

**Wärmenetz oder Nachverstromung
mittels ORC - Anlage
- ein ökonomischer Vergleich -**



Nr. V – 7/2010

Zusammengestellt für die Arbeitsgruppe V (Betriebs- und volkswirtschaftliche Bewertung)
im „Biogas Forum Bayern“ von:



Robert Wagner

C.A.R.M.E.N. e.V.

Wärmenetz oder Nachverstromung mittels ORC – Anlage - ein ökonomischer Vergleich -

1. Hinführung

Zum Zeitpunkt der Verabschiedung des EEG 2004 war es gängig, Dampf-, Stirlingmotoren und Organic-Rankine-Anlagen (ORC-Anlagen¹) nur direkt mit fester Biomasse als Primärenergieträger zu betreiben. Mehrstoffgemisch-Anlagen - insbesondere Kalina-Cycle-Anlagen - wurden in der Vergangenheit nicht mit Biomasse befeuert, was sich aus unserer Sicht auch in Zukunft nicht ändern wird. Organic-Rankine-Anlagen sind die verbreitetsten Anlagen aus diesem Segment, die inzwischen auch bei Einsatz von fester Biomasse Marktreife erlangt haben.

Aus ökologischen und energetischen Gründen ist es zu begrüßen, dass, falls keine oder keine ausreichende Nutzung der Abwärme zu Heizzwecken besteht, verstärkt ORC- oder andere Anlagen eingesetzt werden, um den elektrischen Nutzungsgrad von Stromerzeugungsanlagen zu erhöhen.

2. Ergebnis

Die Investition in eine ORC-Anlage bei einer bestehenden Biogasanlage ohne Wärmenutzung kann dann wirtschaftlich sinnvoll sein, wenn die Biogasanlage eine elektrische Leistung von mind. 1 MW aufweist. Deren Anzahl ist in Bayern jedoch gering. Bei Biogasanlagen sind ORC-Anlagen im Gegensatz zur festen Biomasse noch nicht Stand der Technik. Es ist somit anhand von Referenzen zu prüfen, ob es wahrscheinlich ist, dass die ORC-Anlage 8.000 Vbh/a leisten wird. Können mehr als 28 % der Wärme für die ORC-Anlage an Wärmekunden mit einem Netz von max. 1,5 km vermarktet werden, ist die Wärmevermarktung über das Netz wirtschaftlich vorzüglicher.

¹ ORC: Organic Rankine Cycle

3. Verfahrensbeschreibung

Es sind Anlagen-Kombinationen technisch realisierbar, bei denen die anfallende Wärme mittels einer zusätzlichen Technologie in einer nachgeschalteten Stromerzeugung genutzt wird, um die Stromausbeute insgesamt zu erhöhen (Abbildung 1).

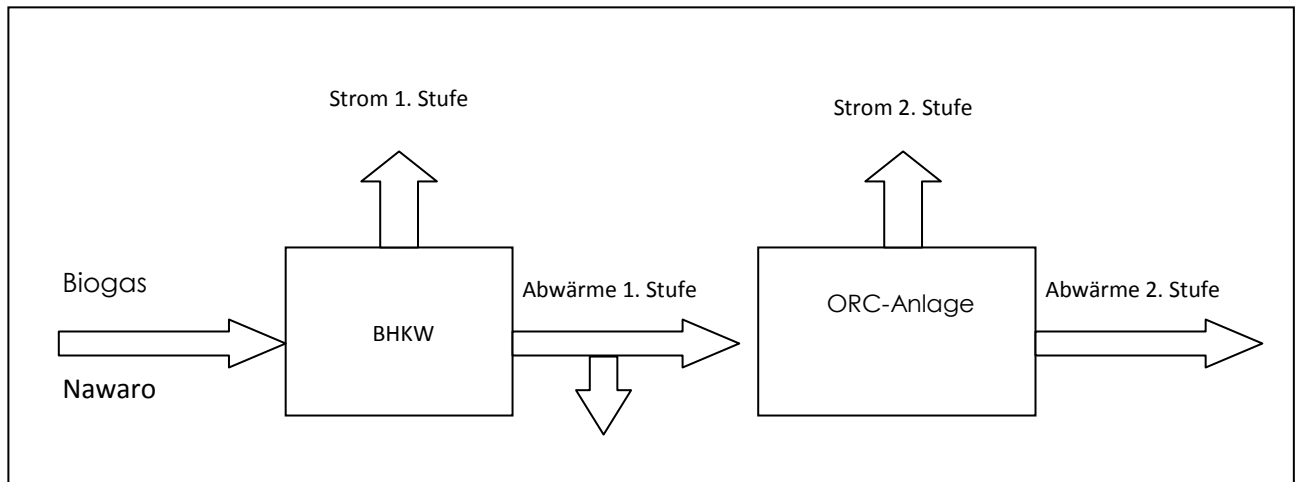


Abbildung 1 Zweistufige Verstromung

Üblicherweise soll die bis dahin ungenutzte Wärme aus einer bestehenden Biogasanlage in einer ORC-Anlage nachverstromt werden.

4. EEG-Vergütung

Die Clearingstelle-EEG hat im Jahr 2008 zwei Empfehlungsverfahren auf Basis des EEG 2004 zur Verfügungsfrage von Verfahrenskombinationen nach Abbildung 1 eingeleitet. Diese Verfahren findet man unter folgenden Adressen:

<http://www.clearingstelle-eeq.de/EmpfV/2008/8>

<http://www.clearingstelle-eeq.de/EmpfV/2008/17>

Bis zum 13.07.09 waren die Empfehlungsverfahren noch nicht abgeschlossen. Eine Empfehlung der Clearingstelle liegt noch nicht vor.

Das EEG 2009² stellt in der Negativliste in Anlage 3 zum KWK-Bonus klar, dass die Abwärme 1. Stufe nicht KWK-Bonus fähig ist. Die Frage, ob der Strom 1. Stufe und der Strom 2. Stufe zusammen den Technologiebonus rechtfertigen oder nur der Strom 2. Stufe, wird vom EEG 2009 nicht beantwortet. In der Begründung³ zum EEG 2009 wird jedoch ausdrücklich klargestellt:

„Bei den Verfahren nach Nummer 3 entfällt der Technologiebonus nur auf den Teil des Stroms, der in den genannten, also innovativen, Verfahren erzeugt wird. Dies betrifft insbesondere nachgeschaltete Organic-Rankine-Cycle-Prozesse.“ Damit erscheint es evident, dass nur der Strom 2. Stufe mit dem Technologiebonus belegt werden kann. Im Folgenden wurden daher diese Vergütungssätze gemäß Abbildung 2 unterstellt.

² Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien 2009

³ Konsolidierte Begründung, nicht rechtskräftig

BHKW	ORC-Anlage
<ul style="list-style-type: none"> • Basisvergütung • Nawaro-Bonus 	<ul style="list-style-type: none"> • Basisvergütung • Nawaro-Bonus • Technologiebonus

Abbildung 2 Vergütung BHKW und ORC-Anlage

Ebenso wurde unterstellt, dass die für den Technologiebonus notwendige Wärmenutzung nach Anlage 3 EEG 2009 stattfindet, ohne nennenswerte Wärmemengen für die ORC-Anlage abzuziehen. Diese Wärmemenge wurde aufgrund der Annahme, dass sie sehr gering ist, nicht monetär bewertet. Eine Stellungnahme, ob die Wärmenutzung für den Technologiebonus aus dem BHKW (Abwärme 1. Stufe) oder aus der ORC-Anlage (Abwärme 2. Stufe) erfolgen muss, ist zu finden unter: <http://www.clearingstelle-eeq.de/filemanager/active?fid=258>. Als Inbetriebnahmejahr wurde 2009 vorgegeben.

Der Güllebonus wurde nicht unterstellt, da er bei der hier unterstellten Anlagenauslegung (>1.000 kW_e) keine Änderung der Vorzüglichkeit ergibt.

5. Stand der Technik

Wesentlich für die Richtigkeit der nachfolgenden Kalkulation ist, dass die ORC-Anlage die gleichen Vollbenutzungsstunden erreicht, wie das BHKW. Ob dies in der Praxis zutrifft, sollte vor Investitionen anhand von Referenzen überprüft werden. Der Stand der Technik zu dieser Thematik wurde u.a. im Rahmen eines Vortrags beschrieben, der auf folgender Seite veröffentlicht ist:

http://www.carmen-ev.de/dt/hintergrund/vortraege/fg_biogas/1_09_Gaderer.pdf.

Dort beschreibt Dr. Gaderer den Stand der Technik: „10 kW bis zu 100 kW – in Entwicklung, teilw. erhältlich“. Dieses Entwicklungsstadium bedeutet, dass im Rahmen der Nachverstromung von BHKW-Abwärme noch Probleme auftreten können, die bis dato nicht bekannt sind und dass die in der Kalkulation unterstellten Vollbenutzungsstunden in der Praxis nicht gesichert erreicht werden müssen. Dann würde sich das betriebswirtschaftliche Ergebnis gegenüber dieser Kalkulation verschlechtern.

Einige Anbieter von ORC-Anlagen sind zu finden:

<http://www.carmen-ev.de/dt/energie/bezugsquellen/orcanlagen.html>

6. Anlagenauslegung

Die der wirtschaftlichen Kalkulation zu Grunde gelegte Anlagenauslegung ist in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1 Anlagenauslegung

el. Leistung BHKW	1.000 kW _{el}
Stromkennzahl	1,0 kW _{el} /kW _{th}
th. Leistung BHKW	1.000 kW _{th}
Motorblockwärme	500 kW _{th}
Abgaswärmetauscher	500 kW _{th}
Ansatz Ausnutzung Motorblockwärme	50%
Ansatz Ausnutzung Abgaswärme	90%
ergibt Wärmeleistung nutzbar	700 kW _{th}
el. Wirkungsgrad ORC -Anlage inkl. vorgelagerter Wärmetauscher	10%
el. Leistung ORC-Anlage	70 kW _{el}
Vollbenutzungsstunden BHKW und ORC	8.000 Vbh/a

Dabei wurde der elektrische Wirkungsgrad abgeschätzt und nicht physikalisch berechnet. Dieser ist als Carnot-Kreisprozesse proportional zur Temperaturdifferenz. Bei Anlagenkonzepten, die <100° C Vorlauftemperatur aufweisen, könnte der Wirkungsgrad gegenüber Tabelle 1 absinken. Bei Biomasseheizkraftwerken mit fester Biomasse werden zum Vergleich Vorlauftemperaturen von 300° C realisiert. Die Anteile der jeweils nutzbaren Wärmequellen wurden pauschal abgeschätzt. Die elektrische BHKW-Leistung wurde so groß gewählt, dass die kleinste verfügbare ORC-Anlage auslastbar ist. Unter schlechten Umständen kann der Wirkungsgrad auch unter 10% liegen. Dies würde selbstredend auch die Wirtschaftlichkeit verschlechtern.

7. Investition

Die Anschaffungs- und kapitalgebundenen Kosten für die ORC-Anlage sind in Tabelle 2 aufgeführt. Die Nutzungsdauern und Ansätze für Instandsetzung wurden vom Autor abgeschätzt.

Tabelle 2 Kapitalgebundene Kosten ORC-Anlage

Gewerk	Anschaffungs- kosten	Nutzungs- dauer	Zinssatz kalk.	Annuität Gleichung 1	Kapital- kosten	Instand- setzung	Instand- setzung
ORC	250.000 €	15,0 a	5,00%	9,60%	24.000 €/a	2,00%	5.000 €/a
Einhausung	20.000 €	20,0 a	5,00%	8,00%	1.600 €/a	1,00%	200 €/a
ZS	270.000 €						
Anschaffungs- kosten							
Planung	27.000 €	20,0 a	5,00%	8,00%	2.160 €/a	0,00%	0 €/a
Summe / Mittelwerte	297.000 €	15,6 a		9,30%	27.760 €/a	1,80%	5.200 €/a

$$\text{Annuität} = \frac{\left[\left(\frac{\text{Zinssatz}}{100\%} + 1 \right)^{\text{Nutzungsdauer}} \right] \cdot \frac{\text{Zinssatz}}{100\%}}{\left(\left(\frac{\text{Zinssatz}}{100\%} + 1 \right)^{\text{Nutzungsdauer}} - 1 \right)} \cdot 100\%$$

Gleichung 1 Annuitätengleichung

8. Zusätzlicher Gewinn durch die ORC-Anlage

Die Berechnung des zusätzlichen Gewinns durch den Einbau einer ORC-Anlage ist in Tabelle 3 aufgeführt. Hierbei wurde unterstellt, dass die ORC-Anlage nahezu ohne verbrauchsgebundene Kosten arbeitet. Die Wärme für die ORC-Anlage muss demnach von einer bestehenden Biogasanlage bisher ungenutzt bleiben. Auch dürfen keine weiteren Verbrauchsstoffe, wie Wasser, notwendig sein. Eine detaillierte Aufführung der Kalkulation befindet sich in den Anhängen zu diesem Dokument.

Tabelle 3 zusätzlicher Gewinn durch die ORC-Anlage

zusätzliche Einnahmen	78.771 €/a
kapitalgebunde Kosten	32.960 €/a
betriebsgebundene Kosten	2.130 €/a
Gewinn	43.681 €/a
Gesamtkapitalrentabilität⁴	17,7%

Grundsätzlich stellt der kalkulierte Gewinn ein gutes Zusatzeinkommen für einen Betrieb dar. Voraussetzung für diesen Gewinn ist, dass die Vollbenutzungsstunden wie oben angesetzt, tatsächlich erzielt werden können. Des Weiteren sind 1.000 kW_{el}-Biogasanlagen nur wenig verbreitet.

⁴ Gesamtkapitalrentabilität:=(Gewinn+Zinszahlungen)/Summe Anschaffungskosten

9. Vergleich mit Wärmenetz

Um diesen Gewinn einzuordnen, wurde eine Vergleichsrechnung angestellt. Es wurde unterstellt, dass die Investitionssumme aus Tabelle 2 alternativ für ein Wärmenetz zur Versorgung von Wärmekunden aufgewandt wird. Damit könnten ca. 1,5 km Wärmenetz realisiert werden. Weiterhin wurde unterstellt, dass die Wärmekunden vollumfänglich KWK-Bonus fähig sind und zusätzlich 2 CENT / kWh_{th} vergüten. Der Anteil der Wärmenutzung bzgl. der Wärme, die auch für den ORC-Anlagen-Betrieb notwendig ist, wurde dann so eingestellt, dass der Gewinn in etwa gleich ist mit der ORC-Anlagen-Variante. Das Ergebnis dieser Kalkulation ist in Tabelle 4 aufgeführt.

Tabelle 4 vergleichbarer Gewinn mit Wärmeleitung

Investition in Wärmeleitung		200 €/m
Leitungslänge		1.485 m
Anteil Wärmenutzung		28,00%
Wärmeverkauf		1.568.000 kWh_{th}/a
KWK-Bonus	0,03 €/kW_{el}	47.040 €/a
Wärmeverkauf	0,02 €/kW_{th}	31.360 €/a
Wärmegestehungskosten		31.750 €/a
Umweltgutachter		2.500 €/a
Gewinn		44.150 €/a

Im Ergebnis zeigt sich, dass beide Varianten bzgl. Investition und Gewinn gleich sind, wenn 28 % der Wärme, die für die ORC-Anlage benötigt wird, an Wärmekunden zu o.g. Konditionen verkauft werden kann. Es müssen dann 1.568 MWh_{th}/a (bzw. 174 m³ HEL-äq⁵) veräußert werden können.

⁵ Äquivalente für leichtes Heizöl

Anlage 1: Jahreskalkulation

1. Kapitalgebundene Kosten

Zinssatz, kalkulatorisch	5,0%		
Kapitalkosten	297.000 €/a	9,3%	27.760 €/a
Instandsetzungskosten	297.000 €/a	1,8%	5.200 €/a
ZS 1. Kapitalgebundene Kosten			32.960 €/a

2. Betriebsgebundene Kosten

Arbeitszeit	52,0 h/a	15,00 €/h	780 €/a
Versicherung	270.000 €	0,5%	1.350 €/a
ZS 2. Betriebsgebundene Kosten			2.130 €/a

4. BHKW und ORC-Auslegung

el. Leistung BHKW	1.000 kWel
Stromkennzahl	1,0 kWel/kWth
th. Leistung BHKW	1.000 kWth
Motorblockwärme	500 kWth
Abgaswärmetauscher	500 kWth
Ansatz Ausnutzung Motorblockwärme	50%
Ansatz Ausnutzung Abgaswärme	90%
ergibt Wärmeleistung nutzbar	700 kWth
el. Wirkungsgrad ORC - inkl. vorgelagerter Kette	10%
el. Leistung ORC	70 kWel
Vollbenutzungsstunden BHKW+ORC	8.000 Vbh/a

5. zusätzliche Einnahmen

5.1 BHKW allein

Strommenge	8.000.000 kWhel/a				
Trafoverluste	1,5%				
eingespeiste Strommenge	7.880.000 kWhel/a				
EEG-Vergütung	Anlageninbetriebnahme	2009			
bis 150 kWel	1.314.000 kWhel/a	1.314.000 kWhel/a	6.566.000 kWhel/a	0,1867 €/kWhel	245.324 €/a
bis 500 kWel	3.066.000 kWhel/a	3.066.000 kWhel/a	3.500.000 kWhel/a	0,1618 €/kWhel	496.079 €/a
bis 5.000 kWel	39.420.000 kWhel/a	3.500.000 kWhel/a	0 kWhel/a	0,1225 €/kWhel	428.750 €/a
				Summe:	1.170.153 €/a

5.2 BHKW und ORC

Strommenge	8.560.000 kWhel/a				
Trafoverluste	1,5%				
eingespeiste Strommenge	8.431.600 kWhel/a				
EEG-Vergütung	Anlageninbetriebnahme	2009			
bis 150 kWel	1.314.000 kWhel/a	1.314.000 kWhel/a	7.117.600 kWhel/a	0,1867 €/kWhel	245.324 €/a
bis 500 kWel	3.066.000 kWhel/a	3.066.000 kWhel/a	4.051.600 kWhel/a	0,1618 €/kWhel	496.079 €/a
bis 5.000 kWel	39.420.000 kWhel/a	4.051.600 kWhel/a	0 kWhel/a	0,1225 €/kWhel	496.321 €/a
Technologiebonus		560.000 kWhel/a		0,0200 €/kWhel	11.200 €/a
				Summe:	1.248.924 €/a

5.3 zusätzliche Einnahmen

BHKW und ORC	1.248.924 €/a
BHKW	1.170.153 €/a
zusätzliche Einnahmen	78.771 €/a

6. Gewinn

zusätzliche Einnahmen	78.771 €/a
ZS 1. Kapitalgebundene Kosten	32.960 €/a
ZS 2. Betriebsgebundene Kosten	2.130 €/a
Gewinn	43.681 €/a

7. Gesamtkapitalrentabilität

= (Gewinn + Zinszahlungen) / Invest	
Invest	297.000 €
Gesamtkapitalrentabilität	17,7%

8. Vergleich Wärmeleitung

Invest in Wärmeleitung	200 €/m
Leitungslänge	1.485 m
Anteil Wärmenutzung	28,0%
Wärmeverkauf	1.568.000 kWhth/a

KWK-Bonus	0,03 €/kWel	47.040 €/a
Wärmeverkauf	0,02 €/kWth	31.360 €/a
Wärmegestehungskosten		31.750 €/a
Umweltgutachter		2.500 €/a
Gewinn		44.150 €/a

Anlage 2: Jahreskalkulation Referenzvariante Wärmenetz

0. Ausgangswerte Wärmeverteilung

Zinssatz, kalkulatorisch	5,0%		
Wärmebedarf (Verbraucher)	1.568.000 kWh/a		
Kalkulierte Wärmeverluste	20 W/m-Trasse		
Betriebsdauer Wärmenetz	8.000 h/a		
Länge Wärmenetz	1.485 m	1,1 MWh/m-T/a	
Spezifische Wärmenetzkosten	200 €/m		
Verlust Wärmleitung	237.600 kWh/a	15% (bzgl. Nutzw.)	
Wärmeabgabe von Anlage und Kessel	1.805.600 kWh/a		
davon Heizöl, Reserve, Spitzenlast	0%	→	0 kWh/a
davon Biogas-BHKW-Wärme	100%	→	1.805.600 kWh/a

1. Kapitalgebundene Kosten (siehe Beiblatt)

Kapitalkosten	297.000 €/a	8,3%	24.651 €/a
Instandsetzungskosten	297.000 €/a	1,0%	2.970 €/a
ZS Kapitalgebundene Kosten			27.621 €/a

2. Verbrauchsgebundene Kosten

Wärmeinkauf von Biogasanlage	1.805.600 kWh-th/a	0,000 €/kWhth	0 €/a
Pumpstrom, nur Wärmenetz	1.805.600 kWh-th/a	0,5%	
	9.028 kWh-el/a	0,160 €/kWhel	1.444 €/a
Nutzungsgrad HEL-Kessel	90%	0 kWh/a	
Heizöl, Reserve, Spitzenlast	10,0 kWh/l	0 l/a	
	0,600 €/l		0 €/a
ZS Verbrauchsgebundene Kosten			1.444 €/a

3. Betriebsgebundene Kosten

Verwaltung	100,00 €/M		1.200 €/a
Wärmemengenzähler, Leasing			0 €/a
Verzinsung 50 % des eingelagerten Heizöls	0 l	2,0%	0 €/a
Emissionsmessung, Wartung			0 €/a
Versicherung	297.000 €	0,5%	1.485 €/a
ZS Sonstige Kosten			2.685 €/a

5. Spezifische Wärmegestehungskosten

1. Kapitalgebundene Kosten (siehe Beiblatt)	87%	27.621 €/a
2. Verbrauchsgebundene Kosten	5%	1.444 €/a
3. Betriebsgebundene Kosten	8%	2.685 €/a
Jahreskostenkalkulation	100%	31.750 €/a

Anlage 3: Kapitalgebundene Kosten Referenzvariante Wärmenetz

		Anschaffungs- kosten	Nutzungsdauer (*)	Zinssatz kalk.	Annuität n. Gl. (1)	Kapital- kosten	Instandsetzung VDI 2067 Tab.5	Instand- setzung	
Sp	Kessel		20,0 a	5,0%	8,0%	0 €/a	1,0%	0 €/a	0 €/a
Sp	Brenner		10,0 a	5,0%	13,0%	0 €/a	2,0%	0 €/a	0 €/a
Bau	Kamin		20,0 a	5,0%	8,0%	0 €/a	1,0%	0 €/a	0 €/a
	Netzpumpe, MSR	0 €	12,0 a	5,0%	11,3%	0 €/a	5,0%	0 €/a	0 €/a
Netz	Wärmenetz	297.000 €	19,0 a	5,0%	8,3%	24.651 €/a	1,0%	2.970 €/a	15.632 €/a
Haus	Hausstation	0 €	20,5 a	5,0%	7,9%	0 €/a	1,5%	0 €/a	0 €/a
Zwischensumme Anschaffungskosten		297.000 €							15.632 €/a
Pla	Planung	0 €	20,5 a	5,0%	7,9%	0 €/a	0,0%	0 €/a	0 €/a
Summen bzw. Mittelwerte		297.000 €	19,0 a	5,0%	8,3%	24.651 €/a	1,0%	2.970 €/a	15.632 €/a

* Nutzungsdauer in Höhe des EEG - abweichend von der VDI 2067 Tab. 5 (dort wären teilweise 30 a vorgesehen)

Gl. (1) nach VDI 2067

$$\text{Annuität} = \frac{\left(\frac{\text{Zinssatz}}{100\%} + 1 \right)^{\text{Nutzungsdauer}} \cdot \frac{\text{Zinssatz}}{100\%}}{\left(\frac{\text{Zinssatz}}{100\%} + 1 \right)^{\text{Nutzungsdauer}} - 1} \cdot 100\% \quad \text{Gl. (1)}$$

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

Arbeitsgruppe V (Betriebs- und volkswirtschaftliche Bewertung)

hier erarbeiten Experten Publikationen zu folgenden Themen:

- Gesetzliche und politische Rahmenbedingungen
- Betriebswirtschaft
- Volkswirtschaft
- Organisation und Management
- Finanzierung

Mitglieder der Arbeitsgruppe

- **Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Passau**
- **Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e.V.**
- **Bayerischer Bauernverband**
- **Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit**
- **Biogasanlagenbetreiber**
- **Centrales Agrar-Rohstoff-Marketing- und Entwicklungs-Netzwerk e.V. (C.A.R.M.E.N.)**
- **EBA-GmbH**
- **Fachverband Biogas e.V.**
- **Landesanstalt für Landwirtschaft**
Institut für Landtechnik und Tierhaltung
Institut für Ländliche Strukturentwicklung, Betriebswirtschaft und Agrarinformatik
- **Landwirtschaftliche Lehranstalten Triesdorf**
- **Poschinger-Bray´sche Güterverwaltung**
- **renergie Allgäu e.V.**
- **Technische Universität München**
Lehrstuhl für Wirtschaftslehre des Landbaues



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