



Bildnachweis: rechts: Yellow Boat-stock.adobe.com; oben links: bulentcamci-stock.adobe.com; unten links: Kzenon-stock.adobe.com

# Trendstudie Waste-to-Fuel

Hintergründe – Anlagen – Projekte – Wettbewerb

**Leseprobe**

Juli 2024

ecoprogram GmbH

## Trendstudie Waste-to-Fuel

Die Dekarbonisierung der Mobilität wird in vielen Fällen über elektrisch betriebene Fahrzeuge führen. Aber dort, wo Elektromobilität auf absehbare Sicht nicht funktioniert, etwa im Luft- oder Schiffsverkehr, bedarf es nachhaltiger Kraftstoffe.

Derzeit und absehbar basieren die meisten nachhaltigen Kraftstoffe auf Biomasse. Diese sind jedoch endlich und werden zunehmend selbst in ökologischer Hinsicht kritisiert, etwa im Hinblick auf die Diskussion „Teller vs. Tank“ oder die Zerstörung von Urwäldern.

Die Herstellung von Kraftstoffen aus Abfällen könnte hier einen wesentlichen Beitrag leisten. Sie verspricht die Nutzung von Biomasse (und zum Teil auch Plastik), nachdem dessen ursprünglicher wirtschaftlicher Zweck erfüllt ist. Als Folge dieses Versprechens existieren zahlreiche Bestrebungen, eine solche Produktion von Kraftstoffen technisch und wirtschaftlich zu ermöglichen.

Mit der vorliegenden Untersuchung hat ecoprogram das Thema Waste Fuels genauer betrachtet.

### Konkret enthält die „Trendstudie Waste-to-Fuel“:

- Die Beschreibung der wesentlichen Technologien und Funktionsweisen der Produktion von Waste Fuels.
- Die Analyse der wichtigsten Marktfaktoren sowie eine grundsätzliche Diskussion der in Betracht kommenden Abfallströme.
- Eine Auswertung und Darstellung von gut 60 Anlagen und Projekten weltweit, einschließlich Beschreibung von Marktteilnehmern, Kapazitäten, Inputmaterial und zu produzierender Kraftstoff (soweit bekannt).

*Nicht betrachtet in der Studie werden: Biogas und Biomethan aus der anaeroben Vergärung von organischen Abfällen, Wasserstoff und E-Fuels mittels Elektrolyse, sowie erneuerbare Kraftstoffe aus Reststoffen der Land- und Forstwirtschaft, Ölen und Fetten.*

Die Studie ist in **deutscher und englischer Sprache ab 1.600,- €** zzgl. MwSt. erhältlich. Kunden unseres w&b Monitors erhalten einen Rabatt ab 600,- €. Detaillierte Informationen zu Preisen und Bestellung finden Sie auf der letzten Seite dieser Leseprobe.

Kontakt:

**Johannes Eich**

ecoprogram GmbH

+49 221 788 03 88 17

[j.eich@ecoprogram.com](mailto:j.eich@ecoprogram.com)

## Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>	<b>7</b>
<b>Management Summary</b>	<b>9</b>
<b>1 Abgrenzung, Definitionen</b>	<b>13</b>
1.1 Abgrenzung Fuel, Arten von Kraftstoffen	13
1.2 Nicht berücksichtigte Waste-to-Fuel-Segmente	16
2.2.1 <i>Biogas und Biomethan aus der anaeroben Vergärung</i>	16
2.2.2 <i>Wasserstoff und E-Fuels mittels Elektrolyse</i>	17
2.2.3 <i>Erneuerbare Kraftstoffe aus (agrarischen) Reststoffen</i>	18
2.2.4 <i>Erneuerbare Kraftstoffe aus organischen Ölen und Fetten</i>	19
1.3 Abgrenzung Waste-to-X	20
1.4 Geografische Abgrenzung	21
<b>2 Technologien</b>	<b>22</b>
2.1 Power-to-X, CCU	22
2.2 Biogas	24
2.3 Biomethan	25
2.3.1 <i>Vergärung + Veredlung</i>	25
2.3.2 <i>Vergasung + Sabatier</i>	26
2.3.3 <i>Hydrothermale Vergasung</i>	27
2.4 Wasserstoff	27
2.4.1 <i>Vergasung + Dampfreformierung</i>	27
2.4.2 <i>Pyrolyse + Dampfreformierung</i>	27
2.4.3 <i>Methan-Pyrolyse</i>	28
2.4.4 <i>Dunkle Fermentation</i>	28
2.5 Ammoniak	28
2.6 Bioalkohole & Dimethylether (DME)	28
2.6.1 <i>Fermentation + Dampfreformierung + Methanolsynthese</i>	28
2.6.2 <i>Vergasung + Dampfreformierung + Methanolsynthese</i>	29
(...)	
2.7 Kohlenwasserstoffe und SAF	30
2.7.1 <i>Vergasung + Fischer-Tropf</i>	30
2.7.2 <i>Pyrolyse + Fischer-Tropf</i>	31
(...)	
2.8 Exkurs: Standardisierung	33
<b>3 Marktfaktoren Kraftstoffwirtschaft</b>	<b>34</b>
3.1 Ölpreisentwicklung	34
3.2 CO <sub>2</sub> -Bepreisung	35
3.3 Treibstoffquoten	37

3.4	Förderung von nachhaltigen Kraftstoffen	38
3.5	Selbstverpflichtung	39
3.6	Nachhaltigkeitskriterien beschränken Kraftstoff aus Biomasse	39
3.7	Aus für Verbrennungsmotoren	42
3.8	Konkurrierende Technologien im Mobilitätsbereich	42
<b>4</b>	<b>Hintergrund Abfallwirtschaft</b>	<b>44</b>
4.1	Stoffliche Zusammensetzung	45
	4.1.1 <i>Klassifikation von Abfällen</i>	45
	4.1.2 <i>Grundstoffe für Kraftstoffe in Abfällen</i>	45
4.2	Aufkommen grundsätzlich geeigneter Abfallströme	46
4.3	Homogenität	49
	4.3.1 <i>Natürliche Heterogenität</i>	49
	4.3.2 <i>Art der Sammlung</i>	50
	4.3.3 <i>Vorbehandlung</i>	51
4.4	Verfügbarkeit	52
	4.4.1 <i>Recycling vs. Waste Fuels</i>	52
	4.4.2 <i>Mengenallokation</i>	54
	4.4.3 <i>Kommunale Daseinsvorsorge, Wettbewerb</i>	55
4.5	Marktdynamik, alternative Entsorgungslösungen	56
	4.5.1 <i>Bestehende Entsorgungslösungen</i>	57
	4.5.2 <i>Umbrüche, Gesetzesänderungen</i>	58
	4.5.3 <i>Prognose von Abfallmengen</i>	60
4.6	Entsorgungsgebühren	61
<b>5</b>	<b>Auswertung Bestand und Projekte</b>	<b>64</b>
5.1	Übersicht Bestandsanlagen	64
5.2	Übersicht Projekte, Ranking Realisierung	65
5.3	Abfallinput, Kapazität	68
5.4	Abfallinput, Art des Abfalls	69
5.5	Technologie	70
5.6	Output, nach Kraftstoff	71
5.7	Nach Ländern und Regionen	73
<b>6</b>	<b>Wettbewerb</b>	<b>74</b>
<b>7</b>	<b>Ausblick</b>	<b>77</b>
<b>8</b>	<b>Informationen zu Anlagen und Projekten</b>	<b>79</b>
	<b>Methodik</b>	<b>100</b>
	<b>Glossar, Abkürzungen</b>	<b>101</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Projekte, Verteilung nach Input-Kapazität	9
Abbildung 2: Projekte, Verteilung nach Art des Abfalls	10
Abbildung 3: Ausbeute nach Kraftstoff	11
Abbildung 4: Kraftstoffe und Eigenschaften	15
Abbildung 5: Überblick Waste-to-X	19
Abbildung 6: Marktregionen	21
Abbildung 7: Übersicht Technologie	23
Abbildung 8: Herstellung von Biogas/Biomethan	25
Abbildung 9: Bewertungsmatrix Marktfaktoren Kraftstoffwirtschaft	34
Abbildung 10: Ölpreisentwicklung	35
Abbildung 11: ETS mit Transportkomponente weltweit	36
Abbildung 12: Treibhausgasminderung entsprechend RED III	40
Abbildung 13: Bewertungsmatrix für ausgesuchte Abfallströme	44
Abbildung 14: Abfallkategorien in Deutschland	47
Abbildung 15: Geeignete Abfallströme, 20 aufkommensstärkste Stoffströme in Deutschland	48
Abbildung 16: Arten von Abfallsammlung	50
Abbildung 17: Abfallhierarchie	52
Abbildung 18: Ausgesuchte Abfallmengen deutscher Städte	54
Abbildung 19: Privatisierung in der Müllverbrennung in unterschiedlichen Ländern	55
Abbildung 20: Abfallströme und Entsorgungsarten	57
Abbildung 21: Ranking Waste-to-Fuel-Projekte	66
Abbildung 22: Projekte, Verteilung nach Input-Kapazität	69
Abbildung 23: Projekte, Verteilung nach Art des Abfalls	70
Abbildung 24: Projekte, Verteilung nach Art Technologie	71
Abbildung 25: Projekte, Verteilung nach Art Technologie	72
Abbildung 26: Ausbeute nach Kraftstoff	72
Abbildung 27: Projekte nach Regionen	73

Dimethylether ( $C_2H_6O$ ) ist zwar kein Alkohol, aber eine organische Verbindung aus der Gruppe der Ether, die ebenfalls aus H, C und O besteht und sich, ähnlich wie Methan, grundsätzlich für den Einsatz in Dieselmotoren eignet.

Die in ihnen enthaltenen Elemente teilen sich Alkohole mit vielen anderen organischen Verbindungen. Prägend für Alkohole ist, dass sie eine oder mehrere an unterschiedliche aliphatische Kohlenstoffatome gebundene Hydroxygruppen besitzen.

## 2.1 Nicht berücksichtigte Waste-to-Fuel-Segmente

Rein technisch existieren einige Arten der Produktion von Kraftstoffen aus Abfällen, die nicht immer als Waste-to-Fuel bezeichnet werden und auch in dieser Untersuchung überwiegend nicht betrachtet werden. Diese sind:

- Biogas und Biomethan aus der anaeroben Vergärung von organischen Abfällen,
- Wasserstoff und E-Fuels mittels Elektrolyse,
- erneuerbare Kraftstoffe aus Reststoffen,
- erneuerbare Kraftstoffe aus Ölen und Fetten.

### 2.2.1 Biogas und Biomethan aus der anaeroben Vergärung

Die am weitesten verbreitete Art der Nutzung von Abfall als Kraftstoff besteht in der Nutzung von Biomethan.

Biomethan wird aus Biogas hergestellt, das in Biogasanlagen produziert wird. Grob geschätzt sind weltweit derzeit rund 20.000 Biogasanlagen in Betrieb. Die überwiegenden Mehrheit dieser Anlagen fermentiert agrarische Reststoffe wie Gülle, viele dieser Anlagen sind sehr klein.

In weiteren Anlagen werden eigens hierfür angebaute „nachwachsende Rohstoffe“ eingesetzt. Hierbei handelt es sich etwa um Mais oder Weizen.

Mit Abfall betrieben wird nur eine Minderheit der Biogasanlagen. Die wichtigsten hier eingesetzten Abfälle sind:

- weitgehend homogene biologische Abfälle aus der Nahrungs- und Futtermittelproduktion, etwa aus Molkereien;
- sonstige getrennt gesammelte organische Abfälle, etwa Kantinen- und Restaurantabfälle oder unverkaufte Waren aus dem Handel;
- getrennt gesammelte Haushaltsabfälle, die über eine „Biotonne“ eingesammelt werden.

In einigen Ländern wie Frankreich oder Spanien existieren auch Anlagen, die gemischte Abfälle, etwa den kommunalen Restmüll, in Biogasanlagen vergären. Hierfür wird dieser entweder vorsortiert, oder aber die Vergärung erfolgt zusammen mit den nicht-organischen Bestandteilen.

- Abfälle aus der Land- und der Forstwirtschaft, hierzu zählen auch weiterverarbeitende Betriebe wie etwa Molkereien;
- Abfälle aus der Holzverarbeitung,
- Abfälle aus Verpackungen,
- Siedlungsabfälle sowie
- vorbehandelte Abfälle.

Auf die genannten Abfallkategorien entfielen in Deutschland im Jahr 2022 rund 130 Millionen Tonnen Abfall. Diese verteilten sich auf knapp 250 der insgesamt gut 900 Unterkategorien.

Allerdings können nicht alle Abfälle in diesen Kategorien als geeignet gelten, nicht einmal im Grundsatz und ohne nähere technische Betrachtung. So gehören zu den vorbehandelten Abfälle etwa Rostaschen aus der Müllverbrennung. Zum Siedlungsabfall gehört auch Altglas, zu den landwirtschaftlichen Abfällen Reste von Pestiziden.

Eliminiert man diese offensichtlich ungeeigneten Unterkategorien, so verbleiben rund XX Millionen Tonnen an Abfällen, die – ohne detaillierte Prüfung im Detail – als grundsätzlich interessant für die Produktion von Kraftstoffen verbleiben.

Von dieser Menge entfallen jeweils gut XX Millionen Tonnen auf den kommunalen Restmüll, also gemischte Abfälle (20030101), sowie auf Sortierreste aus der mechanischen Vorbehandlung von gemischten Abfällen (191212). Weitere große Mengen verbergen sich im kommunalen Klärschlamm, aus getrennt gesammelten organischen Abfällen der Kommunen, sei es aus der Biotonne oder aus sonstigen Quellen.

In Bezug auf die Abfallmengen dominieren somit naturgemäß kommunale Abfälle, da diese im ganzen Land in größeren Mengen vorkommen. Abfälle einzelner Industrien, also etwa Sägereste oder Schlämme aus der Papierindustrie, folgen erst daran anschließend.

**Abbildung 15: Geeignete Abfallströme, 20 aufkommensstärkste Stoffströme in Deutschland**

EAV-Code	Bezeichnung	Menge, in Mio. t
20030101	Hausmüll, hausmüllähnliche Gewerbeabfälle	10,25
191212	Sortierreste aus der mechanischen Vorbehandlung	10,01

- Standort: Ist eine Standortwahl erfolgt (auch wenn noch keine Genehmigung vorliegt), wurde dieses positiv bewertet (1 Punkt).
- Genehmigung: Existieren Informationen über eine Genehmigung zum Bau der Anlage, wurde dieses positiv bewertet (1 Punkt).
- Etablierte Player: Handelt es sich bei den maßgeblichen Projektgebern (vor allem spätere Betreiber und/oder wesentliche Technologieanbieter) um größere Konzerne, wurde dieses positiv bewertet (1 Punkt).
- Wertschöpfungskette: Sind mögliche Partner in der Wertschöpfungskette beteiligt (ggf. auch als Investor) – etwa Abfallunternehmen für die Anlieferung des Abfalls oder Fluggesellschaften als Abnehmer des Kraftstoffes –, wurde dieses positiv bewertet (1 Punkt).
- Public Funding: Wurden einem Projekt öffentliche Fördermittel gewährt (nach einem entsprechenden Prüfverfahren), so wurde dieses positiv bewertet (1 Punkt).

**Abbildung 21: Ranking Waste-to-Fuel-Projekte**

Punkte	Name	Input capacity, tpy	Output capacity, tpy	Start
4	██████	n.a.	179.000	2030
3	██████	700.000	60.000	n.a.
3	██████	1.000.000	86.600	2028
3	██████	10.000	n.a.	n.a.
2	██████	40.000		2025
2	██████	690.000	n.a.	n.a.
2	██████	180.000	90.000	n.a.
2	██████	35.000	1.750	2024
2	██████	n.a.	n.a.	n.a.
2	██████	n.a.	n.a.	n.a.
2	██████	n.a.	n.a.	n.a.
2	██████	n.a.	n.a.	n.a.
2	██████	1.000.000		n.a.
2	██████	600.000	80.000	2027
2	██████	500.000		2028
2	██████	350.000	245.000	2026
2	Varenes	200.000	n.a.	
2	Vohburg	100.000	n.a.	n.a.
2	██████	100.000	n.a.	n.a.
2	██████	12.775	n.a.	n.a.
2	██████	360.000	240.000	2026
1	██████	n.a.	n.a.	n.a.
1	██████	260.000	n.a.	n.a.
1	██████	200.000		n.a.

(...)

## 7 Wettbewerb

Der Wettbewerb im Waste-to-Fuel-Segment ist derzeit vor allem ein Wettlauf um die Entwicklung einer kommerziell erfolgreichen Technologie. Ein echter Markt mit unterschiedlichen Anbietern kommerzieller Produkte existiert bislang nicht; entsprechend kann man auch nicht von Marktführerschaft sprechen.

Derzeit existieren vor allem zwei Gruppen von Akteuren in größerer Zahl: Start-ups und (...). Hinzu kommen einzelne weitere Akteure, etwa aus (...) oder (...).

(...)

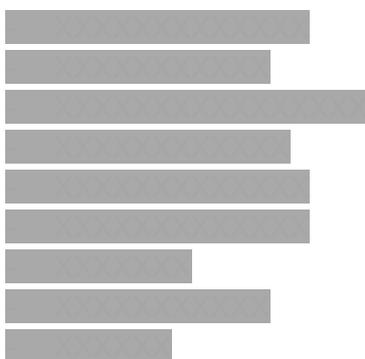
### Start-ups

Start-ups wie Enerkem oder Fulcrum haben in den vergangenen Jahren den Markt für Waste-to-Fuel geprägt und auch vorangetrieben. Dabei werden als Start-up hier Unternehmen verstanden, für die Waste-to-Fuel die Kernaktivität ist und die häufig zur Entwicklung dieser Technologie gegründet wurden.

Zu dieser Gruppe werden in dieser Untersuchung unter anderem gezählt:



- Enerkem
- Fulcrum



- (...)

### **Parque de la Carpetania, Spain**

Operator / developer: Artemisa Sustainable Fuels SL

Status: discussed

Input type: urban and industrial waste

Input capacity (t/a): 690.000

Type of output: SAF

Remarks: Partners include Abengoa, Airbus, Aurea Capital Partners, BP, the National Hydrogen Center, CIEMAT, and SENASA.

### **Picassent, Spain**

Operator / developer: Remittel

Status: planned

Input type: Residuals from the food industry, sewage sludge, industrial waster and used oils

Type of output: Biodiesel

Technology owner:

Remarks: The investment is expected to amount to EUR 10 million

### **Bangkok, Thailand**

Operator / developer: Chulalongkorn University

Status: active

(Planned) start of operation: 2022

Input type: plastic waste

Input capacity (t/a): 1.278

Type of output: diesel

Output capacity (t/y): 600

Main technology: Pyrolysis

Remarks: The Provincial Electricity Authority (PEA) provided funding for the research project. Plant processes 3.5 tpd of plastic waste into 2,000 litres of diesel fuel daily.

### **AURAK & ASGE, UAE**

Operator / developer: American University Ras Al Khaiman (AURAK), Al Shrooq Green Energy (ASGE)

Status: discussed

## Preis- und Produktinformation

### Online-Bestellformular:

<https://ecoprogram.com/de/bestellung/waste-to-fuel>

### Preismodelle:

- Single-User-Exemplar, 1.600,- € zzgl. MwSt.
- Company Version, 3.200,- € zzgl. MwSt.
- Corporate Version, Preis auf Anfrage

### Produktinformation:

Single-User Exemplar: Persönliches Exemplar (personalisierte, passwortgeschützte PDF-Datei per E-Mail)

Company Version: Unternehmensweites Exemplar (juristische Einheit) (PDF-Datei per E-Mail)

Corporate Version: Exemplare für unterschiedliche, aber juristisch miteinander verbundene Unternehmen (z. B. Schwesterfirmen, Beteiligungen im Ausland). Der Preis richtet sich nach der Anzahl der Unternehmen und Personen.

Mit einem [waste & bio Infrastructure Monitor](#) Abonnement erhalten Sie einen Rabatt von 600,- € (1.200,- € Rabatt bei Erwerb einer Company Version).

Eine Übersicht mit allen Produkten und Preisen, inklusive aller Rabatte, finden Sie unserem [Shop](#).