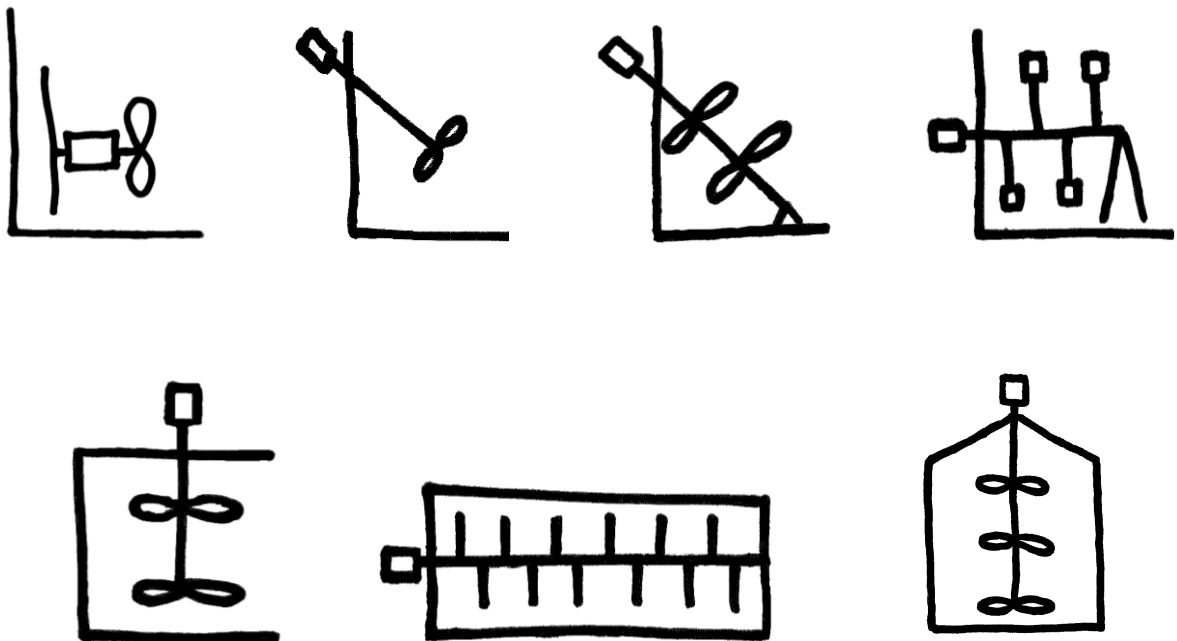


Empfehlungen für die Auswahl von Rührwerken für Gärbehälter und Gärrestlager



Nr. IV – 10/2014 (2. Auflage)

Zusammengestellt für die Arbeitsgruppe IV (Bau- und Verfahrenstechnik) im „Biogas Forum Bayern“ von:

Inhaltsverzeichnis

1	Vorbemerkung.....	2
2	Basisinformationen zur Rührtechnik für Gärbehälter und Gärrestlager	2
2.1	Auslegung und Eignung von Rührwerken für Biogasanlagen.....	3
2.2	Betriebsstörungen und Wartung von Rührwerken in Biogasanlagen.....	5
3	Beschreibung der wichtigsten Rührwerkstypen.....	7
3.1	Tauchmotor-Propellerrührwerke.....	7
3.2	Stabmixer.....	10
3.3	Langachsührwerke.....	15
3.4	Paddelührwerke.....	17
3.5	Sonderformen.....	22
3.6	Rührzeiten.....	28
4	Hilfestellung zur Auswahl geeigneter Rührwerke	29

Begriffserklärungen

Fermenter; mit Substrat sowie ggf. Rezirkulat und/oder Gärhilfsstoffen beschickter Behälter, in dem ein biologischer Abbau stattfindet. Synonym: Reaktor oder Gärbehälter (wobei nur der Hauptgärbehälter und der Nachgärbehälter als eigentliche Gärbehälter gelten). Wie in der Praxis üblich, wurden jedoch in der vorliegenden Fachinformation die Begriffe Fermenter und Hauptgärbehälter synonym verwendet.

Gärgemisch; im Fermenter befindliches Substrat einschließlich Gärhilfsstoffen und Rezirkulat in Mischung mit bakterieller Biomasse. Das G. besteht aus festen, flüssigen und gasförmigen Bestandteilen.

Nutzvolumen Fermenter; das Volumen, welches von einem Gärbehälter aus baulichen und technischen Gründen maximal aufgenommen werden kann. Es entspricht damit der technisch maximal erlaubten oder möglichen Füllmenge. Synonym: Nettovolumen Fermenter. Einheit: Kubikmeter [m³].

Viskosität; ein Maß für die Zähflüssigkeit oder innere Reibung einer Flüssigkeit (oder eines Gases). Je größer die Viskosität, desto dickflüssiger (weniger fließfähig) ist die Substanz; je niedriger die Viskosität, desto dünnflüssiger (fließfähiger) ist diese.

1 Vorbemerkung

Die vorliegende Schrift soll Planern und Betreibern von Biogasanlagen in der Landwirtschaft eine Hilfestellung für die Auswahl von Rührwerken für Gärbehälter und Gärrestlager geben. In knapper Form werden die gängigsten Geräte beschrieben und auf dem Hintergrund von Expertenwissen und Praxiserfahrungen sowie ausgewählter Literaturquellen bewertet.

2 Basisinformationen zur Rührtechnik für Gärbehälter und Gärrestlager

Die in landwirtschaftlichen Biogasanlagen eingesetzte Rührtechnik stammt ursprünglich aus der Gülle- und Abwassertechnik. Mit dem Einsatz nachwachsender Rohstoffe, die zum Teil auch gänzlich ohne zusätzliche Zugabe von Flüssigkeiten in Biogasanlagen vergoren werden, stiegen die Trockensubstanz- und Fasergehalte der Gärgemische stark an. Damit veränderten sich auch die Anforderungen an die Rührtechnik. Während in der Gülletechnik eine möglichst hohe Rührflügeldrehzahl mit großer Schubkraft für ein rasches Aufrühren von Schwimmschichten in Güllelagern gefragt ist, fokussiert sich der Anspruch an die Rührtechnik in Gärbehältern eher auf eine schonende und konstante Homogenisierung der Suspension. Um diesem Anspruch gerecht zu werden, wurden großdimensionierte, eher langsam laufende Rührwerke entwickelt. Stationäre Güllerrührtechnik findet heutzutage in erster Linie in Gärrestlagern Verwendung.

In den Gärbehältern und Gärrestlagern einer Biogasanlage (BGA) erfolgt das Rühren vor allem zu den folgenden Zwecken:

- Ausgleich von Temperatur- und Konzentrationsunterschieden im Gärgemisch
- Vermischung von Feststoffen und Flüssigkeiten
- Vermeidung der Bildung von Schwimm- und Sinkschichten
- Verbesserung des Wärmeaustausches an den Heizflächen
- Erleichterung des Gasaustritts aus dem Gärgemisch.

Da Gärgemische typischer Weise eine sogenannte Pseudoplastizität aufweisen, kann kein eindeutiger Wert für die Viskosität angegeben werden, was die Auslegung der Rührwerke erschwert. Des Weiteren hängen die Viskosität und andere rührtechnisch relevante Eigenschaften eines Gärgemisches maßgeblich von den Einsatzstoffen ab. Bei der Auswahl der Rührwerke für Gärbehälter sollte daher immer die jeweilige Einsatzstoffkonstellation das zentrale Entscheidungskriterium sein.

In der Summe hängen Erfolg und Effizienz eines Rührvorganges von einer Interaktion folgender Faktoren ab:

- installierte Leistung der Rührwerke
- Konstellation der Rührwerke (Schnellläufer ↔ Langsamläufer, ziehend ↔ schiebend, vertikal ↔ horizontal)
- Behältergeometrie
- Beschaffenheit des Mediums (TS – Gehalt, Struktur, Viskosität).

2.1 Auslegung und Eignung von Rührwerken für Biogasanlagen

Rührwerke in Gärbehältern von Biogasanlagen verbrauchen einen Großteil der für den Anlagenbetrieb notwendigen elektrischen Energie. Untersuchungen an bayerischen Biogas-Pilotanlagen haben ergeben, dass der Stromverbrauch zur Durchmischung der Gärsuspension in der ersten Vergärungsstufe im Mittel etwa 25 % des Gesamtverbrauchs ausmacht. Der breite Schwankungsbereich des Stromverbrauchsanteils von 6 % bis maximal 58 % zeigt, dass es beim Energieaufwand für das Rühren erhebliche Einsparpotentiale gibt.

Eine zentrale Rolle im Hinblick auf den Stromverbrauch der Rührwerke spielt die Interaktion zwischen eingesetzter Rührtechnik und den Eigenschaften des Mediums. Dünnflüssige Gärgemische (z. B. bei hohem Schweinegülleanteil), denen faserreiches Material (z. B. Ladewagengras) beigemischt wird, neigen stark zur Entmischung. Schneller laufende Rührwerke sind hier besser geeignet als langsam laufende Rührwerke, um die aufschwimmenden Fasern in kurzer Zeit wieder effektiv einzumischen. Grund dafür ist die hohe Schubleistung der schnell drehenden kleineren Propeller, die Schwimmschichten schneller auflösen können als langsam laufende Rührwerke. Charakteristisches Rührbild ist in diesem Fall ein Drehen des ganzen Gärbehälterinhalts. Wie Messungen belegen, gilt für schnell- und mittelschnelllaufende Rührwerke: Je dünnflüssiger ein zu durchmischendes Medium ist, umso mehr Masse muss von dem Rührwerk in kurzer Zeit in Bewegung gebracht werden. Um diese enorme Kraft aufzubringen, ist die Stromaufnahme des Rührwerks während des Rührvorganges sehr hoch. Im Gegenzug dazu können aber die Rührzeiten relativ kurz gehalten werden.

Trockensubstanz- und faserreiche Suspensionen entmischen sich deutlich langsamer als dünnflüssige. Ziel eines Rührvorganges ist hier ein intensives Durchmischen des Gärgemisches sowie die Erleichterung des Gasaustritts aus dem Medium. Langsamer laufende Rührwerke mit großen Flügeldurchmessern wurden speziell für diesen Zweck entwickelt. Schnellläufer mit kleineren Rührflügeln erreichen die gewünschte Wirkung schlechter. Dickflüssige Gärgemische sind zu träge, um mit dem punktuellen Schub eines Schnellläufers eine intensive Durchmischung wie bei großdimensionierten Langsamläufern erzielen zu können. Beobachtungen in der Praxis belegen zudem, dass hohe Propellerdrehzahlen in dickflüssigen Gärgemischen zu einem erhöhten Verschleiß der Rührflügel führen.

Die nachfolgende Abbildung zeigt, wie stark der Propeller eines Schnellläufers in einem hochviskosen Gärgemisch innerhalb eines Jahres verschleifen kann.



Abbildung 1: Gegenüberstellung von neuem und verschlissenen Propeller eines Schnellläufers

Eine Möglichkeit, um den Rühraufwand in dickflüssigen Suspensionen zu senken, ist die Erhöhung der Gärtemperatur in Richtung thermophiles Niveau ($> 48\text{ °C}$). Mit steigender Gärtemperatur wird das Gärgemisch „sämiger“ und damit auch leichter rührfähig. Eine Erhöhung der Gärtemperatur muss jedoch im Hinblick auf die Stabilität der Gärbiologie mit Vorsicht erfolgen.

Auch das Gärbehältervolumen spielt im Hinblick auf den Rühraufwand eine wichtige Rolle: Je kleiner der Gärraum, desto kleiner auch der notwendige Aufwand für das Durchmischen des Behälters. Gegebenenfalls kann es sinnvoll sein, anstelle eines großen Fermenters zwei kleinere zu errichten.

Grundsätzlich sollten die Rührwerke in jedem Fall so ausgelegt werden, dass eine ausreichende Leistungsreserve vorhanden ist, um Änderungen in der Substratzusammensetzung oder Prozessstörungen effektiv begegnen zu können. Zur flexiblen Anpassung der Rührleistung an unterschiedliche Substratzusammensetzungen kann es in vielen Fällen sinnvoll sein, die Rührwerke mit Frequenzumrichtern zu betreiben und so trotz der Leistungsreserve den Stromverbrauch niedrig zu halten.

Vor der Investition in neue Rührtechnik ist mit dem Hersteller abzuklären, ob bzw. für welche unterschiedlich explosionsgefährdeten Bereiche das Rührwerk eine entsprechende ATEX-Zulassung hat und entsprechend gekennzeichnet ist. Die Rührtechnik wird zwar im Normalbetrieb unterhalb des Flüssigkeitsstandes im Behälter betrieben, doch können Bedienungsfehler oder Wartungsarbeiten dazu führen, dass sich die Rührtechnik im Gasraum befindet. Für diesen Fall muss das Rührwerk dann die entsprechende Sicherheit bieten, die eine Zündung im Gasgemisch und damit verbundene Explosion verhindert. Rührwerkstypen, bei denen sich die Antriebseinheit außerhalb des Gärbehälters befindet, müssen daher geringer Sicherheitsanforderungen erfüllen, als Rührwerke, bei denen sich die Antriebseinheit im Gärbehälter befindet. Die Sicherheitsanforderungen werden nach

der ATEX-Richtlinie 94/9/EG entsprechend der Gefährdungseinstufung in drei Kategorien unterteilt.

Ein weiterer wichtiger Aspekt, auf den bei der Anschaffung und Installation neuer Rührtechnik geachtet werden sollte, ist der Lärmschutz. Rührwerksmotoren verursachen mehr oder weniger laute Geräusche. Ob die Geräusche beim Betrieb von Rührwerken zu einer Lärmbelastung für Anwohner werden, hängt von mehreren Faktoren ab. Dazu zählen der räumliche Abstand der Biogasanlage zur Siedlung, der Geräuschpegel des Rührwerksmotors sowie eine ausreichende Wartung der Rührwerke. Häufig treten insbesondere bei einem permanenten Betrieb von Rührwerken mit Frequenzumrichtern lautere Surrgeräusche auf, die auch über weitere Distanzen vernehmbar sind. Besonders in Siedlungsnähe sind daher entsprechende Lärmschutzvorkehrungen zu treffen.

2.2 Betriebsstörungen und Wartung von Rührwerken in Biogasanlagen

Ein Totalausfall der Rührtechnik in einem Gärbehälter unterbricht den Regelbetrieb der Biogasanlage und kann damit erhebliche Kosten nach sich ziehen. Um diesem vorzubeugen, sollte für den Fall eines Stromausfalls eine Notstromversorgung vorhanden sein. Des Weiteren ist dafür zu sorgen, dass in Gärbehältern je Meter Füllhöhe mindestens 10 cm Freibord unterhalb der Wandkrone vorgesehen sind. Dies verschafft im Störfall zeitlichen Spielraum, um eine Havarie durch aufquellendes Gärgemisch vermeiden zu können. Ein aufquellender Fermenterinhalt kann eine Betondecke anheben, so dass die Dichtigkeit des Gärbehälters nicht mehr gewährleistet werden kann.

Um einen weitgehend störungsfreien Betrieb der Rührwerke sicherstellen zu können, sollten diese entsprechend den Herstellerangaben regelmäßig gewartet werden. Zudem sind die Rührflügel im Gärgemisch Verschleiß ausgesetzt, der die Intensität und Effizienz des Rührvorgangs im Laufe der Zeit deutlich reduziert.

Der Verschleiß der Rührflügel hängt von folgenden Faktoren ab:

- Material des Rührflügels (Stahl verzinkt / Stahl gehärtet / VA)
- Tägliche Laufzeit
- Drehzahl des Propellers
- Konsistenz des Mediums (TS-Gehalt, Struktur, Viskosität)

Bei hohen Drehzahlen und hoher Viskosität des Gärgemisches können Rührflügel bereits nach ein bis zwei Jahren so verschlissen sein, dass ein Tausch notwendig wird. Praxiserfahrungen belegen, dass die Entwicklung der Stromaufnahme eines Rührwerks als Indikator für den Rührflügelverschleiß herangezogen werden kann. Die Stromaufnahme eines Rührwerks in einem relativ gleichbleibend beschaffenen Gärmedium reduziert sich in dem Maße, wie sich der Rührflügeldurchmesser durch Abrieb verringert.

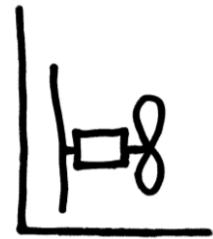
Zur Vermeidung längerer Betriebsausfälle der Biogasanlage und damit verbundener Kosten sollte bereits beim Bau des Gärbehälters oder Gärrestlagers darauf geachtet werden, dass die Rührtechnik so installiert wird, dass sie möglichst während des regulären Anlagenbetriebs gewartet werden kann, ohne den Gärbehälter vollständig entleeren zu müssen.

3 Beschreibung der wichtigsten Rührwerkstypen

Für den Einsatz in Biogasanlagen wurde die aus der Gülle- und Abwassertechnik stammende Rührtechnik den Anforderungen in Gärbehältern entsprechend modifiziert und weiterentwickelt. In den folgenden Abschnitten werden die gängigsten Rührwerkstypen für Gärbehälter und Gärrestlager technisch detailliert beschrieben und ihre Eignung für Gärgemische aus unterschiedlichen Einsatzstoffen dargestellt.

3.1 Tauchmotor-Propellerrührwerke

Dieser Rührwerkstyp ist in der Biogasproduktion schon seit sehr langer Zeit im Einsatz und wird noch immer häufig verwendet. Tauchmotor-Propellerrührwerke (TMPR) finden sowohl in vollaufgemischten Gärbehältern, als auch Gärrestlagern mit wechselnden Füllständen Anwendung. In Gärbehältern werden TMPR meist in Kombination mit anderen Rührwerkstypen betrieben.



3.1.1 Aufbau und Funktionsweise von Tauchmotorrührwerken

Der Rührflügel (Propeller) bildet mit dem Elektromotor eine Einheit, die komplett in das zu durchmischende Medium eintaucht. Daher muss das gesamte Rührwerksgehäuse druckwasserdicht und korrosionsfest ausgeführt ist. Das Rühraggregat ist an einer vertikal angeordneten Führungsstange befestigt und kann an dieser mit Hilfe einer Seilwinde in der Höhe verstellt werden. Optional kann die Führungsstange mithilfe einer Kurbel nach rechts oder links geschwenkt und damit die Wirkrichtung des Rührwerks verändert werden. Manche Hersteller bieten auch die Möglichkeit an, das Rührwerk mithilfe eines Steckbolzens um 30 ° nach oben und unten zu schwenken.

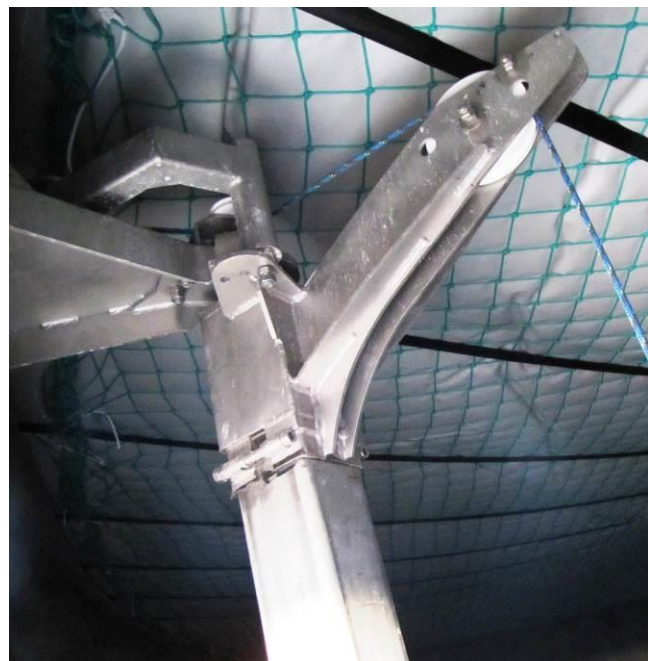


Abbildung 2: Seilzug und Schwenkeinrichtung an der Führungsstange eines Tauchmotorrührwerks

Der Antriebsmotor wird durch das Gärgemisch gekühlt. Bei der Installation von TMPR ist daher darauf zu achten, in welchem Temperaturbereich sie eingesetzt werden können (siehe Herstellerangabe). Dies gilt insbesondere für thermophil betriebene Anlagen, da die Kühlwirkung des zu durchmischenden Mediums möglicherweise unzureichend ist.

Tauchmotorrührwerke waren bisher mit kleinen Rührflügeln (\varnothing 400 – 600 mm) ausgestattet und wurden mit hohen Propellerdrehzahlen (bis zu 600 U/min) betrieben. Sie zählen daher eigentlich zur Familie der Schnellläufer. Mit ihrer hohen Drehzahl erzeugen diese Rührwerke eine große, gerichtete Schubleistung, die gut für das Aufrühren von Gärrest oder das Durchmischen dünnflüssiger Gärgemische geeignet ist. In dickflüssigen Medien wurde der gewünschte Mischeffekt kaum oder nur bei sehr langen Rührzeiten erreicht, zudem führten die hohen Drehzahlen in Medien mit hoher Viskosität zu einem erhöhtem Verschleiß der Rührflügel.



Abbildung 3: Schnelllaufendes Tauchmotor-Propellerrührwerk mit Kabelführung am Tragseil

Um diesen Rührwerkstyp auch in dickflüssigen Gärgemischen einsetzen zu können, wurden die Geräte in den letzten Jahren durch eine Vergrößerung und veränderte Gestaltung der Rührflügel ($\varnothing > 1000$ mm) sowie eine Verringerung der Propellerdrehzahlen entsprechend modifiziert.

Sonderbauformen sind hydraulisch angetriebene TMPR, die von einem außerhalb des Gärbehälters befindlichen elektrischen Hydraulikaggregat gespeist werden.

Die nachfolgende Tabelle bietet eine grobe Übersicht über die derzeit am Markt erhältlichen Tauchmotorpropellerrührwerke mit ihren technischen Kennzahlen und Besonderheiten.

Tabelle 1: Beispielhafte Kennzahlen unterschiedlicher Tauchmotorrührwerke (Quelle: Herstellerangaben)

Propeller- durchmesser [mm]	Propeller- drehzahl [U/min]	Elektrische Nennleistung [kW _{el.}]	Bemerkung
370	705	3,3	
580	480	7,6 – 13,0	
620	380	9,0	Elektromotor mit Planetengetriebe
640	250	4,0	Elektromotor mit Planetengetriebe
840	200	9,0	
920	280	15,0	Elektromotor mit Planetengetriebe
1000	200	16,0	
1400	75	9,0	Planetengetriebe, Langsamläufer
1500	112	14,7	Hydraulikantrieb, Langsamläufer
2100	27	7,5	Langsamläufer
2500	120	6,5	Langsamläufer

3.1.2 Wartung von Tauchmotorrührwerken

Die Wartungsintervalle hängen maßgeblich von den Betriebsstunden der Rührwerke ab. Je häufiger und länger gerührt wird, desto kürzer die Wartungsintervalle. Entsprechende Angaben dazu sollten den jeweiligen Herstellerangaben entnommen werden. Neben dem Wechsel von Getriebeöl und Dichtungen sollte in regelmäßigen Abständen der Zustand des Tragseils kontrolliert werden.

Im Laufe der Zeit kann der Rührflügel verschleifen, wodurch die Rührwirkung nachlässt. Der Verschleiß des Rührflügels ist dabei stark abhängig von den Faktoren Viskosität des Gärgemisches, Beschaffenheit des Rührflügels, Propellerdrehzahl sowie Betriebsstunden des Rührwerks. Grundsätzlich gilt, je dickflüssiger das Medium, je höher die Propellerdrehzahl und je minderwertiger der Werkstoff des Rührflügels, desto größer ist auch der Verschleiß. Praxiserfahrungen belegen, dass die Propeller in ungünstigen Fällen bereits nach einem Jahr so stark verschlissen sein können, dass Sie getauscht werden müssen. Der Verschleiß des Rührflügels lässt sich am Rückgang der Stromaufnahme des Rührwerks erkennen.

Um das Rührwerk während des Anlagenbetriebs problemlos warten zu können, muss dieses so installiert werden, dass es bei gefülltem Behälter aus dem Gärraum gezogen werden kann. Bei Gärbehältern bzw. Gärrestlagern mit Betondecke sollte daher bereits beim Bau des Behälters eine Wartungszarge in unmittelbarer Nähe der Führungsstange mit in die Decke einbetoniert werden. Sind die Behälter mit Gasspeicherhaube ausgeführt, kann das Rührwerk entweder durch Öffnen der Haube aus dem Behälter (in diesem Fall empfiehlt sich die Verwendung eines Seegerverschlusses zur Fixierung der Gashaube) oder über eine Wartungszarge in der Wand des Behälters entnommen werden. Wie bei Behältern mit Betondecke muss diese Zarge bereits beim Bau in unmittelbarer Nähe der Führungsstange des Rührwerks im Gasraum in die Behälterwand einbetoniert werden.

Bei einer Verwendung von elektrisch angetriebenen Tauchmotorrührwerken ist ein besonderes Augenmerk auf die Stromversorgung und damit den Kabelweg zum Elektromotor zu legen. Um größere Störungen und Ausfälle am Rührwerk zu vermeiden, ist eine Kabelführung hinter der Führungsstange empfehlenswert. Praktische Erfahrungen belegen, dass es bei Tauchmotorrührwerken, an denen das Kabel in Form von Kabelschlaufen vorne am Führungsseil befestigt wurde, schon zu erheblichen Kabelschäden kam. Grund dafür waren aufgetretene Kriechströme und mechanische Reibungen am Führungsseil, die zu einem Bruch der am Führungsseil befestigten Fanghaken für die Kabelschlaufen führten. Dabei wurde so viel Kabellänge freigegeben, dass das Kabel vom Propeller durchtrennt wurde.

3.1.3 Eignung von Tauchmotorrührwerken für Gärbehälter und Gärrestlager

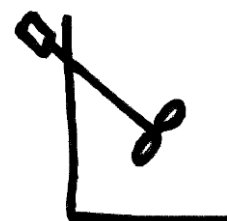
Während langsam laufende Großflügeltauchmotorrührwerke speziell für den Einsatz in Gärbehältern mit weitgehend konstanter Füllhöhe entwickelt wurden, eignen sich schnelllaufende Kleinflügeltauchpropeller auch gut für Behälter mit wechselnden Füllständen.

Um Tauchmotorrührwerke im Gärgemisch oder Gärrest richtig betreiben zu können, muss sich der Rührflügel so weit unterhalb der Oberfläche des Mediums befinden, dass es während des Rührvorgangs nicht zum sog. „Schlagen“ des Rührflügels und damit verbundenen Unwuchten kommt. Die richtige Einstellung muss individuell vor Ort gefunden werden. Mithilfe eines Kleinflügeltauchpropellers können Gärrestlager daher bei einem wesentlich niedrigeren Füllstand durchrührt werden, als bei Verwendung eines Tauchmotorrührwerks mit großem Flügeldurchmesser. Hinzu kommt, dass schnell drehende Tauchmotorrührwerke mit kleinem Propeller zum Aufrühren eventuell gebildeter Schwimmschichten in Gärrestlagern eine wesentlich bessere Saug- bzw. Schiebewirkung aufweisen als langsam laufende Tauchmotorrührwerke.

Beobachtungen in der Praxis belegen, dass es beim alleinigen Einsatz von langsam laufenden Großflügeltauchpropellern in Gärrestlagern mit leicht entmischenden Gärresten schon häufiger zu Problemen mit Schwimmschichten gekommen ist, weil das Rührwerk erst bei entsprechend großer Füllhöhe betrieben werden konnte und die Schubleistung des Rührwerks aufgrund der niedrigen Drehzahl dann nicht ausreichte, um die gebildete Schicht aufzulösen.

3.2 Stabmixer

Wie das Tauchmotorrührwerk ist auch dieser Rührwerkstyp in der Biogasproduktion bereits seit sehr langer Zeit im Einsatz. Stabmixer finden fast ausschließlich in vollaufgemischtem Gärbehältern mit weitgehend konstanten Füllständen Anwendung und werden dabei oft in Kombination mit anderen Rührwerkstypen betrieben.



3.2.1 Aufbau und Funktionsweise von Stabmixern

Auf der Antriebswelle des Rührwerks können je nach Hersteller ein oder mehrere Rührpropeller montiert werden. Im Biogasbereich werden Stabmixer üblicherweise von Elektromotoren angetrieben. Die Antriebsaggregate befinden sich außerhalb des Gärraums und können daher im Störfall problemlos gewartet werden. Im Praxiseinsatz haben sich außenliegende Elektromotoren als wartungsarm und langlebig erwiesen.

Mit kleinen Rührflügeldurchmessern (< 700 mm) und hohen Propellerdrehzahlen bis zu 600 U/min zählten Stabmixer lange Zeit ausschließlich zur Familie der Schnellläufer. Im Zuge der güllelosen Vergärung von NawaRos und dem damit verbundenen Anstieg der TS-Gehalte und Viskositäten der Gärgemische kamen dann langsam laufende Stabmixer (< 100 U/min) mit großdimensionierten Rührflügeln ($\varnothing > 1200$ mm) auf den Markt. Die Rührwellen sind je nach Behälter und Einsatzzweck in Längen von 1 bis 7 m erhältlich.

Durch eine geeignete Form und eine Änderung der Drehrichtung des Rührflügels lässt sich die Wirkungsweise des Rührwerks von schiebend auf ziehend verändern. In jedem Fall sollte darauf geachtet werden, dass die Form des Rührflügels, die Ausrichtung des Rührwerks im Behälter und die Drehrichtung aufeinander abgestimmt sind. Andernfalls reduzieren sich die Rührleistung und die Effizienz des Rührvorganges.



Abbildung 4: Schnelllaufender Stabmixer mit kleinerem Propeller, der im oberen Bereich durch die Gärbehälterwand geführt ist

In der Regel werden die Rührwerke im oberen Bereich durch die Gärbehälterwand oder bei Behältern mit Betondecke durch die Gärbehälterdecke geführt. Je nach Hersteller darf aber bei einigen Stabmixern, die an der Gärbehälterwand installiert sind, zur Gewährleistung der Dichtigkeit der Wellendurchführung ein Flüssigkeitsniveau von 1 m über der Dichtung nicht überschritten werden. Die Rührwerke sind

meist hydraulisch schwenkbar ausgeführt und können in der Neigung verstellt werden, um der Bildung von Schwimmschichten entgegenzuwirken.



Abbildung 5: Wand- und Deckendurchgeführter Stabmixer mit hydraulischer (links) und mechanischer (rechts) Vorrichtung zur Verstellung der Wellenneigung

Es gibt aber auch andere Ausführungen von Stabmixern, bei denen das Rührwerk durch eine entsprechende Einbauzarge im unteren Wandbereich durch die Behälterwand geführt wird. Ziel eines Unteneinbaus von Stabmixern ist die Vermeidung der Bildung einer Sinkschicht. In Bodennähe montierte Varianten mit sehr kurzen Rührwellen zählen zu den Sonderformen und sind in der Regel nicht schwenkbar.



Abbildung 6: Sonderform eines Stabmixers mit kurzer Rührwelle, die knapp über dem Boden in den Behälter eingeführt ist

Die nachfolgende Tabelle bietet eine grobe Übersicht über die derzeit am Markt erhältlichen Stabmixer mit ihren technischen Kennzahlen und Besonderheiten.

Tabelle 2: Beispielhafte Kennzahlen unterschiedlicher Stabmixer (Quelle: Herstellerangaben)

Propeller- durchmesser [mm]	Propeller- drehzahl [U/min]	Elektrische Nennleistung [kW _{el.}]	Bemerkung
660	400	15,0	Neigungswinkel verstellbar
700	400	18,5	Neigungswinkel verstellbar
750	400	22,0	Neigungswinkel verstellbar
800	325	15,0	
850	270	28,0	
1200	130	18,5	Langsamläufer
1500	54	11,0	Langsamläufer
1600	80	22,0	Langsamläufer

3.2.2 Wartung von Stabmixern

Je häufiger und länger gerührt wird, desto kürzer die Wartungsintervalle. Entsprechende Angaben dazu sind den jeweiligen Herstellerangaben zu entnehmen. Neben dem Wechsel des Getriebeöls, welcher aufgrund des außerhalb des Gärbehälters liegenden Antriebsstranges relativ einfach durchgeführt werden kann, sollten auch die Dichtungen an den Wellendurchführungen in regelmäßigen Abständen auf Dichtigkeit überprüft werden.

Der Rührflügel ist mehr oder weniger starkem Verschleiß ausgesetzt, wodurch die Rührwirkung im Laufe der Zeit nachlassen kann. Dabei ist der Verschleiß des Rührflügels stark abhängig von den Faktoren Viskosität des Gärgemisches, Beschaffenheit des Rührflügels, Propellerdrehzahl sowie Betriebsstunden des Rührwerks. Grundsätzlich gilt, je dickflüssiger das Medium, je höher die Propellerdrehzahl und je minderwertiger der Werkstoff des Rührflügels, desto größer ist auch dessen Verschleiß. Praxiserfahrungen belegen, dass die Propeller in ungünstigen Fällen bereits nach einem Jahr so stark verschlissen sein können, dass Sie ausgetauscht werden müssen. Erkennbar ist der Verschleiß des Rührflügels an einem sukzessiven Rückgang der Stromaufnahme des Rührwerks.

Im Falle größerer Schäden oder eines notwendigen Rührflügeltausches besteht die Möglichkeit, das Rührwerk während des Anlagenbetriebs vollständig aus dem Behälter zu ziehen, ohne den Behälter entleeren zu müssen. Bei einigen schnell drehenden Stabmixern besteht zudem die Möglichkeit, das Rührwerk im Falle eines Stromausfalls oder eines Defekts am Elektromotor mittels einer Zapfwelle per Schlepper anzutreiben.

3.2.3 Eignung von Stabmixern für Gärbehälter und Gärrestlager

Eingesetzt werden diese Rührwerke überwiegend in Gärbehältern mit geringen Füllstandschwankungen. Die Eignung und der Rührerfolg eines Stabmixers hängen maßgeblich von der Beschaffenheit des Gärgemisches ab. Während für dünnflüssige Gärgemische schnelllaufende und langsam laufende Stabmixer gleichermaßen

geeignet sind, empfiehlt sich bei höheren TS-Gehalten und dementsprechend dickflüssigeren Medien die Verwendung eines langsam laufenden Großflügelstabmixers.

In der Praxis werden Stabmixer häufig mit anderen Rührwerkstypen kombiniert. So ist beispielweise eine Kombination von schnelllaufendem Stabmixer und Tauchmotorrührwerk für das homogenisieren dünnflüssiger Medien gut geeignet. Eine Kombination aus langsam laufendem Paddel- oder Langachsrührwerk mit einem langsam laufenden Großflügelstabmixer erzielt hingegen in dickflüssigen Gärgemischen ein gutes Rührergebnis.

Auf vielen Biogasanlagen werden aber auch zwei Stabmixer zur Durchmischung von Gärbehältern eingesetzt. Besonders eine Kombination aus schiebendem und ziehendem Stabmixer findet in der Praxis immer weitere Verbreitung und kann durch das sowohl nach unten, als auch nach oben gerichtete Strömungsbild auch Schwimmschichten effektiv entgegenwirken.



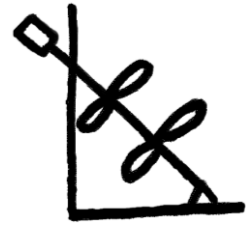
Abbildung 7: Kombination aus schiebendem (links) und ziehendem (rechts) Stabmixer in einem Fermenter mit Betondecke

Für den Betrieb von Stabmixern gilt der Grundsatz, dass sich der Rührflügel so weit unterhalb der Oberfläche des zu durchmischenden Mediums befinden muss, dass es während des Rührvorgangs nicht zum sog. „Schlagen“ des Rührflügels und damit verbundenen Unwuchten kommt.

Eine Besonderheit stellen die Stabmixer mit besonders langen Rührwellen (bis zu 7 m) dar, welche speziell für den Einsatz in Gärrestlagern und Vorgruben entwickelt wurden, um sich variierenden Füllständen durch entsprechende hydraulische Schwenkeinrichtungen anpassen zu können. Diese Stabmixer sind meist als Schnellläufer mit kleineren Rührflügeln ausgeführt, um Schwimmschichten zügig entgegenwirken zu können.

3.3 Langachsrührwerke

Dieser Rührwerkstyp stammt nicht aus der Gülletechnik sondern wurde speziell für den Einsatz in Biogasanlagen entwickelt. Langachsrührwerke finden ausschließlich in vollaufgemischtem Gärbehältern mit weitgehend konstanten Füllständen Anwendung und werden gerne in Kombination mit anderen Rührwerkstypen betrieben.



3.3.1 Aufbau und Funktionsweise von Langachsrührwerken

Langachsrührwerke zeichnen sich durch ihre besonders großen Flügeldurchmesser ($> 1,5 \text{ m}$) aus, die bei geringen Rührwellendrehzahlen ($< 40 \text{ U/min}$) eine effektive Durchmischung des Mediums erzielen. Die Anzahl und Anordnung der Rührflügel auf der Rührwelle variiert von Hersteller zu Hersteller. Im Gegensatz zu Stabmixern sind Langachsrührwerke nicht schwenkbar, weil Sie sowohl am Behälterboden, als auch an der Behälterwand/-decke gelagert sind. An Gärbehältern mit Betondecke werden die Rührwellen bevorzugt durch die Decke geführt, während sie an Gärbehältern mit Gasspeicherhaube nur durch die Wand geführt werden können.

Der Antriebsmotor des Rührwerks sitzt außerhalb des Gärbehälters und ist damit im Falle von Störungen gut zugänglich. Meist werden Langachsrührwerke mit Frequenzumrichtern betrieben, um die Drehzahl der Rührwelle den jeweiligen Anforderungen anpassen und den Stromverbrauch während des Rührvorgangs niedrig halten zu können. Der Betrieb mit Frequenzumrichter ermöglicht zudem, den Nennlastbetrieb zu Beginn eines Rührvorgangs in einen Teillastbetrieb übergehen zu lassen, sobald sich der Gärbehälterinhalt in Bewegung gesetzt. Auf diese Weise kann der Energieverbrauch noch weiter gesenkt werden. Inwieweit sich das „schonende Rühren“ quantitativ auf die Gasbildung auswirkt, ist in der Praxis allerdings schwer nachzuweisen.



Abbildung 8: Langachsrührwerk mit Decken- und Wanddurchführung der Rührwelle
(Foto: LfL / Dyckhoff)

Die nachfolgende Tabelle bietet eine grobe Übersicht über die derzeit am Markt erhältlichen Langachsrührwerke mit ihren technischen Kennzahlen und Besonderheiten.

Tabelle 3: Beispielhafte Kennzahlen unterschiedlicher Langachsrührwerke
(Quelle: Herstellerangaben)

Anzahl der Paddel [n]	Paddeldurchmesser [mm]	Drehzahl Rührwelle [U/min]	Elektrische Nennleistung [kW _{el.}]	Bemerkung
2	2650	38	11	mit Bodenlager
4	2300	25	15	mit Bodenlager
2	1500	60	15	höhenverstellbar

3.3.2 Wartung von Langachsrührwerken

Für Wartungsarbeiten an den Rührpaddeln muss der Behälter geöffnet und der Füllstand des Gärmediums im Behälter so weit abgesenkt werden, bis die Paddel zugänglich sind. Für eine bessere Zugänglichkeit der Paddel sollten Gärbehälter mit Betondecke unbedingt mit einer großzügig ausgelegten Revisionsöffnung oberhalb der Rührwelle des Langachsrührwerks ausgestattet werden. Sind die Behälter mit Gasspeicherhaube ausgeführt, kann das Rührwerk nur durch Öffnen der Haube aus dem Behälter genommen werden. In diesem Fall empfiehlt sich die Verwendung eines Seegerverschlusses zur Fixierung der Gashaube. Spezialkonstruktionen

einzelner Hersteller ermöglichen einen vollständigen Tausch des Rührwerks auch ohne eine Entleerung des Gärbehälters.

Aufgrund ihrer niedrigen Rührwellendrehzahl ist der Betrieb von Langachs-rührwerken meist sehr verschleißarm, wodurch die Rührflügel in der Regel eine lange Standzeit aufweisen.

3.3.3 Eignung von Langachs-rührwerken für Gärbehälter und Gärrestlager

Langachs-rührwerke wurden speziell für Gärgemische mit höherer Viskosität entwickelt und sind mit ihren langsam drehenden, großdimensionierten Rührflügeln besonders gut für die Durchmischung dickflüssiger Medien geeignet. Aufgrund ihrer niedrigen Drehzahl sind sie für das Aufrühren von Schwimmdecke in Gärrestlagern mit variierenden Füllständen sowie für äußerst dünnflüssige Gärgemische, die stark zur Entmischung neigen, eher weniger zu empfehlen.

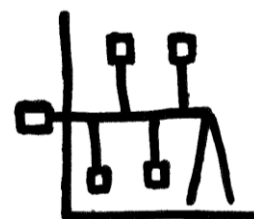
In der Praxis werden Langachs-rührwerke häufig mit anderen Rührwerkstypen kombiniert. So erzielt in dickflüssigen Gärgemischen beispielsweise eine Kombination aus Langachs-rührwerk mit einem langsam laufenden Großflügelstab-mixer oder Großflügeltauchmotorrührwerk ein gutes Rührergebnis.

3.4 Paddelrührwerke

Ähnlich den Langachs-rührwerken stammt auch dieser Rührwerkstyp nicht aus der Gülletechnik sondern wurde im Zuge der güllelosen Vergärung von nachwachsenden Rohstoffen speziell für den Einsatz in Biogasanlagen entwickelt. Paddelrührwerke finden überwiegend in vollaufmischenden Gärbehältern mit weitgehend konstanten Füllständen Anwendung und werden gerne in Kombination mit anderen Rührwerkstypen betrieben. Paddelrührwerke sind in den Ausführungsvarianten vertikal (stehend) oder horizontal (liegend) erhältlich. Die beiden Varianten werden in den nachfolgenden Abschnitten genauer spezifiziert.

3.4.1 Horizontale Paddelrührwerke

Bei einigen Anbietern schlüsselfertiger Biogasanlagen gehört dieser mit 1 – 20 U/min äußerst langsam laufende Rührwerkstyp zum Standardsortiment. Die mit groß-dimensionierten Paddeln bestückte Rührwelle horizontaler Paddelrührwerke wird durch die Behälterwand geführt und ist auf einem Eisengestänge in der Mitte des Behälters sowie auch in der Behälterwand gelagert. Anzahl und Anordnung der Rührflügel auf der Rührwelle können von Hersteller zu Hersteller variieren.



Der Antriebsmotor des Rührwerks ist außerhalb des Behälters an die Rührwelle angeflanscht und mit einem Drehmomentanschlag versehen. Die elektrische Antriebseinheit ist damit gut zugänglich im Fall von Störungen. Horizontale Paddelrührwerke werden in der Regel mit Frequenzumrichtern betrieben, um die

Drehzahl der Rührwelle den jeweiligen Anforderungen anpassen und den Stromverbrauch während des Rührvorgangs niedrig halten zu können.



Abbildung 9: Hängendes Paddelrührwerk mit Antriebseinheit (Foto: LfL / agriKomp)

Für Wartungsarbeiten an den Paddeln muss der Behälter großflächig geöffnet und der Füllstand soweit abgesenkt werden, dass die Paddel zugänglich sind. Um dies zu ermöglichen, sollten Gärbehälter mit Betondecke unbedingt mit Revisionsöffnungen oberhalb des Paddelrührwerks versehen werden. Bei Gasspeicherhauben empfiehlt sich die Verwendung eines Seegerverschlusses, um das Dach möglichst einfach öffnen und wieder verschließen zu können.

Sonderformen horizontaler Paddelrührwerke sind mithilfe einer Edelstahleinhausung so in die Betondecke eines Gärbehälters integriert, dass eine Wartung des Rührwerks auch bei gefülltem Gärbehälter möglich ist.



Abbildung 10: Sonderform eines horizontalen Paddelrührwerks mit Verankerung in der Betondecke (links) und Edelstahleinhausung (rechts)

Erfahrungen aus der Praxis belegen, dass es bei horizontalen Paddelrührwerken hin und wieder zum Verlust von Rührpaddeln in Gärbehältern gekommen ist, da Kriechströme im Rührwerk aufgetreten waren, die zu Korrosionsprozessen führten. Um Korrosionsprozesse und damit verbundene Schäden am Rührwerk weitgehend zu vermeiden, sollte bei der Installation dieser Rührwerke ein besonderes Augenmerk auf eine ausreichende Erdung der Rührwelle gelegt werden.

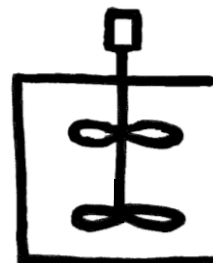
Die nachfolgende Tabelle bietet eine grobe Übersicht über die derzeit am Markt erhältlichen horizontalen Paddelrührwerke mit ihren technischen Kennzahlen und Besonderheiten.

Tabelle 4: Beispielhafte Kennzahlen unterschiedlicher horizontaler Paddelrührwerke
(Quelle: Herstellerangaben)

Anzahl der Paddel [n]	Paddel- durchmesser [mm]	Drehzahl Rührwelle [U/min]	Elektrische Nennleistung [kW _{el.}]	Bemerkung
4	4000	6	7,5	Planetengetriebe, FU
4	4200	14	15	Planetengetriebe, FU
4	2000	12	18,5	FU

3.4.2 Vertikale Paddelrührwerke

Vertikale Paddelrührwerke werden auch als Axialrührwerke bezeichnet und können zentrisch (bei kleineren Gärbehältern mit Betondecke ohne Mittelpilz) oder exzentrisch angeordnet sein. Ähnlich den horizontalen Paddelrührwerken kamen auch diese Rührwerke auf den Markt, als die güllelose Vergärung nachwachsender Rohstoffe speziell vergütet und eine schlagkräftige Technik zur Behandlung von hochviskosen (dickflüssigen) Materialien notwendig wurde.



Der Einsatz stehender Paddelrührwerke ist technisch bedingt nur in Behältern mit Betondecke sinnvoll, da die Rührwelle durch die Behälterdecke geführt wird und am Boden des Behälters wie auch in der Behälterdecke gelagert ist. Bei Behältern mit Gashaube ist eine Deckenlagerung technisch schlecht möglich. Anzahl und Anordnung der Rührflügel auf der Rührwelle können von Hersteller zu Hersteller variieren. In der Regel sind die Paddel auf der Rührwelle starr angebracht und können sowohl paarweise, als auch einzeln angeordnet sein.



Abbildung 11: Vertikale Paddelrührwerke mit exzentrischer Anordnung und Antriebseinheit

Sonderausführungen, bei denen ein Paddelpaar in Bodennähe starr auf der Rührwelle verankert und ein zweites Paddelpaar mit einem Schwimmer versehen ist, ermöglichen es, auf variierende Füllstände zu reagieren.



Abbildung 12: Vertikales Paddelrührwerk mit schwimmender Anordnung des oberen Paddelpaares
(Foto: LfL / NQ)

Auch vertikale Paddelrührwerke drehen sich eher langsam (10 – 20 U/min) und weisen aufgrund der langen Paddel einen hohen direkten Wirkradius auf. Der elektrische Antriebsmotor des Rührwerks sitzt außerhalb des Behälters oben auf der Rührwelle und ist damit gut zugänglich im Fall von Störungen. Auch vertikale

Paddelrührwerke werden üblicherweise mit Frequenzumrichtern betrieben, um die Drehzahl der Rührwelle den jeweiligen Anforderungen anpassen und den Stromverbrauch während des Rührvorgangs niedrig halten zu können.

Für Wartungsarbeiten an den Paddeln sollte der Gärbehälter unbedingt mit einer Revisionsöffnung oberhalb des Paddelrührwerks versehen sein. Spezielle Ausführungen von stehenden Paddelrührwerken mit einer Befestigung und Lagerung der Rührwelle an einer entsprechend großen Einbauzarge in der Behälterdecke ermöglichen einen vollständigen Tausch des Rührwerks ohne eine Entleerung des Gärbehälters.

Die nachfolgende Tabelle bietet eine grobe Übersicht über die derzeit am Markt erhältlichen stehenden Paddelrührwerke mit ihren technischen Kennzahlen und Besonderheiten.

Tabelle 5: Beispielhafte Kennzahlen unterschiedlicher vertikaler Paddelrührwerke
(Quelle: Herstellerangaben)

Anzahl der Paddel [n]	Paddel- durchmesser [mm]	Drehzahl Rührwelle [U/min]	Elektrische Nennleistung [kW _{el.}]	Bemerkung
6 oder 8	2900	8	11	für hohe Viskosität
6 oder 8	2900	16	15	für niedrigere Viskosität
5	3800	12	18,5	Planetengeräte
4	2800	11	11	Oberes Paddelpaar mit Schwimmer

3.4.3 Eignung von Paddelrührwerken für Gärbehälter und Gärrestlager

Horizontale Paddelrührwerke werden überwiegend in vollaufmischenden Gärbehältern mit nur geringen Füllstandschwankungen eingesetzt. In Gärrestlagern finden sie eher selten Anwendung. Je nach Behältergröße entfalten diese Rührwerke ihre beste Wirkung, wenn sie in Kombination mit langsam laufenden Großflügelstabmixern oder Großflügeltauchmotorrührwerken in hochviskosen Medien arbeiten. Hochviskose Gärgemische sind besonders in Gärbehältern von Biogasanlagen vorzufinden, deren Futterration überwiegend aus nachwachsenden Rohstoffen und nur geringen Mengen an Flüssigkeiten besteht. Der direkte Wirkradius eines horizontalen Paddelrührwerks ist abhängig von der Lage der Rührwelle. Liegt diese oberhalb oder auf gleichem Niveau wie der Substratspiegel, beträgt der direkte Wirkradius etwa eine Paddellänge.

Vertikale Paddelrührwerke eignen sich sowohl für den Einsatz in vollaufmischenden Gärbehältern wie auch für das Homogenisieren von Gärrest in Gärrestlagern mit großen Füllstandschwankungen. Sie können gut mit anderen langsam laufenden Rührwerkstypen kombiniert werden, häufig werden aber auch zwei stehende Paddelrührwerke zur Durchmischung von Gärbehältern verwendet. Für den Einsatz in Gärrestlagern mit Betondecke eignet sich besonders die Sonderausführung des

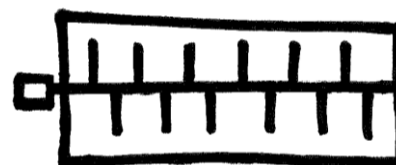
vertikalen Paddelrührwerks, bei dem das obere Paddelpaar nicht starr auf der Rührwelle fixiert, sondern mit einem Schwimmer versehen ist.

3.5 Sonderformen

Die in den nachfolgenden Abschnitten beschriebenen Rührwerkstypen werden in der Regel nicht so häufig eingesetzt wie Stabmixer, Tauchmotor-, Paddel- oder Langachsührwerke. Da sie für spezielle Einsatzzwecke entwickelt wurden, handelt es sich dabei eher um Sonderformen in der Rührtechnik.

3.5.1 Haspelrührwerke

Diese Rührwerke besitzen eine lange horizontale Rührwelle, an der in regelmäßigen Abständen große Rührarme angebracht sind. Im Gegensatz zu Paddelrührwerken erstreckt sich die Rührwelle durch den gesamten Gärbehälter. Die flüssigkeits- und durchlässigen Wellendurchführungen an den Behälterwänden dienen gleichzeitig als Wellenlager und befinden sich an den beiden Stirnseiten des Gärbehälters. Insbesondere in längeren Fermentern (> 12 m) ist eine Zwischenlagerung erforderlich, um ein Durchhängen der Rührwelle, welches zu Schäden vor allem an den Dichtungen führen würde, zu vermeiden.



Die Antriebsaggregate von Haspelrührwerken befinden sich außerhalb des Gärraumes und sind damit im Fall von Störungen gut zugänglich. Mit Drehzahlen von gerade einmal 1 - 5 U/min laufen Haspelrührwerke sehr langsam. In der Regel werden die Aggregate gänzlich ohne Rührpausen betrieben.

Ursprünglich wurden Haspelrührwerke speziell für den Einsatz in **liegenden Fermentern** entwickelt, die mit äußerst hohen Trockensubstanzgehalten (>14 %) im Gärgemisch betrieben werden. Strategie des Rührvorgangs ist dabei nicht eine vollständige Durchmischung des Fermenterinhalt, sondern eine Unterbindung der Durchmischung in horizontaler (axialer) Richtung. So kann eine räumliche Differenzierung der Abbauphasen erreicht werden. Der Substrattransport im liegenden Gärbehälter in horizontale Richtung erfolgt damit nicht mithilfe des Rührwerks, sondern durch den Materialvorschub im Behälter verursacht durch den Substrateintrag (=Propfenstromprinzip). Vorteile dieses Systems liegen darin, dass der Gärraum höher belastet und Kurzschlussströme vermieden werden können. Hierfür werden Haspelrührwerke mit unterschiedlicher Paddelgeometrie gefertigt.

In die Rührwelle eines Haspelrührwerks kann auch die Behälterheizung integriert werden. Dabei wird die innen hohle Rührwelle mit Heißwasser durchströmt und so das Gärmedium aufgeheizt. Im Fall von Störungen an der Heizung ist dieses Einkreisheizsystem aber nicht unproblematisch. Leckt die Heizleitung in der Rührwelle, so muss der gesamte Behälter für die Wartung entleert werden.

Der Ausfall eines Haspelrührwerkes in einem liegenden Fermenter muss unter allen Umständen vermieden werden, da das Aufquellen des Gärgemisches innerhalb kurzer Zeit zu Schäden am Behälter oder den Leitungen führen kann. Hat sich der Fermenterinhalt erst einmal entmischt, reicht die Antriebsleistung in der Regel nicht aus, um das Rührwerk wieder anlaufen zu lassen. Daher sollten entsprechende Warnmelder sowie eine Notstromversorgung vor Ort verfügbar sein, um rasch handeln zu können.

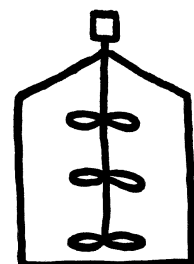


Abbildung 13: Haspelrührwerk in einem liegenden Fermenter mit Antriebseinheit (Foto: Novatech / LfL)

Seit kurzer Zeit ist dieser Rührwerkstyp auch für **runde Güllegrubenfermenter** erhältlich. Hierbei soll keine Pfropfenströmung im Behälter erreicht werden, sondern der gesamte Gärbehälterinhalt intensiv durchmischt werden. Einsatzbereiche sind Fermenter, in denen schwierige Substrate vergoren werden, die stark zur Entmischung neigen und herkömmliche Rührwerke für eine ausreichende Durchmischung an Ihre Grenzen bringen. Die Paddel der Haspelrührwerke werden hierfür anders als in liegenden Fermentern angeordnet. Aufgrund der enormen Investitionskosten werden diese Rührwerke in Güllegrubenfermenter aber nur in Ausnahmefällen verbaut.

3.5.2 Zentralrührwerke

Dieser Rührwerkstyp (auch: Axialrührwerke) wird eher selten eingesetzt. Die langsam laufenden Aggregate können zur Durchmischung von hochviskosen Gärsuspensionen verwendet werden und wurden für den Einsatz in speziellen Hochbehältern nach dänischer Bauweise (Behälterdurchmesser \approx Behälterhöhe) entwickelt. Die Geometrie des Behälters ist für den Rührerfolg mit diesem Rührwerkstyp von großer Bedeutung, denn nur beim richtigen



Verhältnis zwischen Behälterdurchmesser und Behälterhöhe (0,8 bis 1) können Zentralrührwerke ihre strömungsmechanischen Eigenschaften voll entfalten.

Zentralrührwerke werden durch die Mitte der Beton- oder Edelstahldecke eines Hochbehälters geführt und sind dort auch gelagert. Auf der langen Rührwelle sind zwei bis drei speziell geformte Rührpaddel in mehreren Ebenen so angeordnet, dass eine Abwärtsströmung in Rührwerksnähe sowie eine Aufwärtsströmung am Behälterrand im Gärgemisch erzeugt wird. So kann eine effektive Durchmischung auch zäher Materialien erreicht werden. Zusätzlich können sogenannte Strömungsbrecher in Form von Stahltafeln an der Behälterwand montiert werden, um weitere Verwirbelungen im Gärgemisch zu erzeugen.

Zur Vermeidung der Bildung schwer zerstörbarer Schwimmschichten in Gärbehältern mit hoher Raumbelastung werden Zentralrührwerke in der Praxis in der Regel kontinuierlich betrieben. Die Antriebsaggregate von Haspelrührwerken befinden sich außerhalb des Gärraumes und sind damit im Fall von Störungen gut zugänglich. Für Wartungsarbeiten an der Rührwelle oder den Tausch der Rührflügel kann das Rührwerk während des Anlagenbetriebs mit Hilfe eines Schwerlastkrans aus dem Behältergezogen werden, ohne den Füllstand im Behälter absenken zu müssen.

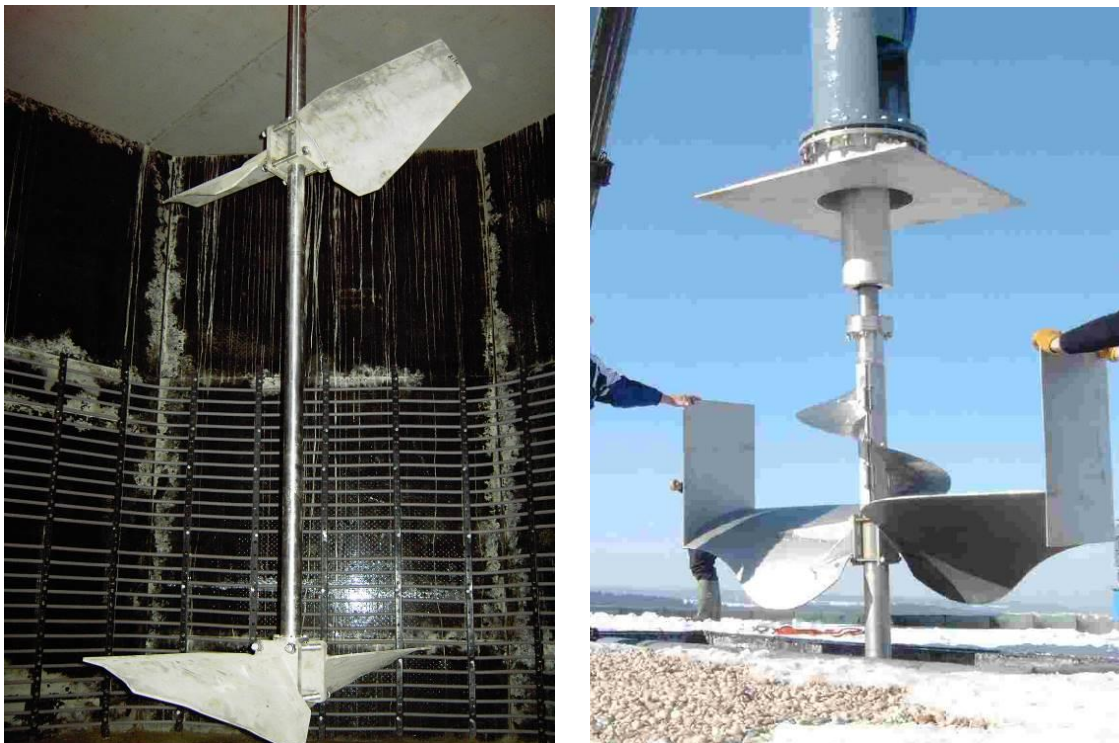


Abbildung 14: Zentralrührwerk in Gärbehältern nach dänischer Bauweise (Behälterhöhe ~ Behälterbreite)

3.5.3 Hydraulisches Rühren

Hydraulisches Rühren bezeichnet bei Biogasanlagen im landwirtschaftlichen Bereich die Durchmischung der Gärsuspension mittels Umpumpen des Gärbehälterinhalts. Diese Art der Rührtechnik findet insbesondere für Gärgemische mit einem eher

niedrigen Trockensubstanzgehalt und in eher kleineren Gärbehältern (< 1500 m³) Anwendung.

Bisher waren hydraulische Röhreinrichtungen auf landwirtschaftlichen Biogasanlagen wenig verbreitet. Mit der Entwicklung modular aufgebauter **Kompaktbiogasanlagen** für tierhaltende Betriebe haben hydraulische Röhreinrichtungen an Bedeutung gewonnen. Technisch bedingt sind die Hauptgärbehälter solcher Anlagen, die als Fertigteile geliefert und vor Ort nur noch angeschlossen bzw. verschraubt werden, mit einem Arbeitsvolumen von etwa 120 m³ relativ klein. Für die Durchmischung solcher Gärbehälter sind hydraulische Röhreinrichtungen mit Zirkulationspumpen gut geeignet.

Hierfür wird dünnflüssigeres und damit dichter lagerndes Material aus dem unteren Bereich des Gärbehälters von der Zirkulationspumpe abgezogen und von oben auf den Substratspiegel gepumpt. Durch länger andauerndes oder kontinuierliches Pumpen kann so eine vollständige Durchmischung der Gärsuspension erzielt werden. Bei Verwendung langsam laufender Exzentrerschneckenpumpen kann der Eigenstrombedarf für das Durchmischen kleiner Gärbehälter bei niedrigen TS-Gehalten gering gehalten werden. Für eine effiziente hydraulische Durchmischung sollte der Behälter deutlich höher als breit sein. Bei Biogasanlagen mit **großen Behältervolumina** (> 1500 m³) wird dieses System in der Planung meist nicht gewählt.

Hydraulische Rührsysteme kommen in der Regel dort zum Einsatz, wo mechanische Rührwerke keine zufriedenstellenden Ergebnisse liefern und es wiederholt zu Problemen durch hartnäckige Schwimmschichten mit hochviskosen Zonen kommt. Hier muss mit herkömmlichen mechanischen Rührwerken ein erheblicher Installations- und Energieaufwand betrieben werden, oftmals ohne den gewünschten Erfolg. Durch die nachträgliche Integration eines hydraulischen Rührsystems mit entsprechender Verteileinrichtung im Gasraum des Behälters (Düsenarm mit mehreren Düsen) kann die Betriebssicherheit verbessert und der Strombedarf im Vergleich zum rein mechanischen Rühren gesenkt werden. Für normale Gärbehälter haben sich Kreiselpumpen mit Schneidmessern als geeignet erwiesen. Zusätzlich kann bei Bedarf in die Bypassleitung der Zirkulationspumpe eine Nasszerkleinerungseinrichtung integriert werden, um langfaserige Partikel zu zerkleinern.

Beim hydraulischen Rührsystem befinden sich keine beweglichen oder störungsanfälligen Bauteile im Gärbehälter. Im Fall von Störungen ist die Zirkulationspumpe außerhalb des Gärbehälters für Wartungsarbeiten gut zugänglich.



Abbildung 15: Kreiselpumpe mit Schneideinrichtung als Zirkulationspumpe in der Bypassleitung eines Fermenters

3.5.4 Pneumatisches Rühren

Beim pneumatischen Rühren wird die Gärsuspension durch das Einleiten bzw. Einpressen von Biogas in den unteren Bereich des Gärbehälters durchmischt. Die Durchmischung resultiert aus dem Verdrängungseffekt der aufsteigenden Gasblasen. Hierzu muss der hydrostatische Druck des Gärbehälterinhalts überwunden werden. Da hierfür entsprechend dimensionierte Pumpen und Gasleitungen installiert werden müssen und eine zufriedenstellende Wirkung nur bei relativ niedrigen TS-Gehalten im Gärgemisch gewährleistet werden kann, ist diese Technik in landwirtschaftlichen Biogasanlagen nur sehr sporadisch anzutreffen. Für eine ausschließliche Vergärung von Gülle mit geringen Anteilen an Futterresten in kleineren Gärbehältern ist das System gut geeignet, problematisch wird es bei Zugabe langfaseriger und zum Aufschwimmen neigender Substrate wie strohreichtem Mist. Da der Rühreffekt beim pneumatischen Rührsystem durch das Aufsteigen der Gasbläschen im Gärgemisch von unten nach oben entsteht, kann eine Schwimmschicht kaum beseitigt bzw. der Entstehen sogar begünstigt werden.

Zur Steigerung der Rührleistung wird das Gas durch mehrere Düsen an verschiedenen Stellen in den Gärbehälter gepresst. Ein großer Vorteil dieser Technik besteht darin, dass beim Rührvorgang gleichzeitig die Gasqualität gesteigert werden kann, da durch die Rezirkulation des Biogases ein Teil des eingetragenen CO_2 zu Methan umgesetzt wird. Anwender der Gaseinpressung berichten von günstigen Ergebnissen hinsichtlich der Energieausbeute und Gasqualität. Sie weisen jedoch auch darauf hin, dass über mehrere Jahre experimentiert werden musste, bis die positiven Effekte der Gaseinpressung bei einem stabilen Anlagenbetrieb

sichergestellt werden konnten. Berichte aus der Praxis, wonach hierdurch der Methangehalt im Biogas gegenüber der herkömmlichen Verfahrenstechnik generell deutlich gesteigert wird, sind wissenschaftlich nicht bestätigt.

Auch beim pneumatischen Rührsystem befinden sich keine beweglichen oder störungsanfälligen Bauteile im Gärbehälter. Im Fall von Störungen ist der Kompressor für die Gaseinpressung außerhalb des Gärbehälters für Wartungsarbeiten gut zugänglich.

3.6 Rührzeiten

Ein effektiver Rührprozess hängt nicht nur von der richtigen Technik für das entsprechende Gärmedium, sondern auch von der optimalen Konstellation aus Rührdauer und Rührpausen ab. Wesentlichen Einfluss auf die Auslegung der Rührintervalle haben sowohl die Beschaffenheit des Gärmediums, als auch die eingesetzte Technik. Da jedes Gärgemisch andere Eigenschaften aufweist, können keine pauschalen Aussagen zu den Rührzeiten getroffen werden. Das Optimum muss anlagenspezifisch „durch Probieren“ gefunden werden.

Oberstes Ziel bei der Ermittlung der geeigneten Rührintervalle muss stets sein, die Bildung einer Schwimmschicht zu vermeiden und das Gärgemisch zu homogenisieren. Gleichzeitig sollte der Stromverbrauch für das Rühren auf dem geringstmöglichen Niveau gehalten werden.

Im Rahmen des Bayerischen Biogas-Monitorings wurden an ausgewählten Praxisanlagen mittlere Rührzeiten ermittelt, die zur effektiven Durchmischung der Gärbehälter notwendig waren. Um eine grobe Vorstellung von der großen Variabilität der beobachteten Rührzeiten zu geben, sind nachfolgend die Daten von neun Biogasanlagen mit unterschiedlichen Rühraggregaten dargestellt.

Tabelle 6: Rührzeiten in unterschiedlichen Vergärungsstufen unter Einsatz verschiedener Rührtechniken (Mittelwerte in min pro Stunde)

ID Anlage	1	2	3	4	5	6	7	8	9
F1/Rührwerk 1	S: 28	Z: 60	P: 9	P: 25	H: 60	H: 60	P: 22	H: 60	P: 11
F1/Rührwerk 2	S: 23	-	T: 9	-	-	-	-	-	-
F2/Rührwerk 1	S: 28	-	P: 8	-	-	H: 60	-	-	T: 8
F2/Rührwerk 2	S: 22	-	T: 8	-	-	-	-	-	-
NG 1/Rührwerk 1	S: 28	S: 16	P: 5	P: 13	P: 60	T: 16	T: 13	T: 14	T: 7
NG 1/Rührwerk 2	S: 18	T: n.v.	T: 5	-	P: n.v.	-	-	T: 14	-
NG 2	-	-	T: 5	-	-	-	-	T: 10	-
Gärrestlager	S: 18	T: 7	T+S: 3/2	-	n.v.	n.v.	T: 4	n.v.	n.v.

T: Tauchmotor-Propellerrührwerk

S: Stabmixer

P: Paddelrührwerk

H: Haspelrührwerk

Z: Zentralrührwerk

F: Hauptgärbehälter (Fermenter)

NG: Nachgärbehälter (Nachgärer)

n.v.: nicht verfügbar

Im Fall von Anlage 2 war die Kombination eines TMPR mit einem Stabmixer im Nachgärer nicht geeignet, das sehr faserreiche Gärgemisch aus dem Hauptsubstrat Kleegrassilage zufriedenstellend zu durchmischen. Es kam wiederholt zur Ausbildung einer Schwimmdecke, die nur sehr langsam und mit hohem Energieaufwand aufgelöst werden konnte. Die beiden Rühraggregate wurden daraufhin durch ein horizontales Paddelrührwerk ersetzt.

4 Hilfestellung zur Auswahl geeigneter Rührwerke

Die vorliegende Fachinformation kann selbstverständlich nicht den erfahrenen Planer bzw. Anlagenbauer ersetzen, der ein Rührwerk für einen gegebenen Gärbehälter auf Basis von Erfahrungswerten auswählt und dimensioniert. Mit der nachfolgenden Bewertungsmatrix soll dem Praktiker aber eine Hilfestellung gegeben werden, um die grundsätzliche Eignung unterschiedlicher Rührwerkstypen für Gruben- bzw. Rührkesselfermenter in Abhängigkeit verschiedener Faktoren zu beurteilen.

Tabelle 7: Hinweise zur Eignung bestimmter Rührwerkstypen für Gruben- bzw. Rührkesselfermenter

	Tauchmotorpropeller		Stabmixer		Langachse	Paddel		Haspel	Zentral	Pneumatisch	Hydraulisch	
	Kleinflügel, Schnellläufer	Großflügel, Langsamläufer	Kleinflügel, Schnellläufer	Großflügel, Langsamläufer	Großflügel, Langsamläufer	Stehend, Langsamläufer	Liegend, Langsamläufer	Liegend, Langsamläufer	Axial			
Gut geeignet	Behälter mit wechselnden Füllständen (Gärrestlager, Vorgube)	Dickflüssige Gärgemische	Überwiegende Vergärung von Gülle mit geringen Mengen an gut zerkleinerten Pflanzenteilen	Überwiegende Vergärung von Gülle mit geringen Mengen an gut zerkleinerten Pflanzenteilen	Überwiegende Vergärung von Gülle mit geringen Mengen an gut zerkleinerten Pflanzenteilen	Dickflüssige Gärgemische	Dickflüssige Gärgemische	Dickflüssige Gärgemische	Dickflüssige Gärgemische	Lange Fasern (> 10 cm)	Überwiegende Vergärung von Gülle mit geringen Mengen an gut zerkleinerten Pflanzenteilen	Überwiegende Vergärung von Gülle mit geringen Mengen an gut zerkleinerten Pflanzenteilen
					Hohe TS-Gehalte (>12 %)	Hohe TS-Gehalte (>12 %)	Hohe TS-Gehalte (>12 %)	Hohe TS-Gehalte (>12 %)				
	Überwiegende Vergärung von Gülle mit geringen Mengen an gut zerkleinerten Pflanzenteilen	Überwiegende Vergärung von Gülle mit geringen Mengen an gut zerkleinerten Pflanzenteilen		Dickflüssige Gärgemische	Lange Fasern (> 10 cm)	Lange Fasern (> 10 cm)	Lange Fasern (> 10 cm)	Lange Fasern (> 10 cm)	Überwiegende Vergärung von Gülle mit geringen Mengen an gut zerkleinerten Pflanzenteilen	Dickflüssige Gärgemische		
				Düninflüssiges Gärgemisch mit größerem Schmutzanteil: Neigung zur Bildung einer Sedimentschicht	Düninflüssiges Gärgemisch mit größeren Mengen an schlecht zerkleinerten Pflanzenteilen: Starke Neigung zur Bildung einer Schwimmschicht	Überwiegende Vergärung von Gülle mit geringen Mengen an gut zerkleinerten Pflanzenteilen	Überwiegende Vergärung von Gülle mit geringen Mengen an gut zerkleinerten Pflanzenteilen	Düninflüssiges Gärgemisch mit größeren Mengen an langfaserigen Pflanzenteilen: Starke Neigung zur Bildung einer Schwimmschicht	Überwiegende Vergärung von Gülle mit geringen Mengen an gut zerkleinerten Pflanzenteilen	Überwiegende Vergärung von Gülle mit geringen Mengen an gut zerkleinerten Pflanzenteilen		
Aufrühren einer Schwimmschicht in Gärrestlagern							Behälter mit wechselnden Füllständen					

	Tauchmotorpropeller		Stabmixer		Langachse	Paddel		Haspel	Zentral	Pneumatisch	Hydraulisch
	Kleinflügel, Schnellläufer	Großflügel, Langsamläufer	Kleinflügel, Schnellläufer	Großflügel, Langsamläufer	Großflügel, Langsamläufer	Stehend, Langsamläufer	Liegend, Langsamläufer	Liegend, Langsamläufer	Axial		
Bedingt geeignet	Dünnpflüssiges Gärgemisch mit größeren Mengen an schlecht zerkleinerten Pflanzenteilen; Starke Neigung zur Entmischung	Behälter mit wechselnden Füllständen (Gärrestlager, Vorgrube)	Dünnpflüssiges Gärgemisch mit größerem Schmutzanteil: Neigung zur Bildung einer Sedimentschicht	Dünnpflüssiges Gärgemisch mit größerem Schmutzanteil: Neigung zur Bildung einer Sedimentschicht	Behälter mit wechselnden Füllständen (Gärrestlager, Vorgrube)	Dünnpflüssiges Gärgemisch mit größeren Mengen an schlecht zerkleinerten Pflanzenteilen: Starke Neigung zur Bildung einer Schwimmschicht	Dünnpflüssiges Gärgemisch mit größeren Mengen an schlecht zerkleinerten Pflanzenteilen: Starke Neigung zur Bildung einer Schwimmschicht	Dünnpflüssiges Gärgemisch mit größerem Schmutzanteil: Neigung zur Bildung einer Sedimentschicht	Hohe TS-Gehalte (>12 %)		Behälter mit wechselnden Füllständen
		Hohe TS-Gehalte (>12 %)	Aufrühren einer Schwimmschicht in Gärrestlagern (nur bei vollem Behälter)	Hohe TS-Gehalte (> 12%)	Überwiegende Vergärung von Gülle mit geringen Mengen an gut zerkleinerten Pflanzenteilen	Dünnpflüssiges Gärgemisch mit größerem Schmutzanteil: Neigung zur Bildung einer Sedimentschicht	Behälter mit wechselnden Füllständen (Gärrestlager, Vorgrube)	Aufrühren einer Schwimmschicht in Gärrestlagern	Dünnpflüssiges Gärgemisch mit größerem Schmutzanteil: Neigung zur Bildung einer Sedimentschicht		Dünnpflüssiges Gärgemisch mit größeren Mengen an langen Pflanzenteilen: Starke Neigung zur Bildung einer Schwimmschicht
		Lange Fasern (> 10 cm)	Dünnpflüssiges Gärgemisch mit größeren Mengen an schlecht zerkleinerten Pflanzenteilen: Starke Neigung zur Entmischung	Lange Fasern (> 10 cm)	Dünnpflüssiges Gärgemisch mit größerem Schmutzanteil: Neigung zur Bildung einer Sedimentschicht	Behälter mit wechselnden Füllständen (Gärrestlager, Vorgrube)					

	Tauchmotorpropeller		Stabmixer		Langachse	Paddel		Haspel	Zentral	Pneumatisch	Hydraulisch
	Kleinflügel, Schnellläufer	Großflügel, Langsamläufer	Kleinflügel, Schnellläufer	Großflügel, Langsamläufer	Großflügel, Langsamläufer	Stehend, Langsamläufer	Liegend, Langsamläufer	Liegend, Langsamläufer	Axial		
Nicht Geeignet	Dickflüssige Gärgemische	Düninflüssiges Gärgemisch mit größerem Schmutzanteil: Neigung zur Bildung einer Sedimentschicht	Behälter mit wechselnden Füllständen (Gärrestlager, Vorgrube)	Behälter mit wechselnden Füllständen (Gärrestlager, Vorgrube)	Aufrühren einer Schwimmschicht in Gärrestlagern		Aufrühren einer Schwimmschicht in Gärrestlagern		Behälter mit wechselnden Füllständen	Dickflüssige Gärgemische	Dickflüssige Gärgemische
	Hohe TS-Gehalte (> 12%)	Aufrühren einer Schwimmschicht in Gärrestlagern	Dickflüssige Gärgemische						Aufrühren einer Schwimmschicht in Gärrestlagern	Hohe TS-Gehalte (>12 %)	Hohe TS-Gehalte (>12 %)
	Lange Fasern (> 10 cm)	Düninflüssiges Gärgemisch mit größeren Mengen an schlecht zerkleinerten Pflanzenteilen: Starke Neigung zur Entmischung	Lange Fasern (> 10 cm)	Aufrühren einer Schwimmschicht in Gärrestlagern	Düninflüssiges Gärgemisch mit größerem Schmutzanteil: Neigung zur Bildung einer Sedimentschicht	Aufrühren einer Schwimmschicht in Gärrestlagern	Düninflüssiges Gärgemisch mit größerem Schmutzanteil: Neigung zur Bildung einer Sedimentschicht		Düninflüssiges Gärgemisch mit größeren Mengen an langen Pflanzenteilen: Starke Neigung zur Bildung einer Schwimmschicht	Lange Fasern (>10 cm)	Lange Fasern (>10 cm)
			Hohe TS-Gehalte (> 12%)							Aufrühren einer Schwimmschicht in Gärrestlagern	

Für **liegende Gärbehälter** sind ausschließlich Haspelrührwerke in der Praxis erprobt und gut geeignet.

Quellenangaben

FNR: Handreichung Biogasgewinnung und –nutzung. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (Hrsg.), Gülzow, 2005

LfL: Wissenschaftliche Begleitung der Pilotbetriebe zur Biogasproduktion in Bayern. Abschlussbericht an das Bayerische Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising; Oktober 2009

KTBL: Schwachstellen an Biogasanlagen verstehen und vermeiden. 2. überarbeitete Auflage; 2009; ISBN 978-3-939371-81-6: 56 S.

Solarenergieförderverein Bayern e.V.: Der Eigenstromverbrauch von Biogasanlagen und Potenziale zu dessen Reduzierung. München, November 2006, <http://www.sev-bayern.de/content/bio-eigen.pdf> (Zugriff: 19.01.2015)

Technische Unterlagen der folgenden Rührwerkshersteller:

UTS Biogastechnik GmbH, Zeppelinstraße 8, 85399 Hallbergmoos
Franz Eisele u. Söhne GmbH u. Co.KG, Hauptstraße 4, 72488 Sigmaringen
Stelzenberger Biogas GmbH, Oberaign 9, 84558 Kirchweidach
KSB Aktiengesellschaft, Johann-Klein-Straße 9, 67227 Frankenthal
Agrotechnik Peters, Euregiostraße 7, 4500 Eupen, Belgien
BAUER GmbH, Röhren- und Pumpenwerk, 8570 Voitsberg, Österreich
Agrartechnik Lothar Becker, Engelader Straße 5, 38723 Seesen
ENVICON Klärtechnik GmbH &Co. KG, Simoniusstr.26, 88239 Wangen
Streisal GmbH, Kasseler Strasse 41, 34479 Calden-Westuffeln
J. Hochreiter GmbH, Hermann an der Steinau 1, 83530 Schnaitsee
agriKomp GmbH, Energiepark 2, 91732 Merkendorf
Krieg&Fischer Ingenieure GmbH, Bertha-von-Suttner-Strasse 9, 37085 Göttingen
NQ-Anlagentechnik GmbH, St.-Ulrich-Str. 22, 86733 Alerheim-Rudelstetten
SUMA Rührtechnik GmbH, Martinszeller Str. 21, 87477 Sulzberg
Fritz Paulmichl GmbH, Kisslegger Straße 19, 88299 Leutkirch
Fankhauser Maschinenfabrik, Luzernstrasse 36, CH-6102 Malters/LU
Agraferm Technologies AG, Färberstraße 7, 85276 Pfaffenhofen an der Ilm

Zitiervorlage

Kissel, R., R. Kliche, Streicher, G und M. Effenberger (2014): Empfehlungen für die Auswahl von Rührwerken für Gärbehälter und Gärrestlager. In. Biogas Forum Bayern Nr. IV – 10/2014 (2. Auflage), Hrsg. ALB Bayern e.V., http://www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Empfehlungen_fur_die_Auswahl_von_Ruhrwerken_fur_Garbehalter_und_Garrestlager_2_Auflage.pdf, Stand [Abrufdatum]

Das „Biogas Forum Bayern“ ist eine Informationsplattform zum Wissenstransfer für die landwirtschaftliche Biogasproduktion in Bayern.

Arbeitsgruppe IV (Bau- und Verfahrenstechnik)

Hier erarbeiten Experten Publikationen zu folgenden Themen:

- Sicherheit
- Emissionen
- Funktion
- System/Standort

Mitglieder der Arbeitsgruppe IV (Bau- und Verfahrenstechnik)

- ABB Automation Products GmbH
- AEROLOG, Gesellschaft für Informationslogistik, München
- Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Neustadt a. d. Saale
- Bayerisches Landesamt für Umwelt
- Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Landtechnik und Tierhaltung
- Biogas Beratung Barth
- Ennox biogas technology
- f10 Forschungszentrum für Erneuerbare Energien, Neuburg a. d. D.
- Fachverband Biogas e.V.
- Green contract
- Gutachtergemeinschaft Biogas
- Hochschule Landshut – Technologiezentrum Energie
- Landratsamt Neuburg-Schrobenhausen
- Regierung von Oberbayern (Gewerbeaufsichtsamt)
- Regierung von Oberfranken
- RegPower GmbH, Regensburg
- Siemens AG
- Sozialversicherung für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau
- Technische Hochschule Ingolstadt
- UGN Umwelttechnik GmbH, Gera



Herausgeber:

Arbeitsgemeinschaft Landtechnik
und landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e.V.
Vöttinger Straße 36
85354 Freising
Telefon: 08161/71-3460
Telefax: 08161/71-5307
Internet: <http://www.biogas-forum-bayern.de>
E-Mail: info@biogas-forum-bayern.de