

Wie viele Treibhausgasemissionen entstehen bei der Herstellung und Nutzung von Kraftstoffen aus fossilen und erneuerbaren Quellen?

Projekt: InnoFuels; Innovationsschwerpunkt Straße & Schiene

Philipp Weber⁽¹⁾; Dr.-Ing. Olaf Toedter⁽¹⁾

⁽¹⁾Institut für Kolbenmaschinen; KIT

Auf dem Weg zur Klimaneutralität können Kraftstoffe aus erneuerbaren Quellen einen Beitrag zur Reduktion von Treibhausgasen (THG) leisten. Das Maß an Emissionsreduktion hängt dabei von vielfältigen Faktoren ab. Neben der Wahl von Methodik und Systemrahmen fließen dabei Annahmen zu Ausgangsstoffen, Prozessen und Endprodukten der fossilen und erneuerbaren Kraftstoffproduktion ein. Darüber hinaus wird je nach gewünschter Endanwendung auch eine gewisse Produktionskapazität benötigt, die mit ausreichend nachhaltig produzierten Ausgangsstoffen und Energie versorgt werden muss.

Die nachfolgende Zusammenstellung gibt einen Überblick über die wichtigsten Begrifflichkeiten und methodischen Ansätze in der Bilanzierung der Kraftstoff-bedingten Treibhausgase. Einen wichtigen Bestandteil bildet dabei die Ökobilanz-Methodik gemäß ISO 14040/44, mit welcher die Umweltwirkungen über den gesamten Lebenszyklus bewertet werden [3, 4]. Dies wird auch von der Erneuerbaren-Energie-Richtlinie (RED) aufgegriffen [5]. Es werden beispielhafte Emissionswerte aus eigenen Ökobilanz-Rechnungen sowie aus der RED dargestellt, um wichtige Sensitivitäten aufzuzeigen.

CO₂-, CO₂-Äquivalent- und Treibhausgas-Emissionen

Ein wichtiger methodischer Aspekt bei der Bewertung von Treibhausgas-Emissionen ist, auf welche Emissionsspezies Bezug genommen wird.

Die Zusammenfassung einzelner Emissionsspezies zu Umweltwirkungen ist insbesondere Bestandteil von Ökobilanzen (engl. Life Cycle Assessment, LCA). Hierbei werden Produkte oder Dienstleistungen über ihren gesamten Lebensweg betrachtet. Im Falle von Kraftstoffen schließt das, sofern nicht explizit eingeschränkt, die Bereitstellung der Ausgangsstoffe, deren Aufbereitung und Umwandlung in Kraftstoff sowie die Verbrennung in der gewünschten Endanwendung ein, inklusive erforderlicher Materialien, Energie und Dienstleistungen.

Zum Umweltwirkung des Treibhausgaseffekts und damit der Erderwärmung tragen unterschiedliche Treibhausgase bei. Deren Wirkung auf das globale Erderwärmungspotential (engl. Global Warming Potential, GWP) wird dabei meist in CO₂-Äquivalenten (CO_{2äq}) angegeben. Diese werden mit Hilfe entsprechender Charakterisierungsfaktoren für die jeweiligen Treibhausgase errechnet. Während der Ausstoß von CO₂ als Bezugsmolekül definitionsgemäß mit dem Faktor 1 angegeben wird, ergeben sich bei der Emission von fossilem Methan je nach Betrachtungszeitraum und Charakterisierungsmodell Werte zwischen 25 und 30. Je nach Betrachtung entspricht 1 kg CH₄ demnach 25 bis 30 kg CO_{2äq}.

Ebenso kann auch die Aufnahme oder Speicherung von Treibhausgasen in die Rechnung einfließen. Beispielhaft können hier die Aufnahme von in Luft gebundenem CO₂ durch eine Pflanze oder mittels Direct Air Capture (DAC) genannt werden. Das Lebensende findet der Kraftstoff dann in der Regel bei der Verbrennung zur Wandlung in Elektrizität oder mechanische Energie zur Fortbewegung. Wie diese Emissionen bestimmt werden können, wird im folgenden Abschnitt dargelegt.

Bestimmung der Emissionen während der Nutzungsphase

Die aktuelle EU-Gesetzgebung zum CO₂-Ausstoß von Fahrzeugflotten betrachtet lediglich die Emission im Fahrbetrieb, was häufig auch als Tank-to-Wheel-Ansatz (vom Tank zum Rad) bezeichnet wird. Im Sinne der oben genannten Ökobilanz entspricht dies im Lebenszyklus einem Teil der Nutzungsphase des Fahrzeugs. Die Herstellung des Kraftstoffs, also der Pfad von der Quelle zum Tank (Well-to-Tank) wird an dieser Stelle ausgeklammert. Die

eventuell durch die Fahrzeugwartung entstehenden Emissionen werden ebenfalls nicht berücksichtigt, sondern lediglich durch Kraftstoffverbrennung und -verdunstung bedingte Emissionen.

Die Tank-to-Wheel-Emissionen können auf unterschiedliche Weise bestimmt werden. Im Rahmen der angesprochenen Gesetzgebung durchläuft das Fahrzeug eine Testprozedur, bei Personenkraftwagen den sogenannten WLTP (Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure). Diese besteht aus einem Testzyklus mit einem definierten Geschwindigkeits-Zeit-Profil sowie diversen Randbedingungen wie der Umgebungstemperatur. Die Messung der CO₂-Emissionen erfolgt auf dem Rollenprüfstand direkt am Auspuff, inklusive der dabei entstehenden Schadstoffe. Dabei hängen die CO₂-Emissionen proportional vom Kraftstoffverbrauch ab sowie den Kraftstoffeigenschaften, wie bspw. dem Kohlenstoffgehalt. In der Regel werden die Emissionen in diesem Kontext in der Einheit g CO₂/km angegeben, was einem Fahrzeugmodell-spezifischen Wert entspricht, der nur CO₂- und keine weiteren Treibhausgasemissionen berücksichtigt. Durch die einheitliche Testprozedur wird eine gewisse Vergleichbarkeit zwischen Fahrzeugen gewährleistet, von der reale Verbrauchs- und CO₂-Werte davon abweichen können. Der tatsächliche Kraftstoffverbrauch wird bei seit 2021 in der EU zugelassenen Fahrzeugen über das On-Board Fuel Consumption Monitoring (OBFCM) überwacht [1].

Über den genannten Kohlenstoffgehalt können die CO₂-Emissionen auch rein rechnerisch bestimmt werden. Die Elementarzusammensetzung, also der Massenanteil von Elementen wie Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, kann in Kraftstoffanalysen ermittelt werden. Bei Annahme einer vollständigen Verbrennung, also kompletter Umsetzung von Kohlenstoff in Kohlenstoffdioxid, kann über die Molmassen der CO₂-Ausstoß berechnet werden. Meistens wird die ausgestoßene CO₂-Masse um Heizwert und Dichte korrigiert in g CO₂/MJ (bzw. t CO₂/TJ), also pro Energieeinheit, angegeben. Dadurch wird unter anderem der Heizwertmindernde Effekt von im Kraftstoff enthaltenen Sauerstoff herausgerechnet, was beispielsweise beim Vergleich von fossilem Benzin und Ethanol relevant ist. Das Umweltbundesamt gibt im jährlich erscheinenden Nationalen Inventarbericht CO₂-Emissionsfaktoren für Otto- bzw. Dieselmotoren an, im Jahr 2024 für das Jahr 2022 gültige Werte von 72,787 t CO₂/TJ bzw. 74,027 t CO₂/TJ. Für die erneuerbaren Alternativen Bioethanol und Biodiesel werden mit 70,8 t CO₂/TJ und 71,607 t CO₂/TJ ähnliche Werte angegeben, siehe Tabelle 59 in [8].

Bestimmung herstellungsbedingter Emissionen

Wie im vorigen Abschnitt beschrieben, unterscheiden sich Kraftstoffe aus fossilen und erneuerbaren Quellen nicht wesentlich in ihren CO₂-Emissionen durch Verbrennung, sofern es sich in beiden Fällen um kohlenstoffhaltige Kraftstoffe handelt. Eine besondere Bedeutung bei der Bewertung der Treibhausgasemissionen nimmt dadurch die Betrachtung weiterer Lebenszyklusphasen ein.

Hierzu wird in der Regel die bereits genannte Ökobilanz-Methode herangezogen, die in den Normen ISO 14040 und ISO 14044 definiert ist. Dabei werden 4 Phasen durchlaufen:

1. Definition von Ziel und Untersuchungsrahmen
2. Sachbilanz
3. Wirkungsabschätzung
4. Auswertung

Je nach untersuchtem Prozess werden in der Sachbilanz-Phase (2) die nötigen Inputs und entstehenden Outputs summiert, was in Abbildung 1 beispielhaft schematisch für die Produktion von HVO dargestellt ist. Dies schließt einzelne Prozessschritte, Energie- und Stoffströme sowie Emissionen, Abfallprodukte und Verluste ein.

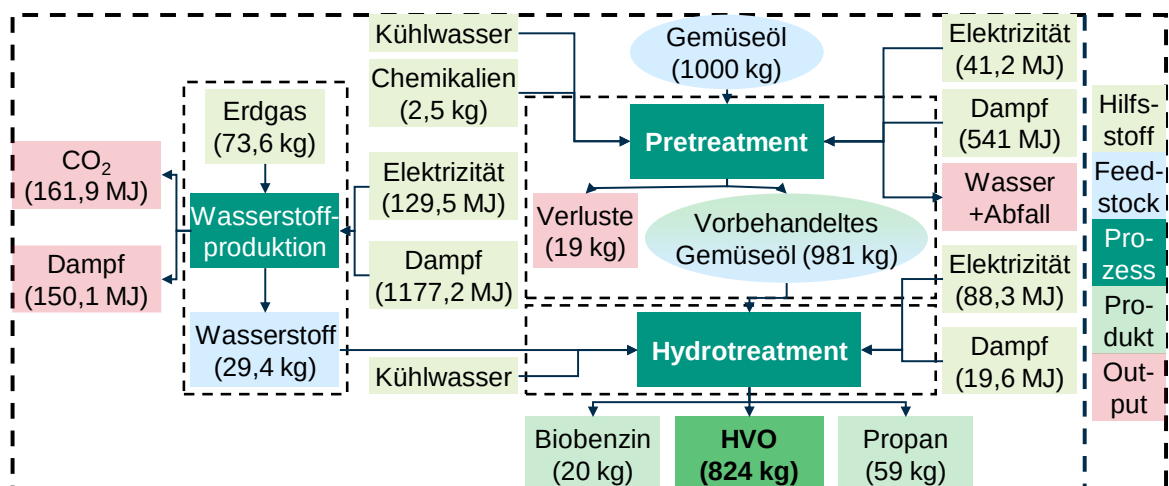


Abbildung 1: Ablaufschema HVO-Produktion inkl. wichtigsten Inputs/Outputs, in Anlehnung an [9]

Bei kohlenstoffbasierten Kraftstoffen spielt dabei insbesondere eine Rolle, woher der im Kraftstoff gebundene Kohlenstoff stammt. Mögliche Quellen können biogener Art sein, wobei Pflanzen zunächst CO₂ aus der Luft binden. Daraus gewonnene Pflanzenabfälle bzw. -

öle, oder auch Altspeiseöle (ggf. aus Tierabfällen) dienen danach direkt als Ersatzkraftstoffe oder als Feedstock für die Kraftstoffherstellung. Nichtbiogene Kohlenstoffquellen schließen dagegen beispielsweise CO₂-haltige Punktquellen wie Zementwerke, oder direkt aus der Umgebungsluft entnommenes CO₂ ein. Um Kohlenstoff(dioxid) aus der Luft zu gewinnen, werden sogenannte Direct Air Capture (DAC)-Verfahren verwendet.

Das Ergebnis einer Sachbilanz enthält unter anderem eine Liste der dabei ausgestoßenen sowie aufgenommenen Treibhausgasemissionen. Im Zuge der Wirkungsabschätzung (Phase 3) werden diese dann zu CO₂-Äquivalenten zusammengefasst, um diese abschließend auszuwerten (Phase 4).

Werden bei der Herstellung von Kraftstoffen aus erneuerbaren Quellen die zuvor aus der Luft aufgenommenen CO₂-Emissionen negativ angerechnet, kann der Kraftstoff je nach Herstellung vor der Verbrennung CO₂-negative Werte erhalten. Dies gilt in ähnlicher Weise für vermiedene Methan (CH₄)-Emissionen, was sich aufgrund der erhöhten Klimawirkung von CH₄ besonders stark auswirken kann.

Bei fossilen Kraftstoffen gilt diese Rechnung nicht. Es entstehen lediglich zusätzliche Emissionen durch Rohölgewinnung und -verarbeitung. Bei der Emissionsentstehung spielt neben der Zusammensetzung des Rohöls insbesondere eine Rolle, wie effizient die Prozesse mit welchen Energieträgern durchgeführt werden, was stark von geographischen Randbedingungen abhängen kann. Dies ist exemplarisch in Abbildung 2 zu sehen, welche die Emissionen der Benzin-/Dieselherstellung in unterschiedlichen Ländern und Regionen zeigt.

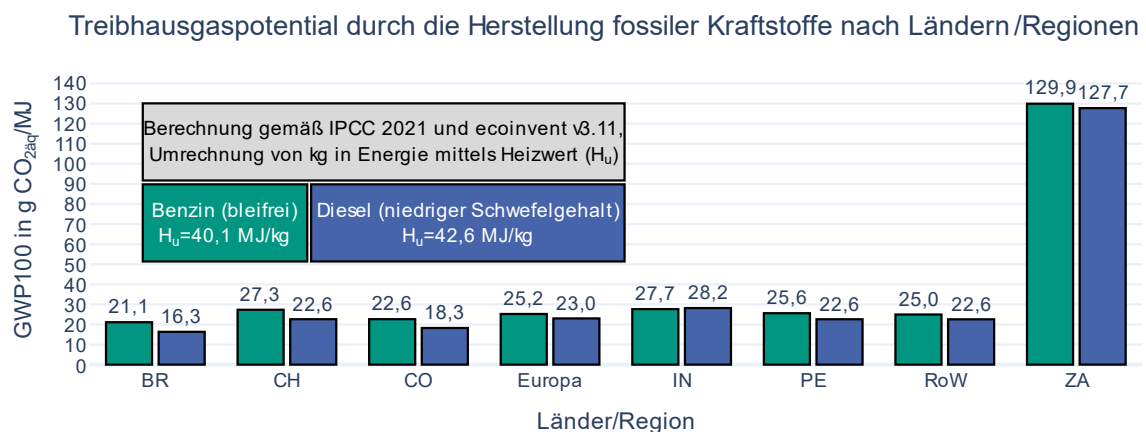


Abbildung 2: THG-Emissionen durch die Herstellung von Benzin (bleifrei) und Diesel (niedriger Schwefelgehalt) gemäß ecoinvent v3.11-Datensätzen verschiedener Regionen: BR = Brasilien, CH = Schweiz, CO = Kolumbien, IN = Indien, PE = Peru, RoW = „Rest of World“, ZA = Südafrika.

Die Wirkungsabschätzung wurde als GWP100 gemäß IPCC 2021 durchgeführt, die massen- (kg CO_{2äq}/kg) in energiebasierte (g CO_{2äq}/MJ) Ergebnisse mit Hilfe des unteren Heizwerts umgerechnet. In Analogie zur Herstellung von reFuels fungiert das Rohöl hier als Feedstock für die Kraftstoffproduktion.

Emissionsvergleich über den Kraftstofflebenszyklus

In der Europäischen Union (EU) ist die Erneuerbaren-Energien-Richtlinie (engl. Renewable Energy Directive, RED) maßgeblich für die Erhöhung des Anteils von Energie aus erneuerbaren Quellen [7], mittlerweile in Form der revidierten RED II (RL 2023/2413) [6].

In Bezug auf Kraftstoffe setzt die RED gewisse Mindest- und Höchstanteile für reFuels fest, inklusive eines Vergleichswerts von 94 g CO_{2äq}/MJ für die Herstellung und Nutzung fossiler Kraftstoffe.

Abbildung 3 stellt die Treibhausgasemissionen verschiedener Kraftstoffarten über den Lebenszyklus gemäß Anhang IX der RED II dar [5].

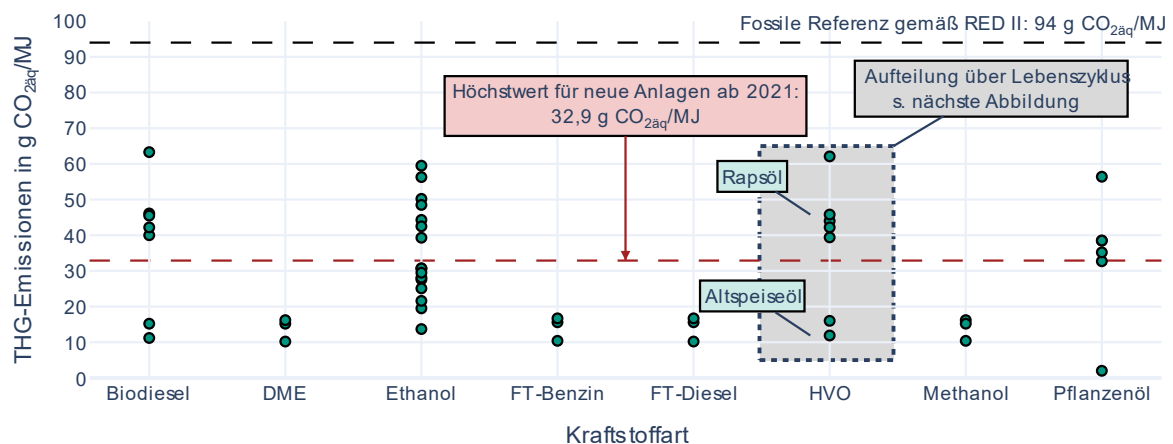


Abbildung 3: Treibhausgasemissionen durch Kraftstoffe über den gesamten Lebenszyklus gemäß RED II für unterschiedliche Kraftstoffarten aus verschiedenen Ausgangsstoffen [5]

Neben der fossilen Referenz ist der Höchstwert für neue Anlagen ab 2021 dargestellt. Die darin produzierten Kraftstoffe müssen über den gesamten Lebenszyklus eine Treibhausgasreduktion von mindestens 65 % erzielen. Pro Kraftstoffart sind unterschiedliche Datenpunkte eingetragen, die sich in Bezug auf Feedstock und/oder Herstellprozess unterscheiden.

Am Beispiel HVO (hydrogenated vegetable oil) ist zu erkennen, eine Produktion aus Rapsöl den Höchstwert überschreitet, wohingegen die Nutzung von Altspeiseöl zu ca. 90 % THG-Reduktion führt.

Gemäß RED II ergibt sich die Gesamtemission eines Kraftstoffs E über den Lebenszyklus nach Formel 1.

$$E = e_{ec} + e_l + e_p + e_{td} + e_u - e_{sca} - e_{ccs} - e_{ccr} \quad \text{Formel 1}$$

Die Bedeutung der einzelnen Terme kann Tabelle 1 entnommen werden.

Tabelle 1: Terme für Emissionen/Emissionseinsparung im Kraftstofflebenszyklus gemäß RED II

e_{ec}	Rohstoff-Gewinnung/Abbau	e_u	Nutzung
e_l	Landnutzungsänderungen	e_{sca}	C-Akkumulierung im Boden
e_p	Verarbeitung	e_{ccs}	Abscheidung und geologische Speicherung von CO ₂
e_{td}	Transport und Vertrieb	e_{ccr}	CO ₂ -Abscheidung und Absetzung

In Abbildung 4 ist dargestellt, wie sich die Treibhausgasemissionen verschiedener HVO-Kraftstoffe gemäß RED II zusammensetzen. Dabei werden die Phasen Anbau, Verarbeitung und Transport unterschieden.

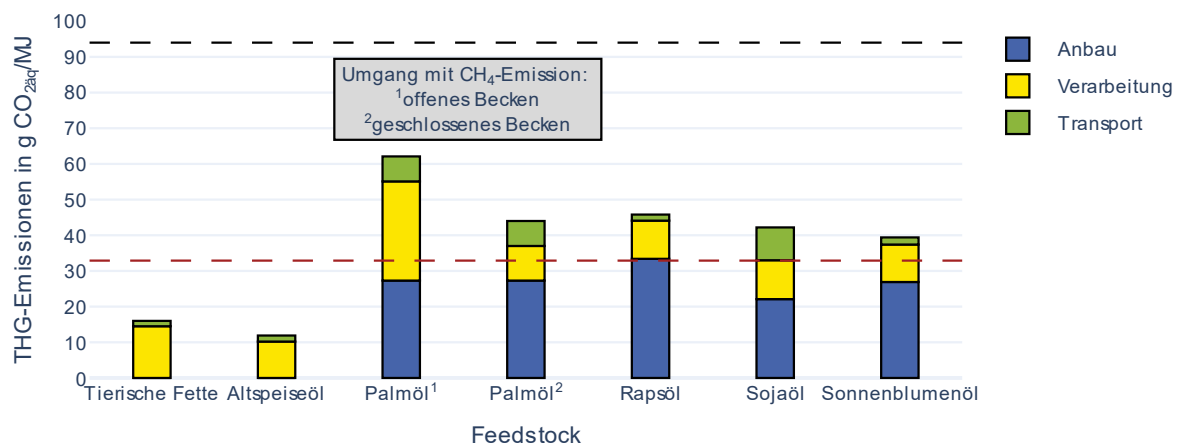


Abbildung 4: Beiträge zu den Treibhausgas-Emissionen der Lebenszyklus-Phasen Anbau, Verarbeitung und Transport für HVO aus verschiedenen Ausgangsstoffen (Feedstock)

Die Phase des Anbaus beschreibt die Kultivierung der Rohstoffe, beispielsweise von Raps. Im Fall von Altspeiseöl wird die Annahme getroffen, dass die „CO₂-Schuld“ durch die Ölherstellung schon durch die Erstanwendung abgegolten wurde.

Die Verarbeitungsphase beschreibt die Prozesse zur Herstellung des Kraftstoffs aus den Rohstoffen, wie weiter oben in Abbildung 1 schematisch dargestellt.

Der Begriff Transport bezieht sich auf die verschiedenen Transportschritte während des Lebenszyklus.

Die Nutzung der Kraftstoffe ist in der RED nicht explizit aufgeführt. Hier gilt die Vereinfachung eines geschlossenen CO₂-Kreislaufs. An dieser Stelle wird die Aufnahme von CO₂ durch die Pflanze der CO₂-Emission durch Verbrennung gleichgesetzt. In Formel 1 ist dieser Aspekt über den Nutzungs- (e_u) sowie die Emissionseinsparungsterme ($e_{sca}, \dots$) abgedeckt.

Treibhausgasemissionen von Tankstellenkraftstoffen

An deutschen Tankstellen werden Kraftstoffe aus erneuerbaren Quellen üblicherweise gemäß ihrem Anteil an einem Kraftstoffgemisch angegeben. Bei E10 handelt es sich beispielsweise um Benzinkraftstoff, der bis zu 10 -Volumen-% Ethanol enthält. Die Angabe als Volumenanteil unterscheidet sich von der gebräuchlichen Angabe der Treibhausgasemissionen pro Energieeinheit. Um die Treibhausgase eines Mischkraftstoffs zu ermitteln, müssen also weitere Kraftstoffeigenschaften einbezogen werden. In Formel 2 ist ein Ansatz zur Bestimmung der Emissionen des Mischkraftstoffs E_{Mix} dargestellt, der aus den Komponenten A und B besteht. Neben den Volumenanteilen x_A bzw. x_B werden die Emissionswerte der Komponenten E_A und E_B benötigt sowie die volumetrischen Heizwerte $H_{u,A}$ und $H_{u,B}$.

$$E_{Mix} \left[\frac{g \text{ CO}_{2\ddot{a}q}}{MJ} \right] = \frac{x_A \cdot E_A \left[\frac{g \text{ CO}_{2\ddot{a}q}}{MJ} \right] \cdot H_{u,A} \left[\frac{MJ}{l} \right] + x_B \cdot E_B \left[\frac{g \text{ CO}_{2\ddot{a}q}}{MJ} \right] \cdot H_{u,B} \left[\frac{MJ}{l} \right]}{x_A \cdot H_{u,A} \left[\frac{MJ}{l} \right] + x_B \cdot H_{u,B} \left[\frac{MJ}{l} \right]} \quad \text{Formel 2}$$

Gemäß dieser Vorgehensweise ergeben sich für unterschiedliche Mischkraftstoffe die in Abbildung 5 dargestellten Emissionen.

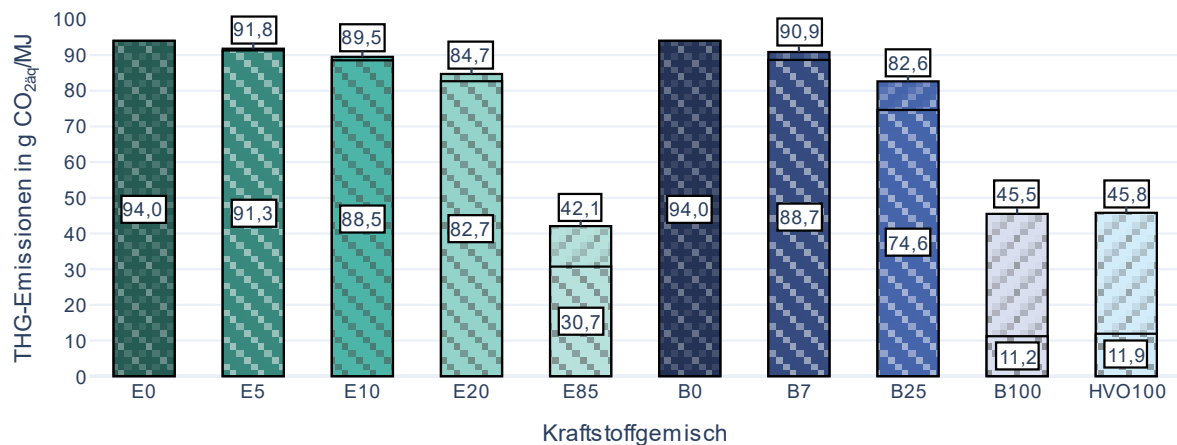


Abbildung 5: Treibhausgasemissionen von Mischkraftstoffen

Mit Ausnahme der rein fossilen Kraftstoffe (E0 und B0) sind je zwei Varianten pro Mischkraftstoff dargestellt, die sich pro reFuel-Art (Ethanol, Biodiesel, HVO) in ihrem Feedstock unterscheiden. Je nach Feedstock ergeben sich niedrigere (Schraffur //) oder höhere (Schraffur \\\) Emissionswerte, die in den Emissionswert des Mischkraftstoffs einfließen.

In Grüntönen sind Benzin-Kraftstoffe mit steigendem Anteil von Ethanol aus Weizenstroh (\\) bzw. Zuckerrohr (//) dargestellt, in Blautönen Diesel-Kraftstoff-Mischungen mit Biodiesel aus Rapsöl (//) bzw. Altspeiseöl (\\) sowie 100 %iges HVO aus Rapsöl (//) bzw. Altspeiseöl (\\).

Insbesondere bei erhöhten Anteilen von reFuels zeigt sich der große Einfluss des Feedstocks. Für die Versorgung der Tankstellen ist das insofern relevant, da gewisse Feedstocks je nach Region „typisch“ sind für gewisse Kraftstoffarten. In Abbildung 6 ist in Form gestapelter Balken dargestellt, welche Feedstocks für die drei wichtigsten in Deutschland genutzten Biokraftstoffe, FAME, Bioethanol und HVO, verwendet werden. Dabei ist mit der Schraffur (//) angedeutet, welche dieser Kraftstoffe bzw. Feedstocks aus dem Ausland stammen. Dies umfasst den Großteil der dargestellten Energie, insbesondere bei Bioethanol und HVO, welches komplett importiert wird. In Deutschland produzierter Biodiesel (FAME) wird ebenfalls zu großen Teilen importiert, aber auch im Land selbst hergestellt, zumeist aus Rapsöl und Abfällen/Reststoffen. Die dargestellten Daten gelten für 2023, als die Herstellung der Kraftstoffe aus Palmöl bereits verboten war. In der gleichen Grafik ist pro Kraftstoffart zudem die durchschnittliche Treibhausgasemission dargestellt. Diese kann in Abweichung der RED-Werte bestimmt werden. Zur Nachweiserbringung im Zuge der RED werden Energiemengen sowie Emissionsfaktoren an die Bundesanstalt für Landwirtschaft

(BLE) gemeldet, welche mit „Nabisy“ eine Web-Anwendung für nachhaltige Biomasse betreibt. Die Daten werden wiederum publiziert, beispielsweise in einem jährlich erscheinenden Bericht [2].

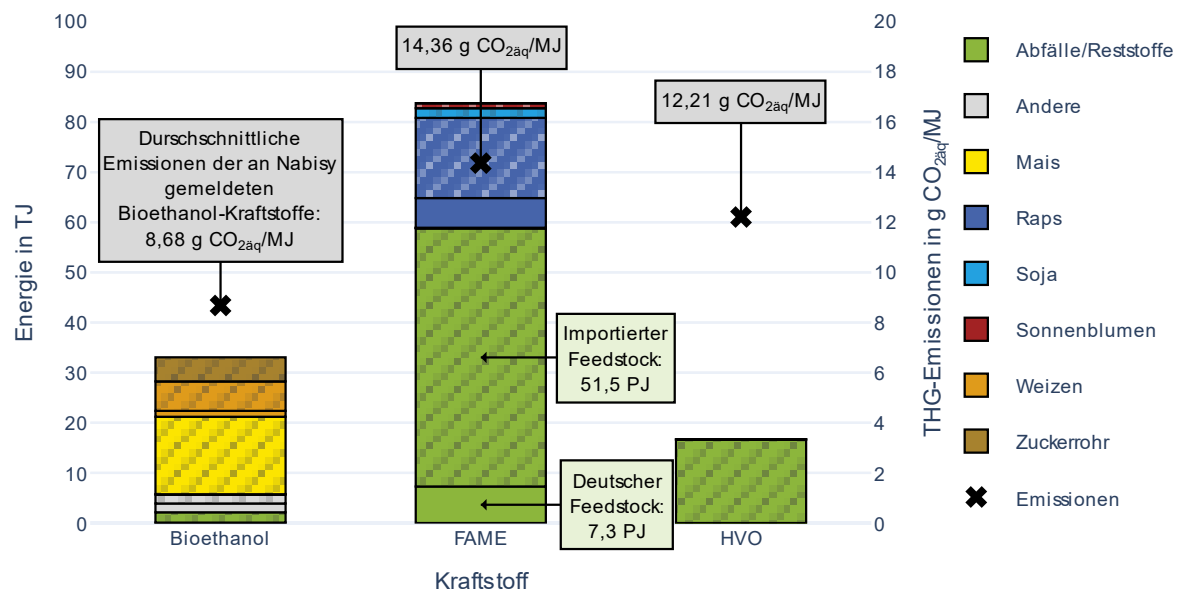


Abbildung 6: Darstellung der Feedstock-Zusammensetzung (Balken, linke Achse) und durchschnittlichen Treibhausgasemissionen (Marker, rechte Achse) der drei häufigsten Biokraftstoffe in Deutschland 2023 nach Energiegehalt mit Daten gemäß BLE [2]

Fazit

Die Erkenntnisse dieser Übersicht lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

- Durch Kraftstoffe bedingte Treibhausgase müssen über den gesamten Lebenszyklus betrachtet werden. Hierfür kann die Ökobilanz-Methode herangezogen werden.
- In Bezug auf die Bewertung der kraftstoffbedingten Treibhausgase ist in der Europäischen Union die Erneuerbare-Energien-Richtlinie maßgeblich, die in ihrer Methodik stark der Ökobilanz ähnelt.
- In der Regel sollten alle Treibhausgase als CO₂-Äquivalente berücksichtigt werden, nicht nur die CO₂-Emissionen selbst.
- Je nach Feedstock, Kraftstoffart und Produktionsort (inkl. dort herrschender Bedingungen) ergibt sich eine große Bandbreite von Treibhausgasemissionswerten für Kraftstoffe, die von ca. 90 %iger Reduktion bis zu einer Erhöhung im Vergleich zu fossilen Kraftstoffen reichen kann.

Plattform InnoFuels

Das Projekt InnoFuels startete im Februar 2023 und läuft bis Ende August 2026. Es wird im Rahmen des Gesamtkonzepts Erneuerbare Kraftstoffe mit insgesamt 5,24 Millionen Euro durch das **Bundesministerium für Digitales und Verkehr** gefördert. Die Förderrichtlinie für die Entwicklung regenerativer Kraftstoffe wird von der **NOW GmbH** koordiniert und durch die Projektträger **VDI/VDE Innovation +Technik GmbH** sowie die **Fachagentur Nachhaltende Rohstoffe e.V.** umgesetzt. Mehr Informationen auf www.InnoFuels.de.



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Digitales
und Verkehr

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Koordiniert durch:



Projektträger:



Literatur

1. ADAC (2024) EU-Gesetz überwacht Kraftstoff- und Stromverbrauch.
<https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/ausstattung-technik-zubehoer/assistentensysteme/obfcm/>. Zugegriffen: 12. August 2025
2. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (2024) Evaluations- und Erfahrungsbericht für das Jahr 2023. Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnung, Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung
3. Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN), Normenausschuss Grundlagen des Umweltschutzes (2021) Umweltmanagement - Ökobilanz - Anforderungen und Anleitungen (14044:2021-02). Beuth, Berlin
4. Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN), Normenausschuss Grundlagen des Umweltschutzes (2021) Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen (14040:2021-02). Beuth, Berlin
5. Europäische Union (2018) Richtlinie (EU) 2018/2001 des europäischen Parlamentes und des Rates vom 11. Dezember 2018 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen. RL 2018/2001/EU
6. Europäische Union (2023) Richtlinie (EU) 2023/2413 des europäischen Parlamentes und des Rates vom 18. Oktober 2023 zur Änderung der Richtlinie (EU) 2018/2001, der Verordnung (EU) 2018/1999 und der Richtlinie 98/70/EG im Hinblick auf die Förderung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Aufhebung der Richtlinie (EU) 2015/652 des Rates. RL 2023/2413
7. Schröder J, Görsch K, Dögnitz N, Hauschild S, Naumann K, Götz IK, Klüpfel C, Cyffka K-F, Nieß S, Meisel K, Etzold H, Lenz CN, Costa de Paiva G, Thüneke K, Remmele E, Emburger P, Tuschewitzki W, Prieß T, Mendler F, Neuling U, Zitscher T, Bauer C, Sacchi R, Köchermann J (2025) Erneuerbare Energien im Verkehr. Monitoringbericht. Deutsches Biomasseforschungszentrum. <https://doi.org/doi:10.48480/w11j-9w27>
8. Umweltbundesamt (2024) Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen 2024. Nationales Treibhausgasinventar 1990-2022. Climate Change
9. Uusitalo V, Väisänen S, Havukainen J, Havukainen M, Soukka R, Luoranen M (2014) Carbon footprint of renewable diesel from palm oil, jatropha oil and rapeseed oil. Renewable Energy 69:103–113. <https://doi.org/doi:10.1016/j.renene.2014.03.020>