

## Warum bauen wir eigentlich so schlechte Biogasanlagen?

Torsten Fischer, Andreas Krieg  
Krieg & Fischer Ingenieure GmbH  
Hannah-Vogt-Strasse 1  
37085 Göttingen  
Tel.: 0551 3057432, Fax: 0551 7707712  
Fischer@KriegFischer.de, www.KriegFischer.de

Es gibt eine Entwicklung hin zu zum Bau größerer Biogasanlagen. Dies liegt darin begründet, dass in den letzten zwei Jahren auch Großbetriebe die Wirtschaftlichkeit der Biogastechnik erkennen. In der Praxis zeigt es sich zunehmend, dass die bis dato eingesetzten typisch landwirtschaftlichen Hofbiogasanlagen, die auf kleineren und mittleren Betrieben gebaut wurden, einfach größer und größer gebaut werden. Dabei gibt es Verfahrenstechniken, die vor über 15 Jahren in Dänemark entwickelt wurden und die besser für Großbetriebe geeignet sind. Es besteht bei den Ingenieurbüros und Anlagenbauern jedoch eine große Unkenntnis in Bezug auf die optimale Verfahrenstechnik. Mit diesem Beitrag sollen einige Grundlagen der Fermentertechnik wieder verstärkt ins Bewusstsein gerückt werden.

### Einleitung

In Dänemark werden seit etwa Mitte der achtziger Jahre Biogasanlagen gebaut. Zu Beginn waren dies in der Mehrheit große, zentrale Biogasanlagen. Dorthin wird die Gülle aus den umliegenden Höfen gefahren, dann zusammen mit Kofermenten vergoren und anschließend landwirtschaftlich genutzt.

Die typische dänische Fermentertechnik wurde ursprünglich in der Form entwickelt, dass große, hohe Stahlfermenter Verwendung fanden, die mit einem zentral auf dem Dach montierten Rührwerk ausgerüstet wurden. Der Wärmeeintrag erfolgt nach diesem Konzept durch vorgelagerte, externe Wärmetauscher.

In Deutschland werden seit etwa Mitte der achtziger Jahre Biogasanlagen gebaut. Zu Beginn waren dies in der großen Mehrheit landwirtschaftliche Hofbiogasanlagen. Der Landwirt verarbeitet die Gülle aus dem eigenen Betrieb zusammen mit Kofermenten und bringt das Gärsubstrat auf den hofeigenen Flächen aus.

Die typische landwirtschaftliche Fermentertechnik mittlerer Anlagen in Deutschland wurde ursprünglich auf der Basis eines Betonbehälters mit Tauchmotorrührwerk und innenliegenden Heizungsrohren konzipiert.

Zwischenzeitlich sind sowohl in Dänemark als auch in Deutschland Biogasanlagen jedweder Art und Größe in Betrieb. In beiden Ländern werden ähnliche Fermentertechniken eingesetzt – je nach Anwendungsfall und Anbieter. Trotzdem sollen in diesem Beitrag die Begriffe

‚dänische Technik‘ und ‚landwirtschaftliche Fermenter‘ in der oben beschriebenen ursprünglichen Form Verwendung finden.

## Konzepte der Fermentertechnik

Es sollen in diesem Beitrag schwerpunktmäßig zwei unterschiedliche Fermentertechniken untersucht werden.

### 1. Dänische Technik

Die Fermenter werden als zweifach emaillierte Stahlbehälter ausgeführt. Das Dach ist üblicherweise emailliert oder von unten mit einer dünnen Edelstahlmembran gegen Korrosion geschützt. Diese Fermenter werden mit Volumina bis ca. 5.000 m<sup>3</sup> gebaut. Durchmesser von 15 m und Höhen von über 20 m sind technischer Standard.

Das Rührwerk ist zentral auf dem Dach befestigt und hängt mit seinem gesamten Gewicht am Dach, es wird also nicht unten abgestützt. Das Dach ist dafür ausgelegt sämtliche Kräfte und Momente aus der Drehbewegung abzufangen. Das Rührwerk arbeitet kontinuierlich und sorgt für eine vollständige Durchmischung des Fermenterinhalt.

Der Wärmeeintrag erfolgt über einen externen Wärmetauscher, der verfahrenstechnisch vor dem Fermenter angeordnet ist. In diesem Wärmetauscher wird unter kontrollierten Bedingungen in optimierter Weise Wärme vom Heizmedium, also Wasser aus dem BHKW, ins Substrat übertragen. Wenn das frische Substrat in den Fermenter eingebracht wird, hat es bereits die entsprechende Vergärungstemperatur.

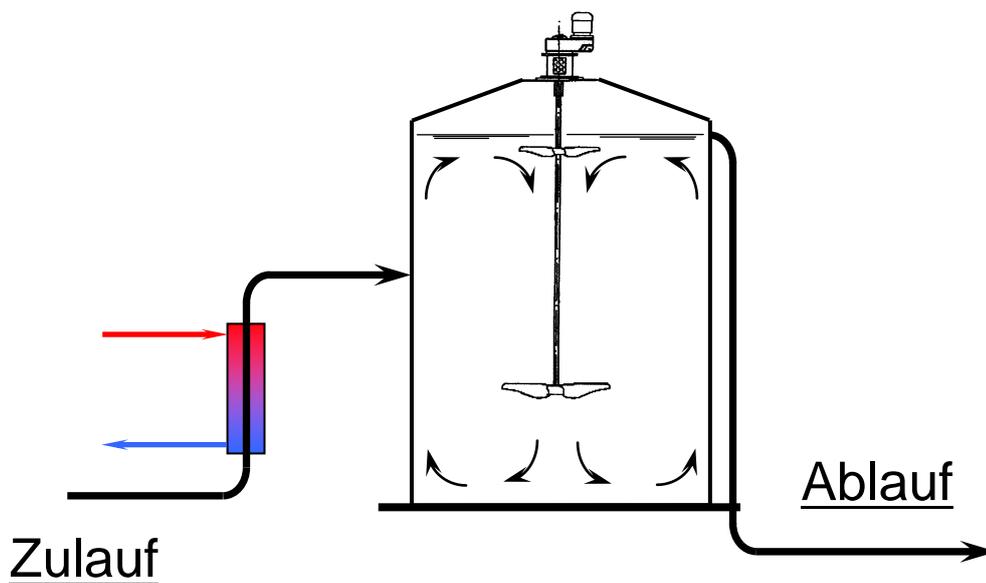


Abb. 1: Fermentertechnik ‚dänische Technik‘

### 2. Landwirtschaftliche Fermenter

Der typische landwirtschaftliche Fermenter in Deutschland ist ein Betonbehälter mit einer Höhe von vier bis sechs Metern und einem Durchmesser bis zu 20 m. Übliche Volumina, die zum Einsatz kommen, liegen zwischen 500 und 1.200 m<sup>3</sup>.

Die Durchmischung des Fermenterinhalt erfolgt über ein oder mehrere Tauchmotorrührwerk(e), das/die je nach Bedarf an- und ausgeschaltet wird/werden.

Diese Rührwerke sind höhenverstellbar und schwenkbar ausgeführt. Zur jährlichen Kontrolle sollten sie durch das Behälterdach geführt und außerhalb des Fermenters gewartet werden.

Innen an oder in der Behälterwand sind Kunststoff- oder Stahlrohrleitungen montiert durch die das heiße Wasser aus dem BHKW gepumpt wird. So erfolgt der Wärmeeintrag in das Substrat.

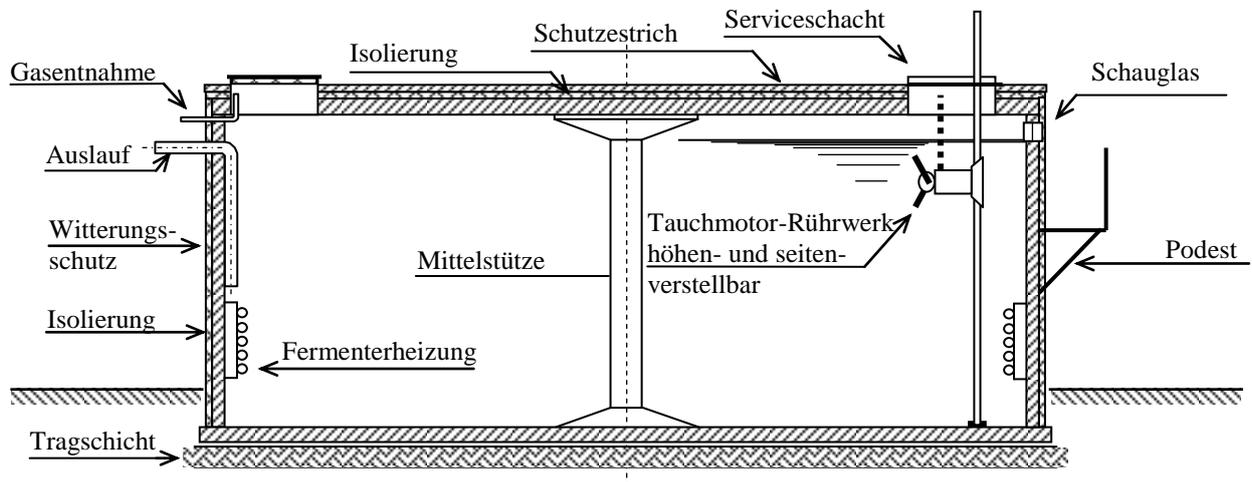


Abb. 2: Fermentertechnik ‚landwirtschaftliche Fermenter‘

Führt man einen Vergleich dieser beiden Techniken durch, so ergibt sich die folgende Tabelle:

	dänische Technik	landwirtschaftliche Fermenter
Behälter	Stahl	Beton
Rührwerk Durchmischung	zentral auf dem Dach kontinuierlich	Tauchmotorrührwerk(e) nach Bedarf
Wärmeeintrag Inputtemperatur Substrat	externe Wärmetauscher 37/55°C	innenliegende Heizungsrohre Umgebungstemperatur
Biogasproduktion Abbaugrad Prozessstabilität		identisch identisch identisch
Verweilzeit (typisch)	20 Tage	40 Tage

Tab. 1: Vergleich der Fermentertechniken

In Dänemark wurden seinerzeit fast alle großen Biogasanlagen für mesophile Temperaturen mit einer Verweilzeit von um die 20 Tage ausgelegt. Grundsätzlich ist eine Reduzierung der Verweilzeiten auf unter 15 Tage möglich. Mittlerweile sind viele der dänischen Anlagen auf

thermophile Temperaturen mit dementsprechend kürzeren Verweilzeiten umgerüstet worden. Dies soll jedoch bei der hier angestellten Betrachtung keine Rolle spielen. Es geht um die Auslegung.

Bei den landwirtschaftlichen Biogasanlagen in Deutschland kommen unterschiedliche Ansätze zum Tragen. Es gibt eine große Schwankungsbreite bei der Verweilzeit. Die einzelnen Anbieter arbeiten bei ähnlichen Techniken mit einer Bandbreite zwischen 30 und 50 Tagen. Typischerweise wurde deshalb in diesem Beitrag eine Verweilzeit von 40 Tagen berücksichtigt.

Es wird aus Tab. 1 deutlich, dass es erhebliche technische Unterschiede gibt, die im Ergebnis eine stark unterschiedliche Verweilzeit ergeben. Man muss beachten, dass eben diese unterschiedlichen Verweilzeiten – 20 Tage im Vergleich zu 40 Tage – eine Verdopplung der Fermentervolumina zwischen der dänischen und der landwirtschaftlichen Technik verursachen. Umgekehrt stellt sich die Frage, warum sich in Deutschland eine landwirtschaftliche Fermentertechnik etablieren konnte, die – bei gleicher Biogasproduktion, gleichem Abbaugrad und gleicher Prozessstabilität – ein doppeltes Fermentervolumen benötigt. Warum bauen wir eigentlich so schlechte Biogasanlagen? Oder, etwas genauer formuliert: warum benutzen wir eigentlich so schlechte Fermentertechniken?

Um diese Frage zu beantworten werden im Folgenden die Durchmischung und der Wärmeeintrag als für die Auslegung einer Biogasanlage hauptsächlich relevante technische Parameter untersucht. Sicherlich spielen weitere Randbedingungen wie die Beschickungsrate eine Rolle. Diese ist jedoch hauptsächlich vom Betrieb der Anlage abhängig und hat wenig mit der Auslegung an sich zu tun. Daher wird sie hier vernachlässigt.

## Durchmischung

Die Durchmischung des Fermenterinhalt muss bei den hier betrachteten Fermentern zwingend erfolgen. Grundsätzlich gibt es verschiedene Ansätze wie den Einsatz von Rührwerken, Gaseinpressung, Umwälzung mit Pumpen, Platten, etc. Von den 1.600 Biogasanlagen in Deutschland sind nach unserer Schätzung jedoch deutlich über 1.500 mit Rührwerken ausgerüstet. Daher spielt diese Technik mit weitem Abstand die größte Rolle.

Die Durchmischung eines Fermenters wird aus mehreren Gründen durchgeführt:

- Optimierung der Nährstoffverteilung
- Vermeidung von Temperaturdifferenzen
- Erleichterung des Aufstiegs der Biogasblasen
- Verhinderung von Sedimentation
- Verhinderung von Schwimmdecken

Eine gute Rührtechnik löst alle diese Aufgaben gleichzeitig. Die Durchmischung sollte zudem schonend erfolgen um die Symbiose einzelner Bakterienstämme nicht zu zerstören. Dies kann nur mit langsam- und mittelschnelllaufenden Rührwerken erzielt werden.

In der Praxis gibt es große Unterschiede. Konkrete Vergleichsmöglichkeiten unterschiedlicher Durchmischungssysteme bei identischer Fermenterkonfiguration und identischem Inputmaterial sind sehr selten gegeben. Auf der Biogasanlage JOHANNESBURG im Emsland sind 1991 zwei bis auf die Rührwerktechnik identische Fermenter mit einem Volumen von je ca. 500 m<sup>3</sup> errichtet worden. Fermenter 1 ist mit zwei Tauchmotorrührwerken (TMR) mit je 11,5 kW ausgerüstet, Fermenter 2 mit einem zentral auf dem Dach montierten Rührwerk (zRw) mit einer Leistung von 2,2 kW. Das topmontierte

Rührwerk läuft kontinuierlich rund um die Uhr, die beiden TMR werden mit einer 20-minütigen Pause und einer Betriebszeit von 25 Minuten gefahren.

Mitte 2001 wurden einige Messungen durchgeführt um die organische Belastung beider Fermenter zu vergleichen.

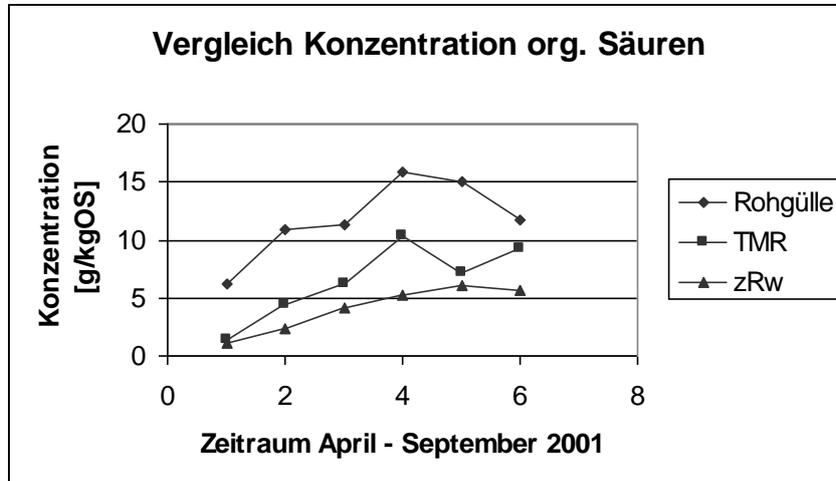


Abb. 3: Vergleich Fermenterdaten Biogasanlage JOHANNESBURG

Es wird deutlich, dass in allen Fällen die Konzentration organischer Säuren im Fermenter 1 – mit den beiden TMR – höher liegt als im Fermenter 2 mit dem topmontierten Rührwerk. Interessant sind hierbei die Betriebszeiten. Trotz einer deutlich höher als bei landwirtschaftlichen Biogasanlagen üblichen Rührzeit der TMR wird keine vergleichbare organische Belastung erzielt. Nimmt man an, dass die elektrische Leistungsaufnahme beim zRw bei 70% der Nennleistung liegt und der entsprechende Wert bei den TMR bei 85% (hier muss die Substratsäule jedes Mal wieder komplett neu in Bewegung versetzt werden), so wurden in Fermenter 1 im Zeitraum 1. April bis 30. September 2001 etwa 47.572 kWh verbraucht und in Fermenter 2 6.764 kWh.

Der Betreiber hat also das 7-fache an Kosten für Fermenter 1 investiert und hat selbst mit diesem Aufwand ein schlechteres Ergebnis als bei Fermenter 2 erhalten. Hieraus wird deutlich welches Potenzial in der Auswahl der optimalen Rührwerktechnik liegt.

## Wärmeeintrag

Die Erwärmung auf für die beteiligten Mikroorganismen optimierte Prozesstemperaturen muss bei den hier betrachteten Fermentern zwingend erfolgen. Grundsätzlich gibt es mehrere Möglichkeiten hierzu:

- externe Wärmetauscher in Form von Doppelrohr-, Spiralwärmetauscher, etc. Hier wird in einem Aggregat unter optimierten Bedingungen das Inputmaterial an dem Heißwasser aus dem BHKW vorbeigeleitet und so die Wärme übertragen. Dabei wird der Wärmeübertrager in Abhängigkeit von dem Materialkennwerten, den Strömungsgeschwindigkeiten und den Temperaturen für den Einzelfall ausgelegt. Das Substrat wird also angewärmt beim Durchgang durch den Wärmetauscher und gelangt vorgewärmt in den Fermenter. Zum Erreichen der Endtemperatur wird das Substrat aus dem Fermenter über den Wärmetauscher so lange im Kreislauf gepumpt bis mesophile Temperaturen (in diesem Falle) erreicht sind.

- Heizungsrohre, die innen im (Beton-)Behälter montiert sind. Es finden Stahl- und PE-Rohre Verwendung. Die Wahl des Materials entscheidet über die maximal einsetzbaren Temperaturen im Vorlauf. Die Heißwasserpumpe pumpt das Heißwasser aus dem BHKW durch die Rohrleitungen. Nur so lange wie gleichzeitig das Rührwerk im Fermenter in Betrieb ist erfolgt ein guter Wärmeübergang. In den Intervallen in denen das Rührwerk außer Betrieb ist, ist der Wärmeübergang begrenzt. Das Substrat wird kalt in den Fermenter gefahren. Gerade im Winter kann dies lokal zu einer Reduktion der Leistungsfähigkeit der Biologie führen. Je nach Betrieb des Rührwerks erfolgt dann der Wärmeeintrag langsamer oder schneller unter undefinierten Bedingungen.
- Heizungsrohre, die außen auf eine (Stahl-)Behälteroberfläche montiert werden. Hierbei handelt es sich um eine technisch suboptimale Art des Wärmeeintrags, da der Wärmeübergang undefiniert ist. Je nachdem wie gut das Heizungsrohr anliegt, wie gut die Isolierung des Behälters ist und wie gut die Durchmischung des Substrats im Fermenter ist, ist ein mehr oder weniger guter Wärmeübergang realisierbar.

Die Verwendung externer Heizungsrohre, die von außen auf den Fermenter aufgebracht werden, wird aufgrund des schlechtest möglich Wärmeeintrags sowohl bei Stahl- als auch bei Betonbehältern nicht weiter untersucht.

Es wurden rechnerisch die beiden ersten Varianten untersucht und die Ergebnisse auf der Basis der im Folgenden dargestellten Modellfermenter eingebunden.

## Modellfermenter

Es sollen anhand von mehreren praxisrelevanten Modellansätzen Untersuchungen bezüglich der Invest- und Betriebskosten angestellt werden. Dabei geht es darum, dass die jeweils optimierten Fermentertechniken eingesetzt und verglichen werden. Konkret soll es immer um die jeweils identische Biogasanlage gehen, die aus Vorgrube, Fermenter, Nachgärung mit Gasspeicherdach und BHKW besteht.

Beispiel: Es wird eine Biogasanlage untersucht, die einen Durchsatz von 10.000 m<sup>3</sup>/a haben soll. Vorgrube, Nachgärung mit Gasspeicherdach und BHKW sind identisch. Nur die Fermentertechnik inkl. Rührwerk und Wärmeeintrag soll wechselweise aus dänischer oder landwirtschaftlicher Technik bestehen. Für die Auslegung werden die vorgenannten Verweilzeiten berücksichtigt. Weitere Ansätze werden bei anderen Durchsätzen gemacht.

Dazu müssen ein paar Randbedingungen festgelegt werden, damit eine einheitliche Ausgangsbasis vorhanden ist:

1. Das Inputmaterial besteht in allen Fällen aus einer Mischung aus Schweinegülle mit einem TS-Gehalt von 6% und Rindergülle mit einem TS-Gehalt von 9%. Der Anteil beträgt jeweils 50%, so dass sich in der Mischung ein TS-Gehalt von 7,5% ergibt.
2. Es geht nicht darum, dass man eine optimierte Vergleichbarkeit der beiden Fermentertechniken im Hinblick auf Qualität oder Gewährleistung erreicht. Vielmehr sollen jeweils die typischen Qualitäten berücksichtigt werden – wie sie eben in der Praxis zurzeit zum Einsatz kommen. Tendenziell ist der Korrosionsschutz bei den doppelt emaillierten Behältern besser als bei Beton. Tendenziell ist die Materialqualität bei den zentral montierten Rührwerken besser als bei den Tauchmotorrührwerken. Tendenziell sind externe Wärmetauscher besser reparierbar als Heizleitungen im Fermenter. Ganz allgemein sind die eingesetzten Qualitäten bei der dänischen Technik besser als bei der landwirtschaftlichen – es handelt sich im allgemeinen um Industriequalität. Dies ist jedoch irrelevant für die hier durchgeführte Untersuchung. Es geht um einen praxisnahen Vergleich der jeweils üblichen Qualitäten.

3. Die landwirtschaftliche Technik basiert auf einem kleineren Betonbehälter, Typ 1, mit einem Durchmesser von 14,5 m und einer Höhe von 5,5 m. Das Volumen beträgt dann bei 0,5 m Freibord 825 m<sup>3</sup> netto, bzw. 908 m<sup>3</sup> brutto. Der größere Betonbehälter, Typ 2, mit einem Durchmesser von 17 m und einer Höhe von 5,5 m wurde als maximal sinnvolle Einsatzgröße dieses Fermentertyps gewählt. Größere Höhen lassen sich mit Tauchmotorrührwerken schlecht durchmischen, größere Durchmesser haben Probleme mit der Wärmeverteilung im gesamten Behälter. Das Volumen beträgt dann bei 0,5 m Freibord 1.135 m<sup>3</sup> netto, bzw. 1.248 m<sup>3</sup> brutto. Größere Durchsätze werden mit mehreren dieser Fermenter erzielt.
4. Die dänische Technik basiert bei jeder Anlage auf einem Fermenter.
5. Alle Fermenter sind mit einer festen Decke ausgerüstet. Selbstverständlich ist den Autoren dieses Beitrags bekannt, dass bei den landwirtschaftlichen Biogasanlagen die Fermenter häufig mit einfachen oder doppelten Membranen ausgerüstet sind. In diesem Falle wird jedoch aufgrund der besseren Vergleichbarkeit eine Betondecke bei diesen Fermentern angenommen.
6. Die landwirtschaftlichen Fermenter Typ 1 werden mit einem Tauchmotorrührwerk mit einer elektrischen Leistung von 11 kW ausgerüstet, die vom Typ 2 mit einem zusätzlichen zweiten Rührwerk identischer Leistung. Innerhalb von drei Stunden wird eine Viertelstunde gerührt. Für die Berechnung der elektrischen Arbeit wird davon ausgegangen, dass während der Laufzeit durchschnittlich 85% der Nennleistung aufgenommen werden.
7. Das zentrale Rührwerk bei der dänischen Technik läuft kontinuierlich 24 Stunden pro Tag. Für die Berechnung der elektrischen Arbeit wird davon ausgegangen, dass während der Laufzeit durchschnittlich 70% der Nennleistung aufgenommen werden. Dieser im Vergleich zu den TMR niedrigere Wert ist darin begründet, dass die Substratsäule kontinuierlich in Bewegung gehalten wird. Bei den TMR muss eine stehende Substratmasse erst in Bewegung versetzt werden. Dies kostet Energie.
8. Die Prozesstemperatur ist mesophil.
9. Bei der Wärmeberechnung wurde die Temperatur des Inputsubstrats im Sommer mit 18 °C und im Winter mit 2 °C angenommen. Die Lufttemperatur (Außentemperatur) soll im Sommer 25 °C und im Winter –5 °C betragen.
10. Bei allen Behältern wird ein Freibord von 50 cm angenommen.
11. Alle Behälter werden inkl. Ausrüstung vollständig montiert errichtet.
12. Es gibt keine Bauhöhenbegrenzung.

Es wurden Anlagendurchsätze zwischen 7.500 m<sup>3</sup>/a und 52.700 m<sup>3</sup>/a, das entspricht etwa 20 m<sup>3</sup>/d und 144 m<sup>3</sup>/d als Grundlage für die folgenden Vergleichsrechnungen gewählt.

Landwirtschaftliche Fermenter									
Fall	Durchsatz	Anzahl	Typ	Durchmesser	Höhe Füllstand	Höhe	Vol. brutto	Vol. netto	
1	7.500 m <sup>3</sup> /a	1	1	14,50 m	5,00 m	5,50 m	908 m <sup>3</sup>	825 m <sup>3</sup>	
2	10.000 m <sup>3</sup> /a	1	2	17,00 m	5,00 m	5,50 m	1.248 m <sup>3</sup>	1.135 m <sup>3</sup>	
3	14.600 m <sup>3</sup> /a	2	1	14,50 m	5,00 m	5,50 m	1.816 m <sup>3</sup>	1.650 m <sup>3</sup>	
4	21.000 m <sup>3</sup> /a	2	2	17,00 m	5,00 m	5,50 m	2.496 m <sup>3</sup>	2.268 m <sup>3</sup>	
5	31.500 m <sup>3</sup> /a	3	2	17,00 m	5,00 m	5,50 m	3.744 m <sup>3</sup>	3.402 m <sup>3</sup>	
6	41.000 m <sup>3</sup> /a	4	2	17,00 m	5,00 m	5,50 m	4.992 m <sup>3</sup>	4.536 m <sup>3</sup>	
7	52.700 m <sup>3</sup> /a	5	2	17,00 m	5,00 m	5,50 m	6.240 m <sup>3</sup>	5.670 m <sup>3</sup>	

Tab. 2: Dimensionierungsansätze für landwirtschaftliche Fermenter

Landwirtschaftliche Fermenter					
Fall	Anzahl TMR	el. Leistung	Laufzeit/d	kWh/d 85%	kWh/a 85%
1	1	11 kW	2,0 h	18,7 kWh	6.826 kWh
2	2	11 kW	2,0 h	37,4 kWh	13.651 kWh
3	2	11 kW	2,0 h	37,4 kWh	13.651 kWh
4	4	11 kW	2,0 h	74,8 kWh	27.302 kWh
5	6	11 kW	2,0 h	112,2 kWh	40.953 kWh
6	8	11 kW	2,0 h	149,6 kWh	54.604 kWh
7	10	11 kW	2,0 h	187,0 kWh	68.255 kWh

Tab. 3: Auslegung Durchmischung (Tauchmotorrührwerke) für landwirtschaftliche Fermenter

Dänische Fermenter							
Fall	Durchsatz	Anzahl	Durchmesser	Höhe	Höhe Füllstand	Vol. brutto	Vol. netto
1	7.500 m <sup>3</sup> /a	1	8,50 m	7,75 m	7,25 m	445 m <sup>3</sup>	415 m <sup>3</sup>
2	10.000 m <sup>3</sup> /a	1	9,40 m	8,45 m	7,95 m	590 m <sup>3</sup>	550 m <sup>3</sup>
3	14.600 m <sup>3</sup> /a	1	10,25 m	9,90 m	9,40 m	815 m <sup>3</sup>	775 m <sup>3</sup>
4	21.000 m <sup>3</sup> /a	1	11,95 m	11,25 m	10,75 m	1.265 m <sup>3</sup>	1.210 m <sup>3</sup>
5	31.500 m <sup>3</sup> /a	1	13,65 m	12,65 m	12,15 m	1.860 m <sup>3</sup>	1.785 m <sup>3</sup>
6	41.000 m <sup>3</sup> /a	1	14,50 m	14,05 m	13,55 m	2.330 m <sup>3</sup>	2.245 m <sup>3</sup>
7	52.700 m <sup>3</sup> /a	1	16,20 m	14,75 m	14,25 m	3.045 m <sup>3</sup>	2.940 m <sup>3</sup>

Tab. 4: Dimensionierungsansätze für dänische Fermenter

Diese Werte wurden dazu verwendet die entsprechenden Angebote für die zentralen Rührwerke einzuholen. Da es die Motoren für diese Rührwerke nur in bestimmten Leistungsgrößen gibt, ist keine kontinuierliche Leistungssteigerung möglich. So wurden beispielsweise für die Fälle 2 und 3 Rührwerke mit unterschiedlichen Abmessungen der Propeller angeboten – mit identischer elektrischer Leistung.

Dänische Fermenter					
Fall	Anzahl zRw	el. Leistung	Laufzeit/d	kWh/d 70%	kWh/a 70%
1	1	2,0 kW	24,0 h	33,6 kWh	12.264 kWh
2	1	5,0 kW	24,0 h	84,0 kWh	30.660 kWh
3	1	5,0 kW	24,0 h	84,0 kWh	30.660 kWh
4	1	6,8 kW	24,0 h	114,2 kWh	41.698 kWh
5	1	7,5 kW	24,0 h	126,0 kWh	45.990 kWh
6	1	9,2 kW	24,0 h	154,6 kWh	56.414 kWh
7	1	15,0 kW	24,0 h	252,0 kWh	91.980 kWh

Tab. 5: Auslegung Durchmischung (zentrale Rührwerke) für dänische Fermenter

Daraus ergeben sich im Vergleich die in Abb. 4 dargestellten elektrischen Verbräuche. Es wird deutlich, dass die notwendige elektrische Arbeit bei allen landwirtschaftlichen

Fermentern niedriger liegt als bei den dänischen Fermentern mit den entsprechenden Durchsätzen.

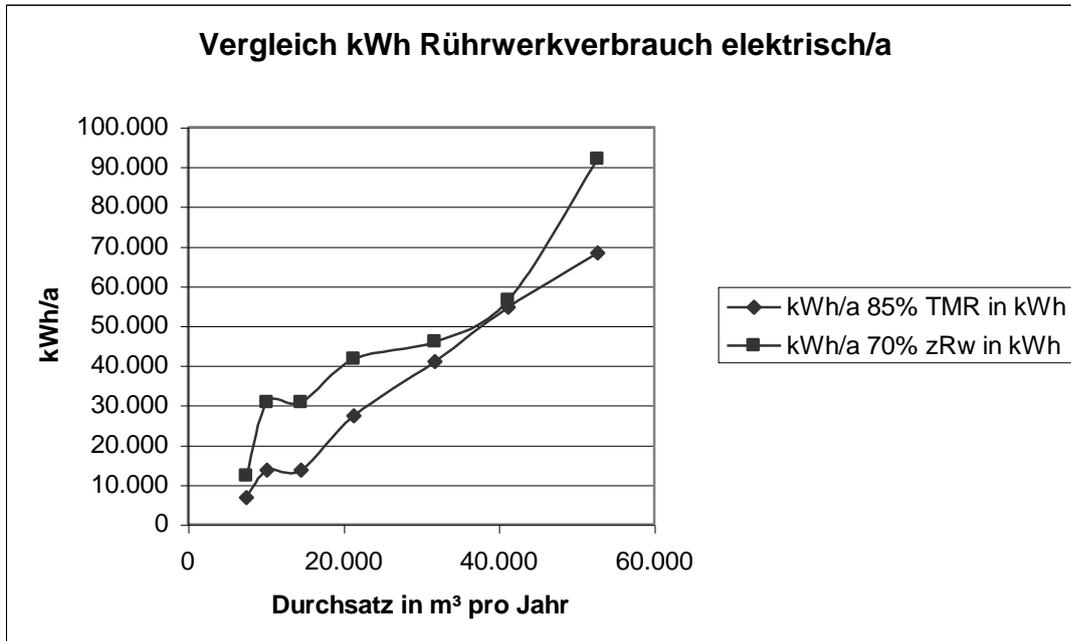


Abb. 4: Vergleich elektrische Rührwerkarbeit landwirtschaftliche/dänische Fermenter

Nun ist es jedoch so, dass für die Durchleitung der angewärmten Gülle durch den externen Wärmetauscher bei den dänischen Fermentern eine gewisse Pumpenleistung aufzubringen ist – als Mehrleistung im Vergleich zum landwirtschaftlichen Fermenter. Berücksichtigt man diese, so ergibt sich der in Abb. 5 dargestellte Zusammenhang. Es wird deutlich, dass der elektrische Verbrauch weiter zuungunsten des dänischen Systems ansteigt.

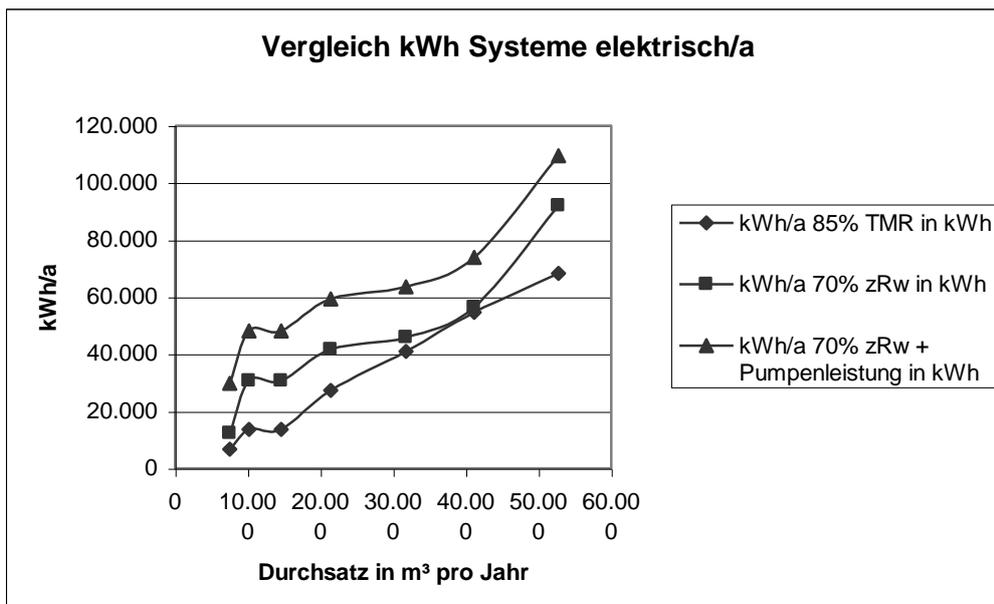


Abb. 5: Vergleich elektrische Systemarbeit landwirtschaftliche/dänische Fermenter

Entsprechend lässt sich die notwendige Wärme darstellen, die für den Betrieb notwendig ist. Hierbei sind zwei unterschiedliche Wärmeverbräuche zu berücksichtigen. Zum einen muss das Inputmaterial von Umgebungs- auf Vergärungstemperatur erwärmt werden. Dieser Wärmeverbrauch ist selbstverständlich bei identischen Durchsätzen unabhängig von der Verfahrenstechnik. Zu Unterschieden kommt es jedoch bei der Verlustwärme aus der Abstrahlung über die Oberfläche der Fermenter.

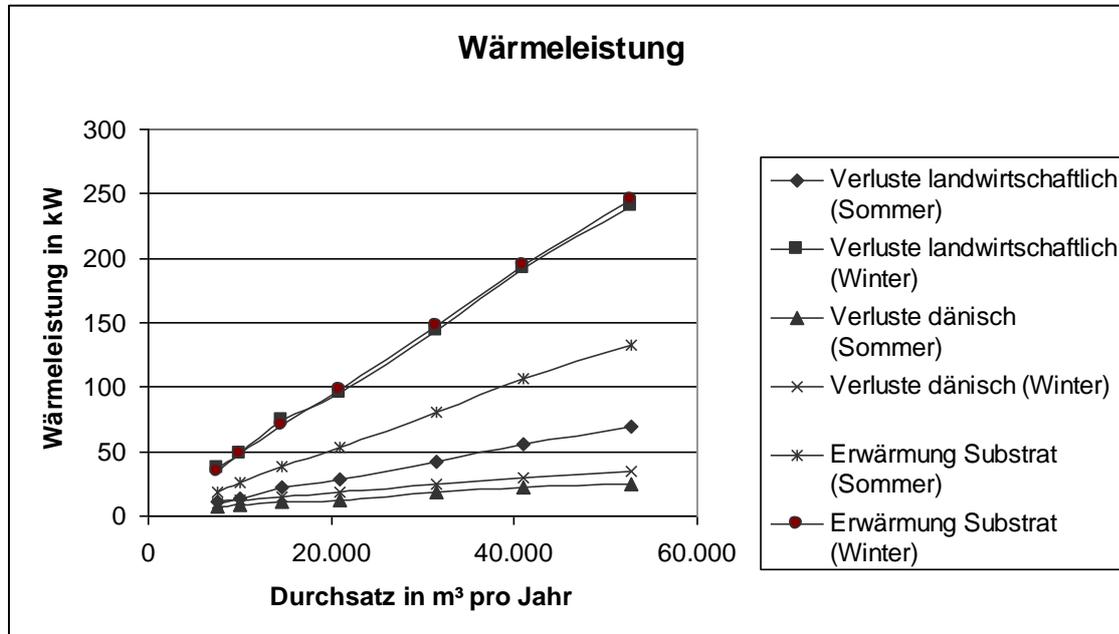


Abb. 6: Wärmeleistung im Vergleich Sommer/Winter und landwirtschaftlich/dänisch

Aus Abb. 6 kann man entnehmen, dass die Abstrahlverluste bei den landwirtschaftlichen Fermentern deutlich höher liegen als bei den dänischen. Da diese Verluste sich rechnerisch proportional zur Oberfläche ergeben, ist dies die logische Konsequenz zum einen aus der größeren Anzahl und zum anderen aus der größeren Oberfläche bei gegebenem Volumen. Dieses Ergebnis ist abhängig von der tatsächlichen Außentemperatur. Tendenziell spricht es für die Nutzung der dänischen Technik bei gegebener Wärmenutzung. Die pauschale Bewertung ist jedoch schwierig. Im allgemeinen steht unabhängig von der gewählten Fermentertechnik ausreichend Wärme zur Verfügung. Deshalb wird die Wärme im Folgenden nicht weiter berücksichtigt.

Unabhängig von den oben betrachteten Verbräuchen stellt sich erst einmal der Invest für diese beiden Fermentertypen dar. Dazu wurden die in Tab. 2 und 4 dargestellten Fermenter verglichen. Es wurden entsprechende Angebote für Behälter, Rührwerke, Wärmetauscher, etc. eingeholt. Das Ergebnis ist in Abb. 7 dargestellt. Daraus wird ersichtlich, dass es – bezogen auf den Invest – ab einem Durchsatz von unter 20.000 m³/a günstiger ist mit dänischer Technik zu bauen.

Zusätzlich zu den Bau- und Gerätekosten ergibt sich bei der landwirtschaftlichen Variante in Abhängigkeit von Stückzahlen (10 – 1) und Leistungsaufnahme der Rührwerke (110 kW – 15 kW) eine umfangreichere EMSR-Technik sowie ein umfangreicherer Rohrleitungs- und Armaturenbau im Vergleich zur dänischen Variante.

Wichtig ist bei der Bewertung der Kosten, dass diese in der hier dargestellten Höhe direkt von den einzelnen Anbietern stammen (und nicht mit dem Aufschlag eines Generalunternehmers versehen sind).

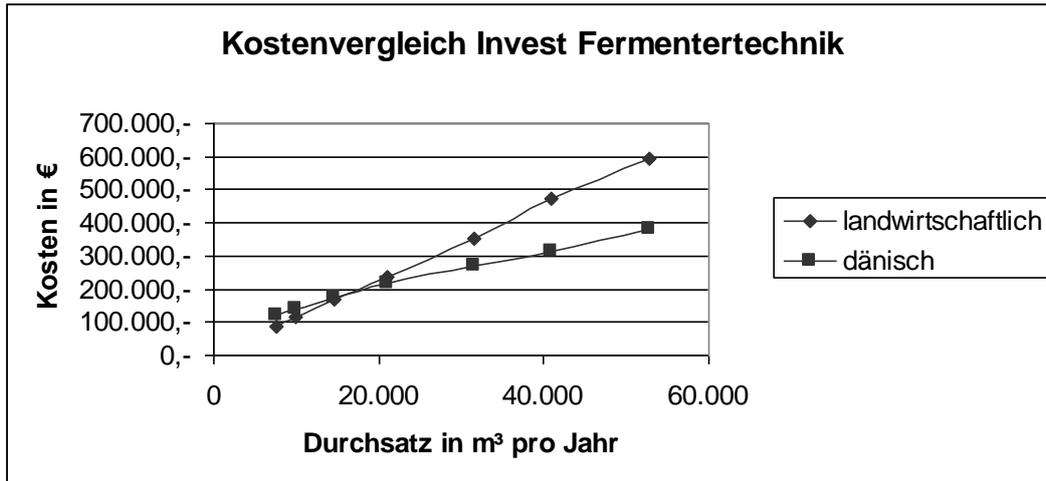


Abb. 7: Vergleich Invest landwirtschaftliche/dänische Fermenter

Ergänzend sind für einen direkten Vergleich die elektrischen Betriebskosten zu berücksichtigen. Hierzu wurden die Investitionskosten derart aufgegliedert, dass in Behälter, externe Wärmetauscher und Ausrüstung untergliedert wurde. Behälter wurden auf 20 Jahre, externe Wärmetauscher auf 12 Jahre und Ausrüstung auf sieben Jahre abgeschrieben. Es wurde ein Zinssatz von 5% angenommen. Die Abschreibung erfolgte linear. Es wurden keine Kosten für Planung und Genehmigung angesetzt sondern vielmehr die Investitionskosten direkt miteinander verglichen. Das Ergebnis ist in Abb. 8 dargestellt.

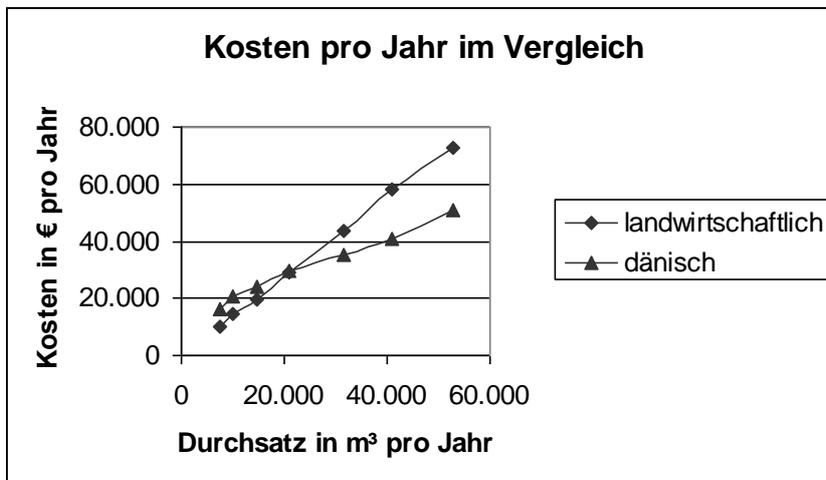


Abb. 8: Vergleich der Jahreskosten

Aus Abb. 8 wird deutlich, dass bei knapp über 20.000 m³ Durchsatz pro Jahr günstiger ist eine dänische Verfahrenstechnik zu wählen.

## Ergebnis

Es konnte gezeigt werden, dass es erhebliche Unterschiede in der Verfahrens- und Fermentertechnik gibt. Dieses Ergebnis führt zu unterschiedlichen Ansätzen hinsichtlich der Investitions- und Betriebskosten. Erst eine detaillierte Auswertung ergibt in Abhängigkeit vom Durchsatz welche Verfahrenstechnik sich für den Einzelfall als die günstigste darstellt. Für

die hier durchgeführte Unterscheidung zwischen landwirtschaftlicher und dänischer Technik ergibt sich ein Break-even bei ungefähr 20.000 m<sup>3</sup> Durchsatz pro Jahr.

Auf der Basis dieser Untersuchung kann nunmehr festgestellt werden, dass es sinnvoll ist vergleichsweise primitive Anlagen – große Volumina mit einfacher Technik – für Durchsätze unter etwa 20.000 m<sup>3</sup>/a zu bauen. Darüber sollte allerdings einer weiterentwickelte Verfahrens- und Fermentertechnik zum Einsatz kommen.

Eine „schlechte“ Biogasanlage wäre somit eine solche, die diese Ergebnisse unberücksichtigt lässt. Als Beispiel: ein dänischer Fermenter für einen Durchsatz von 15.000 m<sup>3</sup>/a lässt sich wirtschaftlich ebenso wenig darstellen wie ein landwirtschaftlicher Fermenter mit 25.000 m<sup>3</sup>/a.

Historisch ist somit verständlich warum sich in Deutschland und Dänemark unterschiedliche Fermentertechniken entwickelt haben: die Anforderungen zwischen zentralen Anlagen und Hofbiogasanlagen waren schlichtweg unterschiedlich. Es ist richtig, dass eine typische Hofbiogasanlage mit einer einfachen Technik gebaut wird – und ebenso richtig, dass eine zentrale Biogasanlage in einer anderen Technik errichtet wird. In diesem Sinne gibt es keine schlechten Biogasanlagen. Der Fehler besteht darin, dass in Deutschland in letzter Zeit verstärkt Biogasanlagen für Großbetriebe errichtet werden, die in landwirtschaftlicher Technik ausgeführt – somit unangepasst – sind. Dies sind also die schlechten Biogasanlagen.

Dieses Ergebnis beruht auf einer Reihe praxisnaher Annahmen, die jedoch im Einzelfall verifiziert werden müssen. Diese Untersuchungen sollten auf jeden Fall die Optimierung in Abhängigkeit vom Inputmaterial, der Gasspeicherkapazität, der Beschickungsrate und der konkreten Situation vor Ort berücksichtigen. Es ist jedoch nicht zu erwarten, dass Biogasanlagen mit mehr als 25.000 m<sup>3</sup> Durchsatz pro Jahr in der typisch landwirtschaftlichen Variante gebaut werden sollten. Auch der TS-Gehalt ist irrelevant so lange nicht in der Mischung im Fermenter TS-Gehalte von 12% überschritten werden. Grundsätzlich gilt, dass, was das eine Rührwerk rühren kann, auch das andere schafft.

Die hier durchgeführten Untersuchungen sind ausdrücklich exemplarisch für die hier untersuchten Fermentationstechniken zu verstehen. Weitergehende Untersuchungen bei kleineren Anlagen unterhalb der hier betrachteten Durchsätze – beispielsweise für die Abgrenzung zwischen „liegenden“ Fermentern und landwirtschaftlichen Fermentern sind notwendig.

Es besteht erheblicher Forschungsbedarf zur Feststellung optimaler Fermentertechniken. So sind die Verweilzeiten und die damit verbundenen Gasproduktionsraten in Abhängigkeit von der Durchmischungs- und der Wärmeeintragstechnik zu erkunden. Hier gibt es nach unserer Kenntnis keine Veröffentlichungen auf der Basis großtechnischer Anlagen. Der Wert von Laboruntersuchungen ist als gering einzustufen. Wir brauchen in Zukunft mehr praxisrelevante Daten.