



Hochschule für Angewandte  
Wissenschaften Hamburg  
*Hamburg University of Applied Sciences*

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg  
Fakultät Life Science

# **Energieeinsparpotential einer Agrargenossenschaft mit 500 Kühen in der Milchproduktion**

BACHELORARBEIT

im Studiengang Umwelttechnik

vorgelegt von

**Jochen Halt**

**Matrikel-Nr.: 1843988**

Hamburg, 08. Dezember 2015

- 1. Gutachter: Prof. Dr. Heiner Kühle (HAW Hamburg)**
- 2. Gutachter: Dipl. Ing. Kai Uwe Wendlandt (Ingenieurbüro Kai-Uwe Wendlandt)**

Die Abschlussarbeit wurde in Zusammenarbeit  
mit dem Ingenieurbüro Kai-Uwe Wendlandt betreut und erstellt.

---

## Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit werden die Energieeinsparpotentiale für die Agrargenossenschaft Rom/Meckl. eG ermittelt und daraus Handlungsansätze generiert. Die Agrargenossenschaft hat verschiedene Betriebszweige, von denen nur der Milcherzeugerbereich betrachtet wird. Die gesamte Prozesskette, angefangen beim Milchentzug bis hin zur Lagerung der Milch auf dem Hof, wird analysiert. Für die richtige Einschätzung der Einsparpotentiale werden vier Modellbetriebe entwickelt, mit dem Ziel, allgemeine Kennzahlen zu erhalten. Diese Kennzahlen werden zum Maßstab für die Agrargenossenschaft. In mehreren Stufen erfolgen die Vorschläge zur Energieeinsparung, beginnend mit den kostengünstigen Maßnahmen. Größere Energieeinsparungen können mit einer Photovoltaikanlage realisiert werden. Die PV-Anlage wird beschrieben und auf Wirtschaftlichkeit untersucht. Das Konzept einer PV-Anlage in Kombination mit einem Eiswasserspeicher wird als Alternative zur herkömmlichen Kälteerzeugung vorgestellt. Als letzter Handlungsansatz zur Energieeinsparung wird eine Biogasanlage in Kombination mit einer Absorptionskälteanlage vorgestellt. Eine Wirtschaftlichkeitsberechnung für die Biogasanlage gilt als Entscheidungsgrundlage für diese Investition.

## Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>I</b>
<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>II</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>IV</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>VI</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>VII</b>
<b>1. Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Energieverbraucher in der Milchviehhaltung</b> .....	<b>3</b>
2.1 Allgemeine Angaben .....	3
2.2 Technik der Milchgewinnung .....	3
2.3 Milchkühlung und Lagerung .....	5
2.4 Stallbeleuchtung .....	6
2.5 Futterbereitstellung.....	7
2.6 Belüftung im Kuhstall.....	7
2.7 Kuhkomfort .....	8
2.8 Entmistung .....	8
<b>3. Methoden zur Wirtschaftlichkeitsberechnung</b> .....	<b>10</b>
<b>4. Modellbetriebe und deren Kennzahlen</b> .....	<b>11</b>
4.1 Beschreibung der Modellbetriebe .....	11
4.2 Kennzahlen .....	13
<b>5. Beschreibung der Agrargenossenschaft</b> .....	<b>17</b>
5.1 Basisdaten.....	17
5.2 Milchgewinnung.....	18
5.3 Milchkühlung und Lagerung .....	19
5.4 Technik in den Stallungen .....	20
5.5 Elektrischer Energieverbrauch der Agrargenossenschaft.....	21
5.6 Vergleich der Modelle mit der Agrargenossenschaft .....	22
<b>6. Konzepte zur Energieeinsparung</b> .....	<b>24</b>
6.1 Handlungsansätze zur Reduzierung der Energieverbräuche ...	24
6.1.1 Milchkühlung.....	24
6.1.2 Entmistung.....	24
6.1.3 Stallbeleuchtung .....	25

6.1.4	Reinigung .....	27
6.1.5	Allgemeine Empfehlungen .....	27
6.1.6	Gegenüberstellung Energieverbräuche .....	28
6.2	Photovoltaikanlage zur Eigenstromnutzung .....	31
6.2.1	Konzept der Photovoltaik-Anlage .....	32
6.2.2	Speichermedien.....	35
6.2.3	Anlagenkonzept.....	38
6.2.4	Wirtschaftlichkeitsberechnung .....	39
6.3	Konzept einer PV-Anlage in Kombination mit einem Eiswassertank .....	41
6.4	Biogasanlage.....	44
6.4.1	Prinzip einer Biogasanlage .....	44
6.4.2	Absorptionskälteanlage .....	50
6.4.3	Wirtschaftlichkeitsberechnung Biogasanlage in Kombination mit Absorptionskälteanlage.....	54
<b>7.</b>	<b>Fazit .....</b>	<b>57</b>
	<b>Anhang .....</b>	<b>VIII</b>
	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>XII</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Agrargenossenschaft Rom/Meckl. eG (Eigenes Foto, 03.06.2015) .....	2
Abbildung 2:	Innenansicht Kuhstall in Rom (Eigenes Foto, 03.06.2015) ....	3
Abbildung 3:	Side-by-Side Melkstand (Flaco Melksysteme).....	4
Abbildung 4:	Milchtank mit direkter Kühlung durch Kälteaggregat (DeLaval).....	6
Abbildung 5:	Beispiel eines Kuhstalls mit LED-Strahler Anordnung .....	7
Abbildung 6:	Kuhbürste (Delaval) .....	8
Abbildung 7:	Schieberentmister Leer und Versuchszentrum Futterkamp .....	9
Abbildung 8:	Jahresverbräuche der Modellbetriebe als absolute Werte ...	14
Abbildung 9:	Energieverbräuche der Modellbetriebe in kWh/Kuh und Jahr .....	15
Abbildung 10:	Energiedurchschnittswert aller Herden bezogen auf kWh/Kuh und Jahr .....	15
Abbildung 11:	Energieverbräuche der Herden in kWh/Tonne Milch .....	16
Abbildung 12:	Kuhstall der Jungtiere, Agrargenossenschaft Rom/Meckl. eG.....	17
Abbildung 13:	Innenmelkkarussell (DeLaval) .....	18
Abbildung 14:	Vakuumpumpe .....	18
Abbildung 15:	Frequenzsteuerung.....	18
Abbildung 16:	Milchtank und Kuhstall (Eigenes Foto, 03.06.2015) .....	19
Abbildung 17:	Lüfter im Hintergrund (Eigenes Foto, 03.06.2015).....	20
Abbildung 18:	Prozentuale Aufteilung der Einzelverbraucher der Agrargenossenschaft .....	21
Abbildung 19:	Aufteilung der Einzelverbraucher der Agrargenossenschaft Rom/Meckl. eG .....	22
Abbildung 20:	Vergleich der Modelle mit dem aktuellen Stand der Agrargenossenschaft Rom/Meckl. eG.....	23
Abbildung 21:	Vergleich der Energiekosten von T8-Leuchtstoffröhren und LED-Strahlern bei einer prozentualen Energiekostenpreiserhöhung von 3 % pro Jahr .....	26
Abbildung 22:	Gegenüberstellung des aktuellen und optimierten Standes der Agrargenossenschaft in Bezug auf den Energieverbrauch .....	29
Abbildung 23:	Lastgangdiagramm zum Vergleich eines realen und optimierten Lastganges .....	30
Abbildung 24:	Lastdiagramm für vier komplette Arbeitsschichten an zwei Tagen im August .....	31

---

Abbildung 25:	Lastdiagramm für vier komplette Arbeitsschichten an zwei Tagen im Dezember.....	32
Abbildung 26:	Ausschnitt aus der Solarkarte Norddeutschland für den Bereich Parchim .....	33
Abbildung 27:	Solarertrag Variante A mit der Ausrichtung von PV-Modulen nach Süden, .....	34
Abbildung 28:	Solarertrag Variante B mit der Ausrichtung von PV-Modulen nach Süden, Osten und Westen, Lastdiagramm am 1.8.2014 .....	35
Abbildung 29:	Kostenvergleich der Bleibatterie 375 Ah und dem LIONIC® Energiesystem 240 Ah auf Basis eines 2-Schichtbetriebes über einen Zeitraum von 5 Jahren nach Angaben der Fa. Benning.....	36
Abbildung 30:	Eigenstromversorgungsschema mit Unterstützung durch eine Li-Batterie .....	37
Abbildung 31:	Ertragsergebnis einer PV-Anlage .....	41
Abbildung 32:	Konzept der Eiswasserkühlung .....	42
Abbildung 33:	Phasen der Methanbildung.....	45
Abbildung 34:	Verteilung der verwendeten Gärsubstrate in Biogasanlagen (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe,e.V., 2012) .....	46
Abbildung 35:	Schema einer Biogasanlage für Gülle .....	47
Abbildung 36:	Investitionsberechnung der Biogasanlage .....	49
Abbildung 37:	Schema einer Absorptionskälteanlage .....	51
Abbildung 38:	Verlauf der kumulierten Barwerte dargestellt über den gesamten Betrachtungszeitraum von 21 Jahren .....	56

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Gegenüberstellung und Kostenvergleich T8-Leuchtstofflampen LED-Strahler .....	25
Tabelle 2: Gegenüberstellung Jahreskosten Leuchtstofflampen und LED- Strahler .....	26
Tabelle 3: Eingabedaten für die PV Auslegung .....	34
Tabelle 4: Vergleich der Eigenschaften Bleibatterie zu Lithium Ionenbatterie nach Angaben der Fa. Benning .....	37
Tabelle 5: Tabelle mit PV Komponenten, Preise stammen von der Firma Sonnenblume GmbH   Dorfstraße 13A   23923 Petersberg bei Lübeck .....	39
Tabelle 6: Tabelle mit den Ergebnisrechnungen für die Investition einer PV-Anlage mit einem Investitionsvolumen von 38.805 € ohne Batterien, (Umweltinstitut München e.V., 2015) .....	40
Tabelle 7: Benötigte Energiemenge der Biogasanlage, (Eder & Schulz, 2007).....	48
Tabelle 8: Basisdaten für Berechnung Absorptionskühlung .....	53
Tabelle 9: Wirtschaftlichkeitsberechnung für Biogasanlage mit Absorptionskälteanlage.....	55

## Abkürzungsverzeichnis

In das Abkürzungsverzeichnis werden keine Standardabkürzungen aufgenommen, die auch der Duden ausweist. Es sind nur jene Abkürzungen aufgeführt, die spezifischer Natur sind und in der Arbeit verwendet werden.

<b>Abkürzung</b>	<b>Bedeutung</b>
BHKW	Blockheizkraftwerk
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EVU	Energieversorgungsunternehmen
GV	Großvieheinheit
PV	Photovoltaik

## 1. Einleitung

Die Themen wie Klimaerwärmung, notwendige Verringerung von Kohlendioxid in der Atmosphäre, Nutzung von konventionellen fossilen Energieträgern sowie Abkehr von Kernkraftwerken bestimmen die Diskussionen der Gegenwart über den richtigen Weg der zukünftigen Energiepolitik. Aktuell gibt es hierzu zwei Ansätze: Zum einen das Einsparen von Energie und zum anderen die Nutzung regenerativer Energieformen. Einige Industriestaaten verpflichten sich im Rahmen des Kyoto-Protokolls den klimaschädlichen CO<sub>2</sub>-Ausstoß zu verringern. Gefördert werden diese Ziele von der Bundesregierung und der Europäischen Union durch Verordnungen zur Energieeinsparung und Förderung alternativer Energien. Gerade für die Landwirtschaft ist das Thema Energieeinsparung häufig überlebenswichtig. Bei Nutzung fortschrittlicher Technologien kann das Einsparpotential bis zu 30 % des heutigen Energiebedarfs betragen. Ziel dieser Arbeit ist es, für einen Milcherzeuger Energieeinsparpotentiale zu ermitteln und daraus Handlungsansätze abzuleiten.

Der in dieser Arbeit betrachtete Milcherzeugungsbetrieb besitzt 500 Milchkühe und produziert jährlich 4,3 Millionen kg Milch. Zu dem Betrieb gehören weitere Großvieheinheiten (GV)<sup>1</sup>, die der Nachzucht dienen und deshalb außerhalb der Betrachtung liegen. Der Betrieb besitzt neben der Milcherzeugung noch 1600 ha landwirtschaftliche Flächen zum Anbau von Getreide, Kartoffeln, Zuckerrüben und Futterpflanzen für die Milchkühe. Zu DDR-Zeiten wurde dieser Betrieb als Schweinemastbetrieb gegründet, später auf Milcherzeugung umgestellt und seitdem stetig modernisiert. Die Abbildung 1 zeigt das Betriebsgelände mit den Kuhställen, Lagerplätzen und Nebengebäuden. Im Vordergrund ist der Lagertank für die Milch zu sehen.

---

<sup>1</sup> Maßeinheit für Nutztierarten ab einem Lebendgewicht von 500 kg



Abbildung 1: Agrargenossenschaft Rom/Meckl. eG (Eigenes Foto, 03.06.2015)

Der Betrieb firmiert seit dem Jahr 1991 unter Agrargenossenschaft Rom/Meckl. eG in der Nähe von Parchim in Mecklenburg Vorpommern. Die Milch wird täglich von einer Molkerei vollständig abgenommen. Die jährliche elektrische Arbeit, die auf dem Hof umgesetzt wird, beträgt ca. 200.000 kWh und der jährliche Gasverbrauch liegt bei ca. 50.000 kWh. Bei einem derzeitigen Milchpreis von unter 30 Cent/kg Milch (Proplanta, 2015) muss auch dieser Betrieb die Energieverbräuche verringern. Der Energieversorger stellt dem Betrieb jährlich ein Lastgangdiagramm zur Verfügung. Das Lastdiagramm aus dem Jahr 2014 dient als Basis für alle späteren Berechnungen. Erst durch die Reduzierung der Energieverbräuche sind wieder höhere Gewinne realisierbar.

Der Betrieb hat keine Messeinrichtungen zur Bestimmung der Energieverbräuche. Für die Beurteilung des Energieverbrauchs werden in dieser Arbeit Kennzahlen für vier verschiedene Modellbetriebe entwickelt. Diese Kennzahlen dienen zum Vergleich mit dem betrachteten Betrieb in Mecklenburg-Vorpommern. Aus diesem Vergleich lässt sich das Einsparungspotential abschätzen. In mehreren Stufen werden Möglichkeiten der Energieeinsparung angeboten; größere Investitionen werden mit einer Wirtschaftlichkeitsberechnung untermauert und können die Basis für zukünftige Investitionen bilden.

## 2. Energieverbraucher in der Milchviehhaltung

### 2.1 Allgemeine Angaben

Für eine quantitative Aussage zu den Energieverbräuchen in der Milchviehhaltung ist es wichtig, die wesentlichen Energieverbraucher zu kennen. Handlungsansätze resultieren dann aus Vergleichen mit üblichen standardisierten Modellbetrieben. Im Bereich der Landwirtschaftskammern wird häufig eine Kennzahl für den jährlichen Energiebedarf pro Milchkuh genannt. In dieser Kennzahl sind Betriebe sehr unterschiedlicher Größe eingeflossen. Der Anteil an Kleinbetrieben mit maximal 100 Milchkühen überwiegt und ist deshalb für den betrachteten Betrieb als Vergleich nur ansatzweise geeignet. Für die Ermittlung angepasster Kennzahlen werden vier Modellbetriebe mit unterschiedlicher Herdengröße entwickelt, um die Abhängigkeit des Energiebedarfs von der Herdengröße zu untersuchen. In den nächsten Kapiteln werden die wichtigsten Teilprozesse und Technologien bei der Milchgewinnung beschrieben. In den Modellbetrieben finden sich diese Teilprozesse wieder. Sie werden durchgängig in der gesamten Arbeit für das Energieeinsparpotential verwendet.



Abbildung 2: Innenansicht Kuhstall in Rom (Eigenes Foto, 03.06.2015)

### 2.2 Technik der Milchgewinnung

Für die Milchgewinnung werden verschiedene Melksysteme und Geräte eingesetzt. Bei den Melksystemen wird zwischen Side-by-Side-Melkstände (Abbildung 3), Fischgrätenmelkstände und Melkkarusselle als Innen- oder Außenmelkkarussell unterschieden. Beim Side-by-Side-Melkstand stehen die Kühe nebeneinander aufgereiht, mit dem Hinterteil in Richtung Melkgang. Das Melkzeug wird durch die Hinterbeine angelegt. Im Gegensatz dazu stehen die

Kühe im Fischgrätenmelkstand schräg nebeneinander, das Melkzeug wird seitlich angelegt.

Die Melksysteme verfügen über manuelle oder über automatische Melkzeugabnahmen<sup>2</sup> und Melkzeugdesinfektionen. Je nach Melksystem werden für den Melkvorgang unterschiedliche Laufzeiten der Stromverbraucher angenommen. (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, 2014)



Abbildung 3: Side-by-Side Melkstand (Flaco Melksysteme)

Zum Melken werden für den Milchentzug Vakuumpumpen genutzt. Die Leistung der Vakuumpumpe ist vom Melksystem und der Größe der Melkanlage abhängig. Nach dem Hochlauf der Vakuumpumpe reduziert ein Frequenzumrichter die Einschaltdauer auf 50 %. Durch den Frequenzumrichter lässt sich die Leistung der Vakuumpumpe an die Melkanlage anpassen. Damit kann der Energieverbrauch in Grenzen beeinflusst werden. Für Spülvorgänge wird das Luftvolumen der Vakuumpumpe erhöht.

Nach dem Melken werden die Anlagen in mehreren Schritten gereinigt. Zunächst erfolgt eine Vorspülung mit handwarmem Wasser, um die restliche Milch zu entfernen. Danach wird mit ca. 90 °C heißer Reinigungs- und Desinfektionslösung eine Ringspülung vorgenommen und anschließend mit kaltem Wasser nachgespült. Der Reinigungsvorgang ist für alle Melksysteme ähnlich. Es gibt keine wesentlichen Unterschiede für die erforderliche Reinigungsdauer. Im Folgenden wird angenommen, dass die Anlage zweimal pro Tag unter Volllast gereinigt wird. Zum Reinigen wird Trinkwasser genutzt, das einmalig von 10 °C auf 90 °C erwärmt werden muss. Die Erwärmung des Wassers erfolgt über ei-

---

<sup>2</sup> Melkzeug: Vakuuman schlüsse für Kuheuter

nen elektrischen Durchlauferhitzer. Unterstützend kann die Wärmerückgewinnung aus der Milch das Reinigungswasser vorwärmen.

Die Milchpumpe fördert die frisch gemolkene Milch zum Milchtank. Die Milchpumpenleistung hängt von der Anzahl der angeschlossenen Melkzeuge und von den Druckverlusten ab. Druckverluste entstehen durch die Leitungslänge, die verwendeten Leitungsbögen, Höhenunterschiede, Plattenwärmetauscher sowie durch Milchfilter.

Für ein ausreichendes Arbeitslicht im Melkstand muss nach der DIN EN 12464 § 2 Abs. 3 ArbStättV ein Mindestwert von 200 Lux erreicht werden. Die Beleuchtungsdauer entspricht der Melkzeit inklusive Vor- und Nachbereitungszeit.

Mit Druckluft werden im Melkstand Tore geöffnet und geschlossen. Der Automatisierungsgrad der Melkstände bestimmt die Höhe der eingesetzten Arbeit. Gemessen am Gesamtenergieverbrauch ist der Anteil für die Druckluft vernachlässigbar gering und wird deshalb in der Modellrechnung nicht berücksichtigt.

Der Antrieb des Melkkarussells benötigt eine Anschlussleistung je nach Anzahl der Melkplätze zwischen 4 kW bei 25 Melkplätzen und 10 kW ab 40 Melkplätzen. Bewegt wird das Melkkarussell mit einem hydraulischen Antrieb.

### **2.3 Milchkühlung und Lagerung**

Es gibt in der Milchkühlung zwei wesentliche Systeme. Bei der direkten Kühlung wird mit einem Kältekompressor die Milch gekühlt. Im Milchtank wird über einen Wärmetauscher, durch den die Kühlflüssigkeit gepumpt wird, die Wärme der Milch entzogen. Den größten Energieverbrauch haben der Verdichter und die Ventilatoren am Verflüssiger. Die Milch im Milchtank wird mit einem langsam laufenden Rührwerk ständig bewegt, hierfür wird elektrische Arbeit eingesetzt. Die zweite Methode zur Kühlung der Milch ist eine indirekte Kühlung, auch Kühlung durch Eiswasser genannt. Das Wasser wird auf 2 °C gekühlt und in einem sehr gut isolierten Tank gespeichert. Nach dem derzeitigen Stand der Technik wird in beiden Systemen Wärmerückgewinnung genutzt. Die zurückgewonnene Wärme kann zum Spülen der Anlage oder zum Spülen des Milchtanks genutzt werden.



Abbildung 4: Milchtank mit direkter Kühlung durch Kälteaggregat (DeLaval)

### 2.4 Stallbeleuchtung

Die ausreichende Stallbeleuchtung ist für das Wohlbefinden und die Gesundheit der Tiere wichtig. Ausreichendes Licht im Stall steigert die Milchleistung der Kühe (Dahl & Petitclerc, 2008). Für die Arbeitssicherheit am Arbeitsplatz ist eine ausreichende Beleuchtung zwingend erforderlich. Nach Möglichkeit, sollte das Tageslicht genutzt werden. In der Milchviehhaltung sind, außer bei Kälbern, keine Mindestbeleuchtungsstärken vorgeschrieben. Die Mindestbeleuchtungsstärke bei Kälbern beträgt laut der Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung mindestens 80 Lux bei einer Beleuchtungsdauer von zehn Stunden pro Tag im Aufenthaltsbereich der Kälber. Außerdem sollte die Lichtstärke dem Tagesrhythmus angeglichen und möglichst gleichmäßig verteilt werden (Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 22. August 2006, 2006). Für ausgewachsene Rinder gibt es nur Empfehlungen und keine gesetzlichen Vorgaben. Das Lehr- und Versuchszentrum Futterkamp, LWK Schleswig-Holstein empfiehlt mindestens 150 Lux Bestrahlungsstärke. Um die Milchproduktion pro Kuh und Melkgang zu steigern, kann man im Kuhstall einen Langtag, d.h. Beleuchtungsdauer von 16 Stunden, einführen. Dadurch lässt sich die Milchproduktion der Kühe um bis zu 2,5 kg Milch pro Tag steigern (Hans-Jochim Rohweder, Lehr- und Versuchszentrum Futterkamp, LK Schleswig Holstein, 2012). Nach diesem Langtag benötigen die Kühe mindestens 6 Stunden Dunkelheit, sonst stellt sich ein gegenteiliger Effekt ein.

Da nach einigen Einsatzjahren durch Verschmutzung und Alterung die Beleuchtungsstärke sinkt, sollten bei einem Neueinbau Lampen mit 200 Lux verbaut

werden. In allen Modellställen wird von LED-Lampen mit 200 Lux Beleuchtungsstärke ausgegangen, jeweils mit 100 W Leistungsaufnahme. Es wird angenommen, dass die LED-Strahler einen Abstand in derselben Reihe von 6 m zueinander haben und in einer Höhe von 8 m angebracht werden. Pro Stall gibt es zwei Reihen LED-Strahler, die Reihen haben einen Abstand von 10 m zueinander.

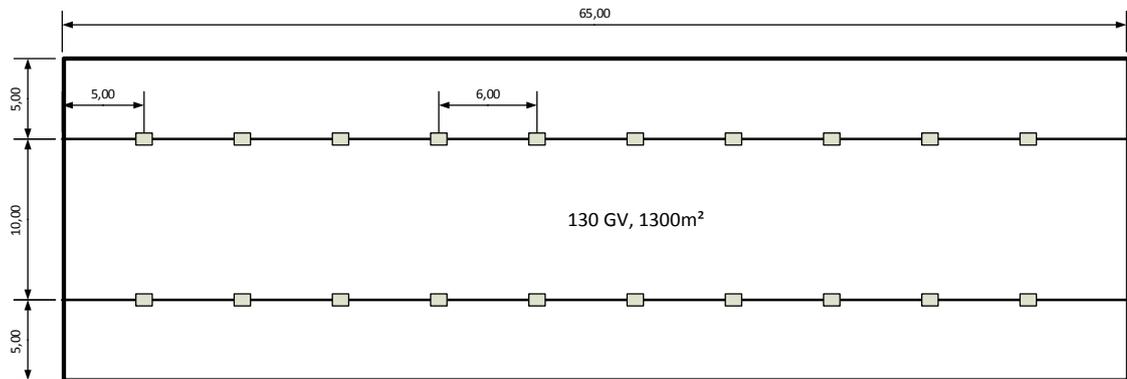


Abbildung 5: Beispiel eines Kuhstalls mit LED-Strahler Anordnung

### 2.5 Futterbereitstellung

Das Krafftutter und das Silage Futter wird mit einer Futterschnecke transportiert und mit einem Krafftutterautomaten mit entsprechender Verteiltechnik an die Tiere ausgegeben. Die eingesetzte elektrische Arbeit ist so gering, dass sie in den Modellen nicht betrachtet wird. Ebenfalls nicht berücksichtigt wird der Dieserverbrauch der eingesetzten landwirtschaftlichen Fahrzeuge und Gerätschaften.

### 2.6 Belüftung im Kuhstall

Milchkühe benötigen für eine gleichbleibende gute Gesundheit eine konstante Temperatur im Kuhstall. Die Wohlfühltemperatur der Kühe ist laut dem Lehr- und Versuchszentrum Futterkamp zwischen  $-7\text{ °C}$  und  $17\text{ °C}$ . Liegt die Temperatur deutlich über diesen empfohlenen Werten, muss die Kuh für einen eigenen Temperatúrausgleich sorgen. Dies geschieht vor allem durch Ausschwitzen und Hecheln. Je wärmer es im Stall ist, desto mehr Wasser muss die Kuh verdampfen. Ist der Luftaustausch im Kuhstall nur ungenügend, gerät die Kuh in einen Hitzestress und verringert dadurch die Futteraufnahme. Die Folge ist eine Mobilisierung der Körperfettreserven mit anschließenden Stoffwechselstörungen. Vermeiden kann man diesen Effekt durch eine gute Belüftung im Stall.

Moderne Kuhställe werden so gebaut, dass sie nach allen Seiten offene Wände haben. Um die warme Luft nach draußen zu fördern, werden Deckenlüfter eingesetzt. Besonders an kritischen Stellen, wie dem Vorwartehof<sup>3</sup>, dem Melkstand und im Bereich der Liegeboxen, empfiehlt sich der Einsatz von Lüftern. Die Lüftersteuerung erfolgt über Thermostate. Um den Aufwand für Verdrahtung und Steuerung gering zu halten, sollten Lüftergruppen installiert werden. (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2015)

### 2.7 Kuhkomfort

Kuhbürsten sind bei den Kühen sehr beliebt. Sie werden zur Fellpflege, wie zum Beispiel zum Entfernen von Kotresten genutzt. Durch die zusätzliche Fellpflege wird die Keimzahl im Kuhstall reduziert. Ist keine Bürste im Kuhstall vorhanden, erhöht sich für die Tiere die Langeweile; es führt zu mehr Stress und Verhaltensstörungen durch vermehrten Juckreiz und Unbehagen. Im Frühjahr nutzen viele Tiere die Bürsten, um das Winterfell zu reduzieren und einer Verfilzung vorzubeugen.



Abbildung 6: Kuhbürste (Delaval)

### 2.8 Entmistung

Für die Stallentmistung gibt es zwei Varianten: die automatische Schieberentmistung für planbefestigte Stallböden und Entmistung eines Stalles mit Spaltenböden. Bei einem Stall mit Spaltenböden wird der feste Kot durch die Spalten getreten und der Urin fließt von selber ab. Bei einem Stall mit Schieber wird der Kot durch den Schieber alle zwei Stunden abgeräumt. Der Kot wird in ein unter dem Stall liegenden Güllekeller gesammelt und von dort in ein Silo gepumpt.

---

<sup>3</sup> Vorwartehof: Fläche für wartende Kühe vor dem Melkstand

## 2. Energieverbraucher in der Milchviehhaltung

---

Das Umpumpen der Gülle, das Spülen der Böden und Reinigen der Spalten wird in den Modellen ebenfalls berücksichtigt.



Abbildung 7: Schieberentmister Leer und Versuchszentrum Futterkamp  
(Eigenes Foto, 01.10.2015)

### 3. Methoden zur Wirtschaftlichkeitsberechnung

Für Wirtschaftlichkeitsberechnungen sind im Rahmen der Betriebswirtschaftslehre verschiedene Methoden entwickelt worden. Die Wirtschaftlichkeitsberechnung einer Investition kann entweder nach einer statischen Methode oder nach einer dynamischen Methode berechnet werden. Zu den dynamischen Methoden zählen die Kapitalwertmethode, die interne Zinsfußmethode und die Annuitätsmethode. Die statischen Methoden werden für schnelle überschlägige Betrachtungen verwendet und sind für Investitionsentscheidungen in einer Periode gut geeignet. Voraussetzung ist, dass alle Zahlen eines Jahres repräsentativ für die Gesamtlaufzeit sind. Im Gegensatz dazu erlauben die dynamischen Verfahren das Rechnen mit Einnahmen und Ausgaben bezogen auf den Zahlungszeitpunkt. Der Vorteil der dynamischen Methoden liegt in der Auswertung der finanziellen Auswirkungen über die gesamte Investitionsdauer. Für alle Investitionsbetrachtungen in dieser Arbeit wird die Methode des internen Zinsfußes verwendet. Die interne Zinsfußmethode ermittelt den Zinssatz, bei dem der Kapitalwert der Investition gleich null ist. Der Kalkulationszinssatz wird dann mit dem internen Zinsfuß verglichen. Das Ergebnis ist vorteilhaft, wenn dieser interne Zinssatz mindestens erreicht wird. Die Berechnung des internen Zinsfußes erfolgt nach der Formel (Kruschwitz, 2007):

$$KW = \sum_{t=1}^{tn} \frac{E_t}{(1 + i_r)^t} - AK = 0$$

KW	Kapitalwert
AK	Investitionsauszahlung
$E_t$	Nettoeinzahlung
$t$	Anzahl der Perioden
$r$	Kalkulationszinssatz
$i$	Interner Zinsfuß

Der interne Zinsfuß kann durch eine Näherungsrechnung oder durch eine Zielwertsuche in EXCEL berechnet werden. Die Zielwertsuche ist die in der Praxis häufigste Methode. Bei der internen Zinsfußmethode wird unterstellt, dass die Kapitalrückflüsse zu dem internen Zinssatz angelegt werden können. Diese Methode wird häufig in der Praxis für Einzelinvestitionen eingesetzt.

## 4. Modellbetriebe und deren Kennzahlen

Es werden vier Modelle nach dem Stand der Technik entwickelt. Aus diesen Modellen lassen sich Kennzahlen ableiten. Mit diesen Kennzahlen ist ein Vergleich mit der Agrargenossenschaft möglich und es werden die Hauptverbraucher identifiziert. Es wird dadurch gezeigt, welche Energieeinsparungen möglich sind.

### 4.1 Beschreibung der Modellbetriebe

Für die Berechnung der Modelle müssen allgemein gültige Annahmen getroffen werden. Die Daten wurden durch Befragungen großer Hersteller auf der Landwirtschaftsmesse Norla 2015, durch das KTBL-Heft 104 (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, 2014) und durch die Agrargenossenschaft Rom/Meckl. eG ermittelt. Des Weiteren wurden einzelne Energieverbräuche mit Energieberatern des Lehr- und Versuchszentrum Futterkamp diskutiert. Die Werte werden ganzzahlig in die im Anhang befindliche Excel-Tabelle eingetragen. Definiert werden müssen die gemolkene Milchmenge pro Tag und Milchkuh, die Melkintervalle pro Tag und die Dauer des Melkvorgangs pro Milchkuh. Aus der Milchmenge pro Tag wird die Milchmenge einer Kuh pro Jahr berechnet.

Im zweiten Abschnitt der Tabelle werden die Modelle genauer beschrieben. Es wird gezeigt, welche Größe die Herden haben und welcher Melkstand eingesetzt wird. Aus der Größe der Herde und aus der Menge gemolkener Milch pro Kuh wird die Milchmenge der Herde in kg pro Tag bestimmt. Nach Empfehlungen des Leer- und Versuchszentrums Futterkamp werden die Stallflächen mit 8 – 10 m<sup>2</sup> pro Kuh angenommen. Für die Modellherden ergeben sich daraus die Gesamtstallflächen der Kuhställe. Für die Modellberechnungen ist es sinnvoll, einen Standardstall zu definieren. Zu einem Standardstall mit 130 Kühen gehören eine Fläche von 1300 m<sup>2</sup>, 2 Schieberentmistern, 2 Kuhbürsten, 3 Lüftern und 20 LED-Strahler.

Bei größeren Herden werden die Kühe auf mehrere Standardställe verteilt. Die Melkdauer der einzelnen Herden hängt im Wesentlichen von der Größe der Herden und dem eingesetzten Melkstandsystem ab.

Der Energieverbrauch der Vakuumpumpe ist im dritten Teil der Tabelle dargestellt. Die abgegebene Leistung der Vakuumpumpe lässt sich mit der Fre-

quenzsteuerung einstellen. Nur während des Spülvorgangs muss die Vakuumpumpe mit erhöhter Leistung laufen.

Für die Ausleuchtung des Melkstandes ist eine installierte Leistung von 80 W pro Melkplatz vorgesehen.

Die Melkkarusselle werden mit einem Hydraulikmotor angetrieben. Dies gilt für die Modelle mit 500 und 1000 Kühen. Die beiden anderen Modelle benutzen andere Melksysteme ohne Antrieb. Die Laufzeit der Karusselle und die dadurch verrichtete Arbeit hängen von den Melkzeiten ab.

Zur Kühlung und Lagerung der Milch wird in den vorgestellten Modellen nur die direkte Milchkühlung durch ein Kälteaggregat genutzt. Alle Modelle sind mit einem Vorkühler ausgestattet, der die Milch um 15 Kelvin von 35 °C auf 20 °C kühlt. Das Kälteaggregat hat in den Modellbetrieben eine Leistungszahl von 3 im optimalen Betriebspunkt. Um ein Kilogramm Milch um ein Kelvin zu kühlen, werden 3,85 kJ benötigt, was 1,07 Wh entspricht. Die Milch muss auf 6 °C gekühlt werden. Für alle Modelle gilt, dass eine Milchkuh 30 kg Milch pro Tag produziert, dies entspricht 10950 kg pro Jahr. In der Landwirtschaft wird die Milchmenge grundsätzlich in kg angegeben. Aus der jährlichen Milchmenge pro Kuh, der zum Kühlen benötigten Arbeit und der Temperaturdifferenz lässt sich die nötige Kühlleistung berechnen. Da die Kühlleistung, abgesehen vom eingesetzten Kühlaggregat, von der Menge der Milch abhängt, ist die eingesetzte Arbeit pro Kuh und Jahr in allen Modellen gleich.

Alle Modellkuhställe sind mit einer modernen energiesparenden LED-Beleuchtung ausgestattet. Die Beleuchtungsstärke beträgt 200 Lux pro Strahler mit einer Anschlussleistung von 100 W. Es wird von einer Beleuchtungsdauer von 6 Stunden pro Tag ausgegangen, verteilt auf 3 Stunden am Morgen und 3 Stunden am Abend. Im Jahresverlauf gleichen sich die kürzeren und längeren Tage aus. Die Größe des Stalls bestimmt die Anzahl der LED-Strahler.

Eine Kuh produziert im Jahr 20 m<sup>3</sup> Gülle. Für die Modelle wird angenommen, dass die Ställe eine planbefestigte Stallfläche haben und der Stallboden mit automatischen Schieberentmistern geräumt wird. Der automatische Schieberentmister reinigt den Boden alle 2 Stunden. Die Größe der Herden bestimmt die Anzahl der Schieberentmister. Um die Gülle in die Güllesilos zu transportieren,

werden Güllepumpen benutzt. Die Pumpen fördern 300 m<sup>3</sup> Gülle pro Stunde. Die Herdengrößen bestimmen die tägliche anfallende Güllemenge und damit die Einschaltdauer der Güllepumpe.

Um Hitzestress der Tiere im Kuhstall zu vermeiden, werden in Ställen häufig Deckenventilatoren eingesetzt. Aus der Größe der Ställe ergibt sich die Anzahl der Ventilatoren. Die Einschaltdauer hängt von der Außentemperatur ab. An den kalten Wintermonaten müssen die Ventilatoren nicht arbeiten, dafür werden sie in den zwei heißen Sommermonaten Juli und August 12 Stunden am Tag betrieben. Daraus ergibt sich die über das Jahr gerechnete Einschaltdauer pro Tag.

Damit die offenliegenden Rohrleitungen für die Wasserversorgung der Tiere im Stall im Winter nicht einfrieren, werden Rohrbegleitheizungen vorgesehen. In den Modellherden wird von optimierten Rohrlängen ausgegangen.

Für die Erhöhung des Kuhkomforts werden in modernen Ställen elektrisch angetriebene Kuhbürsten eingesetzt. In den Modellbetrieben wird davon ausgegangen, dass pro 50 Tiere eine Bürste oder pro Kuhstall zwei Bürsten zur Verfügung stehen. Die Einschaltdauer der Bürsten richten sich nach Beobachtungen des Lehr und Versuchszentrum Futterkamp.

#### **4.2 Kennzahlen**

Abbildung 8 zeigt die Jahresverbräuche der vier Modelle. Die einzelnen Verbraucher sind farblich dargestellt. Die Zahl auf der Säule gibt den jeweiligen Jahresgesamtverbrauch in kWh an.

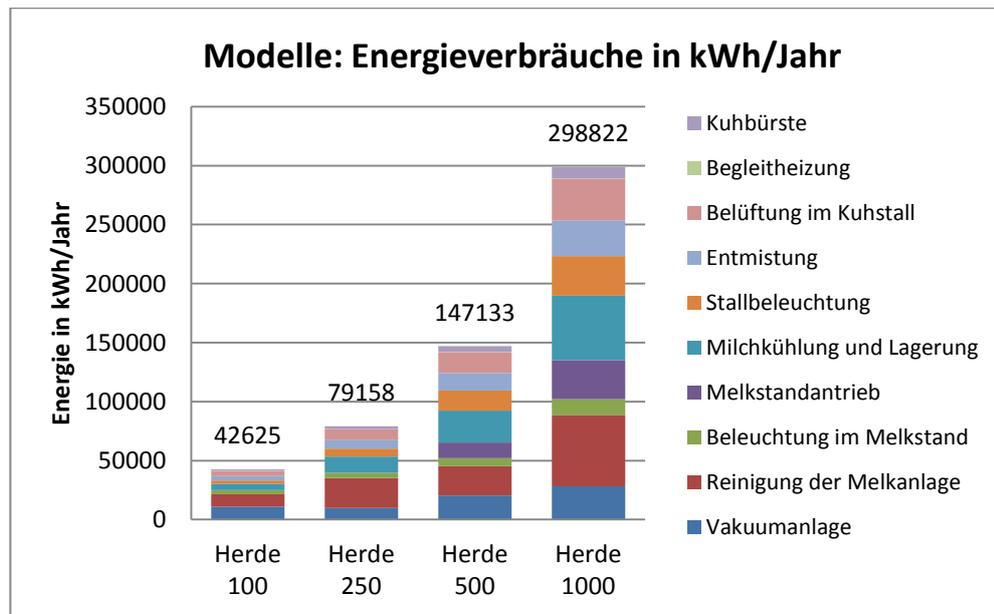


Abbildung 8: Jahresverbräuche der Modellbetriebe als absolute Werte

Durch die absoluten Jahresverbräuche lassen sich die Modelle nicht direkt miteinander vergleichen. Deshalb werden für die Vergleichbarkeit von unterschiedlichen Betrieben gleicher Branchen und zur Entscheidungsunterstützung, Steuerung und Kontrolle von Maßnahmen Kennzahlen benutzt.

Für Milchviehbetriebe werden die Kennzahlen Energieverbrauch pro Kuh und Energieverbrauch pro 1000 kg Milch für Vergleiche herangezogen. Ziel dieser Kennzahlbetrachtung ist es, den Betrieb im Vergleich zu Standardbetrieben auf Handlungsansätze zu untersuchen.

$$\text{Energieverbrauch pro Kuh} = \frac{\text{kWh}}{\text{Kuh} \cdot \text{Jahr}}$$

$$\text{Energieverbrauch pro Tonne Milch} = \frac{\text{kWh}}{1000 \text{ kg Milch}}$$

In Abbildung 9 wird die Kennzahl kWh/Kuh und Jahr dargestellt. Auffällig ist, dass die Herde 100 deutlich höhere Werte hat, als die drei anderen Modelle. Die Spannweite des Energieverbrauchs für die Modelle Herde 250 bis Herde 1000 reicht von 294 kWh/(Kuh · Jahr) bis 317 kWh/(Kuh · Jahr).

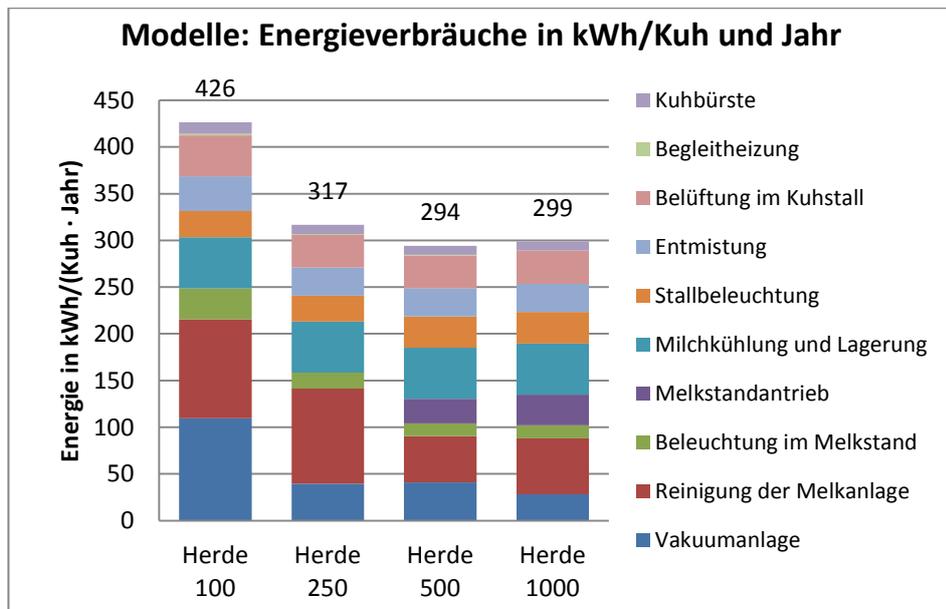


Abbildung 9: Energieverbräuche der Modellbetriebe in kWh/Kuh und Jahr

Die Abbildung 10 zeigt die prozentuale Verteilung der Durchschnittswerte der Verbraucher aller Herden. Die größten Energieverbraucher sind demnach die Reinigung der Melkanlage, die Kühlung der Milch und die Vakuumanlage.

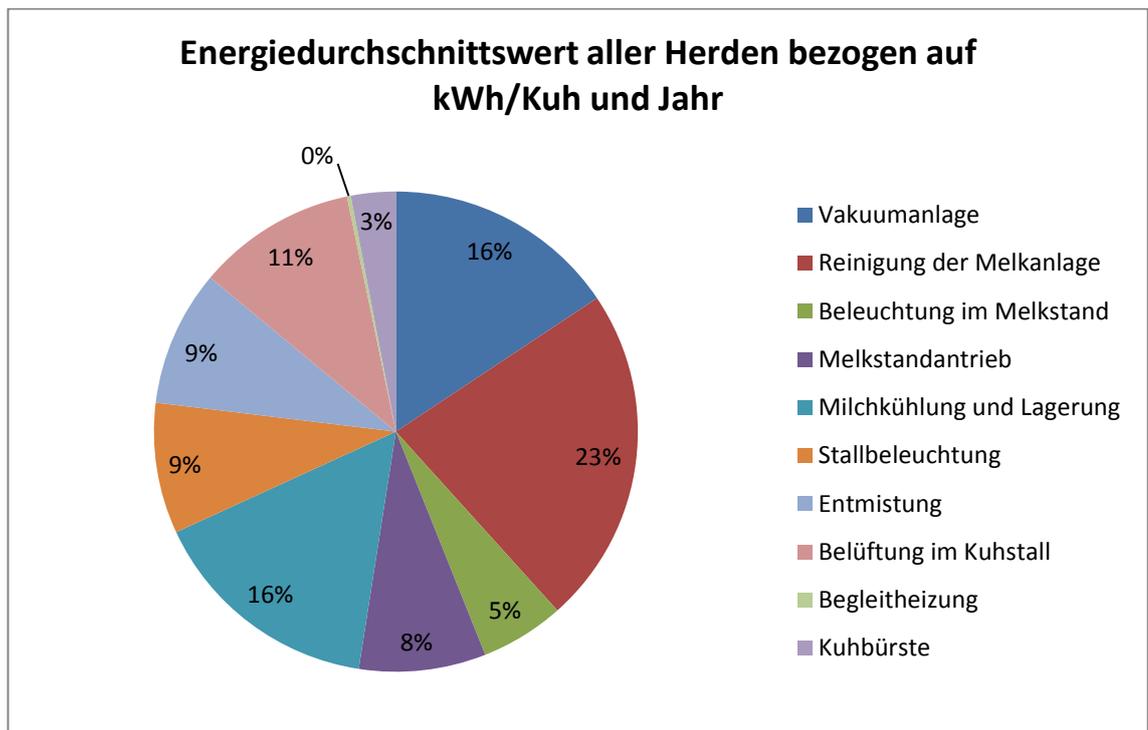


Abbildung 10: Energiedurchschnittswert aller Herden bezogen auf kWh/Kuh und Jahr

Die zweite Kennzahl, Energieverbrauch in kWh/Tonne Milch, wird in der Abbildung 11 dargestellt. In dieser beziehen sich die Energieverbräuche auf die produzierte Milchmenge. Diese Kennzahl ist unabhängig von der Anzahl der Kühe und der damit verbundenen Schwankungen der Milchmengen. Die normierte

Milchmenge pro Kuh von 30 kg Milch pro Tag ist eine Annahme für den Idealfall. In einem realen Betrieb schwankt die Milchabgabe pro Kuh zwischen 22 kg und 36 kg Milch pro Tag. Die Kennzahl kWh/Tonne Milch ist für eine betriebswirtschaftliche Betrachtung interessant. Sie bildet mit den Personalkosten, Futterkosten, Dieselkosten und Energiekosten in kWh/Tonne Milch eine relevante Kennzahl für das Jahresergebnis.

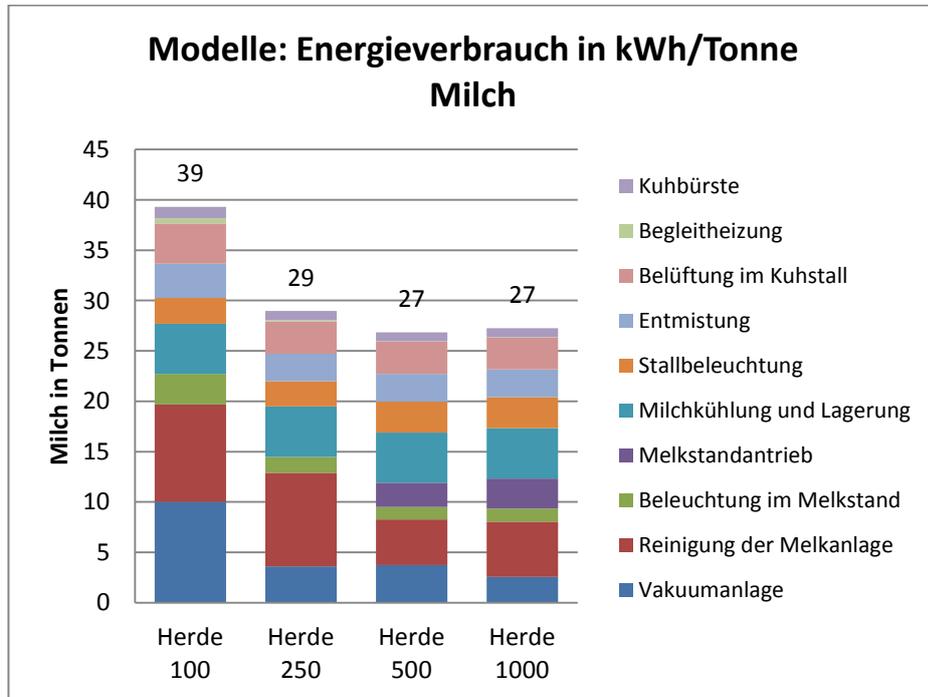


Abbildung 11: Energieverbräuche der Herden in kWh/Tonne Milch

## 5. Beschreibung der Agrargenossenschaft

### 5.1 Basisdaten

Die Agrargenossenschaft Rom/Meckl. eG teilt sich in vier landwirtschaftliche Bereiche: Milchproduktion, Nachzucht von Milchkühen, Anbau von Marktfrüchten und den Anbau von Futterpflanzen. Dem Hof stehen 1.600 ha landwirtschaftliche Nutzfläche zur Verfügung. Auf dieser Nutzfläche werden unter anderem Winterraps, verschiedene Getreidesorten wie Mais und Kartoffeln angepflanzt. Für die Milchproduktion hat dieser Betrieb 500 Milchkühe, die pro Jahr ca. 4,4 Millionen kg Milch produzieren. Pro Kuh und Melkgang werden ca. 12 kg Milch gewonnen. Die Kühe sind auf mehrere Ställe aufgeteilt mit einer Gesamtfläche von ca. 3.500 m<sup>2</sup>.



Abbildung 12: Kuhstall der Jungtiere, Agrargenossenschaft Rom/Meckl. eG  
(Eigenes Foto, 03.06.2015)

Jeden Tag wird zwei Mal gemolken. Die Milch wird einmal am Tag von einer Molkerei abgeholt. Die Tagesproduktion beträgt 12.000 kg Milch, die nicht auf einmal von dem Milchwagen abgeholt werden kann. Die Milchabholung erfolgt im Wechsel einmal am Vormittag und am nächsten Tag am Nachmittag. Vormittags können maximal 8.000 kg und am Nachmittag 16.000 kg abgeholt werden. Dies führt dazu, dass über Nacht Milch im Milchtank gelagert werden muss. Zusätzlich zu den 500 Milchkühen gibt es noch 120 Kälber und Jungtiere auf dem Hof. Die Agrargenossenschaft züchtet eigene Milchkühe nach und ist in den entsprechenden Verbänden organisiert.

## 5.2 Milchgewinnung

Für die Milchgewinnung benutzt die Agrargenossenschaft als Melkstand ein Innenmelkkarussell mit 22 Plätzen. Das Melkkarussell wird durch einen 4 kW Hydraulikmotor angetrieben und läuft die gesamte Melkdauer von zweimal 8 Stunden pro Tag.



Abbildung 13: Innenmelkkarussell (DeLaval)

Für die Vakuumversorgung der Melkanlage kommt eine Vakuumpumpe von GEA WestfaliaSurge Typ 2800 mit einer Anschlussleistung von 7,2 kW zum Einsatz. Die Vakuumpumpe ist drehzahlgesteuert. Dadurch ist der Verbrauch der Vakuumpumpe an den Bedarf des Melkstandes angepasst. Beim Spülen des Melkstandes nach dem Melken wird die Vakuumpumpe ebenfalls genutzt.



Abbildung 14: Vakuumpumpe  
Westfalia-Surge 2800  
(Eigenes Foto, 03.06.2015)



Abbildung 15: Frequenzsteuerung  
(Eigenes Foto, 03.06.2015)

Die Melkanlage wird nach jedem Melkgang gereinigt. Zunächst wird der Melkstand mit warmem Wasser abgespült und die Melkanlage vorgespült. Dies entfernt die Reste der Milch aus den Leitungen sowie grobe Verunreinigungen.

gungen vom Melkstand. Danach wird mit einem kombinierten Reinigungsmittel und ca. 90 °C warmen Wasser die gesamte Anlage gereinigt. Das heiße Wasser wird mit zwei Zirkulationsautomaten Circumaten mit 15 kW und 24 kW Anschlussleistung erzeugt und mit dem Reinigungsmittel dosiert. Der Reinigungsvorgang dauert ca. eine halbe Stunde pro Melkgang.

Im Melkstand der Agrargenossenschaft sind 38 T8-Leuchtstoffröhren installiert. Jede Lampe ist mit einem Vorschaltgerät ausgestattet. Daraus ergibt sich die Leistung von 80 W pro Lampe. Die Einschaltdauer beträgt die gesamte Melkdauer von zwei mal acht Stunden pro Tag.

### 5.3 Milchkühlung und Lagerung

Die 500 Milchkühe werden zweimal am Tag gemolken, der erste Melkgang beginnt um 03:00 Uhr morgens und endet um 11:00 Uhr vormittags. Der zweite Melkgang beginnt um 16:00 Uhr und endet gegen 24:00 Uhr.



Abbildung 16: Milchtank und Kuhstall (Eigenes Foto, 03.06.2015)

Nach dem Melkvorgang hat die Milch eine Temperatur von 37 °C, die auf 35 °C abgekühlt, bevor sie in die Vorkühlung geleitet wird. Die Vorkühlung der Milch erfolgt derzeit über einen Gegenstromplattenwrmetauscher mit 14 kW Übertragungsleistung. Es werden pro Melkgang ca. 6000 kg Milch produziert. Es wird angenommen, dass pro Stunde 1000 kg Milch gekühlt werden müssen, dies entspricht 16,6 kg/Minute. Die Milch wird stoßweise durch den Wärmetauscher gepumpt. Auf der Sekundärseite des Wärmetauschers wird Brunnenwasser genutzt. Das Brunnenwasser wird mit 15 °C aus 60 m Tiefe gefördert. Durch diese Vorkühlung wird die Milch auf ca. 24 °C gekühlt, bevor sie in den Milchtank geleitet wird. Im Milchtank wird die Milch schnell auf 6 °C gekühlt, da sonst die Keimbelastung zu stark ansteigt. Das

vorhandene Kühlaggregat hat eine Kühlleistung von 15 kW, nur so kann die geforderte Milchttemperatur erreicht und gehalten werden.

#### 5.4 Technik in den Stallungen

In den Ställen werden, wie im Melkstand, T8-Leuchtstoffröhren genutzt. Insgesamt sind auf alle Ställe verteilt 170 Stück installiert. Die Beleuchtungsdauer beträgt sechs Stunden pro Tag. Die längeren und kürzeren Tage gleichen sich aus.

Für die Belüftung im Kuhstall werden Lüfter mit 1,4 kW Anschlussleistung verwendet. Die Lüfter laufen ca. 1500 Stunden im Jahr, in den heißen Sommermonaten Juli und August 12 Stunden am Tag. Für den Kuhkomfort werden keine elektrischen Kuhbürsten angeboten.



Abbildung 17: Lüfter im Hintergrund (Eigenes Foto, 03.06.2015)

Die Agrargenossenschaft Rom/Meckl. eG benutzt einen Spaltenboden, mit einem manuellen Spaltenschieber. Um die Gülle von den Ställen zu dem Sammelsilo zu fördern, wird eine 25 kW Güllepumpe verwendet. Pro Kuh und Jahr fallen ca. 20 m<sup>3</sup> Gülle an, eine Herde von 500 Tieren produziert am Tag ca. 27 m<sup>3</sup> Gülle. Die Pumpe hat eine Förderleistung von ca. 5 m<sup>3</sup> pro Stunde.

Die Agrargenossenschaft Rom/Meckl. eG betreibt drei Ställe, die zum Teil weit auseinander liegen. Alle Ställe müssen mit Wasser für die Tiere versorgt werden. Dadurch entstehen lange Wege. Damit die Wasserleitungen im Winter nicht einfrieren, werden Begleitheizungen genutzt.

### 5.5 Elektrischer Energieverbrauch der Agrargenossenschaft

Die Agrargenossenschaft Rom/Meckl. eG hatte im Jahr 2014 einen elektrischen Jahresbezug von ca. 197700 kWh. Mit Hilfe des im Anhang befindlichen Excel-Tools werden die einzelnen Verbraucher ermittelt. Die Leistungsdaten der Agrargenossenschaft wurden, wie auch die Einschaltdauer, vor Ort aufgenommen und gemessen. Daraus wurde der Energieverbrauch pro Jahr ermittelt. Die Verteilung der Energieverbräuche ist in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** prozentual dargestellt.

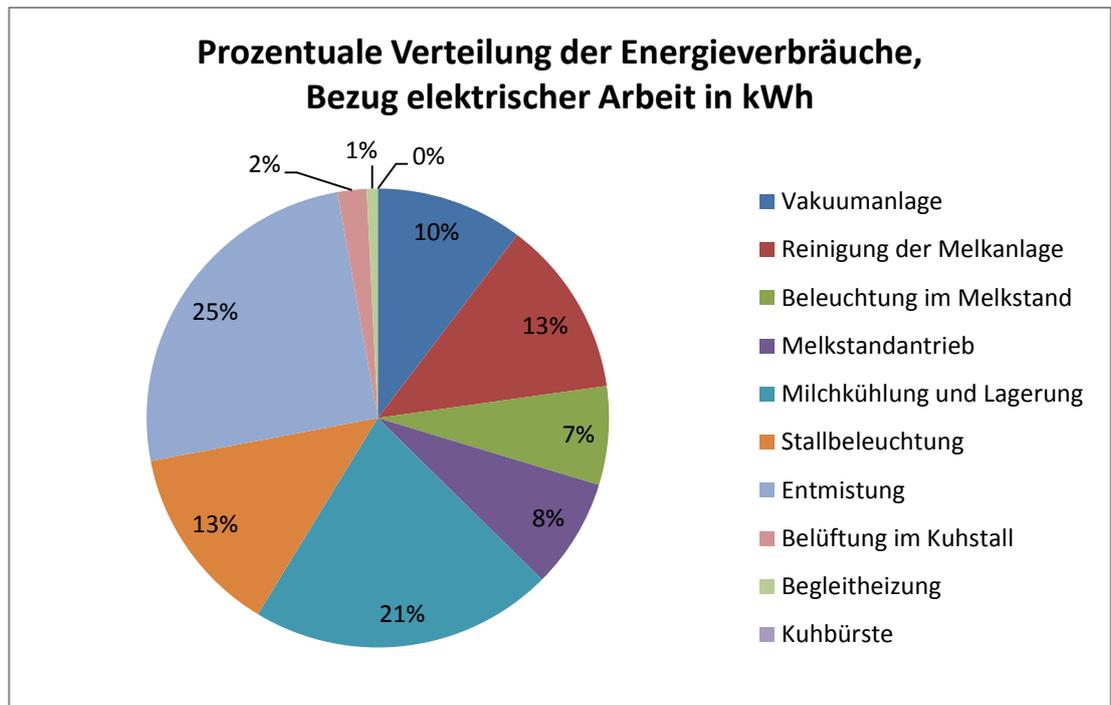


Abbildung 18: Prozentuale Aufteilung der Einzelverbraucher der Agrargenossenschaft Rom/Meckl. eG

Kaum relevant sind Kuhbürste, Begleitheizung und Belüftung im Kuhstall mit entsprechend 0 %, 1 % und 2 %. Der größte Verbraucher ist mit 25 % die Entmistung des Stalls. Der zweite Großverbraucher ist mit 21 % am Gesamtverbrauch die Milchkühlung. 13 % des Gesamtverbrauchs fällt auf die Stallbeleuchtung. Die Reinigung der Melkanlage hat einen Anteil von 12 % und

die Vakuumanlage von 10 %. Jeweils 8 % und 7 % verbrauchen der Melkstandantrieb und die Beleuchtung im Melkstand.

In Abbildung 19 werden die absoluten Werte der Verbräuche abgebildet.

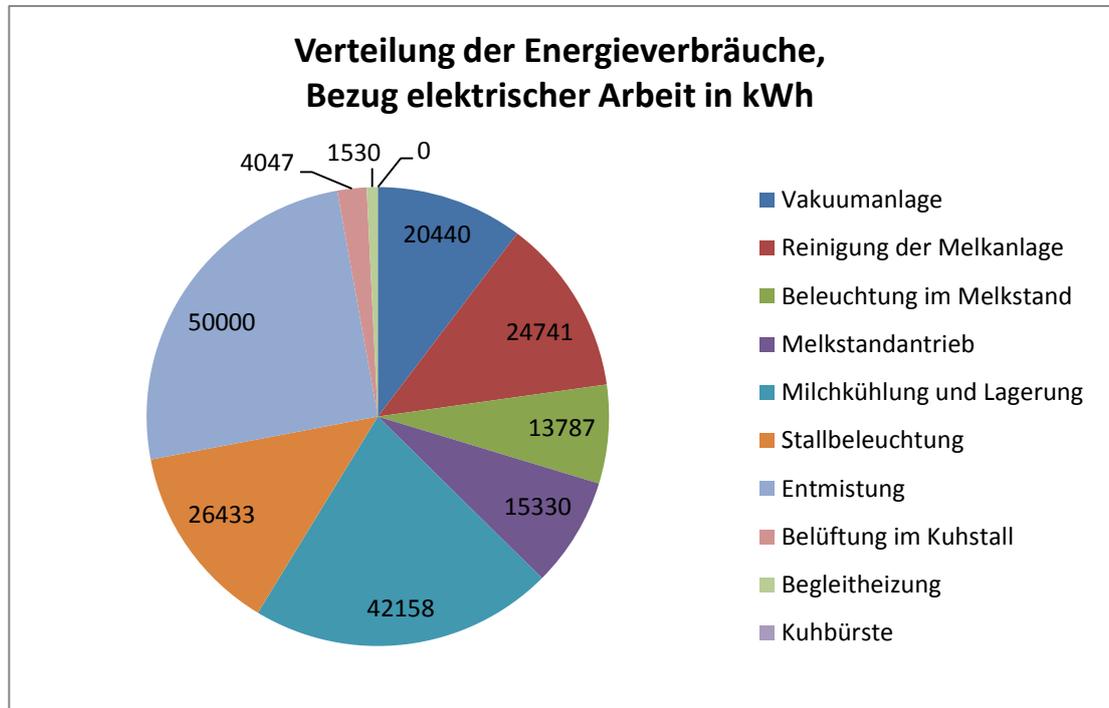


Abbildung 19: Aufteilung der Einzelverbraucher der Agrargenossenschaft Rom/Meckl. eG als absolute Werte

Nach dem gleichen Verfahren wie bei den Modellen 1-4 werden die Kennzahlen für den Agrarbetrieb ermittelt. Damit ist es möglich, den Betrieb einzuordnen, ob er, bezogen auf den Energieverbrauch, schlechter oder besser als die Modelle dasteht.

### 5.6 Vergleich der Modelle mit der Agrargenossenschaft

In Abbildung 20 werden die Modelle und der aktuelle Stand der Agrargenossenschaft gegenübergestellt. Auffällig ist, dass der Verbrauch der Agrargenossenschaft um 100 kWh/(Kuh · Jahr) höher als bei den Modellen Herde 250 bis Herde 1000 ist. Das Modell Herde 100 hat mit 426 kWh/(Kuh · Jahr) den höchsten Verbrauch. Deswegen wird dieses Modell in den weiteren Betrachtungen keine Rolle mehr spielen. Herde 100 und Herde 200 benutzen kein Melkkarussell, deshalb liegt der Verbraucher Melkstandantrieb dort bei 0 kWh/(Kuh · Jahr). Bedingt durch die Art des Melkstandes wird auch mehr Wasser pro Kuh benötigt. Auffällig ist der große Verbrauch der Agrargenossenschaft in der Entmistung sowie in der Milch Kühlung und -Lagerung ge-

genüber den Modellen. Des Weiteren lässt sich ein Unterschied in der Stallbeleuchtung und Beleuchtung im Melkstand feststellen.

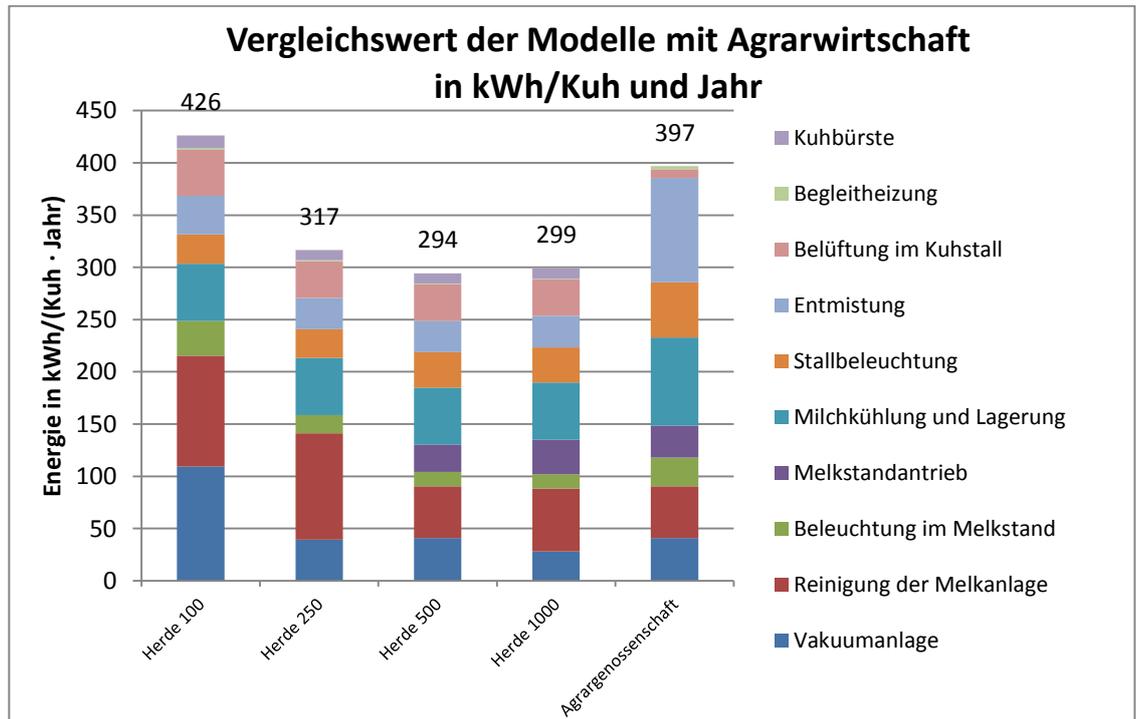


Abbildung 20: Vergleich der Modelle mit dem aktuellen Stand der Agrargenossenschaft Rom/Meckl. eG

Die Herde 500 kann durch den technischen Aufbau am ehesten mit der Agrarwirtschaft verglichen werden. Es wird von der gleichen Anzahl von Kühen ausgegangen und der Melkstand ist sehr ähnlich.

## 6. Konzepte zur Energieeinsparung

### 6.1 Handlungsansätze zur Reduzierung der Energieverbräuche

In diesem Kapitel werden die Handlungsansätze besprochen, die zu einer Reduzierung der Energieverbräuche führen. In Kapitel 5.6 wurden die Modelle mit der Agrargenossenschaft verglichen. Aus diesem Vergleich werden verschiedene Ansätze entwickelt, um den Energieverbrauch und somit die Kosten zu senken.

#### 6.1.1 Milchkühlung

Die erste Empfehlung optimiert die Milchkühlung. Nach derzeitigem Stand der Technik haben Kühlaggregate eine Leistungszahl von bis zu 5. Das bedeutet, dass bei 1 kW eingesetzter elektrischer Leistung 5 kW Kühlleistung erbracht werden. Ein Austausch des Kühlaggregats würde die benötigte Energie pro Kuh und Jahr um bis zu 50 kWh reduzieren. Das Kühlaggregat sollte an einem kühlen Platz mit ausreichender Luftzirkulation aufgestellt werden. Der Kompressor muss so aufgestellt werden, dass die Abwärme nicht den Milchtank erreicht. Entscheidend für die Funktion des Kälteaggregats ist die Einhaltung der Wartungsintervalle. Es sollten regelmäßig Kältemittelstand und Sauberkeit der Ventilatoren des Aggregats geprüft werden.

Die aktuell benötigte Kühlleistung beträgt 84.300 kWh/Jahr. Sie wird durch die Milchmenge und das verwendete Kühlaggregat bestimmt. Das aktuelle Kühlaggregat benötigt ca. 42.000 kWh, ein neues Kühlaggregat verbraucht nur noch zwischen 17.000 und 20.000 kWh. Daraus folgt eine Ersparnis an Energiekosten von bis zu 6.000 € pro Jahr

Der vorhandene Milchtank ist direkt in Südlage aufgestellt. Ein Umbau erscheint aus Kostengründen nicht sinnvoll. Um die Kälteverluste im Sommer zu reduzieren, sollte der Milchtank beschattet werden. Eine einfache Dachkonstruktion kann den nötigen Schatten erzeugen. Beispiele für eine Beschattung des Milchtanks sind auf diversen Milchhöfen zu sehen.

#### 6.1.2 Entmistung

Die aktuelle Pumpe ist für ca. 25 % des Gesamtenergieverbrauchs der Agrargenossenschaft verantwortlich. Für die Güllemenge von 28 m<sup>3</sup> am Tag kann eine moderne Pumpe mit einer geringeren Anschlussleistung eingesetzt werden.

Moderne Güllepumpen haben bei gleicher Fördermenge eine deutlich geringere Anschlussleistung gegenüber der vorhandenen alten Pumpe.

### 6.1.3 Stallbeleuchtung

Für die Stallbeleuchtung ist eine Umrüstung der alten T8-Leuchtstoffröhren auf moderne LED-Strahler wirtschaftlich sinnvoll. Die T8-Leuchtstoffröhren müssen bei sechs Stunden Leuchtdauer am Tag und insgesamt 20000 Betriebsstunden spätestens alle neun Jahre ausgetauscht werden (Osram Licht AG, 2015). Die LED-Strahler haben eine durchschnittliche Lebensdauer von 50000 Betriebsstunden und müssen bei sechs Betriebsstunden am Tag in 23 Jahren ausgetauscht werden. In der Tabelle 1 werden die Kosten der Leuchtmittel pro Jahr gegenübergestellt. Die LED-Leuchtmittel sind in der Anschaffung ungefähr doppelt so teuer wie die Leuchtstoffröhren. Durch die lange Lebensdauer der LED-Lampen und dadurch, dass sich die Energiekosten pro Jahr mehr als halbieren, lohnt sich ein sofortiger Umstieg auf die LED-Strahler.

Tabelle 1: Gegenüberstellung der Jahreskosten von T8-Leuchtstofflampen und LED-Strahlern im Stall

<b>Stallbeleuchtung</b>	<b>T8-Leuchtstofflampen</b>	<b>LED-Strahler</b>
<b>Elektrischer Anschlusswert in W</b>	71	100
<b>Anzahl der Leuchtmittel</b>	170	54
<b>Gesamtleistung in W</b>	12070	5400
<b>Anschaffungskosten in €</b>	40	220 <sup>4</sup>
<b>Anschaffungskosten ges. in €</b>	6800	11880
<b>Durchschnittliche Lebensdauer in Stunden</b>	20000	50000
<b>Betriebsstunden pro Tag</b>	6	6
<b>Betriebsstunden pro Jahr</b>	2190	2190
<b>Austausch nach Jahren</b>	9	23
<b>Kosten pro Jahr</b>	745	520
<b>Energieverbrauch in kWh pro Jahr</b>	26433	11826
<b>Strompreis in €/kWh</b>	0,24	0,24
<b>Energiekosten pro Jahr</b>	6344	2838
<b>Gesamtkosten pro Jahr</b>	7089	3359

<sup>4</sup> Der Preis wurde von [www.stallshop24.de](http://www.stallshop24.de) am 20.11.2015 entnommen.

In Abbildung 21 werden die Energiekosten der Leuchtmittel über zehn Jahre mit einer Energiepreissteigerung von 3 % pro Jahr dargestellt.

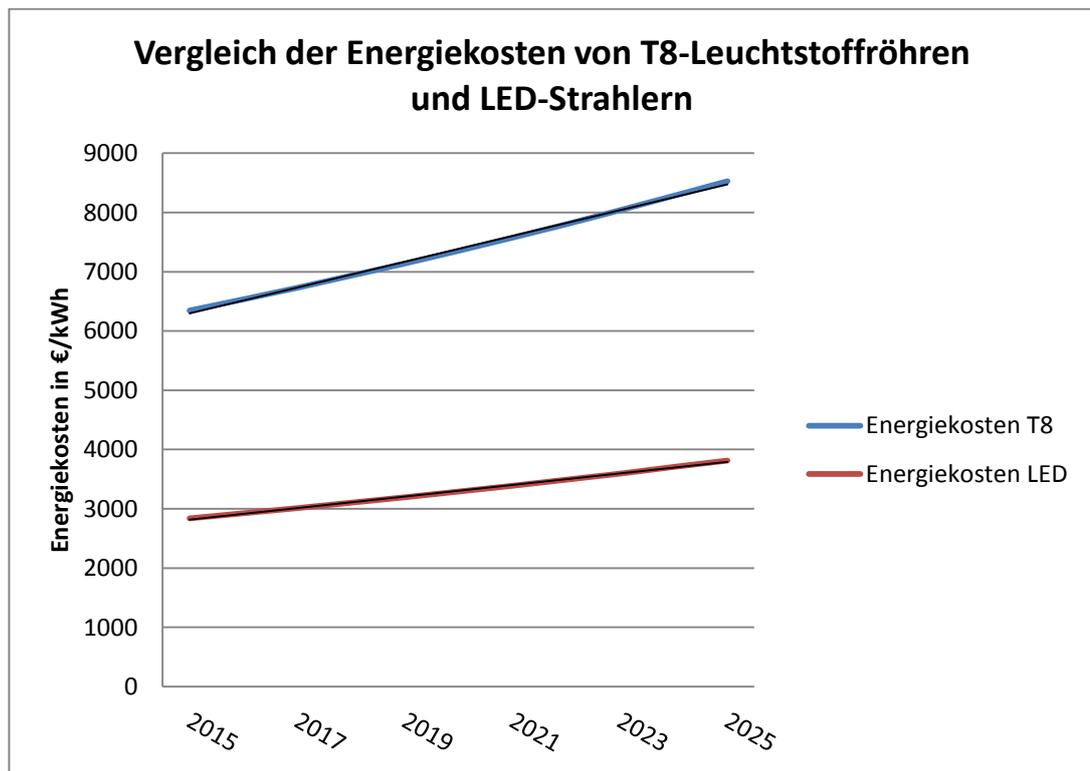


Abbildung 21: Vergleich der Energiekosten von T8-Leuchtstoffröhren und LED-Strahlern bei einer prozentualen Energiekostenpreissteigerung von 3 % pro Jahr

Im Melkstand können 12 LED-Strahler 38 T8-Leuchtstoffröhren ersetzen. Durch die Wahl der Strahler, ist eine Beleuchtungsstärke von 200 Lux gewährleistet.

Tabelle 2: Gegenüberstellung der Jahreskosten von T8-Leuchtstofflampen und LED-Strahlern im Melkstand

Melkstandbeleuchtung	T8-Leuchtstofflampen	LED-Strahler
Elektrischer Anschlusswert in W	71	100
Anzahl der Leuchtmittel	38	12
Gesamtleistung in W	2698	1200
Anschaffungskosten in €	40	220
Anschaffungskosten ges. in €	1520	2640
Durchschnittliche Lebensdauer in Stunden	20000	50000
Betriebsstunden pro Tag	14	14
Betriebsstunden pro Jahr	5110	5110
Austausch nach Jahren	9	23
Kosten pro Jahr	169	115
Energieverbrauch in kWh pro Jahr	13787	6132
Strompreis in €/kWh	0,24	0,24
Energiekosten pro Jahr	3309	1472
Gesamtkosten pro Jahr	3478	1586

### 6.1.4 Reinigung

Für den Reinigungsprozess wird heißes Wasser benötigt. Aktuell wird das Wasser mit einem elektrischen Durchlauferhitzer erwärmt. Sinnvoll ist die Umstellung auf eine Gastherme. Der Gaspreis ist mit sechs Cent/kWh deutlich niedriger als der Strompreis von 20 Cent/kWh. Wenn das benötigte Wasser mit Gas erwärmt wird, werden ca. 25.000 kWh elektrisch im Jahr eingespart.

### 6.1.5 Allgemeine Empfehlungen

Durch eine bessere Belüftung im Kuhstall, gesteuert durch eine Temperaturregelung der Lüfter, lässt sich der Hitzestress der Kühe im Sommer stark reduzieren. Der Einsatz von Lüftern ist kostenintensiv. Je nach Ausführung des Lüfters beträgt der jährliche Energieeinsatz bei 1 kW Anschlussleistung und vier Stunden tägliche Nutzungszeit 1.460 kWh pro Jahr. Durch Hitzestress verringert sich die Milchproduktion, die Keimbelastung steigt und die Kühe sind anfälliger für Krankheiten (Johann Gasteiner, Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft, 2014). Eine ausreichende Belüftung ist daher zu empfehlen. Unter der hypothetischen Annahme, dass jede Kuh bei einer nicht ausreichenden Stallbelüftung pro Tag 1 kg Milch weniger produziert, ergibt dies einen Aufwand bei 0,3 € pro kg Milch von 547,5 €.

Um den Kuhkomfort und damit die Milchproduktion zu erhöhen, empfehlen sich Kuhbürsten. Pro 50 Kühe sollte eine Bürste im Stall vorhanden sein. Der Anschaffungspreis liegt bei ca. 1.000 € pro ein Kuhbürste. Der Energieverbrauch pro Bürste beträgt bei 12 Stunden Laufzeit am Tag 600 kWh pro Jahr. Nach der Studie "Field Study on milk production and mastitis effect of the DeLaval Swinging Cow Brush" (Schukken & Young, 2009) kann sich die Milchproduktion durch eine ausreichende Anzahl an Kuhbürsten im Stall um bis zu 3,5 % erhöhen.

Eine einfache und kostenlose Maßnahme zur Reduktion des Energieverbrauchs ist eine Verringerung der Melkzeiten. Wenn sich die Melkzeit um 1 Stunde am Tag reduzieren lässt, verringert sich der Energieverbrauch pro Kuh um ca. 7 kWh und Jahr. Dies bedeutet bei einer Herdengröße von 500 Tieren eine Ersparnis um 3.500 kWh oder 850 €. Erreicht wird eine Reduzierung der Melkzeit durch eine Veränderung der Melkreifolge. Gesunde Tiere sollten grundsätzlich vor kranken Tieren gemolken werden, junge vor alten. Frischmelkende Tiere

sollten vor altmelkenden gemolken werden. Außerdem sollten die Tiere mit der höchsten Milchproduktion sollten zum Schluss gemolken werden. Die Veränderung der Melkreifolgen kann durch Gruppenbildung im Laufstall erreichen werden.

Da die Energiepreise kontinuierlich steigen, ist eine jährliche Überprüfung der Stromtarife eine kostensparende Maßnahme. Unbedingt zu empfehlen ist die Nutzung von Nebentarifen für Prozesse, die in Nebenzeiten verschoben werden können.

Der Melkstandantrieb und die Vakuumpumpe sollten immer kurz vor dem Melken eingeschaltet und direkt nach dem Melken bzw. dem Reinigen des Milchstands wieder ausgeschaltet werden. Ohne großen Aufwand lässt sich im Melkstand ein Netzschalter für beide Aggregate installieren.

### 6.1.6 Gegenüberstellung Energieverbräuche

In Abbildung 22 wird der derzeitige elektrische Jahresenergieverbrauch der Agrargenossenschaft dem optimierten Energieverbrauch gegenübergestellt. Es ist deutlich zu erkennen, dass eine Umsetzung aller Maßnahmen den Energieverbrauch pro Jahr halbiert. Die auffälligste Reduzierung der Energieverbräuche entsteht durch die Warmwasserzeugung für die Reinigung mit einer Gastherme sowie durch die Umstellung der Beleuchtung auf LED-Lampen und Austausch der alten Güllepumpe durch eine moderne Pumpe.

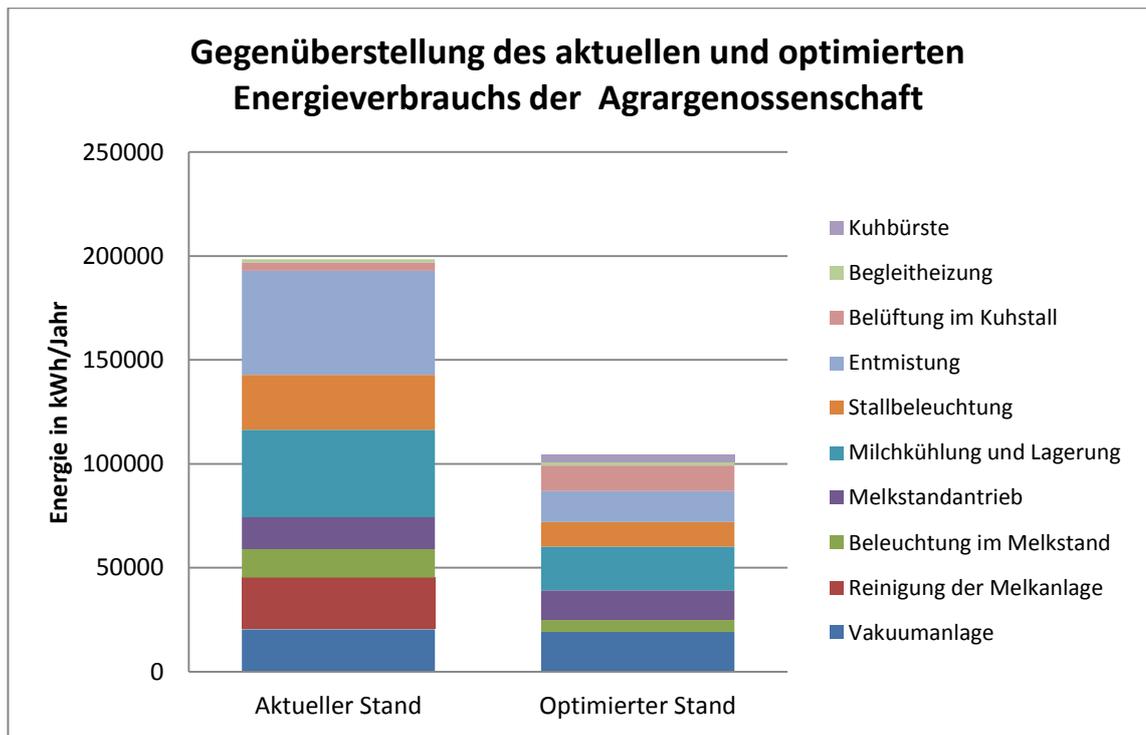


Abbildung 22: Gegenüberstellung des aktuellen und optimierten Standes der Agrargenossenschaft in Bezug auf den Energieverbrauch

In Abbildung 23 wird der reale Lastgang mit der blauen Kurve dargestellt. Die gepunkteten Linien stellen simulierte Verläufe dar. Dabei handelt es bei der roten Kurve um einen realen Verlauf und bei der grünen Kurve um einen optimierten Verlauf. Der Verlauf ist typisch für einen Melkgang. Über das Jahr betrachtet, gleichen sich alle Melkgänge.

Die Grundlast von 10 kW setzt sich aus Kleinstpumpen, Beleuchtung in anderen Gebäudeteilen und der Kühlung zusammen. Der Lastgang teilt sich in verschiedene Zeitabschnitte. Der Melkvorgang beginnt um 03:00 Uhr. Die Verbraucher, der Antrieb Melkkarussell, Antrieb Vakuumpumpe und die Beleuchtung im Melkstand, sind eingeschaltet. Dies stellt den im Lastdiagramm am deutlichen erkennbaren Anstieg dar. Der nächste auffallende Anstieg im Lastdiagramm beginnt um 06:00 Uhr. Das hängt damit zusammen, dass die Milchttemperatur im Lagertank durch die zufließende warme Milch steigt und das Kälteaggregat stärker kühlen muss. Um 12:00 Uhr endet der Melkgang und der Reinigungsvorgang beginnt. Der Anstieg im Lastdiagramm ist durch den hohen Stromverbrauch des Durchlauferhitzers begründet. Der Reinigungsvorgang endet ca. um 12:30 Uhr. Anschließend werden alle am Melkgang beteiligten Aggregate ausgeschaltet, d.h. der Melkvorgang ist beendet.

Die grüne Kurve zeigt deutlich, dass bei Umsetzung aller Vorschläge der Energieverbrauch signifikant sinken könnte.

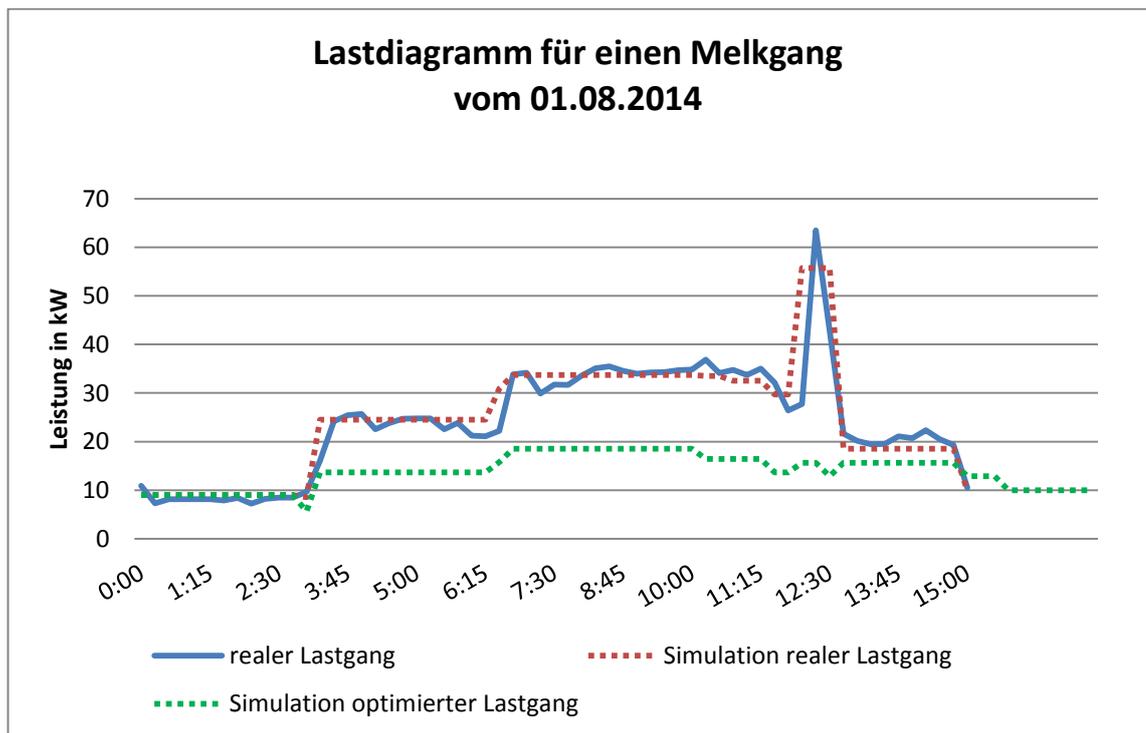


Abbildung 23: Lastgangdiagramm zum Vergleich eines realen und optimierten Lastganges

## 6.2 Photovoltaikanlage zur Eigenstromnutzung

Im landwirtschaftlichen Bereich sind Photovoltaikanlagen weit verbreitet. Durch die Absenkung der Einspeisevergütungen sinkt die Wirtschaftlichkeit bei Neuinstallationen. Wird die erzeugte elektrische Energie für den Eigenverbrauch genutzt, ist eine Photovoltaikanlage durchaus sinnvoll. Die Agrargenossenschaft Rom/Meckl. eG besitzt aktuell keine Photovoltaik (PV)-Anlage, hat jedoch genügend geeignete Dachflächen.

Das vom Energieversorger bereitgestellte Lastdiagramm für das Abrechnungsjahr 2014 dient als Basis für die Planung einer PV-Anlage. Keine der elektrischen Verbraucher verfügen über Energiezähler oder sonstige Messeinrichtungen zur Bestimmung der Energieverbräuche. Es existiert eine tabellarische Auflistung aller Verbraucher mit den Anschlusswerten und geschätzten Laufzeiten. Das Lastdiagramm zeigt die momentane abgenommene Leistung in Abständen von 15 Minuten. Für die Diskussion werden aus dem Jahresverlauf einzelne Zeitabschnitte und Tage aus verschiedenen Monaten ausgewählt. Zunächst wird ein größerer Zeitraum betrachtet, um zu erkennen, ob unregelmäßige Energieverbräuche vorliegen.

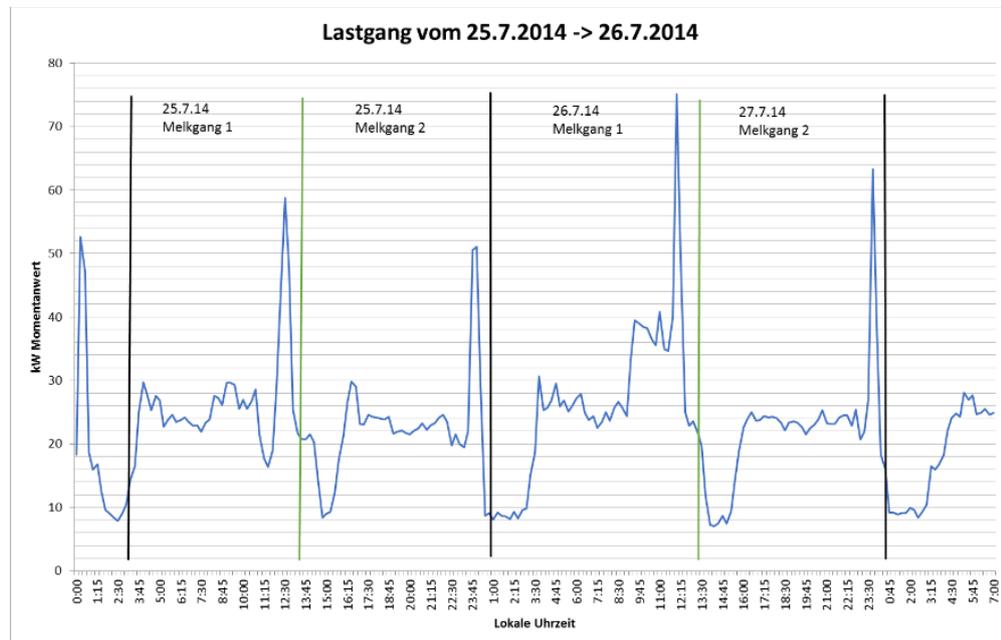


Abbildung 24: Lastdiagramm für vier komplette Arbeitsschichten an zwei Tagen im August

In Abbildung 24 sind die zwei Arbeitsschichten für das Melken dargestellt. Die erste Schicht beginnt um 03:00 Uhr und endet um 13:00 Uhr, die zweite Schicht beginnt um 15:00 Uhr und endet um 24:00 Uhr. Die Lastgänge ähneln sich, obwohl die Außentemperaturen in den Früh- und Spätschichten sehr unterschied-

lich sind. In Abbildung 24 werden die Lastgänge aus zwei Dezembertagen dargestellt.

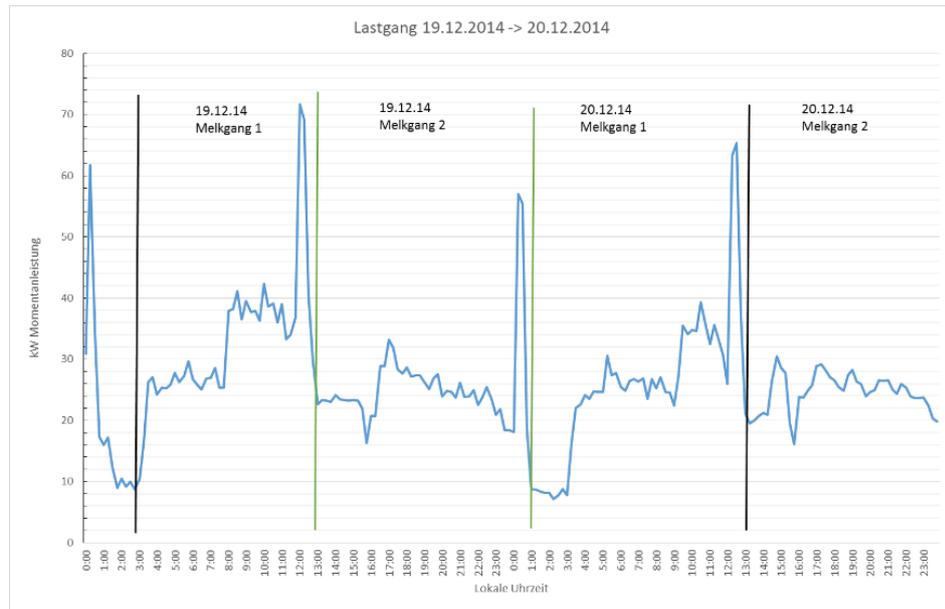


Abbildung 25: Lastdiagramm für vier komplette Arbeitsschichten an zwei Tagen im Dezember

Auch hier sind ähnliche Verläufe erkennbar, es kann deshalb mit einem gleichmäßigen Energieverbrauch über den Jahresverlauf gerechnet werden.

### 6.2.1 Konzept der Photovoltaik-Anlage

Mit einer PV-Anlage kann ein Anteil des Energiebedarfs für die Milchkühlung gedeckt werden. Es besteht der Wunsch, den Tagesdurchschnittswert signifikant zu senken. Die Agrargenossenschaft Rom/Meckl. eG bezieht täglich 542 kWh elektrische Arbeit.

Für die Auslegung einer PV-Anlage werden spezielle Simulationsprogramme angeboten. Diese Programme stehen nicht zur Verfügung, deshalb muss auf „open source“ Programme zurückgegriffen werden. Man erhält von der Sonne an jedem Punkt der Erde eine Globalstrahlung. Die Höhe dieser Strahlung ist abhängig von den Standortkoordinaten der zu planenden Anlage, dem Kalendardatum und dem Winkel der PV-Module zur Sonne. Die Globalstrahlungswerte sind aus verschiedenen Datenbanken kostenfrei zu entnehmen. Für diese Arbeit wurden Daten aus der Datenbank (European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability, Renewable Energies Unit, 2015), die von der „European Commission“ kostenfrei zur Verfügung gestellt wird, entnommen. Die Agrargenossenschaft Rom/Meckl. eG liegt in Mecklenburg Vorpommern nahe der Stadt Parchim und hat die Koordinaten

53°26' nördlicher Breite und 11°56' östlicher Länge. Für diesen Standort ist mit einem Solarertrag von 940 kWh pro kWp (Quaschnig, 2011) zu rechnen. Die Daten stammen aus dem frei zugänglichen Solardatenkataster Norddeutschland und sind aus der Solarkarte entnommen. In der Abbildung 26 ist ein Ausschnitt für die Region Parchim dargestellt.

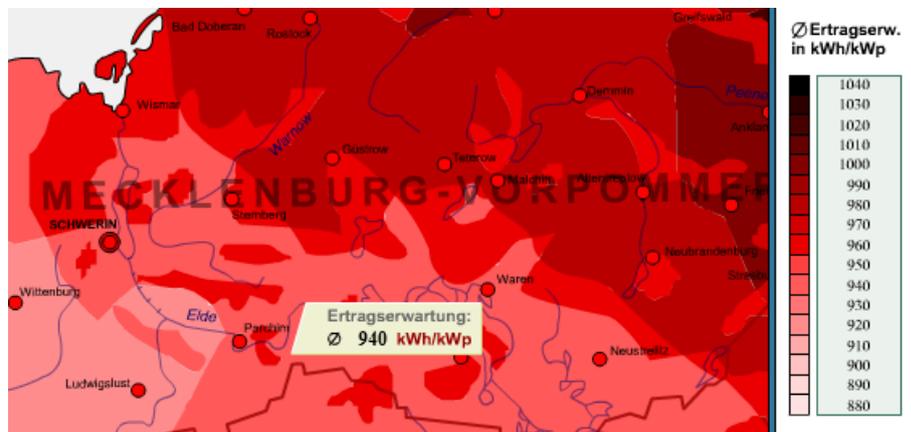


Abbildung 26: Ausschnitt aus der Solarkarte Norddeutschland für den Bereich Parchim (EWS GmbH & Co KG, 2014)

Die Genossenschaft verfügt über diverse Gebäude mit unterschiedlicher Ausrichtung, so sind Dächer nach Süden, Osten und Westen ausgerichtet. Aus den Lastdiagrammen erkennt man, dass eine Ausrichtung der PV-Anlage sowohl nach Süden, als auch nach Westen und Osten sinnvoll sein kann. Wir erreichen damit ein größeres Zeitfenster für den Solarstromertrag. Die Einbußen beim Gesamtertrag sind zu diskutieren, um eine Entscheidung für eine geeignete Variante zu finden. Die Wahl der Fabrikate ist für die Grobplanung der Modulfabrikate und die des Inverters nicht erforderlich und wird erst in der Realisierungsphase durchgeführt. In Tabelle 3 werden alle relevanten Daten für die Auslegung der PV-Anlage zusammengefasst.

## 6. Konzepte zur Energieeinsparung

Tabelle 3: Eingabedaten für die PV-Auslegung

	Variante B			Variante A
Standort PV Anlage	ROM MVP			ROM MVP
Ausrichtung PV Module	süd	west	ost	süd
Summe kWp	20	5	5	30
Anzahl Module	50%	25%	25%	100%
Anzahl Inverter	2			2
Jahresertrag kWh	27.268			28.710

In Abbildung 27 und Abbildung 28 sind die Varianten A und B im Vergleich dargestellt. Es ist deutlich zu erkennen, dass der Nutzungszeitraum der Solarenergie für die Variante B gegenüber der Variante A nur leicht gestiegen ist. Für beide Varianten gilt, dass in den Sommermonaten die Grundlast für 12 Stunden aus Sonnenenergie gewonnen werden kann. Diese Energie kann nun für unterschiedliche wiederkehrende Aufgaben verwendet werden.

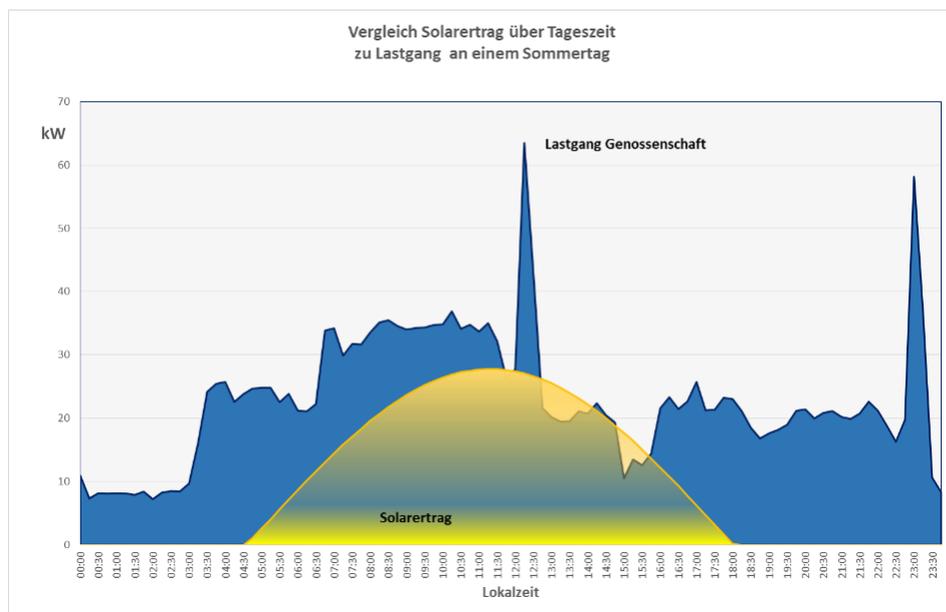


Abbildung 27: Solarertrag Variante A mit der Ausrichtung von PV-Modulen nach Süden, Lastdiagramm am 1.8.2014

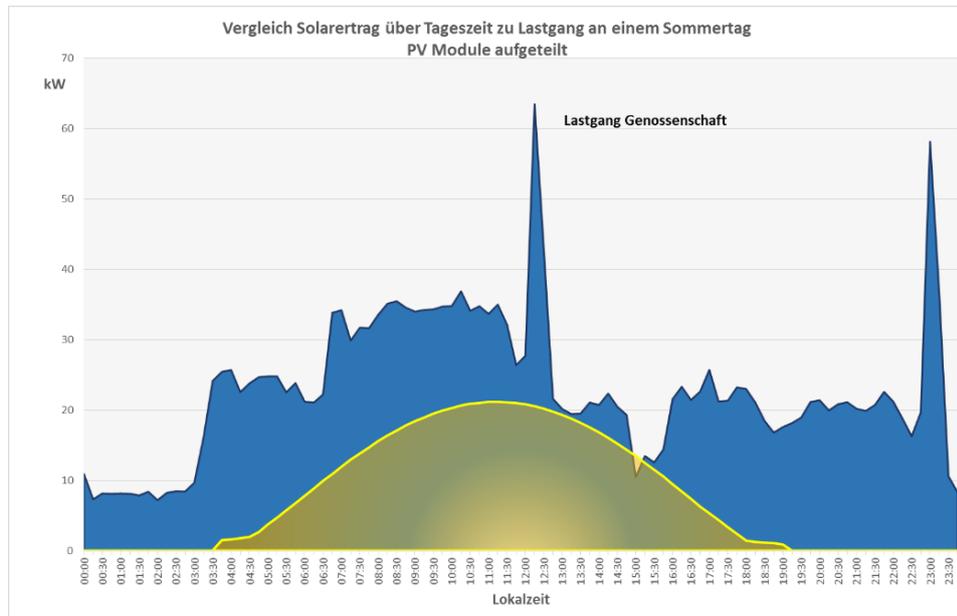


Abbildung 28: Solarertrag Variante B mit der Ausrichtung von PV-Modulen nach Süden, Osten und Westen, Lastdiagramm am 1.8.2014

In Abbildung 28 ist über dem typischen Lastgang der Agrargenossenschaft an einem ausgewählten Tag der PV-Ertrag abgebildet. Im Vergleich mit der Variante A ist deutlich zu erkennen, dass die Summe der Solarerträge bei einer Aufteilung der Module anteilig auf Süd-, Ost- und Westausrichtung geringer ist. Die Gesamtbilanz ist entscheidend, ob nur eine Anlage mit Südausrichtung oder eine Aufteilung der PV-Module auf verschiedene Dächer erfolgen soll. Bei den oben gewählten Eingangsdaten für die PV-Anlage beträgt der Ertragsunterschied im Jahr von Variante A zu Variante B 1.442 kWh. Damit fällt die Entscheidung für die Variante A, um den höheren Ertrag zu erhalten und um die zusätzlichen Kosten für den erhöhten Montageaufwand zu sparen.

### 6.2.2 Speichermedien

In dem betrachteten Milcherzeugerbetrieb betragen die Energiekosten für die Milchkühlung ca. 25 % der Gesamtenergiekosten. Das gewählte Kühlverfahren bestimmt maßgeblich den Energieverbrauch. Wie im Kapitel 2.3 beschrieben gibt es mehrere technische Möglichkeiten der Milchkühlung. Der Solarertrag soll deshalb vorrangig zur Milchkühlung eingesetzt werden. Überschüssige Energie wird gespeichert. Aufladbare Batterien sind hierfür ideal geeignet. Es stehen zwei unterschiedliche Batterietechnologien zur Verfügung. Die kostengünstigere Bleibatterie und die langlebige Lithium-Ionen-Batterie. In diesem Kapitel wird die Speichermöglichkeit mit einer Lithium-Ionen-Batterie betrachtet. Lithi-

um-Ionen-Batterien sind deutlich teurer als Bleibatterien, sie haben aber Vorteile, die den Preisunterschied ausgleichen.

Die Firma Benning ist einer der Marktteilnehmer für diese Technologie. In der Abbildung 29 werden Anschaffungskosten und Betriebskosten beider Systeme gegenüber gestellt. Für eine Bleibatterie 24 V 375 Ah ist eine Investition von 2.500 € erforderlich. Daraus folgt, dass 1 kWh Speicherinhalt 140 € kosten. Eine Li-Ionen-Batterie 24 V 240 Ah kostet 8.000 €, oder auf 1 kWh umgerechnet 1.389 €. Für die Ladetechnik müssen bei der Li-Ionen-Batterie höhere Aufwendungen als bei einer Bleibatterie berücksichtigt werden. In dem Batterietrog der Li-Ionen-Batterie ist die Überwachungselektronik der Batterie eingebaut. Sie kommuniziert mit dem Ladegerät und sorgt für einen sicheren Betrieb. Die Abbildung 29 zeigt den Unterschied bei den Betriebskosten zwischen Blei- und Lithium-Batterien. Die Betriebskosten sind bei einer Li-Ionen-Batterie nur halb so hoch wie bei einer Bleibatterie.

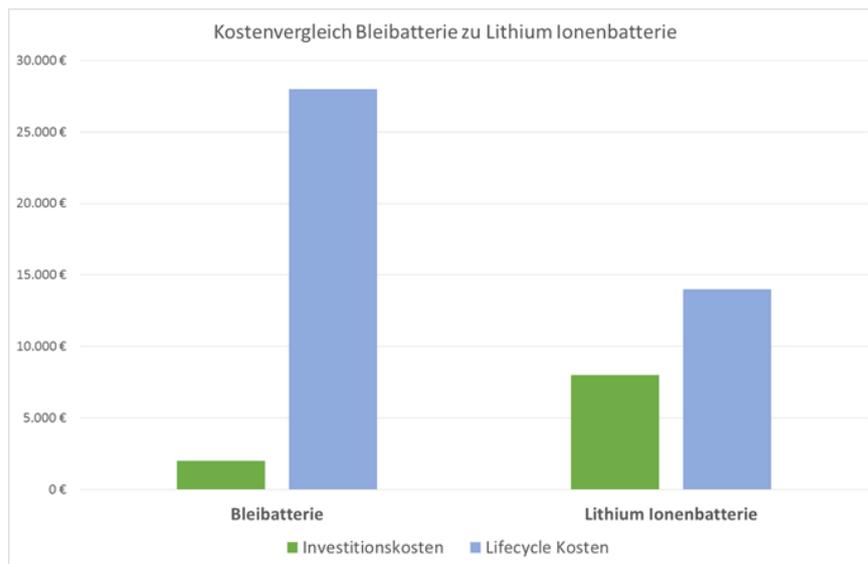


Abbildung 29: Kostenvergleich der Bleibatterie 375 Ah und dem LIONIC® Energiesystem 240 Ah auf Basis eines 2-Schichtbetriebes über einen Zeitraum von 5 Jahren nach Angaben der Fa. Benning

Trotz der höheren Anschaffungskosten für die Li-Batterie sind die Vorteile gegenüber der Bleibatterie signifikant. Heute rechnet man für 1 kWh Speicherkapazität ca. 1.500 € bei einer Li-Batterie. Der Preis schwankt je nach Größe und Ausführung des Batterietrogs. Die Tendenz ist fallend. Andere Marktteilnehmer<sup>5</sup> prognostizieren Preise zwischen 500 € und 700 € für 1 kWh Speicherkapazität

<sup>5</sup> Nach Angaben von BMZ, Spezialist für Traktionsbatterien und Energiespeichersysteme

ab 2018. In Tabelle 4 sind die technischen Vorteile der Li-Batterie gegenüber einer vergleichbaren Bleibatterie zusammengestellt.

Tabelle 4: Vergleich von Eigenschaften der Blei- und Lithium-Ionen-Batterie nach Angaben der Fa. Benning

Eigenschaften	Bleibatterie	Li - Ionenbatterie
Energiedichte	40 Wh/kg	95 - 190 Wh/kg
Ladewirkungsgrad	bis zu 70%	bis zu 95%
Ladecyklen	1200 Zyklen	> 3000 Zyklen
Emissionen	Gasaustritt beim Laden	emissionsfrei
Wartung	erforderlich	nicht erforderlich
Schnellladefähigkeit	Ladung: 50% in ca. 3h 90% in ca. 6-7 h	Ladung: 90% in ca. 1,5 - 2h
Zwischenladungen	negativer Lebensdauereffekt	kein negativer Lebensdauereffekt

In der Abbildung 30 ist das Schema einer Eigenstromversorgung durch eine PV-Anlage mit Li-Batterie dargestellt.

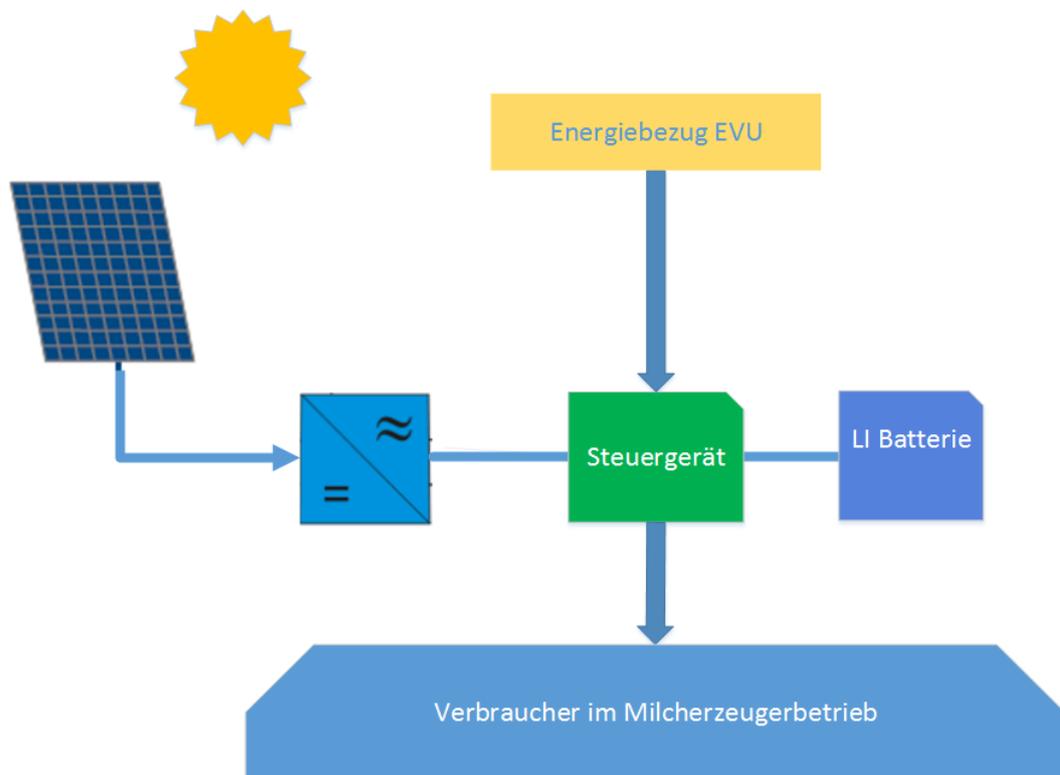


Abbildung 30: Eigenstromversorgungsschema mit Unterstützung durch eine Li-Batterie

Der PV-Generator speist den von der Sonne erzeugten Gleichstrom in den Wechselrichter. Seine Aufgabe ist es, diesen Gleichstrom in einen Wechselstrom umzuformen und dem Zentralsteuergerät zur Verfügung zu stellen. Das Zentralsteuergerät hat die Aufgabe, den Solarstrom allen angeschlossenen

Verbrauchern oder der Batterie zu übergeben. In den Fällen, wo der Solarstrom für die Energieversorgung nicht ausreicht oder die Li-Batterie entladen ist, stellt das Zentralsteuergerät die Verbindung zum Energienetz des Energieversorgungsunternehmens (EVU) her. Der PV-Speicher sollte möglichst so ausgelegt werden, dass ein hoher Autarkiegrad erreicht wird. Für kleinere Anlagen werden inzwischen Komplettsysteme angeboten, hier sind die PV-Modulleistung, der Wechselrichter und der PV-Speicher auf das Lastprofil des Verbrauchers abgestimmt. Aktuell werden für PV-Systeme häufig aus Kostengründen Bleibatterien eingesetzt. Dafür ist der Serviceaufwand für eine Bleibatterie ungleich höher. Die Energieberater des Lehr- und Versuchszentrum Futterkamp erwarten, dass die Preise für die Lithium-Ionen-Batterien auf ein Preisniveau von ca. 700 € pro kWh Speicherkapazität in den nächsten 2 Jahren fallen werden.

### 6.2.3 Anlagenkonzept

Für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wird ein Anlagenkonzept erstellt, mit den aktuell bekannten Preisen und Leistungsdaten. Für die PV-Anlage werden kristalline Module mit einer Leistung von 290 W gewählt. Diese Module sind von diversen Anbietern erhältlich. Für das Konzept der Variante A benötigen wir 100 Module. Bei dem Modul handelt es sich um den Typ „ALEO S19 290 W“. Diese Module werden als Paket mit einer Peakleistung von 29 kW angeboten. Für den Wechselrichter wird das Fabrikat SMA gewählt. Diese Wechselrichter erreichen einen hohen Wirkungsgrad, haben alle notwendigen Schnittstellen für die Datenauswertung und Weiterleitung, kommen ohne aktive Kühlung aus und sind besonders wartungsarm. In der folgenden Tabelle werden die Komponenten mit ihren Leistungsdaten und ihren Marktpreisen aufgeführt. Alle Marktpreise sind durch eine Internetrecherche ermittelt worden. In der Tabelle 5 sind die Eckdaten für die PV-Anlage zusammengestellt. Verschiedene Anbieter für Solaranlagen können heute preisgünstige Komplettsysteme verkaufen. In diesen Systemen sind je nach gewünschter Peakleistung alle PV-Module, die erforderlichen Umrichter und das notwendige Installationsmaterial für die Dachmontage enthalten. Es müssen die Aufwendungen für die Montagearbeiten auf der Baustelle und die Zähleranschlusskosten des EVU hinzugerechnet werden. Bei einem Besuch des Lehr- und Versuchszentrums Futterkamp konnte die Leistungsfähigkeit verschiedener Solardächer mit verschiedenen Modulfabrikaten bei gleichen Bedingungen, gleicher Leistung und gleichen Wechselrichtern besich-

tigt werden. Die Daten werden seit der Inbetriebnahme regelmäßig veröffentlicht. Im Vergleich der Solardächer Futterkamp hat das Modul des Herstellers ALEO sehr gute Werte erreicht. Für die Anlage der Agrargenossenschaft Rom/Meckl. eG sind deshalb die Module des Fabrikats ALEO ideal geeignet.

Tabelle 5: PV-Komponente, Preise laut der Firma Sonnenblume GmbH | Dorfstraße 13A | 23923 Petersberg bei Lübeck

Komponente	Hersteller	Typ	Stückzahl	kWp	Einzelpreis
<b>Komplettsystem</b>	ALEO	S19 290 W	100	29.0	32.305,00
<b>Wechselrichter *1)</b>	SMA	Tripower 15.000 TL	2		
<b>Verkabelung, Anschlüsse</b>	Installateur	Pauschale	1		5.000
<b>EVU</b>		Pauschale	1		1.500
<b>Summe</b>					38.805,00
<b>*1) im Komplettpreis enthalten</b>					

Für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wird das Thema Milchkühlung in den Vordergrund gestellt. Es soll ein möglichst großer Anteil der Energiekosten für die Milchkühlung aus dem Solarertrag gedeckt werden. Solarenergie, die nicht direkt eingesetzt werden kann, wird in einem Eiswasserspeicher gespeichert.

#### 6.2.4 Wirtschaftlichkeitsberechnung

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung erfolgt nach der Methode für den internen Zinsfuß. Für die Wirtschaftlichkeitsberechnung werden folgende Daten genutzt: Der spezifische Solarertrag im Bereich der Genossenschaft beträgt 940 kWh/a, daraus ergibt sich bei einer 29 kWp Anlage ein Solarertrag von 27.124 kWh im Jahr. Für die Ertragsminderung wird ein Wert von 0,5 % pro Jahr angenommen. Für die Ersparnis durch Nutzung des Eigenstromes gelten der aktuelle Bezugspreis für Netzstrom von 0,24 €/kWh bei einer angenommenen Preissteigerung von 2,5 % pro Jahr. Die Daten sind in Spalte Einsparung zu sehen. Auch bei Eigenstromnutzung ist für den selbst genutzten Strom eine EEG-Zulage von 0,025 €/kWh zu zahlen. Dies entspricht 40 % der aktuellen EEG-Umlage. Die Werte sind in Spalte EEG-Zulage abgebildet. Die laufenden Kosten sind mit 100 €/Jahr angesetzt, auch diese Kosten erhöhen sich jährlich um 2 %. Für die Finanzierung wird ein Kredit von 25.000 € angenommen, diese Summe ist nicht fixiert und kann im Rechenschema jederzeit verändert werden. Aktuell werden

## 6. Konzepte zur Energieeinsparung

für Kredite dieser Höhe 3,2 % Zinsen verlangt<sup>6</sup>. Der Kredit soll über 20 Jahre getilgt werden, die Tilgung soll 5 % der Kreditsumme pro Jahr betragen. Die Tabelle 6 zeigt alle Rechenwerte und die Abbildung 31 zeigt in einem Diagramm die jährlichen Erträge.

Tabelle 6: Ergebnisrechnungen für eine PV-Anlage mit einem Investitionsvolumen von 38.805 € ohne Batterieeinsatz (Umweltinstitut München e.V., 2015)

Jahr	kWh/a	EEG-		Ifd.		Tilgung	Rest-	Jahres-	AfA	Restwert	Ergebnis
		Einsparung	Umlage	Kosten	Zinsen						
							25.000			38.900	
2016	27.275	6.480	-596	-584	-875	0	25.000	-12.686	-1.945	36.955	2.481
2017	27.412	6.709	-684	-595	-875	0	25.000	4.554	-1.945	35.010	2.609
2018	27.275	6.875	-681	-607	-875	-3.125	21.875	1.587	-1.945	33.065	2.767
2019	27.139	7.046	-677	-619	-766	-3.125	18.750	1.859	-1.945	31.120	3.039
2020	27.003	7.221	-674	-632	-656	-3.125	15.625	2.134	-1.945	29.175	3.314
2021	26.868	7.401	-671	-644	-547	-3.125	12.500	2.414	-1.945	27.230	3.594
2022	26.734	7.585	-667	-657	-438	-3.125	9.375	2.698	-1.945	25.285	3.878
2023	26.600	7.773	-664	-670	-328	-3.125	6.250	2.986	-1.945	23.340	4.166
2024	26.467	7.966	-661	-684	-219	-3.125	3.125	3.278	-1.945	21.395	4.458
2025	26.335	8.164	-657	-697	-109	-3.125	0	3.575	-1.945	19.450	4.755
2026	26.203	8.367	-654	-711	0	0	0	7.002	-1.945	17.505	5.057
2027	26.072	8.575	-651	-726	0	0	0	7.199	-1.945	15.560	5.254
2028	25.942	8.788	-648	-740	0	0	0	7.401	-1.945	13.615	5.456
2029	25.812	9.006	-644	-755	0	0	0	7.607	-1.945	11.670	5.662
2030	25.683	9.230	-641	-770	0	0	0	7.819	-1.945	9.725	5.874
2031	25.555	9.460	-638	-785	0	0	0	8.036	-1.945	7.780	6.091
2032	25.427	9.695	-635	-801	0	0	0	8.259	-1.945	5.835	6.314
2033	25.300	9.936	-631	-817	0	0	0	8.487	-1.945	3.890	6.542
2034	25.173	10.182	-628	-833	0	0	0	8.721	-1.945	1.945	6.776
2035	25.047	10.436	-625	-850	0	0	0	8.960	-1.945	0	7.015
2036	24.922	10.695	-622	-867	0	0	0	9.206	0	0	9.206
	<b>550.243</b>	<b>177.589</b>	<b>-13.649</b>	<b>-15.045</b>				<b>101.096</b>	<b>-38.900</b>		<b>104.308</b>

Der interne Zinsfuß beträgt 26,1 %, somit ist diese Investition wirtschaftlich und sollte realisiert werden. Die Berechnung des internen Zinsfußes ist mit dem Tool Wirtschaftlichkeit von Solaranlagen des Umweltinstituts München e.V. erfolgt (Umweltinstitut München e.V., 2015).

<sup>6</sup> Dieser Wert stammt aus dem Wirtschaftsteil der Tagespresse.

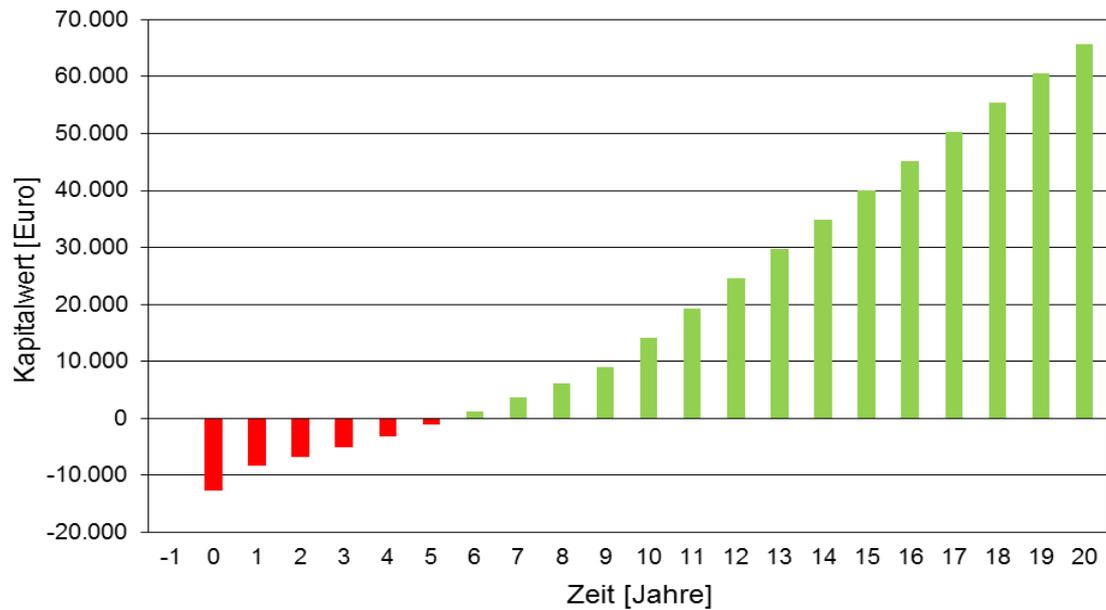


Abbildung 31: Ertragsergebnis einer PV-Anlage

### 6.3 Konzept einer PV-Anlage in Kombination mit einem Eiswassertank

Dieses Konzept ist als eine Alternative zur bestehenden Milchkühlung der Agrargenossenschaft gedacht. Die Speicherung und bedarfsbezogene Nutzung der PV-Anlage ist aufgrund der zu teuren und damit nicht wirtschaftlichen Batteriespeicher nicht möglich. Dafür soll ein Eiswassertank als Speicher für den Solarstrom genutzt werden. Erzeugt die PV-Anlage viel Energie, wird der Eiswasserspeicher gefüllt. Nachts, wenn der Nebentarif gilt, wird mit preiswertem Strom Eiswasser erzeugt. Das Kälteaggregat wird über das Steuergerät entweder von der PV-Anlage oder aus dem EVU-Netz gespeist. Eine Pufferbatterie mit einer kleinen Speicherkapazität überbrückt Umschaltzeiten und geringe Schwankungen der Verbraucherspannung.

Nach dem Melken wird die Milch in einem Vorkühler durch Brunnenwasser gekühlt und gelangt von dort in den Milchtank. Das Eiswasser aus dem Eiswassertank wird durch einen Wärmetauscher im Lagertank gepumpt und kühlt die Milch. Das Kälteaggregat erzeugt über einen zweiten Wärmetauscher im Eiswassertank das Eiswasser.

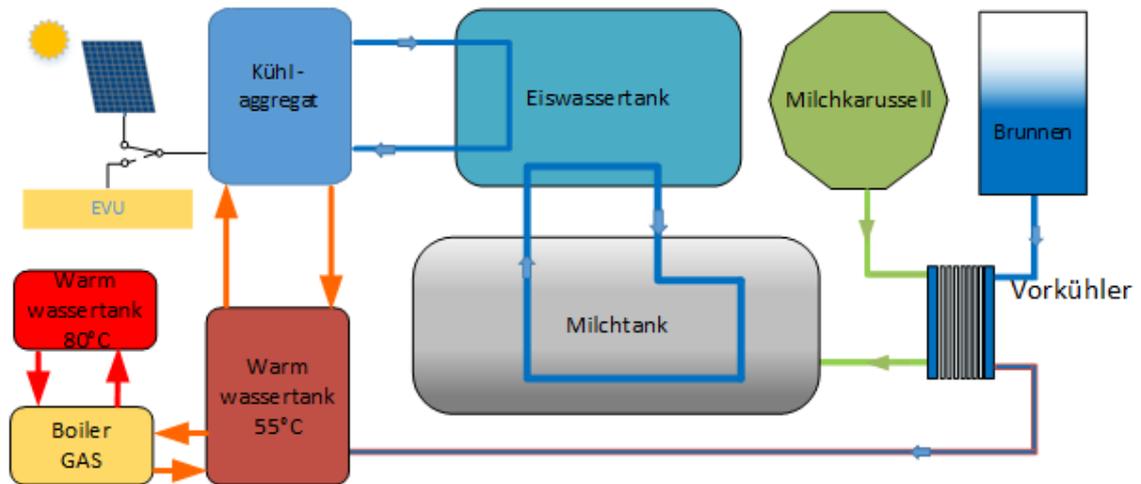


Abbildung 32: Konzept der Eiswasserkühlung

Durch den Vorkühler wird die Milch auf 24 °C gekühlt. Es handelt sich um einen Gegenstromkühler. Die Milchmenge eines Melkgangs von 6.000 kg Milch muss von 24 °C auf 6 °C gekühlt werden, dafür werden 116 kWh benötigt.

$$\frac{3,85 \frac{\text{KJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 6000 \text{ kg} \cdot (24 - 6) \text{ K}}{3600 \text{ sek}} = 115,5 \text{ kWh}$$

Der Eiswasserspeicher sollte für die gesamte Tagesproduktion ausgelegt werden. Damit ist sichergestellt, dass bei einem Ausfall des Milchtransports die Milch gelagert werden kann. Eine Tagesproduktion von Milch erfordert eine Kühlarbeit von 240 kWh. Im Winter liefert die PV-Anlage nicht genügend Energie, deshalb wird zusätzliche Energie aus dem EVU-Netz für das Kälteaggregat mit billigerem Nebentarifstrom genutzt. Durch den Speicher kann die Energie bedarfsgerecht abgerufen werden. Die elektrischen Lastspitzen werden reduziert und damit sinkt der Leistungspreis für die Agrargenossenschaft. Bei einem Strom- oder Maschinenausfall sichert der Eiswasserspeicher die Kälteversorgung für die Milchkühlung. Die Eiswasserkühlung ermöglicht die Erweiterung der Kälteversorgungsleistungen ohne Erweiterung der Kälteerzeugungsanlagen.

Das Eiswasser kann über einen längeren Zeitraum „hergestellt“ werden, der Spitzenwert sinkt bei gleichem Arbeitsinhalt. Die Investitionskosten für einen Eiswasserspeicher mit einem Speicherinhalt von 240 kWh betragen je nach Eigenleistungsanteil bis zu 7.500 €.

## 6.4 Biogasanlage

Besteht der Wunsch, Energie zukünftig unabhängig von steigenden Energiepreisen selbst zu erzeugen und damit einen größtmöglichen Autarkiegrad zu erreichen, ist eine Biogasanlage hierfür sehr gut geeignet. Biogasanlagen werden für die Erzeugung von Wärme, elektrischer Energie oder zur Gewinnung von Biogas für die Netzeinspeisung ins Gasnetz eingesetzt. Anlagen im landwirtschaftlichen Bereich dienen hauptsächlich zur Wärmeerzeugung und Erzeugung elektrischer Energie. Diese Anlagen profitieren von der Einspeisevergütung, geregelt durch das Erneuerbare Energie Gesetz. Die wichtigste Methode der Energieerzeugung für diese Anlagen ist die Kraft-Wärme-Kopplung. Bei der Kraft-Wärme-Kopplung wird das erzeugte Biogas in einem Verbrennungsmotor in mechanische Energie und Wärmeenergie umgewandelt. Die Wärmeenergie kann zur Warmwasserbereitung, Gebäudeheizung oder als Prozesswärme genutzt werden. Mit der mechanischen Energie wird ein Generator betrieben, der entweder für die Netzeinspeisung, einen Inselbetrieb oder eine Kombination aus beiden eingesetzt wird. In landwirtschaftlichen Betrieben finden wir Anlagen mit einer elektrischen Leistung von 50 kW bis hin zu 500 kW. Die thermische Energie ist dann um den Faktor 3 – 4 höher. Die Herausforderung für die Planung einer Biogasanlage besteht darin, einen möglichst hohen Wirkungsgrad zu erreichen, immer unter Berücksichtigung der thermischen und elektrischen Energieerzeugung.

### 6.4.1 Prinzip einer Biogasanlage

Werden organische Stoffe in einer feuchten Atmosphäre unter Luftabschluss in einem Behälter gelagert, entsteht ein Gärprozess. Dieser Behälter wird als Fermenter bezeichnet. Bei diesem Gärprozess werden die organischen Stoffe zersetzt und es entsteht ein Gemisch aus verschiedenen Gasen. In der technischen Anwendung finden wir im Bereich der landwirtschaftlichen Nutzung ausschließlich die flüssige Fermentation. Der Prozess der Biogaserzeugung gliedert sich in vier Phasen. Wir sprechen von der Hydrolyse, Versäuerung, Essigsäurebildung und Methanbildung.

An diesen 4 Prozessen sind unterschiedliche Mikroorganismen beteiligt. Das entstandene Gasgemisch enthält bis zu 75 % verwertbares Methan. In der ersten Stufe, der Hydrolyse, werden alle komplexen organischen Verbindungen in einfachere Verbindungen aufgespalten. Die Spaltprodukte werden in der Ver-

säuerung zu niederen Fettsäuren abgebaut. Bei diesem Prozessschritt entstehen Alkohole, Kohlendioxid und Wasserstoff. Im dritten Prozessschritt werden die organischen Säuren zu Alkohole, Essigsäure, Wasser und Kohlendioxid abgebaut. Im letzten Prozessschritt werden alle entstandenen Produkte zu Methan Kohlendioxid, Schwefelwasserstoff und Wasser umgewandelt. Damit diese Prozesse stattfinden können, muss im Fermenter ein geeignetes Temperaturniveau von 25 °C bis 40 °C bestehen. Die an der Biogaserzeugung beteiligten Bakterienstämme verlangen für ein gezieltes Wachstum bestimmte Bedingungen im Fermenter, dazu gehören die Temperatur, Sauerstoffausschluss und eine gleichmäßige Durchmischung des Substrats.

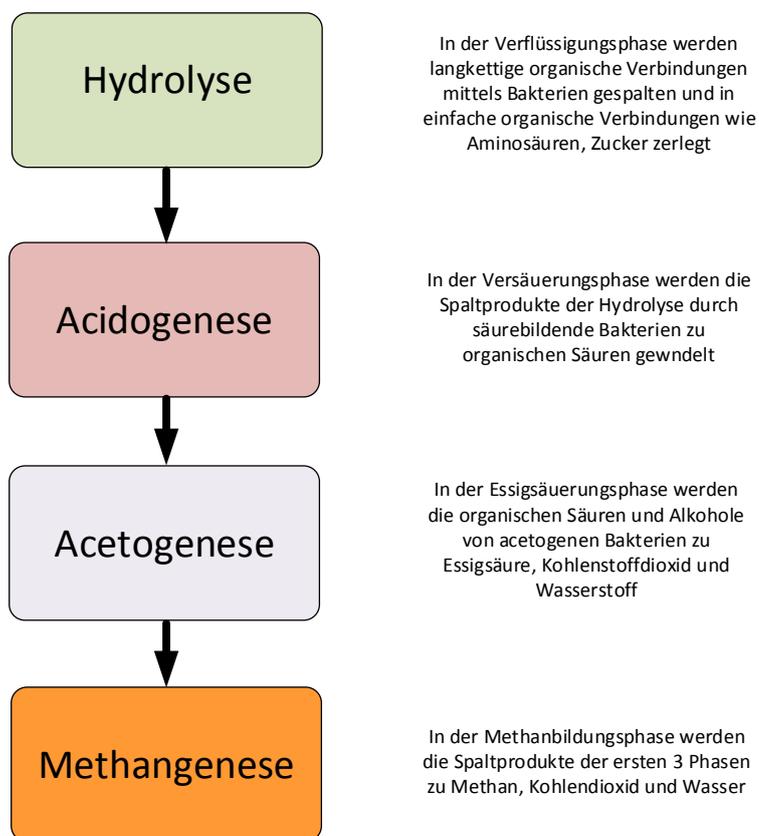


Abbildung 33: Phasen der Methanbildung

Das Methangas muss vor der Nutzung im Blockheizkraftwerk gereinigt werden. Bei diesem Reinigungsprozess wird Schwefelwasserstoff durch Oxidation in elementarem Schwefel gewandelt und entfernt. Schwefelwasserstoff ist für den Menschen gesundheitsgefährdend und gilt als Schadgas. Ein erhöhter Schwefelanteil im Gasmotor führt zu unerwünschten Korrosionsschäden und reduziert die Lebensdauer des Motors. Heutige Biogasanlagen werden mit Mischsubstraten betrieben, um eine hohe Methanausbeute zu erreichen. Nach einer Betreiberumfrage aus dem Jahr 2011/2012 ist der Anteil von nachwachsenden Roh-

stoffen, Exkrementen, Bioabfall und Reststoffen in Biogasanlagen wie folgt verteilt.

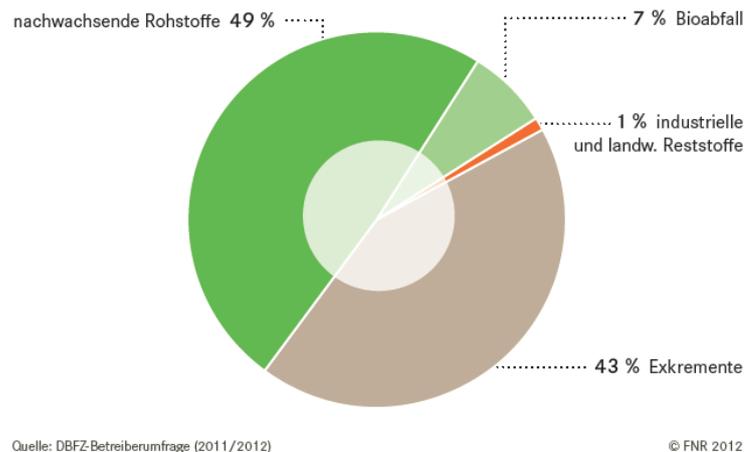


Abbildung 34: Verteilung der verwendeten Gärsubstrate in Biogasanlagen (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe,e.V., 2012)

Für das Konzept der Beispielanlage wird der Einsatz der eigenen Gülle von mindestens 80 % vorgesehen. Dadurch reduziert sich der hohe Gülleanteil von 500 Milchkühen, der auf Feldern verbracht werden muss. Stattdessen werden die Reste der Vergärung zurück auf die Ackerflächen verbracht und dienen als Dünger für nachwachsende Rohstoffe. Damit ist der Kreislauf von der Erzeugung der Rohstoffe, der Vergärung zu Biogas und der Düngung der Felder geschlossen. Die Gärreste gelten als wertvoller Dünger. Dieser Dünger ist im Gegensatz zur Gülle nicht mehr flüssig und kann weniger aufwendig gelagert werden. Die Geruchsbelastung ist gegenüber Gülle deutlich geringer. Bei der Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen für die Biogaserzeugung werden Nutzpflanzen wie Mais eingesetzt. Die Bundesregierung hat deshalb ein Programm zur Förderung von Biogasanlagen mit einem hohen Anteil von Gülle aufgelegt. Bei einem Gülleanteil von mehr als 80 % beträgt die Einspeisevergütung 0,237 € pro kWh. Damit soll erreicht werden, dass wertvolle Rohstoffe für die Nahrungsproduktion genutzt werden und dass die Ausbringung der Gülle auf Feldern und Wiesen reduziert wird. Geregelt wird dies im EEG von 2014 §46, Vergärung von Gülle. Voraussetzung für die Förderung ist die Nutzung der elektrischen Energie am Standort bei einer Anlagengröße von maximal 75 kW. Die Abbildung 35 zeigt eine schematische Darstellung einer Biogasanlage. Aus dem Gülletank wird kontinuierlich Gülle in den Fermenter gepumpt, hinzugeführt werden Bioabfälle und nachwachsende Rohstoffe. Für die Praxis hat sich herausgestellt, dass die Ausbeute an Methan sich steigern lässt, wenn der Gärrest,

bevor er in den Substrattank gelangt, in einer Nachgärstufe weiter ausgebeutet wird. Das entstandene Biogas wird dem Gasmotor zugeführt, der einen Generator antreibt. Die Abwärme des Motors, Kühlwasserwärme und Abgaswärme, werden für die Warmwasserversorgung, Heizung und Prozesswärme der Fermenter genutzt.

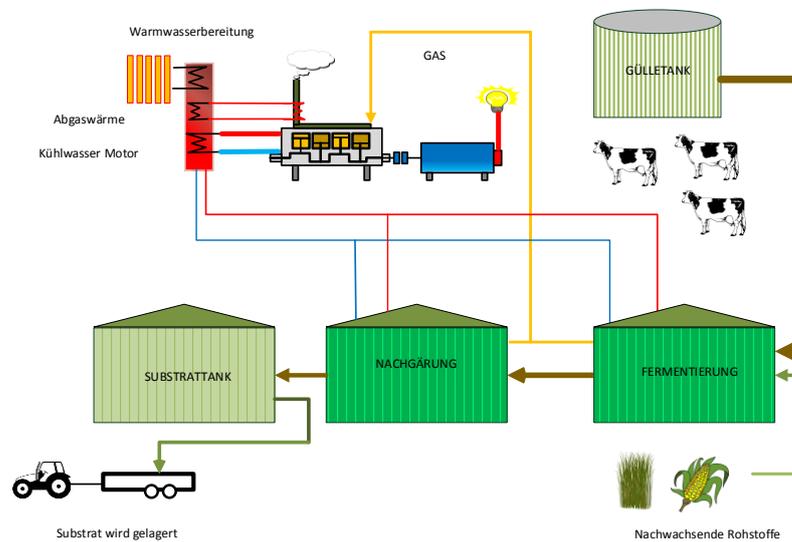


Abbildung 35: Schema einer Biogasanlage für Gülle

### 6.4.1.1 Auslegung einer Biogasanlage für einen Milchviehbetrieb

Am Beispiel der Agrargenossenschaft Rom/Meckl. eG werden für die Auslegung einer Biogasanlage die bekannten Parameter eingesetzt. Für diesen Betrieb soll eine Biogasanlage mit einem Gülleanteil von mehr als 80 % betrachtet werden. Der Betrieb verfügt über 500 Milchkühe. Die Jahresmenge der anfallenden Gülle für 500 Kühe und der gewählte nachwachsende Rohstoff bestimmen den jährlichen Methangasertrag und die damit erzeugte Energiemenge. Als nachwachsender Rohstoff werden Grünabfälle eingesetzt. Eine genaue Bestimmung der Basiswerte für den gewählten Betrieb ist ohne größeren Aufwand nicht möglich, es muss deshalb mit Durchschnittswerten aus untersuchten Betrieben verschiedener Größe gearbeitet werden. Landwirtschaftskammern, freie Institute und Hochschulen stellen hierfür kostenfrei bei Nennung der Quelle Daten zur Verfügung. Für die Berechnung gelten folgende, in Tabelle 7 geschilderte Durchschnittswerte.

Tabelle 7: Benötigte Energiemenge der Biogasanlage (Eder & Schulz, 2007),  
(Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe,e.V., 2013)

Kennwert	Einheit	Zahlenwerte
<b>Rindergülle pro Milchkuh</b>	L/a	20.000
<b>Dichte der Rindergülle</b>	kg/a	1,02
<b>Masse der Rindergülle pro Kuh</b>	kg	20.400
<b>davon 8 % Anteil Trockensubstanz</b>	kg	1.632
<b>davon 80 % Anteil organische Trockensubstanz</b>	kg	1.305,6
<b>Anteil Biogas in der org. Trockensubstanz</b>	L/kg	370
<b>Methangehalt im Biogas 55 %</b>	L	203,5
<b>Volumen Methan pro Milchkuh</b>	L	265.689,6
<b>Anzahl Milchkühe</b>		500
<b>Methan von 500 Milchkühe</b>	L	132.844.800
<b>Heizwert pro m<sup>3</sup> Methan</b>	kWh/m <sup>3</sup>	10
<b>Gesamtenergieinhalt Methan</b>	kWh <sub>th</sub>	1.328.448
<b>Elektrische Energie bei 35 % Wirkungsgrad Gasmotor BHKW durch Gülleeinsatz</b>	kWh <sub>el</sub>	464.956,8
<b>Geforderte Generatorleistung</b>	kW	75
<b>Energie bei 90 % Einschaltdauer, 365 Tagen, 24 h/Tag mit Generatorleistung 75 kW</b>	kWh <sub>el</sub>	591.300
<b>Differenz zwischen durch Gülle erbrachte und benötigte Energie</b>	kWh <sub>el</sub>	126.343,2

Jährliche Methanproduktion pro Milchkuh:

$$20.000 \frac{\text{L}}{\text{a}} \cdot 1,02 \frac{\text{kg}}{\text{a}} \cdot 0,08 \cdot 0,8 \cdot 370 \frac{\text{L}}{\text{kg}} \cdot 0,55 = 265.689,6 \frac{\text{L}}{\text{a}}$$

Die Wahl des Substrats bestimmt wesentlich die Technologie der Anlage. Durch den sehr hohen Gülleanteil erreicht man einen stabilen Prozess, der es ermöglicht, einen kleineren Gasspeicher einzusetzen. Aus 20 m<sup>3</sup> Gülle pro Kuh kann 265,7 m<sup>3</sup> Biogas gewonnen werden. Hochgerechnet auf die Agrargenossenschaft ergibt das pro Jahr eine Ausbeute von 132.845 m<sup>3</sup> Biogas, aus der 464.956 kWh<sub>el</sub> generiert werden können. Ein 75 kW<sub>el</sub> BHKW benötigt 591.300 kWh Energie, um 365 Tage, 24 Stunden am Tag mit einer Einschaltdauer von 90 % zu laufen. Die Differenz in Höhe von 126.343,2 kWh zwischen der von der Gülle erbrachten und der benötigten Energie muss durch Pflanzensubstrate ausgeglichen werden.

Ziel ist es, eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für eine reale Biogasanlage zu erstellen, die als Entscheidungshilfe für zukünftige Investitionen dient. Für diese Investitionsbetrachtung werden vorhandene und im Konzept Biogasanlage ver-

## 6. Konzepte zur Energieeinsparung

wendbare Komponenten berücksichtigt. Dazu gehören die Güllevorgrube und ein vorhandener Güllebehälter, der als Gärrestlager benutzt werden kann. Die Investitionskosten für die verschiedenen Komponenten werden als gemittelte Werte einer Internetrecherche angenommen. Nach der Novellierung des EEG 2014 für kleinere Biogasanlagen werden vermehrt Komplettsysteme zu attraktiven Preisen angeboten. Die Leistungsbereiche beginnen bei 30 kW elektrisch bis hin zu <75 kW elektrisch für förderungsfähige Anlagen.

### 6.4.1.2 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Biogasanlage

Für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden die jährlichen Ausgaben mit den Einnahmen verglichen. Die Strombezugskosten und die Gasverbrauchskosten sind den Jahresabrechnungen entnommen.

Projekt: Biogasanlage Agrargenossenschaft Rom											
<b>Wirtschaftlichkeitsrechnung</b>		Interner Zinssatz 14,3%		Datum: 02.12.2015							
Kosten	Jahr	Jahr	Jahr	Jahr	Jahr	Jahr	Jahr	Jahr	Jahr	Jahr	Jahr
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Finanzmittelbedarf</b>	0										
Biogasanlage	450.000										
	0										
Finanzierungskosten 200.000 0,015		3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
Tilgung 0,05		10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
Wartung / Instandhaltung		6.400	5.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
Betriebskosten		5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
Anfahrverluste		5.000	2.000								
Abschreibungen		22.500	22.500	22.500	22.500	22.500	22.500	22.500	22.500	22.500	22.500
<b>Summe Finanzmittelbedarf</b>	<b>450.000</b>	<b>51.900</b>	<b>47.500</b>	<b>43.500</b>	<b>43.500</b>	<b>43.500</b>	<b>43.500</b>	<b>43.500</b>	<b>43.500</b>	<b>43.500</b>	<b>43.500</b>
<b>Laufende Zahlungen</b>											
Einspeisevergütung		-140.138	-140.138	-140.138	-140.138	-140.138	-140.138	-140.138	-140.138	-140.138	-140.138
Energieeinsparung Kühlkompressor		-8.760	-8.760	-8.760	-8.760	-8.760	-8.760	-8.760	-8.760	-8.760	-8.760
Energieeinsparung Gasheizung		-3.767	-3.767	-3.767	-3.767	-3.767	-3.767	-3.767	-3.767	-3.767	-3.767
Energieeinsparung Reinigungsanlage		-548	-548	-548	-548	-548	-548	-548	-548	-548	-548
<b>Summe laufende Zahlungen</b>		<b>-153.213</b>	<b>-153.213</b>	<b>-153.213</b>	<b>-153.213</b>	<b>-153.213</b>	<b>-153.213</b>	<b>-153.213</b>	<b>-153.213</b>	<b>-153.213</b>	<b>-153.213</b>
<b>Renditeermittlung</b>											
Finanzmittelbedarf	450.000	51.900	47.500	43.500	43.500	43.500	43.500	43.500	43.500	43.500	43.500
Lfd. Zahlungen	0	-153.213	-153.213	-153.213	-153.213	-153.213	-153.213	-153.213	-153.213	-153.213	-153.213
Cash flow	-450.000	-101.313	-105.713	-109.713	-109.713	-109.713	-109.713	-109.713	-109.713	-109.713	-109.713
Abzinsungsfaktoren bei 6%	1,00	0,94	0,89	0,84	0,79	0,75	0,70	0,67	0,63	0,59	0,56
Barwert cash flow	-450.000	-95.578	-94.084	-92.117	-86.903	-81.984	-77.343	-72.965	-68.835	-64.939	-61.263
<b>Barwert cash flow kumuliert</b>	<b>-450.000</b>	<b>-354.422</b>	<b>-260.337</b>	<b>-168.220</b>	<b>-81.317</b>	<b>667</b>	<b>78.010</b>	<b>150.976</b>	<b>219.811</b>	<b>284.750</b>	<b>346.013</b>

Abbildung 36: Investitionsberechnung der Biogasanlage

Nach dem EEG von 2014 § 46 werden Biogasanlagen mit einer elektrischen Leistung von < 75 kW gefördert. Die Vergütung beträgt 0,237 € pro kWh. Die Summe der Einspeisevergütung beträgt 140.138,1 €. Der größte Teil der thermischen Energie wird für die Fermentierung, Wärmeerzeugung, Beheizung sowie für die Warmwasserbereitung verwendet. Die restliche thermische Energie

ist mit einem Geldwertebtrag von 50 % des äquivalenten Gaspreises angenommen. Der interne Zinsfuß für die Investition Biogasanlage beträgt 14,3 %. Unterstellt man, dass der jährliche Bezugspreis für elektrische Energie um durchschnittlich 3 % steigt, ist eine Investition in eine Biogasanlage dieser Größe rentabel.

Die Investitionssumme wird mit 200.000 € fremdfinanziert. Es ist möglich, Förderprogramme in Anspruch zu nehmen, um die Rendite zu erhöhen. Für die Nutzung der restlichen thermischen Energie in einem Landwirtschaftsbetrieb bieten sich Technologien an, bei denen elektrische Energie durch thermische Energie substituiert werden kann. Hier ist besonders das Thema Milchkühlung interessant. Absorptionskältemaschinen können Kompressorkältemaschinen ersetzen und damit thermische Energie aus Biogasanlagen sinnvoll einsetzen.

### 6.4.2 Absorptionskälteanlage

Biogasanlagen erzeugen sowohl elektrische, als auch thermische Energie. Der Wirkungsgrad einer Biogasanlage lässt sich steigern, wenn die thermische Energie möglichst vollständig genutzt wird. Der Prozess der Fermentierung benötigt ca. 30 – 40 % der thermischen Energie. Die Abwärme des BHKW lässt sich zum Heizen der Gebäude, zur Warmwasserbereitung und zum Kühlen der Milch einsetzen. Häufig findet man bei Milcherzeugern Kompressorkältemaschinen, die elektrisch betrieben werden. In dem betrachteten Milchviehbetrieb werden zwei dieser Kältemaschinen mit einer Anschlussleistung von insgesamt 15 kW eingesetzt. Es gilt nun diese Energie aus der thermischen Energie des BHKW zu ersetzen. Absorptionskälteanlagen können genau hier eingesetzt werden. Das Prinzip dieser Technologie ist schon Ende des 19. Jahrhunderts entwickelt worden. Unter dem Begriff Absorption versteht man Aufnahme oder das Lösen von Gasen oder Dämpfen durch Flüssigkeiten.

#### 6.4.2.1 Funktionsbeschreibung einer Absorptionskälteanlage

Mit einer schematischen Darstellung lässt sich die Funktionsweise leichter erklären. In vier getrennten Behältersystemen finden durch Kondensation und Verdampfung einer Kühlflüssigkeit Absorptionsprozesse statt. Für die Aufnahme und das Lösen von Gasen und Dämpfen sind unterschiedliche Temperaturen und Drücke in der Anlage vorhanden. Die Behälter werden als Austreiber, Kondensator, Absorber und Verdampfer bezeichnet. Der Austreiber wird häufig

als Generator genannt. Im Austreiber befindet sich eine verdünnte Lithiumbromid-Lösung. Es wird mit unterschiedlichen Drücken in den vier Behältern gearbeitet. Im Austreiber und Kondensator besteht ein höherer Druck als im Absorber und Verdampfer. Dem Austreiber wird heißes Wasser aus dem BHKW zugeführt, dies ist die Antriebsenergie für die Kälteanlage. Die verdünnte Wasser-Lithiumbromid-Lösung wird im Austreiber erhitzt, bis sie verdampft. Bei diesem Siedevorgang steigt der Kältemitteldampf auf und wandert in den Kondensator. Von außen fließt Kühlflüssigkeit durch den Wärmetauscher im Kondensator und im Absorber. Typischerweise ist diese Kühlflüssigkeit Wasser. Der Kältemitteldampf kondensiert und wird im unteren Behälterbereich aufgefangen. Das Kühlwasser wird über einen speziellen Kühlturm gekühlt. Über eine Rohrverbindung gelangt die konzentrierte Lithiumbromid-Lösung in den Verdampfer. Das Kühlmittel verdampft, hierbei wird dem Kühlwasser Wärme entzogen. Das gekühlte Wasser kann dann zur Milchkühlung eingesetzt werden. Im Absorber fließt die konzentrierte Kühlflüssigkeit über den Kühlwasserwärmetauscher. Der Dampf kondensiert und wird von der konzentrierten Kühlflüssigkeit absorbiert. Durch diesen Vorgang wird die Kühlflüssigkeit wieder verdünnt. Die verdünnte Kühlflüssigkeit wird mit einer Pumpe zurück in den Austreiber gepumpt. Der Kreislauf ist geschlossen und beginnt von vorne. Mit diesem Prinzip ist es möglich, Wasser mit einer Anfangstemperatur von 15 °C auf 6 °C zu kühlen. Für die Milchkühlung ist gerade diese Temperatur ideal, weil der Gesetzgeber vorschreibt, Milch in Lagertanks auf ca. 6 °C gekühlt zu lagern.

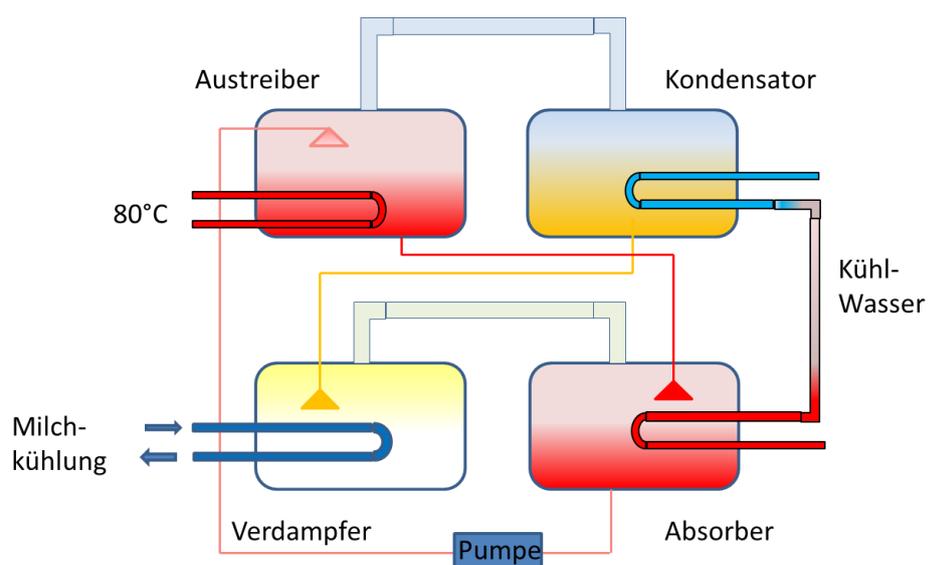


Abbildung 37: Schema einer Absorptionskälteanlage

In der Praxis werden weitere Stoff-Paarungen für die Absorption eingesetzt. Werden tiefe Temperaturen unterhalb 0 °C verlangt, kommt Ammoniak mit Wasser als Kältemittel zum Einsatz. Damit können tiefe Temperaturen von bis zu -25 °C erreicht werden. Eine Absorptionskältemaschine ist derzeit nur im Verbund mit einer Kraft-Wärme-Kopplung wirtschaftlich.

#### 6.4.2.2 Erforderliche Wärmemenge zur Milchkühlung

Das Blockheizkraftwerk liefert unter den genannten Rahmenbedingungen eine thermische Arbeit von 1.328.448 kWh<sub>th</sub>. Für den Fermentierungsprozess für Anlagen dieser Größenordnung werden ca. 40 % (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, e.V., 2013) dieser Energie benötigt, dies entspricht 531.380 kWh. Diese Angaben sind für Anlagen dieser Größenordnung typisch und berücksichtigen Schwankungen der Bedarfe im Jahresmittel. Für den Absorptionskühlprozess verbleiben 797.068 kWh.

Berechnung der notwendigen thermischen Energie:

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

$$Q = 3,85 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 12.000 \text{ kg} \cdot 16 \text{ K}$$

$$Q = 739.200 \text{ kJ}$$

Q : Thermische Wärmemenge

c : spezifische Wärmekapazität Milch

m: Masse Milch

ΔT: Temperaturdifferenz (Temperatur Milch ist – soll)

Umrechnung von J zu kWh:

$$1 \text{ Wh} = 3600 \text{ Ws} = 3600 \text{ Joule} = 3,6 \text{ kJ}$$

$$1 \text{ kWh} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$$

Wärmebedarf pro Tag:

$$Q = \frac{739.200.000 \text{ J}}{3.600.000} = 205 \text{ kWh}$$

Der Wärmebedarf pro Jahr beträgt dann

$$205 \text{ kWh} \cdot 365 \text{ Tage} = 74.947 \text{ kWh.}$$

Bei angenommenen Verlusten in der Anlage von 50 % muss die zugeführte Wärmemenge 149.894 kWh betragen.

#### 6.4.2.3 Basisdaten für Wirtschaftlichkeitsbetrachtung einer Absorptionskälteanlage

Eine Absorptionskältemaschine hat einen sehr geringen elektrischen Anschlusswert. Elektrische Energie wird nur für die Pumpen der Kühlflüssigkeit verwendet, die Anschlusswerte liegen unterhalb 1 kW. Der Kostenvorteil gegenüber einer Kompressorkälteanlage liegt in der Verwendung der Abwärme des Blockheizkraftwerks als Antriebsenergie für den Kühlprozess. Die Nutzung der Wärme aus dem Blockheizkraftwerk für die Milchkühlung erhöht den Wirkungsgrad der Gesamtanlage und erleichtert damit eine Investitionsentscheidung. Die Basisdaten aus der Tabelle 8 werden für die Investitionsentscheidung benutzt. Ausgehend von der täglichen Milchmenge, der Milchtemperatur vor der Milchkühlung und der gewünschten Lagertemperatur der Milch kann die Auslegung der Kühlanlage bestimmt werden.

Tabelle 8: Basisdaten für Berechnung der Absorptionskühlung

Benennung	Einheiten	Wert
<b>Anzahl Milchkühe</b>		500
<b>Milchmenge pro Kuh und Gemelk</b>	kg	12
<b>∑ Milchmenge pro Gemelk</b>	kg	6.000
<b>Anzahl Gemelke pro Tag</b>		2
<b>Tagesmilchmenge</b>	kg	12.000
<b>Melkzeit pro Tag</b>	h	16
<b>Anfangstemperatur der Milch</b>	°C	24
<b>Endtemperatur der Milch</b>	°C	6
<b>Temperaturdifferenz</b>	K	16
<b>cp Wert Milch</b>	KJ/kg · K	3,85
<b>cp Wert Milch</b>	Wh/kg · K	1,069
<b>Arbeit für 6000 L Milch um 16 K zu kühlen</b>	kWh	102,67
<b>η Absorptionskältemittel Ammonium/Wasser</b>		0,5
<b>notwendige Wärmemenge pro Jahr</b>	kWh	149.894
<b>alternativ Kältekompressor el. Arbeit</b>	kWh	45.000
<b>Strompreis Kältekompressor</b>	€/kWh	0,2
<b>Stromverbrauchskosten Kältekompressor</b>	€	11.000
<b>Betriebsstunden pro Jahr</b>	h	8.000
<b>Jährliche Strompreisanpassung</b>	%	0,03
<b>Investitionskosten Absorptionsanlage</b>	€	70.000
<b>Wartungs- und Instandhaltungskosten</b>	€	2.000
<b>Förderungen für Absorptionskälteanlagen</b>	%	0,3

Der Wirkungsgrad für den Kühlprozess ist mit 0,5 bewusst niedrig angesetzt. Die Wahl des Kältemittels und die Anlagengröße bestimmen den Wirkungsgrad, andere Kombinationen für das Kältemittel erreichen Wirkungsgrade in der Anlage von bis zu 70 %. In der betrachteten Anlage kommt als Kühlmittel eine preiswerte Kombination aus Ammonium und Wasser zum Einsatz. Lithiumbromid ist deutlich teurer und muss jährlich gewechselt werden und verteuert dadurch zusätzlich den Kühlprozess.

### 6.4.3 Wirtschaftlichkeitsberechnung Biogasanlage in Kombination mit Absorptionskälteanlage

Die Kapitalrendite für die Kombination aus Biogasanlage und Absorptionskältemaschine ist direkt abhängig von den Förderungen, der Höhe der elektrischen Leistung und der Nutzung der thermischen Energie. Kleine Biogasanlagen bis zu einer elektrischen Leistung von 75 kW werden besonders gefördert, wenn sie einen hohen Anteil an Gülle oder Festmist zu Biogas verarbeiten. Der Gülleanteil muss mindestens 80 % der Gesamtmenge an Gärstoffen betragen (Erneuerbare-Energien-Gesetz vom 21. Juli 2014, 2014). In Tabelle 14 ist der Finanzmittelbedarf mit insgesamt 445.000 € eingetragen. Für die Wartung und Instandhaltung wird ein jährlicher Betrag von 3.000 € angenommen, der in der Anlaufzeit in den ersten beiden Jahren höher ist. Die Betriebskosten betragen jährlich 5.000 €. Die Beträge für Anfahrverluste in den ersten beiden Jahren decken ungeplante Kosten durch notwendige Anlagenoptimierungen. Die Abschreibungen sind linear über die gesamte Laufzeit vorgegeben. Die Einspeisevergütung ergibt sich aus der Laufzeit des Generators und der geltenden EEG-Einspeisevergütung. Durch den Einsatz der Absorptionskälteanlage entfallen die Energiekosten für das Kälteaggregat und durch den Einsatz der Abwärme des BHKW entfallen die Energiekosten für die Reinigungsanlage und die Gasheizung. Die Wirtschaftlichkeitsberechnung dieser Investition wird nach der Methode des internen Zinsfußes<sup>7</sup> berechnet und ist in der Tabelle 9 dargestellt.

Für die Investitionssumme können verschiedene Förderprogramme in Anspruch genommen werden, damit lässt sich die Rendite weiter erhöhen. Die Betrachtung sämtlicher Förderprogramme würde den Rahmen dieser Arbeit übersteigen. Sie werden deshalb nicht berücksichtigt. Jedes Jahr gibt es neue Anpas-

---

<sup>7</sup> Siehe Kapitel 3 Methoden zur Wirtschaftlichkeitsberechnung: Erklärung interner Zinsfußmethode

## 6. Konzepte zur Energieeinsparung

sungen und Kombinationsmöglichkeiten von Förderungen, und die Einspeisevergütungen werden jährlich abgesenkt.

Tabelle 9: Wirtschaftlichkeitsberechnung für Biogasanlage mit Absorptionskälteanlage

Projekt: Biogasanlage mit Absorptionskälteanlage Agrargenossenschaft Rom												
Wirtschaftlichkeitsrechnung												
Interner Zinssatz		8,8%						Datum: 02.12.2015				
Kosten	Jahr	Jahr	Jahr	Jahr	Jahr							
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
<b>Finanzmittelbedarf</b>	0											
Biogasanlage	450.000											
Absorptionskälteanlage	75.000											
Finanzierungskosten 200.000 0,015		3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
Tilgung 0,05		10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
Wartung / Instandhaltung		6.400	5.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
Betriebskosten		5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
Anfahrverluste		5.000	2.000									
Abschreibungen		26.250	26.250	26.250	26.250	26.250	26.250	26.250	26.250	26.250	26.250	26.250
<b>Summe Finanzmittelbedarf</b>	<b>525.000</b>	<b>55.650</b>	<b>51.250</b>	<b>47.250</b>	<b>47.250</b>	<b>47.250</b>	<b>47.250</b>	<b>47.250</b>	<b>47.250</b>	<b>47.250</b>	<b>47.250</b>	<b>47.250</b>
<b>Laufende Zahlungen</b>												
Einspeisevergütung		-140.138	-140.138	-140.138	-140.138	-140.138	-140.138	-140.138	-140.138	-140.138	-140.138	-140.138
Energieeinsparung Kühlkompressor		-8.760	-8.760	-8.760	-8.760	-8.760	-8.760	-8.760	-8.760	-8.760	-8.760	-8.760
Energieeinsparung Gasheizung		-3.767	-3.767	-3.767	-3.767	-3.767	-3.767	-3.767	-3.767	-3.767	-3.767	-3.767
Energieeinsparung Reinigungsanlage		-548	-548	-548	-548	-548	-548	-548	-548	-548	-548	-548
<b>Summe laufende Zahlungen</b>		<b>-153.213</b>	<b>-153.213</b>	<b>-153.213</b>	<b>-153.213</b>	<b>-153.213</b>						
<b>Renditeermittlung</b>												
Finanzmittelbedarf	525.000	55.650	51.250	47.250	47.250	47.250	47.250	47.250	47.250	47.250	47.250	47.250
Lfd. Zahlungen	0	-153.213	-153.213	-153.213	-153.213	-153.213	-153.213	-153.213	-153.213	-153.213	-153.213	-153.213
Cash flow	-525.000	-97.563	-101.963	-105.963	-105.963	-105.963	-105.963	-105.963	-105.963	-105.963	-105.963	-105.963
Abzinsungsfaktoren bei 6%	1,00	0,94	0,89	0,84	0,79	0,75	0,70	0,67	0,63	0,59	0,56	
Barwert cash flow	-525.000	-92.041	-90.747	-88.969	-83.933	-79.182	-74.700	-70.472	-66.483	-62.719	-59.169	
<b>Barwert cash flow kumuliert</b>	<b>-525.000</b>	<b>-432.959</b>	<b>-342.213</b>	<b>-253.244</b>	<b>-169.311</b>	<b>-90.129</b>	<b>-15.430</b>	<b>55.042</b>	<b>121.524</b>	<b>184.244</b>	<b>243.413</b>	

Für diese Investition wird ein Abzinsungsfaktor von 6 % gewählt. Damit errechnet sich laut Tabelle 9 ein Kapitalrückfluss nach 7,5 Jahren. Diese Investition ist damit wirtschaftlich und kann getätigt werden.

## 6. Konzepte zur Energieeinsparung

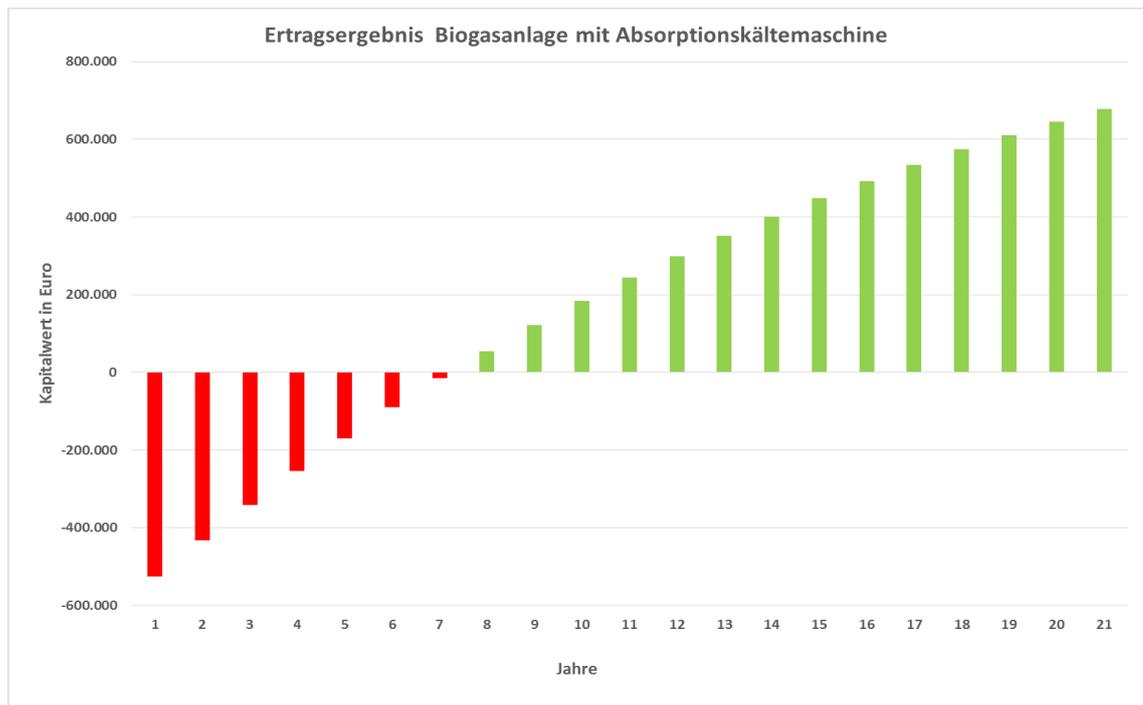


Abbildung 38: Verlauf der kumulierten Barwerte dargestellt über den gesamten Betrachtungszeitraum von 21 Jahren

## 7. Fazit

In der vorliegenden Arbeit wurden die Einsparpotentiale der Agrargenossenschaft Rom/Meckl. eG analysiert und mit modellhaften Betrieben verglichen. Durch die Umsetzung aller vorgeschlagenen Maßnahmen kann der Energiebedarf um bis zu 50 % verringert werden.

In der Prozesskette der Milcherzeugung gibt es verschiedene Verbraucher mit unterschiedlichen Energieeinsparpotentialen. Beim Milchentzug lassen sich Einspareffekte nur durch Veränderung der Beleuchtung im Melkstand erreichen. Der Energieverbrauch für den Melkstandantrieb und für die Vakuumpumpe können nur durch eine Verringerung der Melkzeiten beeinflusst werden. Der Austausch des Kälteaggregats im Prozessschritt Milchkühlung hat hingegen ein hohes Einsparpotential. Für die Belüftung und die Futterbereitstellung im Kuhstall lassen sich keine Einsparpotentiale ausweisen. Die Änderung der Beleuchtung im Kuhstall von Leuchtstoffröhren auf LED-Strahler reduziert den Energiebedarf signifikant. Das größte Einsparpotential im Kuhstall bietet der Austausch der Güllepumpe. Alle vorgeschlagenen Maßnahmen können unabhängig voneinander realisiert werden.

Die Versorgung ausgewählter Verbraucher durch eine PV-Anlage in Kombination mit einem Energiespeicher kann den Energieverbrauch deutlich reduzieren. Die heutzutage verfügbaren Batteriespeicher sind jedoch entweder zu teuer in der Anschaffung oder zu wartungsintensiv. Als eine Alternative zum Batteriespeicher bietet sich ein Eiswasserspeicher an, der das derzeitige Kühlsystem ersetzt. Der Eiswasserspeicher kann sowohl über die PV-Anlage, als auch über Netzstrom geladen werden. Dies geschieht sinnvollerweise in der Nebentarifzeit. Überschüssige Energie der PV-Anlage kann im Sommer für andere Verbraucher genutzt werden. Hier bietet sich die Belüftung im Kuhstall an. Eine komplette Eigenstromversorgung über die PV-Anlage ist wirtschaftlich nicht darstellbar.

Mit dem EEG 2014 werden Gülle-Biogasanlagen mit Blockheizkraftwerken (BHKW) bis 75 kW Anschlussleistung gefördert. Die Förderhöhe ist über einen Zeitraum von 20 Jahren garantiert. So lange die Netzparität nicht erreicht ist, lässt sich eine Biogasanlage dieser Größe wirtschaftlich darstellen. Bei weiter ansteigenden Netzbezugskosten kann der Wechsel vom Netzbetrieb zum In-

selbetrieb erfolgen. Damit entfällt die Abhängigkeit vom Netzbezug. Zur Steigerung des Wirkungsgrades der Biogasanlage muss die Überschusswärme energetisch genutzt werden. Mit einer Absorptionskälteanlage lässt sich ein großer Anteil der Überschusswärme zur Kühlung der Milch nutzen. Der Warmwasserbedarf der Agrargenossenschaft kann ebenfalls mit der Abwärme des BHKWs gedeckt werden.

Zukünftig werden die Energiekosten jährlich um ca. 3 % steigen. Die Förderungen zur Energieeinsparungen werden sich an strengeren Bedingungen orientieren und wahrscheinlich geringer ausfallen. Dieser Trend kann heute schon im Bereich der PV-Energie und Biogasverstromung beobachtet werden. Um diesem Trend zu begegnen, ist eine Biogasanlage mit BHKW und angeschlossener Absorptionskälteanlage eine sinnvolle Investition.

## Anhang

## A Modellberechnungen Teil A

Annahmen für alle Modelle						
	Kg/Kuh *Tag	30			24	24
Gemolkene Milch (kg/GV * a)	a	10950			8760	8760
Melkvorgänge Anzahl/d	Anzahl/d	2			2	2
					Agrar eG Rom, optimiert	
	Herde 100	Herde 250	Herde 500	Herde 1000	Agrar eG Rom	
Melkstand Art	Fischgräten- melkstand 2*8	Side-By-Side Melkstand, 2*12	Innenmelk- karusell 22	Aussenmelk- karusell 60	Innenmelk- karusell 22	Innenmelk- karusell 22
Anzahl Kühe	100	250	500	1000	500	500
Milchmenge kg/ Tag	3000	7500	15000	30000	12000	12000
Melkplätze	16	24	22	60	22	22
Stallfläche pro Kuh m <sup>2</sup>	8	8	10	10	7	7
Größe Kuhstallflächen gesamt	800	2000	5000	10000	3500	3500
Anzahl Kuhställe	1	2	4	8	3	3
Betriebsstunden melken h	8	7	12	9	14	13
<b>Vakuumanlage</b>						
Anschlussleistung kW	6	6	8	14	7	7
Frequenzsteuerung: Einschaltdauer	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Spülung h/d	1	1	1	1	1	1
Arbeit in kWh/Tag	30	27	56	77	56	52,5
Arbeit in kWh/Jahr	10950	9855	20440	28105	20440	19162,5
Arbeit in kWh/(Kuh *Jahr)	109,5	39,42	40,88	28,105	40,88	38,325
Arbeit in kWh/(kg Milch)	0,010	0,004	0,004	0,003	0,005	0,004
<b>Reinigung der Melkanlage</b>						
Heißwasser 90°C in l	150	360	350	850	350	0
Trinkwasser Temperatur °C	7	7	7	7	7	7
Temperaturdifferenz K	83	83	83	83	83	83
cp-Wert für Wasser kJ/kg*K	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2
Reinigungsdurchgänge pro Tag	2	2	2	2	2	2
Arbeit in kWh/Tag	29	70	68	165	68	0
Arbeit in kWh/Jahr	10603	25448	24741	60085	24741	0
Arbeit in kWh/(Kuh *Jahr)	106	102	49	60	49	0
Arbeit in kWh/(kg Milch)	0,0097	0,0093	0,0045	0,0055	0,0056	0,0000
<b>Beleuchtung Melkstand</b>						
Installierte Leistung W/Melkstand	71	71	71	71	71	100
Installierte Leistung W/Melkanlage	1136	1704	1562	4260	2698	1200
Arbeit in kWh/Tag	9	12	19	38	37,772	15,60
Arbeit in kWh/Jahr	3317	4354	6842	13994	13787	5694
Arbeit in kWh/(Kuh *Jahr)	33	17	14	14	28	11
Arbeit in kWh/(kg Milch)	0,0030	0,0016	0,0012	0,0013	0,0031	0,0013
<b>Melkstand Antrieb</b>						
Anschlussleistung kW	0	0	3	10	3	3
Arbeit in kWh/Tag	0	0	36	90	42	39
Arbeit in kWh/Jahr	0	0	13140	32850	15330	14235
Arbeit in kWh/(Kuh *Jahr)	0	0	26,28	32,85	30,66	28,47
Arbeit in kWh/(kg Milch)	0,0000	0,0000	0,0024	0,0030	0,0035	0,0033

## B Modellberechnungen Teil B

Milchkühlung und Lagerung						
Milchmenge kg/(Kuh * Jahr)	10950	10950	10950	10950	8760	8760
Temperatur Milch frisch gemolken in K	35	35	35	35	35	35
Vorkühler Temperaturreduzierung in K	15	15	15	15	11	11
Temperatur Milch im Milchtank in K	6	6	6	6	6	6
Temperaturdifferenz in K	14	14	14	14	18	18
Wärmekapazitätskoeffizient cp für Milch kJ/ k	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85
Arbeit zur Kühlung von 1 kg Milch in Wh/kg*K	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07
Arbeit in kWh/Tag	44,92	112,29	224,58	449,17	231,00	231,00
Arbeit in kWh/Jahr	16394,58	40986,46	81972,92	163945,83	84315,00	84315,00
Cop-Wert Kältemaschine	3	3	3	3	2,0	4,0
Arbeit Kältemaschine cop 3 kWh/Jahr	5464,86	13662,15	27324,31	54648,61	42157,50	21078,75
Benötigte Kühlleistung in kWh/Kuh*Jahr	163,95	163,95	163,95	163,95	168,63	168,63
Strombedarf Kältemaschine kWh/Kuh*Jahr	54,65	54,65	54,65	54,65	84,32	42,16
Arbeit in kWh/(kg Milch)	0,005	0,005	0,005	0,005	0,010	0,005
Stallbeleuchtung						
Faktor Lampen pro m <sup>2</sup>	0,01538462	0,01538462	0,01538462	0,01538462	0,0153846	0,0153846
Lampentyp A= LED Strahler, B= T8 Leuchtstoff	A	A	A	A	B	A
Leistungsaufnahmen W/Leuchte	100	100	100	100	71	100
Beleuchtungsstärke Lux	200	200	200	200	85	200
Anzahl der Lampen pro 1200 m <sup>2</sup>	13	31	77	154	170	54
Beleuchtungsdauer pro Tag in h	6	6	6	6	6	6
Arbeit in kWh/Tag	7,68	18,76	46,15	92,31	72,42	32,31
Arbeit in kWh/Jahr	2805	6848	16846	33692	26433	11792
Arbeit in kWh/(Kuh *Jahr)	28,0	27,4	33,7	33,7	52,9	23,6
Arbeit in kWh/(kg Milch)	0,0026	0,0025	0,0031	0,0031	0,0060	0,0027
Entmistung						
Flüssigmistanfall m <sup>3</sup> /Kuh a	20	20	20	20	20	20
Automatische Schieberentmistung	ja	ja	ja	ja	nein	nein
Reinigungsvorgänge Durchgänge pro Tag	12	12	12	12	0	0
Leistungsaufnahme des Schiebers kW	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Anzahl Schieber	2	4	8	16	0	0
Länge zum Reinigen pro Schieber in m	65	65	65	65	0	0
Geschwindigkeit Schieber m/min	2	2	2	2	2	2
Zeit zum reinigen h	0,54	0,54	0,54	0,54	0,00	0,00
Pumpenarbeit Gülle in Güllebehälter in kW	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	15,00
Fördermenge Güllepumpe m <sup>3</sup> /Stunde	300,00	300,00	300,00	300,00	5,00	10,00
Menge an Gülle pro Herde m <sup>3</sup> /Tag	5,48	13,70	27,40	54,79	27,40	27,40
Arbeit Güllepumpe in kWh/Tag	0,46	1,14	2,28	4,57	136,99	41,10
Arbeit in kWh/Tag	10,2	20,6	41,3	82,6	136,99	41,10
Arbeit in kWh/Jahr	3725,4	7534,2	15068,3	30136,7	50000,0	15000,0
Arbeit in kWh/(Kuh *Jahr)	37	30	30	30	100	30
Arbeit in kWh/(kg Milch)	0,0034	0,0028	0,0028	0,0028	0,0114	0,0034
Belüftung im Kuhstall						
Lüfter im Kuhstall in kW	1	1	1	1	1,4	1,4
Anzahl pro Stall	3	3	3	3	0,66	2
Gesamtanzahl Lüfter	3	6	12	24	2	6
Einschaltdauer pro Tag in h	4	4	4	4	4	4
Arbeit in kWh/Tag	12	24	48	96	11,088	33,6
Arbeit in kWh/Jahr	4380	8760	17520	35040	4047,12	12264
Arbeit in kWh/(Kuh *Jahr)	43,80	35,04	35,04	35,04	8,09	24,53
Arbeit in kWh/(kg Milch)	0,0040	0,0032	0,0032	0,0032	0,0009	0,0028

## C Modellberechnungen Teil C

Begleitheizung						
Leistungsaufnahme W/m	17	17	17	17	17	17
Laufzeit in Tagen, Dezember - Februar	90	90	90	90	90	90
Länge in m	5	8	10	15	50	50
Einschaltdauer	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Arbeit in kWh/Tag	0,419	0,671	0,838	1,258	4,192	4,192
Arbeit in kWh/Jahr	153	244,8	306	459	1530	1530
Arbeit in kWh/(Kuh *Jahr)	1,53	0,9792	0,612	0,459	3,06	3,06
Arbeit in kWh/(kg Milch)	0,00051	0,00013	0,00004	0,00002	0,00026	0,00026
Kuhbürste						
Leistungsaufnahme in kW	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
Einschaltdauer in Studen	12	12	12	12	12	12
Kuhbürsten pro 1200 m <sup>2</sup>	2	2	2	2	0	2
Kuhbürste gesamt	2	4	8	16	0	6
Arbeit in kWh/Tag	3,36	6,72	13,44	26,88	0	10,08
Arbeit in kWh/Jahr	1226,4	2452,8	4905,6	9811,2	0	3679,2
Arbeit in kWh/(Kuh *Jahr)	12,264	9,8112	9,8112	9,8112	0	7,3584
Arbeit in kWh/(kg Milch)	0,00112	0,00090	0,00090	0,00090	0,00000	0,00084
<b>Summe der Verbraucher in kWh/(Kuh*Jahr)</b>	<b>426,25</b>	<b>316,63</b>	<b>294,27</b>	<b>298,82</b>	<b>396,93</b>	<b>208,87</b>

# D Wirtschaftlichkeitsberechnung Biogasanlage mit Absorptionskälteanlage

Projekt: Biogasanlage mit Absorptionskälteanlage Agrargenossenschaft Rom Innere Zinssatz 8,8%		Datum: 02.12.2015																				
		Jahr	Jahr	Jahr	Jahr	Jahr	Jahr	Jahr	Jahr	Jahr	Jahr	Jahr	Jahr	Jahr	Jahr	Jahr	Jahr	Jahr	Jahr	Jahr	Jahr	
Wirtschaftlichkeitsrechnung		Kosten	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
<b>Finanzmittelbedarf</b>		0																				
Biogasanlage		450.000																				
Absorptionskälteanlage		75.000																				
Finanzierungskosten 200.000 0,015			3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
Tilgung 0,05			10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
Wartung / Instandhaltung			6.400	5.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
Betriebskosten			5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
Anfahrverluste			5.000	2.000																		
Abschreibungen			26.250	26.250	26.250	26.250	26.250	26.250	26.250	26.250	26.250	26.250	26.250	26.250	26.250	26.250	26.250	26.250	26.250	26.250	26.250	26.250
<b>Summe Finanzmittelbedarf</b>		<b>525.000</b>	<b>51.250</b>	<b>47.250</b>																		
<b>Laufende Zahlungen</b>																						
Einspeisevergütung			-140.138	-140.138	-140.138	-140.138	-140.138	-140.138	-140.138	-140.138	-140.138	-140.138	-140.138	-140.138	-140.138	-140.138	-140.138	-140.138	-140.138	-140.138	-140.138	-140.138
Energieeinsparung Kühlkompressor			-8.760	-8.760	-8.760	-8.760	-8.760	-8.760	-8.760	-8.760	-8.760	-8.760	-8.760	-8.760	-8.760	-8.760	-8.760	-8.760	-8.760	-8.760	-8.760	-8.760
Energieeinsparung Gastheizung			-3.767	-3.767	-3.767	-3.767	-3.767	-3.767	-3.767	-3.767	-3.767	-3.767	-3.767	-3.767	-3.767	-3.767	-3.767	-3.767	-3.767	-3.767	-3.767	-3.767
Energieeinsparung Reinigungsanlage			-548	-548	-548	-548	-548	-548	-548	-548	-548	-548	-548	-548	-548	-548	-548	-548	-548	-548	-548	-548
<b>Summe laufende Zahlungen</b>			<b>-153.213</b>																			
<b>Renditeermittlung</b>																						
Finanzmittelbedarf		525.000	51.250	47.250	47.250	47.250	47.250	47.250	47.250	47.250	47.250	47.250	47.250	47.250	47.250	47.250	47.250	47.250	47.250	47.250	47.250	47.250
I.f.d. Zahlungen		0	-153.213	-153.213	-153.213	-153.213	-153.213	-153.213	-153.213	-153.213	-153.213	-153.213	-153.213	-153.213	-153.213	-153.213	-153.213	-153.213	-153.213	-153.213	-153.213	-153.213
Cash flow		-525.000	-97.563	-101.963	-105.963	-105.963	-105.963	-105.963	-105.963	-105.963	-105.963	-105.963	-105.963	-105.963	-105.963	-105.963	-105.963	-105.963	-105.963	-105.963	-105.963	-105.963
Abzinsungsfaktoren bei 6%		1,00	0,84	0,69	0,54	0,41	0,30	0,22	0,16	0,12	0,09	0,07	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Barwert cash flow		-525.000	-92.041	-69.747	-88.969	-83.933	-79.182	-74.700	-70.472	-66.483	-62.719	-59.169	-55.820	-52.660	-49.680	-46.868	-44.215	-41.712	-39.351	-37.124	-35.022	-33.040
<b>Barwert cash flow kumuliert</b>		<b>-525.000</b>	<b>-432.959</b>	<b>-342.213</b>	<b>-253.244</b>	<b>-169.311</b>	<b>-90.129</b>	<b>-15.430</b>	<b>55.042</b>	<b>121.524</b>	<b>184.244</b>	<b>243.413</b>	<b>299.233</b>	<b>351.894</b>	<b>401.573</b>	<b>448.441</b>	<b>492.655</b>	<b>534.367</b>	<b>573.718</b>	<b>610.842</b>	<b>645.864</b>	<b>678.904</b>

## Literaturverzeichnis

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2015. *Institut für Landtechnik und Tierhaltung*. [Online]

Available at: <http://www.lfl.bayern.de/ilt/tierhaltung/rinder/106806/index.php>  
[Zugriff am 3 Dezember 2015].

Dahl, G. E. & Petitclerc, D., 2008. *Management of photoperiod in the dairy herd for improved*, s.l.: American Society of Animal Science.

Eder, B. & Schulz, H., 2007. *Biogas-Praxis*. 4. Hrsg. Staufeu bei Freiburg: ökubuch Verlag.

Erneuerbare-Energien-Gesetz vom 21. Juli 2014, 2014. [Online]

Available at: [http://www.gesetze-im-internet.de/eeg\\_2014/index.html](http://www.gesetze-im-internet.de/eeg_2014/index.html)  
[Zugriff am 3 Dezember 2015].

European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability, Renewable Energies Unit, 2015. [Online]

Available at:  
<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?lang=de&map=europe#>.  
[Zugriff am 3 Dezember 2015].

EWS GmbH & Co KG, 2014. [www.solarertrag-nord.de](http://www.solarertrag-nord.de). [Online]

Available at: [http://www.ews.sh/ertragskarte/index\\_kataster.php](http://www.ews.sh/ertragskarte/index_kataster.php)  
[Zugriff am 1 Dezember 2015].

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe,e.V., 2012. *Energiepflanzen für Biogasanlagen*, 1 Juni.

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe,e.V., 2013. *Biogas*.

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe,e.V., 2013. *Geschäftsmodelle für Bioenergieprojekte*.

Hans-Jochim Rohweder, Lehr- und Versuchszentrum Futterkamp, LK Schleswig Holstein, 2012. [www.landwirt.com](http://www.landwirt.com). [Online]

Available at: <http://www.landwirt.com/de/Beleuchtung-im-Stall-bringt-mehr-Milch,,12303,,Bericht.html>  
[Zugriff am 1 Dezember 2015].

Johann Gasteiner, Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft, 2014. *Hitzestress bei Milchkühen*, Raumberg-Gumpenstein: s.n.

Kruschwitz, L., 2007. *Investitionsrechnung*. 11. Hrsg. München: Oldenburg Wissenschaftsverlag GmbH.

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, 2014. *Energie clever nutzen*. 1. Hrsg. Darmstadt: s.n.

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, 2014. *Energiebedarf in der Milchviehhaltung*. 1. Hrsg. Darmstadt: s.n.

LUX Intelligente Energie, 2012. *Blockheizkraftwerke*. 1. Hrsg. s.l.:Süddeutscher Verlag onpact GmbH.

Nelles, S., 2011. *Excel 2010 im Controlling*. 1. Hrsg. Bonn: Galileo press.

Osram Licht AG, 2015. *Familiendatenblatt, Lumilux T8*. [Online]

Available at:

[http://www.osram.de/osram\\_de/produkte/lampen/leuchtstofflampen/leuchtstofflampen-t8/lumilux-xt-t8/index.jsp](http://www.osram.de/osram_de/produkte/lampen/leuchtstofflampen/leuchtstofflampen-t8/lumilux-xt-t8/index.jsp)

Proplanta, F.-. u. M., 2015. *proplanta Das Informationszentrum der Landwirtschaft*. [Online]

Available at: [www.proplanta.de](http://www.proplanta.de)

[Zugriff am 1 Dezember 2015].

Quaschnig, V., 2011. *Regenerative Energiesysteme*. 7. Hrsg. München: Hanser Verlag.

Schukken, Y. & Young, D., 2009. *Field Study on milk production and mastitis effect of th DeLaval Swinging Cow Brush*, s.l.: s.n.

Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 22. August 2006, 2006. [Online]

Available at: <http://www.gesetze-im-internet.de/tierschnutztv/>

[Zugriff am 1 Dezember 2015].

Umweltinstitut München e.V., 2015. *Wirtschaftlichkeitsberechnungen Solarstrom*. [Online]

Available at: <http://www.umweltinstitut.org/themen/energie-und-klima/wirtschaftlichkeitsberechnungen/wirtschaftlichkeit-von->

[solaranlagen.html](#)

[Zugriff am 3 Dezember 2015].

Wöhe, G., 2008. *Einführung in die Allgemeine Betriebswirtschaftslehre*. 23

Hrsg. München: Verlag Vahlen.