



## Power Generation

# HVO-KRAFTSTOFF ERFOLGREICH FÜR DIESEL-AGGREGATE GETESTET

Von Brian Ponstein  
Senior Product Manager

und Jens Engelhardt  
Senior Manager, Development Engineering

Die Energielandschaft verändert sich schnell mit einer klaren Ausrichtung auf sauberere Lösungen auf dem Weg zur Klimaneutralität. Ziel ist es, die Umweltauswirkungen zu reduzieren, ohne dafür Abstriche bei den Vorzügen von Diesel-Aggregaten zu machen, wie bei ihrer Zuverlässigkeit, Leistungsfähigkeit und Lastakzeptanz.

## Prüfung der Kraftstoffleistung

Rolls-Royce gibt den Einsatz von synthetischem paraffinischem Dieselkraftstoff, auch hydriertes Pflanzenöl oder HVO (Hydrotreated Vegetable Oil) bezeichnet, für die *mtu*-Diesel-Aggregate der Baureihen 4000 und 1600 für die Energieversorgung frei. Dieses Whitepaper liefert einen detaillierten Überblick über die Tests, die an einem *mtu*-Diesel-Aggregat der Baureihe 4000 durchgeführt wurden, im Betrieb mit standardmäßigem Dieselkraftstoff und mit HVO-Kraftstoff.



A Rolls-Royce  
solution

Systemprüfungen wurden im Feldversuch mittels mobiler Messtechnik durchgeführt. Reine Motorprüfungen fanden auf einem Prüfstand statt, was genauere Datenergebnisse liefert. Die Prüfergebnisse bestätigen die Effizienz von HVO als Drop-in-Kraftstoff für **mtu**-Diesel-Aggregate. Eine vergleichende Gegenüberstellung der Leistungskriterien von Diesel- und HVO-Kraftstoff brachte keine signifikanten Auswirkungen auf die allgemeine Leistung zutage. Genau genommen zeigten sich einige positive Faktoren bei der Verwendung von HVO.

Die Prüfung mit HVO ergab:

- eine Reduktion der Emissionen von NOx, CO<sub>2</sub> und Feinstaub (PM)
- ein verbessertes Lastakzeptanzverhalten
- volle Leistungsfähigkeit
- eine Reduktion des Kraftstoffverbrauchs

Diese Prüfung wurde unter Verwendung eines **mtu**-Motors vom Typ 20V 4000 G94S sowie eines **mtu**-Strom-Aggregats vom Typ 20V 4000 DS3000 durchgeführt.

Die Bewertung dieser Prüfung bezog sich auf die folgenden Bereiche:

- das Verhalten über verschiedene Laststufen: Diesel & HVO
- Emissionsprüfungen: Diesel & HVO
- Vergleich des Kraftstoffverbrauchs
- Dauerlauf mit HVO

#### Getestete Kraftstoffe

Die vergleichende Prüfung der Leistung des Strom-Aggregats wurde unter Einsatz von destilliertem Dieseldieselkraftstoff und HVO durchgeführt. Der verwendete Dieseldieselkraftstoff entsprach DIN 51603 (BO) und der HVO-Kraftstoff entsprach EN15940 Class A. In den USA fanden reine Motortests unter Verwendung von besonders schwefelarmem Dieseldieselkraftstoff (ULSD) und HVO entsprechend ASTM 975 statt. In der nachstehenden Tabelle sind auch ASTM D975 und EN 590 als Referenz angegeben.

Parameter	Einheit	ASTM D 975 ULSD	EN 590	DIN51603 Heizöl EL schwefelarm	EN 15940 Class A	Shell HVO (Charge DK6272)
Cetan Zahl	-	min 40	min 51	na	min 70	75,5
Cetan-Index	-	min 40	min 46	na	na	na
Dichte bei 15°C	kg/m <sup>3</sup>	na	820-845	max 860	765-800	779,6
Schwefelgehalt	ppm	max 15	max 10	max 50	max 5	< 5
Gesamtgehalt an Aromaten	% (m/m)	max 35	na	na	max 1,1	na
Flammpunkt	°C	min 52	min 55	min 55	min 55	76
Viskosität bei 40 °C	mm <sup>2</sup> /s	1,9-4,1	2,0-4,5	max 3,8	2-4,5	2,873
FAME-Gehalt	Vol %	max 5	max 7	max 0,5	max 7	0,0
Oxidationsstabilität	h	na	min 20	na	min 20	> 48
Oxidationsstabilität	g/m <sup>3</sup>	na	max 25	na	max 25	< 2
Schmierfähigkeit bei 60°C (HFRR-Wert)	µm	max 520	max 460	max 460	max 400	339
Gesamtverunreinigung	mg/kg	na	max 24	max 24	max 24	< 12
Wassergehalt	mg/kg	na	max 200	max 200	max 200	36
Wasser + Sediment	Vol %	max 0,05	na	na	na	na

Für die Tests wurde HVO-Kraftstoff von Shell verwendet und mit den Standards verglichen. Die Kraftstoffspezifikationen weisen Bandbreiten, Maxima oder Minima für verschiedene Kraftstoffeigenschaften aus.

## Test-Ergebnisse

Die Tests wurden an einem kompletten Diesel-Aggregat durchgeführt. Die auf dem Typenschild des Strom-Aggregats angegebenen Nennwerte wurden mit beiden Kraftstoffen erfüllt. Die Prüfausstattung zur Abgasmessung war dem Motor nachgeschaltet in die Abgasanlage eingebaut worden.

#### Kraftstoffverbrauch

Bei den in Abbildung 1 gezeigten Daten handelt es sich um via Datenerfassung eines Motorsteuergeräts (ECM) aufgezeichnete Motordaten, wobei Motorleistung und Kraftstoffverbrauch an jedem Lastpunkt vergleichend gegenübergestellt werden. Die Anlage wurde mit den beiden verschiedenen Kraftstoffen betrieben und auf jeder Laststufe mit der gleichen elektrischen Last beaufschlagt.

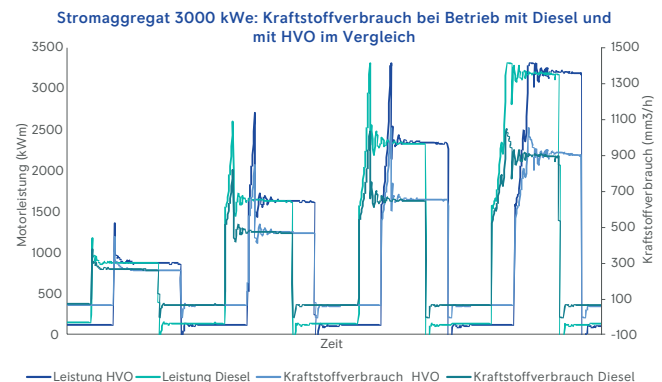
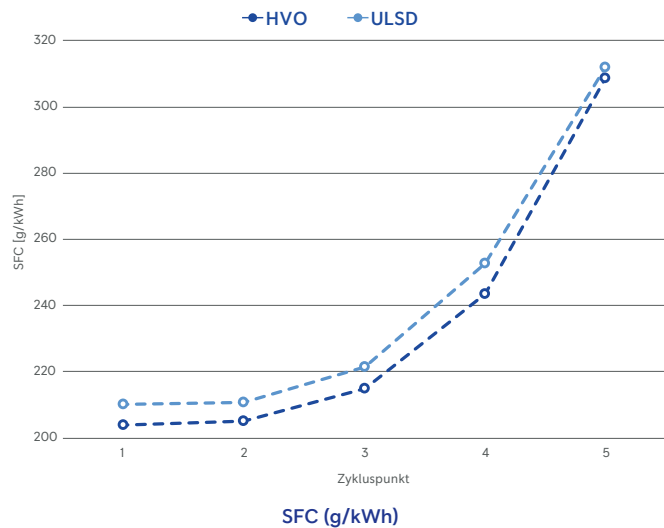


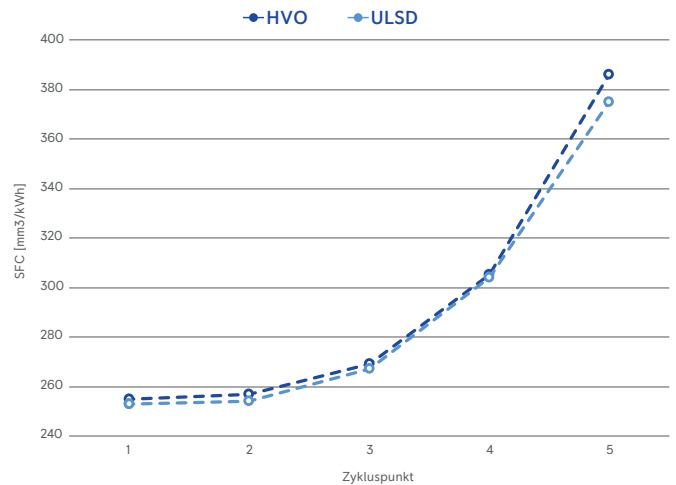
Abbildung 1

Die folgende Abbildung 2 zeigt den Kraftstoffverbrauch für die Laststufen entsprechend dem EPA D2-Zyklus an einem Motorbremsenprüfstand. Die Ergebnisse zeigen, dass HVO eine höhere Energie pro Masse, aber eine geringere Energie pro Volumen besitzt. Die Kraftstoffverbrauchswerte für HVO könnten also geringfügig von den veröffentlichten Werten für destillierten Dieselmotorkraftstoff abweichen, was zu berücksichtigen ist, wenn die Freigabe auf Basis des Kraftstoffverbrauchs erfolgt.



Cycle Point	HVO	ULSD	% Diff
1	203.8	210.2	-3%
2	205.1	210.9	-3%
3	215	221.5	-3%
4	243.6	252.7	-4%
5	308.5	311.8	-1%

Das linke Schaubild zeigt, dass sich der spezifische Kraftstoffverbrauch bei Einsatz von HVO verbessert, was sich durch den höheren Verbrennungswirkungsgrad erklären lässt, da HVO eine höhere Cetan-Zahl besitzt. Demgegenüber zeigt das rechte Schaubild einen geringfügig höheren volumetrischen Kraftstoffverbrauch, was der geringeren Dichte von HVO zugeschrieben werden kann.



Cycle Point	HVO	ULSD	% Diff
1	0.255	0.253	1%
2	0.257	0.254	1%
3	0.269	0.267	1%
4	0.305	0.304	0%
5	0.386	0.375	3%

Abbildung 2: Kraftstoffverbrauch bei den Tests auf dem Motorprüfstand

### NOx im Vergleich

Was die NOx-Werte anbelangt, so wird den Grafiken ein 5-Prozent-Fehlerbalken hinzugefügt, um mögliche Sensorfehler auszuweisen (Abbildung 3). Die Daten zeigen eine Reduktion von NOx von ungefähr 8 % bei Betrieb mit HVO, wobei die Reduktion bei geringeren Belastungen größer ausfällt. Betrachtet man den gewichteten EPA-Durchschnitt (D2-Zyklus), so tritt die Differenz einer möglichen Reduktion noch deutlicher zutage (Abbildung 4).

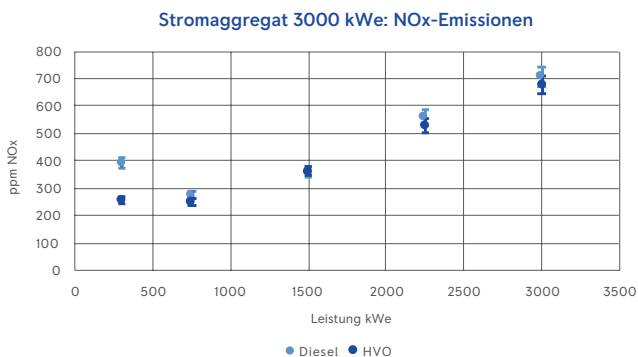


Abbildung 3

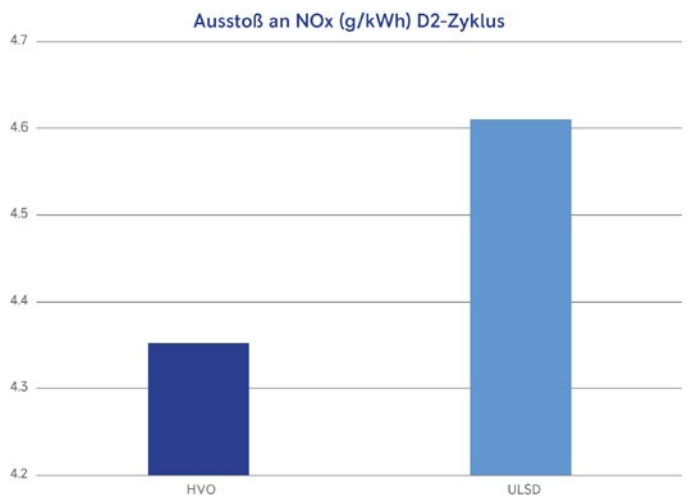


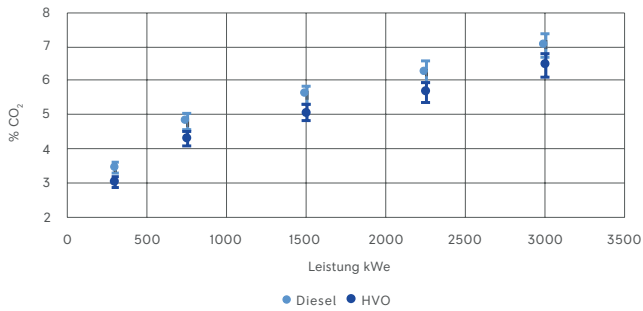
Abbildung 4

### CO<sub>2</sub> im Vergleich

Der Test analysierte die Auspuff-Emissionen, einschließlich der CO<sub>2</sub>-Werte. Bei der Prüfung der Emissionen im D2-Zyklus wurde eine Verringerung von 3 % festgestellt.

Der eigentliche CO<sub>2</sub>-Vorteil von HVO und der Grund, warum es als erneuerbarer Kraftstoff gilt, spiegelt sich nicht in den Daten wider, sondern liegt in den Rohstoffen und der gesamten CO<sub>2</sub>-Reduzierung von der Quelle bis zum Rad (Well-to-Wheel) begründet. Während Kohle kein CO<sub>2</sub> absorbiert, bevor sie in Dieseldieselkraftstoff umgewandelt wird, absorbieren die für HVO verwendeten Ausgangsstoffe (wie Sonnenblumen) CO<sub>2</sub>. Dies führt zu einem sehr geringen Anstieg der gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen bei der Verwendung von HVO. Die CO<sub>2</sub>-Neutralität ist je nach Rohstoff und Produktionsverfahren unterschiedlich.

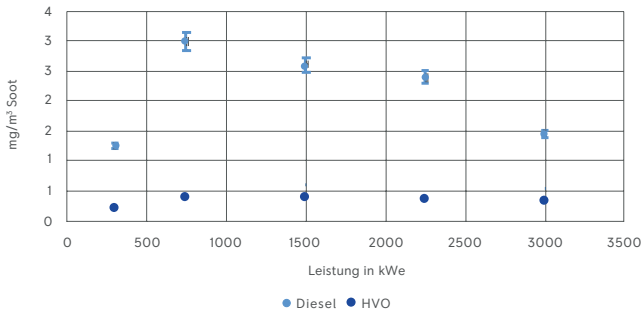
Stromaggregat 3000 kW<sub>e</sub>: CO<sub>2</sub>-Emissionen



### Feinstaub (PM) im Vergleich

Eine erhebliche Verringerung der Feinstaub-Emissionen konnte beim Betrieb mit HVO-Kraftstoff beobachtet werden. Die Feinstaub-Emissionen gingen in einer Größenordnung von 50 % - 80 % zurück, je nach Lastpunkt, wobei der Rückgang der Emissionen im D2-Zyklus 42 % betrug.

Stromaggregat 3000 kW<sub>e</sub>: Feinstaub-Emissionen



Ausstoß an CO<sub>2</sub> (g/kWh) D2-Zyklus

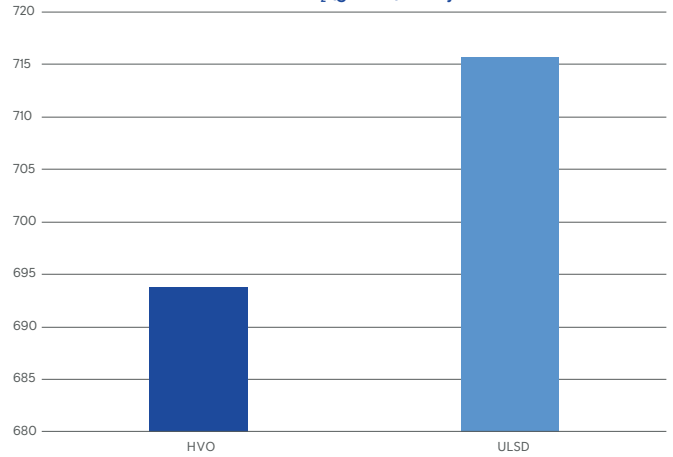


Abbildung 5

Feinstaub-Emissionen (mg/kWh) D2-Zyklus

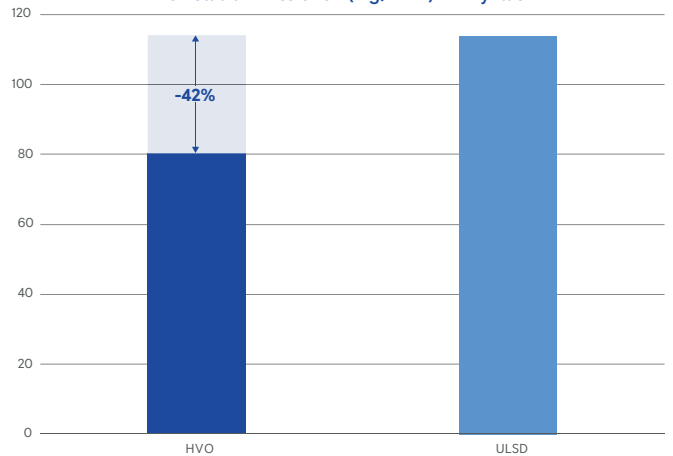


Abbildung 6

## Transientes Verhalten

Das transiente Verhalten bei Betrieb mit HVO-Kraftstoff ist vergleichbar mit der Leistung bei einem Betrieb mit destilliertem Dieselmotorkraftstoff. Die Abbildung 7 zeigt eine Zusammenfassung der Lastschritte mit dem entsprechenden Frequenzabfall und der entsprechenden Erholungszeit.

Die Abbildungen 8 und 9 zeigen das Verhalten eines jeden Kraftstoffs sowie die Abnahmetoleranz nach ISO 8528 für die Spannung und Frequenz.

Die „End of Line (EoL)“-Parameter für diesen Motor wurden bei Verwendung von Dieselmotorkraftstoff angepasst. Die Abbildung 9 zeigt, dass die gleiche Höchstleistung bei Betrieb mit HVO erreicht wurde, und dies selbst dann, wenn die „End-of-Line“-Tests unter Einsatz von Dieselmotorkraftstoff erfolgen.

Stromaggregat 3000 kW: Einschwingverhalten

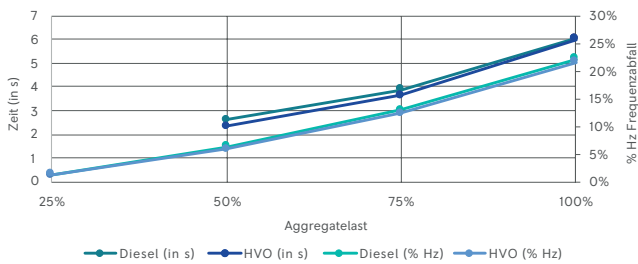


Abbildung 7

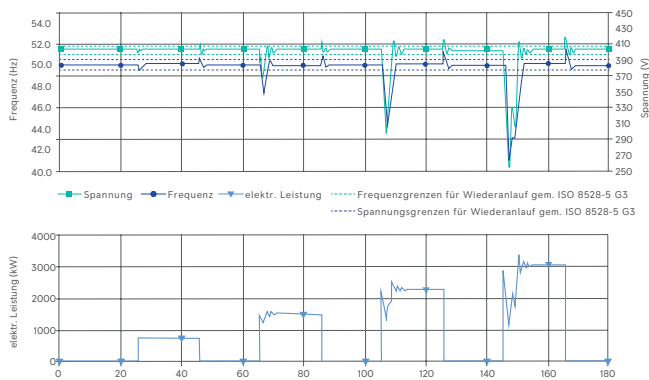


Abbildung 8: Transientes Verhalten bei Betrieb mit destilliertem Dieselmotorkraftstoff

## Fazit

Die Verwendung von HVO als ein „Drop-in“-Kraftstoff ergab eine akzeptable Leistung in den getesteten Anwendungen. Daher wird HVO-Kraftstoff zur Verwendung in **mtu**-Strom-Aggregaten der Baureihen 4000 und 1600 zugelassen.

Die Tests ergaben, dass die auf dem Typenschild angegebenen Leistungen unter Verwendung beider Kraftstoffe gleichermaßen erreicht werden können. Außerdem zeigten die Tests die nachgenannten Vorteile beim Betrieb mit HVO-Kraftstoff gegenüber destilliertem Dieselmotorkraftstoff:

- geringere NO<sub>x</sub>-, PM- und CO<sub>2</sub>-Emissionen in nahezu allen Lastpunkten
- eine marginale Verbesserung des transienten Verhaltens

Wie bei allen Kraftstoffen muss der Betreiber eng mit seinem Kraftstofflieferanten zusammenarbeiten, um sicherzustellen, dass er den optimalen Kraftstoff für seine Anwendung und Installation erhält. Außerdem muss das Kraftstofflager einer Bewertung im Hinblick auf seine Eignung unterzogen werden, da es wichtig ist, dass der Kraftstoff eine akzeptable Qualität aufweist, um die Zuverlässigkeit und Nachhaltigkeit des Produkts sicherzustellen. Und schließlich sollte das Ausgangsmaterial für den HVO-Kraftstoff einer genauen Betrachtung unterzogen werden, um die „Well-to-Wheel“-CO<sub>2</sub>-Reduktion und die Umweltbelastung einer ehrlichen Bewertung unterziehen zu können.

Bitte setzen Sie sich mit Ihrer **mtu**-Vertretung vor Ort in Verbindung, wenn Sie HVO-Kraftstoff verwenden möchten.

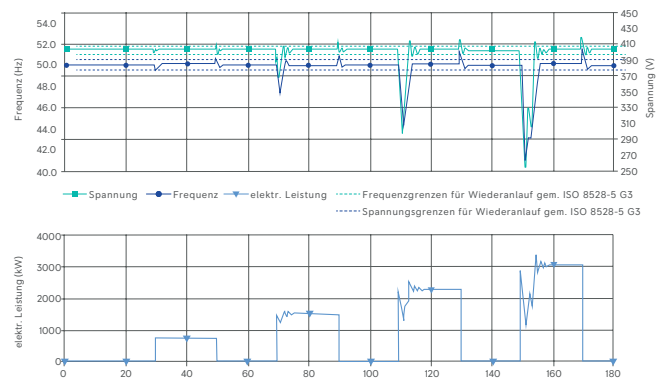


Abbildung 9: Transientes Verhalten bei Betrieb mit HVO-Kraftstoff

Wir bei Rolls-Royce bieten unter unserer Produkt- und Lösungs-marke **mtu** erstklassige Energie- und Antriebslösungen und komplette Betreuung über den gesamten Lebenszyklus an. Wir entwickeln durch Digitalisierung und Elektrifizierung Antriebs- und Stromerzeugungslösungen, die noch sauberer und intelligenter sind und so Antworten auf die Herausforderungen geben, die sich durch die schnell wachsende gesellschaftliche Nachfrage nach Energie und Mobilität stellen. Wir liefern und warten umfangreiche, leistungsstarke und zuverlässige Systeme auf der Basis von Gas- und Dieselmotoren sowie elektrifizierte Hybridsysteme. Diese sauberen und technologisch anspruchsvollen Lösungen dienen unseren Kunden in den Geschäftsbereichen Schifffahrt und Infrastruktur weltweit.

Im Zuge des „Net Zero at Power Systems“-Programms hat sich Rolls-Royce auf den Weg gemacht, das Produkt-Portfolio nachhaltig zu reformieren, so dass sich bis 2030 35 Prozent der Treibhausgas-Emissionen gegenüber denen des Jahres 2019 durch neue Technologien einsparen lassen. Dieses in naher Zukunft liegende Ziel spielt eine wesentliche Rolle in dem Bestreben der Rolls-Royce Gruppe, bis spätestens 2050 Klimaneutralität zu erreichen. Ein Schlüssel-Element auf dem Weg hin zu diesen Zielen ist die schnellstmögliche Freigabe der umsatzstärksten **mtu**-Motor-Produkte und -Systeme für den Betrieb mit nachhaltigen Kraftstoffen.