

Global Energy Perspectives

gefördert aus Kapitel 2302, Titel 687 01

BMZ-Abschlussreport / Basisdokument

Global Energy Solutions e.V.

Teil 1: Grundelemente zur Vermeidung von Treibhausgasen und Herstellung klimaneutraler Energieträger (technischer Werkzeugkasten)

Stand 08. August 2023

Kapitel 2-7

Autorenteam:	
Siddhant Bane	Joern Becker
Ulrich Begemann	Leon Berks
Christof von Branconi	Simon Göss
Prof. Dr. Estelle Herlyn	Dr. Wilfried Lyhs
Dr. Tobias Orthen	Dr. Ludolf Plass
Dr. Hans-Peter Sollinger	Dr. Jens Wagner
Dr. Hans Jürgen Wernicke	

Erklärung zum Urheberrecht

Das nachfolgende Dokument ist grundsätzlich ausschließlich für den Empfänger bestimmt. Eine Weitergabe an Dritte oder die Nutzung für Dritte ist – auch auszugsweise – nicht gestattet.

Dem Empfänger des Dokuments wird eine einfache, nicht übertragbare, nicht unterlizenzierbare, eingeschränkte Lizenz gewährt, das Dokument für persönliche, nicht kommerzielle, private Zwecke zu nutzen.

Ulm, im Juni 2023

Global Energy Solutions e.V.

Lise-Meitnerstr. 9

89081 Ulm

Vorsitzender: Christof v. Branconi (Christof.Branconi@Global-Energy-Solutions.org)

2.7. Klimaneutrale Kraftstoffe

2.7.1 Einleitung

Öl hat in den letzten 100 Jahren eine zentrale Rolle bei der Entwicklung des Verkehrssektors gespielt. Im Jahr 2020 wurden etwa 65 % des weltweiten Ölverbrauchs im Verkehrssektor verbraucht.

Tabelle 26: Prognose für den Ölverbrauch im Jahr 2050 laut verschiedener Institutionen.

Institution	Ölnachfrage in 2020	Ölnachfrage in 2050
IEA	91 mb/d (65 % davon wird im Transport verbraucht) ³²⁶	25 mb/d für den Net-Zero Pfad ³²⁷
Barclays	-	81 mb/d ³²⁸
Total Energies	-	40 bis 64 mb/d ³²⁹

Nach Angaben der IEA muss der weltweite Ölbedarf bis 2050 auf 25 mb/d sinken,³³⁰ um das Netto-Null-Ziel zu erreichen. Unternehmen wie Barclays und Total-Energies prognostizieren jedoch einen Ölverbrauch von 81 mb/d bzw. 40–64 mb/d.

Der Ölbedarf kann teilweise mit Biokraftstoffen gedeckt werden, wenn nachhaltige Produktionswege eingeschlagen werden. Die derzeitigen Biokraftstoffe der ersten Generation können zu Konflikten mit der Nahrungsmittelproduktion führen. Die Synthese von Biokraftstoffen der zweiten Generation, die aus landwirtschaftlichen Zelluloseabfällen hergestellt werden, kann gleichzeitig eine stabile Nahrungsmittelproduktion gewährleisten. Darüber hinaus könnten Kraftstoffe aus festen Siedlungsabfällen, Abwasser und gebrauchten Pflanzenölen oder tierischen Abfallfetten hergestellt werden. In diesem Kapitel werden das Potenzial solcher Kraftstoffe als Ersatz für Erdöl im Verkehrssektor und die für die Synthese solcher Kraftstoffe erforderlichen Technologien erläutert. Laut der Net-Zero 2050 Studien von IEA³³¹, IRENA; BP und Shell könnte der Beitrag von Bioenergie am Primärenergieversorgung zwischen 10 % und 20 % liegen.³³²

³²⁶ Vgl. IEA, (2022).

³²⁷ Vgl. IEA, (2022).

³²⁸ Vgl. Barclays, (2019).

³²⁹ Vgl. Reuters, (2021).

³³⁰ mb/d = Million Barrel pro Tag = 1.590 m³/Tag

³³¹ Der Beitrag von Bioenergie an der Primärenergie laut IEA: 28 PWh/a

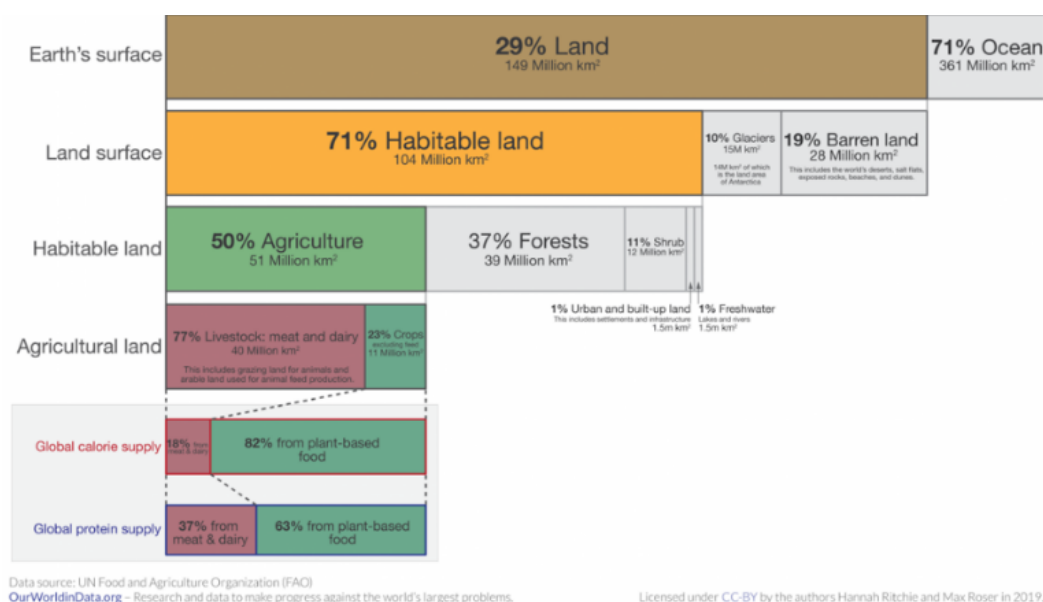
³³² Der Beitrag von Bioenergie an der Primärenergie laut Shell: 30 PWh/a

2.7.2 Organische Quellen

Rohstoffe für die Synthese von Biokraftstoffen können Zelluloseabfälle aus der Landwirtschaft und der Agroforstwirtschaft, Altöle, kommunale Abwässer und feste Siedlungsabfälle sein. In den folgenden Unterkapiteln werden die weltweiten Mengen dieser Ressourcen untersucht. Diese Mengen werden dann verwendet, um das Primärenergiepotenzial diverser Biorohstoffe zu ermitteln.

2.7.2.1 Biologische Reststoffe aus der Land- und Forstwirtschaft

Im Jahr 2019 wurden etwa 50 Mio. km² der globalen Landfläche für die Viehzucht, die Erzeugung von Futtermitteln für die Tiere und den Anbau von Nahrungsmitteln für den direkten Verbrauch genutzt. Die weltweite Eiweiß- und Kalorienversorgung erfolgt nach wie vor überwiegend auf pflanzlicher Basis, aber der Rest der Eiweiß- und Kalorienversorgung erfolgt durch Fleisch und Milchprodukte, die einen größeren Flächenbedarf haben, wie in Abbildung 119 dargestellt.



Data source: UN Food and Agriculture Organization (FAO)
OurWorldinData.org - Research and data to make progress against the world's largest problems.

Licensed under CC-BY by the authors Hannah Ritchie and Max Roser in 2019.

Abbildung 119: Die globale Landnutzung zur Produktion von Nahrungsmitteln.

Quelle: Our World in Data, (2019).

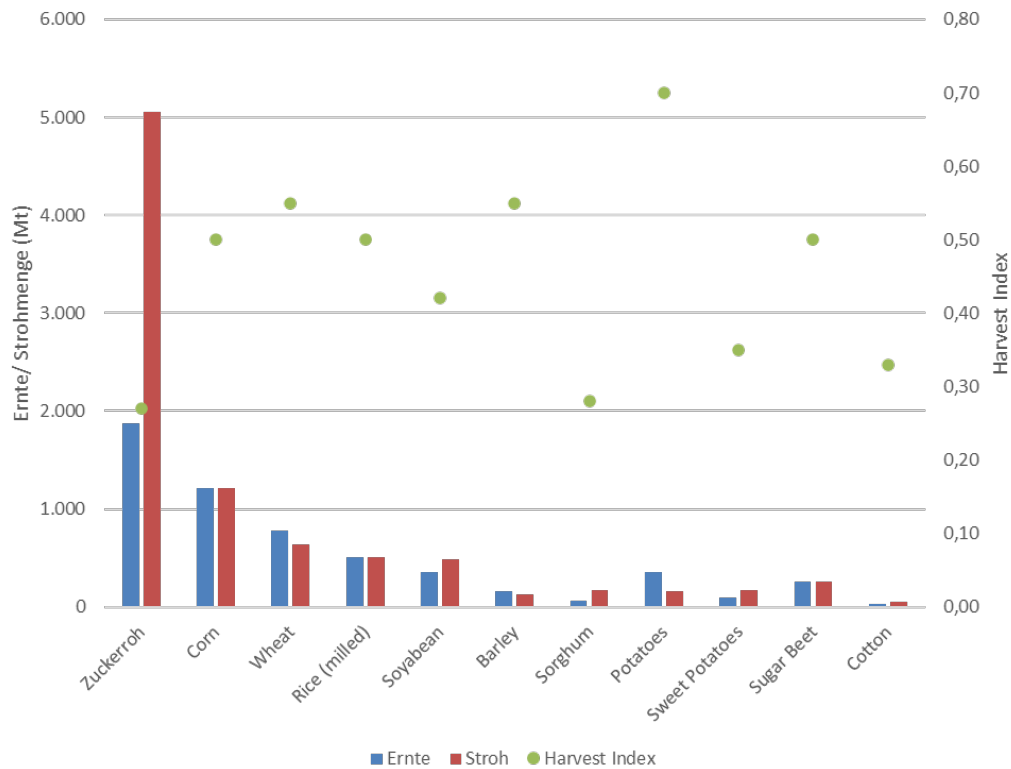


Abbildung 120: Ernte, Strohmenge sowie der Ernte-Index verschiedener Nahrungspflanzen.
Quelle: RESCO, (2018).

In der Landwirtschaft fallen große Mengen an Bioabfällen an, die für die Erzeugung von Brennstoffen oder Strom und Wärme genutzt werden können. Das Verhältnis zwischen dem essbaren bzw. verwertbaren Teil und dem nicht verwertbaren Teil einer Nahrungspflanze wird durch den Ernteindex definiert. Der Ernteindex ist das Verhältnis zwischen dem Ertrag einer Kultur und der gesamten Biomasse einer Kultur. In Abbildung 120 sind die Ernteindizes verschiedener Kulturen, ihre weltweite Gesamtproduktion im Jahr 2020 und ihre geschätzte Stroh-/Bioabfallproduktion dargestellt. Kulturen mit höheren Erntedaten wie Kartoffeln oder Gerste produzieren wenig Bioabfall, während Kulturen mit niedrigeren Erntedaten wie Zuckerrohr mehr Bioabfall produzieren. Schätzungen zufolge wurden etwa 8.800 Mio. t Abfälle erzeugt, die aus ungenießbaren Abfällen auf Zellulosebasis bestehen, was 35.000 TWh (126 EJ) Primärenergie entspricht, wenn man davon ausgeht, dass der kumulative durchschnittliche Heizwert dieser Biomasse etwa 4 kWh/kg beträgt.

2.7.2.2 Zucker, Zellulose und Stärke

Ethanol ist ein bekannter Biokraftstoff auf Basis von Zucker, Stärke und inzwischen auch Zellulose. Die Herstellungsverfahren sind gut etabliert und werden weltweit praktiziert. Bioethanol wird verwendet, um fossiles Benzin teilweise zu ersetzen oder ihm beizumischen. Die globale

Produktion von Bioethanol belief sich im Jahr 2020 auf etwa 110 Milliarden Liter (110 Mm^3)³³³. Die größten Produzentenländer sind die USA, Brasilien und die Europäische Union. In den USA wird Bioethanol hauptsächlich aus Maisstärke hergestellt, während in Brasilien Zuckerrohr die wichtigste Rohstoffquelle darstellt. In der EU wird Bioethanol aus einer Vielzahl von Rohstoffen wie Weizen, Mais und Zuckerrüben hergestellt.

Die Herstellung von Bioethanol aus Zucker erfolgt durch Fermentation. Hierbei wird der Zucker durch Hefe in Ethanol umgewandelt. Stärke muss vor der Gärung zunächst durch einen Prozess namens "enzymatische Hydrolyse" in Zucker (Monosaccharide) umgewandelt werden. Bei der enzymatischen Hydrolyse wird das stärkehaltige Ausgangsmaterial zunächst zerkleinert. Dann werden Enzyme wie Amylasen zugesetzt, um die Gärung zu erleichtern. Die Herstellung von Bioethanol aus Zellulose erfordert eine aufwendigere Verarbeitung, da Zellulose ein komplexes Molekül ist. Die Zellulose muss zuerst in ihre Bestandteile aufgespalten werden, bevor sie fermentiert werden kann. Die Zellulose muss durch einen als Hydrolyse bezeichneten Prozess in Einfachzucker aufgespalten werden, was mit verschiedenen Methoden wie Säurehydrolyse, enzymatischer Hydrolyse oder Dampfexplosion geschehen kann.

Insgesamt sind Bioethanol aus Zucker und Stärke ein wichtiger Beitrag zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen und der Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen. Dennoch steht die Herstellung von Ethanol aus Zucker und Stärke in Konkurrenz mit Nahrungsmittelproduktion. Etwa 60 % der Gesamtmenge an Ethanol wird aus Mais, 25 % aus Zuckerrohr, 7 % aus Molasse 4 % aus Weizen und der Rest aus Casava, Zuckerrübe hergestellt.

2.7.2.3 Natürliche Fette und Öle

Hydrierte Pflanzenöle („Hydrogenated Vegetable Oils“ – HVO) werden aus natürlichen Pflanzenölen durch katalytische Umsetzung mit Wasserstoff hergestellt. Beispiele für pflanzliche Öle sind Rapsöl, Sojaöl, Palmöl und Sonnenblumenöl. Es entstehen hierbei Kohlenwasserstoff-Gemische mit ähnlichen oder sogar besseren Eigenschaften im Vergleich zu entsprechenden Fraktionen aus Erdöl, im wesentlichen Kerosin und Diesel. Als Rohstoff für HVO kommen Pflanzenöle infrage, die nicht mit der Nahrungsmittelproduktion in Konkurrenz stehen. Zum Einsatz kommen pflanzliche Altöle oder -fette, die ansonsten nach ihrem Gebrauch verbrannt würden. Dazu gehören mit geringerem Anteil auch tierische Altfette sowie Abfälle aus der Fischverarbeitung. Die HVO-Produktion im Jahr 2020 belief sich auf 6,2 Mt/a weltweit mit den Schwerpunkten Europa (3,4 Mt/a) und USA (2,1 Mt/a).

³³³ Vgl. Hamburg Open Online University 2021

³³⁴ Etwa 60 Mrd. Liter in USA, 33 Mrd. Liter in Brasilien und 5 Mrd. Liter in der EU

2.7.2.4 Abwasser

Eine Kopernikus-Studie aus dem Jahr 2021 schätzt die weltweite Abwasserproduktion auf 359,4 Mrd. m³ pro Jahr, von denen 63 % (225,6 Mrd. m³ pro Jahr) gesammelt und 52 % (188,1 Mrd. m³ pro Jahr) behandelt werden.³³⁵ Man schätzt, dass ca. 172 Mrd. m³ pro Jahr unbehandelt in die Umwelt gelangen, was deutlich unter den früheren Schätzungen von ~80 % liegt. Geschätzte 40,7 Mrd. m³ pro Jahr des behandelten Abwassers werden absichtlich wiederverwendet.

2.7.2.5 Bioabfälle im MSW³³⁶

Jährlich fallen weltweit 2,01 Mrd. Tonnen fester Kommunalabfälle an, von denen mindestens 33 %, extrem konservativ geschätzt, nicht umweltfreundlich entsorgt werden (siehe Abbildung 121 rechts).³³⁷ Einkommensstarke Länder erzeugen mit 32 % des Gesamtabfalls relativ wenig Lebensmittel- und Grünabfälle und erzeugen mehr trockene Abfälle, die recycelt werden könnten, einschließlich Plastik, Papier, Karton, Metall und Glas, die 51 % des Abfalls ausmachen. Laut World Bank erzeugen Länder mit mittlerem und niedrigem Einkommen 53 % bzw. 57 % Lebensmittel- und Grünabfälle, wobei der Anteil der organischen Abfälle mit abnehmendem wirtschaftlichen Entwicklungsniveau zunimmt.

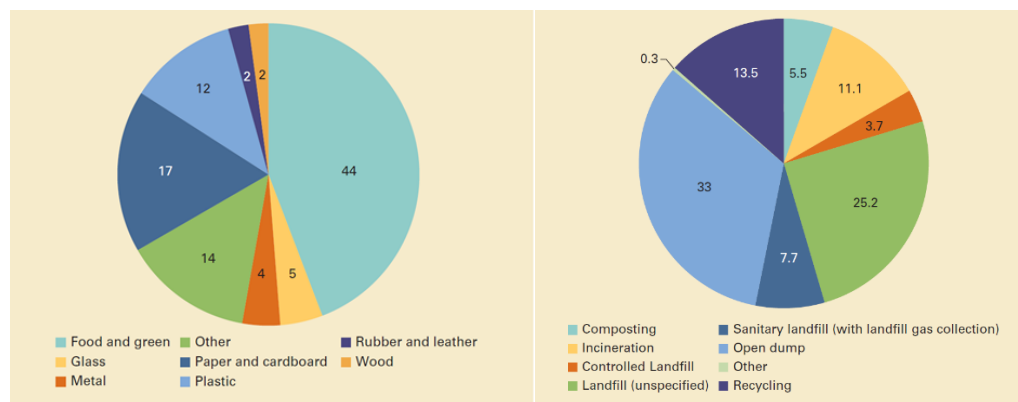


Abbildung 121: Zusammensetzung globaler MSW und Art der Abfallentsorgung global betrachtet.
Quelle: World Bank, (2020).

Für die Zukunft wird erwartet, dass das weltweite Abfallaufkommen bis zum Jahr 2050 auf 3,40 Gt ansteigen wird. In den Regionen mit dem schnellsten Gesamtabfallaufkommen nimmt dieses bis zum Jahr 2050 wie folgt zu:

- Afrika südlich der Sahara: Verdreifachung
- Südasien: Verdopplung

³³⁵ Vgl. Jones et al., (2021).

³³⁶ MSW: Municipal Solid Waste

³³⁷ Vgl. World Bank, (2020).

- sowie der Nahe Osten und Nordafrika: Verdopplung

In diesen Regionen wird derzeit mehr als die Hälfte der Abfälle in Mülldeponien „entsorgt“.

2.7.2.6 Kurzumtriebsplantagen

Unter Kurzumtriebsplantagen (KUP) versteht man Anpflanzungen von schnellwachsenden und stockausschlagfähigen Baumarten wie z.B. Weide, Erle und Pappel, auf landwirtschaftlichen Flächen mit einer sehr kurzen Umtriebszeit^{338 339}. Die erzeugte Biomasse kann stofflich verwertet werden, beispielsweise in der Papier-, Zellstoff- und Holzwerkstoffindustrie, meist wird sie aber als Holzhackschnitzel zur Energiegewinnung genutzt. Bei der Kurzumtriebsanlage werden sogenannte Stecklinge, d. h. Abschnitte von einjährigen, gut entwickelten Trieben, in Reihen angepflanzt und je nach Art und Klima alle 3 bis 10 Jahre maschinell oder motormanuell geerntet (siehe auch Kapitel 2.10.5). Der im Boden verbleibende Wurzelstock hat die Fähigkeit zum Stockausschlag, und so erfolgt nach der Ernte ein erneuter Austrieb der Bäume, ohne dass sie neu angepflanzt werden müssen.

Unter guten Bedingungen können Kurzumtriebsplantagen im Schnitt etwa 5 bis 10 t/ha/a Trockensubstanz produzieren, unter sehr guten Bedingungen auch das Doppelte. Nach circa 20 Jahren lässt die Produktionskraft der Pflanzen nach, und die Fläche sollte bei weiterer Nutzung neu angelegt werden. Der durchschnittliche Energiegehalt beträgt zwischen 15,5 und 18,5 MJ/kg³⁴⁰. Bei der Ernte und Zerkleinerung werden etwa 0,06 MJ/kg verbraucht, wodurch die Energiebilanz sehr gut ist. Zu beachten ist dabei allerdings, dass schnellwachsende Pflanzen auch einen geringeren spezifischen Energiegehalt besitzen, sodass das zu verarbeitende Volumen der Rohstoffe stark ansteigt. Beispielsweise liefert ein Raummeter Brennholz aus Eiche ca. 1.890 kWh, schnellwachsende Pappel nur 1.110 kWh.

Potenzielle ungenutzte Flächen, die für Aufforstungen zur Verfügung stehen, liegen weltweit in der Größenordnung von 390 bis 750 Mha. Unter der Annahme, dass diese Flächen für ein globales Kurzumtriebsplantagen-Programm genutzt werden, ergibt sich ein globales Primärenergiepotenzial zwischen 13 PWh/a bis 25 PWh/a aus Kurzumtriebsplantagen³⁴¹.

³³⁸ Vgl. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft 2021

³³⁹ „Als Umtriebszeit wird in der Forstwirtschaft der zu erwartende Zeitraum von der Bestandesbegründung bis zur Endnutzung durch Holzeinschlag bezeichnet“ [Umtriebszeit – Wikipedia](#)

³⁴⁰ Vgl. Wikipedia 2023

³⁴¹ Erntefaktor von 8 t/ha/a aus Kurzumtriebsanlage und Brennwert der Ernte von 15 MJ/kg

2.7.3 Primärenergiepotenzial von Biomasse zur Erzeugung von Treibstoffen

Im Jahr 2016 wurden weltweit etwa 0,88 Gt biologisch abbaubare Abfälle in Form von Lebensmitteln und Grüngut erzeugt. Dies entspricht einem Primärenergiepotenzial zwischen 2.500 TWh/a und 3.600 TWh/a. Diese Abfälle können zur Erzeugung von Biogas vergoren werden. Altholz hingegen hatte im Jahr 2016 ein weltweites Primärenergiepotenzial zwischen 300 und 400 TWh/a.

Weltweit wurden etwa 172 Mrd. m³ Abwasser unbehandelt in Gewässer eingeleitet. Dieses Wasser könnte mit Hilfe von Plasmalysatoren zur Wasserstoffsynthese genutzt werden. Das gesamte globale Potenzial dieser Ressource lässt sich jedoch nur schwer abschätzen, da die Inhaltsstoffe dieser unbehandelten Abwässer nicht bekannt sind und die Technologien zur Wasserstoffsynthese daraus noch in der Entwicklungshasen stehen.

Bis zum Jahr 2030 könnten etwa 50 – 80 Mio. t HVO produziert werden, was 600 TWh/a in Form von HVO entspricht. Das größte bioenergetische Primärenergiepotenzial stammt aus land- und forstwirtschaftlichen Abfällen mit etwa 37 PWh/a. Die Potenziale aus verschiedenen Quellen sind in Tabelle 27 zusammengefasst.

Tabelle 27: Primärenergiepotenzial diverser Biorohstoffe zur Erzeugung von Bioenergie/Biokraftstoffen.

Biorohstoff	Menge	Primärenergiepotenzial	Verfahren zur Umwandlung in Energie/Biokraftstoffe
MSW: Essen und sonstige grüne Abfälle	0,88 Gt pro Jahr (im Jahr 2016)	2.552 bis 3,696 TWh/a	Fermentierung
MSW: Holz	0,1 Gt pro Jahr (im Jahr 2016)	300 bis 400 TWh/a	Vergasung
Unbehandeltes Abwasser/Schmutzwasser	172 Mrd. m ³ pro Jahr (im Jahr 2021)	N.A.	Dunkle Fermentierung, Plasmalyse, Mikrobiologische Elektrolyse
HVOs aus Altspeiseölen	50–80 Mt pro Jahr (bis 2030)	600 TWh	Hydrierung von Altölen
Landwirtschafts- und Forstabfälle	35.456 TWh aus Landwirtschaftsabfällen (128 EJ im Jahr 2016) 1.285 – 2.116 TWh aus Forstabfällen (4,64 – 7,64 EJ im Jahr 2016)	36.741 TWh/a bis 37.572 TWh/a	Fermentierung, Vergasung, Verbrennung

Andere Studien namhafter Institutionen wie IEA, IRENA, IPCC und WBA schätzen das Bioenergiepotenzial auf ein Minimum von 14 PWh/a und ein Maximum von 67 PWh/a. Eine Zusammenfassung des geschätzten Bioenergiepotenzials ist in Tabelle 28 aufgeführt.

Tabelle 28: Bioenergiepotenzial laut verschiedener Institutionen.
Quelle: IRENA, (2022).

Institution	Primärenergiepotenzial von Bioenergie pro Jahr	Jahr
IEA	130 – 240 EJ (36 PWh–67 PWh)	un-klar
IRENA	54 EJ (ca. 15 PWh)	2020
IRENA	153 EJ für 1,5°C Szenario (ca. 42 PWh)	2050
IPCC	90 EJ (ca. 25 PWh)	un-klar
IPBES	50 EJ (ca. 14 PWh)	un-klar
Energy Transition Commission	40 – 120 EJ (ca. 11 PWh–33 PWh)	un-klar
World Bioenergy Association ³⁴²	30 EJ aus Energiepflanzen (ca. 8 PWh) 34 EJ aus landwirtschaftliche Reststoffe und Gülle (ca. 9 PWh) 78 EJ aus Forstwirtschaftsabfällen (22 PWh) 8 EJ aus organischen Abfällen (2PWh)	2035

2.7.4 Verfahren zur Erzeugung von Biokraftstoffen aus Biomasse

Biomasse kann zur Stromerzeugung, zur Herstellung von Biokraftstoffen und als Rohstoff verwendet werden.

2.7.4.1 Herstellung von 1G- und 2G-Biokraftstoffen

Die Biokraftstoffe werden nach Art der Produktion und Eingangstoffe klassifiziert (siehe Abbildung 122) der ersten Generation (1G) werden aus Arten von Biomasse hergestellt, die häufig für Lebensmittel verwendet werden, wie Mais, Weizen, Soja und Zuckerrohr, durch die Gärung von Zucker und Stärke in der Biomasse in Kraftstoffe wie Ethanol umgewandelt werden.³⁴³ Die Märkte und Technologien für Biokraftstoffe der ersten Generation sind gut etabliert und weltweit weit verbreitet. Eine rasche Ausbreitung der 1G Biokraftstoffproduktion kann die weltweite Nahrungsmittelproduktion negativ beeinträchtigen. Biokraftstoff-Pflanzen zur Synthese von 1G Biokraftstoffe werden Biokraftstoffpflanzen der ersten Generation stehen in direkter Konkurrenz zu Nahrungsmitteln, und jede Verdrängung von Nahrungsmittelpflanzen durch den Anbau von Biokraftstoffen könnte das Nahrungsmittelangebot verringern und die Nahrungsmittelpreise erhöhen.

³⁴² Vgl. World Bioenergy Association, (2016).

³⁴³ Vgl. Nagler & Gerace, (2020).

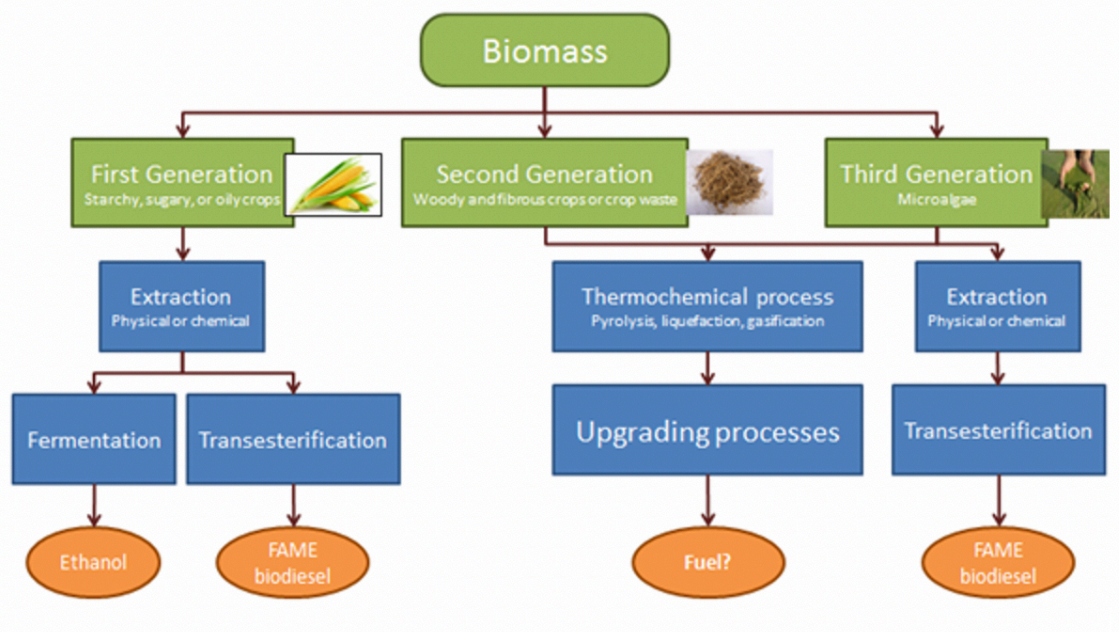


Abbildung 122: Klassifizierung von Biokraftstoffen
Quelle: Fundamental Trajectory; 2015

Biokraftstoffe der zweiten Generation (2G) werden aus Zellulose, bspw. Gräsern und schnellwachsenden Bäumen, hergestellt. Die Verfahren zu ihrer Herstellung sind komplexer und weniger weit entwickelt als die für Biokraftstoffe der ersten Generation und umfassen häufig die enzymatische Umwandlung von faserigem, nicht essbarem Material namens "Zellulose" in entsprechende Zuckerfraktionen und deren Vergärung zu Alkoholen.³⁴⁴

2.7.5 E-Diesel und E-Kerosin

Informationen zur Produktion von e-Benzin sich in Kap. 2.6.6 zu finden.

2.7.5.1 Herstellung von 1G Biodiesel

Die Herstellung von Biodiesel der ersten Generation (1G) aus pflanzlichen oder tierischen Ölen erfolgt in mehreren Schritten. Zunächst werden pflanzliche Öle durch Pressen oder Lösen aus den Pflanzen gewonnen. Anschließend wird das gewonnene Öl gereinigt und aufbereitet, um Verunreinigungen zu entfernen und die Qualität des Öls zu verbessern. Danach erfolgt die Transesterifizierung, bei der das gereinigte und aufbereitete Öl mit einem Alkohol (meistens Methanol) und einem Katalysator (meistens Natriumhydroxid) reagiert, um sich in Fettsäuremethylester (Biodiesel) und Glycerin umzuwandeln (siehe Abbildung 123). Der hergestellte Biodiesel wird dann nochmals gereinigt und aufbereitet, um insbesondere seine Lagerstabilität zu verbessern. Das entstandene Glycerin wird vom Biodiesel getrennt, um es anderen Verwendungen zuzuführen. Etwa 100 kg Öl oder Fett werden mit 10 kg des kurzkettigen Alkohols

³⁴⁴ Vgl. Nagler & Gerace, (2020).

in Gegenwart des Katalysators umgesetzt, um 100 kg Biodiesel und 10 kg Glycerin zu bilden.³⁴⁵

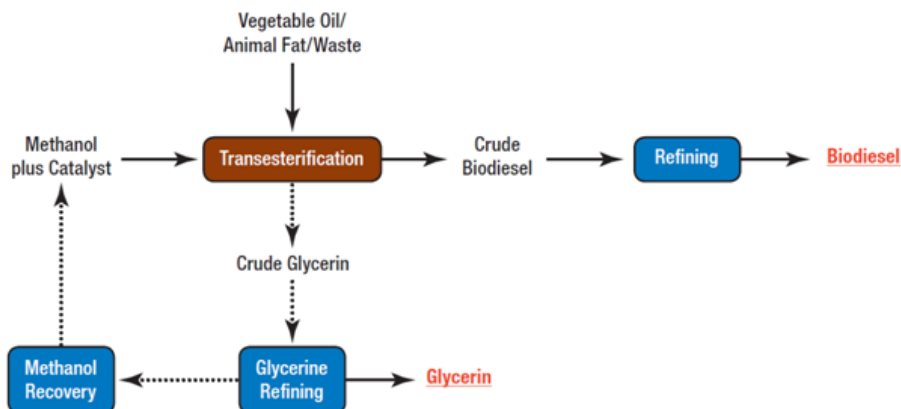


Abbildung 123: Synthese von Biodiesel aus pflanzlichen Ölen und Methanol.
Quelle: USDOE, (2022).

2.7.5.2 Herstellung von 2G Biodiesel

Unter Biodiesel der zweiten Generation, oder HVO³⁴⁶, versteht man in der Regel das Produkt aus einer Totalhydrierung von Fetten und Ölen (insbesondere Altfetten-/ölen) unter Bildung einer hochwertigen, erdölähnlichen Diesel- oder auch Kerosinfraktion. Nebenprodukte sind u.a. Wasser und Propan.

Die Produktionsmenge von HVO soll sich durch bereits im Bau befindliche Anlagen bis zum Jahr 2025 mehr als vervierfachen, vor allem in den USA mit prognostizierten 12,6 Mt/a und mit 11,3 Mt/a in Europa. In Europa dominieren bisher zwei Anlagen von Neste (in Finnland und den Niederlanden) mit 1,5 M t Jahreskapazität sowie Anlagen der ENI, Gela sowie ENI, Porto Maghera in Italien (0,7 Mt/a + 0,24 Mt/a) und der TOTAL, La Mède in Frankreich (0,5 Mt/a) den Markt. Im Zeitraum bis 2025 planen u.a. UPM eine Anlage in Kotka, Finnland (0,5 Mt/a), St1 0,1 Mt/a in Göteborg und Preem 1,3 Mt/a in Lysekil und Göteborg in Schweden.

Hydrierte Pflanzenöle („Hydrogenated Vegetable Oils“ - HVO) werden aus natürlichen Pflanzenölen durch katalytische Umsetzung mit Wasserstoff hergestellt. Es entstehen hierbei Kohlenwasserstoff-Gemische mit ähnlichen oder sogar besseren Eigenschaften im Vergleich zu entsprechenden Fraktionen aus Erdöl, im wesentlichen Kerosin und Diesel.

In Deutschland wurden im Jahr 2021 ca. 27 Mt Diesel verbraucht, weltweit sind es ca. 800 Mt. Bezogen auf den Gesamtmarkt ist der Beitrag von HVO mit knapp 30 Mt weltweit (das ist die

³⁴⁵ Vgl. USDOE, (2022).

³⁴⁶ HVO: Hydrotreated Vegetable Oils

existente und in Bau befindliche Kapazität 2025)³⁴⁷ eher gering, aber mit einfachen Maßnahmen und ohne Änderung von Infrastruktur und motorischen Anpassungen realisierbar.

Größere Bedeutung könnte HVO als Kerosinersatz für Flugzeuge bekommen, als Alternative zur aufwendigen Fischer-Tropsch-Synthese.

Als Rohstoff für HVO kommen Pflanzenöle infrage, die nicht mit der Nahrungsmittelproduktion in Konkurrenz stehen. Zum Einsatz kommen pflanzliche Altöle oder -fette, die ansonsten nach ihrem Gebrauch verbrannt würden. Dazu gehören mit geringerem Anteil auch tierische Altfette sowie Abfälle aus der Fischverarbeitung.

Sie können als CO₂-neutrale Treibstoffe bezeichnet werden, wenn für die Hydrierung CO₂-neutraler Wasserstoff verwendet wird. Aber auch eine Hydrierung mit „grauem“ Wasserstoff führt zu einer substantziellen Verminderung der CO₂-Emissionen.

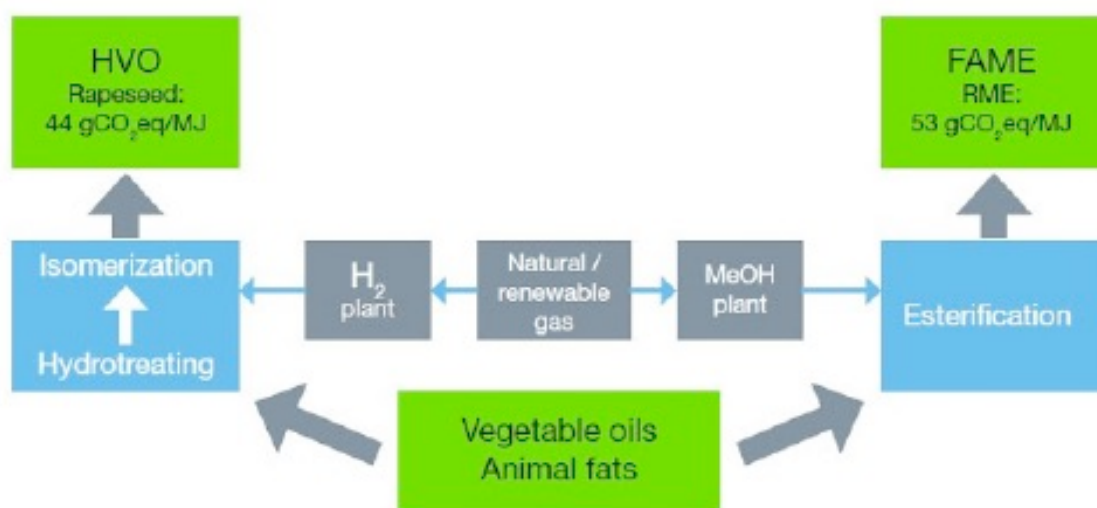


Abbildung 124: Vergleich der CO₂-Emissionen von HVO und Biodiesel (RME)³⁴⁸
(bei Hydrierung mit grauem Wasserstoff bzw. Umesterung mit grauem Methanol)

Fossiler Diesel emittiert ca. 84 Gramm CO₂-Äquivalent pro MJ im Vergleich zu 44 Gramm bei HVO (Herstellung mit grauem Wasserstoff, 48% CO₂-Minderung) und 53 Gramm bei konventionellem Biodiesel (Rapsmethylester, Herstellung mit grauem Methanol, 35 % CO₂-Minderung), siehe Abbildung 124.

Bei Verwendung von „grünem“ Wasserstoff bzw. „grünem“ Methanol beträgt die CO₂-Minderung im Vergleich zu fossilem Diesel 90 % und mehr.

³⁴⁷ Greenea PM, 22.7.2021

³⁴⁸ Extracted from Neste Renewable Diesel Handbook.

Herstellung von HVO

Der Herstellungsweg von HVO ist in Abbildung 125 Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. schematisch dargestellt ³⁴⁹:

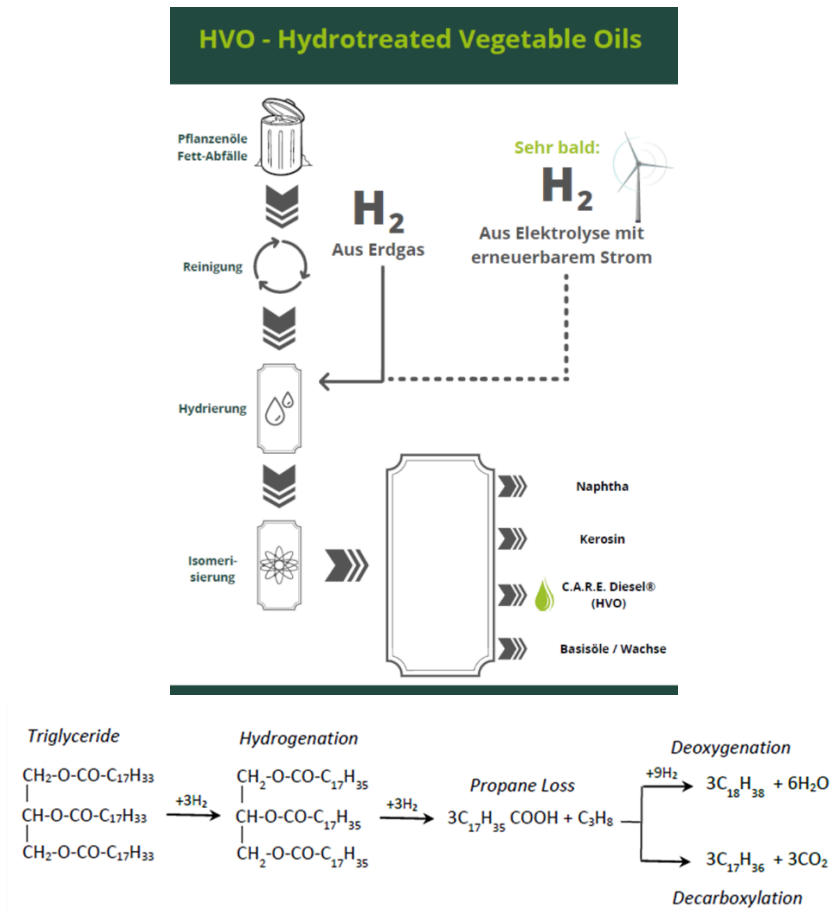


Abbildung 125: Herstellung von HVO; Quelle: CARE Diesel

Die chemische Umsetzung des Öls (Triglycerid) mit Wasserstoff führt zu aliphatischen Kohlenwasserstoffen sowie zu den Nebenprodukten Propan, Wasser und durch Decarboxylierung als Nebenreaktion auch zu geringen Mengen an CO₂.

Anders bei konventionellem Biodiesel: hier wird das Triglycerid mit Methanol umgeestert. Es entstehen der Fettsäuremethylester (FAME, bei Raps: RME) und Glycerin als Nebenprodukt. Versuche, (grünen) Wasserstoff durch Glycerin-Reformierung zu erzeugen, haben keine technische Anwendung gefunden.

HVO-Verfahren sind großtechnisch etabliert und werden u.a. von

³⁴⁹ Vgl. Flyer CARE Diesel (Tool Fuel Services GmbH, Hamburg) oder www.adac.de/verkehr/tanken-kraftstoff-antrieb/benzin-und-diesel/care-diesel/

- Haldor Topsoe (DK): HydroFlex™ process
- UOP / ENI (US/I): Ecofining process
- Axens (F): Vegan process
- NextChem/Technimont Saola Energy process

lizensiert. Über eigene Verfahren verfügen u.a. Neste, Shell, ConocoPhillips und Petrobras.

Motorische Eigenschaften von HVO

Diese sind in der Regel besser als die entsprechenden fossilen Treibstoffe, Anpassungen der Motoren bzw. Turbinen sind nicht erforderlich. Auch die Abgasqualität ist deutlich besser, wie in einem Vergleich in Tabelle 29 und in Abbildung 126 gezeigt wird.³⁵⁰ EN 590 ist hierbei konventioneller Sommerdiesel, GTL eine Fischer-Tropsch-basierte Dieselfraktion sowie FAME eine auf Basis Rapsöl.

Tabelle 29: Eigenschaften von HVO im Vergleich zu fossilem, entschwefeltem Diesel (EN 590), Fischer-Tropsch-Diesel (GTL) und Biodiesel auf Basis Rapsöl (RME),

Quelle: Aatola, H. et al (2008)

	HVO	EN 590 (summer grade)	GTL	FAME (from rape seed oil)
Density at 15 °C (kg/m ³)	775 ... 785	≈ 835	770 ... 785	≈ 885
Viscosity at 40 °C (mm ² /s)	2.5 ... 3.5	≈ 3.5	3.2 ... 4.5	≈ 4.5
Cetane number	≈ 80 ... 99	≈ 53	≈ 73 ... 81	≈ 51
Distillation range (°C)	≈ 180 ... 320	≈ 180 ... 360	≈ 190 ... 330	≈ 350 ... 370
Cloud point (°C)	-5 ... -25	≈ -5	-0 ... -25	≈ -5
Heating value, lower (MJ/kg)	≈ 44.0	≈ 42.7	≈ 43.0	≈ 37.5
Heating value, lower (MJ/l)	≈ 34.4	≈ 35.7	≈ 34.0	≈ 33.2
Total aromatics (wt-%)	0	≈ 30	0	0
Polyaromatics (wt-%) ⁽¹⁾	0	≈ 4	0	0
Oxygen content (wt-%)	0	0	0	≈ 11
Sulfur content (mg/kg)	< 10	< 10	< 10	< 10
Lubricity HFRR at 60 °C (μm)	< 460 ⁽²⁾	< 460 ⁽²⁾	< 460 ⁽²⁾	< 460
Storage stability	Good	Good	Good	Very challenging

⁽¹⁾ European definition including di- and tri+ -aromatics

⁽²⁾ With lubricity additive

³⁵⁰ Vgl. Aatola, H. et al, (2008)

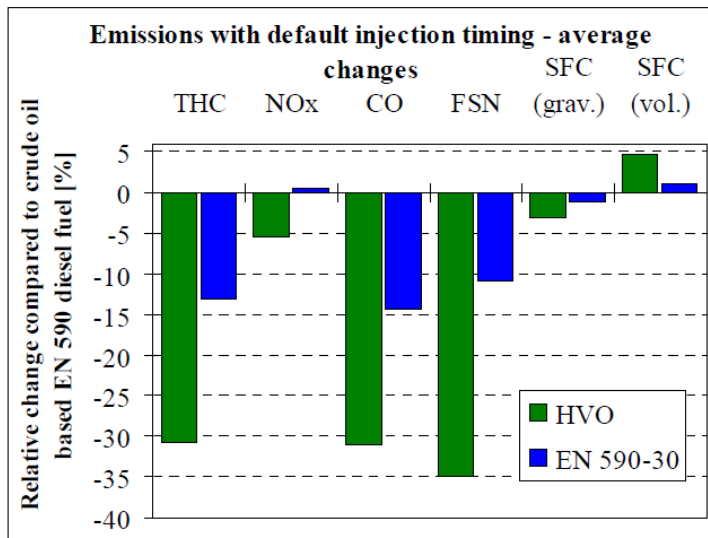


Abbildung 126: Abgasqualität von HVO und von einem HVO/Diesel 30/70-Gemisch im Vergleich zu 100% Diesel
Quelle: Aatola, H. et al (2008)

Die günstigen Eigenschaften von HVO beruhen – wie auch bei Diesel aus Niedertemperatur-Fischer-Tropsch Anlagen – auf dem hohen Gehalt langkettiger paraffinischer, einem nur geringen Anteil an naphthenischer

Kohlenwasserstoffe und Abwesenheit aromatischer Verbindungen.

Bezeichnend für die hohe Qualität von HVO (und GTL-Diesel) ist die hohe Cetanzahl als Indikator für die Zündwilligkeit des Treibstoffs.

Alle anderen Parameter sind vergleichbar. (Bis auf die geringe Lagerbeständigkeit von Biodiesel (RME), der vor allem bei Zutritt von Sauerstoff zur Bildung harzartiger Ausflockungen neigt).

Verfügbarkeit und Produktionsmengen

Weltweit und in Europa:

Die HVO-Produktion im Jahr 2020 belief sich auf 6,2 Mt weltweit mit den Schwerpunkten Europa (3,4 Mt) und USA (2,1 Mt).

Die Kapazität im Jahr 2020 betrug 7 Mt, siehe Abbildung 127.³⁵¹

Diese soll sich durch bereits in Bau befindliche Anlagen bis 2025 mehr als vervierfachen, vor allem in den USA mit prognostizierten 12,6 Mt/a und mit 11,3 Mt/a in Europa^{352 353}. Größtes Projekt ist der Umbau einer Erdöl-Raffinerie der Phillips 66 in eine HVO-Raffinerie in Kalifornien mit einer Kapazität von 2,5 Mt/a ab 2023.³⁵⁴

³⁵¹ Vgl. Statista 2022, „HVO Global HVO biodiesel capacity worldwide in 2020 with forecast 2025,

³⁵² Vgl. Quantum Commodity Intelligence, 22.7.2021

³⁵³ Vgl. Global HVO biodiesel capacity 2020-2025, by region, Statista

³⁵⁴ Vgl. PM, Phillips 66 Corporate Communications, 11.8.2020

In Europa dominieren bisher zwei Anlagen der Neste (in Finnland und den Niederlanden) mit 1,5 Mt Jahreskapazität sowie Anlagen der ENI, Gela sowie ENI, Porto Maghera in Italien (0,7 Mt + 0,24 Mt) und der TOTAL, La Mède in Frankreich (0,5 Mt) den Markt.

Im Zeitraum bis 2025 planen u.a. UPM eine Anlage in Kotka, Finnland (0,5 Mt pro Jahr), St1 0,1 Mt/a in Göteborg und Preem 1,3 Mt/a in Lysekil und Göteborg in Schweden.

Weitere Anlagen sollen bei PKN, Plock/Polen und in Litvinov, Tschechien entstehen.³⁵⁵

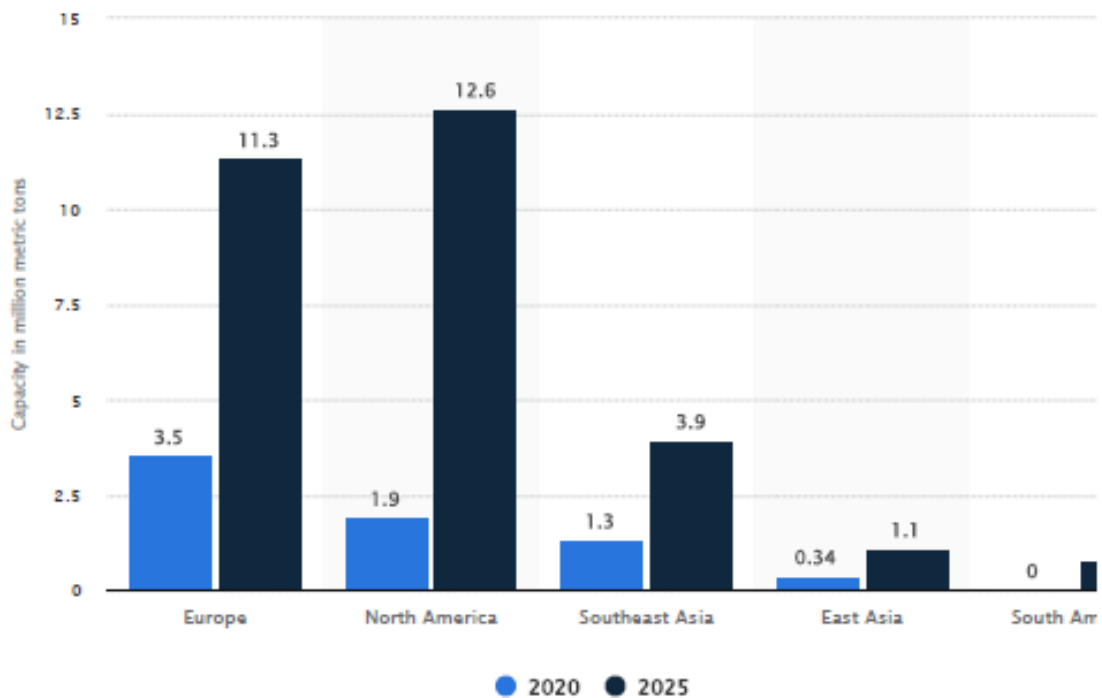


Abbildung 127: Weltweite HVO-Produktionskapazität 2020, Prognose für 2025

Quelle: statista 2022, HVO Global HVO biodiesel capacity worldwide in 2020 with forecast 2025,

Die überwiegende Menge HVO wird in Form von Beimischungen zu konventionellem Diesel im Bereich 10 – 50 % abgesetzt. HVO 100 wird vor allem in den Produktionsländern (Niederlande, Skandinavien).

Deutschland:

In Deutschland wird kein HVO erzeugt, es gibt derzeit auch kein Projekt. Geringe Mengen werden vor allem aus den Niederlanden importiert und über eine einstellige Zahl von Tankstellen vertrieben. Die für 2022 geschätzte Gesamtmenge an Biodiesel (Summe von FAME und HVO) soll ca. 2,5 Mt betragen³⁵⁶, dies entspricht etwa 9% des Gesamtverbrauchs (7 % beträgt die Beimischungsquote zu konventionellem Dieseltreibstoff).

³⁵⁵ Vgl. S. Wright, „Rise of HVO to be the downfall of traditional biodiesel in Europe“, ICIS Insights, 28.11.2019

³⁵⁶ Vgl. PM, UFOP-Union zur Förderung von Öl- und Proteinpflanzen eV, Berlin, 9.9.2022

Infrastruktur (Tankstellennetz):

HVO bzw. HVO-Blends werden derzeit von ca. 9.400 Tankstellen weltweit angeboten, Schwerpunkte sind USA (Kalifornien) und Europa. In Europa (ca. 8.000 Tankstellen).³⁵⁷

Abbildung 128 zeigt hierzu eine Tankstellenkarte für Europa mit einer Unterteilung von HVO 100, HVO-Blends und (ab 2023) sieben Tankstellen für „e-Fuel-Diesel“ als Beimischung.³⁵⁷ Bei Letzteren dürfte zur Herstellung des HVO Wasserstoff erzeugt aus regenerativem Strom zum Einsatz kommen.

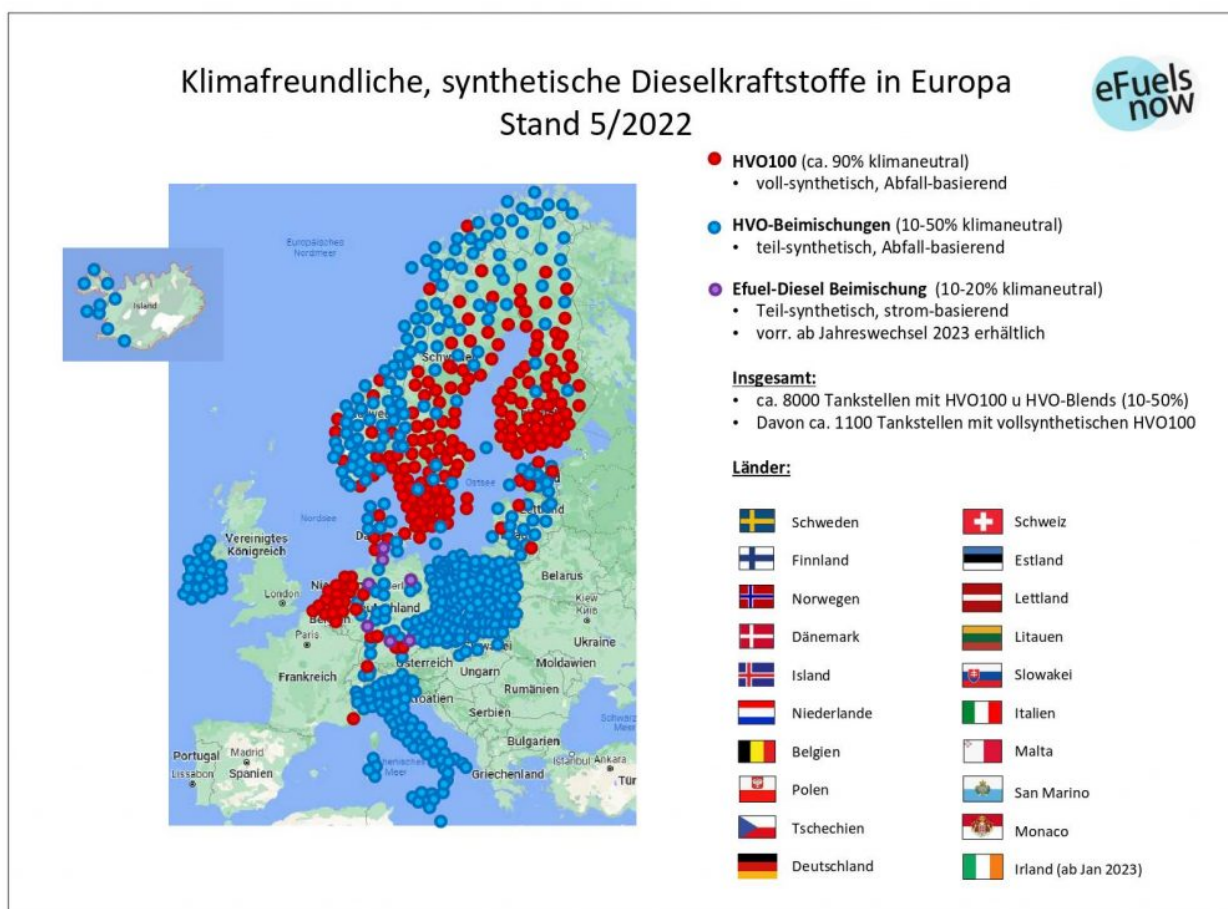


Abbildung 128: Tankstellenkarte“ für HVO-haltige Dieselkraftstoffe in Europa

Quelle: www.efuelsnow.de (17.9.2022)

³⁵⁷ Vgl. www.efuelsnow.de (17.9.2022)

Geschätztes Gesamtpotenzial:

Weltweit wurden 2021 213 Mt Pflanzenöle produziert. Der größte Anteil wurde nach Gebrauch entweder thermisch verwertet, zu (konventionellem) Biodiesel verarbeitet und zum geringeren Teil auch in der Oleochemie (für Detergentien) und zur Futtermittelproduktion verwendet.

Ein Treiber für die verstärkte Nutzung von HVO auf Basis von Altölen und -fetten anstelle von FAME ist die in die Kritik geratene und daher abnehmende Verwendung von importiertem Palmöl aus Südostasien zur Herstellung von Biodiesel.

Der weltweite Markt für gebrauchte pflanzliche Öle und Fette ist wenig transparent, so dass ein verfügbares Potenzial für HVO sehr grob geschätzt bei jährlich 50 - 80 Mt liegen könnte. Dies entspräche 6 -10 % des derzeitigen Diesel- oder 15 – 25 % des derzeitigen Kerosinverbrauchs weltweit.

In Bezug auf synthetischen Flugkraftstoff (SAF) ist diese Schätzung konsistent mit einer Bedarfsschätzung für 2022 von ca. 70 Mt SAF, wobei dieser wegen nicht ausreichend verfügbarer Produktionskapazität nur zum Teil aus HVO und ansonsten aus anderen biogenen Quellen stammt.

2.7.5.3 Herstellung von Biosynthesegas und Biomethan

Die Gasification von Biomasse zu Synthesegas ist einer der Verfahren zur Umwandlung von Biomasse in gasförmigen Biofuels. Hierbei wird Biomasse mit begrenzter Sauerstoffzufuhr bei ca. 700 – 900°C vergast. Durch den Einsatz von Luft oder Sauerstoff wird die Biomasse teilweise oxidiert und es entsteht Syngas, das aus Kohlenmonoxid (CO), Wasserstoff (H₂), Kohlendioxid (CO₂) und Schadstoffen besteht. Das Syngas wird danach gereinigt und könnte in einem Gasmotor zur Stromerzeugung verbrannt werden; das Abgas kann zur Dampferzeugung verwendet werden und wird dann in einer Dampfturbine eingesetzt (siehe Abbildung 129).

Die Abwärme der Abgase kann darüber hinaus zurückgewonnen und in ein Fernwärmesystem eingespeist werden.³⁵⁸ Der Gesamtwirkungsgrad eines Co-Generationssystem kann bei bis zu 85 % liegen.³⁵⁹

³⁵⁸ Vgl. European Regional Development Fund & Interreg, (2021).

³⁵⁹ ebenda

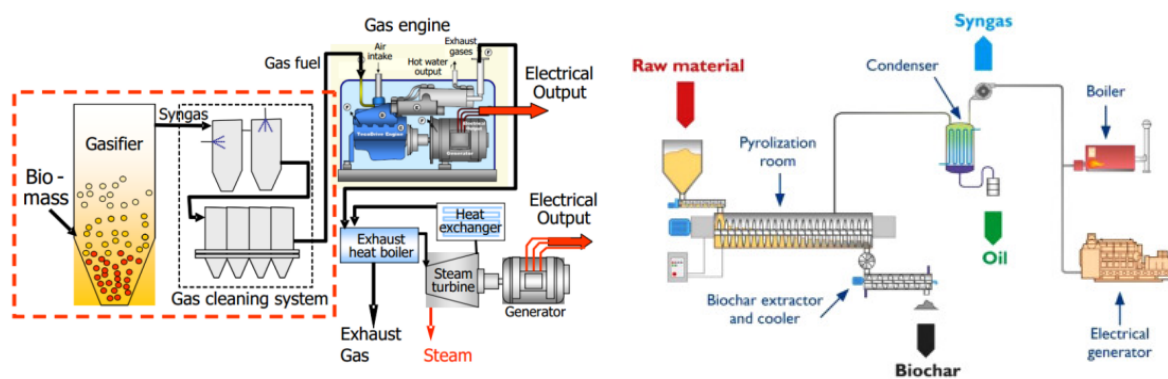


Abbildung 129: Gasification (links) und Pyrolyse (rechts) von Biomasse zur Stromerzeugung.

Quelle: Access Biomass Power Ltd, 2018; Shen et al., (2016).

Bei der Pyrolyse wird die Biomasse bei hohen Temperaturen von 400 bis 900°C in Abwesenheit von Sauerstoff thermisch zerlegt. Dabei entsteht Syngas (aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff), Bio-Öl und Bio-Kohle.³⁶⁰

Biogas ist ein Mix aus Methan, CO₂ und geringen Mengen anderer Gase, der durch anaerobe Vergärung organischer Stoffe in einer sauerstoffarmen Umgebung entsteht. Der Methangehalt von Biogas liegt in der Regel zwischen 45 vol% und 75 vol%, der Rest besteht größtenteils aus CO₂. Diese Schwankung bedeutet, dass der Energiegehalt von Biogas variieren kann; der untere Heizwert liegt zwischen 16 MJ/Nm³ und 28 MJ/Nm³.³⁶¹

Biogas kann direkt zur Erzeugung von Strom und Wärme oder als Energiequelle zum Kochen verwendet werden. Die genaue Zusammensetzung des Biogases hängt von der Art des Ausgangsmaterials und dem Produktionsweg ab; dazu gehören die folgenden Haupttechnologien.³⁶²

- Biovergärungsanlagen: Hierbei handelt es sich um luftdichte Systeme (z. B. Behälter oder Tanks), in denen organisches Material, das in Wasser verdünnt ist, von natürlich vorkommenden Mikroorganismen abgebaut wird. Verunreinigungen und Feuchtigkeit werden in der Regel vor der Nutzung des Biogases entfernt.
- Systeme zur Verwertung von Deponiegas: Bei der Zersetzung fester Siedlungsabfälle unter anaeroben Bedingungen auf Mülldeponien entsteht Biogas. Dieses kann über Rohre und Entnahmehäuser zusammen mit Kompressoren aufgefangen werden, um es zu einer zentralen Sammelstelle zu leiten.
- Kläranlagen: Diese Anlagen können so ausgerüstet werden, dass sie organische Stoffe, Feststoffe und Nährstoffe wie Stickstoff und Phosphor aus dem Klärschlamm

³⁶⁰ Vgl. Zhou et al., (2020).

³⁶¹ Vgl. IEA, (2020).

³⁶² ebenda

zurückgewinnen. Nach einer weiteren Behandlung kann der Klärschlamm zur Erzeugung von Biogas in einem anaeroben Fermenter verwendet werden.

2.7.5.4 Herstellung von Biokraftstoffen aus Algen

Algen sind Organismen, die in aquatischen Umgebungen wachsen und Licht und Kohlendioxid nutzen, um Biomasse zu erzeugen. Es gibt zwei Klassifizierungen von Algen: Makroalgen und Mikroalgen. Makroalgen, sind die großen mehrzelligen Algen, die oft in Teichen wachsen. Die Größe von Mikroalgen hingegen wird in Mikrometern gemessen. Sie sind winzige, einzellige Algen, die normalerweise in einem Gewässer in der Schwebelage wachsen. Mikroalgen werden seit langem als potenziell gute Quellen für die Biokraftstoffproduktion angesehen, da sie einen relativ hohen Ölgehalt aufweisen und schnell Biomasse produzieren.³⁶³

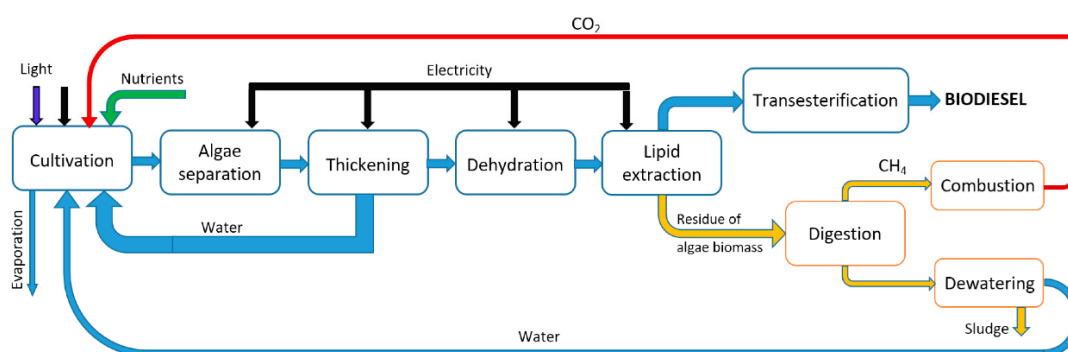


Abbildung 130: Herstellung von Biokraftstoffen aus Algen

Quelle: Clarens et al., 2011.

Algen nutzen Licht als Energiequelle, um mittels Photosynthese aus Wasser und CO_2 Biomasse zu erzeugen (siehe Abbildung 130). Algen benötigen auch Stickstoff und Phosphor als wichtige Nährstoffe. Verschiedene Faktoren beeinflussen das optimale Wachstum von Algen und ihre Lipidakkumulation. Dazu gehören die Verfügbarkeit von Mikro- und Makronährstoffen, Lichtintensität, CO_2 , Wassertemperatur und pH-Wert.³⁶⁴ Mikroalgen können im Vergleich zu herkömmlichen Biodieselpflanzen mehr Öl pro Hektar belegter Fläche liefern. Der Ertrag von Algen mit 30 % Öl in der Trockenbiomasse beträgt beispielsweise bis zu 58.700 Liter/ha/a, was im Vergleich zu Raps (1.190 Liter/ha/a) oder Sojabohnen (446 Liter/ha/a) viel höher ist.³⁶⁵

Die folgenden drei Systeme sind relevant bei der Herstellung von Biokraftstoffen aus Algen:

- *Open Pond*: Hierbei werden Algen in offenen Teichen oder Bassins angebaut, die der Sonne ausgesetzt sind. Dieses Verfahren ist einfach und kostengünstig, aber es ist

³⁶³ Vgl. Farm Energy, 2019; Chisti, 2007.

³⁶⁴ Vgl. Bošnjaković & Sinaga, (2020).

³⁶⁵ Vgl. Bošnjaković & Sinaga, (2020).

anfällig für Verunreinigungen und kann Schwierigkeiten bei der Kontrolle der Wachstumsbedingungen der Algen aufweisen.

- *Closed Pond*: Hierbei werden Algen in geschlossenen Teichen angebaut, die vor Umweltbedingungen geschützt sind. Dieses Verfahren ermöglicht eine bessere Kontrolle der Wachstumsbedingungen, aber es ist auch teurer als das Open Pond-Verfahren.
- *Photobioreaktor*: Hierbei werden Algen in kontrollierten Systemen unter Verwendung von Licht und Nährstoffen kultiviert. Dieses Verfahren ermöglicht eine sehr gute Kontrolle der Wachstumsbedingungen und kann höhere Algenproduktionen erzielen, aber es ist auch das teuerste Verfahren.

Das Department of Energy (DOE) hat in den 1980er bis 1990er Jahren erhebliche Anstrengungen unternommen, um die kommerzielle Produktion von Algen-Biokraftstoff voranzutreiben. Nach 16 Jahren Forschung kam das DOE zu dem Schluss, dass die Produktion von Biokraftstoff aus Algen immer noch zu teuer ist, um in naher Zukunft kommerziell genutzt werden zu können. Hierbei gibt es vier Hauptfaktoren, die die kommerzielle Algenproduktion einschränken: die Schwierigkeit, erwünschte Arten im Kultursystem zu erhalten, der geringe Ertrag an Algenöl, Flächenbedarf und die hohen Kosten für die Ernte der Algenbiomasse. Das DOE kam zu dem Schluss, dass es eine beträchtliche Menge an Land, Wasser und CO₂ zur Unterstützung der Algen-Biokraftstofftechnologie gibt.³⁶⁶

2.7.5.5. Herstellung von Wasserstoff aus Klärschlamm und Schmutzwasser

Verschiedene biomassebasierte Technologien zur Erzeugung von grünem Wasserstoff werden entwickelt. Die Abwässer aus verschiedenen Quellen wie Kläranlagen und Brennereien können recycelt und zur Herstellung von grünem Wasserstoff verwendet werden. Dieser kann dann als Kraftstoff für verschiedene Anwendungen in unterschiedlichen Sektoren verkauft werden. Eine weitere Technologie, die derzeit erprobt wird, ist der „Graforce Wastewater Plasma-Lyzer“.³⁶⁷ (siehe auch Kapitel 3.4.3.3) Er nutzt Sonnen- oder Windenergie, um ein hochfrequentes Spannungsfeld über dem Abwasser zu erzeugen. Es spaltet die kohlenstoff- und stickstoffhaltigen Verbindungen wie Harnstoff, Nitrate und Ammonium in die einzelnen Atome C, N, H und O. Die Gase werden mit der Graforce-Membrantechnologie abgetrennt und weiter transportiert. Diese Anlage zur Erzeugung von grünem Wasserstoff aus Abwasser (3.000 l/h) befindet sich bei den Berliner Wasserbetrieben auf der Kläranlage Waßmannsdorf in Betrieb. Es werden bis zu 50 kg Wasserstoff pro Tag erzeugt, wofür 20 kWh Energie pro kg

³⁶⁶ Vgl. Farm Energy, (2019).

³⁶⁷ Future Bridge, (2022).

Wasserstoffproduktion benötigt werden.³⁶⁸ Allerdings befindet sich diese Technologie noch in der frühen Demonstrationsphase.

2.7.5.6 Wasserbilanz zur Erzeugung von Bio-Ethanol und Bio-Diesel

Der Wasserverbrauch zur Erzeugung von Biodiesel ist höher als der zur Erzeugung von Ethanol.³⁶⁹ Die Erzeugung von Biodiesel aus Atropa (Wolfsmilchgewächse) ist am wasserintensivsten. Die Wasserbilanz diverser Pflanzen zur Synthese von Bioethanol und Biodiesel wird in Abbildung 131 dargestellt.

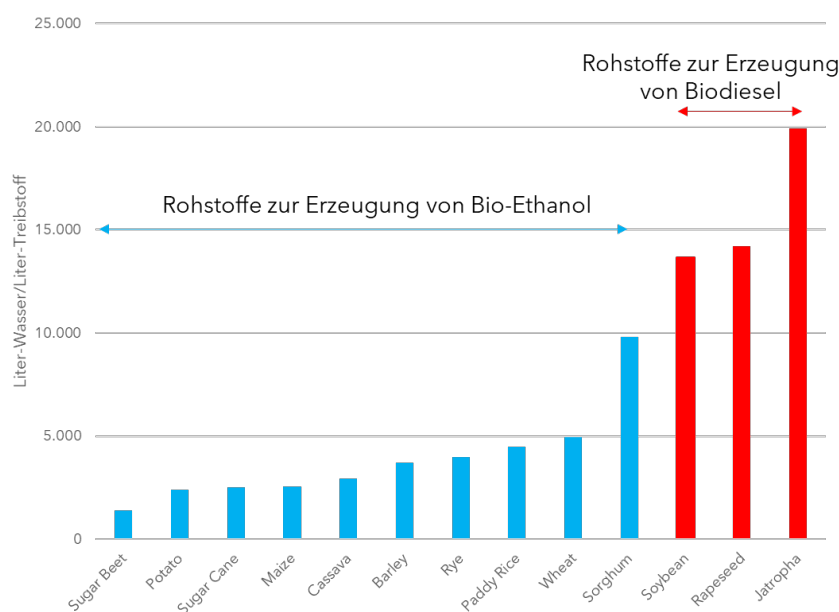


Abbildung 131: Die Wasserbilanzen (grün + blau) diverser Energiepflanzen zur Synthese von Bioethanol und Biodiesel.

Quelle: Winnie et al., 2009.

Die Wasserbilanz besteht aus drei Komponenten: der grünen Wasserbilanz, der blauen Wasserbilanz und der grauen Wasserbilanz. Die grüne Wasserbilanz bezieht sich auf Regenwasser, das während der Produktion verdunstet, hauptsächlich während des Pflanzenwachstums. Die blaue Wasserbilanz bezieht sich auf das Oberflächen- und Grundwasser für die Bewässerung, das während des Pflanzenwachstums verdunstet. Die graue Wasserbilanz ist die Wassermenge, die während der Produktion verschmutzt wird, definiert als die Wassermenge, die benötigt wird, um die in das natürliche Wassersystem eingeleiteten Schadstoffe so weit zu verdünnen, dass die Qualität des umgebenden Wassers über den vereinbarten Wasserqualitätsnormen bleibt.

³⁶⁸ Vgl. Future Bridge, (2022).

³⁶⁹ Vgl. Winnie et al., 2009.

2.7.6 Entwicklungsrelevanz

Die Herstellung von 1G-Bioethanol ist ein etablierter Prozess und wird weltweit zur Ersetzung von Benzin oder Beimischung mit Benzin eingesetzt. In den USA und China wird Biodiesel hauptsächlich aus Mais hergestellt, während er in Indien und Brasilien aus Zuckerrohrmelasse und Zuckerrohr gewonnen wird.³⁷⁰ Neben den genannten Rohstoffen werden in Südostasien, China und in der EU auch Kasava, Süßkartoffeln, Sorghum und Weizen verwendet. Länder in Afrika südlich der Sahara und Lateinamerika fördern ebenfalls die Herstellung von Bioethanol der ersten Generation aus Zuckerrohr. Bei der Herstellung von Biodiesel in den USA, Brasilien und Argentinien werden überwiegend Sojabohnen als Ausgangsstoff verwendet.³⁷¹ Der wichtigste Rohstoff für die Herstellung von Biodiesel der ersten Generation in der EU ist hingegen Raps. Südasiatische Länder wie Indonesien und Malaysia exportieren Palmöl für die Biodieselproduktion, außerdem wird Atropa in Indien, China, Lateinamerika und Subsahara-Afrika für die Produktion von Biodiesel der ersten Generation gefördert.

Dennoch kann die Produktion von 1G Biokraftstoffe negative Auswirkungen auf die Umwelt, die Artenvielfalt, den Boden und die Ernährungssicherheit haben. Beispielsweise kann die Umwandlung natürlicher Lebensräume in landwirtschaftliche Flächen zu einem Verlust an Artenvielfalt und Ökosystemdienstleistungen führen. Der Einsatz von Pestiziden und Düngemitteln bei der Bioenergieproduktion kann das Wasser verschmutzen und die Bodenfruchtbarkeit reduzieren.

Die Konkurrenz um begrenzte Land- und Ressourcen kann zu höheren Lebensmittelpreisen und einer reduzierten Ernährungssicherheit führen. Obwohl Bioenergie als erneuerbar und kohlenstoffneutral gilt, kann ihre Produktion und Verarbeitung dennoch zu signifikanten Treibhausgasemissionen beitragen und den Klimawandel begünstigen. In Indien hat die Zuckerrohrbasierte Ethanol-Produktion zu Wasserknappheit und reduziertem Zugang zu sauberem Trinkwasser geführt.³⁷² In den USA wurde die maisbasierte Ethanol-Produktion wegen ihres hohen Einsatzes von Düngemitteln und Pestiziden und ihrer Beiträge zu steigenden Lebensmittelpreisen und Ernährungssicherheitsproblemen kritisiert.³⁷³ In Brasilien ist die Soja-basierte Biokraftstoffe-Produktion mit der Rodung des Amazonas-Regenwalds, dem Verlust von Wildtierlebensräumen und Bodenverschlechterung verbunden. Die Produktion von Palmöl-Biokraftstoffen in Südostasien wird mit der Abholzung von Wäldern, dem Verlust von Lebensräumen für gefährdete Arten bspw. Orangutans und Treibhausgasemissionen durch veränderte Landnutzung in Verbindung gebracht.³⁷⁴

³⁷⁰ Vgl. Gasparatos et al., 2013.

³⁷¹ Vgl. Gasparatos et al., 2013.

³⁷² Vgl. Supriya, (2022).

³⁷³ Vgl. USDA, 2009.

³⁷⁴ Vgl. WWF, (2021).