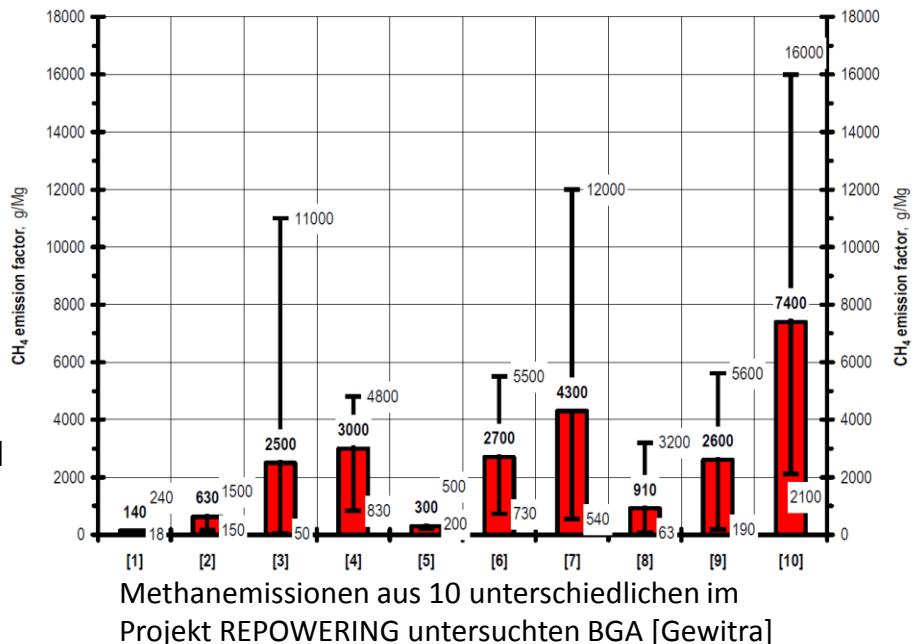


## Biogas das nutzlos aus der Anlage entweicht liefert keinen Strom und schadet dem Klima!

Biogasanlagen müssen regelmäßig mit geeigneten Geräte auf Leckagen untersucht werden. Dies ist für alle Anlagen von Bedeutung, denn bei den Untersuchten Anlagen konnte keine direkte Korrelation zwischen Anlageninbetriebnahme und Leckagehäufigkeit festgestellt werden.



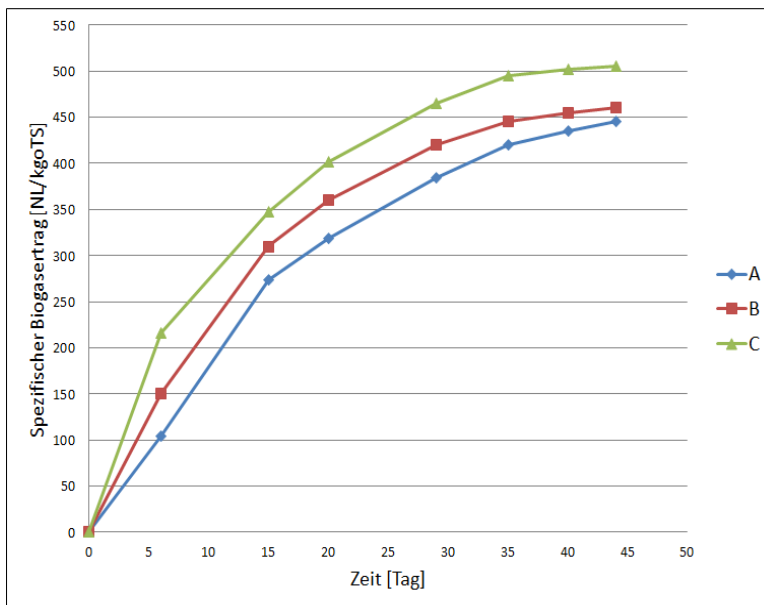
Zur Erkennung von Leckagen aus größeren Entfernungen sind berührungslose Messverfahren geeignet. In der Praxis kommen aktive und passive Verfahren zum Einsatz. Das gängige aktive Messverfahren ist ein methansensitiver Laser, der die Konzentration zwischen dem Messgerät und der Emissionsquelle in ppm\*m misst. Als passives Messverfahren ist die Gasvisualisierung mittels einer kohlenwasserstoffsensitiven IR-Kamera auf dem Markt.

**Die Leckage- und Dichtheitsuntersuchung an Biogasanlagen ist wesentlicher Bestandteil der sicherheitstechnischen Routineüberprüfung von Biogasanlagen. Auch aus ökologischer und ökonomischer Sicht sind solche Untersuchungen sinnvoll.**

## Die enzymatische Vorhydrolyse kann zukünftig zu einem besseren Aufschluss faserhaltiger Substrate beitragen

Im Projekt REPOWERING wurde das Konzept für eine enzymatische Vorhydrolyse entwickelt.

**Die Idee hinter dem Konzept war es, eine Alternative zu technisch-physikalischen Vorbehandlungsmethoden schaffen, die einen Aufschluss mit geringem Energiebedarf ermöglicht.**



Spezifischer Biogasertrag in Abhängigkeit von der Gärzeit für folgende Ansätze:

A: Gerstenstroh

B: Gerstenstroh + Enzymextrakt,

C: Gerstenstroh nach enzymatischer Vorhydrolyse.

[Bioreact]

Die ersten Laborversuche zeigen, dass die enzymatische Vorhydrolyse einen positiven Einfluss auf den Biogasertrag hat

Für eine mögliche Realisierung des hier skizzierten Verfahrens einer vorwiegend enzymatischen Vorhydrolyse in der Praxis, kann in verfahrenstechnischer Hinsicht auf bestehende zweiphasige, anaerobe Vergärungsverfahren mit mikrobiologischer Vorhydrolyse aufgesetzt werden. Das Verfahren ist damit nicht als Alternative zur praktizierten mikrobiologischen Vorhydrolyse, sondern als Alternative zu technisch-physikalischen Vorbehandlungsmethoden gedacht.

## Biologische Repowering-Maßnahmen - 1

### Biologische Repowering-Maßnahmen

Im Vordergrund der *biologischen Repowering-Maßnahmen* steht die Optimierung Prozessablaufs der Biogasbildung, dieser wird maßgeblich von der Aktivität und dem Zusammenspiel der beteiligten Bakteriengruppen bestimmt. Damit die Aktivität der Bakterien gewährleistet ist muss eine ausreichende Versorgung mit Nährstoffen insbesondere Spurenelemente (Mikronährstoffe) sichergestellt sein. Die Spurenelemente dienen zur Ausbildung der am Abbau beteiligten Enzyme und Proteine, stellen wichtige Reaktionspartner dar und ermöglichen den Elektronentransport.

### Best-Case-Praxisbeispiel: Optimierung einer Anlage aus dem Projekt durch Enzymzugabe

Das Nachfolgende Praxisbeispiel zeigt die Optimierungsmöglichkeiten einer Bestandanlage durch Enzym- und Spurenelementzugabe. Die Anlage wurde im Jahr 2014 im Rahmen des Projektes besucht. Es wurden Proben aus dem Fermenter für Komplettanalyse und ICP gezogen.

#### Anlagendaten der Praxisanlage [Bioreact]

Vorhydrolyse	160 m <sup>3</sup> (offen)
Fermenter	650 m <sup>3</sup>
Endlager	offen
Installierte Leistung:	190 kW
Wirkungsgrad BHKW	37%
Baujahr	2006

# REPOWERING – Fact Sheet

## Biologische Repowering- Maßnahmen - 2

Ziel der Optimierung war es bei der kurzen Verweilzeit von 25,1 Tagen den Abbau des Substrates zu beschleunigen und die Viskosität des Fermenterinhalt zu senken. Eine deutliche Viskositätsverbesserung konnte bereits nach 2 Wochen festgestellt werden. Nach ca. 3-4 Wochen stieg die Leistung langsam an.

Durch die Wirkung der Enzyme wurde der Fermenterinhalt fließfähiger. Gleichzeitig wurde auch der Gärrest auch dünnflüssiger wodurch die Rezirkulationsmenge in die Hydrolysestufe sukzessive zurückgefahren werden konnte. Aktuell werden nur noch 14,5 m<sup>3</sup> Rezirkulat täglich der Hydrolysestufe zugegeben. Aus 4,3t Maissilage, 2t Getreide und 1 m<sup>3</sup> Rindergülle werden aktuell 185kWh pro Stunde produziert. Die Substratausnutzung wurde über die prozessbiologischen Maßnahmen von 80,8 auf 99,3% gesteigert. Außerdem läuft das BHKW mittlerweile mit 185kWh pro Stunde mit 97,4 % fast Volllast.

	Vor Optimierung	Nach Optimierung
<b>Substrat</b>	<b>Fütterungsmenge</b>	<b>Fütterungsmenge</b>
	[t/d]	[t/d]
<b>Maissilage</b>	4,4	4,3
<b>Getreide</b>	1,5	2
<b>Rindergülle</b>	1	1
<b>Substratkosten</b>	[€/d]	[€/d]
<b>Maissilage (40 €/t)</b>	176	172
<b>Getreide (180 €/t)</b>	270	360
<b>Prozesshilfsstoffe</b>	[kg/d]	[kg/d]
<b>Spurenelemente</b>	0	0,74
<b>Enzyme</b>	0	2,5
<b>Kosten Prozesshilfsstoffe</b>	[€/d]	[€/d]
<b>Spurenelemente</b>	0	9,25
<b>Enzyme</b>	0	16,75
<b>Stromertrag</b>		
<b>Stromproduktion [kWh/d]</b>	3120	4440
<b>Einspeisevergütung [€/kWh]</b>	0,17	0,17
<b>Einspeisevergütung [€/d]</b>	530,4	754,8
<b>Erlös [€/d]</b>	84,4	196,8
<b>Mehrerlös durch Prozessoptimierung [€/d]</b>		<b>112,4</b>

## Technische Repowering-Maßnahmen

Von einer besonders großen Vielfalt sind die *technischen Repowering-Maßnahmen*. Die Maßnahmen können generell der Optimierung oder der Nachrüstung zugeordnet werden. Unter Optimierung sind der Austausch von bestehenden Technologien durch gleichartige aber effizientere Technologien zu verstehen sowie auch bei eventuellen Defekt der Technik. Eine Nachrüstung hingegen liegt vor, wenn die gewählte Technologie erstmalig neu eingebaut wird.

Besonders bei der Energiegewinnung können technische Repowering-Maßnahmen große Wirkung entfalten. Bei den meisten landwirtschaftlichen Biogasanlagen wird das erzeugte Biogas in einem BHKW verbrannt, wobei elektrische Energie und Wärmeenergie gewonnen werden. Die Effizienz ist hierbei abhängig von den elektrischen und thermischen Wirkungsgraden des BHKW. Ein Ersatz des genutzten BHKW durch ein neues BHKW mit höheren Wirkungsgraden stellt eine mögliche Repowering-Maßnahme dar und ermöglicht bei gleichbleibender Energieerzeugung Substrateinsparungen.

**Praxisbeispiel:**  
Substrateinsparung nach Erhöhung des elektrischen Wirkungsgrades 35,5% auf 40%

Substrat:	Bisherige Substratmenge [t FM/a]	Substratmenge nach BHKW-Austausch [t FM/a]
Maissilage (35% TM)	6500	5282,03
Grassilage (35% TM)	1500	1500
Rindergülle mit Futterresten (10% TM)	2200	2200
Schweinegülle (6% TM)	1500	1500

### Biogaserträge [m<sup>3</sup><sub>n</sub>]:

96,3% des KTBL Wertes	1743973,7
Biogasertrag nach BHKW-Austausch	1547776,7

### Stromertrag für 1 Jahr:

96,3% des KTBL Wertes	3095553,4
Biogasertrag nach BHKW-Austausch	3095553,4

### Einsparung von 1.217,97 t Maissilage

Annahme 1t FM Maissilage= 36€	<b>43.846,92 €</b>
-------------------------------	--------------------

## Das Repowering von Biogasanlagen kann an verschiedenen Teilbereichen der Anlage ansetzen

### Biologische Repowering-Maßnahmen

Im Vordergrund der *biologischen Repowering-Maßnahmen* steht die Optimierung Prozessablaufs der Biogasbildung, dieser wird maßgeblich von der Aktivität und dem Zusammenspiel der beteiligten Bakteriengruppen bestimmt. Damit die Aktivität der Bakterien gewährleistet ist muss eine ausreichende Versorgung mit Nährstoffen insbesondere Spurenelemente (Mikronährstoffe) sichergestellt sein. Die Spurenelemente dienen zur Ausbildung der am Abbau beteiligten Enzyme und Proteine, stellen wichtige Reaktionspartner dar und ermöglichen den Elektronentransport.

### Technische Repowering-Maßnahmen

Von einer besonders großen Vielfalt sind die *technischen Repowering-Maßnahmen*. Die Maßnahmen können generell der Optimierung oder der Nachrüstung zugeordnet werden. Unter Optimierung sind der Austausch von bestehenden Technologien durch gleichartige aber effizientere Technologien zu verstehen sowie auch bei eventuellen Defekt der Technik. Eine Nachrüstung hingegen liegt vor, wenn die gewählte Technologie erstmalig neu eingebaut wird.

### Systemorientierte Repowering-Maßnahmen

Ein weiteres Gebiet der Repowering-Maßnahmen umfasst Grundsatzfragen des Anlagen-konzeptes und dem System Biogasanlage. Die möglichen systemorientierten Repowering-Maßnahmen kommen in der Regel nicht ohne technische Anpassungen aus. Zwischen dem Bereich der systemorientierten und technischen Repowering-Maßnahmen herrscht also meist eine enge Verbindung und Überschneidung.

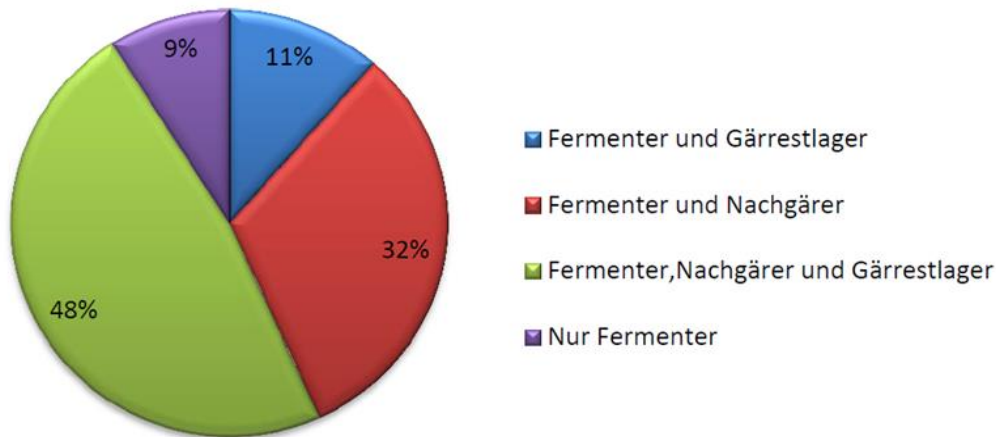
### Übersicht über mögliche Repowering-Maßnahmen

Gebiet des Repowering:	Mögliche Repowering-Maßnahme:	Beispiel:
Biologie	Optimierung der Nährstoffversorgung	Spurenelementdosierung
	Zugabe von Enzymen	Enzymzugabe
	Zugabe von Bakterien	Dosierung hydrolytisch arbeitender Bakterien
Technik	Optimierung/Nachrüstung der Zerkleinerungstechnik	Nachrüstung Zerkleinerungstechnik
	Optimierung und Nachrüstung der Rührwerkstechnik	Nachrüstung effizienter Rührwerke
	Optimierung/Nachrüstung der Abdeckungen	Vergrößerung des Gasspeichervolumens
	Optimierung/Erweiterung des BHKW	Ersatz des bestehenden BHKW - Wirkungsgradsteigerung
System	Biogasverwertung	Biogasaufbereitung

## Statistische Analysen bestehender Biogasanlagen - 1

Das Projekt REPOWERING verfolgt den Ansatz auf Basis einer umfassenden Datenanalyse die Möglichkeiten und Kosten des Repowering quantifizierbar zu machen.

In Rahmen des Projekts REPOWERING wurden die Daten von 1809 Biogasanlagen ausgewertet. Von diesen Biogasanlagen liegen neben den Anlagendaten auch die kompletten Laboranalysen vor.



**Anteile der unterschiedlichen Biogasanlagen (Fermenter, Nachgärer, Gärrestlager) [Bioreact]**

Betrachtet man die Anzahl und Art der vorhandenen Behälter in den untersuchten Biogasanlagen, so verfügen 9% der Biogasanlagen über einen Fermenter mit einem Durchschnittsvolumen von 1961 m<sup>3</sup> und ein offenes Gärrestlager. 31,7% der Anlagen bestehen aus einem Fermenter mit einem Durchschnittsvolumen von 1835 m<sup>3</sup> und einem Nachgärer (2133 m<sup>3</sup>) sowie einem offenem Gärrestlager. Knapp die Hälfte der untersuchten Biogasanlagen (48%), verfügen über Fermenter (1614 m<sup>3</sup>), Nachgärer (1626 m<sup>3</sup>) und einem abgedeckten und in den meisten Fällen gasdichten Gärrestlager (2684 m<sup>3</sup>). 11,5 % der Anlagen sind aus einem Fermenter (1760 m<sup>3</sup>) und einem abgedeckten und Gärrestlager (2684m<sup>3</sup>) gebaut worden.

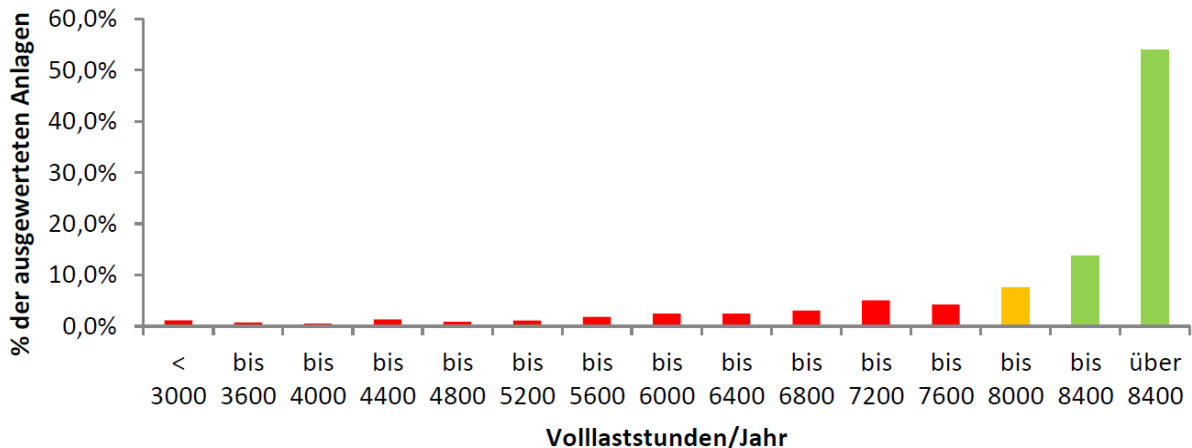
# REPOWERING – Fact Sheet

## Statistische Analysen bestehender Biogasanlagen - 2

Das Projekt REPOWERING verfolgt den Ansatz auf Basis einer umfassenden Datenanalyse die Möglichkeiten und Kosten des Repowering quantifizierbar zu machen.

In Rahmen des Projekts REPOWERING wurden die Daten von 1809 Biogasanlagen ausgewertet. Von diesen Biogasanlagen liegen neben den Anlagendaten auch die kompletten Laboranalysen vor.

Verteilung der ausgewerteten Biogasanlagen nach Volllaststunden



### BHKW-Auslastung und Substratausnutzung

Die Wirtschaftlichkeit von Biogasanlagen hängt maßgeblich von zwei variablen Faktoren ab. Zum einen von der Laufzeit des Blockheizkraftwerkes pro Jahr unter Höchstleistung (Volllaststunden), also den real produzierten kWh, zum anderen von der optimalen Nutzung der zunehmend teurer werdenden Substrate ab.

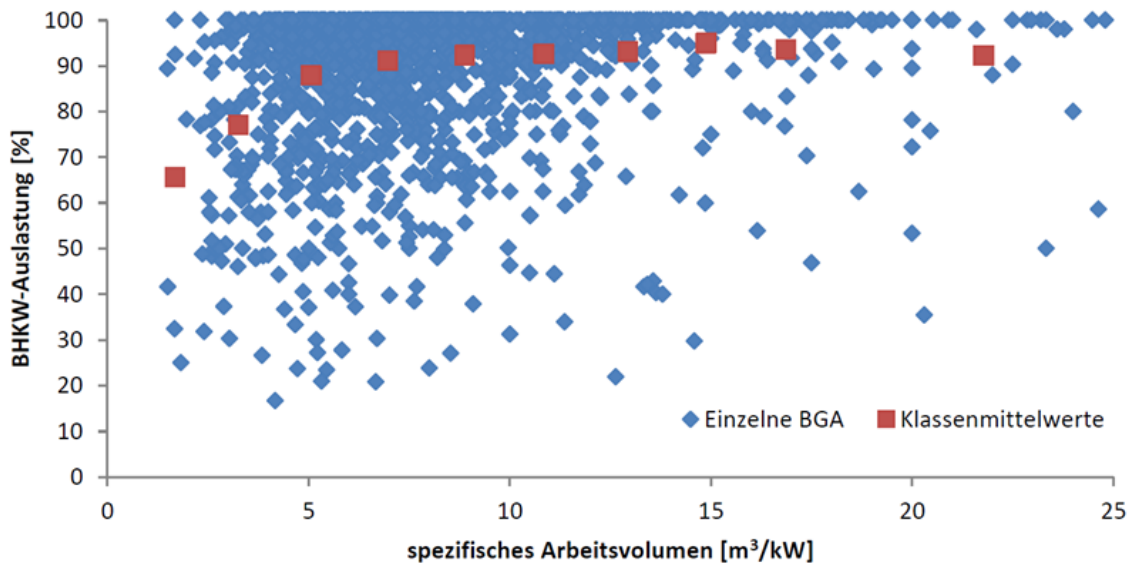
7901 Volllaststunden erreichten die ausgewerteten Biogasanlagen im Durchschnitt. Nur ca. 29,9 % der untersuchten Anlagen liegen unter dem Durchschnittswert. 68% aller Anlagen liegen pro Jahr bei über 8000 Volllaststunden.



## Statistische Analysen bestehender Biogasanlagen - 3

Das Projekt REPOWERING verfolgt den Ansatz auf Basis einer umfassenden Datenanalyse die Möglichkeiten und Kosten des Repowering quantifizierbar zu machen.

In Rahmen des Projekts REPOWERING wurden die Daten von 1809 Biogasanlagen ausgewertet. Von diesen Biogasanlagen liegen neben den Anlagendaten auch die kompletten Laboranalysen vor.



### Faulraumvolumen und installierte Leistung

Je größer das spezifische Arbeitsvolumen ist, also das zur Verfügung stehende Faulraumvolumen pro kW installierter elektrischer Leistung, umso besser werden die BHKW ausgelastet. Anlagen mit einem hohen spezifischen Faulraumvolumen (Quotienten aus Faulraumvolumen und installierter Leistung [m³/kW]) können auf längere Verweilzeiten und niedrigere Raumbelastungen vertrauen. Die Prozesse laufen so in der Regel stabiler und effizienter. Dabei gibt es - wie auch bei allen anderen Parametern - gute und schlechte Anlagen. Der generelle Zusammenhang wird erst deutlich, wenn Anlagen mit gleichen Quotienten zu „Klassen“ zusammengefasst werden und die Klassenmittel betrachtet werden. Anlagen mit Quotienten zwischen 2 und 8 laufen deutlich schlechter als Anlagen mit mehr Faulraum pro kW installierter Leistung

## Flexibilisierung der Biogasbeschickung durch die Installation einer Hydrolysestufe - 1

Für die an Biogasanlagen genutzte Eintragstechnik werden abhängig von der Dimensionierung und der Beanspruchung bei der Projektentwicklung eine Abschreibungsdauer von 5 - 10 Jahren vorgesehen. Unabhängig von einem gezielten Umbau einer BGA zur Erhöhung der Flexibilität wird daher im Rahmen der 20 jährigen EEG-Vergütungsperiode einer BGA in der Regel zumindest eine Erneuerung der Eintragstechnik notwendig.

Im Projekt REPOWERING wurde geprüft, inwieweit die Errichtung der Hydrolysestufe gegenüber als Ersatz einer „konventionellen Eintragstechnik“ bestehend aus Schubbodencontainern und konventionellen Dosiersystemen Vorteile hinsichtlich Anlagenleistung und Betriebssicherheit bieten kann.

Geprüft wurde das Szenario anhand des Modellfalls einer großen mit nachwachsenden Rohstoffen betriebenen Biogasanlage mit einer Bemessungsleistung von 1,5 MW, bei der durch die Umrüstung auf eine Hydrolysestufe der Substrateinsatz von überwiegend Maissilage auf Reststoffe wie:

- Lignocellulosehaltige Reststoffe (Stroh und Festmist)
- Geflügelmist
- Grasschnitt

Die Anlagendaten der Modellanlage entstammen aus Projektbewertungen von Fraunhofer UMSICHT, die Kostenermittlung für die Umrüstung basiert auf Herstelleranfragen.

Der Betrieb der Hydrolysestufe kann grundsätzlich zu einer Optimierung des Anlagenbetriebs beitragen. Zum einen kann durch die in der Hydrolyse herrschenden Prozessbedingungen mit einem niedrigen pH-Wert ein Voraufschluss der Substrate erzielt werden und so einen beschleunigten Abbau im Fermenter ermöglichen. Bei leicht abbaubaren Substrate wie. z.B. Zuckerrüben ist der Einsatz einer Hydrolyse nicht unbedingt erforderlich, dieses Substrat kann jedoch zu einem schnelleren Versäuerungsprozess und damit zur Unterstützung der Hydrolyse schwerer abbaubarer Inputmaterialien beitragen.

# REPOWERING – Fact Sheet

## Flexibilisierung der Biogasbeschickung durch die Installation einer Hydrolysestufe - 2

Die Auswertung der Daten zeigte, dass durch den Einsatz einer Hydrolysestufe der Umstieg von einer überwiegend auf Maissilage basierenden Substratmischung, zu einer auf Reststoffen basierenden Substratmischung möglich ist.

Substratmischung 1,5 MW Modell-BGA mit klassischer Eintragstechnik  
[UMSICHT]

Material	Menge [t/d]
Maissilage	83
Roggenschrot	3,5
<b>Summe</b>	<b>86,5</b>

Mögliche Substratmischung mit Einsatz von Reststoffen der BGA bei Nachrüstung einer Hydrolysestufe [UMSICHT]

Material	Menge [t/d]
Maissilage	41
Grasschnitt	15
Zuckerrüben	28
HTK	18
Festmist und Stroh	21
<b>Summe</b>	<b>123</b>

## Entwicklung Planungshilfsmittel für Anlagenverbünde - 1

Durch die Verbesserung der Wärmenutzung lässt sich die Gesamteffizienz des Systems Biogas verbessern. Neben der direkten Anbindung eines Wärmeverbrauchers am Ort der Biogasanlage ist es auch möglich, Verbraucher im näheren und weiteren räumlichen Umfeld der Anlagen zu erschließen. Für die Anbindung der Biogasanlage an die räumlich entkoppelten Verbraucher können zwei unterschiedlich netzgebundene Konzepte Anwendung finden:

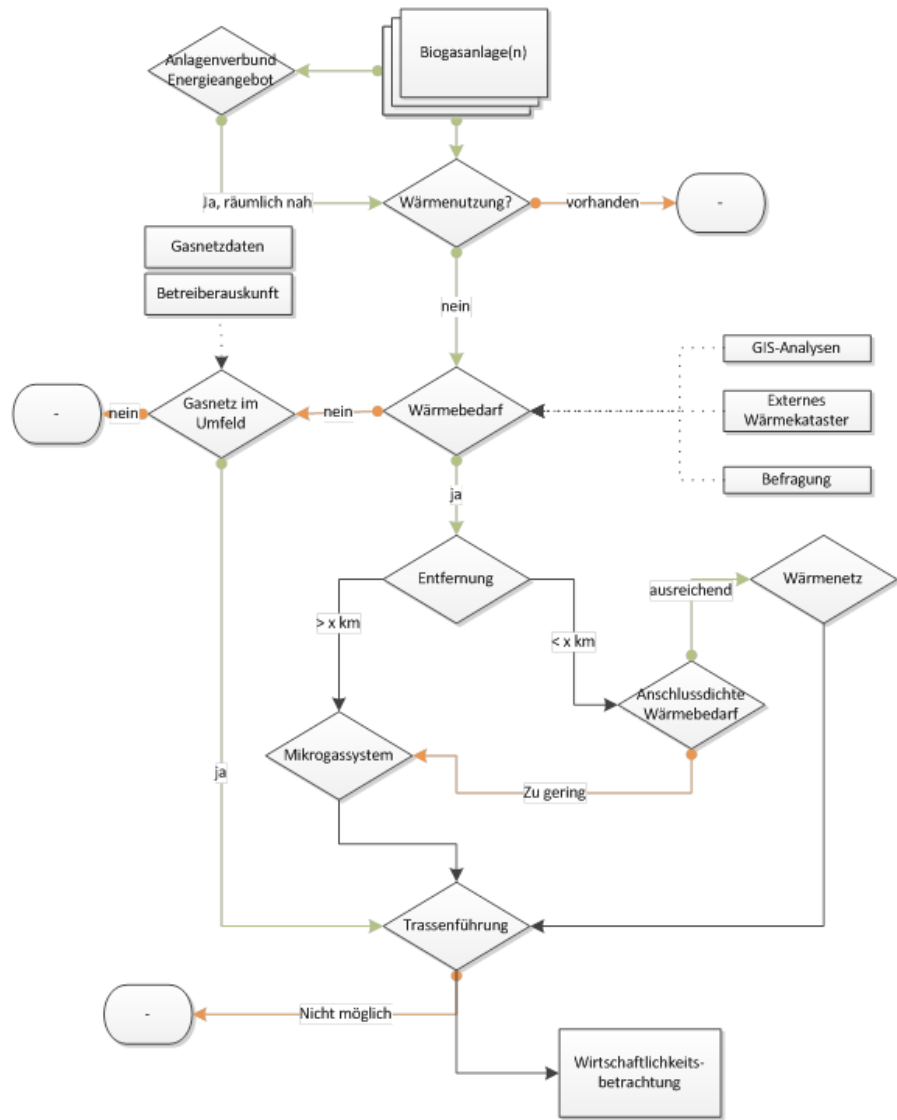
- Beim ersten Konzept kann das produzierte Biogas am Standort im Motor verbrannt werden und die anfallende Wärme über ein angeschlossenes Wärmenetz zum Verbraucher transportiert werden (Konzept »Wärmenetz«).
- Beim zweiten Konzept wird das Biogas nicht am Standort der Biogasanlage in einem BHKW verstromt, sondern über eine Mikrogasleitung zum potenziellen Nutzer transportiert (Konzept »Mikrogassystem«). Ein möglicher Endpunkt des Transports kann dabei eine bestehende konventionelle Erdgasleitung sein, so dass eine Aufbereitung des Biogases auf Erdgasqualität notwendig wird (Biogaseinspeisung). Alternativ kann das Biogas, ohne Aufbereitung auf Erdgasqualität, zu einem BHKW transportiert werden, welches unmittelbar am Wärmeverbraucher installiert ist (Satelliten-BHKW).

# REPOWERING – Fact Sheet

## Entwicklung Planungshilfsmittel für Anlagenverbünde - 2

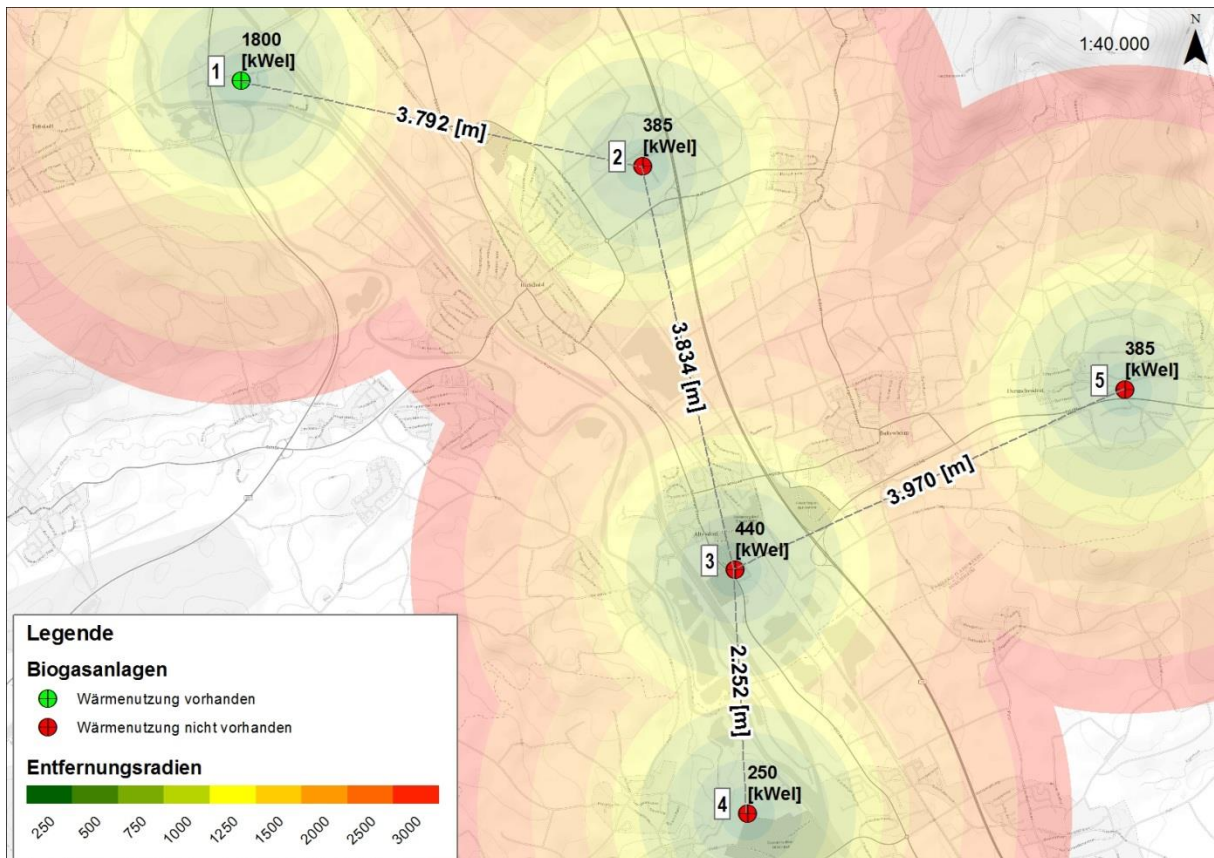
Für Bestandsanlagen sind im Rahmen des Repowering beide Konzepte anwendbar. Aufbauend auf der exemplarischen Szenarienbetrachtung wurde für das Projekt ein allgemein anwendbarer Entscheidungsbaum entwickelt welches auf Praxisanlagen angewendet werden kann.

### Entscheidungsbaum zur Entwicklung von Repoweringoptionen mit Raumbezug [UMSICHT]



## Planbeispiel Anlagenverbünde - 1

Das Planbeispiel zeigt fünf Biogasanlagen im ländlichen Raum. Die installierte elektrische Leistung reicht von 250 kWel bis 1800 kWel. Vier der Anlagen (Nr. 2 bis 5) weisen aktuell keine effiziente Wärmenutzung aus, so dass diese Anlagen exemplarisch einem räumlichen Screening zur Realisierung eines Wärmenetzes oder Biogaseinspeisung unterzogen werden. Gemeinsam haben die Anlagen eine installierte elektrische Leistung von ca. 1,4 MW.

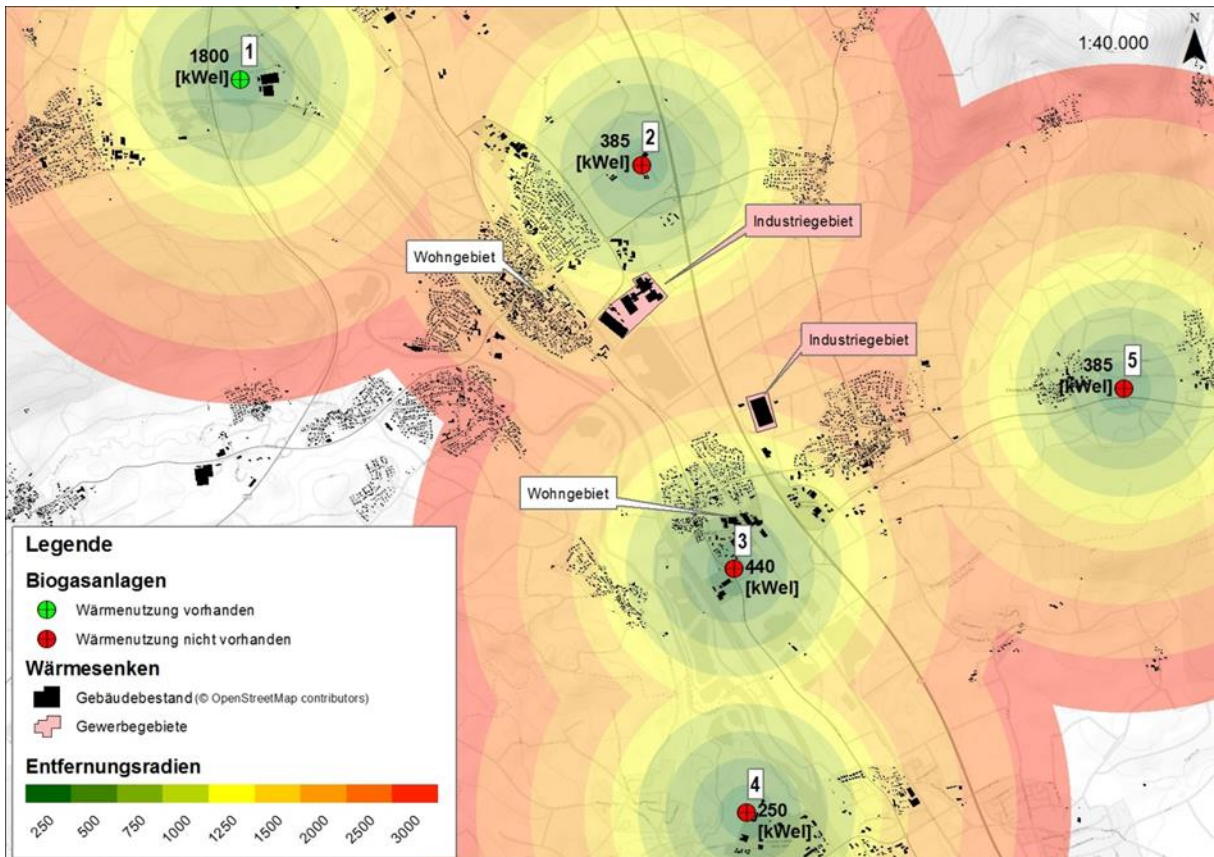


Räumliche Verteilung von fünf Biogasanlagen im ländlichen Raum [UMSICHT]

# REPOWERING – Fact Sheet

## Planbeispiel Anlagenverbünde - 2

Zur Analyse von potenziellen Wärmesenken werden OpenStreetMap-Daten zum Gebäudebestand genutzt. Die Analyse zeigt, dass zwei Industriegebiete (1250 m von Anlage 2 und 3) sowie kleinere Ansammlungen von Wohngebäuden im Umfeld der Anlagen zu finden sind. Zu prüfen ist, ob eines der Industriegebiete bzw. Wohngebiete Wärmemengen abnehmen kann, um den Wärmenutzungsgrad der betrachteten Anlagen (2 bis 5) deutlich zu steigern. Einzelkonzepte sind grundsätzlich auch möglich, aber nicht im Fokus des Konzepts.

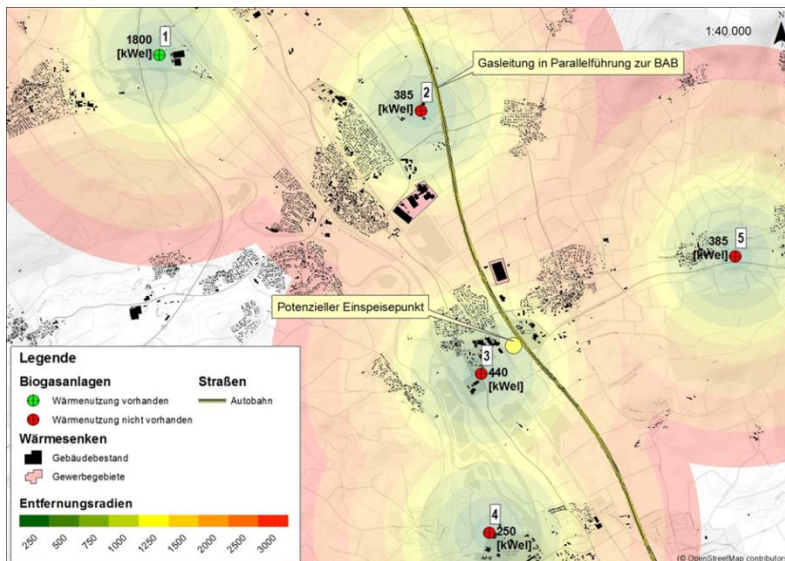


Verschneidung der Entfernungsradien mit dem OSM Gebäudebestand [UMSICHT].

# REPOWERING – Fact Sheet

## Planbeispiel Anlagenverbünde - 3

Aufgrund der räumlichen Konstellation und insbesondere der Entfernungen ist grundsätzlich die Realisierung eines Anlagenverbunds möglich. In Berechnungen von Fraunhofer UMSICHT wurde bereits gezeigt, dass Anlagenverbünde zur gemeinsamen Biogaseinspeisung bzw. Versorgung eines Satelliten-BHKWs mit Trassenlängen bis 30 km wirtschaftlich realisiert werden können.



Entfernungsanalyse  
Gasleitung [UMSICHT]

## Trassenverlauf Mikrogasleitung [UMSICHT]

