



Hochschule Neubrandenburg
University of Applied Sciences

Fachbereich Agrarwirtschaft und Lebensmittelwissenschaften

Fachgebiet Landwirtschaftliche Betriebslehre

Erstprüfer: Prof. Dr. C. Fuchs

Zweitprüferin: Prof. Dr. Sandra Rose

Bachelorthesis

Zur Erlangung des akademischen Grades
- Bachelor of Science-

**Compressed Natural Gas (CNG)
als alternativer Kraftstoff für Traktoren**

urn:nbn:de:gbv:519-thesis2023-0289-4

von
Tobias Ludolf

Buendorf
26. Oktober 2023

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	I
Abbildungsverzeichnis.....	III
Abkürzungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis.....	V
Anlagenverzeichnis	VI
1 Einleitung.....	1
1.1 Problemstellung	1
1.2 Zielsetzung.....	2
1.3 Aufbau der Arbeit	3
2 Daten und Methoden.....	4
3 Grundlagen zum Thema Biomethan.....	5
3.1 Situation Biogas in der Landwirtschaft	5
3.2 Grundlegende Funktion einer Biogasanlage	5
3.3 Folgeschritt der Gasaufbereitung zur Erzeugung von Biomethan	9
3.3.1 Aminwäsche	10
3.3.2 Druckwasserwäsche (DWW)	11
3.4 Eigenschaften von Erdgas	12
3.5 Erdgas Infrastruktur Deutschland.....	13
3.6 Schleppermarkt in Deutschland und der EU	15
3.6.1 Bestand und Entwicklung an Traktoren.....	15
3.6.2 New Holland T6.180 Methan Power.....	16
4 Politisches Interesse dieses Antriebskonzeptes.....	19
4.1 Gesetzliche Grundlagen.....	19
4.2 Green Deal.....	19
4.2.1 Treibhausgasemissionen	19
4.2.2 Ausbauziel 2030	20
4.3 Treibhausgasminderungsquote.....	20
4.4 Förderungsmöglichkeiten	21
5 Praktikabilität und Wirtschaftlichkeit	22
5.1 Vorstellung Betrieb H. Jacobs	22
5.2 Vergleich der Kosten von CNG gegenüber dem Dieselschlepper	23
5.3 CO ₂ Ersparnis durch Biomethannutzung.....	26

5.4 CNG Infrastruktur	28
6 Diskussion und Empfehlung	30
7 Zusammenfassung	32
9 Literaturverzeichnis	33
Eidesstattliche Erklärung	37
Anhang	38

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Funktionsprinzip Biogasanlage.....	8
Abbildung 2 Aminwäsche	11
Abbildung 3 Druckwasserwäsche.....	12
Abbildung 4 Anzahl neu zugelassene Traktoren im Zeitraum von 2006 bis 2022	15
Abbildung 5 Einbauposition der CNG-Tanks	18
Abbildung 6 Übersicht Gas-Antriebssysteme	18
Abbildung 7 Methancalculator	26
Abbildung 8 Mobile Kleinsttankstelle	29

Abkürzungsverzeichnis

CO ₂	Kohlenstoffdioxid
CNG	Compressed Natural Gas
GPS	Ganzpflanzensilage
BHKW	Blockheizkraftwerk
H ₂ S	Schwefelwasserstoff
NH ₃	Ammoniak
N ₂	Stickstoff
O ₂	Sauerstoff
CH ₄	Methan
C ₂ H ₆	Ethan
C ₃ H ₈	Propan
n-C ₄ H ₁₀	Butan
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
BMUV	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz
ADAC	Allgemeiner Deutscher Automobil-Club
FNR	Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe
UEG	untere Explosionsgrenze
OEG	obere Explosionsgrenze
DWW	Druckwasserwäsche
LNG	Liquefied Natural Gas
THG	Treibhausgas
KTBL	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft

Einheiten:

°C	Grad Celsius
Mol	SI-Einheit für Stoffmenge
Vol.%	Volumenprozent
m ³	Kubikmeter
Mio	Millionen
Mrd.	Milliarden
l	Liter
PS	Pferdestärke
Bar	Atmosphärischer Überdruck
Kg	Kilogramm
kWh	Kilowattstunde
Sh	Schlepperstunde
Nm	Newtonmeter
t	Tonnen

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Erdgas nach DVGW-AB G260 Gasbeschaffenheit Stand 2021.....	13
Tabelle 2 Kostenvergleich je Schlepperstunde.....	24
Tabelle 3 Kosten für Kraftstoff und Ersparnis pro Stunde und Jahr.....	25

Anlagenverzeichnis

Anlage 1 Angebot Methan-Traktor	38
Anlage 2 Angebot T6 Diesel.....	39
Anlage 3 Methan-Traktor New Holland T6.180 Methan Power	40
Anlage 4 Energy Independent Farm.....	41

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Wie spätestens zu Beginn des Ukraine-Krieges deutlich wurde, ist die Abhängigkeit der Energieversorgung und die grundlegende Frage, woher die Energie kommt, allgegenwärtig. In Verbindung mit sowohl steigenden Kraftstoffkosten für die Autofahrenden, als auch die Strom-, Gas- und Ölpreisverteuerung ist diese Thematik mit dem Synonym der Energiekrise in jedem Kopf angelangt. Auch die Landwirtschaft ist davon geprägt, da auf den Betrieben große Mengen an Diesel für die Bewirtschaftung der Äcker von Nöten ist. Außerdem sind sowohl Stallungen als auch die oftmals großen Betriebsgebäude weitaus größere Energiefresser als ein normaler Einfamilienhaushalt.

Nicht nur aus Sicht der Abhängigkeit und der reinen Ökonomie hinsichtlich der Energieerzeugung steht man vor Problemen. Auch in Punkto Ökologie ist die Energieversorgung mehr als präsent und im Rahmen der Klimapolitik wird stetig nach neuen Lösungen für die Energieerzeugung gesucht. Im Rahmen des EEG (Erneuerbare-Energien-Gesetz) wurde die Umstellung der Energieversorgung auf mehr als 80 % aus erneuerbaren Energien bis zum Jahr 2050 zum Ziel gesetzt (Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, 2022).

Zu den erneuerbaren Energien gehören neben Windenergie, Photovoltaik und Wasserkraft auch die Erzeugung von Biogas. Durch die Weiterverarbeitung von Biogas ist es möglich, Biomethan zu erzeugen. Dieses kann mit Hilfe von aktueller Technik auch in der landtechnischen Branche genutzt werden, um Kohlenstoffdioxid (CO₂) einzusparen.

1.2 Zielsetzung

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit soll die Frage anhand einer literarischen Recherche durchleuchtet werden, ob sich die Nutzung von Biomethan als alternative Kraftstoffquelle für landwirtschaftliche Maschinen sinnvoll nutzen lässt. Der Energieträger soll durch eigene Berechnungen, welche auf recherchierten Daten basieren, im direkten Vergleich zum Diesel hinsichtlich ökonomischer Parameter, aber auch der Energetik, und des Schadstoffausstoßes bei der Verbrennung verglichen werden. Weitergehend soll auch untersucht werden, ob es hinsichtlich der Verfügbarkeit oder der Bereitstellung durch eventuell fehlende Infrastruktur zu Problemen bei der Umsetzung in der Praxis kommen kann. In dieser Arbeit wird der Schlepper T6.180 Methan Power der Marke New Holland mit einem, diesem möglichst ähnlichen Schlepper mit Dieselmotor verglichen, da dieser bereits in Serie produziert wird. Bei dem Schlepper handelt es sich um eine Variante eines Standardschleppers mit einer Motorleistung von 175 PS, welcher Compressed Natural Gas (CNG) anstelle von Diesel verbrennt. Ziel ist es, am Ende eine Aussage darüber treffen zu können, ob sich die Nutzung des New Holland T6.180 Methan Power auf Betrieben hinsichtlich einer Kostenersparnis lohnt, bei denen Schlepper in diesem Leistungssegment zum Einsatz kommen. Darüber hinaus soll eine Aussage darüber getroffen werden können, ob eine Nutzung dieses Schleppers zu einer CO₂ Einsparung führt und ob die Umsetzung dieses alternativen Kraftstoffsystems in praktischer Hinsicht auf Probleme durch fehlende Infrastruktur stößt.

1.3 Aufbau der Arbeit

Nachdem im ersten Kapitel kurz auf die Problemstellung und Zielsetzung der Arbeit eingegangen wird, wird im weiteren Verlauf der Arbeit zunächst die Methodik und Datenerfassung erläutert und in Kapitel 3 auf die grundlegende Funktion einer Biogasanlage eingegangen. Um das in der Biogasanlage erzeugte Methan auch für die Nutzung im Fahrzeug nutzbar zu machen, werden im Anschluss zwei verschiedene Varianten der Gasaufbereitung erläutert und spezifischer auf die Eigenschaften von Erdgas eingegangen. Darüber hinaus wird in dem Kapitel die aktuelle deutsche und europäische Infrastruktur von Erdgas durchleuchtet, auf die Marktsituation des landtechnischen Traktorenmarkt eingegangen und abschließend näher über den Methan-Traktor der Marke New Holland informiert. Um auch im europäischen Sinne eine globale Durchleuchtung darzulegen, wird auf den europäischen Green Deal eingegangen und dessen Ziele näher analysiert. In Kapitel 5 wird sowohl ein Vergleich mit einem Praxisbetrieb hinsichtlich der Praktikabilität als auch ein globaler Vergleich im Sinne der Kosteneinsparung und Klimafreundlichkeit aufgestellt. Abschließend werden in der Diskussion alle Standpunkte der Arbeit nochmals aufgegriffen, um eine Empfehlung auszusprechen und diese dann final zusammenzufassen.

2 Daten und Methoden

Um näher auf die Vorgehensweise dieser Literaturlarbeit einzugehen, werden im Verlauf dieses Abschnittes die angewandten Methoden beschrieben. Es handelt sich um eine wissenschaftliche Arbeit, bei der die Methode des Vergleichens und Wertens angewandt wurde. Die in dieser Arbeit für die Vergleiche und Wertungen herangezogenen Daten, wurden aus einer umfangreichen Literaturrecherche, aber auch aus persönlichen Kontakten und Gesprächen mit Fachpersonal zusammengestellt. Um in die Thematik von dem alternativen Antriebskonzept CNG einzuleiten, wird zunächst über die Grundlagen in der Biogastechnologie informiert, sowie die Grundlagen zur Biomethanherstellung und dessen Nutzung durchleuchtet. Hierfür wurde sich sowohl an Fachliteratur, als auch an Onlinequellen gehalten. Da das gesamte Thema der alternativen Antriebskonzepte sehr aktuell ist, ist vermehrt auf Onlinequellen zurück gegriffen worden, um auch hinsichtlich der Aktualität auf allerneuste Informationen zurück greifen zu können. Bei der Nutzung von Onlinequellen ist stets darauf zu achten, dass die fachliche Glaubwürdigkeit und Seriosität gegeben ist. Es wurden keine eigenen Versuche oder Experimente durchgeführt. Der Schwerpunkt dieser Arbeit lag in den Vergleichen und Wertungen, welche eine Aussagekraft besonders für Deutschland aber auch europaweit erzielen sollen. Besonders bei der Recherche über aktuelle Zahlen, wurde vermehrt auf Daten des Statistischen Bundesamtes, der verschiedenen Bundesministerien und das KTBL zurückgegriffen. Um theoretische Grundlagen zu erläutern, wurden Facharbeiten und Fachberichte herangezogen. Hier wurde stets auf Aktualität geachtet, wobei einige theoretische Ansätze nicht veralten. Weitergehend wurde sowohl auf Grundlage der Aussage von Fachpersonen, als auch mit der Basis von Fachliteratur, eigene Berechnungen erstellt. Diese Berechnungen sind auch Quelle für abschließende Aussagen hinsichtlich des Einsparpotentials in der Praxis. Um die Ergebnisse zu verdeutlichen, wurden jegliche Aspekte im Diskussionsteil aufgegriffen, um abschließend eine Empfehlung auszusprechen und die Arbeit final zusammenzufassen.

3 Grundlagen zum Thema Biomethan

3.1 Situation Biogas in der Landwirtschaft

Biogasanlagen sind schon seit vielen Jahren ein fester Bestandteil der Landwirtschaft und eine Möglichkeit, fossile Energieträger zu ersetzen. Parallel dazu gerät die Nutzung von fossilen Energieträgern immer mehr in die Kritik und auch ein finales Verbot von fossilen Brennstoffen steht zur Diskussion. Somit muss sowohl im globalen, als auch im regionalen Rahmen über Alternativen nachgedacht werden. Damit die Biogastechnologie nicht noch weiter in Verruf gerät, ist es von Nöten, der Tank-Teller-Diskussion aus dem Weg zu gehen und über die Verwertung von Reststoffen wie Wirtschaftsdünger aus der Tierhaltung oder die Nutzung von anfallenden Rückständen im Ackerbau nachzudenken und diese weiter voran zu treiben. Auch die Nutzung von landtechnischen Alternativen muss in Betracht gezogen werden. Dahingehend gibt es bereits von mehreren Herstellern verschiedene Konzepte, die Schleppertechnik umweltfreundlicher zu gestalten.

Voran geht der Hersteller New Holland, der mit seinem Standardtraktor T6.180 Methan Power auf das alternative Antriebskonzept der Verbrennung von CNG setzt und damit in Serienproduktion gegangen ist.

3.2 Grundlegende Funktion einer Biogasanlage

Vereinfacht dargestellt, handelt es sich bei einer Biogasanlage grundlegend um einen Behälter, in dem unter Ausschluss von Sauerstoff (anaerob), organische Energieträger mit Hilfe von Bakterien vergoren werden (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., 2016). Diese Energieträger können Energiepflanzen wie Mais, Silphie, Gras oder gehäckseltes Getreide (Ganzpflanzensilage, GPS) sein. Außerdem sind auch Reststoffe aus der Tierhaltung oder biologische Abfallprodukte wie Grünschnitt oder Maisstroh aus dem Körnermaisbau einsetzbar.

Eine Biogasanlage ist näher betrachtet in mehrere Abschnitte aufgeteilt. Der Prozess beginnt, in dem der organische Energieträger mit Hilfe eines Feststoffdosierers, dem ersten Behälter der Biogasanlage zugeführt wird. Dieser ist

der Fermenter. Dort läuft der Hauptgärungsprozess ab. Der organische Energieträger wird auch Substrat genannt. Das Substrat wird dann nach der mittleren hydraulischen Verweilzeit, welche im Durchschnitt ca. 100 Tage beträgt, je nach Substrat und Anlagenbeschaffenheit in den Nachgärer gefördert und anschließend in das Endlager gepumpt. Bei der näheren Betrachtung lässt sich die Entstehung von Biogas in mehrere Teilschritte aufgliedern, wobei alle Prozesse stets parallel zueinander ablaufen. Der erste Schritt ist die Hydrolyse. Hier werden komplexe Verbindungen der Biomasse wie beispielweise Kohlenhydrate, Eiweiß und Fett in einfachere, organische Verbindungen wie Aminosäuren, Zucker und Fettsäuren aufgespalten. Anschließend werden in der Acidogenese (Versäuerungsphase) mit Hilfe von fermentativen Bakterien die Zwischenprodukte weiter zu niederen Fettsäuren wie Essig-, Propion- und Buttersäure sowie Wasserstoff und Kohlendioxid abgebaut. Anbei werden zudem geringe Mengen an Milchsäure und Alkohol gebildet. In der darauffolgenden Acetogenese (Essigsäurebildung) werden die Produkte durch acetogene Bakterien zu den Vorläufersubstanzen des Biogases Essigsäure, Wasserstoff und Kohlendioxid umgesetzt. Abschließend wird in der Methanogenese, Essigsäure, Wasserstoff und Kohlendioxid von anaeroben methanogenen Archaeen zu Methan umgewandelt. Hierbei kann in zwei verschiedene Arten der Umwandlung unterteilt werden. Die hydrogenotrophen Methanogene produzieren aus Wasserstoff und Kohlendioxid das Methan, wohingegen die acetoclastischen Methanbildner durch Essigsäurespaltung Methan bilden (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., 2016).

Grundsätzlich gilt, dass chemische Reaktionen schneller ablaufen, wenn die Umgebungstemperatur höher ist. Für die biologischen Abbau- und Umbauprozesse trifft dies jedoch nur bedingt zu, da für die einzelnen beteiligten Mikroorganismen verschiedene Temperaturoptima existieren (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., 2023).

Diese Mikroorganismen lassen sich auf Grund ihrer unterschiedlichen Präferenzen hinsichtlich der Umgebungstemperatur in drei Gruppen unterteilen. Die psychrophilen-, mesophilen- und thermophilen Mikroorganismen. Bei den psychrophilen Mikroorganismen liegt das Temperaturoptimum bei 25°C. Bei dieser Temperatur wären die Abbauleistung und die Gasproduktion jedoch nur gering. Der

größte Teil der Methanbildner hat sein Wachstumsoptimum im mesophilen Temperaturbereich von 37 bis 42°C. In diesem Temperaturbereich ist auf die Gasausbeute am höchsten. Auf Grund dessen arbeiten auch die meisten in der Praxis vorkommenden Anlagen im mesophilen Temperaturbereich. Wenn auf Grund der anfallenden Substrate eine hohe Eigentemperatur vorhanden ist oder durch das Interesse, die eingesetzten Substrate zu hygienisieren, bietet sich die thermophile Vergärung an. Hier liegt das Temperaturoptimum bei 50-60°C. Der optimale pH-Wert für die maximale Umsetzungsrate zu Methan liegt bei 6,5 - 8,2 (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., 2016).

Das entstandene Rohbiogas, welches einen Methangehalt von 50-70 % aufweist, wird dann aus den Gärbehälter abgeschöpft und über ein Leitungssystem im klassischen Fall zum Blockheizkraftwerk (BHKW) befördert. Hier wird es dann verbrannt und über einen Generator Strom produziert. Bei einem BHKW handelt es sich um einen Motor, der nach dem gewöhnlichen Prinzip der Gas-Otto- oder Zündstrahltechnik funktioniert. Das Rohgas aus der Biogasanlage wird dort als Kraftstoff genutzt um den Motor beziehungsweise den direkt gekoppelten Generator anzutreiben um Strom zu produzieren (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., 2016). Die bei der Verbrennung anfallende Wärmeenergie wird zum einen für die Beheizung der Biogasanlage selbst genutzt. Zum anderen kann die anfallende Wärmeenergie für zum Beispiel die Beheizung von Stallgebäuden oder die Trocknung von landwirtschaftlichen Gütern genutzt werden. Abschließend wird der anfallende Gärrest in einem Endlager gesammelt, bis er als hochwertiger, nährstoffhaltiger Wirtschaftsdünger wieder auf dem Acker ausgebracht wird, um der Folgekultur zu dienen.

3 Grundlagen zum Thema Biomethan

Quelle: Fachverband Biogas

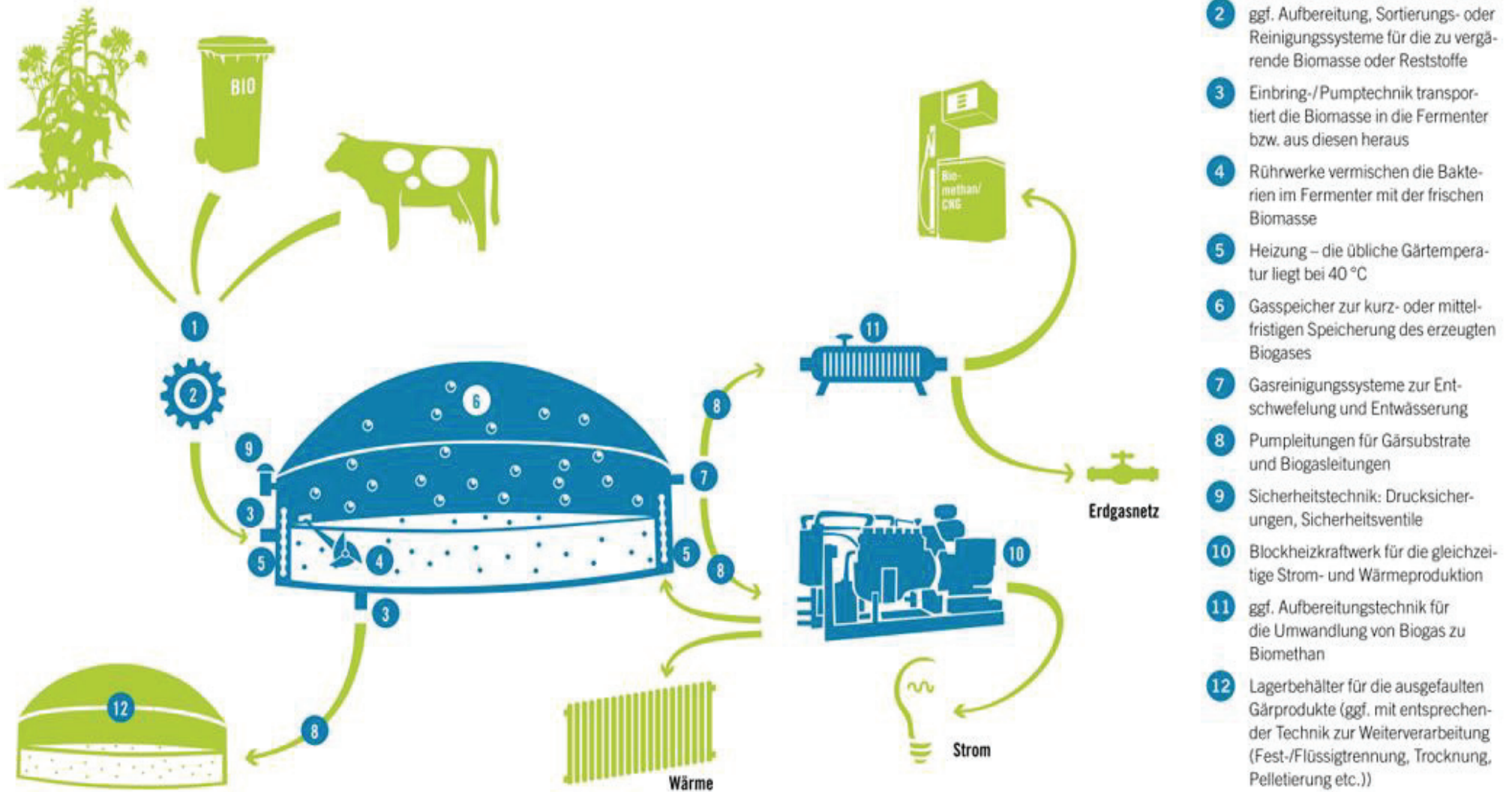


Abbildung 1 Funktionsprinzip Biogasanlage

3.3 Folgeschritt der Gasaufbereitung zur Erzeugung von Biomethan

Wenn das Biogas nicht in seiner Rohgasform in einem Blockheizkraftwerk verbrannt werden soll, kann es auf Erdgasqualität aufbereitet werden. Dieses kann dann je nach Gebrauch entweder in das öffentliche Erdgasnetz eingespeist werden oder mit Hilfe einer CNG-Tankstelle direkt für die Vertankung bereit stehen.

Es gibt mehrere Varianten der Biogasaufbereitung, welche in der Praxis ihren Nutzen finden.

Vor der Gasaufbereitung muss zunächst eine Entschwefelung durchgeführt werden. Diese erfolgt in zwei Schritten. Die Grobentschwefelung erfolgt über die Zugabe von Eisenhydroxid und/oder Eisensalz. Anschließend erfolgt die Feinentschwefelung mit Hilfe eines Aktivkohlefilters, um die Schwefelwasserstoffkonzentration im Gas auf unter 5 mg/m^3 zu senken (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., 2023).

Bei der darauffolgenden eigentlichen Gasaufbereitung wird das Rohbiogas dann von einem Methangehalt von meist ca. 50-55 % auf bis zu 98 % erhöht. Die Höhe des Methangehaltes ist von der Methankonzentration des Gasnetzes abhängig, in das eingespeist werden soll (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., 2023).

Derzeit werden in Deutschland fünf verschiedene Verfahren für die Gasaufbereitung in der Praxis genutzt. Hierbei möchte ich aber die zwei am häufigst genutzten Verfahren eingrenzen und diese näher beschreiben, um ein grundlegendes Verständnis dafür herzustellen.

3.3.1 Aminwäsche

Die Aminwäsche ist ein chemisches Absorptionsverfahren für die Abscheidung von Kohlenstoffdioxid. Als Absorptionsmittel werden Alkanolamine verwendet, die abgekürzt als Amin bezeichnet werden. Die Amine werden als Waschlösung in unterschiedlicher Konzentration als wässrige Lösung eingesetzt (Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, 2023).

Die CO₂-Entfernung erfolgt in der Waschkolonne fast drucklos. Das zugeführte Biogas muss getrocknet sein und wird bei einer Temperatur von 40-60°C durch den Absorber geleitet. Hier wird das CO₂ aus dem Rohbiogas in der Absorptionslösung gebunden und abgeführt. Die mit CO₂ beladene Waschlösung wird vor ihrer erneuten Verwendung in einem Desorber oder Regenerator, vom CO₂ befreit. Die Regeneration der Waschlösung erfolgt in einem Temperaturbereich von 100-140°C wobei ein großer Teil des CO₂ wieder gasförmig wird (Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, 2023).

Das ausgewaschene CO₂ kann als Abbauprodukt in einen alternativen Aggregatzustand gebracht werden und für die Weiternutzung in der Industrie bereitgestellt werden (Heß, Klumpp, & Dittmeyer, 2020).

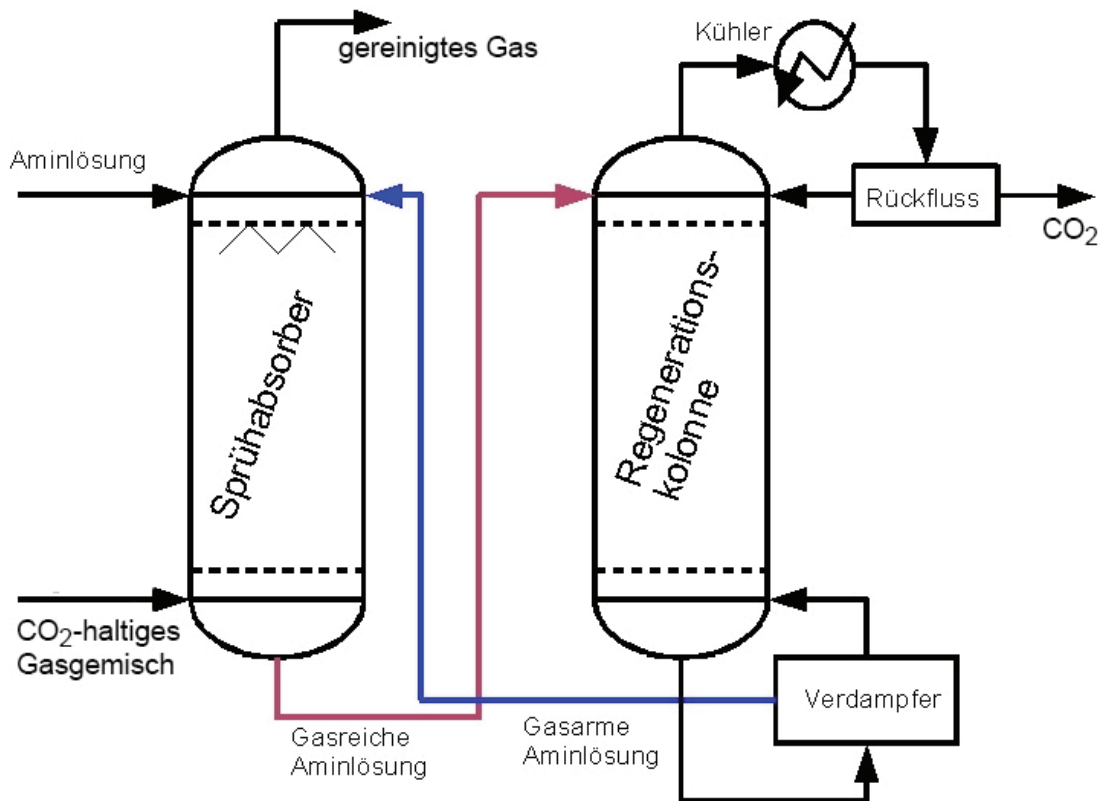


Abbildung 2 Aminwäsche

Quelle: <https://www.scinexx.de/dossierartikel/einfach-rauswaschen/>

3.3.2 Druckwasserwäsche (DWW)

Wie auch bei der Aminwäsche ist bei der Druckwasserwäsche das Ziel, dem Rohbiogas das CO_2 zu entziehen und somit den Methangehalt zu erhöhen.

Bei diesem Verfahren wird das CO_2 und weitere Bestandteile des Rohbiogases wie Schwefelwasserstoff (H_2S) und Ammoniak (NH_3) im Absorptionsmittel Wasser gelöst. Das Verfahren beruht auf der reversiblen Absorption durch physikalische Bindungskräfte im Wasser. Hierbei wird das Rohbiogas mit Hilfe eines Kompressors komprimiert, wodurch die Löslichkeit der einzelnen Gase zunimmt. Danach wird die Waschlösung, in diesem Fall Wasser, in das komprimierte Gas eingedüst, wobei sich das CO_2 aber auch das H_2S und das NH_3 an das Wasser heftet (Karlsruher Institut für Technologie, 2023). Nach der Druckentspannung kann das regenerierte Wasser wieder zur Absorption verwendet werden. Ein positiver Nebeneffekt ist, dass diese Variante die Feinentschwefelung des Biogases in der Absorptionskolonne darstellt. Außerdem muss das Rohgas vor der Anwendung nicht getrocknet werden. Jedoch muss das angereicherte Produktgas vor der

Nutzung getrocknet werden (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., 2023). Abschließend wird auch wie im Reinigungsschritt welcher oben beschrieben ist, das Gas in das Erdgasnetz eingespeist.

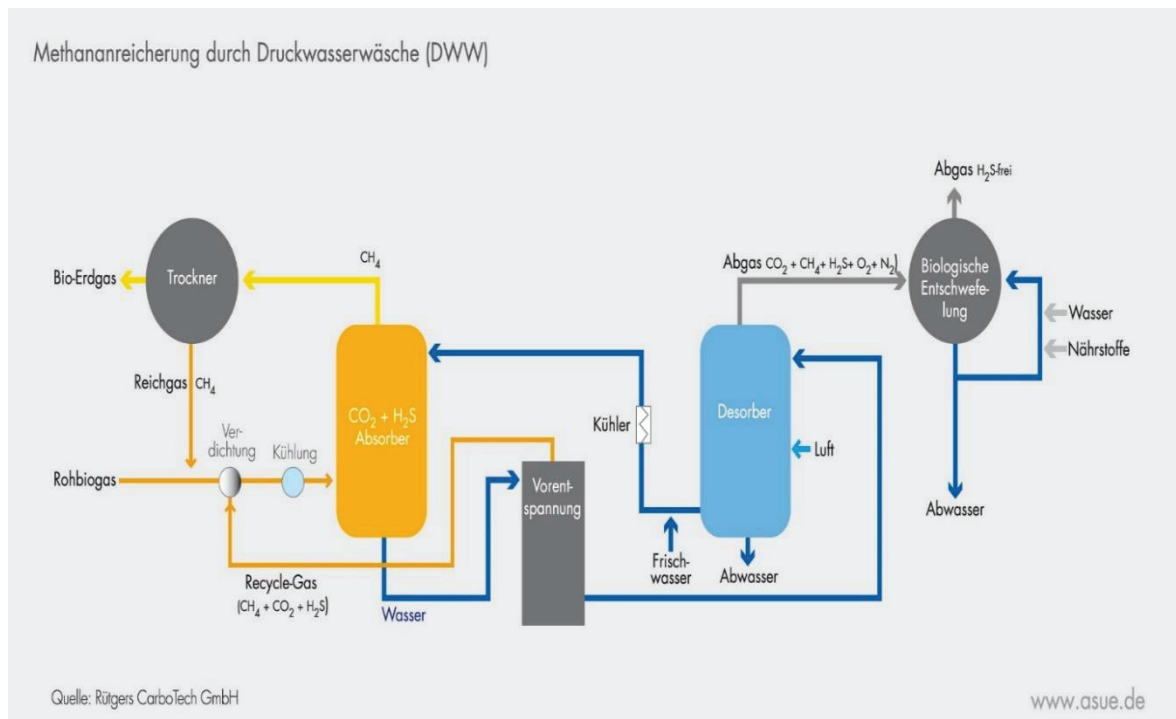


Abbildung 3 Druckwasserwäsche

3.4 Eigenschaften von Erdgas

Erdgas ist ein ungiftiges, farb- und geruchloses Gas, welches in der Hauptsache aus Methan besteht. Um es für den Menschen wahrnehmbar zu machen, wird in geringer Menge Odormittel (Geruchsmittel) zugegeben. Unter normalen Bedingungen ist es im Bereich von 4,5 – 16,5 Vol.%. Der niedrigere der beiden Werte wird als untere Explosionsgrenze (UEG), der höhere als obere Explosionsgrenze (OEG) angegeben. Die Zündtemperatur von Erdgas liegt bei 640 °C. Erdgas ist leichter als Luft und weist ein Dichteverhältnis von 0,55 auf. Ab einer Konzentration in der Atmosphäre von über 28 Vol.% besteht Erstickungsgefahr wegen Sauerstoffmangels (Höcher, 2023). Die Energiedichte von Methan liegt bei 13,3 kWh/kg (Zukunft Gas e.V., 2023). Die Schmelztemperatur liegt bei -184 °C und die Siedetemperatur bei -162 °C (Basshuysen, 2015). Die Siedetemperatur wird auch bei der Umsetzung des Antriebkonzeptes LNG

(Liquefied Natural Gas) genutzt. Das Erdgas wird bei der Siedetemperatur in flüssigem Aggregatzustand in dafür vorgesehene Tanks befördert. Der Vorteil dieser Methode ist, dass das Volumen im flüssigen Aggregatzustand um den Faktor 600 schrumpft und die Dichte bei 450 kg/m^3 liegt (Bode & Partz, 2023). Im Vergleich zum Antriebskonzept CNG, bei dem das Methan unter einem Druck von ca. 200 bar komprimiert in einen Tank gepresst wird, ist beim LNG der Vorteil, dass durch das geringere Volumen, der Transport der Energiemenge wesentlich effizienter ist.

Erdgas ist in seiner ursprünglichen Form in unterirdischen Lagerstätten vorzufinden. Ausgangsstoffe sind abgestorbene Algen und Plankton, welche am Meeresboden unter Ausschluss von Sauerstoff in Schichten eingeschlossen wurden und mit der Zeit durch chemische Abbauprozesse in Kohlenwasserstoffe umgewandelt werden (goclimat.de, 2023).

Tabelle 1 Erdgas nach DVGW-AB G260 Gasbeschaffenheit Stand 2021

Erdgas nach DVGW-AB G 260 Gasbeschaffenheit Stand 2021			
Gasanalyse (Volumen %)	Kohlenstoffdioxid	CO ₂	0,08 Mol.%
	Stickstoff	N ₂	0,85 Mol.%
	Sauerstoff	O ₂	0,00 Mol.%
	Methan	CH ₄	97,70 Mol.%
	Ethan	C ₂ H ₆	0,93 Mol.%
	Propan	C ₃ H ₈	0,3 Mol.%
	Butan	n-C ₄ H ₁₀	0,01 Mol.%

Quelle: Eigene Darstellung

3.5 Erdgas Infrastruktur Deutschland

Das Gasnetz in Deutschland ist mit einer Länge von über 540.000 km, welches zum Transport, Verteilung und Speicher dient, ein entscheidender Wirtschaftsfaktor und essentieller Bestandteil der Energiewende (Zukunft Gas e.V., 2023). Damit in Deutschland genügend Gas zur Verfügung steht, wird ein Fernleitungsnetz von 16 verschiedenen Netzbetreibern auf einer Länge von etwa 40.000 km zu Verfügung gestellt. Hier wird das Gas von internationalen Quellen bis zum regionalen Verbraucher transportiert. Darüber hinaus hat Deutschland mit knapp 700

regionalen Verteilnetzbetreibern für Gas die komplexeste Struktur in Europa (Zukunft Gas e.V., 2023).

Um eine unabhängigere Energieversorgung zu ermöglichen, besitzt Deutschland 47 Untertage-Gas-Speicher an 33 verschiedenen Standorten. Dort können 24 Mrd. Kubikmeter Gas gespeichert werden. Das entspricht etwa einem Viertel des deutschen Jahresverbrauchs (Zukunft Gas e.V., 2023). Dies dient neben der Versorgungssicherheit auch zum Ausgleich von saisonalen Verbraucherschwankungen und Glättung von tages- und jahreszeitlichen Verbrauchsspitzen. Mit diesem vorhandenen Gasspeicher verfügt Deutschland über das größte Speichervolumen in der EU. Bei den jeweiligen Gasspeichern wird in zwei Arten unterschieden. Zum einen gibt es Porenspeicher, bei denen poröse Gesteine das Gas wie ein Schwamm aufsaugen und speichern. Zum anderen gibt es die Kavernenspeicher, welche künstlich angelegte Hohlräume in Salzstöcken sind. In diesen Salzstöcken macht man sich die Gegebenheit zu nutzen, dass Salz von Natur aus gasundurchlässig ist (Zukunft Gas e.V., 2023).

3.6 Schleppermarkt in Deutschland und der EU

Die Anzahl von registrierten Traktoren in Deutschland betrug 2019 rund 2 Mio Stück (Ahrens, 2019). Dabei wurden im Jahr 2022 alleine 32.500 Traktoren in Deutschland neu zugelassen. In Europa waren es 165.228 Stück. Im Zeitraum von 2006 bis 2022 lag der höchste Marktanteil der Traktoren in Deutschland bei John Deere mit 6.377, gefolgt von Fendt mit 5.319 und Deutz-Fahr mit 2.370. Bemessen wird der Marktanteil in Anzahl der Neuzulassungen (Ahrens, 2019).

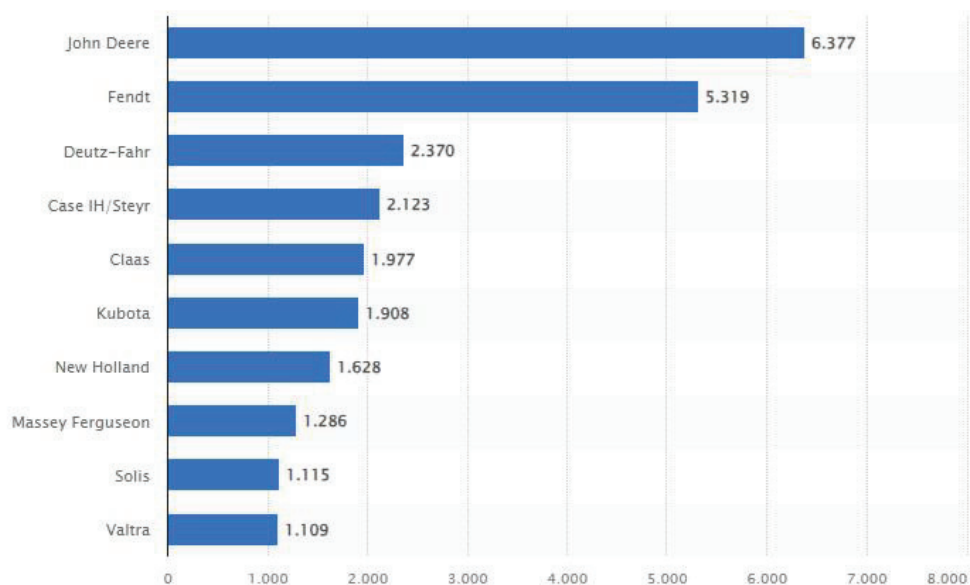


Abbildung 4 Anzahl neu zugelassene Traktoren im Zeitraum von 2006 bis 2022

Quelle: Statista.com

3.6.1 Bestand und Entwicklung an Traktoren

Mehr als vier Jahrtausende wurden in der Landwirtschaft die Ländereien mit menschlichen und tierischen Kräften bewerkstelligt. Durch die Erfindung der Dampfmaschine kam es zu einer erste Mechanisierungswelle. So wurden im 19. Jahrhundert Dampfmaschinen in erster Linie zum Antreiben der Dreschmaschinen oder zum Ziehen der großen Dampfpflüge genutzt. Erst mit der Erfindung des Traktors konnte sich die Landwirtschaft technisch deutlich weiter entwickeln (Güll, 2016). 1902 gilt als das Geburtsjahr der Traktorindustrie in den USA. In den ersten Jahrzehnten wurde stetig hohe Stückzahlen an Traktoren

hergestellt. Zu diesem Zeitpunkt gab es in Deutschland noch keine Nachfrage, da die Flächenstrukturen dies nicht forderten. 1925 wurden in Baden in Statistiken des Deutschen Reiches 143, in Württemberg 129 landwirtschaftliche Schlepper verzeichnet. Diese Zahlen erfuhren in den nächsten Jahren keine nennenswerte Steigerung. In den 1930er-Jahren sorgten die ersten deutschen Traktorenhersteller wie Lanz für Innovationen. Es wurde unter anderem die Nutzung des Dieselmotors etabliert und Ende der 1930er-Jahre die Zapfwelle normiert. Diese Änderungen machten den Traktor zur bäuerlichen Universalmaschine. Zum Ende des zweiten Weltkrieges 1945 gab es in Deutschland rund 70.000 Traktoren (Güll, 2016). Zwischen 1950 und 1970 verschwanden die Pferde immer mehr von den landwirtschaftlichen Betrieben und die Traktoren wurden als signifikanter Anteil für die Zugarbeiten auf den Betrieben eingesetzt. Der Traktorbestand wuchs allein von 1950 bis 1960 auf 130.000 Stück. Der Einsatz von Traktoren und die damit einhergehende Vollmotorisierung war nur ein erster Schritt beim Strukturwandel der Landwirtschaft. Es folgte die Vollmechanisierung und Vollautomatisierung vieler Betriebe, was erhebliche Finanzmittel erforderte. Aus diesem Grund ist die Landwirtschaft auch einer der kapitalintensivsten Wirtschaftszweige (Güll, 2016). Die Zahl der in der Landwirtschaft tätigen Personen ist im Zeitraum von 2010 bis 2020 in Deutschland um rund 13 % auf 938.000 zurück gegangen (Deutscher Bauernverband, 2023). Dies hat natürlich zur Folge, dass die Mechanisierung heutzutage auf den Betrieben enorm zugenommen hat, um die Nettoproduktivität zu halten bzw. zu steigern.

3.6.2 New Holland T6.180 Methan Power

Schon seit 2009 arbeitet der Konzern im Sinne des „Clean Energy Leader“, wie sich New Holland selbst betitelt, an alternativen Antriebssystemen. Es begann mit einem mit Wasserstoff betriebenen, über Elektromotoren angetriebenen Prototypen. Dieser Traktor hat eine Leistung von 75 PS und wird stufenlos angetrieben. Allerdings hat er es nie zu einer Marktreife geschafft (Agriculture, 2023). 2013 wurde dann das Konzept des T6 Methanschleppers vorgestellt, welches 2021 dann seine Marktreife erlangte. Seitdem wird der Methanschlepper als New Holland T6.180 Methanpower vertrieben.

Grundsätzlich ist der Methanschlepper genauso aufgebaut wie ein Standard-Dieselschlepper. Der große Unterschied liegt darin, dass anstelle des Diesels in diesem Fall CNG im Motor verbrannt wird. Um dies zu ermöglichen, sind nur eine im Verhältnis zur Umsetzung anderer alternativer Antriebssysteme geringe Anzahl an Anpassungen an einem handelsüblichen Hubkolbenmotor vorzunehmen. Der Vorteil hierbei ist, dass der CNG Motor gegenüber dem Dieselmotor eine weitaus saubere Verbrennung aufweist und dadurch die aufwändige Abgasnachbereitung auf einen einfachen 3-Wege-Katalysator reduziert (Esterer, 2023). Die Maximalleistung bei diesem Traktormodell liegt bei 175 PS, das maximale Drehmoment liegt bei 740 Nm. Aus diesen Daten wird deutlich, dass die Methanalternative die gleichen Fahreigenschaften wie ein Dieselfabrikat aufweist. Durch die Verbrennung von Methan ist die Verbrennungstemperatur im Arbeitstakt etwas höher als bei der Verbrennung von Diesel. Dadurch wurde einige Änderungen am Antriebsstrang vorgenommen. Unter anderem wurden ein wassergekühlter Turbolader und ein angepasster Zylinderkopf aus temperaturbeständigerem Material verbaut. Das Antriebssystem des T6 Methanpower ist monovalent. Im Gegensatz zu einigen in der Automobilbranche verbreiteten Systemen, welche bivalent sind, wird bei dem Schlepper ausschließlich CNG getankt. Bei der Nutzung von CNG als Treibstoff wird das Methan bzw. Biomethan auf einen Druck von ca. 200 bar verdichtet und anschließend im Fahrzeug in Druckflaschen gespeichert. Der T6 hat sieben fest verbaute Kraftstofftanks mit insgesamt 185 l. Zusätzlich lässt sich noch ein sogenannter Range Extender mit einem Volumen von 270 l an der Front des Schleppers verbauen, womit das Tankvolumen auf 455 l erweitert wird. Dieser Kraftstoffvorrat soll laut Herstellerangaben bei mittleren Zugarbeiten für eine Betriebszeit von ca. acht bis neun Stunden ausreichen (Agriculture, 2023). Durch die höhere Energiedichte von CNG wird der Verbrauch gesenkt. Das Dieseläquivalent beträgt 1,3 bis 1,4 l je kg CNG. Dies bedeutet, dass man mit einem Kilogramm CNG einen 1,3 bis 1,4 l Diesel ersetzen kann, woraus sich ein direktes Einsparpotential von ca. 30 % ergibt. Bei der Betrachtung der Kraftstoffpreise wird deutlich, dass durch den geringeren CNG Preis von im Schnitt 1,40 € zu Diesel mit 1,85 (Stand Januar 2023) (Fuels, 2023), (Allgemeiner Deutscher Automobil-Club, 2023), das Einsparpotential auf ca. 50 % wächst (Seide, 2021).

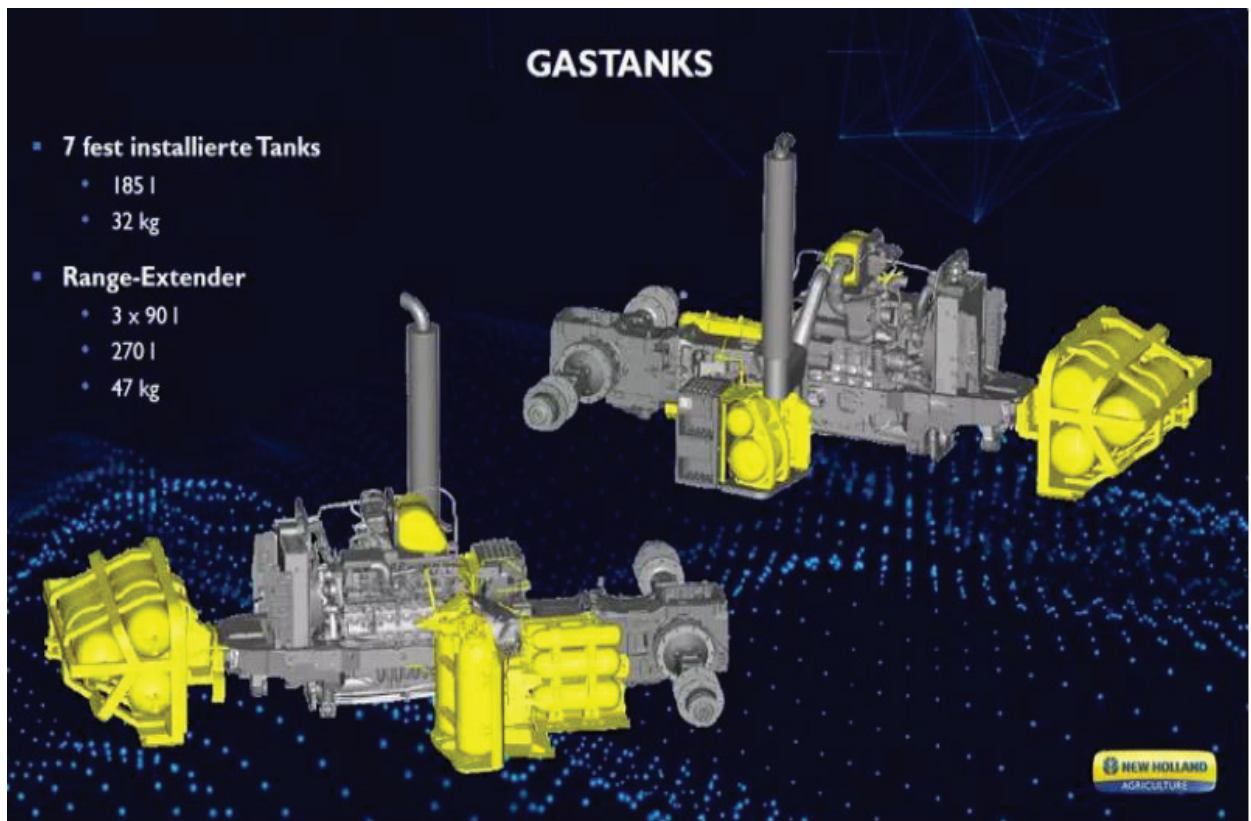


Abbildung 5 Einbauposition der CNG-Tanks

Quelle: New Holland Agriculture

Im Nachgang folgt eine Abbildung, welche die technischen Unterschiede der verschiedenen Gas-Antriebssysteme auf dem Markt erläutern soll.

Gasart	Beschreibung
CNG (Compressed Natural Gas)	auf ca. 200 bar verdichtetes und gereinigtes Erdgas
LNG (Liquified Natural Gas)	auf -162 °C verflüssigtes und gereinigtes Erdgas
LPG (Liquified Petroleum Gas) oder Autogas	Mischung besteht hauptsächlich aus Propan und Butan, bei 20 °C ca. 8 bar
GTL (Gas to Liquids)	synthetisch hergestellter Treibstoff aus Erdgas
Biogas	aus biologischer Fermentierung (Mais, Stroh, Lebensmittelabfälle etc.)

Abbildung 6 Übersicht Gas-Antriebssysteme

Quelle: MS Motorenservice

4 Politisches Interesse dieses Antriebskonzeptes

4.1 Gesetzliche Grundlagen

Die Europäische Union hat sich unter der Maßgabe des Übereinkommens von Paris und eigener Beschlüsse zu energie- und klimapolitischen Zielen verpflichtet. Die EU-Mitgliedsstaaten haben die Ziele für das Jahr 2020 zwar erfüllt und teilweise sogar übererfüllt, jedoch werden die mittel bzw. langfristigen Ziele nur durch erhebliche Bemühungen erreicht werden (Umweltbundesamt, 2023).

4.2 Green Deal

Mit dem europäischen Green Deal wollen die 27 EU-Mitgliedsländer bis 2050 klimaneutral werden. In einem vorgegliederten Schritt sollen die Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2030 um 55 % gegenüber dem Stand von 1990 gesenkt werden (Bundesamt, 2023).

Der Green Deal beinhaltet auch, dass ein Wandel hin zu einer gerechten und prosperierenden Gesellschaft mit einer modernen und wettbewerbsfähigen Wirtschaft stattfindet. Dabei soll berücksichtigt werden, dass ein ganzheitlicher und sektorübergreifender Ansatz erforderlich ist, bei dem alle relevanten Politikbereiche zum übergeordneten Klimaziel beitragen. So sollen in den politischen Bereichen Klima, Umwelt, Energie, Verkehr, Industrie, Landwirtschaft und nachhaltiges Finanzwesen ein Umdenken stattfinden und somit einen Teil leisten (Europäischer Rat, Rat der Europäischen Union, 2023).

4.2.1 Treibhausgasemissionen

Der Ausstoß von Treibhausgasen der EU belief sich im Jahr 2021 auf rund 3,5 Mrd Tonnen CO₂- Äquivalent. Damit lagen die Emissionen rund 28 % unterhalb der von 1990. Diese Einsparung lassen sich zum Teil auf den deutlichen Abbau der Industrie Anfang der 90er Jahre zurückführen (Statistisches Bundesamt, 2023). Zu den Treibhausgasen gehören CO₂, CH₄ und andere klimawirksame Stoffe. Die verschiedenen Gase besitzen ein unterschiedliches Erwärmungspotential auf das

Klima. Somit bemessen sich die verschiedenen Gase im Verhältnis zu dem Treibhauspotential von Kohlendioxid und werden als CO₂- Äquivalent angegeben (Statistisches Bundesamt, 2023).

4.2.2 Ausbauziel 2030

Im Jahr 2021 wurden rund 22 % des Bruttoendenergieverbrauches aus erneuerbaren Quellen gedeckt. Bis zum Jahr 2030 soll dieser Wert auf 40 % ausgebaut werden, um den Ressourcenverbrauch und die Energieimportmenge zu senken. Außerdem soll dadurch eine Versorgungssicherheit hergestellt werden und die energetisch bedingten Emissionen zurück gehen (Statistisches Bundesamt, 2023).

In den verschiedenen Sektoren schwankt der Anteil der Nutzung von erneuerbaren Energien stark. So erreichte der Stromsektor im Jahr 2021 38 % des Bruttoendenergieverbrauchs im EU- Durchschnitt. Deutlich darunter lag er im Bereich der Wärme- und Kälteerzeugung (23 %), sowie im Bereich Verkehr (9 %) (Statistisches Bundesamt, 2023).

4.3 Treibhausgasminderungsquote

Die Treibhausgasminderungsquote ist ein seit dem Jahr 2015 in Deutschland gesetzlich nominiertes, marktbasierendes Klimaschutz-Instrument, mit dem Ziel, mehr erneuerbare Energien in den Verkehrssektor zu etablieren und dadurch klimaschädliche Treibhausgas-Emissionen zu reduzieren (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz, 2023). Neben dem politischen Interesse die Treibhausemissionen zu reduzieren, kann dieses Konstrukt auch aus Sicht der Biogasanlagenbetreiber genutzt werden, um neben der direkten Vermarktung des Biomethans einen Erlös aus dem Handel mit der Treibhausgasminderungsquote zu erzielen. Die Quote kann mit Unternehmen aus der Mineralölwirtschaft gehandelt werden, da diese die Treibhausgasminderungsquote einhalten müssen, denn diese besagt, dass die vermarkteten Kraftstoffe einen energetischen Mindestanteil aufweisen müssen

(Degenhart & Scherzinger, 2023). Das jeweilige Treibhausgasminderungspotenzial ist je nach Substrat unterschiedlich, da sich die verschiedenen Einsatzstoffe in deren Klimaschädlichkeit und dem energetischen Aufwand, welcher für die Verwertung in der Biogasanlage anfällt, unterscheiden. Hohe Treibhausgasminderungspotenzial ergeben sich besonders aus dem Einsatz von Reststoffen wie Wirtschaftsdünger als Substrat für die Biogasanlage. Diese hohen Treibhausgas-Minderungen können zu einem entsprechend hohen Quotenpreis führen. Durch die anrechenbare THG-Vermeidung bei dem Einsatz von Gülle von 200 %, übersteigt die Nachfrage das derzeitige Angebot deutlich (Degenhart & Scherzinger, 2023).

4.4 Förderungsmöglichkeiten

Neben der möglichen Kosteneinsparung durch die Nutzung von Biomethan als Antriebskonzept im Traktor, gibt es auch ein Förderprogramm des Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL). Diese Förderung soll landwirtschaftliche Unternehmen und Unternehmen im Gartenbau dabei unterstützen, Maßnahmen für die Optimierung der Energieeffizienz umzusetzen. Dieses kann auf der einen Seite in beratender Hinsicht geschehen. Auf der anderen Seite können aber auch Investitionen von langlebigen Wirtschaftsgütern gefördert werden, wenn diese CO₂- Emissionen im Produktionsprozess landwirtschaftlicher Primärerzeugnisse reduzieren. Die jeweiligen Förderzuschüsse ergeben sich wie folgt. In beratender Hinsicht können 80 % der förderfähigen Netto-Beratungskosten, maximal 7.500 € und bei Verbundvorhaben maximal 10.000 € übernommen werden. Bei CO₂- Einsparinvestitionen können bei Einzelmaßnahmen normalerweise 15 % der förderfähigen Ausgaben übernommen werden. Bei Einzelmaßnahmen mit alternativen Antriebssystemen für Landmaschinen zur Nach- und Erstausrüstung werden 40 % der förderfähigen Ausgaben bezuschusst. Darunter fällt auch der CNG- Traktor der Marke New Holland. Außerdem ist die Förderung von erneuerbarer Energieerzeugung sowie Verbindungsleistungen und Verteilnetze für Weitergabe energieeffizienter Fernwärme und Fernkälte bis 50 % der förderfähigen Ausgaben möglich. Dabei liegt die förderfähige Obergrenze bei maximal

2 Millionen je Antrag und für größere Vorhaben bei bis zu 5 Millionen € (Bundesministerium für Ernährung und Umwelt, 2023)

5 Praktikabilität und Wirtschaftlichkeit

5.1 Vorstellung Betrieb H. Jacobs

Um auch hinsichtlich der Praktikabilität das Konzept der CNG Nutzung in der Landwirtschaft zu durchleuchten, wurde anhand eines betrieblichen Beispiels ein Vergleich aufgestellt.

Der landwirtschaftliche Ackerbaubetrieb von H. Jacobs liegt im Osten des Landkreises Lüneburg in Niedersachsen. Dort werden ca. 400 ha Acker bewirtschaftet mit dem Schwerpunkt des Hackfruchtanbaus. Der Betrieb ist mit vier Schleppern der Marke Fendt und New Holland in der Leistungsklasse um 200 PS ausgestattet, bei einer jährlichen Auslastung von ca. 800 h/Jahr. Hier wird auch deutlich, dass der New Holland T6.180 Methanpower mit seiner Maximalleistung von 175 PS gut in die Faktorausstattung des Betriebes passen würde.

Die jährliche Auslastung der Schlepper wird hauptsächlich zu den Spitzenzeiten in der Ernte/Aussaat im Herbst und zur Pflanzsaison der Kartoffeln im Frühjahr generiert. Hier liegen die hauptsächlichsten Arbeiten in der Bodenbearbeitung bzw. vor der Drill- oder Pflanzmaschine. Dazu kommen noch im geringen Umfang Arbeiten im Transport und Pflegemaßnahmen. Dabei kommt ein Schlepper im Durchschnitt auf einen Arbeitseinsatz von ca. 800 h/Jahr (Jacobs, 2023). Der durchschnittliche Dieserverbrauch in Deutschland beläuft sich auf rund 100 l Diesel je Hektar (KTBL, 2023). Wenn man diesen Wert auf die gesamte Anbaufläche dieses Betriebes hoch rechnet, ergibt sich daraus ein Dieselgesamtverbrauch von 40.000 Liter pro Jahr. Dieser Wert ist auch aus der Sicht des Betriebsleiters realistisch.

5.2 Vergleich der Kosten von CNG gegenüber dem Dieselschlepper

Grundsätzlich ist Maschinenausstattung des Betriebes so ausgelegt, dass der Methanschlepper jegliche Arbeiten ersetzen könnte, ohne eine Maschinenanpassung in der Ausstattung vorzunehmen. Dies vereinfacht den Vergleich von Diesel- zu CNG-Traktor. Es wird eine gesamte Umstellung auf CNG betrachtet. Um einen sinnvollen Vergleich aufzustellen, liegt jeweils ein Angebot für ein New Holland T6.180 Methanpower und einen T6.180 mit Dieselantrieb mit denselben Ausstattungsmerkmalen vor. Zunächst wird der CNG- und der Dieselschlepper hinsichtlich ihres Anschaffungspreises und der jährlichen Auslastung miteinander verglichen, um die Gesamtkosten je Betriebsstunde zu errechnen. Hierfür wurde eine Matrix erstellt, welche die Kosten gegenüberstellt (siehe Tabelle 2). Der Restwert für den CNG-Traktor ist in diesem Beispiel nur schwer herzuleiten, da die Marktlage für die Zukunft nicht vorhersehbar ist. Aufgrund dessen wird mit demselben Restwert kalkuliert. In der Matrix wird deutlich, dass der CNG-Schlepper natürlich aufgrund des höheren Anschaffungspreises, berechnet auf die Betriebsstunde, teurer ist als der Diesel Schlepper.

Tabelle 2 Kostenvergleich je Schlepperstunde

		Diesel	CNG
Anschaffungskosten	€	134.989	144.985
jährliche Ausnutzung (Sh)		800	800
Nutzungsdauer in Jahren		10	10
Restwert	€	50.000,0 €	50.000,0 €
Feste Kosten			
Zinsansatz(8%)	€	7.399,6 €	7.799,4 €
Versicherung	€	400,0 €	400,0 €
Abschreibung	€	8.498,9 €	9.498,5 €
feste Kosten insgesamt	€	16.298,5 €	17.697,9 €
<i>feste Kosten je SH</i>	€	20,4 €	22,1 €
Variable Kosten			
Abschreibung (..... €/Sh)	€		
sonstige veränderliche Kosten	€	20.000,0 €	20.000,0 €
variable Kosten insgesamt	€	20.000,0 €	20.000,0 €
<i>variable Kosten je Sh</i>	€	25,0 €	25,0 €
Gesamtkosten	€	36.298,5 €	37.697,9 €
<i>Gesamtkosten je Sh</i>	€	45,4 €	47,1 €

Quelle: New Holland Neyer Landtechnik; Eigene Berechnungen

Das im Vorwege beschriebene Einsparpotential wird anhand der bereits genannten Parameter wie aktuelle Kraftstoffpreise und des geringeren Verbrauchverhältnisses errechnet. Um diese Berechnungen zu veranschaulichen wurde auch hierfür eine Matrix (siehe Tabelle 3) erstellt. Der jährliche Durchschnittsverbrauch je Betriebsstunde wurde anhand des jährlichen Gesamtverbrauches an Diesel von 40.000 Litern und der durchschnittlichen Schlepperauslastung auf vier Schlepper verteilt von 800 Stunden je Jahr errechnet. Daraus ergibt sich ein Durchschnittsverbrauch von 12,5 l je Betriebsstunde. Dieser Wert wurde dann mit dem aktuellen Literpreis von 1,85 €/l Diesel multipliziert um auf die Kosten für Kraftstoff je Betriebsstunde von 22,75 € zu kommen. Daraus resultiert ein jährlicher Preis für Kraftstoffkosten je Schlepper von 18.200 €. Um den Verbrauch des CNG-Traktors zu errechnen, wird der im Vorwege berechnete Durchschnittsverbrauch je Betriebsstunde von 12,5 l mit dem Reduzierungsfaktor von 0,7 multipliziert, um den CNG Verbrauch je Betriebsstunde zu erhalten. Dieser Reduzierungsfaktor ergibt

sich aus dem 30 % geringeren Verbrauch je Betriebsstunde. Der CNG-Verbrauch je Betriebsstunde liegt bei 8,75 kg/h. Dieser Wert wird dann mit dem aktuellen Kraftstoffpreis für CNG von 1,40 €/kg multipliziert, um die Kosten für Kraftstoff je Betriebsstunde von 12,25 € zu erhalten. Auf das Jahr berechnet ergeben sich daraus Kraftstoffkosten von 9.800 €. Daraus erschließt sich ein Ersparnis von 8.400 €/Jahr und Schlepper. Um den höhere Anschaffungspreis zu berücksichtigen, wird die Summe aus der Differenz über den Jahresstundenumfang errechnet, welche Mehrkosten von 1360 € je Jahr ergibt. Wenn man nun abschließend die Fördermöglichkeit des BMEL in die Kostenaufstellung mit einfließen lässt, wird deutlich, dass durch die 40 prozentige Förderung ein deutlicher Kostenbonus im Jahr von knapp 6.000 € entsteht. Dies führt schlussendlich zu einer jährlichen Kostenersparnis von 12.840 €. Das Einsparpotential dieser Beispielrechnung kann jedoch hinsichtlich der Einsatzfaktoren des Traktors von Betrieb zu Betrieb stark variieren.

Tabelle 3 Kosten für Kraftstoff und Ersparnis pro Stunde und Jahr

	Diesel	CNG
Verbrauch/h	12,5l	8,75kg
Kraftstoffpreis	1,85/l	1,4/kg
Kosten für Kraftstoff je Stunde	22,75€/h	12,25€/h
Kosten für Kraftstoff pro Jahr	18.200,00 €	9.800,00 €
Einsparung durch CNG		8.400 €
Mehrkosten durch Anschaffung		1.360 €
Förderprogramm 40% der Anschaffungskosten		5.800 €
Gesamtersparnis pro Jahr		12.840 €

Quelle: Eigene Darstellung

New Holland hat zudem ein Methan Kalkulator bereitgestellt, welcher je nach Einsatz und Umweltfaktoren wie jährlicher Auslastung, aktuelle Kraftstoffkosten und Auslastung je Einsatzgebiet, die Gesamteinsparung hinsichtlich Kosten und CO₂ im Vergleich zu einem T6.180 mit Dieselantrieb errechnen kann (siehe Abbildung 7). Bei den Ergebnissen handelt es sich jedoch nur um eine Simulation. Der Mehrpreis für den CNG-Traktor wird hier nicht berücksichtigt.



Abbildung 7 Methancalculator

Quelle: <https://agriculture.newholland.com/de-de/europe/unsere-vision/nachhaltige-landwirtschaft/methan-kalkulator>

5.3 CO₂ Ersparnis durch Biomethannutzung

Durch die im Vergleich veranschaulichten Daten fällt auf, dass der Methan-Traktor einen geringeren Verbrauch aufweist. Neben diesem Faktor ist es zudem möglich unter Einsatz von Biomethan den Ausstoß der Gesamtemissionen um bis zu 80 % zu senken. Dabei werden bei der Verbrennung von CNG 99 % weniger Rußpartikel und 10 % weniger CO₂ freigesetzt (New-Holland, 2023). Im Sinne der Energy Independent Farm wirkt der T6 Methan Power als Schlüsselement der energieunabhängigen Farm. Er stellt das Bindeglied im vollständigen CO₂-neutralen Kreislauf dar, da die in der Landwirtschaft erzeugte Energie gespeichert werden kann und mithilfe dieses Schleppers direkt wiederverwertet wird (New-Holland, 2023). Das bedeutet, dass im Gegensatz zum fossilen Brennstoff Diesel beim Biomethan im Voraus CO₂ in der Energiepflanze gebunden wurde. Somit hat das Biogas bis zur Verbrennung im Fahrzeug einen negativen CO₂-Fußabdruck. Wie auch im Voraus aus der Simulation von New Holland hervor ging, hat man demnach eine auf die Nutzungsdauer von zehn Jahren berechnete Gesamt-CO₂-Einsparung

von 444 to (New Holland, 2023). Um das CO₂-Einsparpotential des Methan-Traktors zu bewerten, wird zunächst der Umfang der CO₂-Emissionen aus der Landwirtschaft dargelegt. Laut Aussage des Umweltbundesamtes stammen 76,7 % der Methan-Emissionen und 77,5 % der Lachgas-Emissionen in Deutschland im Jahr 2022 aus der Landwirtschaft. Dieser Wert entspricht somit einem CO₂-Äquivalent von ca. 55,5 Millionen Tonnen. Das entspricht 7,4 % der gesamten Treibhausgas-Emissionen (THG-Emissionen) des Jahres. Diese Emissionen sind aber im Wesentlichen auf die Methan-Emissionen aus der Tierhaltung zurück zu führen. Hier werden durch Lagerungsprozesse der Wirtschaftsdünger aber auch durch die Ausbringung dieser und der für die Felder notwendige Mineraldünger diese Emissionen freigesetzt (Umweltbundesamt, umweltbundesamt.de/daten/land-forstwirtschaft/beitrag-der-landwirtschaft-zu-den-treibhausgas#klimagase-aus-landwirtschaftlich-genutzten-boden, 2023). Ein weiterer Punkt sind die Emissionen aus landwirtschaftlich genutzten Böden. Diese Emissionen entstehen mitunter bei Landnutzungsänderungen wie dem Grünlandumbruch oder durch Umsetzungsprozesse von Nährstoffen im Boden. Dieser Anteil beträgt in Deutschland pro Jahr 16,1 Mio. Tonnen CO₂ Äquivalent. Gegenüber diesen Emissionsmengen werden die bei der Verbrennung entstehenden Schadstoffmengen des Schlepperbetriebes nicht einmal mit aufgeführt. Um trotzdem ein Vergleich aufzeigen zu können, wird mithilfe von Durchschnittswerten ein grober Anhaltswert über den CO₂-Ausstoß errechnet. Wenn man den Durchschnittswert von 100 l Diesel je Hektar und Jahr als Berechnungsansatz nimmt und diesen Wert mit der gesamte Ackerfläche in Deutschland von ca. 11,62 Millionen Hektar (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, 2022) multipliziert, ergibt sich daraus ein durchschnittlicher Dieserverbrauch von 1,162 Milliarden Liter Diesel pro Jahr. Wenn von einem durchschnittlichen CO₂-Ausstoß von 2,65 Kilogramm je Liter Diesel (August, 2020) ausgegangen würde, hieße das, dass alle Traktoren für die Bewirtschaftung der gesamten deutschen Ackerfläche 3,0793 Millionen Tonnen CO₂ ausstoßen. Dieser Wert entspricht 0,41 % der THG Emissionen des Jahres. Wenn nun der gesamte Traktoreinsatz im Ackerbau in Deutschland auf den CNG betriebenen New Holland umgestellt werden könnte, läge das CO₂ Einsparpotential von 307.930 t vor, welches einem Anteil von 0,041 % entspräche.

5.4 CNG Infrastruktur

Der Tankprozess bei einem CNG Fahrzeug läuft ziemlich ähnlich dem Dieseltanken. Dies ist auch der Vorteil von CNG Fahrzeugen gegenüber beispielsweise der E-Mobilität, bei der man auf längere Ladezeiten der Akkus angewiesen ist. Bei der CNG Technologie wird wie beim Dieseltanken eine Zapfpistole an der Tanköffnung angeschlossen, verriegelt und das Gas gelangt in die im Fahrzeug verbauten Tanks. Der ganze Tankprozess ist mit drei bis fünf Minuten angegeben (Zukunft Gas e.V., 2023). Dahingehend steht der Gasantrieb dem Dieselantrieb in nichts nach. Als großer Kritikpunkt der CNG Technik gilt die eher geringe Anzahl von Erdgastankstellen. Diesbezüglich ist es sowohl im Straßenverkehr als auch für die Nutzung in der Landwirtschaft ein deutlicher Nachteil. Derzeit gibt es in Deutschland nur rund 720 CNG Tankstellen. In Europa sind es aktuell 4.180 wobei Italien mit 1539 CNG Tankstellen die meisten CNG-Tankstellen besitzt (GibGas, 2023). Hinsichtlich der Verwendung in der Landwirtschaft wäre es dann von Vorteil, dass es entweder eine Tankstelle direkt im Ort gibt oder der Betrieb eine eigene CNG-Tankstelle auf dem Hof hat. Der idealste Fall ist, dass ein landwirtschaftlicher Betrieb eine Biogasanlage besitzt, an welche eine Gasaufbereitung angeschlossen ist, um den eigenen Kraftstoff zu erzeugen und mit eigener Infrastruktur für die Tankmöglichkeit zu sorgen. In diesem Fall ist auch der Punkt der geringeren Laufzeit durch den geringeren Kraftstoffvorrat wie im Vorwege erwähnt nicht ausschlaggebend. Denn durch die eigene Tankstelle wäre bei jeder Hofanfahrt ein Tankvorgang möglich. Darüber hinaus gibt es auch Lösungen um den CNG Schlepper auch am Feld zu tanken. Hierfür bieten verschiedene Hersteller, mobile Tanklösungen an (siehe Abbildung 8) (GasCom-Equipment, 2023).



Abbildung 8 Mobile Kleinsttankstelle

Quelle: GasCom.de

Bei diesem System werden volle Flaschenbündel, welche sich auf dem Anhänger befinden, zum Feld gefahren und das jeweilige Fahrzeug betankt. Nachteil hierbei ist, dass der Tankvorgang nur bis zum Druckausgleich zwischen Bündel und Fahrzeugtank vorgenommen werden kann (GasCom-Equipment, 2023).

6 Diskussion und Empfehlung

Wie in den vorherigen Kapiteln verdeutlicht wurde, wirft die Alternative CNG als Kraftstoff für Traktoren doch einige Diskussionspunkte auf. Hinsichtlich der Kosteneinsparung wird deutlich, dass für Betriebe, in denen dieser Traktor im Leistungsniveau passt, eine Alternative darstellen könnte, sofern eine Tankmöglichkeit gegeben ist. Allein auf Grund der geringeren Kraftstoffkosten würde sich der Schlepper mit den Jahren bezahlt machen und einen deutlichen Kostenunterschied im Gegensatz zum vergleichbaren Dieselschlepper generieren. Dazu kommt noch die Fördermöglichkeit von 40 % der Netto-Anschaffungskosten. Wenn man dies noch auf die gesamte Nutzungsdauer hochrechnet, ergibt sich daraus ein weiterer Kostenvorteil pro Jahr. Im Zusammenhang mit der Vertankung von Biomethan steht der Aspekt der Klimaschonung und des geringeren Ausstoßes von CO². Wie in Kapitel 5 jedoch deutlich wurde, ist der Anteil des CO₂- Ausstoßes durch die in der Landwirtschaft genutzten Traktoren im Verhältnis des CO₂-Ausstoßes, welcher durch die Tierhaltung und den Einsatz von Düngemitteln generiert wird, fast schon marginal. Interessant würde der komplette Kreislaufgedanke jedoch werden und demzufolge einen weitaus größeren CO₂ Einsparpotential bieten, wenn durch politische bzw. entgeltliche Anreize die Tierhalter dazu bewegt werden, ihre Wirtschaftsdünger in Biogasanlagen zu verwerten, um die Ausgasung in die Atmosphäre zu verhindern. Dazu müsste jedoch für die Betriebe mehr Planungssicherheit geschaffen werden und darüber hinaus ein klarer politischer Weg erkennbar sein. Ein weiterer großer Diskussionspunkt in der kompletten CNG Technik ist die Verfügbarkeit durch das Tankstellennetz. Seit Jahren gibt es diese Technologie im Automobilbereich, jedoch ist durch die eher geringe Nachfrage beim Endverbraucher der Marktanteil der CNG Fahrzeuge eher gering, wodurch die Zahl der bereitgestellten Tankstellen sinkt, wie es sich auch aus dem Resümee des Allgemeinen Deutschen Automobil-Clubs herleiten lässt. Auch wenn die Nutzung der CNG-Technologie erst jetzt in der Landwirtschaft Fuß fasst, ist dieser Umstand doch eher kontraproduktiv, da man zumindest kaum auf öffentliche Tankstellen zurückgreifen kann. Wenn man mögliche alternative Antriebskonzepte in der Entwicklung betrachtet, sieht man

doch deutliches Potential in der CNG- Technik. Auf Grund der lang bewährten Technik und die nur geringe Anpassung der technischen Grundlagen von Verbrennermotoren, welche weltweit das am längsten genutzte Antriebskonzept darstellt, wird dies im Gegensatz zu anderen Systemen, welche sich noch in der Versuchsphase befinden, deutlich. Abschließend ist zu sagen, dass der Einsatz von CNG als Alternative zu Diesel sehr interessant ist und New Holland mit dem CNG-Traktor eine interessante Alternative für landwirtschaftliche Betriebe geschaffen hat. Aufgrund dessen, dass der T6.180 das einzige Modell ist, grenzt es den Einsatzbereich wiederum etwas ein. Für große Ackerbaubetriebe wird dieser Schlepper nur bedingt brauchbar sein, da diese Betriebe meist auf größere Schlepper ausgerichtet sind. Hier würde das Modell wahrscheinlich nur im geringen Umfang bei Pflegearbeiten und im Transport auf den passenden Einsatzort stoßen. Viel mehr zielt das Modell auf eher kleinstrukturierte Betriebe ab, welche in diesem ihm ebenbürtigen Leistungssegment unterwegs sind.

7 Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wird die Frage untersucht, ob der Einsatz von CNG als alternativer Kraftstoff für Traktoren in der Landwirtschaft positive Auswirkungen auf die Kosten, aber auch auf die Umwelt hinsichtlich des Schadstoffausstoßes hat. Hierfür wurde eine umfangreiche Literaturrecherche durchgeführt, um anschließend eine Wertung hinsichtlich der Forschungsfrage durchzuführen. Darüber hinaus wurden auf Grundlage der recherchierten Daten Berechnungen durchgeführt, um eine Aussage über die Kosteneinsparung bei der Nutzung eines CNG- Traktors zu erlangen. Als Grundlage für die theoretische Umsetzung der CNG Nutzung für die Landwirtschaft, wurde der bereits marktreife New Holland T6.180 Methanpower als Betrachtungsbeispiel genutzt. Im Laufe der Arbeit wurde deutlich, dass der Methan-Traktor einen deutlichen Kostenvorteil bietet. Jedoch stellt sich die individuelle Frage, ob eine praktische Umsetzung auf den Betrieben möglich ist, da das öffentliche CNG-Tankstellennetz ausbauwürdig ist. Optimal wäre die Nutzung einer bestehenden Biogasanlage mit darauffolgender Gasaufbereitung und eigener Hoftankstelle. Diese Hoftankstelle könnte neben dem Einsparpotential der Eigennutzung auch als zusätzliche Einnahmequelle betrachtet werden, da man zum einen mit Mineralölkonzernen die Treibhausgasminderungsquote handeln könnte und zum anderen als Tankstellenbetreiber die Erlöse aus der CNG-Vermarktung generiert. In politischer Hinsicht wird deutlich, dass in Zukunft immer weniger fossile Energieträger zur Verfügung stehen werden, wodurch die Nutzung von CNG eine mögliche Alternative darstellt.

9 Literaturverzeichnis

- Agriculture, N. H. (28. 08 2023). *agriculture.newholland.com/de-de/europe/unsere-vision/besondere-projekte*. Von agriculture.newholland.com/de-de/europe/unsere-vision/besondere-projekte: <https://agriculture.newholland.com/de-de/europe/unsere-vision/besondere-projekte> am 28.08.23 abgerufen
- Ahrens, S. (2019). *Statista.com*. Von Statista.com: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/162116/umfrage/anzahl-der-ackerschlepper-in-deutschland-seit-dem-jahr-2001/#:~:text=Diese%20Statistik%20zeigt%20die%20Entwicklung,Millionen%20Ackerschlepper%20in%20Deutschland%20registriert.> am 30.08.23 abgerufen
- Allgemeiner Deutscher Automobil-Club. (29. 08 2023). *presse.adac.de/meldungen/adac-ev/verkehr/dieselpreis-im-ersten-halbjahr-2023-normalisiert*. Von presse.adac.de/meldungen/adac-ev/verkehr/dieselpreis-im-ersten-halbjahr-2023-normalisiert: <https://presse.adac.de/meldungen/adac-ev/verkehr/dieselpreis-im-ersten-halbjahr-2023-normalisiert> am 29.08.23 abgerufen
- August, K. (08. 01 2020). *Helmholtz.de*. Von Helmholtz.de: <https://www.helmholtz.de/newsroom/artikel/wie-viel-co2-steckt-in-einem-liter-benzin/#:~:text=Warum%20das%20so%20ist%20C%20erkl%C3%A4rt,es%202%20C65%20Kilogramm%20CO2.> am 28.08.23 abgerufen
- Basshuysen, R. (2015). *Erdgas und erneuerbares Methan für den Fahrzeugantrieb*. Wiesbaden: Springer Fachmedien .
- Bode, M., & Partz, J. (01 2023). *fluessiggas1.de/lng-gas-entstehung-und-einsatz-von-fluessigerdgas/*. Von fluessiggas1.de/lng-gas-entstehung-und-einsatz-von-fluessigerdgas/: <https://www.fluessiggas1.de/lng-gas-entstehung-und-einsatz-von-fluessigerdgas/> am 30.08.23 abgerufen
- Böhm, J. (16. 03 2023). *Berichte über Landwirtschaft*. Von <https://buel.bmel.de/index.php/buel/article/view/462> am 30.08.23 abgerufen
- Bundesamt, S. (10. 08 2023). *destatis.de/Europa/DE/Thema/GreenDeal/_inhalt.html*. Von destatis.de/Europa/DE/Thema/GreenDeal/_inhalt.html: https://www.destatis.de/Europa/DE/Thema/GreenDeal/_inhalt.html abgerufen
- Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. (2022). *Das Erneuerbare-Energien-Gesetz*. Von Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz: <https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Dossier/eeg.html#:~:text=Durchschnittsstrompreisverordnung-,Ziele%20des%20Erneuerbare%2DEnergien%2DGesetzes,mindestens%2080%20Prozent%20zu%20steigern.> am 26.10.23 abgerufen
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. (2022). *Daten und Fakten*. Berlin: Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft.
- Bundesministerium für Ernährung und Umwelt. (30. 08 2023). *foerderdatenbank.de*. Von foerderdatenbank.de:

- <https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Bund/BMEL/erneuerbare-energieerzeugung-landwirtschaft.html> am 30.08.23 abgerufen
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz. (30. 08 2023). *bmu.de/media/beschlossene-anpassungen-der-treibhausgasminderungsquote-thg-quote*. Von [bmu.de/media/beschlossene-anpassungen-der-treibhausgasminderungsquote-thg-quote](https://www.bmu.de/media/beschlossene-anpassungen-der-treibhausgasminderungsquote-thg-quote): <https://www.bmu.de/media/beschlossene-anpassungen-der-treibhausgasminderungsquote-thg-quote> am 30.08.23 abgerufen
- Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. (08. 08 2023). *enargus.de/pub/bscw.cgi/d628-2/*/*Aminw%c3%a4sche.html?op=Wiki.getwiki*. Von [enargus.de/pub/bscw.cgi/d628-2/*/*Aminw%c3%a4sche.html?op=Wiki.getwiki](https://www.enargus.de/pub/bscw.cgi/d628-2/*/*Aminw%c3%a4sche.html?op=Wiki.getwiki): https://www.enargus.de/pub/bscw.cgi/d628-2/*/*Aminw%c3%a4sche.html?op=Wiki.getwiki am 08.08.23 abgerufen
- Degenhart, H. P., & Scherzinger, K. M. (2023). *Folgekonzepte für den Weiterbetrieb von landwirtschaftlichen Biogasanlagen*. Lüneburg: Berichte über Landwirtschaft.
- Deutscher Bauernverband. (28. 08 2023). *situationsbericht.de/3/37-transformation-in-der-landwirtschaft*. Von [situationsbericht.de/3/37-transformation-in-der-landwirtschaft](https://www.situationsbericht.de/3/37-transformation-in-der-landwirtschaft): <https://www.situationsbericht.de/3/37-transformation-in-der-landwirtschaft> am 28.08.23 abgerufen
- Esterer, M. (28. 08 2023). *landtechnikmagazin.de/Traktoren-Bild-Der-neue-New-Holland-T6180-Methan-Power-ist-CNG-LNG-sowie-Biomethan-tauglich-negative-CO2-Bilanz-38887-8689.php*. Von [landtechnikmagazin.de/Traktoren-Bild-Der-neue-New-Holland-T6180-Methan-Power-ist-CNG-LNG-sowie-Biomethan-tauglich-negative-CO2-Bilanz-38887-8689.php](https://www.landtechnikmagazin.de/Traktoren-Bild-Der-neue-New-Holland-T6180-Methan-Power-ist-CNG-LNG-sowie-Biomethan-tauglich-negative-CO2-Bilanz-38887-8689.php): <https://www.landtechnikmagazin.de/Traktoren-Bild-Der-neue-New-Holland-T6180-Methan-Power-ist-CNG-LNG-sowie-Biomethan-tauglich-negative-CO2-Bilanz-38887-8689.php> am 28.08.23 abgerufen
- Europäischer Rat, Rat der Europäischen Union. (16. 08 2023). *consilium.europa.eu/de/policies/green-deal/#what*. Von [consilium.europa.eu/de/policies/green-deal/#what](https://www.consilium.europa.eu/de/policies/green-deal/#what): <https://www.consilium.europa.eu/de/policies/green-deal/#what> am 16.08.23 abgerufen
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (08. 08 2023). *biogas.fnr.de/biogas-gewinnung/anlagentechnik/biogasaufbereitung*. Von biogas.fnr.de/biogas-gewinnung/anlagentechnik/biogasaufbereitung: <https://biogas.fnr.de/biogas-gewinnung/anlagentechnik/biogasaufbereitung> am 08.08.23 abgerufen
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (2016). *Leitfaden Biogas Von der Gewinnung zur Nutzung*. Gülzow-Prützen: FNR.
- Fuchs, C. P., Meyer, D., & Poehls, A. (02. 02 2022). *Herstellung und wirtschaftliche Bewertung synthetischer Kraftstoffe zum Antrieb von Verbrennungsmotoren in der*

- Landwirtschaft*. Neubrandenburg: Berichte über Landwirtschaft. Von <https://buel.bmel.de/index.php/buel/article/view/390> abgerufen
- Fuels, O. C. (28. 01 2023). ogcleanfuels.com/de/preise. Von <https://ogcleanfuels.com/de/preise#:~:text=Der%20im%20November%20angek%C3%BCndigte%20Preis,im%20Jahr%202023%20quartalsweise%20festzusetzen>. am 30.08.23 abgerufen
- GasCom-Equipment. (29. 08 2023). [gascom.de/leistungen/mobile-erdgastankstellen/kleinst-tankstellen/](https://www.gascom.de/leistungen/mobile-erdgastankstellen/kleinst-tankstellen/). Von [gascom.de/leistungen/mobile-erdgastankstellen/kleinst-tankstellen/](https://www.gascom.de/leistungen/mobile-erdgastankstellen/kleinst-tankstellen/): <https://www.gascom.de/leistungen/mobile-erdgastankstellen/kleinst-tankstellen/> am 29.08.23 abgerufen
- GibGas. (29. 08 2023). [gibgas.de/Tankstellen/Europainfos](https://www.gibgas.de/Tankstellen/Europainfos). Von [gibgas.de/Tankstellen/Europainfos](https://www.gibgas.de/Tankstellen/Europainfos): <https://www.gibgas.de/Tankstellen/Europainfos> am 29.08.23 abgerufen
- [goclimate.de](https://www.goclimate.de). (09. 08 2023). Von [goclimate.de](https://www.goclimate.de): <https://www.goclimate.de/glossar/erdgas/#was-ist-erdgas> am 09.08.23 abgerufen
- Güll, R. (2016). *Der Traktor*. Baden-Württemberg: Statistisches Monatsheft Baden-Württemberg.
- Heß, D., Klumpp, M., & Dittmeyer, R. (2020). *Nutzung von CO² aus Luft als Rohstoff für synthetische Kraftstoffe und Chemikalien*. Karlsruhe: Karlsruhe Institut of Technology.
- Höcher, D. T. (09. 08 2023). infracon-service.de. Von infracon-service.de: <https://infracon-service.de/blog/gasbeschaffenheit-g260/> am 09.08.23 abgerufen
- Jacobs, H. (22. 05 2023). Persönliches Gespräch. (T. Ludolf, Interviewer)
- Karlsruher Institut für Technologie. (08. 08 2023). [kit-technology.de/de/technologieangebote/details/652](https://www.kit-technology.de/de/technologieangebote/details/652). Von [kit-technology.de/de/technologieangebote/details/652](https://www.kit-technology.de/de/technologieangebote/details/652): <https://www.kit-technology.de/de/technologieangebote/details/652> am 08.08.23 abgerufen
- KTBL. (24. 08 2023). daten.ktbl.de/dieselbedarf/home.html;jsessionid=C34DA7298F42A16EA4ADB0C0C3E1B01F#:~:text=Durchschnittlich%20werden%20in%20der%20Landwirtschaft%20rund%20100%20l%20Diesel%20je%20Hektar%20verbraucht. Von daten.ktbl.de/dieselbedarf/home.html;jsessionid=C34DA7298F42A16EA4ADB0C0C3E1B01F#:~:text=Durchschnittlich%20werden%20in%20der%20Landwirtschaft%20rund%20100%20l%20Diesel%20je%20Hektar%20verbraucht.: <https://daten.ktbl.de/dieselbedarf/home.html;jsessionid=C34DA7298F42A16EA4ADB0C0C3E1B01F#:~:text=Durchschnittlich%20werden%20in%20der%20Landwirtschaft%20rund%20100%20l%20Diesel%20je%20Hektar%20verbraucht>. am 24.08.23 abgerufen
- New Holland. (30. 08 2023). agriculture.newholland.com/de-de/europe/unsere-vision/nachhaltige-landwirtschaft/methan-kalkulator. Von [agriculture.newholland.com/de-de/europe/unsere-vision/nachhaltige-](https://agriculture.newholland.com/de-de/europe/unsere-vision/nachhaltige-landwirtschaft/methan-kalkulator)

- landwirtschaft/methan-kalkulator: <https://agriculture.newholland.com/de-de/europe/unsere-vision/nachhaltige-landwirtschaft/methan-kalkulator> am 30.08.23 abgerufen
- New-Holland. (29. 08 2023). *new-holland-center.ch/produkte/traktoren/ackerbautraktoren/t6-methane-power*. Von new-holland-center.ch/produkte/traktoren/ackerbautraktoren/t6-methane-power: <https://www.new-holland-center.ch/produkte/traktoren/ackerbautraktoren/t6-methane-power> am 29.08.23 abgerufen
- Pude, P. D. (26. 03 2021). *Nachwachsende Rohstoffe aus der Region und für die Region*. Rheinbach: Berichte über Landwirtschaft. Von <https://buel.bmel.de/index.php/buel/article/view/352> abgerufen
- Seide, H. (22. 12 2021). New Holland T6.180 Methane in der Praxis: Zu Besuch bei Horst Seide. (K. Senghaas, Interviewer)
- Statistisches Bundesamt. (16. 08 2023). *destatis.de/Europa/DE/Thema/GreenDeal/_inhalt.html*. Von [destatis.de/Europa/DE/Thema/GreenDeal/_inhalt.html](https://www.destatis.de/Europa/DE/Thema/GreenDeal/_inhalt.html): https://www.destatis.de/Europa/DE/Thema/GreenDeal/_inhalt.html am 16.08.23 abgerufen
- Umweltbundesamt. (31. 08 2023). *umweltbundesamt.de/daten/klima/europaeische-energie-klimaziele#zielvereinbarungen*. Von [umweltbundesamt.de/daten/klima/europaeische-energie-klimaziele#zielvereinbarungen](https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/europaeische-energie-klimaziele#zielvereinbarungen): <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/europaeische-energie-klimaziele#zielvereinbarungen> abgerufen
- Umweltbundesamt. (30. 08 2023). *umweltbundesamt.de/daten/land-forstwirtschaft/beitrag-der-landwirtschaft-zu-den-treibhausgas#klimagase-aus-landwirtschaftlich-genutzten-boden*. Von [umweltbundesamt.de/daten/land-forstwirtschaft/beitrag-der-landwirtschaft-zu-den-treibhausgas#klimagase-aus-landwirtschaftlich-genutzten-boden](https://www.umweltbundesamt.de/daten/land-forstwirtschaft/beitrag-der-landwirtschaft-zu-den-treibhausgas#klimagase-aus-landwirtschaftlich-genutzten-boden): <https://www.umweltbundesamt.de/daten/land-forstwirtschaft/beitrag-der-landwirtschaft-zu-den-treibhausgas#klimagase-aus-landwirtschaftlich-genutzten-boden> am 30.08.23 abgerufen
- Zukunft Gas e.V. (17. 08 2023). *gas.info/gas-im-energiemix/mobil-verkehr/erdgas-cng-mobil/alternative-kraftstoffe/vergleich-cng-und-lpg*. Von gas.info/gas-im-energiemix/mobil-verkehr/erdgas-cng-mobil/alternative-kraftstoffe/vergleich-cng-und-lpg: <https://gas.info/gas-im-energiemix/mobil-verkehr/erdgas-cng-mobil/alternative-kraftstoffe/vergleich-cng-und-lpg> am 17.08.23 abgerufen

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, Tobias Ludolf, an Eides statt, dass die vorliegende Arbeit mit dem Thema „Compressed Natural Gas (CNG) als alternativer Kraftstoff Traktoren“ selbstständig und ohne Nutzung von anderen, als die angegebenen Hilfsmittel, angefertigt wurde. Die aus fremden Quellen direkten oder auch indirekten Gedanken sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch nicht veröffentlicht.

Buendorf, 26.10.2023

Tobias Ludolf

Anhang

New Holland T6.180 Methane Power:

- 6 Zylinder Methan-Motor
- Nennleistung 145PS, Maximalleistung 180PS
- 650/65R38 Fixfelgen hinten
- 540/65R28 Fixfelgen vorne
- Fronthydraulik
- 4 Hecksteuergeräte mechanisch
- Druckloser Rücklauf
- automatisches Zugmaul, Bolzen 38mm automatisch, K80 fest
- Hydraulischer Oberlenker, Schnellkuppler Kat 2/3
- mechanisch gefederte Kabine
- Stoll Frontladerkonsolen
- 14 Arbeitsscheinwerfer
- 50 km/h mit 17x16 Gang-Getriebe
- Deluxe Radio Bluetooth
- Joystick für Frontlader etc.
- 2 Zwischenachssteuergeräte
- 7- & 3-polige Steckdose vorne
- Vorbereitung Spurführung
- Lederlenkrad und Fußmatte

Total: 144.985€ zzgl. MwSt.

Anlage 1 Angebot Methan-Traktor

Quelle: Neyer Landtechnik

New Holland T6.180:

- Dual Command 24x24 Lastschaltgetriebe
- gleiche Bereifung
- FH & FZ
- 4 Hecksteuergeräte elektrisch
- Comfort Luftfedersitz
- Zugmaul|höhenverstellbar, Bolzen38mm, K80 fest
- Kotflügelverbreiterung Standard
- 10 Arbeitsscheinwerfer LED und Halogen
- Deluxe Radio Bluetooth
- Joystick erweitert
- 2 Zwischenachssteuergeräte DW
- 7- & 3-polige Steckdose vorne
- Kotflügelbedienung beidseitig (Zapfwelle etc.)
- Isobus Steckdose
- Elektronische Parkbremse
- Lederlenkrad und Fußmatte

Total: 134.989€ zzgl. MwSt.

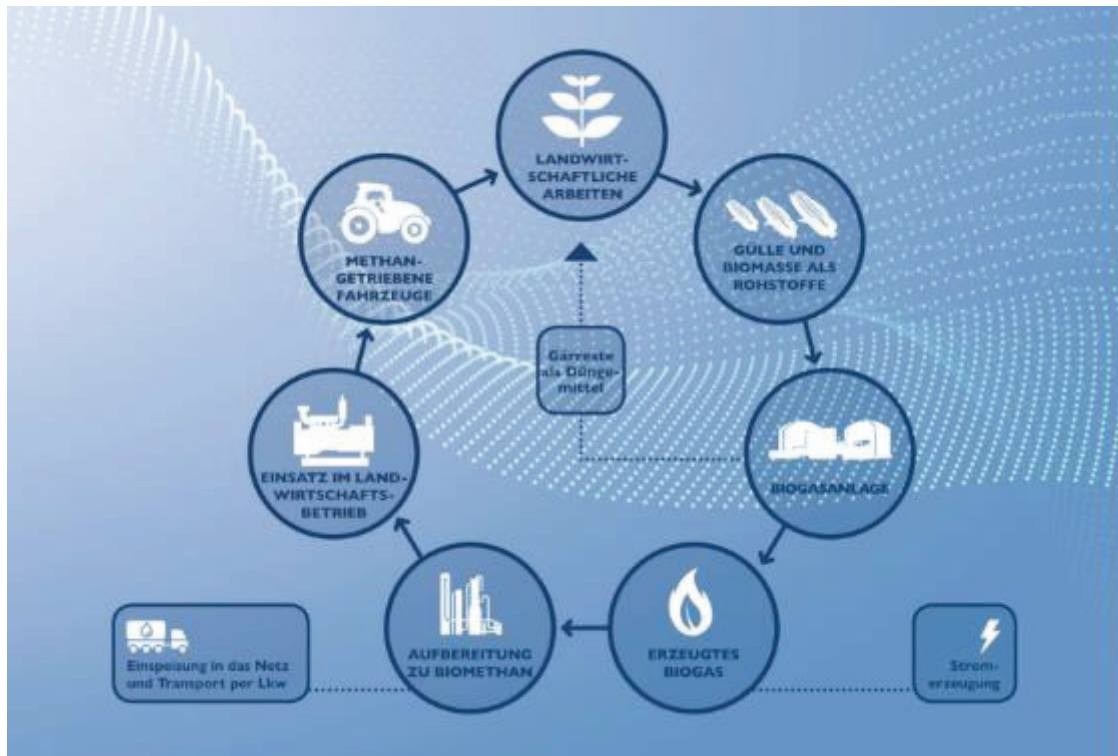
Anlage 2 Angebot T6 Diesel

Quelle: Neyer Landtechnik



Anlage 3 Methan-Traktor New Holland T6.180 Methan Power

Quelle: New Holland Agriculture



Anlage 4 Energy Independent Farm

Quelle: New Holland Agriculture