

Erfahrungen mit Biogas als Traktortreibstoff

J. Fankhauser, H. Ammann, K. Egger, E. Stadler

Die Umrüstung eines Dieselmotors auf Biogas-Zündstrahlbetrieb ist mit verhältnismässig kleinem Aufwand möglich. Bei Gasmangel kann jederzeit rasch auf reinen Dieselpetrieb umgeschaltet werden. Die Bedienung des Traktors bedingt mit Ausnahme des Gastanks keinen Mehraufwand.

Um genügend Energie auf dem Fahrzeug mitführen zu können, muss das Gas in Hochdruckbehältern mitgeführt werden. Die sichere Unterbringung mehrerer solcher Hochdruckflaschen am Traktor, ohne dadurch den Geräteanbau zu erschweren, ist nicht einfach.

Die Verdichtung und Reinigung des Gases erfordert umfangreiche Einrichtungen, die regelmässig und aufmerksam überwacht und gewartet werden müssen.

Diese Aufbereitungsanlagen verursachen zudem grosse Investitionen. Die gesamten Kosten dieses hausgemachten Alternativtreibstoffes betragen das drei- bis vierfache des heutigen zollvergünstigten Dieselpreises.

Mit dem verstärkten Energiebewusstsein der Öffentlichkeit seit

den siebziger Jahren wurden Biogasanlagen für die Landwirtschaft wieder aktuell. Die Zahl solcher Installationen wuchs sprunghaft an. Schon mit dem Bau der ersten Anlagen wurde auch der Wunsch nach «hausgemachtem Treibstoff» aktuell. Die Suche nach einer sinnvollen Verwertung des «Sommerüberschusses» von Biogasanlagen (wenn kein Gas für Heizzwecke verwendet wird) war Anlass, dieser Frage nachzugehen.

Aus wirtschaftlicher Sicht ist Biogas für den Traktorbetrieb bei den heutigen Treibstoffpreisen uninteressant. Bei der totalen Auslandabhängigkeit unserer Landwirtschaft in bezug auf Treibstoffe wurde es aber trotzdem als sinnvoll erachtet, einen Praxisversuch mit einem Biogastraktor und den für dessen Betrieb notwendigen Gasaufbereitungsanlagen durchzuführen (Abb. 1).



Abb. 1: Auf Biogasbetrieb umgerüsteter Versuchstraktor.

Zusammensetzung des Biogases

Biogas ist ein Gasgemisch. Seine Zusammensetzung ist vor allem vom Ausgangsmaterial, aber auch vom Ablauf des Abbauprozesses abhängig. Die Hauptbestandteile sind Methan (CH_4) und Kohlendioxid (CO_2). Der Methangehalt kann zwischen 55 und 80 Volumen-Prozent (Vol-%) betragen und liegt im Mittel bei gut 60 Vol-%. Der Gehalt an Kohlendioxid liegt zwischen 20 und 45 Vol-%. Diese beiden Gase zusammen machen gewöhnlich 95 bis 98% des Volumens aus.

Daneben kann Biogas Schwefelwasserstoff (H_2S), Ammoniak (NH_3), Wasserdampf (H_2O), Kohlenmonoxid (CO), Wasserstoff (H_2) und Stickstoff (N_2) enthalten. Durch Leckagen in der Anlage ist es möglich, dass auch noch Luft und damit Sauerstoff (O_2) ins Gas gelangt.

Energiegehalt

Der Heizwert von Biogas ist direkt vom Anteil an brennbarem Gas – Methan – abhängig. Reines Methan hat einen Heizwert von 36 MJ/m^3 . Für Biogas mit einem Methangehalt von 61 Vol-% errechnet sich damit ein Heizwert von 22 MJ/m^3 . Dieselöl weist demgegenüber einen Heizwert von 36 MJ/l auf.

Verglichen mit Dieselöl benötigt Biogas für dieselbe Energiemenge den 1600fachen Raum. Um genügend Energie auf dem Traktor mitführen zu können, muss das Gas verdichtet wer-

den. Für Fahrzeuge ist infolge gesetzlicher Vorschriften der Druck auf 200 bar beschränkt. Der Energiegehalt lässt sich somit auf etwa 7 MJ/l erhöhen. Zur Speicherung der gleichen Energiemenge wie ein Dieselöltank muss ein 200-bar-Biogas-Druckbehälter den fünffachen Rauminhalt aufweisen.

Anpassung des Fahrzeuges

Das Platzangebot am Traktor für den Anbau von Hochdruckbehältern ist klein. Die Montage von vier handelsüblichen 200-bar-Hochdruckstahlflaschen mit je 40 Litern Inhalt beidseits der Motorhaube war für den Versuchstraktor die geeignetste Lösung. Eine fünfte Flasche gleicher Größe fand noch seitlich unter der Fahrerkabine Platz. Alle Behälter befanden sich innerhalb der Fahrzeugkonturen und waren dadurch vor Beschädigung sicher. Ausserdem ergab diese Anordnung eine günstige Gewichtsverteilung. Nach Entfernung des se-

rienmässigen Ballastgewichtes im Vorderachslagerbock ergab sich durch den Anbau der Behälter ein Mehrgewicht von 200 kg, wovon 150 kg auf der Frontachse lasteten.

Beim Höchstdruck von 200 bar fanden in den total 200 Litern Tankraum etwa 60 m^3 Biogas Platz, was dem Energieinhalt von knapp 40 Litern Dieselöl entspricht.

Umrüstung des Dieselmotors auf Zündstrahlbetrieb

Biogas ist dank seiner hohen Klopffestigkeit ein ausgezeichneter Treibstoff für Motoren mit Fremdzündung. Landwirtschaftstraktoren sind aber heute praktisch ausnahmslos mit Dieselmotoren ausgerüstet.

Wo Biogas für die Arbeitsspitzen nicht in genügender Menge zur Verfügung steht, ist das Zündstrahlverfahren vorteilhaft (Abb. 2). Im Zündstrahlmotor wird das Biogas-Luft-Gemisch so hoch verdichtet, dass sich eingespritzter Dieselkraftstoff selbst entzündet und die Verbrennung

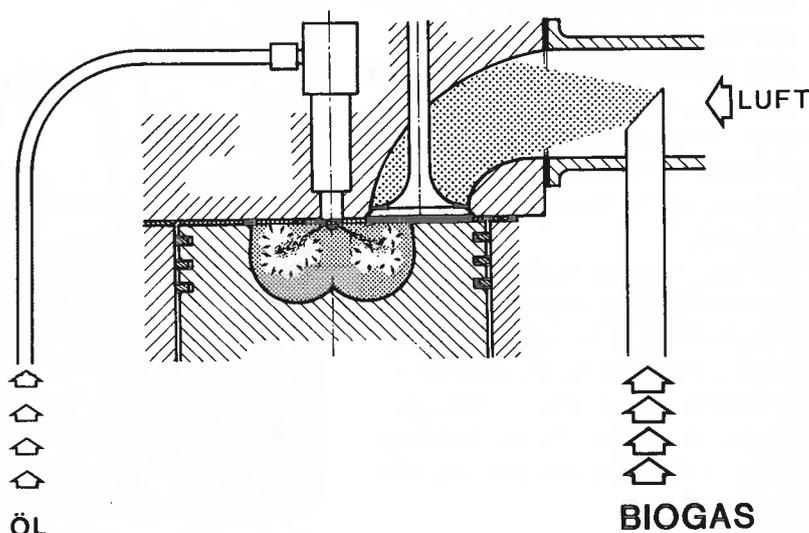


Abb. 2: Im Zündstrahlmotor wird das Biogas-Luft-Gemisch durch eine kleine Menge eingespritzter Dieselkraftstoff entzündet.

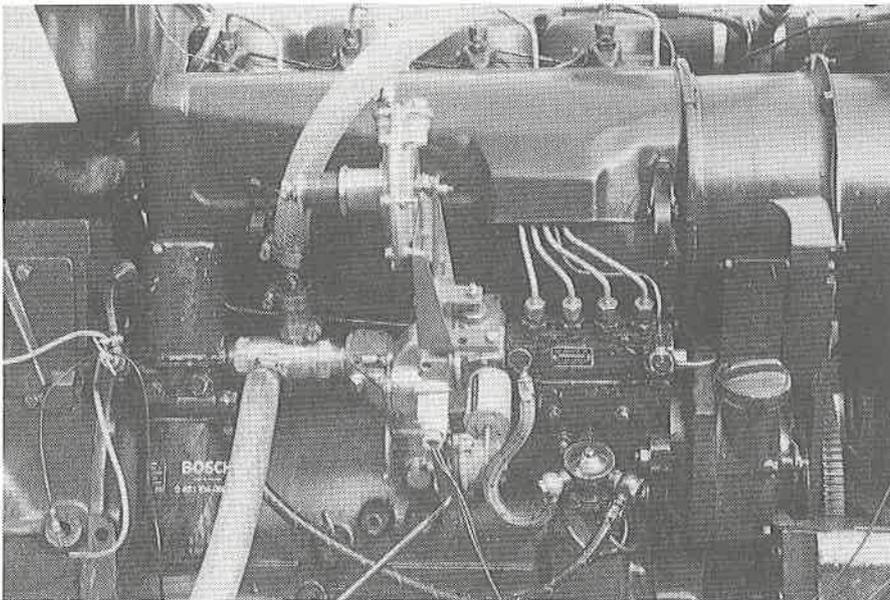


Abb. 3: Anbauteile am Einspritzpumpenregler zur gleichzeitigen Regelung der Zündöl- und Gaszufuhr.

des Gemisches einleitet. Für den Zündstrahlbetrieb wird das Verdichtungsverhältnis des Dieselmotors beibehalten. Auch die ganze Einspritzanlage wird unverändert übernommen, was den Vorteil hat, dass jederzeit rasch auf Dieselbetrieb umgeschaltet werden kann. Die Umbauarbeiten am direkteingespritzten Dieselmotor beschränken sich damit auf die Gaszufuhr ins Saugrohr und die Anpassung der Motorregelung. Allerdings ist die Regelung schwieriger, weil gleichzeitig die Zufuhr von zwei Kraftstoffen geregelt werden muss (Abb. 3).

Gasaufbereitung und -verdichtung

Grösste Aufmerksamkeit gebührt bei der Verwendung von Biogas als Treibstoff der Gasaufbereitung; denn Schwefelwasserstoff, Wasser und hohe Materialspannungen können sehr rasch zu Schäden durch

Spannungsrissskorrosion führen. Hochdruckgefässe sind in dieser Beziehung besonders gefährdet.

Entschwefelung

Für den Einsatz in der Landwirtschaft eignet sich das klassi-



Abb. 4: Entschwefelungsanlage mit zwei Kolonnen für die Reinigung von 50 m³ Biogas pro Tag.

sche Verfahren der Trockenentschwefelung auf der Basis von Eisenoxid. Entsprechende Reinigungsmassen sind auf dem Markt erhältlich und werden häufig in Kläranlagen verwendet. Für die Reinigung eignen sich am besten aufrechtstehende zylindrische Gefässe (Kolonnen), die mit Reinigungsmasse gefüllt sind. Das Biogas strömt von unten nach oben durch die ruhende Schüttung, die sich mit dem Schwefelwasserstoff belädt. Durch Zugabe von Luft kann die Masse wieder regeneriert werden. Die Reinigungswirkung wird allerdings mit der Zeit erschöpft, weil sich an der Masse elementarer Schwefel anlagert.

Für den praktischen Einsatz auf einem Landwirtschaftsbetrieb wurde eine entsprechende Reinigungsanlage geplant und ausgeführt (Abb. 4).

Die erforderliche Reinigungsmasse ist auf zwei Kolonnen verteilt, damit bei der täglichen Regeneration kein Unterbruch entsteht. In jeder Kolonne ist die Adsorbiermasse in drei übereinanderliegenden Kammern aufgeteilt, um eine bessere Gasverteilung und somit eine optimale Ausnützung zu erzielen.

Ein Austausch der Masse ist je nach Schwefelwasserstoffgehalt alle zwei bis vier Monate notwendig. Die verbrauchte Masse wird in Deponien der Klasse 3 abgenommen.

Trocknung

Die Trocknung ist der wichtigste Prozess der ganzen Gasaufbereitung; denn Korrosion steht fast immer im Zusammenhang mit Feuchtigkeit; Kondenswasserbildung in Hochdruckflaschen ist unter allen Umständen zu vermeiden.

Für das Projekt wurde ein Adsorptionstrockner mit Moleku-

larsieb für den Regenerationsbetrieb bei 10 bar zugekauft. Der Trockner ist mit zwei Trocknungsbehältern ausgerüstet, die wechselweise im Betrieb stehen und wieder regeneriert werden. Seine relativ kleinen Abmessungen ermöglichten den Einbau in die Kompressoranlage. Weil bei der Regeneration Kondenswasser zusammen mit Kohlendioxid Kohlensäure bilden konnte, musste im unteren Teil der Kolonne ein gegen Kohlensäure beständiges Trockenmittel eingefüllt werden.

Verdichtung

Für die Verdichtung auf so hohe Drücke kommen praktisch nur mehrstufige Kolbenkompressoren in Betracht. Für kleinere bis mittlere Landwirtschaftsbetriebe ist eine Liefermenge von 5 m³/h ausreichend.

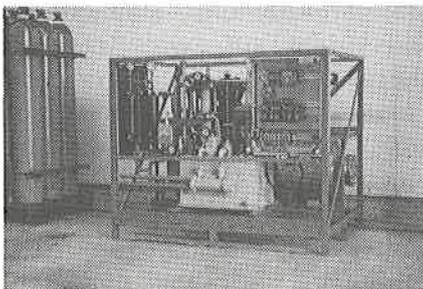


Abb. 5: Kompressoreinheit mit Trockner für die Verdichtung von 5 m³/h Biogas auf 200 bar.

Für den Versuch wurden zwei aufeinander abgestimmte Kompressoren zu einer Verdichtereinheit zusammengebaut (Abb. 5). Ein einstufiger Kompressor (wie er für Druckluftanlagen verwendet wird) verdichtet 8 m³/h auf 10 bar. Unter diesem Druck arbeitet der Regenerations-trockner. Für die weitere Verdichtung von 10 auf 200 bar ist ein zweistufiger hydraulischer Kompressor nachgeschaltet. Entsprechende Kompressoren sind in Italien für die Verdichtung von Erdgas auf dem Markt.



Abb. 6: Auftanken des Traktors mit Biogas aus dem stationären Druckgaslager an der Tankstelle.

Hochdruck-Gaslager/Tankstelle

Direktes Befüllen des Traktors mit dem Kompressor kommt nur über Nacht oder während längeren Arbeitsunterbrüchen in Frage. Für das rasche Auftanken während des Tages dient ein stationäres Druckgaslager aus neun handelsüblichen Hochdruckbehältern mit je 50 l Inhalt. Unter einem Druck von 200 bar fasst der Speicher rund 130 m³ Biogas. Beim Umfüllen in den völlig leeren Tankraum des Traktors wird ein Druckausgleich bei 140 bar erreicht. Die Füllmenge

im «Traktortank» beträgt dabei etwa 40 m³, was zwei Dritteln der maximalen Füllung bei 200 bar entspricht (Abb. 6).

Aufstellung der Aufbereitungsanlage auf dem Landwirtschaftsbetrieb

Bei der Installation dieser Anlageteile auf dem Hof sind vor allem Feuerschutzvorschriften zu beachten. Eine räumliche Trennung der einzelnen Komponenten kann sich dabei – wie auf dem Versuchsbetrieb – als günstig erweisen (Abb. 7). Die beiden Entschwefeltürme fanden im bestehenden Betriebsraum beim Fermenter Platz. Es wäre auch eine Aufstellung im Freien möglich. Der Kompressor wurde in der Remise aufgestellt. Ein trockener, geschützter Platz ist für eine Maschine mit so vielen Armaturen und elektrischen Schaltern Bedingung. Die Aufstellung des Kompressors im

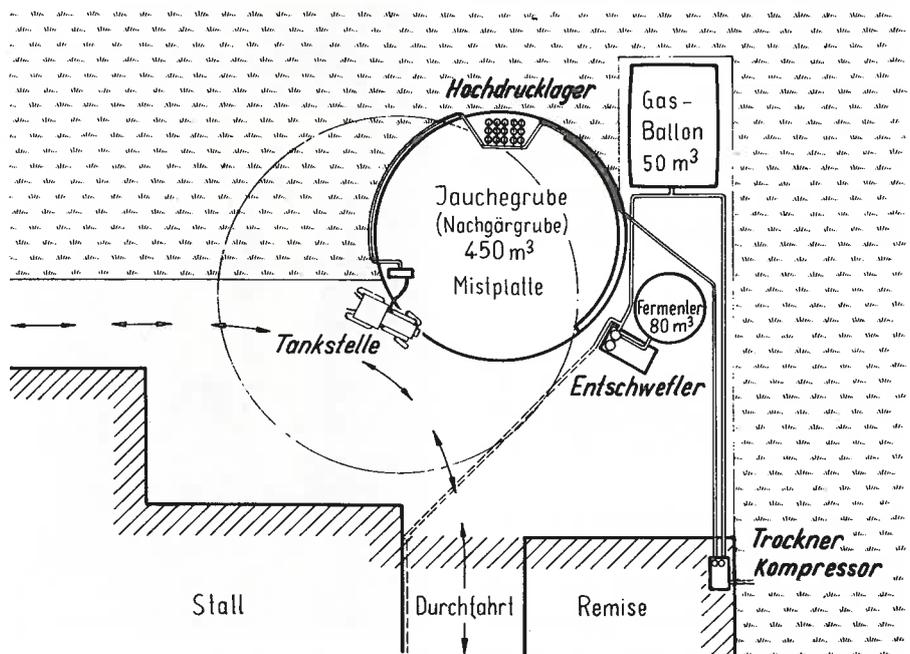


Abb. 7: Aufstellung der Anlageteile für die Gasaufbereitung auf dem Landwirtschaftsbetrieb.

Gebäude bedingt aber, dass möglicherweise austretendes Gas – zum Beispiel von Sicherheitsventilen – ins Freie geführt wird.

Druckbehälter mit brennbarem Inhalt sind so weit als möglich abseits aufzustellen. Diese Forderung ergab den Standort zuhinterst auf der Mistplatte. Eine geeignete Lage für die Tankstelle ist unter Beachtung der explosionsgefährdeten Zone mit einem Umkreis von 10 m der linke Rand der Mistplatte. Diese dezentrale Aufstellung der Anlageteile bedingt aber lange Hochdruck-Gasleitungen und Blitzschutzleiter. Der Installationsaufwand ist beachtlich.

Gesetzliche Bestimmungen

Fahrzeug

Der Traktor ist nach dem Umbau vor der Weiterverwendung den kantonalen Zulassungsstellen für eine Nachprüfung anzumelden.

Gasspeicher

Die Lagerung brennbarer Gase ist Angelegenheit des Feuer-schutzes; ortsfeste Druckbehälter bedürfen einer Baubewilligung. In beiden Fällen ist die Gemeinde erste zuständige Instanz. Sie gibt die weiteren Stellen an, denen ein Gesuch einzureichen ist.

Im vorliegenden Fall wurden sowohl für den Traktor als auch für das Gaslager marktgängige Druckgefäße für die Beförderung von Gasen (Transportbehälter) verwendet. Auch solche Behälter sind bewilligungs- und prüfpflichtig. Sie unterstehen der Abteilung Behälterprüfung der Eidg. Materialprüfungs- und Versuchsanstalt (EMPA).

Versuchsergebnisse

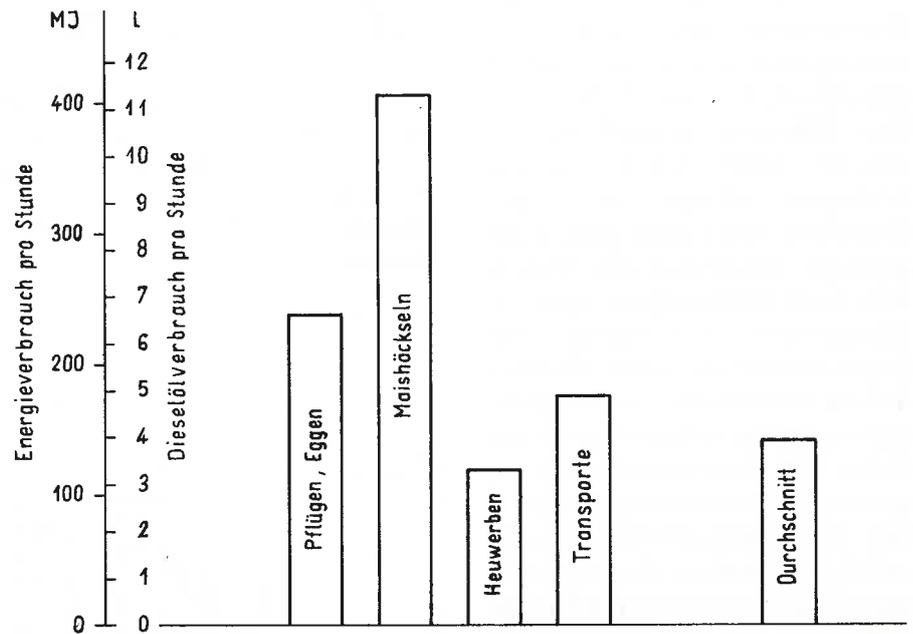
Motorleistung/ Motordrehmoment

Auf dem Prüfstand wurde der Motor so eingestellt, dass im Diesel- und im Zündstrahlbetrieb dieselbe Drehmoment- bzw. Leistungscharakteristik erreicht wird.

Diese Einstellarbeiten erfordern Fingerspitzengefühl, besonders wenn gleichzeitig auf einen möglichst geringen Dieselölverbrauch geachtet werden soll.

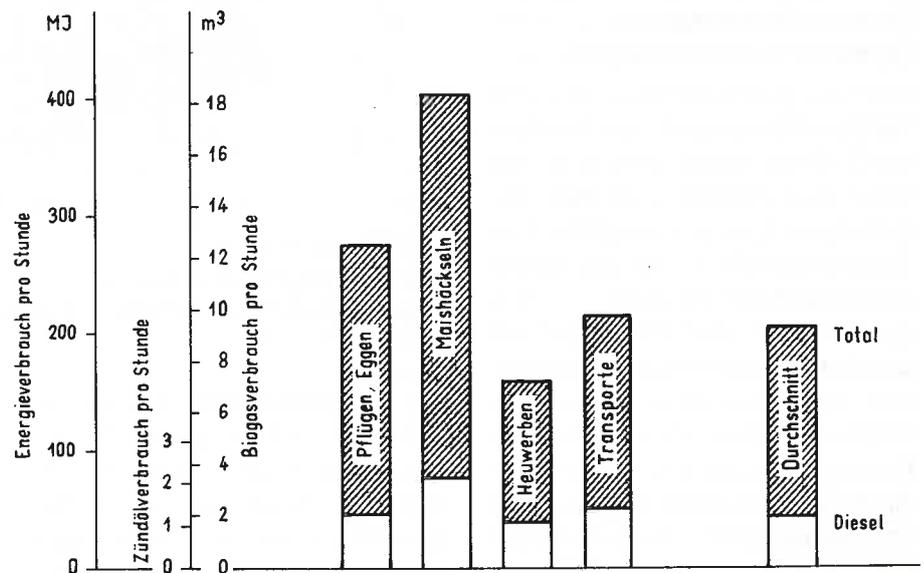
Treibstoffverbrauch

Mit Biogas soll Dieselöl eingespart werden. Inwieweit dies möglich ist, zeigen Verbrauchsmessungen im Diesel- und Zündstrahlbetrieb (Abb. 8 + 9). Die Einsparung an Dieselöl ist



Treibstoffverbrauch im Dieselbetrieb

Abb. 8: Dieselölverbrauch bei verschiedenen Traktor-Einsätzen im Dieselbetrieb.



Treibstoffverbrauch im Zündstrahlbetrieb

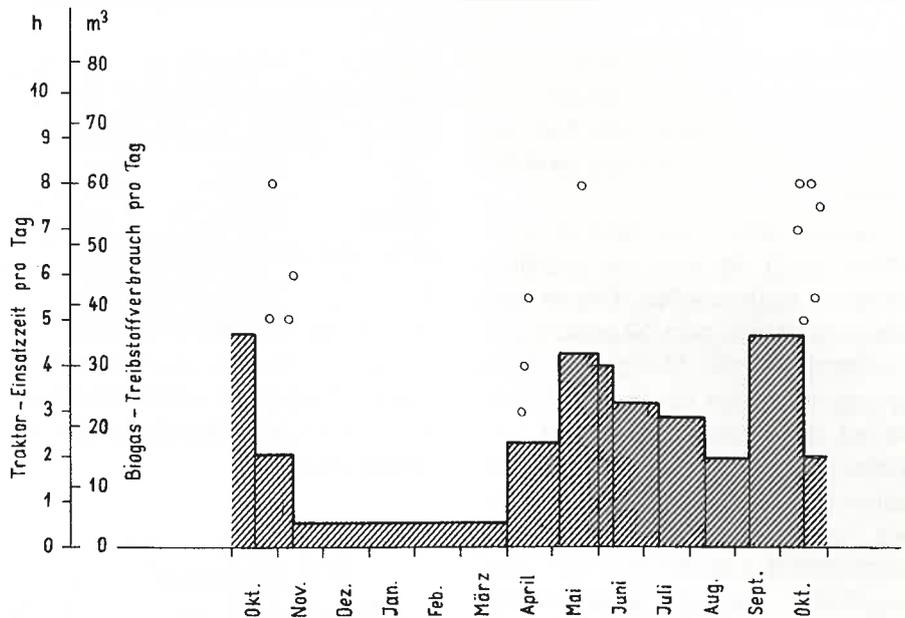
Abb. 9: Biogas- und Dieselölverbrauch bei verschiedenen Traktor-Einsätzen im Zündstrahlbetrieb.

nicht bei allen Arbeiten gleich. Weil die Zündölmenge nicht im gleichen Ausmass zunimmt wie die Belastung des Motors, das heisst wie der gesamte Energieverbrauch des Motors, wird bei schweren Arbeiten wie Pflügen und Maishäckseln am meisten eingespart. Der Dieselölverbrauch liegt hier unter 20% desjenigen im Dieselbetrieb, die Einsparung damit über 80%. Bei leichten Arbeiten wie beim Heuwerben ist etwa ein Drittel der Dieselmenge als Zündöl notwendig. Im Durchschnitt liegt die Einsparung bei zirka 70%.

Der Energieverbrauch ist bei grosser Last, das heisst bei schweren Arbeiten, in beiden Betriebsweisen etwa gleich. Bei geringer Belastung des Motors wie beim Heuwerben oder bei Transporten verbraucht der Zündstrahlmotor mehr Energie als der Dieselmotor. Sein Motorwirkungsgrad ist bei kleiner Last tiefer, die Treibstoffausnützung schlechter als im Dieselmotor. Der Gasverbrauch pro Stunde betrug in unserem Versuchseinsatz im Durchschnitt 7,5 m³. Bei schweren Arbeiten kann er auf das Doppelte ansteigen.

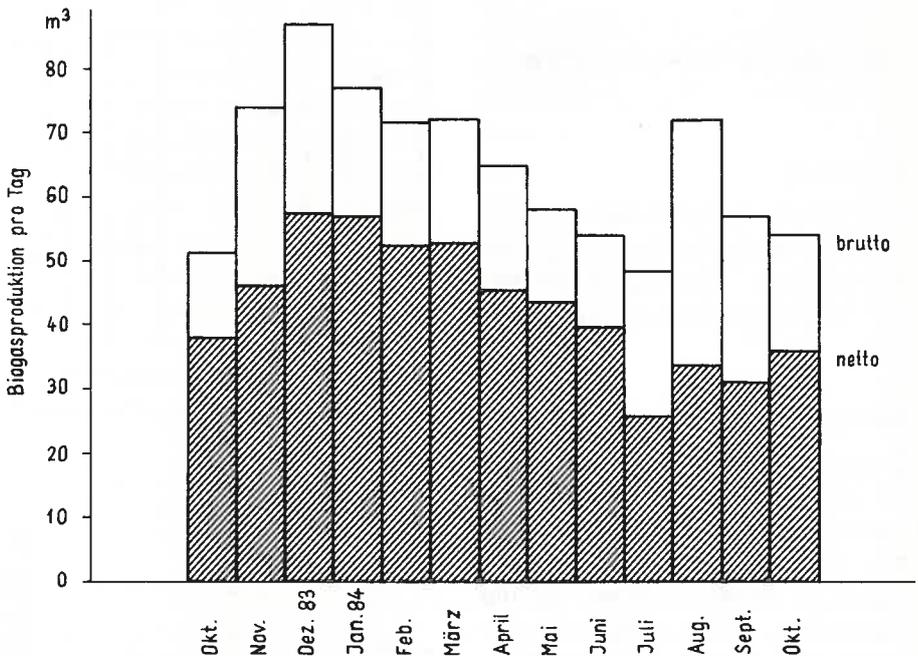
Übereinstimmung von Produktion und Verbrauch

Der durchschnittliche tägliche Treibstoffverbrauch des Traktors im Betrieb lässt sich aus der Traktoreinsatzzeit pro Tag abschätzen. Der durchschnittliche Traktoreinsatz wurde mit einem arbeitswirtschaftlichen Programm errechnet. Die effektiven mit dem Biogastraktor geleisteten Einsätze sind im «Bordbuch» des Traktors eingetragen. Einzelwerte, die wesentlich über dem Durchschnitt liegen, sind im Diagramm eingezeichnet (einzelne Punkte) (Abb. 10). Ein Vergleich mit der effektiven, täglich erfassten Biogasproduktion des Betriebes zeigt, dass



Traktor-Einsatzzeit und Biogas-Treibstoffverbrauch

Abb. 10: Traktoreinsatzzeit und Biogas-Treibstoffverbrauch für den 14 ha-Milchwirtschaftsbetrieb mit Ackerbau berechnet mit einem arbeitswirtschaftlichen Programm sowie effektiv verbrauchte Biogasmengen an Tagen mit Spitzenbedarf.



Biogasproduktion pro Tag

Abb. 11: Tägliche Biogasproduktion des Praxisbetriebs mit 33 Biogas-GVE bei zusätzlicher Hühnermistzugabe während der Heizperiode.

die Nettoproduktion auch in den Monaten mit grossem Traktoreinsatz ausreicht (Abb. 11). Bei gleicher Beschickung der Biogasanlage wie im Winter wäre auch im Sommer eine wesentlich höhere Gasproduktion möglich. Für die Arbeitsspitzen wäre aber auch die gesamte mögliche

Nettoproduktion knapp. Für solche Tage muss eine Treibstoffreserve vorliegen. In diesem Versuch wurde dafür das Hochdrucklager verwendet. Eine gewisse Reserve liegt auch in der Ausnützung der Bruttoproduktion, indem an arbeitsreichen Tagen der Fermenter nicht be-

heizt wird. Dadurch steht kurzzeitig die ganze produzierte Menge zur Verfügung, muss aber später durch entsprechend stärkeres Beheizen der Anlage wieder kompensiert werden. Schliesslich kann auch auf Dieselbetrieb umgeschaltet werden – das ist der Vorteil des Zündstrahlmotors.

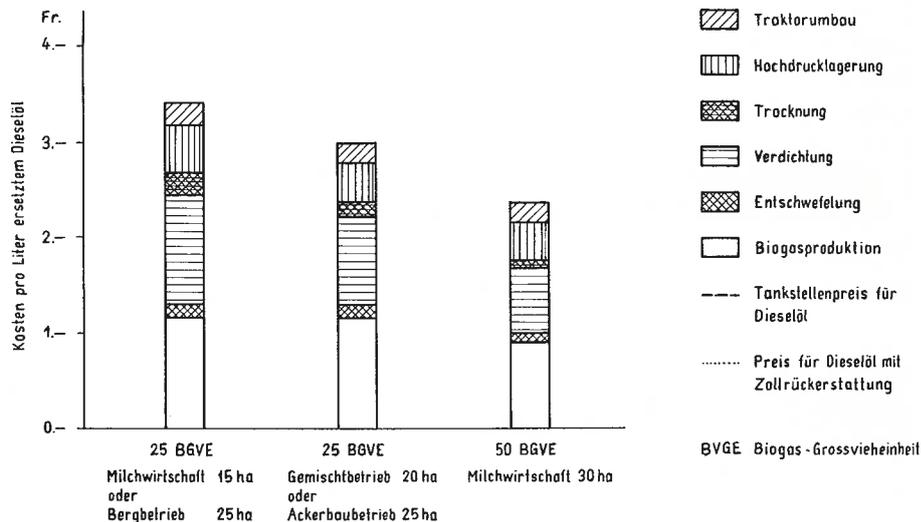
Wirtschaftlichkeit

Die umfangreichen Einrichtungen, die zur Aufbereitung von Biogas zu Treibstoff zusätzlich zur Biogasanlage nötig sind, verursachen grosse Investitionen. Die teuerste Komponente ist der Kompressor mit Fr. 15'000.–. Insgesamt – der Traktorbau eingerechnet – beträgt der Investitionsbedarf für einen Betrieb mit 25 Biogas-GVE bzw. mit einer Gasproduktion von 40–50 m³/Tag Fr. 29'000.–. Für einen Betrieb mit doppelt so grosser Gasproduktion sind ein grösserer Entschwefler und ein grösseres Hochdrucklager notwendig. Der gesamte Investitionsbedarf errechnet sich in diesem Fall auf Fr. 36'000.–.

Die Wirtschaftlichkeit eines Ersatztreibstoffes hängt natürlich direkt vom Preis des zu ersetzenden Treibstoffs – im vorliegenden Fall vom Dieselölpreis – ab. Für den Vergleich wurde deshalb der Preis des Biogases pro Liter ersetztem Dieselöl berechnet (Abb. 12).

Die Kosten schwanken je nach Betriebsgrösse zwischen etwa Fr. 3.40 und Fr. 2.40. Allein die Biogas-Erzeugungskosten sind in jedem Fall höher als der zollvergünstigte Dieseltreibstoffpreis von etwa Fr. –.80 pro Liter für die Landwirtschaft. Die gesamten Treibstoffkosten betragen das drei- bis vierfache dieses Preises.

Allerdings ist bei der Überschussverwertung von Biogas



Treibstoffkosten

Abb. 12: Kosten pro Liter ersetztem Dieselöl für die Biogasproduktion, die Treibstoffaufbereitung, die Lagerung und den Traktorbau für verschiedene Betriebsverhältnisse.

für den Einzelfall abzuklären, welcher Teil der Erzeugungskosten auf den Treibstoffpreis zu schlagen sind. Eine Verbilligung der Aufbereitungskosten wäre allenfalls durch Verzicht auf das stationäre Hochdrucklager möglich. Ohne Berücksichtigung der Erzeugungskosten und ohne Hochdrucklager liegen die Kosten pro Liter ersetztem Dieselöl noch zwischen zirka Fr. 1.80 und Fr. 1.10.

Folgerungen

Die Versuche mit dem Biogas-traktor zeigen, dass die Verwendung des vorhandenen mechanischen Reglers für die Gasregelung möglich ist. Ein Grossteil der auf dem Markt befindlichen Traktoren arbeitet mit Reglern, an denen ähnliche Lösungen realisierbar wären.

Die Bedienung des Traktors bedingt mit Ausnahme des Gas-tanks keinen Mehraufwand. Die Umschaltung der Betriebsart erfolgt mit einem elektrischen Schalter am Armaturenbrett. Richtig eingestellt, ist in

der Praxis gegenüber dem Dieselbetrieb eine Dieselöleinsparung von 70% möglich.

Druckgefässe sind bewilligungs- und prüfpflichtig. Eine Freigabe von Hochdruckflaschen für die Speicherung von Biogas unter den für Methan geltenden Bedingungen (Prüffrist fünf Jahre) ist nur denkbar, wenn eine absolut zuverlässige Reinigung und Trocknung des Gases garantiert werden kann. Das bedingt eine regelmässige, aufmerksame Überwachung und Wartung der Aufbereitungsanlage. Die Verwendung von Biogas als «hausgemachter» Treibstoff lässt sich technisch verwirklichen. Der finanzielle Aufwand – vor allem für die Aufbereitung des Gases – ist jedoch so hoch, dass ein wirtschaftlicher Betrieb bei den heutigen Dieselölpreisen nicht möglich ist.

Diese Versuche wurden unterstützt durch den schweizerischen Nationalfonds im Rahmen des Nationalen Forschungsprogrammes 7 B und durch das COST-Programm 304. Ausführliche Berichte zu diesem Thema sind in den Schriftenreihen der FAT Nr. 18 und 27 zu finden.