



Alternative Kraftstoffe: Was ist der aktuelle Stand?

Die Reduktion von CO₂ und weiteren Klimagasen ist vordringlich, um die Erwärmung der Erdatmosphäre zu verlangsamen. Dies gilt in besonderem Masse für die Mobilität, welche fast ein Viertel der weltweiten Treibhausgasemissionen verursacht. Neben der Elektrifizierung, Wasserstoff und optimierten Motoren rückt ein weiterer Lösungsansatz in den Fokus: synthetische Kraftstoffe und eine neue Generation der Biokraftstoffe.

Eine wichtige regulatorische Änderung zeichnet sich ab: Ab 2035 sollen in der Europäischen Union fossile Kraftstoffe für Neufahrzeuge verboten werden. CO₂-neutrale Kraftstoffe bleiben hingegen weiterhin zugelassen. Das bedeutet: Der Verbrennungsmotor ist nicht tot, vorausgesetzt, er wird mit einem CO₂-neutralen Kraftstoff betrieben. Und genau hier kommen synthetische Lösungen ins Spiel.

Die Pioniere, bereits überholt?

Die «klassischen» Biokraftstoffe werden aus Raps, Mais oder Palmöl hergestellt. Ihre Herstellung basiert auf der Umesterung, einem chemischen Verfahren, bei dem diese Öle in Kraftstoff umgewandelt werden. Sie sind heute enthalten in:

- Standard-Dieselmotoren (ca. 3%),
- B7- und B10-Gemischen (bis zu 7% oder bis zu 10%)
- oder sogar zu 100% in Form von B100.

Diese erste Generation hat jedoch grosse Nachteile: Sie steht in direkter Konkurrenz zur Gewinnung von Nahrungsmitteln und greift zudem Dichtungen an. Der weiteren Verbreitung dieser Biokraftstoffe stehen wirtschaftliche und vor allem auch ethische Überlegungen entgegen.

HVO, der neue Star

HVO steht für «Hydrotreated Vegetable Oil», auf Deutsch: hydriertes Pflanzenöl. Bei diesem Verfahren wird Abfall in sauberen Kraftstoff umgewandelt. Als Ausgangsmaterial kommen keine essbaren Pflanzen zum Einsatz, sondern Altöle und tierische Fette aus der Lebensmittelindustrie. Durch eine Behandlung mit Wasserstoff unter hohem Druck werden die Moleküle gereinigt, stabilisiert und dann in Kohlenwasserstoffe umgewandelt, welche denen des Erdöls sehr ähnlich sind.

Vorteile

- Hohe Cetanzahl (gute Selbstentzündungsqualität)
- Sauberere Verbrennung (weniger Partikel, weniger NO_x)
- Gute Lagerfähigkeit ohne Qualitätsverlust

- Fast vollständige Kompatibilität mit aktuellen Dieselmotoren
- Bis zu 90% weniger CO₂ über den gesamten Lebenszyklus
- Lokale Produktion möglich
- Greift Dichtungen nicht an
- HVO100 ist ein XTL Hochleistungskraftstoff nach der Norm EN 15940
- HVO kann in Reinform 100% HVO oder in jedem beliebigen Mischungsverhältnis mit fossilem Diesel verwendet werden
- Unveränderter Treibstoffverbrauch und unveränderte Service und Wartungsintervalle

Nachteile

- Die für HVO genutzten Altöle und Fette stehen aktuell nur eingeschränkt zur Verfügung. Der Ressourcenpfad ist jedoch noch ausbaufähig.
- Aktuell liegt der Preis von HVO rund 5 bis 10 Rappen pro Liter über dem von fossilem Diesel.
- Für die Herstellung von HVO wird zusätzlicher Wasserstoff benötigt, dessen Bereitstellung energieintensiv ist.
- Im Vergleich zu fossilem Diesel hat HVO eine leicht niedrigere Energiedichte.

Für Land-, Forst- und Baumaschinen liegen die Vorteile von HVO auf der Hand: Es braucht keine Motorumbauten, es müssen keine Leistungsverlust in Kauf genommen werden und Emissionen können sofort reduziert werden.

Aber: Rohstoffe für HVO sind nur begrenzt verfügbar

Auch wenn die HVO-Technologie vielversprechend ist, so gibt es ein grosses Problem. Altöle und tierische Fette sind nur begrenzt verfügbar. Ausserdem erfordert die Herstellung von HVO Wasserstoff, dessen Produktion sehr energieintensiv ist. Eine weitere Einschränkung ist der Wirkungsgrad des Verbrennungsmotors. Selbst ein optimierter Dieselmotor erreicht unter besten Bedingungen kaum 50% und fällt bei geringer Last deutlich unter 25%. Im Gegensatz dazu glänzt ein Elektrofahrzeug mit einem Wirkungsgrad von 80% (unter Berücksichtigung der

Verluste beim Laden). Dies erklärt auch, warum die Elektrifizierung für einen grossen Teil des Verkehrs weiterhin Priorität hat.

Wie sieht die Zukunft für synthetische Kraftstoffe aus?

HVOs werden nicht alle fossilen Kraftstoffe ersetzen. Aber sie sind eine Option für Bereiche, in denen Strom oder Wasserstoff (noch) nicht einsetzbar sind, also z. B.

- Luftfahrt
- Seeverkehr
- Schwerindustrie
- Leistungsstarke Land- und Baumaschinen



Warum erzeugt HVO weniger NO_x?

Der geringere NO_x-Ausstoss mit HVO betriebenen Motoren hat damit zu tun, wie der Kraftstoff verbrennt.

1. Schnellere Zündung

HVO hat eine sehr hohe Cetanzahl (70 bis 90) und entzündet sich nach der Einspritzung schneller. Dadurch wird verhindert, dass sich vor Beginn der Verbrennung zu viel Kraftstoff ansammelt. Weniger Kraftstoff, der auf einmal entzündet wird, bedeutet weniger Druck- und Temperaturspitzen in der Kammer, d. h. weniger günstige Bedingungen für die Bildung von NO_x.

2. Sauberere und gleichmässige Verbrennung

HVO ist nahezu frei von Verunreinigungen. Die gleichmässige Flamme verhindert «Hot Spots» im Brennraum, welche die Entstehung von NO_x begünstigen.

3. Weniger Partikel

HVO erzeugt nur wenige Partikel. Auch dies trägt dazu bei, Mikrozonen mit hohen Temperaturen zu verringern. ■

Vergleichstabelle HVO100 – Fossiler Diesel – Diesel B7

Eigenschaft	HVO100	Fossiler Diesel (EN590)	Diesel B7
Dichte @ 15 °C	765–800 kg/m ³	820–845 kg/m ³	820–845 kg/m ³
Energiedichte	≈ 43 MJ/kg	≈ 43 MJ/kg	≈ 43 MJ/kg
Cetanzahl	70 (typisch), min. 51	≥ 51	52 (gemessen), 51 (berechnet)
Erfüllte Norm	EN 15940	EN 590	EN 590 + 7 % FAME

In diesen Bereichen wird Flüssigkraftstoff noch lange Zeit die Norm bleiben. Und HVOs könnten der Schlüssel zu einem schnelleren Übergang sein, ohne dass eine vollständige Erneuerung des Fuhrparks erforderlich ist.

E-Fuels, der andere Weg zu synthetischen Kraftstoffen

E-Fuels (oder synthetische Kraftstoffe) werden aus zwei Hauptkomponenten hergestellt:

1. Grüner Wasserstoff, der durch Elektrolyse von Wasser mit erneuerbarer Elektrizität gewonnen wird
2. CO₂, das aus der Atmosphäre oder direkt an Industriestandorten abgeschieden wird

Durch die Kombination dieser beiden Komponenten entsteht ein flüssiger Kohlenwasserstoff, der Benzin, Diesel oder sogar Kerosin direkt ersetzen kann. Seine grosse Stärke ist die CO₂-Neutralität: Das bei der Verbrennung freigesetzte CO₂ entspricht

der Menge, die bei der Herstellung gebunden wurde.

Vorteile

- Kompatibel mit bestehenden Verbrennungsmotoren
- Transport und Lagerung identisch mit fossilen Kraftstoffen
- Hohe chemische Stabilität, sehr gutes Kälte- und Langzeitverhalten

Aktuelle Grenzen

- Kostspielige und energieintensive Produktion
- Vollständige Abhängigkeit von erneuerbarer Elektrizität, um klimaneutral zu bleiben
- In zu kleinen Mengen verfügbar, um den weltweiten Bedarf zu decken

E-Kraftstoffe scheinen eine ergänzende Lösung zu HVO zu sein und dürften – wie HVO selbst – vor allem für Sektoren interessant sein, in denen die Elektrifizierung sehr herausfordernd ist (Luftfahrt, Seeverkehr, Schwermaschinen etc.). Langfristig könnten sie



ebenso dazu beitragen, einen stark dekarbonisierten Bestand an Verbrennungsmotoren aufrechtzuerhalten.

Umweltfreundlichere Verbrenner für ausgesuchte Anwendungen

HVO-Kraftstoffe und E-Fuels sind einfach anwend- und lagerbar und bieten ein erhebliches Dekarbonisierungspotenzial. Sie allein werden den Verbrennungsmotor langfristig nicht retten, doch können sie seine Lebensdauer in Bereichen verlängern, in denen er nach wie vor unverzichtbar ist. Bei Landmaschinen bieten diese alternativen Kraftstoffe die Möglichkeit, den CO₂-Ausstoss ohne Einbussen bei Leistung, Reichweite oder Robustheit und ohne Gewichtszunahme der Maschinen zu reduzieren. ■

Damien Jaquet

Vergleichstabelle der Kraftstoffoptionen

Typ	Herkunft	Verfahren	Reduzierung CO ₂	Stabilität	Geschätzte Kosten	Emissionen CO ₂ e/kg (Schweizer Strommix)
Diesel fossilen Ursprungs	Rohöl	Erdölraffination	0%	Sehr hoch	Tief	18 kg CO ₂ e/kg
Biokraftstoff der ersten Generation	Nahrungsmittelpflanzen (Raps, Mais)	Umesterung (Zugabe von Methanol oder Ethanol zum Basisöl)	30–60%	Schwach	Mittel	2.16 kg CO ₂ e/kg
HVO (2. Generation)	Altöle, tierische Fette	Hydrierung + Isomerisierung	Bis zu 90%	Hoch	Mittel bis hoch	1.8 kg CO ₂ e/kg
E-Fuels	Abgeschiedenes CO ₂ + H ₂ (Elektrolyse)	Fischer-Tropsch/ Methanol-to-Jet	Bis zu 100% (bei 100% erneuerbarer Energie)	Sehr hoch	Sehr hoch	5 kg CO ₂ e/kg
Elektrofahrzeuge	Strom	–	Bis zu 100%	–	Tief	111gCO ₂ /kWh (Quelle: BFE 2025)