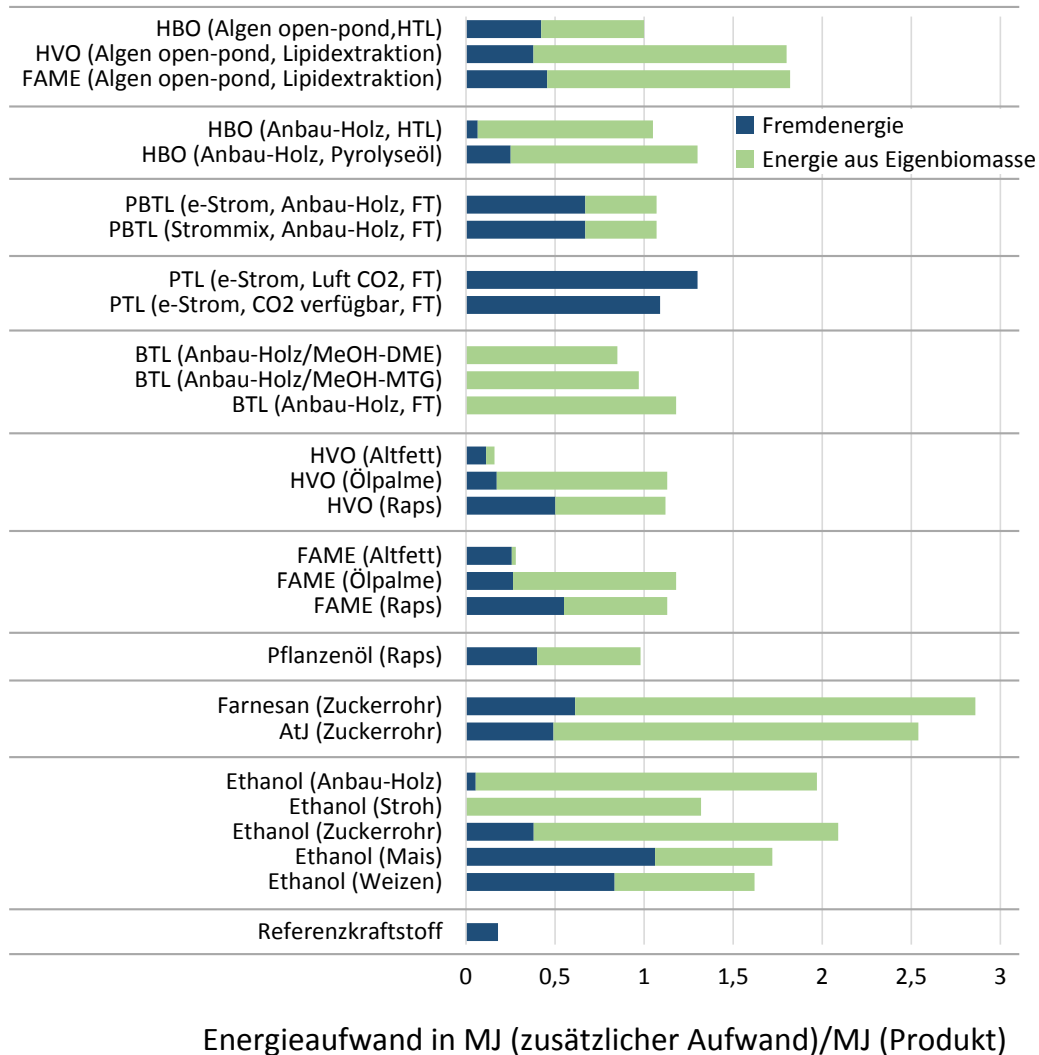


Abbildung 27: Energieaufwand für Herstellung THG-reduzierter Kraft- und Brennstoffe

Es zeigt sich jedoch auch, dass bei THG-reduzierten Kraft- und Brennstoffen ein großer Teil der Energie durch die Biomasse selbst gedeckt werden kann bzw. wird (grün), meist nur ein kleiner Teil muss durch andere Energieträger bereitgestellt werden (blau). Dies gilt nicht für PtL-Pfade und eingeschränkt für PBtL-Pfade, bei denen größtenteils Elektroenergie eingesetzt wird.

Für viele Prozessrouten ist der Energieaufwand für die Verarbeitung höher als der Energieinhalt im späteren Produkt (Werte > 1). Besonders viel Energie benötigt die Umwandlung von Algenbiomasse über den Weg der Lipidextraktion/Umesterung oder auch die Verarbeitung von Kohlehydraten (Stärke, Zellulose). Demgegenüber lassen sich auf pflanzlichen Ölen beruhende Kraft- und Brennstoffe oder auch PTL/BTL-Produkte vergleichsweise energetisch günstig herstellen.

Auszug Kapitel 4.3 THG-Minderung

... Zu den energiebedingten Treibhausgasen gehören vor allem Kohlendioxid, Methan und Lachgas, die sich in ihrem spezifischen Treibhauspotenzial im üblichen 100-jährigen Zeitrahmen deutlich unterscheiden (CO_2 : 1, CH_4 : 25, N_2O : 298 [109]). Zur besseren Vergleichbarkeit werden die Mengen von CH_4 und N_2O in hypothetische CO_2 -Mengen mit äquivalentem Treibhauspotenzial umgerechnet.

In diesem Kapitel werden die sogenannten „Well-to-Wheels“-THG-Emissionen (= „Quelle-zu-Räder“) betrachtet. Sie setzen sich zusammen aus:

- den bei der Herstellung anfallenden Emissionen („Well-to-Tank“ = „Quelle-zu-Tank“) (diese entstehen bei fossilen Energieträgern aus der Förderung, Verarbeitung und Transport, bei THG-reduzierten Energieträgern aus Anbau, Verarbeitung und Transport; sie sind in der Regel aufgrund der aufwendigeren Verarbeitung zu einem flüssigen Energieträger höher als bei fossilen Energieträgern) sowie
- den bei der Verbrennung anfallenden Emissionen („Tank-to-Wheels“ = „Tank-zu-Räder“) (diese sind bei nicht-fossilen Energieträgern völlig THG-neutral, da bei ihnen das bei der Verbrennung freiwerdende CO_2 direkt oder indirekt aus der Atmosphäre entstammt und somit einen Kreislauf durchläuft; bei fossilen Energieträgern hingegen entsteht durch die Verbrennung des in den Energieträgern akkumulierten Kohlenstoffs „neues“ CO_2 , das den größten Anteil an den gesamten „Tank-to-Wheels-Emissionen ausmacht).

4.3.1 Vermeidbare und nicht vermeidbare THG-Emissionen

Die Herstellung von Kraftstoffen (Rohstoffgewinnung, Transport, Verarbeitung) ist stets mit Treibhausgasemissionen verbunden („ CO_2 -Footprint“). Bei ihrer Quantifizierung werden in aller Regel die Aufwendungen an Energie und Hilfsstoffen wie bspw. Wasserstoff so behandelt, als wären sie aus fossilen Quellen hergestellt. Geht man jedoch von einer weitgehend „decarbonisierten“, d. h. treibhausgasneutralen Wirtschaft aus, sind natürlich auch solche Aufwendung als treibhausgasneutral zu betrachten und können aus heutiger Sicht als vermeidbare, den CO_2 -Footprint verringende Emissionen eingestuft werden.

Daneben sind weitere Emissionen zu berücksichtigen, die aus dem Anbau landwirtschaftlicher Produkte resultieren. Sie bestehen zum größten Teil aus N_2O -Emissionen und sind auf die Verwendung von Stickstoffdüngemitteln zurückzuführen. Diese sind im Vergleich zu den natürlichen Hintergrund- N_2O -Emissionen auf landwirtschaftlich genutzten Böden stark erhöht und können - je nach Bodenbeschaffenheit - um bis zu drei Größenordnungen schwanken [35]. Auch durch die Art der Bewirtschaftung kann Einfluss auf die N_2O -Emissionen ausgeübt werden [35]. Nach heutigem Kenntnisstand sind diese Emissionen unvermeidbar (vgl. Abbildung 28).

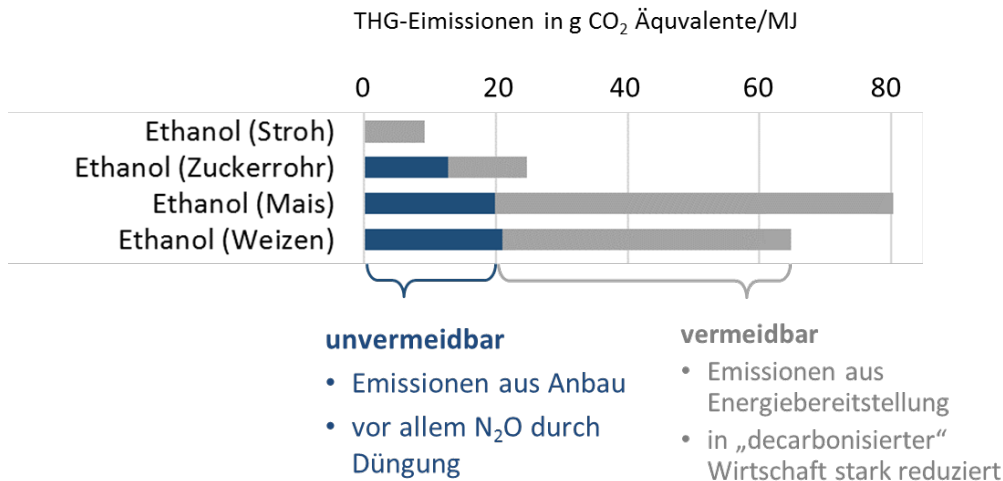


Abbildung 28: Vermeidbare und unvermeidbare THG-Emissionen (schematisch)

4.3.2 Vergleich verschiedener Herstellungspfade

Die spezifischen Treibhausgasemissionen bei der Herstellung von Kraft- und Brennstoffen sind in Abbildung 29 vergleichend gegenüber gestellt. Die grauen Balken zeigen die energiebedingten Emissionen, die bei einer zukünftigen, weitgehend THG-neutralen Energiebereitstellung vermeidbar sind. Die mit Anbau einhergehenden schwer vermeidbaren THG-Emissionen sind dagegen farbig unterlegt.

Es werden große Unterschiede zwischen den verschiedenen Produkten bzw. Herstellungsrouten sichtbar. Grundsätzlich lassen sich mit aus regenerativen Energiequellen hergestellten Kraft- und Brennstoffen die THG-Emissionen gegenüber konventionellen Referenzkraftstoff teilweise deutlich reduzieren. Eine Ausnahme bilden PTL- bzw. PBTL-Produkte, sofern vom gegenwärtigen Strommix mit einem hohen Anteil an Kohlestrom ausgegangen wird. Aufgrund des erheblichen Strombedarfs dieser Technologien (s.a. Abschnitt 4.1) belasten die CO₂-Emissionen von Kohlekraftwerken die THG-Bilanz strombasierter Kraft- und Brennstoffe überproportional. Steht dagegen elektrische Energie aus erneuerbaren Quellen zur Verfügung, kann mit PTL- und PBTL-Technologien mit Abstand die größte Reduzierung an THG-Emissionen erreicht werden. Grundsätzlich schneiden Kraft- und Brennstoffe der zweiten und dritten Generation hinsichtlich der THG-Emissionen günstiger ab, als die gegenwärtig verfügbaren und genutzten Produkte. Das resultiert vor allem aus den höheren und kaum vermeidbaren Lachgasemissionen von Anbaubiomasse.

Bei den hier dargestellten Werten handelt es sich um Standardwerte bzw. sind als solche aufzufassen, die dann anzuwenden sind, wenn kein spezieller Nachweis über die realen THG-Emissionen erbracht werden kann und in der Regel den schlechtesten Fall beschreiben. So werden diese Standardwerte in Deutschland für Ethanol oder FAME teilweise um 10 g CO₂-Äq./MJ unterschritten [23].

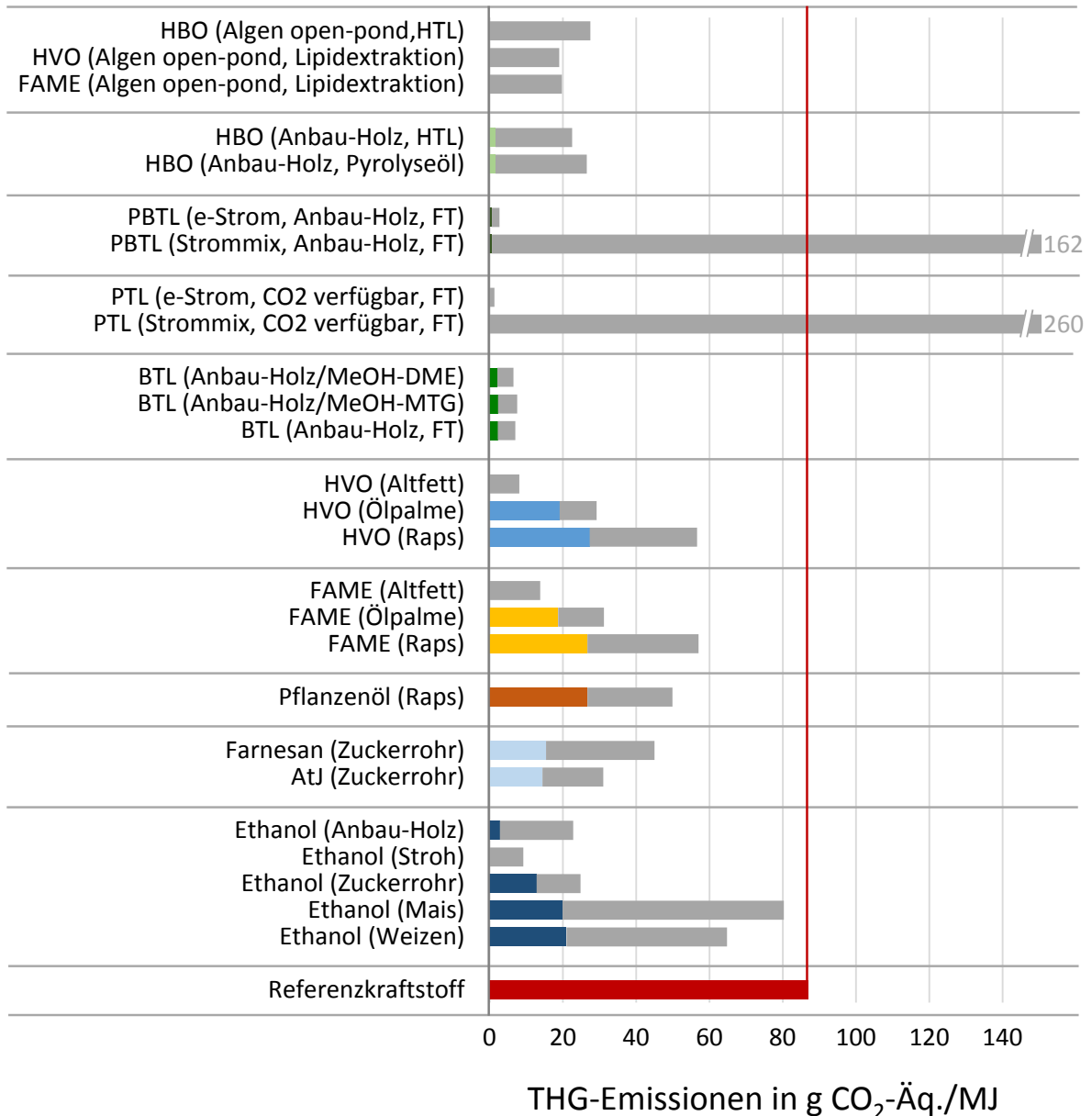


Abbildung 29: Spezifische THG-Emissionen für verschiedener Kraft- und Brennstoffe

Auszug aus dem Kapitel 4.5 Kosten

Da die meisten fortschrittlichen THG-reduzierten Kraft- und Brennstoffe noch keine Marktreife erlangt haben, existieren auch noch keine Marktpreise und es muss auf Abschätzungen in einschlägigen Veröffentlichungen zurückgegriffen werden. Die Ausnahmen bilden die Handelsprodukte Bioethanol und Biodiesel sowie Dieselkraftstoff als Referenz, für die aktuelle Preise herangezogen wurden. Alle in Abbildung 33 zusammengestellten Angaben zu den Herstellungskosten verstehen sich als Produktions- bzw. Produktbeschaffungskosten, ohne Steuern und ohne Gewinnmargen. Dunkelblau sind typische Schwankungsbreiten ausgewiesen, während einzelne, deutlich abweichende

Angaben hellblau markiert wurden. Zur Orientierung wurde die Differenz zwischen Produktbeschaffungskosten und Verkaufspreis für das Referenzprodukt farbig markiert.

Abbildung 33 zeigt vergleichend die Herstellungskosten für verschiedene Produkte bzw. Prozessketten.

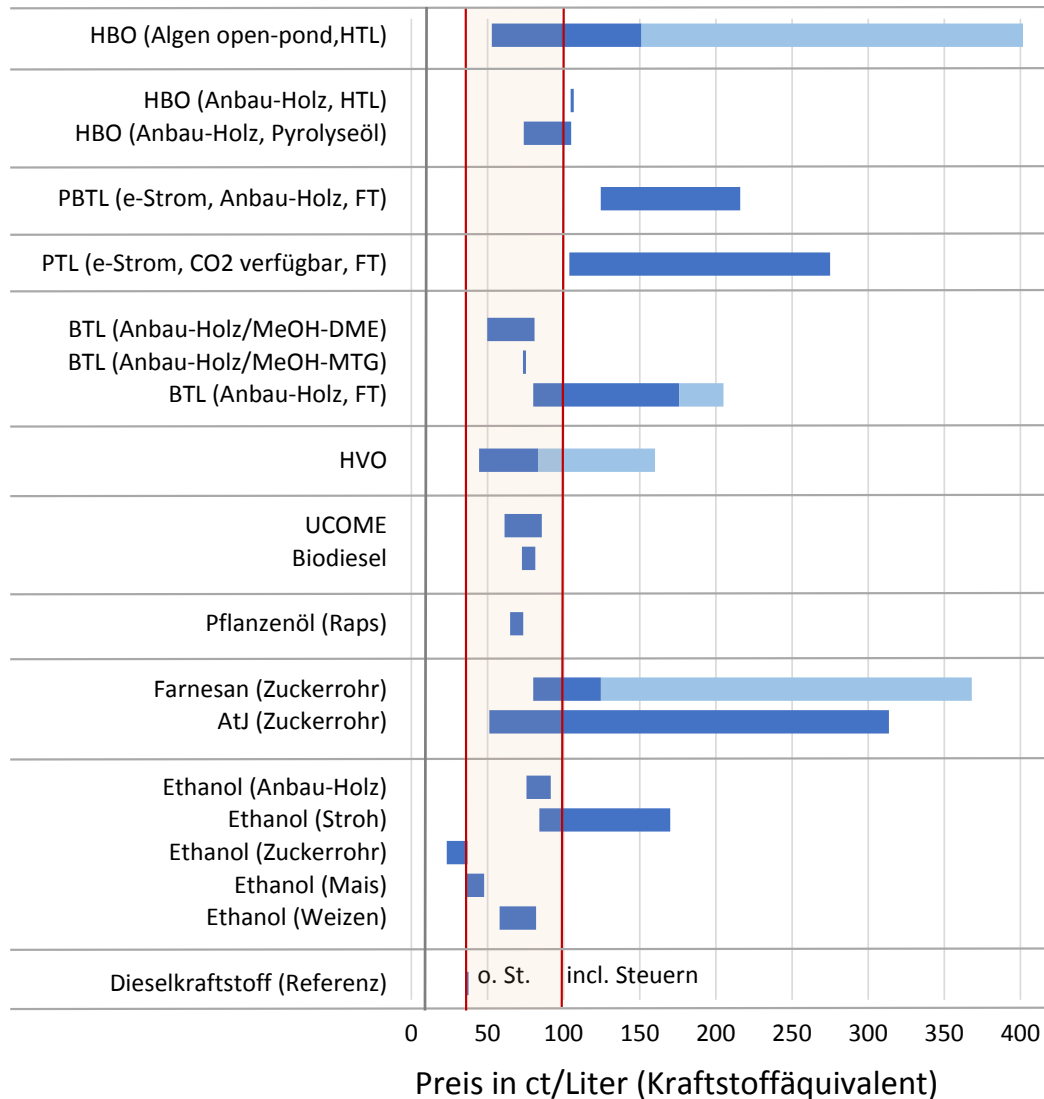


Abbildung 33: Herstellungskosten bez. auf Äquivalenzkraftstoff (energetisch)

Ein Kostenvergleich für verschiedene Produkte bzw. Prozessketten gestaltet sich als Momentaufnahme schwierig, da der Entwicklungsstand sehr unterschiedlich und die Unsicherheit bei der Kostenabschätzung vor allem für nicht ausgereifte Verfahren sehr groß ist.

Bei strombasierten Kraftstoffen (PTL, PBTL) besitzt der Strompreis aufgrund des hohen Bedarfs an elektrischer Energie einen großen Einfluss auf die Herstellungskosten.

...

5. Zusammenfassung

Globale Erwärmung und Klimaveränderung werden auf die durch die Menschheit verursachte Emission an sogenannten Treibhausgasen (THG) wie Kohlendioxid oder Methan zurückgeführt. Eines der wichtigsten umweltpolitischen Ziele sowohl der Europäischen Union als auch der einzelnen Mitgliedstaaten ist daher eine weitgehende Treibhausgasneutralität in der Energie- und Rohstoffversorgung. Mit der vorliegenden Studie soll gezeigt werden, wie flüssige Energieträger zur Erreichung dieses Ziels beitragen können.

Auf der Basis einer umfassenden Literatur- und Patentrecherche wurden geeignete Verfahren und Prozessketten zur Herstellung THG-reduzierter Kraft- und Brennstoffe identifiziert und beschrieben. Mit Hilfe wichtiger Beurteilungsparameter wurden die Prozesse bzw. Produkte vergleichend bewertet. Die Basis dieser Bewertung bildete der „Well-to-Wheel“-Bericht des europäischen Joint Research Centres, der maßgebend für die RED II (geplante Neufassung der Erneuerbare Energien Richtlinie der EU) sein soll. Da dieser hauptsächlich konventionelle THG-reduzierte Kraft- und Brennstoffe umfasst, wurden die darin enthaltenen Werte durch weitere Literaturwerte ergänzt. Die Ergebnisse können wie folgt zusammengefasst werden:

1. Die Umstellung der derzeitigen, überwiegend fossilen Energieversorgung erfordert den Einsatz erheblicher Mengen an erneuerbarer Energie.
2. Eine zunehmende Elektrifizierung und die Integration von Mobilität und Wärmemarkt im Zuge einer Sektorkopplung würde zu einer deutlichen Erhöhung des Strombedarfs führen. Selbst unter Berücksichtigung der Effizienzgewinne durch Einsatz von Wärmepumpen und Elektroantrieben würde der Strombedarf etwa 1.300 bis 1.500 TWh betragen. Das entspräche der sechs- bis achtfachen Menge des derzeit aus erneuerbaren Quellen hergestellten Stroms (200 TWh). Das erscheint aus heutiger Sicht unrealistisch. Weitere Einsparungen könnten nur durch Bedarfsreduzierungen wie Dämmungen, weiteren Effizienzsteigerungen oder Verzicht erreicht werden.
3. Flüssige Kraft- und Brennstoffe müssen daher auch zukünftig einen signifikanten Beitrag für die Energieversorgung leisten. Durch die hohe Energiedichte ist Transport und Lagerung sehr einfach und kosteneffizient möglich. Die individuelle Bevorratung ermöglicht die Energieversorgung an jedem Ort auch ohne besondere Infrastruktur. Für einige Anwendungen (Luftfahrt, Hochseeschifffahrt, Katastrophenschutz) ist das flüssige Produkt ohnehin unverzichtbar. Die Versorgung durch flüssige THG-reduzierte Energieträger kann zudem die Stromversorgung sowohl bei der gesicherten Leistung, als auch bei der Netzstabilität entlasten.
4. Um die notwendige THG-Minderung zu erreichen, müssen jedoch die bisher überwiegend eingesetzten fossilen Kohlenstoff- und Wasserstoffquellen schrittweise durch regenerative Rohstoffe ersetzt werden. Das eigentliche Ziel ist die Schließung der Kohlenstoffkreisläufe und weniger eine Decarbonisierung der Kraft- und Brennstoffe selbst.
5. Der Entwicklungsstand für die einzelnen Prozessketten und Produkte ist sehr unterschiedlich. Während eine Reihe von Verfahren und Möglichkeiten erst im Anfangsstadium ihrer Entwicklung stehen, existieren für sogenannte Biomass-to-Liquid-(BtL)-Technologien bereits Demonstrationsanlagen. Für die Wandlung von

Synthesegas zu flüssigen Produkten z. B. durch Fischer-Tropsch-Synthese gibt es weitreichende und teils langjährige Erfahrungen mit großtechnischen Anlagen.

6. Auch die Hydrierung von natürlichen Ölen und Fetten bzw. Altfetten (Frittieröle, Fettabscheiderrückstände) ist „Stand der Technik“ und wird bereits heute in großtechnischen Produktionsanlagen genutzt. Der Prozess führt zu hochwertigen Diesel- und Heizölsubstituten (HVO) und besitzt das Potenzial für eine sofortige Reduzierung der Treibhausgasemissionen.
7. Mit BtL-Technologien kann die Rohstoffbasis deutlich erweitert werden (z. B. Restholz, Stroh). Gleichzeitig kann eine vergleichsweise hohe THG-Minderung von ca. 90 % gegenüber dem fossilen Referenzprodukt erreicht werden. Unter Nutzung der für 2050 prognostizierten zusätzlichen Bioenergiepotenziale in Deutschland könnten mit Hilfe von BtL-Prozessen etwa 8 Mio. Tonnen Diesel oder Heizöl hergestellt und die THG-Emissionen um etwa 30 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalente reduziert werden. Die Herstellungskosten von regenerativem Diesel bzw. Heizöl werden mit ca. 100 bis 120 ct/Liter angegeben (Basis BtL).
8. Durch die Einkopplung von regenerativ gewonnenem Wasserstoff ist das H₂-Defizit bei BtL-Prozessen kompensierbar. Das würde zu einer deutlichen Steigerung des Kohlenstoff-Nutzungsgrades der Biomasse und so zu einer Steigerung der Produktausbeuten auf des 3-4-fache führen.
9. Die Herstellung von strombasierten Kraft- und Brennstoffen (Power-to-Liquid, PtL) kann ebenfalls zu einer deutlichen Reduzierung der THG-Emissionen beitragen. Allerdings ist damit ein erheblicher Bedarf an Elektroenergie verbunden und setzt die Verfügbarkeit von erneuerbarem Strom voraus. Die Produktkosten hängen sehr stark von den Stromgestehungskosten ab. Bei einem Strompreis von 2 ct/kWh lassen sich Produktkosten von etwa 100 ct/Liter erwarten.
10. Generell werden die Herstellungskosten für treibhausgasreduzierte flüssige Kraft- und Brennstoffe auch langfristig höher sein als für die vergleichbaren konventionellen Produkte. Durch Skaleneffekte und Verfahrensoptimierungen sind jedoch Kostensenkungen zu erwarten.

Aus heutiger Sicht und unter Würdigung der verschiedenen Bewertungskriterien stellen sich kombinierte PBtL-Verfahren als aussichtsreiche Möglichkeit für eine zukünftige Herstellung von THG-reduzierten Kraft- und Brennstoffen dar. Die Technologien sind mittelfristig verfügbar und können auf alle Kohlenstoffquellen zurückgreifen.

Das einheimische Bioenergiepotenzial wird auch in Zukunft nicht ausreichen, um den gesamten Inlandsbedarf an flüssigen Kraft- und Brennstoffen zu decken. Große Bedeutung wird daher die Nutzung des Kohlenstoffinventars der Atmosphäre (Kohlendioxidabtrennung) erlangen. Darüber hinaus sind Möglichkeiten zur Erschließung zusätzlicher Kohlenstoffquellen (z. B. Algenbiomasse) weiterzuentwickeln.

Vorzugsweise in sonnenreichen Regionen bietet die Nutzung von regenerativ erzeugtem Strom eine gute Basis für die Herstellung von flüssigen, gut transportierbaren PtL-Produkten.