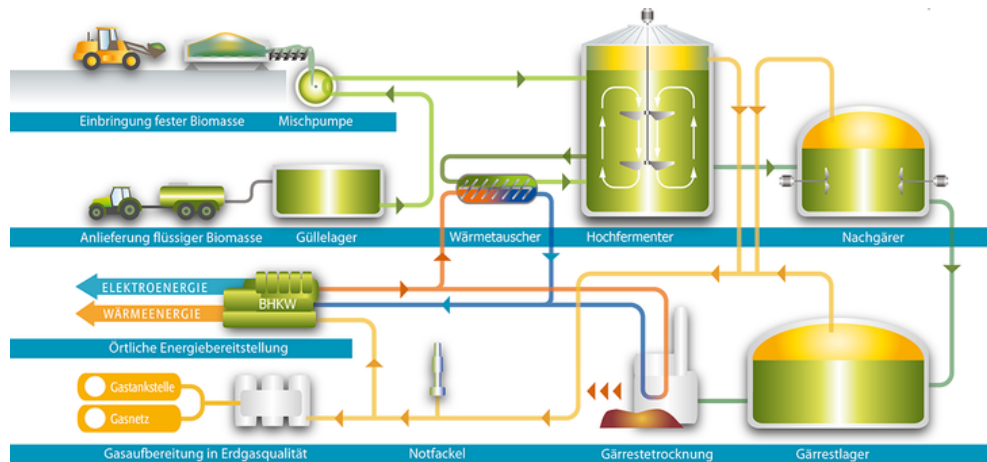


Wärmerückgewinnung aus Gärgülle

Beurteilung der technischen und ökonomischen Machbarkeit



Quelle: farmatic anlagenbau GmbH



Quelle: Schweizer AG, Spiral WT BGA Gemperle

engeli engineering
Steinmaurstr. 13
8173 Neerach
Tel. 044 858 30 20
info@engeli-eng.ch

Inhalt

1	Ausgangslage	3
2	Zielsetzungen	3
3	Fragestellung der Expertise	3
4	Wärmtauscher Systeme	4
4.1	Grundlagen.....	4
4.2	Rohr in Rohr Wärmetauscher.....	5
4.3	Spiral Wärmetauscher	7
4.4	Doppelhelix-Wärmeübertrager	8
4.5	Vergleichende Beurteilung.....	9
5	Wärmetechnische Betrachtung	10
5.1	Anforderungen an die WT-Typen und die Gülle.....	11
5.1.1	Problematik und Eignungsmerkmale WT.....	11
5.1.2	Problematik und Eignungsmerkmale Gülle	11
5.1.3	Zusammenfassung	11
6	Einbauoptionen und technische Voraussetzungen	12
6.1	Prinzipielle Einbaumöglichkeiten	12
6.2	Einbaubeispiel mit Wärmenutzung	13
6.3	Voraussetzungen für eine Wärmerückgewinnung.....	14
7	Technischer und ökonomischer Vergleich Wärmetauscher	15
7.1	Technischer und ökonomischer Vergleich Wärmetauscher.....	15
7.2	Wärmegestehungskosten der WRG Modellanlage	16
8	Schlussfolgerungen und Zusammenfassung	17
9	Anhang	18

1 Ausgangslage

Durch das Beheizen des Fermenterinhalt von Biogasanlagen sowie der mikrobiellen Tätigkeit besitzt Gärgülle ein Temperaturniveau von rund 40°C. Die im Fermenterinhalt gespeicherte Energie kann mit Hilfe von Wärmetauschern genutzt werden, um die Wärmebilanz von Biogasanlagen zu verbessern und den Betrieb zu optimieren.

Die zurückgewonnene Wärme kann beispielsweise für folgende Zwecke verwendet werden:

- Beheizen der Vorgrube der Biogasanlage
- Anschluss einer Niedertemperaturbodenheizungen
- Erwärmen der Rohgülle

Da in der Schweiz der Faseranteil in der Gärgülle meistens sehr hoch ist und es hier noch kaum vergleichbare Wärmerückgewinnungsanlagen gibt, ist ein beachtliches Risiko in Bezug auf Verstopfung und Fouling (Ablagerungen) vorhanden.

Die vorliegende Expertise schafft Klarheit, mit welchen Risiken, Gefahren aber auch Chancen diese effizienzsteigernde Massnahme verbunden ist.

Hierbei gilt es insbesondere die Wirtschaftlichkeit, die Effizienz und die Störungsanfälligkeit (z.B. durch Verstopfungen) solcher Anlagen zu berücksichtigen.

2 Zielsetzungen

Mit der Wärme, welche in der Gärgülle enthalten ist, kann bisher ungenutzte und damit mehr Energie aus dem Biogasprozess genutzt werden. Die Energie kann hierbei für verschiedene Prozesse verwendet werden. Nebst der Substitution fossiler Brennstoffe stellt die Wärmeübertragung in die Vorgrube eine einfache Möglichkeit zur Wärmenutzung dar.

Nebst der energetischen Sichtweise ergeben sich durch die Wärmerückgewinnung weitere positive Aspekte. Durch die Wärmerückgewinnungsanlage wird die Temperatur der Gärgülle wesentlich gesenkt. So können während der Endlagerung die Nährstoffverluste (Ammoniak) verringert werden.

3 Fragestellung der Expertise

1. Welcher seriell hergestellte Wärmetauscher bietet sich für die Wärmerückgewinnung (WRG) aus Gärgülle an, wenn das Ausgangssubstrat hohe Anteile an Hofdünger aufweist?
2. Welche Anforderungen stellen die WRG-Systeme an die Partikelgrösse der (Gär)Gülle?
3. Wie effizient kann die Wärme der Gärgülle entzogen werden?
4. Eignen sich die WRG-Systeme, um das Heizmedium auf ein beachtliches Energieniveau von 30°C anzuheben?

5. In welchem Verhältnis stehen die Kosten zur rückgeführten Energie

4 Wärmtauscher Systeme

4.1 Grundlagen

Für die Erwärmung des Substratgemisches werden in landwirtschaftlichen Biogasanlagen hauptsächlich interne Wärmetauschersysteme eingesetzt. In der Regel handelt es sich dabei um innen an der Fermenterwand montierte Rohrschlangen.



Abbildung 1: Interne Heizschlangen an der Fermenterwand

Zur Rückgewinnung von Wärme aus dem Ablauf von Fermentern oder Nachgärern eignen sich externe Wärmetauscher (links) zum Einbau in die Rohrleitungen gut. Alternativ können auch interne Wärmetauscher im Endlager zur Rückgewinnung der in der Gärgülle gespeicherten Wärme verwendet werden. In der vorliegenden Expertise werden externe Wärmetauscher vorgestellt und verglichen.



Abbildung 2: Externer Güllewärmetauscher zur Montage im Zu- oder Ablauf des Fermenters

Grundsätzlich unterscheidet man Gleichstrom- und Gegenstromwärmetauscher. Im Gleichströmer fließen die beiden Medien in gleicher Richtung an der Austauschfläche vorbei. Bei dieser Art kann das kalte Medium maximal auf die Mischtemperatur von

warmem und kaltem Medium gebracht werden. Im Gegensatz dazu kann beim Gegenströmer das kalte Medium mit Temperatur T theoretisch bis auf die Anfangstemperatur T_a des warmen Mediums aufgewärmt werden. Der Gegenstromwärmetauscher ist in seiner Wirkung also günstiger.

4.2 Rohr in Rohr Wärmetauscher

Die Rohr in Rohr Wärmetauscher sind am meisten verbreitet und werden sowohl auf Kläranlagen für die Schlammwärmerung wie auch in grossen landwirtschaftlichen Biogasanlagen eingesetzt und sind grundsätzlich gut geeignet für Medien mit Fasern und Partikeln. Die Vorteile von externen, ausserhalb des Fermenters installierten Wärmetauschern sind die sehr gute Zugänglichkeit für Reinigungszwecke und die definierten Strömungsverhältnisse, welche einen guten Wärmeaustausch ermöglichen.

Darüber hinaus wurden mit diesem Wärmtauscher Typ bei der Firma Peter Briner AG gute Erfahrungen gemacht. Die dortige Heizzentrale besteht aus einer Sole-Wasser-Wärmepumpe mit einer Leistung von 70 kW. Als Energielieferant stehen einerseits die warme Biogasgülle und andererseits ein Erdregister zur Verfügung.



Abbildung 3: Externer Güllewärmetauscher in der Heizzentrale der Firma Peter Briner AG

Ein wichtiger Wert für eine Beurteilung eines Wärmetauschers ist der k -Wert, die sogenannte Wärmedurchgangszahl, die diejenige Wärmemenge angibt, die pro m^2 Austauschfläche pro Sekunde und pro $^{\circ}C$ Temperaturdifferenz (zwischen kalter und warmer Seite) durch die Fläche fliesst. Für den Wärmetauscher ist also ein möglichst hoher k -Wert günstig (ganz im Gegensatz zum Beispiel zu einer Fermenterwand).

Die folgenden Abbildungen zeigen verschiedene Rohr-in-Rohr Wärmtauscher.

Berechnungsgrundlage: AD 2000 / DGRL PED 97/23/EG

Material: Aussenrohr aus C-Stahl, Innenrohr aus 1.4571 (V4A)

SKIZZE IST NUR ALS BEISPIEL GEDACHT

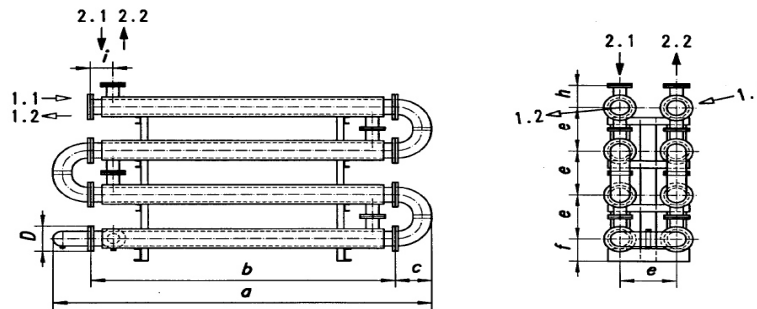


Abbildung 4: Skizze Rohr-in-Rohr Wärmtauscher



Abbildung 5: Rohr inRohr Wärmtauscher (Quelle: Geisberger Gesellschaft für Energieoptimierung mbH.)



Abbildung 6: Rohr in Rohr Wärmtauscher Bio-Heat (Quelle: SSE Specht Schmid Energietechnik GmbH & KG)

4.3 Spiral Wärmetauscher

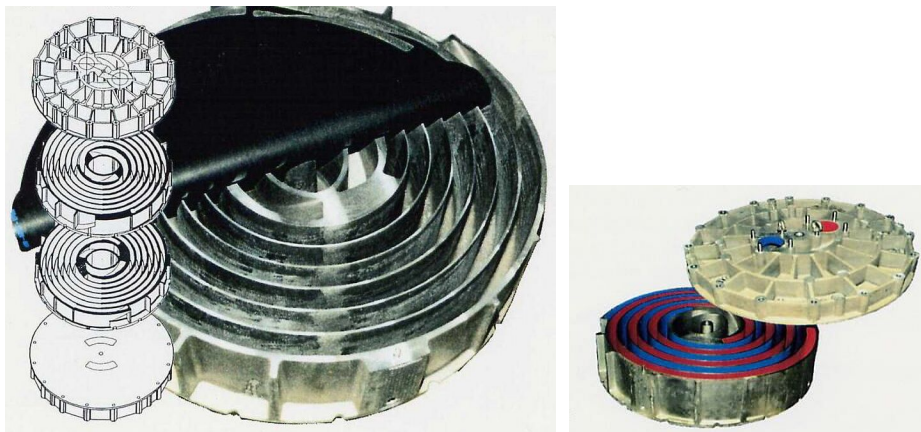


Abbildung 7: Spiral Wärmetauscher (Quelle: Missbach & Gärtner)

Spiral-Wärmetauscher werden häufig in industriellen Prozessen und in der Milchindustrie eingesetzt. Ein spezielles Einsatzgebiet ist die thermische Behandlung von Gülle, Klärschlamm, Bioabfall und organischem Restabfall in Klär-Biogasanlagen.

Der Spiral WT zeichnet sich durch folgende thermodynamische und strömungstechnische Eigenschaften aus:

- Spiralförmig gekrümmter Trapezkanal mit einer ausgeprägten Sekundärströmung erzeugt erhöhte Turbulenz vor allem bei schlammartigen Fluiden und verbessert den Wärmeübergang an der Wand, Partikelgrößen bis 20 mm sind zulässig
- Sehr gute Wärmeleitung von Aluminium gegenüber Stahl
- Aluminium-Guss Oberfläche mit vorteilhafter Rauigkeit und Oberflächengüte
- Hohe Wärmedurchgangszahl als Ergebnis von sehr guter Wärmeleitung in der Wand und hohem Wärmeübergang im turbulenten Bereich, k-Werte von 500 bis 2'500 $W/(m^2 \cdot K)$, je nach Volumenstrom und Eigenschaften des Stoffgemisches.
- Das sehr geringe Fouling-Verhalten (Ablagerungen jeglicher Art) garantiert einen ständig guten Wärmeübergang und eine gleichbleibend hohe Wärmeleitung
- Volumenstrom von 5-30 m^3/h optimal; Einsatz möglich ab 1 m^3/h (gemäß Offerte)

4.4 Doppelhelix-Wärmeübertrager

Doppelhelix-Wärmeübertrager sind optimal auf die thermische Behandlung von Gülle und fließfähiger Biomasse ausgelegt. Mit Hilfe dieses ausgeklügelten Systems kann kaltes Substrat gegen aufgeheiztes Substrat zur Wärmerückgewinnung zirkuliert werden.

Die Abbildung 5 zeigt eine Schnittzeichnung durch den Doppelhelix-Wärmeübertrager der Firma Farmatic Anlagenbau. Bei diesem Anlagentyp fließen das warme und das kalte bzw. aufzuheizende Medium im Gegenstrom entlang um eine Achse gewickelte Kanälen (sogenannte Helices). Dies macht Doppelhelix-Wärmetauscher zum optimalen System für wirtschaftliche Hygienisierung, Wärmerückgewinnung und externe Beheizung von Fermentern mit geringem Energieverlust.

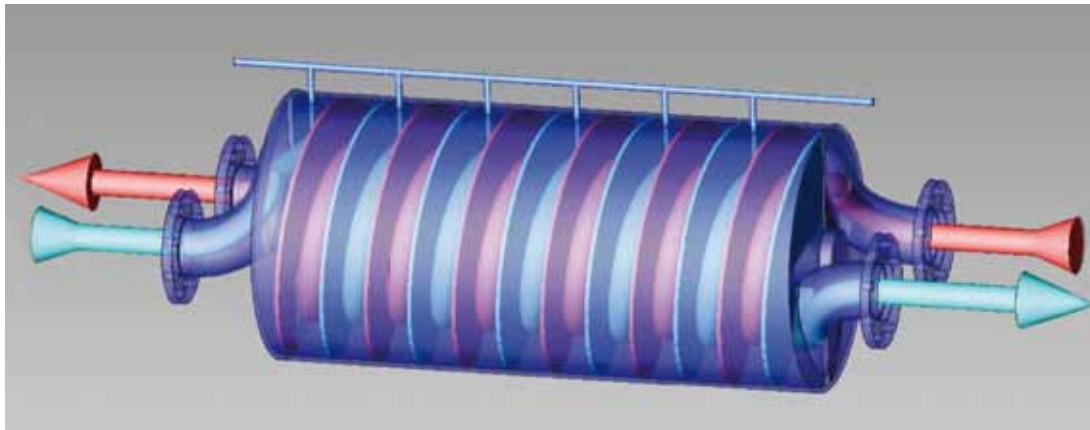


Abbildung 8: Abbildung Doppel-Helix Wärmübertrager (Quelle: Farmatic Anlagenbau GmbH)

Der Doppel-Helix Wärmeübertrager zeichnet sich gemäss der Firma Farmatic aus durch eine geringe Verstopfungsgefahr, durch grosse Übertragungsflächen und einen hohen Wärmeübergang.

Der Doppelhelix-Wärmeübertrager der Firma Farmatic Anlagenbau, welcher primär für Substraterwärmung und Wärmerückgewinnung in NAWARO Anlagen eingesetzt wird, scheint grundsätzlich auch für Gülle/Co-Substratmischungen geeignet zu sein.

4.5 Vergleichende Beurteilung

WT-System	Rohr in Rohr WT	Spiral WT	Doppelhelix WT
k-Werte (Bereich)*	300-1'400	500-2'500	400
Eignung hoher TS Gehalt	gut	mittel	gut
Reinigung	gut	mittel	gut
Platzbedarf	gross	klein	klein
Druckabfall	klein	mittel	klein
Kosten	tief	mittel	mittel

Tabelle 1: Qualitativer Vergleich von externen Wärmetauschern (* abhängig von Durchfluss und TS-Gehalt)

Die sehr guten Erfahrungen mit einem einfachen Rohr in -Rohr Wärmetauscher zur Rückgewinnung von Wärme aus einem Flüssigdüngerlager über mehrere Jahre zeigen, dass dieser WT-Typ sehr gut für die WRG geeignet ist und empfohlen werden kann, vorausgesetzt, die Biogasanlage ist mit den notwendigen Zerkleinerern ausgerüstet.

Mit dem Spiral-WT der Firma Missbach & Gärtner liegen derzeit noch keine Erfahrungen für den Einsatz in Co-Vergärungsanlagen vor. In der Schweiz ist in diesem Herbst auf einer Co-Vergärungsanlage ein Spiral WT installiert worden ist; erste Erfahrungen sind anfangs 2016 zu erwarten.

Rückfragen an die Firma Farmatic haben ergeben, dass der Doppelhelix-Wärmeübertrager auch zur Wärmerückgewinnung auf Co-Vergärungsanlagen eingesetzt wird. Der Wärmeübertrager wird jedoch nur in einer Grösse gebaut.

5 Wärmetechnische Betrachtung

Mit dem Einbau eines Wärmetauschers zur Rückgewinnung von Wärme aus dem Ablauf des Fermenters wird das Ziel verfolgt, Wärme zurück zu gewinnen, welche für die Aufheizung des Substrates oder für andere Heizzwecke verwendet werden kann.

Im Folgenden wird nun mit Hilfe einer Modellrechnung die rückgewinnbare Wärmemenge ermittelt, welche für die erwähnten Zwecke genutzt werden kann.

Die rückgewinnbare Wärmemenge ist neben dem Volumenstrom abhängig von der Temperaturdifferenz zwischen der Eintrittstemperatur der Gärgülle aus dem Fermenter in den Wärmetauscher und der Austrittstemperatur in das Endlager sowie dem Wirkungsgrad der Wärmeübertragung in den Wärmespeicher bzw. in den angeschlossenen Heizkreislauf eines Wärmeverbrauchers.

Mit Hilfe der in Tabelle 2 enthaltenen Eckdaten kann die gewinnbare Wärmemenge bei einem Zulauf von 1.5 m³/h Gärgülle mit einer Temperatur von 40 °C ermittelt werden:

Bauteil Medium		Mantelseite Wasser/Glykol		Rohrseite Gärülle	
		Volumenstrom Eintritt	m ³ /h	3.4	
Temperatur	°C	Eintritt 24	Austritt 30	Eintritt 40	Austritt 28
Inhalt	l	40		19	
Leistung	kW	20			
Fläche	m ²	11.4			
Wärmedurchgangskoeffizient	W/(m ² *h)	287			

Tabelle 2: Eckdaten Auslegung Rohr in Rohr Wärmetauscher für einen Volumenstrom von 1.5 m³/h

Daraus kann abgeleitet werden, dass mit diesem WT bei einer Eintrittstemperatur von 40 °C der Gülle und einer Eintrittstemperatur des Heizkreislaufs auf der Mantelseite von 24°C, eine Erwärmung des Heizkreislaufs auf 30°C möglich ist.

Für den Vergleich von WT-Typen sind neben der Zulauftemperatur der Gärgülle der Wärmedurchgangskoeffizient und die Fläche wichtige Kenngrößen.

Diese Kenngrößen sollten in den Unterlagen der WT-Anbieter zu finden sein und erlauben eine Beurteilung der Effizienz des Wärmetauschers.

5.1 Anforderungen an die WT-Typen und die Gülle

5.1.1 Problematik und Eignungsmerkmale WT

Problematisch ist der Einsatz eines externen Wärmetauschers bei Gülle mit einem hohen Strohanteil und Co-Substraten mit einem hohen Anteil sperriger, unzerkleinerter Feststoffe.

Daneben kann es zu unerwünschten Ablagerungen von koagulierte Eiweiss und auskristallisiertem MAP (Magnesium-Ammonium-Phosphat = Struvit) kommen.

Um Störungen bzw. Verstopfungen zu vermeiden, muss der WT folgende Merkmale aufweisen:

- genügend freier Querschnitt
- einfach und schnelle zu öffnende 180 ° Bogen bei Rohr WT
- einfach zu öffnende Elemente bei Spiral WT
- Spülstutzen an Ein- und Auslauf

5.1.2 Problematik und Eignungsmerkmale Gülle

Um einen möglichst reibungslosen Betrieb zu gewährleisten gelten folgende Anforderungen an die Gülle und die Aufbereitung:

- Trockensubstanzgehalt bis maximal 15%
- Teilchengösse idealerweise maximal 10 mm
- Vogelsang Rotacut, Börger Unihacker, Limator, QZ oder vergleichbare Zerkleinerungseinheit **mit Ziel Teilchengrösse ≤ 10 mm**

5.1.3 Zusammenfassung

Um in der Praxis einen möglichst reibungslosen Betrieb zu gewährleisten, müssen folgende Anforderungen erfüllt werden können:

Wärmetauscher:

- Der Wärmetauscher muss einen genügen grossen Querschnitt aufweisen, damit er verstopfungsfrei betrieben werden kann. Der Wärmetauscher muss mit definierten Strömungsverhältnissen betrieben werden können

Der Wärmetauscher muss mit Abzugs- und Reinigungsöffnungen ausgestattet sein

Substrate bzw. Gülle:

- Die Substrate müssen intensiv zerkleinert werden, damit die Partikelgrösse auf ≤ 10 mm reduziert werden kann.

6 Einbauoptionen und technische Voraussetzungen

6.1 Prinzipielle Einbaumöglichkeiten

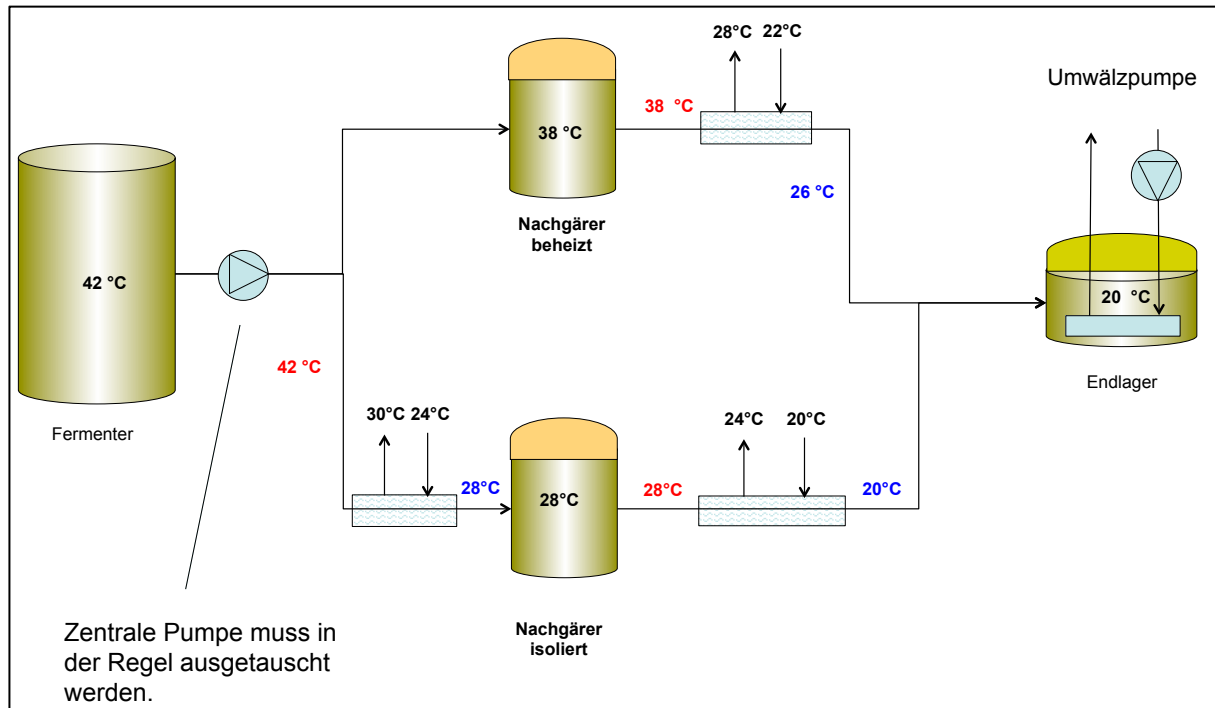


Abbildung 9: Prinzipielle Einbaumöglichkeiten für einen Wärmetauscher

Ein Wärmetauscher zur Optimierung des Energiehaushaltes einer Biogasanlage kann an folgenden Positionen eingebaut werden:

- Ablauf aus dem Fermenter in einen unbeheizten, isolierten Nachgärer
- Ablauf aus dem beheizten Nachgärer in das Endlager
- Ablauf aus dem unbeheizten, isolierten Nachgäre in das Endlager

Das beste Ergebnis ist dort zu erwarten wo die Temperaturdifferenz am höchsten ist. Das heisst, zwischen dem Fermenter und dem **unbeheizten Nachgärer**, dem Endlager oder zwischen dem beheizten Nachgärer und dem Endlager.

Der optimale Einbauort ist jeweils im Rahmen der Planung zu bestimmen.

Weiter ist dabei die Leistung der Abzugspumpe (Zentralpumpe oder speziell zu diesem Zweck installierte Pumpe) zu beachten.

6.2 Einbaubeispiel mit Wärmenutzung

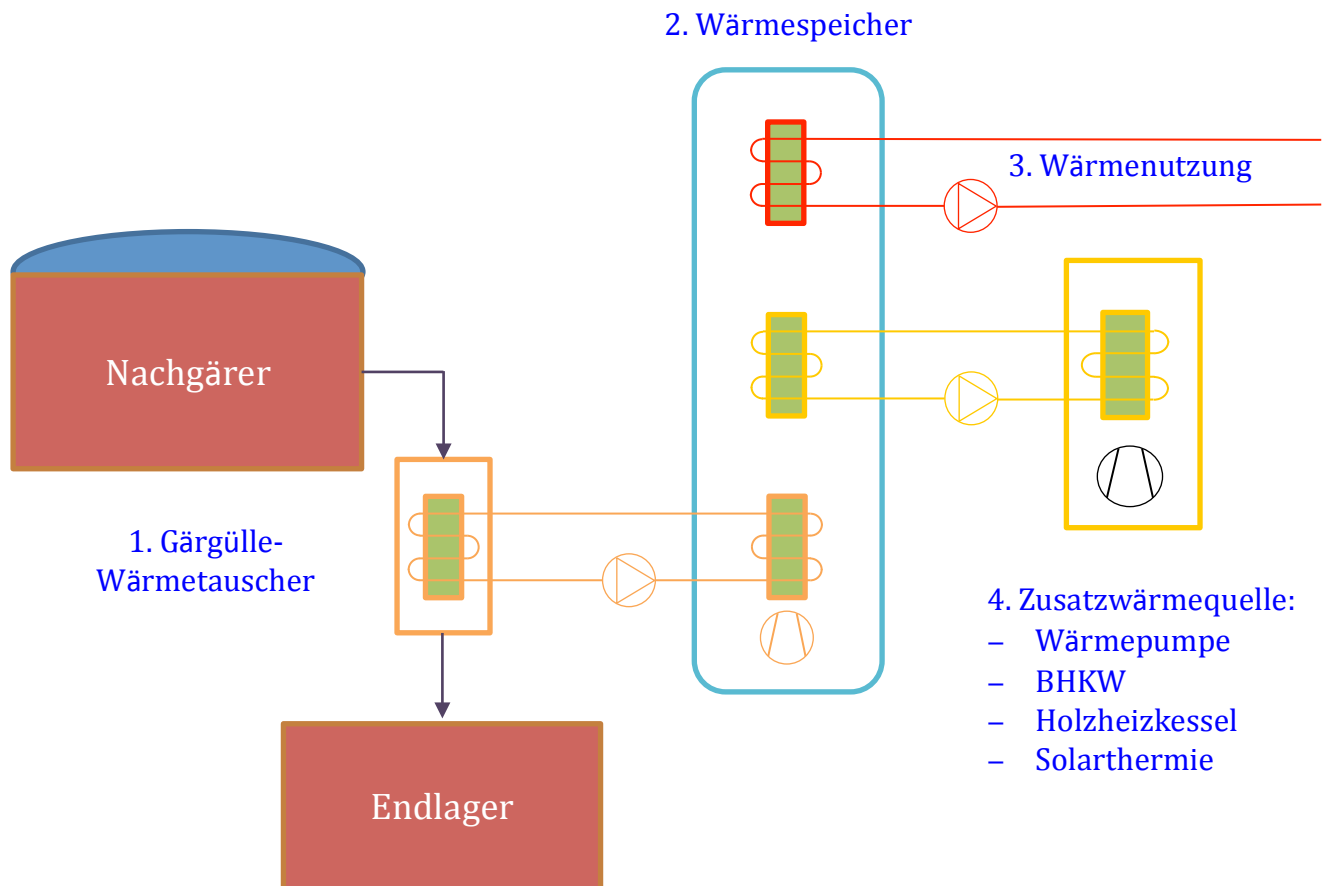


Abbildung 10: Einbaubeispiel mit Wärmespeicher und Zusatzwärmequelle

Zum WRG-Konzept gehören folgende Komponenten

1. Wärmetauscher:

Wärmetauscher entzieht aus 40 °C warmer Gärgülle Wärme und führt diese in einen Wärmespeicher.

2. Wärmespeicher

Ein Wärmespeicher speichert die Wärme aus der Gärgülle. Aus dem Wärmespeicher wird die Wärme für die Heizung entnommen.

3. Wärmenutzung

Die aus dem Speicher entnommene Wärme kann für verschiedene Zwecke verwendet werden: Vorwärmung Rohgülle, Bodenheizung Stallboden Ferkelbuchten etc.

4. Zusatzwärmequelle

An den Wärmespeicher können im Bedarfsfall zusätzliche Wärmequellen wie Wärmepumpe, Holzheizkessel, BHKW oder thermische Sonnenkollektoren angeschlossen werden. Damit kann das Temperaturniveau im Wärmespeicher von rund 30 °C auf 60 °C erhöht werden kann, was weitere Anwendungen oder höhere Wärmeleistungen ermöglicht

6.3 Voraussetzungen für eine Wärmerückgewinnung

Wichtige Voraussetzung für eine effiziente Wärmerückgewinnung ist ein gleichmässiger Zulauf auf den Wärmetauscher.

Dies hat zur Folge, dass die Pumpe, welche den Abzug von Gülle aus dem Fermenter oder dem beheizten Nachgärer sicherstellt, bei bestehenden Anlagen in den meisten Fällen ausgetauscht werden muss.

Bei Neuanlagen kann die gleichmässige Beschickung des Wärmetauschers schon bei der Planung berücksichtigt und die Pumpe entsprechend ausgelegt werden.

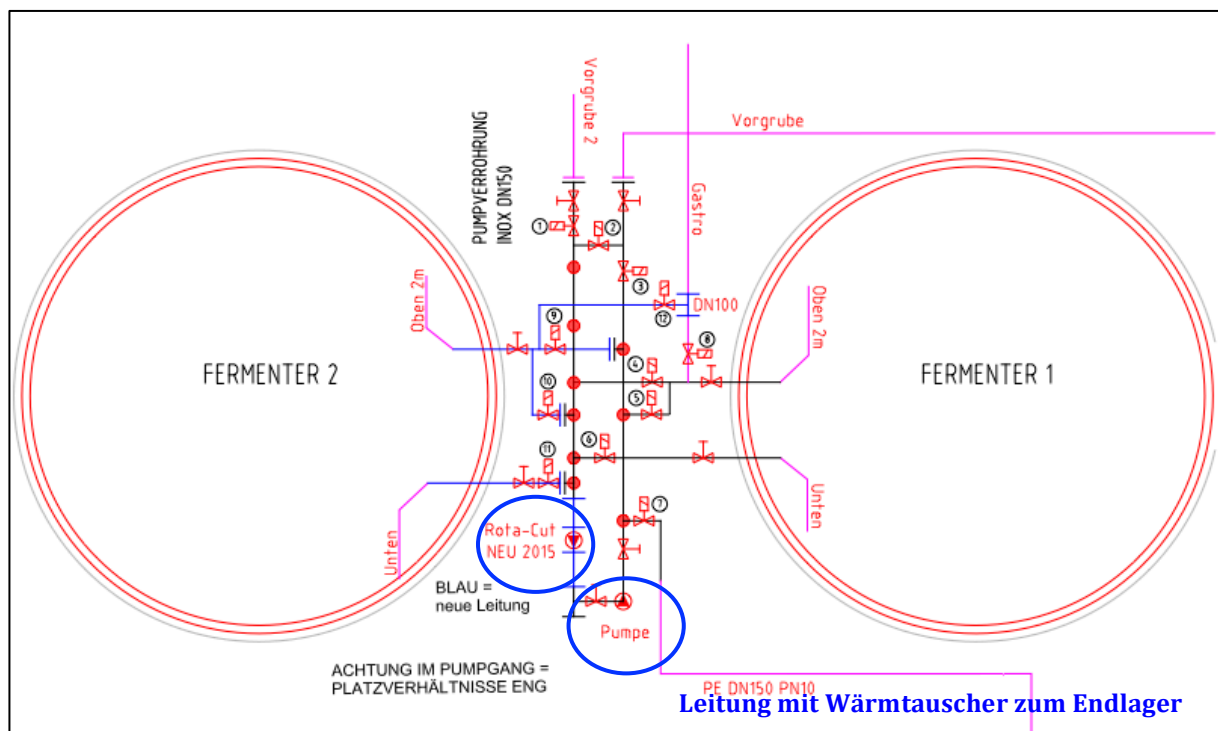


Abbildung 11: Gülleschema mit Rotacut und Pumpe (Quelle: Schweizer AG.)

Abbildung 6 zeigt das Gülleleitungsschema einer Anlage mit einem Rotacut und der zentralen Pumpe. Weil die Leistung der Pumpe in der Regel zu gross ist, muss diese ausgetauscht werden, damit der WT gleichmässig beaufschlagt werden kann.

Zusätzlich muss beispielsweise ein Rotacut (oder vergleichbar) eingebaut werden, damit die Grösse von sperrigen Teilchen auf ein verträgliches Mass reduziert werden kann.

7 Technischer und ökonomischer Vergleich Wärmetauscher

7.1 Technischer und ökonomischer Vergleich Wärmetauscher

		Heim AG	Isoplus	Farmatic
		Wegmann	Missbach	
Wärmetauscher Typ		Rohr in Rohr	Spiral-WT	Doppelhelix
Volumenstrom Gülle	m ³ /h	1.5	1.0	6.0
Abmessungen (LxBxH)	m	6.25 x 0.5 x 2.5	2.45 x 1.27 x 1.27	6.3 x 0.52 x 0.52
Anzahl Rohre/Elemente	Anz.	10	1	2
Raumbedarf total approx	m ³	8.0	4.0	4.5
Durchmesser aussen	cm	11.43	98	51.8
Innenrohr	cm	6.03		8.0
Länge Rohr	m	6.00	176 (Höhe)	6.3
Gesamtlänge ca.	m	60	keine Angaben	80
Fläche	m ²	11.40	12	12
Wärmedurchgangszahl	W/(m ² *K)	286	158	keine Angaben
Temp primär (Gülle)	°C	40/28	40/32	42/20
Temp sekundär	°C	24/30	27/35	20/33
Leistung	kW	21.00	9.3	143
TS max.	%	15	5	9-12
Korngrösse max.	mm	10	max. 20	10
Preis		CHF 24'560.00	€ 29'250.00	€ 34'080.00
Gestell			€ 1'310.00	
		CHF 24'560.00	€ 30'560.00	€ 34'080.00
Total CHF		CHF 24'560.00	CHF 33'616.00	CHF 37'488.00
Speicher 3000 l (2WT)		CHF 5'500.00	CHF 5'500.00	CHF 5'500.00
Zubehör		CHF 7'711.00	CHF 7'711.00	CHF 7'711.00
Transport und Montage		CHF 8'000.00	CHF 8'000.00	CHF 8'000.00
Total		CHF 45'771.00	CHF 54'827.00	CHF 58'699.00

Tabelle 3: Technische Daten und Investitionskosten verschiedene WT (Stand Oktober 2015)

Dazu kommen Kosten für folgende Anpassungen an der bestehenden Biogasanlage:

- Ersatz Pumpe für Abzug aus Fermenter
- Hydraulische Einbindung (Rohrleitungen, Bypass)
- Anpassung Steuerung
- Foundationen für Aufstellung WT
- Montagematerial (Schellen, Flansche)
- Isolation Rohrleitungen, Wärmeleitung und Speicher

Diese Kosten bewegen sich in Abhängigkeit von der lokalen Situation zwischen CHF 15'000.- und CHF 30'000.-.

Damit erhöhen sich die Gesamtkosten auf CHF 60'000.- bis 90'000.-; im Einzelfall können sie noch höher sein **[Schätzung mit Hilfe von Angaben Anlagebauer]**.

7.2 Wärmegestehungskosten der WRG Modellanlage

In der folgenden Tabelle sind die wichtigsten Eckwerte für die Ermittlung der Wärmegestehungskosten für den Rohr in Rohr Wärmetauscher dargestellt

Die Abschätzung basiert auf einer Biogasanlage mit einem Durchsatz von 12'500 t/a.

Beschreibung	Einheit	1	2	3	4	Bemerkungen
Durchsatz Biogasanlage	t/a	12'500	12'500	12'500	12'500	
Volumenstrom Gärgülle	m ³ /h	1.5	1.5	1.5	1.5	über 24 Stunden
Temperatur Gärgülle	°C	40	40	40	40	
Temperatur Heizmedium Austritt	°C	30	30	30	30	
Abschreibedauer	a	15	15	15	15	
Zinssatz	%	3	3	3	3	
Leistung	kW	21	21	21	21	WT Wegmann
WRG Betrieb pro Jahr	d	180	120	180	120	6 bzw. 4 Monate
WRG Stunden pro Jahr	h	4'320	2'880	4'320	2'880	
Wärmeertrag pro Jahr	kWh	90'720	60'480	90'720	60'480	
Investitionskosten	CHF	75'000	75'000	100'000	100'000	Offerten / Schätzwerte
Dauer	a	15	15	15	15	
Zins	%	3.0	3.0	3.0	3.0	
Annuität	CHF/a	6'282	6'282	8'377	8'377	
Betriebskosten pro Jahr						
RWU 2%	CHF/a	1'500	1'500	2'000	2'000	
	CHF	9'500	9'500	9'500	9'500	Annuität, Strom, Unterhalt
Laufzeit Pumpe:	h	3'600	2'400	3'600	2'400	
Leistung Pumpe	kW	1.5	1.5	1.5	1.5	
Stromverbrauch	kWh	5'400	3'600	5'400	3'600	
Strompreis	CHF/kWh	0.18	0.18	0.18	0.18	
Stromkosten	CHF/a	972	648	972	648	Wärmenutzungen 180 Tagen
Jahreskosten WRG	CHF/a	8'754	8'430	11'349	11'025	
Kosten pro kWh Wärme	Rp/kWh	9.65	13.94	12.51	18.23	

Tabelle 4: Eckdaten und Wärmegestehungskosten für eine BGA mit einem Jahresdurchsatz von 12'500 t/a

Die für eine Anlage mit einem Jahresdurchsatz von 12'500 t/a ermittelten Wärmegestehungskosten betragen je nach Betriebsdauer und Investitionskosten zwischen rund 10 und 19 Rp./kWh..

8 Schlussfolgerungen und Zusammenfassung

Die einleitende Fragestellung der Expertise kann wie folgt beantwortet werden:

Frage: Welcher seriell hergestellte Wärmetauscher bietet sich für die WRG aus Gärgülle an, wenn das Ausgangssubstrat hohe Anteile an Hofdünger aufweist?

Antwort: Aufgrund der heute vorliegenden Erfahrungen mit flüssigem Gärgut wird für einen Volumenstrom $\leq 1.5 \text{ m}^3/\text{h}$ der Rohr-in-Rohr Wärmetauscher vorgeschlagen.
Für Volumenströme im Bereich von $\geq 6 \text{ m}^3/\text{h}$ kommt eher ein Spiral- oder ein Doppelhelix WT (Farmatic) infrage.

Frage: Welche Anforderungen stellen die WRG-Systeme an die Partikelgrösse der (Gär)gülle?

Antwort: Um die Verstopfungssicherheit zu erhöhen muss die Anlage mit einem Rotacut, Unihacker, Limator, QZ oder einem gleichartigen Zerkleinerer ausgerüstet sein

Frage: Wie effizient kann die Wärme der Gärgülle entzogen werden?

Antwort: Mit optimal ausgelegten und an den Durchfluss angepassten Systemen kann die Wärme effizient zurück gewonnen werden

Frage: Eignen sich die WRG-Systeme, um das Heizmedium auf ein beachtliches Energieniveau von 30°C anzuheben?

Antwort: Die Temperatur im Heizkreislauf oder in einem Speicher kann maximal auf 30°C erhöht werden

Frage: In welchem Verhältnis stehen die Kosten zur rückgeführten Energie

Antwort: Die Wärmegestehungskosten betragen für eine Anlage mit einem Jahresdurchsatz von $12'500 \text{ t/a}$ je nach Betriebsdauer und Investitionskosten zwischen und 10 und 19 Rp./kWh.

Entscheidend für einen erfolgreichen Einsatz sind:

- eine anlagebezogene Planung und Kostenschätzung zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit
- eine an den Volumenstrom angepasste Auslegung und ein möglichst kontinuierlicher Betrieb des WT, damit nicht ein überdimensionierter (für kurzzeitig hohe Volumenströme) und teurer WT eingesetzt werden muss
- ein mindestens 6 monatiger Betrieb pro Jahr

Die Installation macht wirtschaftlich keinen Sinn, wenn die zusätzlich gewinnbare Wärme nur während 2 - 3 Monaten genutzt werden kann.

9 Anhang

Anhang 1: Offerte Wegmann Wärmtauscher GmbH, CH-Wildberg

Anhang 2: Offerte Missbach & Gärtner, D-Nordhausen

Anhang 3: Offerte Farmatic Anlagenbau GmbH, D-Nortorf

Besteller: Herr Stefan Reisp
Objekt: **Presswasser Nutzung**
Konditionen: 2/3 vor Lief. Rest 30 Tage
Versandart: frei Haus oder Grenze

Heim AG Heizsysteme
Herr Stefan Reisp
Wittenwilerstr. 31
CH - 8355 Aadorf

Offerte 15-15082830

Wildberg, 02.09.2015

Wir danken Ihnen für Ihre Anfrage und bieten gerne nachfolgende Produkte an. Für weitere Auskünfte stehen wir Ihnen jederzeit zur Verfügung. Unsere aktuell gültigen Allgemeinen Lieferbedingungen finden Sie auf www.waermetauscher.ch.

Artikel- Beschreibung	Menge	Einzelpreis	Total	Rabatt	Netto
-----------------------	-------	-------------	-------	--------	-------

Offertgültigkeit: 30 Tage

Liefertermin: 8 Arbeitswochen

** Zwischenverkauf vorbehalten **

WR 10 DT 100/50 x 6000 - DA, 25 kW Doppelrohr-Wärmetauscher für Presswasser - Nutzung Wärmetauscher liegende Ausführung, serielle Schaltung	1 Stk	24'560,00	24'560,00		24'560,00
--	-------	-----------	-----------	--	-----------

gemäss Datenblatt 001

Isolation bauseits!

GARANTIE: 24 Monate ab Lieferdatum
max. 12 Monate nach Inbetriebnahme

gemäss unseren allg. Lieferbedingungen.
Ausgeschlossen sind Korrosion und Ver-
schmutzung !

Lieferung an:
Heim AG Heizsysteme
Herr Stefan Reisp
Wittenwilerstr. 31
CH - 8355 Aadorf

Total ohne MwSt		CHF	24'560,00
Mehrwertsteuer	Normal 8.0%	CHF	1'964,80
Total inklusive MwSt		CHF	26'524,80
Unsere MwSt-Nr.: CHE-110.133.206 MWST			

Bankverbindung: Zürcher Kantonalbank - 8010 Zürich - Schweiz in CHF = IBAN: CH42 0070 0114 2000 3341 0
SWIFT-Code: ZKBKCHZZ80A, Konto 1300-00373.478 in EUR = IBAN: CH97 0070 0130 0003 7347 8

Tel: 052 369 70 90
Fax: 052 369 70 91

Angebot 15-15082830

Doppelrohr-Wärmetauscher für Presswasser - Nutzung

Dat. Blatt 001

GEOMETRIEDATEN

Manteldurchmesser	mm	114,3 x 3,6	TEMA Type	DPR
Innenrohre	mm	60,3 x 3	Ausrichtung	horizontal
Bündellänge	mm	6000	Apparate in Reihe	10
Baulänge ca.	mm	6250	Leergewicht ca. kg	114

LEISTUNGSDATEN

		Mantelseite		Rohrseite	
		Eintritt	Austritt	Eintritt	Austritt
Medium		Wasser/Ethylenglykol 25%		Jauche (als Wasser ang.)	
Massenstrom gesamt	kg/h	3254		1492	
Volumenstrom gesamt	m³/h	3,4		1,5	
Gasmenge	kg/h				
Flüssigmenge	kg/h	3254	3254	1492	1492
Gasanteil		0	0	0	0
Flüssiganteil		1	1	1	1
Inerte Anteil	%				
Temperatur	°C	24	30	40	28
Druck (abs.)	bar	5	4,98	5	4,99
Gas - Dichte	kg/m³				
Gas - Viskosität	mPa·s				
Gas - spez. Wärmekapazität	kJ/(kg·K)				
Gas - Wärmeleitfähigkeit	W/(m·K)				
Flüssig - Dichte	kg/m³	1040,6		994,7	
Flüssig Viskosität	mPa·s	1,8261		0,7337	
Flüssig - spez. Wärmekapazität	kJ/(kg·K)	3,83		4,18	
Flüssig - Wärmeleitfähigkeit	W/(m·K)	0,5043		0,6209	
Fouling-Widerstand	m²·KW	0,00000		0,00000	
Geschwindigkeit	m/s	0,14		0,18	
Druckverlust	bar	0,02		Text	0,01
Leistung	kW			21	
Fläche	m²			11,4	
Flächenreserve	%			2,6	
Wärmedurchgangskoeffizient	W/(m²·K)			286,5	
log. Temp. Diff. (korrigiert)	K			6,55	

KONSTRUKTIONSDATEN

		Mantelseite	Rohrseite
Auslegungsdruck	bar	10	10
Auslegungstemperatur	°C	80	100
Anzahl der Durchgänge		1	1
Korrosionszuschlag	mm	1	-
Stützengröße Eintritt	DN	DN 50	DN 50
Stützengröße Austritt	DN	DN 50	DN 50
Stützengröße Verbindung	DN		
Inhalt ca.	ltr.	40,2	19,0

WERKSTOFFE

Mantelrohr	P235GH	Innenrohre - geschweißte Ausführung	1.4571
Rohrböden	P265GH	Kammer Eintritt	P265GH
Umlenkleche	ohne	Kammer Austritt	P265GH

INGENIEURBÜRO

Mißbach & Gärtner

[Ing.-Büro Mißbach & Gärtner GbR, Rathsfelder Str. 1, D-99734 Nordhausen](http://www.ing-buero-miessbach-gaertner.de)

Engeli engineering

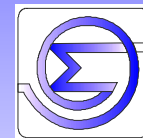
info@engeli-eng.ch

Herr Hans Engeli
Steinmaurstrasse 13

CH-8173 Neerach

ENERGIE-
UND
UMWELT
TECHNIK

- Beratung
- Planung
- Konstruktion
- Anlagenbau



Spiral-
Wärmeübertrager

Ihre Zeichen

Ihre Nachricht

Unsere Zeichen

Datum

Herr Mißbach

26.08.2015

Angebot-Nr.: 1147-15

Spiral-Wärmeübertrager zur Wärmerückgewinnung

Projekt: Anfrage vom 20.08.2015

Wärmerückgewinnung aus Gärrest an BGA

Sehr geehrter Herr Engli,

wir bedanken uns für Ihre Anfrage und unterbreiten Ihnen nachfolgend unser Angebot für einen Spiral-Wärmeübertrager zur Wärmerückgewinnung an einer BGA.

Auslegungsdaten

Zur Wärmerückgewinnung an der BGA soll ein Spiral-Wärmeübertrager im Gegenstrom eingesetzt werden. Der warme Gärrest mit 40°C soll zur Erwärmung einer Fußbodenheizung mit 35°C Vorlauf/27°C Rücklauf genutzt werden.

Der Gärrest durchströmt den Spiral-WÜ von oben nach unten in Richtung der Schwerkraft. Somit werden Ablagerungen durch Sediment verhindert. Das Wasser der Fußbodenheizung strömt in der Gegenrichtung.

Der Spiralwärmeübertrager ist unempfindlich gegenüber Sand, Fetten und Eiweißen sowie Feststoffpartikel bis 20 mm Größe. Haare, Fasern, Borsten und kleine Fremd- und Störstoffe werden ausgespült.

Die seewasserbeständige Aluminium-Gußlegierung besitzt eine hohe Korrosionsfestigkeit gegenüber organischen Säuren.

Durch den konstruktiven Aufbau (Sekundärströmung) und das verwendete Material (stahlkugelgestrahlte Aluminiumguß-Legierung) werden dauerhaft hohe k-Zahlen gerade bei hochviskosen Medien erreicht.

Der WÜ wird als Gegenströmer mit dem Substratstrom von oben nach unten in Richtung der Schwerkraft betrieben. Damit sind eine hohe Betriebssicherheit und ein verstopfungsfreier Betrieb garantiert.

Für die Auslegung wurden eigene Stoffdaten zugrunde gelegt. Abweichungen zum Einsatzfall sind möglich.

...

Ing.-Büro
Mißbach & Gärtner
Rathsfelder Str. 1
D-99734 Nordhausen



++49(0)3631/ 476742



++49(0)3631/ 476785



Ing.Buero-
Missbach-Gaertner
@t-online.de
www.
Missbach-Gaertner.de

Deutsche Bank PGK AG
Konto 226 894 400
BLZ 820 700 24

Ust.-IdNr.:
DE 150426504

Einsatzfall	Kurzbezeichnung	Erwärmen/Abkühlen	Leistung
Projekt A	36 m³/d		
6 m ³ /h Biosubstrat		von 40°C auf 35,4°C (4,6 K) Zeit: 6 h/d	32,0 kW
1 m ³ /h Biosubstrat		von 40°C auf 32°C (8 K) Zeit: > 24 h/d ?	9,3 kW
Projekt B	16,5 m³/d		
3 m ³ /h Biosubstrat		von 40°C auf 32,8°C (7,2 K) Zeit: 5,5 h/d	25,0 kW
1 m ³ /h Biosubstrat		von 40°C auf 32°C (8 K) Zeit: 16,5 h/d	9,3 kW
Typ: SHWT-8 WÜ-Fläche: 12 m ²			

Leistungs- und Lieferumfang

Pos.	Stück	Bezeichnung	Preis
01	1	Spiral-Hochleistungswärmeübertrager für Suspensionen mit Feststoffpartikeln	

Projekt A

WÜ 1:	Wärmerückgewinnung	
Zeit:	6 h/d	
Typ:	SHWT – 8 Wasser / Biosubstrat	
Material:	GAISI10Mg; korrosions- und seewasserbeständig	

Wärmeleistung:	32 kW	
k – Zahl:	421 W/m ² K	
Log. Temp.-Diff.:	6,6 K	
Fläche:	11,5 m ² gerechnet; 12 m ² ausgeführt	
Flächenreserve:	4,2 %	
Medium:	Wasser	Gärrest 5% TS
Druckverlust:	6 kPa	37 kPa
Durchfluß:	3,4 m ³ /h	6,0 m³/h
Strö.-geschwindigkeit:	0,2 m/s	0,36 m/s
Temperaturen:	27°C / 35°C	40°C / 35,4°C
Temp.-Diff.:	8 K	6,6 K

Wärmeleistung:	9,3 kW	
k – Zahl:	158 W/m ² K	
Log. Temp.-Diff.:	5 K	
Fläche:	11,8 m ² gerechnet; 12 m ² ausgeführt	
Flächenreserve:	1,7 %	
Medium:	Wasser	Gärrest 5% TS
Druckverlust:	1,4 kPa	11 kPa
Durchfluß:	1,0 m ³ /h	1,0 m³/h
Strö.-geschwindigkeit:	0,06 m/s	0,06 m/s
Temperaturen:	27°C / 35°C	40°C / 32°C
Temp.-Diff.:	8 K	8 K

Pos.	Stück	Bezeichnung	Preis
		Projekt B	
		WÜ 1: Wärmerückgewinnung	
		Zeit: 5,5 h/d	
		Typ: SHWT – 8 Wasser / Biosubstrat	
		Material: GAlSi10Mg; korrosions- und seewasserbeständig	
		Wärmeleistung: 25 kW	
		k – Zahl: 387 W/m ² K	
		Log. Temp.-Diff.: 5,4 K	
		Fläche: 12 m ² gerechnet; 12 m ² ausgeführt	
		Flächenreserve: keine	
		Medium: Wasser Gärrest 5% TS	
		Druckverlust: 4,8 kPa 22 kPa	
		Durchfluß: 2,7 m ³ /h 3,0 m³/h	
		Strö.-geschwindigkeit: 0,16 m/s 0,36 m/s	
		Temperaturen: 27°C / 35°C 40°C / 32,8°C	
		Temp.-Diff.: 8 K 7,2 K	
		Wärmeleistung: 9,3 kW	
		k – Zahl: 158 W/m ² K	
		Log. Temp.-Diff.: 5 K	
		Fläche: 11,8 m ² gerechnet; 12 m ² ausgeführt	
		Flächenreserve: 1,7 %	
		Medium: Wasser Gärrest 5% TS	
		Druckverlust: 1,4 kPa 11 kPa	
		Durchfluß: 1,0 m ³ /h 1,0 m³/h	
		Strö.-geschwindigkeit: 0,06 m/s 0,06 m/s	
		Temperaturen: 27°C / 35°C 40°C / 35,4°C	
		Temp.-Diff.: 8 K 6,6 K	
		Auslegungsdruck: 4 bar	
		Abmessungen: Durchmesser 980 mm; Höhe 1758 mm	
		Anschlüsse: 4 x DN 100 PN 16 jeweils am Deckel	
		Gewicht: 1110 kg leer ohne Gestell	
			29.250,00 €
02	1	Traggestell, Stahl St 37 verzinkt, Höhe 710 mm Gewicht: 95 kg	1.310,00 €
		Summe Pos. 01 und 02	30.560,00 €

Preisstellung

Lieferung ab Werk Nordhausen BRD
Hebezeug zum Abladen stellt AG

Lieferzeit

Ca. 10 Wochen nach Auftragserteilung und technischer Klärung

Zahlungsbedingungen

30 % des Gesamtauftragswertes nach Auftragserteilung und Auftragsbestätigung
60 % nach vollständiger Lieferung
10 % nach Inbetriebnahme mit Medium

Preisbindung

Preise sind Nettopreise und gelten bis zur Auftragsrealisierung in 2015

Nicht zum Lieferumfang gehören

Gegenflansche, Absperrarmaturen, Kompensatoren, Rohrleitungen, die bauseits an die Wärmeübertrager angeschlossen werden sowie Entlüftungen, Entleerungen und Isolierungen.

Gewährleistung

2 Jahre nach Inbetriebnahme bzw. Auslieferung auf Funktion und Dichtheit. Schäden durch unsachgemäße Behandlung sowie unzulässig hohe Säurekonzentrationen $\gg 20$ g/l und ungenügende Störstoffabscheidung / Homogenisierung sind von der Gewährleistung ausgeschlossen.

Bei der Zugabe von Kosubstraten ist auf eine ausreichende Homogenisierung zu achten, so dass ein TS-Gehalt von ca. 12 % eingehalten wird.

Dichtungen sind Verschleißteile. Gewährleistung 1 Jahr.

Die Haltbarkeit der Dichtungen wird vom Biosubstrat und den Betriebsbedingungen bestimmt und kann mehrere Jahre betragen.

Mit freundlichen Grüßen
Ingenieurbüro Mißbach & Gärtner

Bernd Mißbach

Anlage

Maßblatt SHWT –8



über Wärmeübertrager
für Genossenschaft Ökostrom Schweiz

Pos.	Stck.	Gegenstand	EP €	Gesamt €
------	-------	------------	------	----------

1.00

FARMATIC-Wärmeübertrager

als Doppelhelix-Ausführung für die thermische Erwärmung von Heizungswasser unter Verwendung von Gärsubstrat

Für den Anwendungsfall wird folgende Anzahl an Wärmeübertragern empfohlen: 2 Stück

Durch den Aufbau des Doppelhelixwärmetauschers wird eine Sekundärströmung erzeugt und ein dauerhaft hoher k-Wert gewährleistet.

Stoffdaten liegen nicht vor. Die Übertragungsfläche kann sich bei Vorlage der Viskositätswerte ändern.

Eine Werkstoffverträglichkeit mit dem Füllmedium wurde nicht geprüft. Sollte es erforderlich werden, ist diese im Auftragsfall durch den Auftraggeber auf dessen Kosten und Folgekosten durchzuführen.

Technische Daten Wärmeübertrager:

Fläche Wärmeübertr.:	12 m ² /Element
Baulänge:	6.300 mm
Außendurchmesser:	518 mm
Druckverlust pro Element	0,216 bar +/- 15 %
Gewicht pro Element:	ca. 1.246 kg
Anschlußflansche:	DN 100 PN 10
werkseitige Prüfung:	Druckprüfung
Wärmeübergang:	Gegenfluß
Medienzähigkeit:	200 mPas
Mediendichte:	1.030 kg/m ³
TS-Gehalt:	9 - 12 %
Betriebsdruck:	6 bar

k-Werte in Abhängigkeit von der Substratzusammensetzung.

Die Übertragungsleistung kann durch Änderung der Volumenströme reguliert werden.

Seriell oder parallel?



Pos.	Stck.	Gegenstand	EP €	Gesamt €
1.01	2 St.	Doppelhelix-Wärmeübertrager in Reihenschaltung Typ: 25-40 S/W Wärmeübergang von Substrat auf Heizwasser <u>Thermodynamische Daten</u> Leistung: 143 kW Medium: Substrat / Heizwasser Eintrittstemperatur: 42 °C / 12 °C Austrittstemperatur: 20 °C / 33 °C Volumenstrom: 6 m³/h / 6 m³/h Werkstoff: St. 37 / P265 GH ab Werk	14.970 €	29.940 €
1.02	2 St.	Konsolen (1 Satz = 2 St.) zur Auflage der Wärmeübertrager ab Werk: Werkstoff: St. 37-2 Fvz.	345 €	690 €
1.03	1 St.	Rahmen Typ 1 Tragrahmen zur Befestigung der Konsolen, ausgelegt für die Aufnahme von 2 Stück Wärmeübertrager übereinander Werkstoff Rahmen: St. 37-2 Oberfläche: St. Fvz ab Werk:	2.450 €	2.450 €
1.04	1 St.	Frachtkosten frei Baustelle, unabeladen	auf Anfrage	auf Anfrage
1.06	1 St.	Dokumentation inkl. Dokumentation 3-fach in Deutsch	1.000 €	1.000 €

Zusammenstellung

Pos. 1.00 Doppelhelix-Wärmetauscher	34.080 €
	34.080 €

zzgl. gesetzl. gültiger Mehrwertsteuer

**Pos. Stck. Gegenstand****EP €****Gesamt €**

<u>Preisbindung:</u>	4 Wochen Preise basierend auf heutigen Gestehungskosten
<u>Lieferzeit:</u>	ca. 8-10 Wochen nach Auftragsbestätigung und Klärung der technischen Details
<u>Zahlungsbedingungen:</u>	70 % bei Auftragsbestätigung 20 % nach Lieferbereitschaft 10 % nach Lieferung
<u>Gewährleistung:</u>	2 Jahre gem. VOB, ab Druckprüfung Schäden durch unsachgemäße Behandlung sowie unzulässig hohe Säurekonzentrationen > 20 g/l und ungenügende Störstoffabscheidung sind von der Gewährleistung ausgeschlossen.
<u>Eigentumsvorbehalt:</u>	Sämtliche von uns gelieferten Gegenstände und Leistungen bleiben unser Eigentum bis zum Eingang aller Zahlungen aus dem Liefervertrag.

FARMATIC Anlagenbau GmbH

Robert Beyer