

Justus-Liebig-Universität Gießen  
Fachbereich 09 "Agrarwissenschaften, Ökotoxikologie und Umweltmanagement"  
Institut für Landtechnik

## Bachelorarbeit

# Verfahrenstechnische und organisatorische Möglichkeiten des Anbaues von Sonnenblumen zur Biogaserzeugung

Gestellt und betreut durch:	PD Dr. agr. Heinz Bernhardt
Zweitgutachter:	Prof. Dr. Bernd Honermeier
eingereicht von:	Michael Löber
Matrikelnummer:	4012068

Gießen den, 02.10.2007

## Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis .....	II
Abbildungsverzeichnis.....	V
Tabellenverzeichnis.....	VI
Abkürzungsverzeichnis.....	VII
1 Einleitung .....	1
2 Die Sonnenblume .....	3
2.1 Botanik.....	3
2.1.1 Die Wurzel.....	3
2.1.2 Der Stängel .....	4
2.1.3 Die Blätter.....	4
2.1.4 Die Blüte.....	5
2.1.5 Der Samen .....	7
2.2 Standortansprüche .....	7
2.2.1 Wärmehaushalt .....	7
2.2.2 Wasserhaushalt.....	8
2.2.3 Nährstoffhaushalt .....	8
2.3 Anbau .....	10
2.3.1 Bodenbearbeitung.....	10
2.3.2 Aussaat .....	10
2.3.3 Pflege .....	12
2.3.4 Krankheiten .....	13
2.3.5 Schädlinge.....	16
2.3.6 Ernte.....	17
2.4 Siliereigenschaften .....	18
2.5 Sorten .....	19
3 Betriebsvorstellung .....	21
3.1 Standort .....	21
3.2 Landwirtschaftliche Produktion .....	22
3.3 Fruchtfolge.....	22
3.4 Arbeitskräftebesatz.....	22

3.5	Arbeitszeitverteilung .....	23
3.5.1	Ackerbauliche Arbeiten .....	23
3.5.2	Arbeiten Tierproduktion .....	25
3.5.3	Arbeiten Biogasanlage .....	26
3.5.4	Gesamtbetrachtung .....	27
3.6	Maschinenpark .....	29
4	Biogasproduktion .....	31
4.1	Biogasanlage .....	31
4.1.1	Planung .....	31
4.1.2	Standort .....	31
4.1.3	Technische Ausstattung .....	32
4.1.4	Technische Daten .....	34
4.2	Gärbiologie .....	35
4.3	Substratzusammensetzung .....	37
4.3.1	Flüssige Substrate .....	37
4.3.2	Feste Substrate .....	37
4.4	Gärrest .....	38
4.4.1	Inhaltsstoffe .....	38
4.4.2	Gärrestausbringung .....	39
4.5	Wärmenutzung .....	39
5	Bedeutung der Sonnenblume im Betrieb .....	40
5.1	Fruchtfolge .....	40
5.2	Humus und Bodenfruchtbarkeit .....	43
5.2.1	Humusbilanzierung .....	44
5.3	Erträge .....	45
5.4	Gesellschaftliche Akzeptanz .....	46
6	Anbauverfahren der Sonnenblume im Betrieb .....	47
6.1	Saatbettbereitung .....	47
6.2	Aussaat .....	47
6.3	Pflege .....	48
6.4	Düngung .....	48
6.5	Ernte .....	49
6.6	Konservierung .....	49
6.7	Sortenwahl .....	50

---

7	Wirtschaftlichkeit der Sonnenblume.....	51
7.1	Erträge.....	51
7.2	Kosten des Anbaues im Vergleich mit Silomais.....	53
7.2.1	Kosten des Energiesonnenblumenanbaues.....	53
7.2.2	Kosten des Silomaisanbaues .....	56
7.3	Arbeitszeitbedarf im Vergleich mit Silomais.....	58
8	Diskussion der Ergebnisse.....	60
9	Zusammenfassung .....	68
	Literaturverzeichnis .....	70
	Anhang.....	74
	Ehrenwörtliche Erklärung .....	79

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3-1 Vegetationszeit, Ernte- und Saatzeiträume der Kulturen im Betrieb (eigene Abbildung, verändert nach Kuhlmann 2003) .....	23
Abbildung 3-2 Arbeitszeitverteilung Ackerbau (eigene Abbildung) .....	24
Abbildung 3-3 Arbeitszeitverteilung Tierproduktion (eigene Abbildung) .....	25
Abbildung 3-4 Arbeitszeitverteilung Biogasanlage (eigene Abbildung) .....	26
Abbildung 3-5 Gesamt-Arbeitszeitbedarf (eigene Abbildung) .....	27
Abbildung 5-1 Fruchtfolgeplan (eigene Abbildung) .....	40
Abbildung 5-2 neuer Fruchtfolgeplan (eigene Abbildung) .....	42
Abbildung 7-1 Zusammensetzung der Gesamtkosten E-Sonnenblume (eigene Abbildung) .....	55
Abbildung 7-2 Zusammensetzung der Gesamtkosten Silomais (eigene Abbildung) .....	58
Abbildung 8-1 veränderter Gesamt-Arbeitszeitbedarf, Sonnenblumenernte im Okt 1 (eigene Abbildung) .....	63

**Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1 Stromertrag E-Sonnenblumen .....	52
Tabelle 2 Stromertrag Mais .....	52
Tabelle 3 Maschinenkosten E-Sonnenblume .....	54
Tabelle 4 Produktionsmittelkosten E-Sonnenblume .....	54
Tabelle 5 Lohnkosten E-Sonnenblume .....	54
Tabelle 6 Gesamtkosten E-Sonnenblume .....	54
Tabelle 7 Energiesonnenblumenkosten bei durchschnittlichem Ertragsniveau .....	55
Tabelle 8 Maschinenkosten Silomais .....	56
Tabelle 9 Produktionsmittelkosten Silomais .....	56
Tabelle 10 Lohnkosten Silomais .....	57
Tabelle 11 Gesamtkosten Silomais .....	57
Tabelle 12 Silomaiskosten bei durchschnittlichem Ertragsniveau .....	57
Tabelle 13 Arbeitszeitbedarf Energiesonnenblume .....	59
Tabelle 14 Arbeitszeitbedarf Silomais .....	59

## Abkürzungsverzeichnis

Akh	Arbeitskraftstunde
Ak	Arbeitskraft
BHKW	Blockheizkraftwerk
E-Sonnenblume	Energiesonnenblume
EEG	Erneuerbare Energien Gesetz
FM	Frischmasse
GPS	Ganzpflanzensilage
ha	Hektar
Kap	Kapitel
NawaRo	Nachwachsende Rohstoffe
TS	Trockensubstanz
oTS	organische Trockensubstanz
WZ	Winterzwischenfrucht

## 1 Einleitung

Seit Inkrafttreten des Erneuerbare Energien Gesetzes (EEG) hat sich die Zahl landwirtschaftlicher Biogasanlagen mehr als verdoppelt. Die Förderung mit öffentlichen Mitteln erhöht, durch die verbesserte wirtschaftliche Situation der Anlagen, die Investitionsbereitschaft der Landwirte. So auch die der beiden Landwirte ... und ... aus dem nordhessischen Heimarshausen, bzw. Züschen. Sie gründeten im Jahr 2005 die Bioenergie GbR .... Seit dem wird eine 280 kW Biogasanlage betrieben. Als Substrate werden neben Gülle auch nachwachsende Rohstoffe eingesetzt. Der Mais spielt dabei eine große Rolle. Da der Maisanbau, speziell der Monomaisanbau, aber auch Probleme mit sich bringt, stellen sich für die Bioenergie GbR folgende Fragen: Soll der gesamte Bedarf an nachwachsenden Rohstoffen mit Mais abgedeckt werden? Welche Alternativen sind zum Monomaisanbau vorhanden? Die Antwort der beiden Betriebsleiter ... und ... ist eine vielseitige Energiepflanzenfruchtfolge. Teil dieser Fruchtfolge ist die Nutzung der Sonnenblume als Biomasselieferant. Welche Anforderungen die Sonnenblume an die Betriebsleiter stellt, war zum Zeitpunkt der Anlagenplanung noch ungewiss. Aus diesem Informationsdefizit gegenüber dem Sonnenblumenanbau begründet sich die Anfertigung der vorliegenden Arbeit. Es sollen sowohl grundlegende Kenntnisse über die Kulturpflanze Sonnenblume aufgezeigt werden, als auch das schon bestehende Verfahren des Sonnenblumenanbaues in der Bioenergie GbR analysiert und diskutiert werden. Der Sonnenblumenanbau soll als Alternative zum Maisanbau auf technische, organisatorische und wirtschaftliche Aspekte untersucht werden.

Botanische Grundlagen, allgemeine Vorgehensweisen im Anbau der Sonnenblume und die Vorstellung der GbR bilden die Einführung in die Thematik. Weiter wird die Biogasproduktion und die Bedeutung der Pflanze für den Betrieb erläutert und diskutiert. Dazu zählen unter anderem die Fragen der technischen Ausrüstung, der Gärbiologie, dem Wärmenutzungskonzept, der Fruchtfolgegestaltung, sowie Fragen der Bodenfruchtbarkeit und der Akzeptanz der Anlage in der Gesellschaft. Die wirtschaftliche Bedeutung der Sonnenblume wird, nach der Beschreibung des Anbauverfahrens im Betrieb, in einem eigenen Kapitel abgehandelt. Dabei werden die Erträge, die Kosten und der

Arbeitszeitbedarf ermittelt. Um die Position der Sonnenblume besser einschätzen zu können, wird sie in diesem Kapitel dem Mais gegenübergestellt. Abschließend folgen die Diskussion der gewonnenen Erkenntnisse, sowie eine kurze Zusammenfassung.

## 2 Die Sonnenblume

*Helianthus annuus*. Einführend soll die Botanik der Sonnenblume, ihre spezifischen Eigenschaften, sowie Ihre Vielfältigkeit beschrieben werden. Somit ist Kapitel 2 unterteilt in die Botanik, die Standortansprüche, den Anbau, die Siliereigenschaften und die Beschreibung der verschiedenen Sorten der Sonnenblume.

### 2.1 Botanik

Die Systematik der Sonnenblume ist schwierig. Die botanische Vielfalt der Sonnenblume (*Helianthus annuus*) ist sehr groß. Genetisch bedingte Formenmannigfaltigkeit und Modifikationen durch verschiedene Umwelteinflüsse zeigen dies deutlich.

Die Sonnenblume gehört zur Familie der Korbblütengewächse (Asteraceae, früher Compositae), Gattung *Helianthus*. Innerhalb dieser Familie bildet sie ca. 50 Arten.

Sie ist eine einjährige, sommerannuelle, dikotyle C3-Pflanze, und zählt zu den Fremdbefruchtern (Schuster, Marquard, 2003).

#### 2.1.1 Die Wurzel

Das Wurzelsystem der Sonnenblume ist, je nach Sorte, sehr verschieden. Es gibt Sorten mit sehr tief in den Boden reichenden Pfahlwurzeln und Sorten ohne Pfahlwurzel, bei der man lediglich von einer senkrechten Hauptwurzel mit mehreren Nebentrieben spricht (Schuster, Marquard, 2003).

Beide Sortentypen besitzen jedoch zusätzlich ein dicht verzweigtes, oberflächiges Faserwurzelsystem, welches bis zu 70 % der gesamten Wurzelmasse ausmachen kann. Bei gut entwickelten Einzelpflanzen kann dieses einen Radius von bis zu 1,5 m annehmen und einen täglichen Längenzuwachs von bis zu 70 km pro ha aufweisen (Hugger, 1989).

Die Entwicklung der Pfahlwurzel ist, wie die des gesamten Wurzelsystems, der oberflächigen Entwicklung voraus. So hat die Pfahlwurzel im 4. bis 5. Blattstadium schon eine Tiefe von 60-70 cm erreicht. Unter optimalen

Bedingungen kann sie eine Tiefe von 2,5-3 m erreichen. Einzelne Sorten erreichen sogar eine Tiefe von 4-5 m (Schuster, Marquard, 2003; Hugger, 1989).

Diese rasche Ausbildung des Wurzelwerkes während des Jugendwachstums der Pflanze setzt eine optimale Bodenstruktur voraus. Bodenverdichtungen hemmen die Ausbildung des Wurzelsystems mit allen negativen Folgen für das Pflanzenwachstum (Hugger, 1989).

### 2.1.2 Der Stängel

Die Morphologie des Stängels ist sehr vielfältig. So reicht die Wuchslänge von 0,4 m (Zwergtyp) bis 5 m (Gigaformen) und der davon abhängige Stängeldurchmesser von 1-10 cm. Die Internodienlänge kann sowohl 5 cm, als auch 40 cm betragen und somit variiert auch die Blattanzahl von geringer bis dichter Beblattung. Weitere Unterschiede des Stängels bestehen in der Behaarung, der Standfestigkeit, der Korbhaltung und in der Anzahl der Stängel pro Pflanze. Die Sonnenblume ist im Allgemeinen einstängelig, jedoch gibt es auch mehrstängelige, verzweigte Sorten (Schuster, Marquard, 2003; Hugger, 1989; Lütke Entrup, Oehmichen, 2000).

### 2.1.3 Die Blätter

Bis auf die ersten beiden echten Blattpaare, welche gegenständig angeordnet sind, ist die Anordnung aller weiteren Blätter wechselständig. Auch bei der Blattanatomie zeigt sich eine große Vielfalt verschiedener Blattausprägungen. Die Blattform reicht von lanzettlich, eiförmig, breitoval, über elliptisch, rundlich bis herz- oder nierenförmig. Die verschiedenen Formen der Blattspitze lassen sich mit speerspitzig, spitz, stumpf, abgeflacht oder eingekerbt beschreiben, die Blattbasis mit schmal, spitz, stumpf, gestutzt oder herzförmig, sowie der Blattrand mit glatt, gebogen, gezahnt, gezackt oder geklappt. Alle Kombinationen dieser Ausprägungen sind möglich (Schuster, Marquard, 2003; Hugger, 1989).

Die Blattanzahl und -länge wird maßgeblich von den Umwelteinflüssen bestimmt. Damit sind hauptsächlich die Wasser- und Nährstoffversorgung, sowie die Tageslänge gemeint. Die Blattlänge kann zwischen 10 cm und 40 cm

variieren, die Blattanzahl zwischen 20 und 40 Blättern pro Pflanze (Hugger, 1989).

60 bis 80 % der Blattfläche befinden sich in der Mitte des Stängels. Dieser Bereich bildet somit die größte Assimilationsfläche und bleibt nach der Blüte noch am längsten aktiv (Hugger, 1989).

Die Blätter der Sonnenblume und auch der geschlossene Blütenkorb folgen der täglichen Sonnenbahn von Ost nach West. Durch diesen, so genannten Heliotrophismus erreicht die Sonnenblume eine Steigerung der Photosyntheseleistung von 9,5 % gegenüber feststehender Blattstellung. Als Besonderheit der Sonnenblumenblätter sind die sehr großen und zahlreichen Spaltöffnungen auf der Blattober- und Blattunterseite zu nennen (Hugger, 1989).

#### 2.1.4 Die Blüte

Die gesamte Blüte der Sonnenblume besteht aus dem Blütenboden, den Zungen- oder Randblüten, den Röhrenblüten und den Hüllkelchblättern (Schuster, Marquard, 2003).

Die Leitungsbahnen des Stängels enden im stark markhaltigen Gewebe des Blütenbodens (auch Korbboden). Somit kann jede einzelne Kornposition mit Nährstoffen versorgt werden. Der Blütenboden kann viele verschiedene Formen annehmen. Diese reichen von plan über konkav bis konvex mit feinem, verdicktem oder trompetenförmigem Ansatz. In der Züchtung erwünscht ist jedoch lediglich die Form plan und konkav mit einem feinem Ansatz (Schuster, Marquard, 2003).

Die Zungen- oder Randblüten sind die auffälligsten Blütenorgane. Sie sind randständig in ein bis zwei, selten mehreren Reihen angeordnet. Die Färbung der „Blütenzungen“ reicht von gelb, weiß, zitronengelb über rot bis schwarzrot in allen Kombinationen. Sie sind 7-10 cm lang und 2-3 cm breit. Der Fruchtknoten der Zungenblüten ist steril, zwei der ursprünglich fünf Blütenblätter sind zurückgebildet und die weiteren drei sind zur Zunge verwachsen. Die sterilen Zungenblüten bleiben solange intakt, bis der gesamte Blütenkorb abgeblüht ist. Erst nach Ende der eigentlichen Blüte welken sie und fallen ab (Schuster, Marquard, 2003; Hugger, 1989).

Die Röhrenblüten bestehen aus fünf zusammengewachsenen Blütenblättern. Diese umschließen den Griffel mit der zweilappigen Narbe und fünf Staubbeutel. Der Fruchtknoten der Röhrenblüten ist am Grunde der Blüten angeordnet. Er enthält jeweils nur eine Eizelle (Schuster, Marquard, 2003; Hugger, 1989).

Die Röhrenblüten sind auf dem Blütenboden in spiralförmigen Schrägzeilen angeordnet. Die Anzahl variiert je nach Durchmesser des Blütenbodens zwischen 800 und 2000 Blüten pro Korb (Hugger, 1989). Nach Schuster und Marquard, 2003, sind sogar bis zu 8000 Röhrenblüten pro Korb möglich.

Nach dem Öffnen des Blütenkorbes erscheinen zuerst die Zungenblüten. Danach blühen pro Tag ein bis drei Reihen der Röhrenblüten vom Rand zur Mitte hin ab. Somit ergibt sich, je nach Witterung, eine Blühzeit von 5 bis 12 Tagen, der gesamte Bestand blüht ca. 3 Wochen (Hugger, 1989).

Die Röhrenblüten durchlaufen dabei 4 Phasen. Zuerst werden die an der Spitze noch geschlossenen Blütenblätter gelb, der eingeschlossene Pollen ist bereits reif. Dann bricht die Spitze der Röhrenblüten auf, die Staubbeutel schieben sich nach außen, der Pollen wird frei. Daraufhin durchwächst der Griffel den Staubbeutelring und die Narbenlappen spreizen sich. Die Staubbeutel ziehen sich zurück, die Narbe kann bis zu 10 Tage befruchtungsfähig bleiben. Nach der Befruchtung trocknet das Blütenröhrchen aus und die Eizelle entwickelt sich zum Embryo (Hugger, 1989).

Die Sonnenblume zählt zu den Fremdbefruchtern, wobei sie zu 99 % auf die Insektenbefruchtung angewiesen ist. Selbstbefruchtung ist meist nicht sehr erfolgreich, da der zeitliche Vorsprung der Freiwerdung der Pollen gegenüber der Narbenentfaltung groß ist (Hugger, 1989). Dieser Kontrollmechanismus der Sonnenblume zur Verhinderung von Selbstbefruchtung wird Protandrie (Vormännlichkeit) genannt (Ordon, Friedt, 1998).

Die Honigbienen, verschiedenen Hummelarten, sowie wild lebende Bienen sind die wichtigsten Pollenüberträger (Hugger, 1989).

Erst nach etwa 50 Tagen nach Blühbeginn ist die vollständige Abreife und Kornfüllung abgeschlossen. Die Ölbildung in den Körnern beginnt erst nach Ende der Blüte. Hierbei werden Assimilate aus den Blättern und dem Stängel in die Körner umgelagert (Hugger, 1989).

### 2.1.5 Der Samen

Sonnenblumensamen sind eine besondere Form nußartiger Schließfrüchte, auch Achänen genannt, welche sich von normalen Nüssen dadurch unterscheiden, dass Samen- und Fruchtschale fest miteinander zum Pericarp verwachsen sind. Der Embryo mit den stark verdickten Keimblättern wird vom Pericarp fest umschlossen. Die Keimblätter speichern Öl und Eiweiß als Reservestoffe (Hugger, 1989).

Das Tausendkorngewicht (TKG) der Sonnenblumensamen kann 40 bis 80 g betragen (Öltyp), sowie 100 bis 200 g (Speisetyp). Der Öltyp hat kleine, meist schwarze Kerne mit dünner Schale. Der Ölgehalt beträgt 42-55 %. Der Speisetyp hingegen hat nur einen Ölgehalt von < 30 % und größere, braun-weiß oder schwarz-weiß gestreifte Kerne mit einer dickeren Schale (Hugger, 1989). Die Ölsäurezusammensetzung teilt sich bei dem normalen Öltyp wie folgt auf: 70 % Linolsäure (C 18:2), 20 % Ölsäure (C 18:1) und 10 % gesättigte Fettsäuren. Spezielle High-Oleic Sorten besitzen einen Ölsäuregehalt von bis zu 90 % (Gaudschau, 2007).

Die Samengröße schwankt sehr stark. Die Länge kann 3-25 mm betragen, die Breite 2-13mm und die Dicke 2-5 mm (Hugger, 1989).

Auch innerhalb eines Blütenkorbes sind verschiedene Korngrößen vorhanden. So sind die Körner aus dem äußeren Teil des Korbes dicker und schwerer als die Körner aus der Mitte des Blütenkorbes (Hugger, 1989).

## **2.2 Standortansprüche**

### 2.2.1 Wärmehaushalt

Die Sonnenblume hat einen hohen Wärmeanspruch. Die monatliche Durchschnittstemperatur der Monate Mai bis September sollte mindestens 15,5 °C betragen, wobei die Aussaat im April gewährleistet sein muss. Die Mindestbodentemperatur sollte dabei 6-8 °C betragen. Die Jungpflanzen sind spätfrostverträglich bis -5 °C, Kälterückschläge im 8 bis 12-Blattstadium (Beginn der Blütendifferenzierung) reduzieren jedoch die Anzahl der Blütenanlagen. Das Temperaturoptimum für die Photosynthese liegt bei 25 °C (Hugger, 1989).

Zur weiteren Einschätzung der Anbaumöglichkeiten kann die Temperatursumme der Tagesdurchschnittstemperaturen  $> 6 \text{ }^{\circ}\text{C}$  verwendet werden. Diese beträgt für frühe Sorten  $1500 \text{ }^{\circ}\text{C}$  von Aufgang bis Reife (Körnernutzung), für späte Sorten  $1700 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Diese Summen sollten innerhalb von ca. 150 Wachstumstagen erreicht werden (Hugger, 1989).

### 2.2.2 Wasserhaushalt

Die optimale Wasserversorgung der Sonnenblume liegt bei 450-500 mm Jahresniederschlag, das Minimum bei 300 mm. Bei guter Wasserversorgung neigt die Sonnenblume zum Luxuskonsum. Sie kann während der Vegetationsperiode bis zu 600 mm Wasser verbrauchen. Andererseits kann sie sich durch ihr tiefes Wurzelsystem auch gut an Trockenheit anpassen, da sie das Bodenwasser optimal erschließen kann (Schuster, Marquard, 2003; Hugger, 1989).

Kann der hohe Wasserbedarf nicht gedeckt werden, reagiert die Pflanze mit der Reduzierung der Blattfläche. Da die Blattfläche mit dem Ertrag in Korrelation steht, kommt es bei Wassermangel zu Mindererträgen. Bei frühzeitigem Wassermangel kommt es zur Reduktion der Anzahl der Einzelblüten pro Blütenkorb, bei spätem Mangel zu beschleunigter Alterung des gesamten Blattwerkes nach der Blüte. Da in diesem Abschnitt die Ölsynthese stattfindet, kommt es bei spätem Wassermangel zu verringerten Ölgehalten (Hugger, 1989).

### 2.2.3 Nährstoffhaushalt

Die Gesamtmenge an Stickstoff sollte  $100 \text{ kg N/ha}$  nicht übersteigen. Diese setzt sich aus dem im Boden vorhandenem pflanzenverfügbarem Stickstoff und der N-Düngermenge zusammen. Zur Erzeugung von 1 dt Saat werden  $4 \text{ kg N}$  benötigt (Vergleich: Raps,  $6 \text{ kg N/dt}$  Saat). Die Sonnenblume hat also einen relativ geringen Bedarf an Stickstoff. Wichtig ist eine gleichmäßige Stickstoffversorgung während der ersten 75 Wachstumstage. Danach, also ab Beginn der Blüte, ist die Stickstoffaufnahme quasi abgeschlossen. Die Kornfüllung erfolgt durch Umlagerung von Aminosäuren aus den Blättern und

dem Stängel in den Blütenkorb (Hugger, 1989; Lütke Entrup, Oehmichen, 2000).

Auf biologisch aktiven, tiefgründigen und gut strukturierten Böden kann unter besten Bedingungen auf die Stickstoffdüngung verzichtet werden. Dabei gibt die  $N_{\min}$ -Methode den im Boden für die Pflanze verfügbaren Stickstoff an. Dieser erreicht in der Regel aber nicht die 100 kg N/ha, und so muss die Differenz in Form von mineralischem Stickstoff (z.B.: Kalkammonsalpeter oder bei Bor-Mangel auch Borammonulfatsalpeter) zugefügt werden. Hier reicht eine Düngergabe zur Saat. Auch Stallmist oder Gülle eignen sich als N-Quelle, jedoch muss bei der Ausbringung auf Strukturschäden geachtet werden (Hugger, 1989; Lindemann, Hunger, Weickel, 1988).

Auf Standorten mit wenig biologischer Aktivität und leichten Böden werden zwei Gaben empfohlen, jeweils zur Aussaat und vor Reihenschluss. Die gesamte Menge an Stickstoff sollte dabei 80 kg N/ha nicht überschreiten, da es zu Lagergefahr, erhöhtem Krankheitsdruck und zu Ernteverzögerungen kommen kann (Hugger, 1989).

Der Bedarf an Phosphor ist vergleichsweise gering. 2,0-2,5 kg  $P_2O_5$ /dt Saat werden benötigt. Kalium wird hingegen in größeren Mengen von der Sonnenblume entzogen, 10-12 kg  $K_2O$ /dt Saat. Der Bedarf an Magnesium beträgt jedoch nur 1,7 kg  $MgO$ /dt Saat. Die Grunddüngung dieser drei Nährstoffe (P, K und Mg) sollte möglichst im Herbst oder Winter vor der Aussaat erfolgen, da sonst die Gefahr der Krümmenversalzung besteht, worauf die junge Pflanze empfindlich reagiert (Hugger, 1989).

Bor spielt bei der Nährstoffversorgung der Sonnenblume eine wichtige Rolle. Schon ein latenter Mangel kann zu großen Ertragseinbußen führen. Es werden bis zu 6,5 g Bor/dt Saat entzogen, wobei die größte Menge (80 %) zwischen dem 5-Blattstadium und dem Erscheinen der Blütenknospen benötigt wird. Wie bereits oben erwähnt, eignet sich Borammonulfatsalpeter gut zur Bedarfsdeckung bei Bor-Mangel (Hugger, 1989; Lindemann, Hunger, Weickel, 1988).

Der Schwefelbedarf der Sonnenblumen ist sehr hoch. Er ist dreimal höher als der des Getreides. Der Schwefelbedarf liegt bei 3 kg  $SO_3$ /dt Saat (Hugger, 1989).

## **2.3 Anbau**

### 2.3.1 Bodenbearbeitung

Die Boden- und Saatbettbereitung spielt beim Anbau von Sonnenblumen eine wichtige Rolle. Nur eine lockere, leicht durchwurzelbare Krume ohne Störzonen ermöglicht ein rasches Auflaufen der Pflanzen. So müssen Strukturschäden wie z. B.: Pflugsohlenverdichtungen oder Sedimentationsverdichtungen vermieden werden. Wasserverluste müssen ebenso durch wassersparende Bodenbearbeitung (z. B.: Mulchsaat) minimiert werden. Die Kombination von Arbeitsgängen ist sinnvoll, da der Zeitraum strukturschonender Überfahrten im Frühjahr begrenzt ist. Dabei sollte bodenschonende Bereifung verwendet werden (z. B.: Breitreifen, niedriger Luftdruck) (Hugger, 1989; Lindemann, Hunger, Weickel, 1988; Lütke Entrup, Oehmichen, 2000).

Das Saatbett muss sowohl sehr feinkrümelig, als auch nicht zu fein bereitet werden, da sich die Keimblätter mit Samenschale aus dem Saatbett heben müssen, auf der anderen Seite die Oberfläche aber auch gegen Verschlammung geschützt sein muss. Sollte es zu Verschlammung kommen, sind nach Lindemann, Hunger und Weickel (1988) eine verschlechterte Wasserinfiltration, unproduktive, kapillare Wasserverluste, größere Auskühlung und eine langsamere Erwärmung der Böden im Frühjahr die Folgen.

Ab 3 cm Tiefe sollte Bodenschluss gewährleistet sein, damit ein gleichmäßiger Auflauf der Pflanzen ermöglicht wird. Zur Saatbettbereitung wird nach einer Winterfurche das Abschleppen im Frühjahr mit anschließender Saatbettkombination empfohlen (Hugger, 1989).

Geeignete Geräte für die Bodenbearbeitung sind Pflug, Eggen, Schleppen und Saatbettkombinationen (z.B.: Rüttel- bzw. Kreiselegge plus Prismenwalze, usw.). Auf das Einebnen der Pflugfurche im Herbst (z.B. mit einem Krumpacker) sollte, wegen der Verschlammungsgefahr, verzichtet werden (Schuster, Marquard, 2003; Hugger, 1989).

### 2.3.2 Aussaat

Der Zeitpunkt der Aussaat wird durch die Bodentemperatur bestimmt. Diese sollte 7-8 °C in 5 cm Tiefe betragen. Die Wärmesumme von der Aussaat bis

zum Feldaufgang muss 70-90 °C betragen. Innerhalb von 10 bis 14 Tagen sollte dies erreicht sein. In Süddeutschland ist der Zeitpunkt der Aussaat Anfang April erreicht. Verzögert sich der Feldaufgang, so kommt es zu Schäden durch Vogel- und Mäusefraß. Nach dem 10. Mai sollten Sonnenblumen zur Ölnutzung nicht mehr ausgesät werden, da Erträge und Ölgehalt stark abnehmen (Hugger, 1989; Lindemann, Hunger, Weickel, 1988; Lütke Entrup, Oehmichen, 2000). Den höchsten Trockenmasseertrag, z.B. zur Biogas- oder Futternutzung, erhält man nach Schuster, Marquard (2003) bei einem Aussaattermin Anfang Juni.

Gesät werden sollte mit pneumatischen Einzelkornsägeräten mit speziellen Sonnenblumenscheiben. Trotzdem kann es, wie auch bei mechanischen Einzelkornsägeräten, zu Doppel- und Mehrfachbelegungen oder Fehlstellen kommen, da die Sonnenblumensaat ein relativ geringes Gewicht und unterschiedliche Kornformen besitzt. Daher darf eine Arbeitsgeschwindigkeit von 5-6 km/h nicht überschritten werden. Weiter muss für eine ausreichende Abdeckung des Sonnenblumenkorns und, durch entsprechende Druckrollen, auch für genügend Bodenschluss gesorgt werden. Die Ablagetiefe beträgt 3 bis maximal 5 cm. Wichtig ist eine gleichmäßige Saattiefe, damit auch ein gleichmäßiger Auflauf möglich ist. Die Feldaufgangsrate liegt bei 75-90 % (Hugger, 1989).

Nach Hugger (1989) ist auf erosionsgefährdeten Standorten die Direktsaat in abgefrorene Zwischenfruchtbestände möglich. Schuster und Marquardt (2000) beurteilen die Direktsaat hingegen als ‚nicht erfolgreich‘, wobei sie die reduzierte Bodenbearbeitung im Vergleich zur konventionellen Bodenbearbeitung als ‚ebenbürtig‘ einschätzen.

Die Saatmenge hängt im Wesentlichen vom Standort und der angestrebten Nutzung der Sonnenblume ab. Den höchsten Trockenmasseertrag erzielt man, auf Standorten mit guter Wasserhaltekapazität bei 18 Pflanzen pro m<sup>2</sup> und 40 cm Reihenabstand (Schuster und Marquardt 2000). Bei der traditionellen Kornnutzung der Sonnenblume sind 30.000 Pflanzen je Hektar die unterste Grenze. Mehr als 70.000 Pflanzen bringen keine Ertragsvorteile mehr, höherer Befall von Krankheiten sind die Folgen (Lindemann, Hunger, Weickel, 1988). Nach Lütke Entrup, Oehmichen (2000) sind Bestandesdichten von 6 bis 7 Pflanzen pro m<sup>2</sup> (60.000 bis 70.000 Pflanzen pro ha) und ein Reihenabstand

von 45 bis 60 cm anzustreben. Auch Reihenabstände von 75 cm, wie sie im Maisanbau üblich sind, können auf leichten Böden und Bestandesdichten von 5 Pflanzen pro m<sup>2</sup> ausreichende Erträge bringen. Höhere Bestandesdichten sind bei diesem Reihenabstand problematisch, da der Abstand innerhalb der Reihen zu gering wird. Die Pflanzen werden länger und somit erhöht sich die Lagergefahr (Hugger, 1989).

Bei einer durchschnittlichen Aufgangsrate von 80 % und einer gewünschten Bestandesdichte von 7 Pflanzen/m<sup>2</sup> errechnet sich die Aussaatmenge wie folgt:

$$\text{Aussaatmenge} = \frac{7 * TKG}{80} \text{ kg / ha}$$

Danach ergibt sich, bei einem Tausendkorngewicht von 60 g, eine Saatgutmenge von 5,25 kg/ha (Lindemann, Hunger, Weickel 1988).

### 2.3.3 Pflege

Die Pflege der Sonnenblumenbestände kann mit der aus dem Zuckerrübenbau bewährten Maschinenhacke durchgeführt werden. Laut Hugger (1989) kann in Verbindung mit einer Bandspritzung der Herbizidaufwand dadurch um 50 % gesenkt werden. Nach Lindemann, Hunger, Weickel (1988) sind Mehrerträge von 7 bis 14 % möglich. In der ersten Entwicklungsphase der Pflanzen, der Ausbildung des kräftigen Wurzelwerks, wirkt die Hacke sehr positiv auf das Pflanzenwachstum. Bessere Durchlüftung des Bodens, somit erhöhter Gasaustausch und schnellere Bodenerwärmung sowie eine verbesserte Wasserinfiltration, weniger kapillare Wasserverluste und die Aktivierung der Nährstoffmobilisierung sind die positiven Folgen der Maschinenhacke. Auf schwach verunkrauteten Standorten kann die Hacke den Herbizideinsatz sogar ersetzen (Lindemann, Hunger, Weickel, 1988).

Bei dem Einsatz der Hacke sollten zwei Durchgänge gefahren werden. Die erste Hacke nach dem Auflaufen der Pflanzen (bis 10 cm Pflanzenhöhe) mit Hohlschutzscheiben, die Zweite vor Reihenschluss bei einer Pflanzenhöhe von 20-30 cm. Hierbei ist nach Hugger (1989) ‚äußerst schonend‘ zu arbeiten, da die Pflanzen leicht abknicken und sehr spröde sind.

Derzeit sind 58 Herbizide im Sonnenblumenanbau vom Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit zugelassen (Stand 13.08.2007). Da die jungen Pflanzen nach dem Auflaufen bis zur Ausbildung des 5. Blattes

sehr empfindlich gegenüber Unkrautkonkurrenz sind (Hugger, 1989), kann der Einsatz von Herbiziden sinnvoll sein. Anwendungshinweise und Auflagen sind den jeweiligen Produkten zu entnehmen. Nach der Ausbildung des 5. Blattes entwickelt der gleichmäßig geschlossene Bestand eine hohe Konkurrenzkraft gegenüber Unkräutern (Hugger, 1989).

Fungizide können den Befall der Sonnenblume mit Pilzkrankheiten wie *Sclerotinia sclerotiorum* oder *Botrytis cinerea*, die beiden wichtigsten Erreger, kaum verhindern. Schuster und Marquardt (2000) bezeichnen den Einsatz chemischer Mittel als ‚wenig effizient und unökonomisch‘. Nur ein ‚komplexes Zusammenwirken von acker- und pflanzenbaulichen und phytosanitären Maßnahmen‘ (Lütke Entrup, Oehmichen, 2000) kann Erfolg in der Bekämpfung dieser beiden Pilzkrankheiten bringen. Vom Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit sind derzeit 87 Fungizide im Sonnenblumenanbau zugelassen (Stand 13.08.2007). Zu den acker- und pflanzenbaulichen Maßnahmen zählen die Einhaltung der Anbaugrenzen (siehe Kap. 2.3.4), die richtige Einordnung in die Fruchtfolge, die Wahl frühreifer Sorten, der richtige Aussattermin sowie keine überhöhte Stickstoffdüngung (siehe Kap. 2.2.3) (Lütke Entrup, Oehmichen, 2000). Weiter ist die Sonnenblume als ‚sehr empfindlich‘ (Hugger, 1989) gegenüber Hagel einzustufen. Im Stadium der Blüte reagiert die Pflanze auf Blattverlust mit enormen Ertragsdepressionen bis hin zum Totalverlust. Neben dem Blattverlust treten durch Hagel auch Beschädigungen am Korb, durch Beschädigung des Stengels Welke oder bei starkem Hagel auch Stengelbruch auf (Lindemann, Hunger, Weickel, 1988; Hugger, 1989).

#### 2.3.4 Krankheiten

Mehr als 80 verschiedene Krankheiten sind bekannt. Zwölf davon sind nach Lindemann, Hunger, Weickel (1988) als ‚stark schädigend‘ einzustufen. Zu diesen zählen die Weißfäule, auch Wurzel-, Kopf- und Stängelfäule genannt, (*Sclerotinia sclerotiorum*), die Graufäule (*Botrytis cinerea*) und die Welkekrankheit (*Verticillium dahliae*). Weitere Krankheiten der Sonnenblume sind: Falscher Mehltau (*Plasmopara halstedii*), Diaporthe-Stängelfäule (*Phomopsis helianthi*), Alternaria Blattflecken-Krankheit (*Alternaria helianthi*),

Braun-schwarz gefleckte Basisstängel-Fäule (*Macrophomina phaseoli*), Schwarzfleckigkeit des Stängels (*Phoma oleracea*), Sonnenblumenrost (*Puccinia helianthi*), Echter Mehltau der Sonnenblume (*Erysiphe cichoracearum*), sowie Bakterienkrankheiten und Schmarotzerpflanzen (Schuster, Marquardt, 2000).

*Sclerotinia sclerotiorum* ist ‚eine der verbreitetsten Krankheiten‘ (Schuster, Marquardt, 2000) im Sonnenblumenanbau. Sie ist eine wirtspflanzen-spezifische Pilzkrankheit, welche auch auf anderen Kulturen wie Raps, Tabak, Soja, Leguminosen und Gemüsearten auftritt. Unter mitteleuropäischen Klimaverhältnissen kann der Befall zu starken Schädigungen bis hin zum Totalausfall führen. Der Pilz befällt die Wurzel, den Stängel, die Blätter, die Knospe sowie den reifenden Korb der Sonnenblume. Auf der befallenen Wirtspflanze werden schwarze Dauermyzelien (Sklerotien) gebildet, welche im Boden bis zu 10 Jahre überleben können. Die Infektion kann auf zwei verschiedenen Wegen erfolgen: Erstens über direktes Eindringen des Pilzmyzels aus dem Boden in den Stängelgrund oder durch die Infektion mit Askosporen. Diese werden aus den Apothecien herausgeschleudert und durch den Wind verbreitet (Schuster, Marquardt, 2000; Hugger, 1989).

Die Bekämpfung von *Sclerotinia sclerotiorum* mit Fungiziden ‚zeigten bisher keine oder nur geringe Erfolge‘ (Schuster, Marquardt, 2000). Wichtig ist, den Bodenvorrat an Sklerotien so gering wie möglich zu halten. Dies kann durch pflanzenbauliche Maßnahmen und durch Saatgutaufbereitung erfolgen (Hugger, 1989). Zu diesen Maßnahmen zählen unter anderem die Einhaltung von Anbaupausen nach Auftritt der Krankheit von fünf bis sieben Jahren, in welcher keine Wirtspflanze angebaut werden darf, (Schuster, Marquardt, 2000), nicht zu dichte und üppige Bestände, die Wahl resistenter Sorten, sowie das Aussetzen der Beregnung zu Blühbeginn, da zu diesem Zeitpunkt die Pflanze am anfälligsten gegenüber der Infektion durch Askosporen ist (Hugger, 1989). Zur Saatgutaufbereitung zählt die Beizung, welche gegen Infektionen aus dem Boden gute Erfolge bringen kann (Schuster, Marquardt, 2000). Laut Lindemann, Hunger, Weickel (1988) zählt die Beizung zu den ‚unverzichtbaren Maßnahmen‘ im Sonnenblumenanbau, da sie einen ‚guten Keimlingsschutz gewährleistet‘.

Nach Hugger (1989) kann eine ‚Frühinfektion durch *Sclerotinia*‘ durch die Anwendung von 3 dt/ha Kalkstickstoff auf den ca. 30 cm hohen Bestand in ‚Grenzen‘ gehalten werden.

Die Graufäule (*Botrytis cinerea*) ist in semi-humiden und humiden Klimatalagen ebenfalls eine weit verbreitete Sonnenblumenkrankheit. Befallen werden die Blätter, die Blütenknospen und vor allem der reifende Fruchtkorb (Schuster, Marquardt, 2000). Die Schäden belaufen sich jedoch nicht bis zum Totalausfall wie durch *Sclerotinia sclerotiorum*, 5-36 % Ertragsverlust sind laut Schuster und Marquardt (2000) jedoch möglich. Bei der Bekämpfung von *Botrytis* spielt die Fruchtfolge keine wichtige Rolle. Die Witterung während der abgehenden Blüte und der Reifephase ist entscheidend für die Intensität der Infektion, da die Pflanze zu diesem Zeitpunkt sehr empfindlich gegenüber der Infektion durch Konidien (Sporenketten) ist. Bei trockenen Verhältnissen ist selbst bei starkem Befall nur ein geringer Ertragsverlust zu erwarten. Feuchte Verhältnisse während der Abreife können zu einem ‚regelrechten Wegfaulen‘ des Bestandes führen. Die Ausbreitung des Pilzes wird durch zu dichte Bestände und zu hohe Stickstoffgaben gefördert (Hugger, 1989).

Die Welkekrankheit (*Verticillium dahliae*) ist in den gemäßigten Klimagebieten eine weit verbreitete Sonnenblumenkrankheit. Sie besitzt einen sehr großen Wirtspflanzenkreis (350 Pflanzenarten), im Sonnenblumenanbau ist sie jedoch noch von geringer wirtschaftlicher Bedeutung (Hugger, 1989).

Die Ausbreitung des Pilzes erfolgt über die im Boden keimenden Mikrosklerotien, welche die Wurzeln der Wirtspflanzen befallen. Durch warme und feuchte Witterung in trockenen Jahren wird die Ausbreitung gefördert. Bei starkem Befall kann der Ertragsausfall 20-50 %, in Einzelfällen sogar bis zu 100 % betragen. Typisches Symptom der Welkekrankheit ist das Welken der Pflanze im Knospenstadium oder bei Blühbeginn, sie wird braun und stirbt ab. Bei geringerem Befall kommt es zu einer vorzeitigen Abreife der, im Vergleich zu nicht befallenen Pflanzen, etwas kleiner gebliebenen Pflanzen (Schuster, Marquardt, 2000; Hugger, 1989).

Bekämpft werden kann der Pilz am besten durch richtige Fruchtfolgegestaltung. So sollte der Anbau von Wirtspflanzen des Pilzes vermieden werden, wobei Getreide nicht dazu zählt. ‚Glücklicherweise‘ wurden schon frühzeitig

Resistenzen gegen *Verticillium* gefunden (Schuster, Marquardt, 2000). Zudem sind resistente Wildarten weit verbreitet (Hugger, 1989).

### 2.3.5 Schädlinge

Eine große Menge an tierischen Schädlingen ist im Sonnenblumenanbau bekannt. Man unterscheidet zwischen Saatschädlingen, Schädlingen an Keim- und Jungpflanzen, Schädlingen an den Blättern, Schädlingen am Blütenkorb und Schädlingen bei der Abreife. Zu den Saatschädlingen zählen im Boden lebende Insekten wie Drahtwürmer, Engerlinge, Springschwänze und Erdraupen. Bei kühlen Bodentemperaturen und langsam auflaufender Saat können diese erhebliche Schäden verursachen. Tauben, Finkenvögel, Krähen, Fasane und Feldhühner scharren die Saat aus dem Boden, Feldmäuse fressen die Körner meist vom Feldrand her. Die Aussaattiefe sollte also nicht zu flach gewählt werden. Tauben und Feldmäuse zählen neben den Schnecken und Wildtieren auch zu den Schädlingen an Keim- und Jungpflanzen. Diese fressen die Keimblätter und Knospen. Schnecken können bis zum 3.-Blattstadium sogar einen Totalausfall verursachen. Die Bekämpfung der Schnecken ist mit 6 kg/ha Schneckenkorn möglich (Schuster, Marquardt, 2000; Hugger, 1989).

Wichtigster Schädling an den Blättern ist die Blattlaus. Sie verursacht Saugschäden an den jüngsten Blättern. Diese verkrüppeln und sterben schließlich ab, womit sie eine ideale Angriffsmöglichkeit für *Sclerotinia* und *Botrytis* darstellen. Vom 2.-Blattstadium bis zur Knospenbildung stellen die Blattläuse eine Gefahr für den Sonnenblumenbestand dar. Vor Beginn der Blüte bricht die Blattlauspopulation zusammen, bei nicht zu starkem Befall kann sich der Bestand auch wieder gut erholen. Bekämpft werden können die Blattläuse mit den, aus dem Getreidebau bekannten, nützlingsschonenden Insektiziden (Hugger, 1989). Vom Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit sind derzeit 147 Insektizide im Sonnenblumenanbau zugelassen (Stand 04.09.2007).

Zu den Schädlingen am Blütenkorb zählt die Raupe des Sonnenblumenzünslers. Sie frisst die Kerne von unten an. Dafür bohrt sie sich durch die Hochblätter in den Blütenkorb. Der Schaden bleibt jedoch gering (Hugger, 1989).

Vogelfraß ist ein wichtiger ertragsmindernder Faktor während der Abreife. Gerade in Ortsnähe tritt dieser vermehrt auf. Der Schaden beginnt direkt nach der Blüte. Zu diesem Zeitpunkt sind die Kerne noch weich, sie werden ganz verzehrt. Mit fortschreitender Reife werden die Kerne härter, die Vögel brechen nur die Schale auf und fressen nur noch den Kerninhalt (Hugger, 1989). Der Schaden bleibt nach Hugger (1989) ‚auf größeren zusammenhängenden Flächen (...) unbedeutend‘. Laut Lindemann, Hunger, Weickel (1988) kann das ‚Anbringen von Sitzstangen für Raubvögel Abhilfe schaffen‘.

### 2.3.6 Ernte

Die Ernte der Sonnenblumen erfolgt im traditionellen Sonnenblumenanbau mit dem Mährescher. Dieser muss für die Sonnenblumenernte im Vergleich zur Getreideernte jedoch umgerüstet werden.

Wird die Sonnenblume als Energiepflanze angebaut, so ergeben sich neue Ansprüche an die Erntetechnik. Jetzt stehen nicht mehr die reifen Körner im Blickpunkt der Ernte, sondern die ganze Pflanze als Lieferant von Biomasse (Ganzpflanzensilage). Um die Ganzpflanzensilage möglichst effizient zu ernten, werden ‚selbstfahrende Großhäcksler‘ (Karpenstein-Machan, 2005) eingesetzt. Das Häckselgut wird dabei im Parallelverfahren auf schleppergezogene, selbstentladende Häckselgutwagen übergeben und zur Lagerung auf einer Siloplatte entladen und verdichtet (Karpenstein-Machan, 2005). Reihenunabhängige Vorsätze am Feldhäcksler bieten sich an, da diese durch die Silomaisernte meist schon vorhanden sind. Ein besserer Aufschluss der Körner kann durch den Einsatz des Corn-Crackers erfolgen (KWS,o.J.). Die Länge des Häckselgutes spielt für den späteren Aufschluss im Fermenter eine wichtige Rolle. Eine gleichmäßige Schnittlänge von 3 bis 4 mm sollte angestrebt werden. Ungleichmäßige oder längere Schnittlängen wirken sich negativ auf die Methanausbeute, den Rühraufwand und die Schwimmschichtbildung im Fermenter aus (Karpenstein-Machan, 2005). Längere Schnittlängen sollten nur bei zu geringen Trockensubstanzgehalten (< 28% TS) gewählt werden, um die Sickersaftbildung zu verringern. ‚Sonnenblumen (...) liegen in TS-Gehalten oft deutlich unter 28%. Es wird Sickersaft im Umfang von 110 Liter/t Frischgut erwartet. Dieser muss (...) in dem entsprechenden Sickersaftbehälter

zwischengespeichert werden' (Karpenstein-Machan, 2005). Der Sickersaft wird entweder dem Fermenter zugeführt oder dient als Flüssigdünger.

Die Silierfähigkeit der Sonnenblume ist nach 120-160 Wachstumstagen, in Abhängigkeit der Sorte, des Standortes und der Aussaatzeit erreicht. Bei später Aussaat im Juni wird die Silierfähigkeit aufgrund des höheren Angebots an Licht und Wärme früher erreicht, da der Ablauf der Entwicklungsphasen beschleunigt wird. Der richtige Erntezeitpunkt (TS-Gehalt > 28%) tritt in der Regel ca. vier Wochen nach der Blüte auf. Die Korbrückseite sollte sich gelb verfärbt haben (KWS,o.J.).

## **2.4 Siliereigenschaften**

„Die Konservierung beruht [...] auf den Prinzipien „Luftabschluss“ und „Ansäuerung“. Dabei gilt [...], die Bedingungen für die Milchsäurebakterien möglichst günstig und für die Gärschädlinge ungünstig zu gestalten' (Nußbaum, 2006).

Die Anforderungen an die Silierung von Energiepflanzen unterscheiden sich von der herkömmlichen Futterkonservierung hauptsächlich dadurch, dass ‚für die Biogaserzeugung vor allem die Bildung von Essigsäure erwünscht ist‘. Zudem werden sie ‚häufig etwas feuchter und kürzer einsiliert‘ (Nußbaum, 2006). ‚Die Energiepflanzen müssen einen ausreichend hohen Gehalt an leicht verfügbaren Kohlenhydraten aufweisen, damit eine schnelle Säurebildung einsetzt, die Voraussetzung ist für eine gute Stabilisierung mit geringen Energieverlusten‘ (Weiland, 2006). Natürlich steht die homofermentative Milchsäurebildung im Vordergrund der Silierung, mit der erwünschten Essigsäurebildung ist ein höherer tolerierbarer Anteil an heterofermentativ gebildeter Essigsäure gemeint. Neben ausreichend leicht verfügbaren Kohlenhydraten (Zucker) sind für eine erfolgreiche Konservierung der Sonnenblumen noch die Pufferkapazität, der sich daraus ergebende Zucker/Pufferkapazitätsquotient (Z/Pk-Quotient), der pH-Wert, sowie die Nitratkonzentration von Bedeutung. Die Nitratkonzentration sollte ca. 0,5 % betragen, da Nitrat in der Silage die unerwünschte Buttersäuregärung erschwert. Außer bei extensiv bewirtschaftetem Grünlandaufwuchs ist diese

erwünschte Nitratkonzentration durch die Stickstoffdüngung in der Regel gegeben. Der Z/Pk-Quotient der Sonnenblume ist in der Literatur nicht zu finden, er kann spekulativ jedoch aus dem relativ hohen Rohaschegehalt von 122 g je kg TS und dem relativ geringen Rohproteingehalt von 88 g je kg TS (DLG-Futterwerttabelle, 1997) als mittelmäßig eingestuft werden (Laser, 2007). ‚Die Silierung ölhaltiger Pflanzen mit geringem Zuckeranteil ist daher häufig nur in Kombination mit anderen Pflanzen möglich‘ (Weiland, 2006). KWS (o. J.) empfiehlt in einem Anbauratgeber zur Energiesonnenblume KW 0411 ‚bei geringen TS-Gehalten [...] eine Mischsilage mit Mais‘. Um Sickersaftverluste zu vermeiden, sollte die Sonnenblume erst mit TS-Gehalten größer 28 % geerntet werden (siehe 2.3.6 Ernte).

Verluste durch Lufteintritt, Verschmutzungen und zu feuchte Silage sind unbedingt zu vermeiden. Die Folgen wären Schimmelbildung, Fäulnis, Nacherwärmung und Buttersäuregärung. Beispielsweise sollte Schimmelbildung unbedingt vermieden werden, da die Stoffwechselprodukte der Schimmelpilze die Methanbildner hemmen und somit Prozessstörungen hervorrufen (Weiland, 2006). Daher ist auf eine luftdichte Abdeckung der Silage, geringe Verschmutzungsgrade, hohe Verdichtung und eine saubere und möglichst kleinflächige Anschnittfläche bei der Entnahme zu achten.

## **2.5 Sorten**

Die beschreibende Sortenliste für Getreide, Mais, Ölfrüchte, Leguminosen und Hackfrüchte 2006 enthält 8 in Deutschland zugelassene Sonnenblumensorten. Diese sind auf Körnernutzung geprüft. Spezielle Züchtungen zur Biomassenutzung der Sonnenblumen befinden sich derzeit noch in der Zulassung. ‚In den nächsten Jahren ist mit einer Reihe von Neuzüchtungen aus dem Hause KWS zu rechnen, die auf die Anforderungen der Verwertung in der Biogasanlage optimiert werden‘ (KWS, o. J.). Auch die Firma Euralis Saaten, sowie die Firma Pioneer arbeiten zur Zeit an speziellen Energiesonnenblumen. Innerhalb der zugelassenen Sorten gibt es große Unterschiede in den Faktoren Krankheitsresistenz, Blühbeginn, Reife, Pflanzenlänge, Neigung zu Lager, Tausendkorngewicht, Kornertrag, Ölertrag, Ölgehalt sowie Ölsäuregehalt.

Spezielle High-Oleic Sorten weisen einen Ölsäuregehalt von mehr als 90 % auf. Diese sind in der industriellen Nutzung sehr gefragt, da sie mit über 90 % Ölsäure ein sehr reines Öl besitzen.

### **3 Betriebsvorstellung**

Um eine gute Grundlage für die Analyse und die Bewertung der Sonnenblume zur Biogasproduktion zu erhalten, werden im Folgenden die Betriebe von ... und ... aus dem nordhessischen Heimarshausen/Züschen als Beispiele herangezogen. Aus beiden Betrieben wurde im Jahr 2005 die Bioenergie GbR ... gegründet. Gemeinsam bewirtschaften die beiden Betriebsleiter 145 ha landwirtschaftliche Nutzfläche (davon ca. 10 ha Grünland), sowie eine 280 kW Biogasanlage. Zudem bildet die Ferkelproduktion und die Ferkelmast ein weiteres Standbein der beiden Betriebe.

Kapitel 3 beschreibt den Standort des Betriebes, die landwirtschaftliche Produktion, die Fruchtfolge, den Arbeitskräftebesatz, die Arbeitszeitverteilung und den Maschinenpark, wobei die Betrachtung der Arbeitszeitverteilung vertieft wird.

#### **3.1 Standort**

Der Betrieb der Bioenergie GbR ... befindet sich im nordhessischen Heimarshausen. Das kleine Dorf hat ca. 350 Einwohner und ist ein Ortsteil der Stadt Naumburg im Landkreis Kassel. Ein Großteil der bewirtschafteten Flächen befindet sich jedoch in der benachbarten Gemeinde Züschen, welche zur Stadt Fritzlar im Schwalm-Eder-Kreis zählt. Die landwirtschaftlichen Standortfaktoren sind innerhalb dieser beiden Gemarkungen sehr unterschiedlich. So treten beispielsweise Schwankungen der Bodenwertzahlen von 15-85 Bodenpunkten auf einem Schlag auf. Im Durchschnitt besitzen die bewirtschafteten Flächen 55 Bodenpunkte. Die mittlere Schlaggröße beträgt 3,8 ha, die mittlere Hof-Feld-Entfernung 4 km. Weiter kann man in den Bodenarten des Betriebes starke Schwankungen feststellen. Diese reichen von Basaltstein- und Sandsteinverwitterungsböden über flachgründige Kalksteinböden und schwere Lehmböden bis hin zu sehr guten Löß-Lehmböden. Dazu kommt oft eine starke Hängigkeit, da die Höhe über NN ebenfalls stark schwankt. Im Durchschnitt beträgt die Höhe der Flächen 245 m über NN, sie reicht jedoch von 195 m im Elbetal bis auf 295 m am Fuße des Herrberges. Die

Klimaverhältnisse entsprechen weitestgehend dem Durchschnitt. Im fünfjährigen Mittel (von August 2002 bis August 2007) errechnet sich für den Standort Fritzlar eine Durchschnittstemperatur von 10,1 °C, sowie ein durchschnittlicher Niederschlag von 565,8 mm pro Jahr (Wetter-online.de, 2007).

### **3.2 Landwirtschaftliche Produktion**

Neben der Weizenproduktion konzentrieren sich die landwirtschaftlichen Arbeiten auf die Produktion von Biomasse. Zu dieser zählen vor allem Silomais, Grünroggen GPS, Gerste GPS, Sonnenblumen GPS und verschiedene Grünlandaufwüchse. Der durchschnittliche Weizenertrag liegt in etwa bei 75 dt/ha, der durchschnittliche Ertrag der Biomasse bei ca. 15 t TM/ha. Neben diesen beiden Schwerpunkten werden auf dem Betrieb ... noch 3500 Ferkel pro Jahr gemästet. Weiter verfügt der Betrieb ... über 100 Endmastplätze. Der Betrieb ... betreibt zusätzlich einen Sauenstall mit 200 Plätzen. Pro Sau werden jährlich 22,41 Ferkel abgesetzt.

### **3.3 Fruchtfolge**

Siehe Kap. 5.1 Bedeutung der Sonnenblume im Betrieb, Fruchtfolge

### **3.4 Arbeitskräftebesatz**

Die beiden Betriebsleiter stellen zwei volle Arbeitskräfte (Ak) zur Verfügung. Hinzu kommt noch eine halbe Ak auf dem Betrieb ..., welche sich ausschließlich um die Ferkelproduktion kümmert.

Eine fixe, flexible studentische Aushilfskraft, sowie mehrere Aushilfen während der Biomasseernten unterstützen die Betriebsleiter in den Arbeitsspitzen (siehe Kap. 3.5 Arbeitszeitverteilung).

Während der Biomasseernten übernimmt ein Lohnunternehmen die Arbeiten Häckseln und Walzen, sowie das Mähen des Grünroggens und der

---

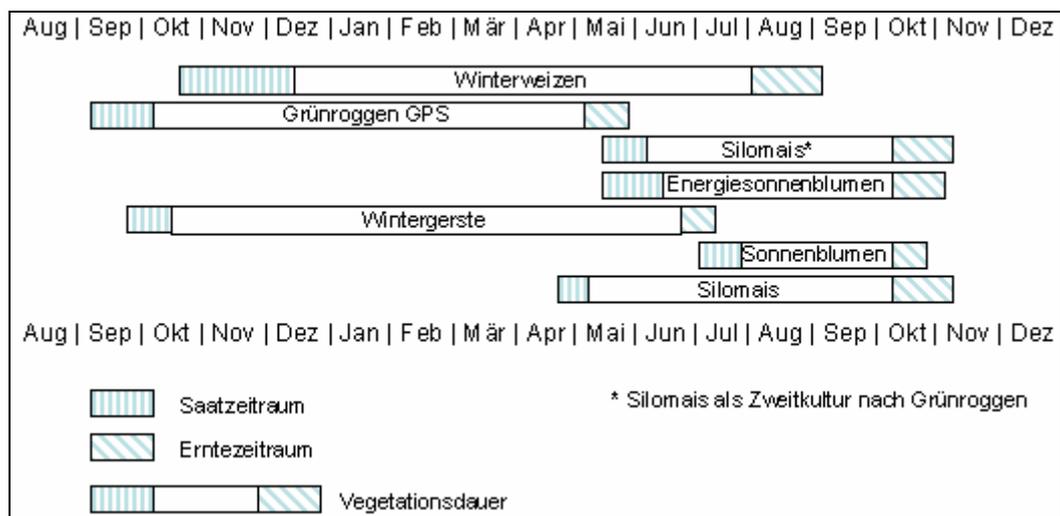
Grünlandflächen. Das Maislegen wird zum Teil durch ein weiteres Lohnunternehmen durchgeführt.

### 3.5 Arbeitszeitverteilung

Auf Grund der unter Kap.3.2 beschriebenen Produktionsschwerpunkte ergeben sich drei Arbeitsfelder. Die ackerbaulichen Arbeiten, die Tierproduktion, sowie die Arbeiten rund um die Biogasanlage. Im Folgenden sollen diese drei Schwerpunkte mit Blick auf die Arbeitszeitverteilung vorgestellt werden.

#### 3.5.1 Ackerbauliche Arbeiten

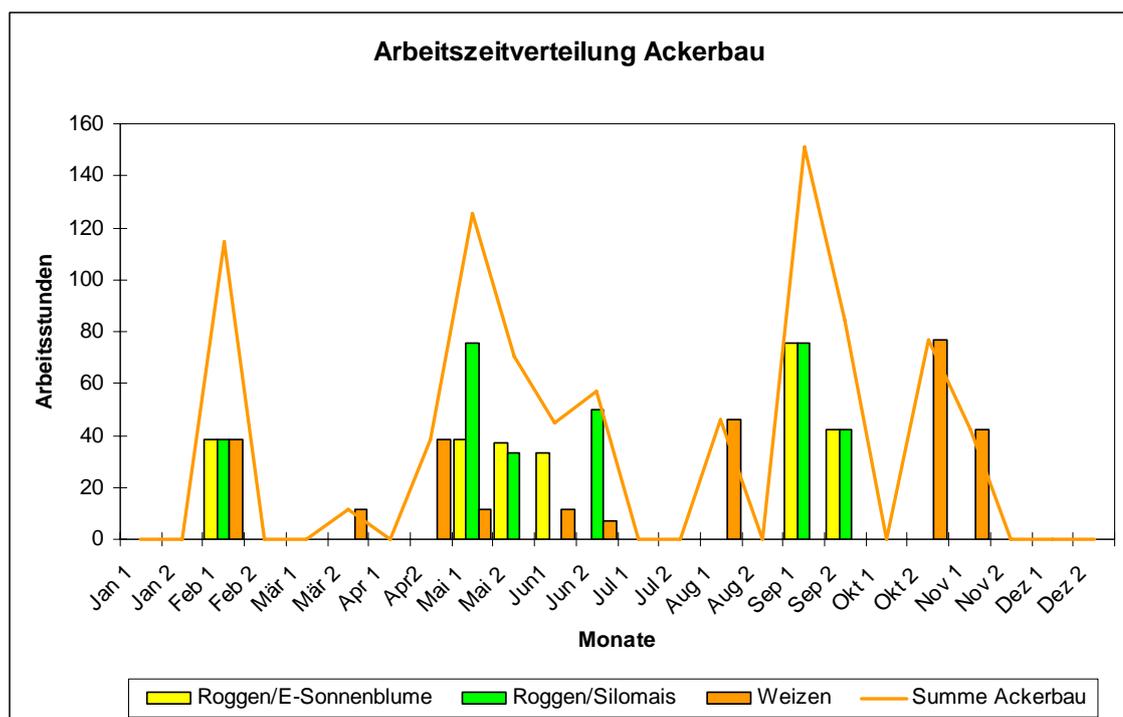
Abbildung 3-1 zeigt die Arbeitszeitverteilung der ackerbaulichen Arbeiten. Es sind die jeweiligen Saat- bzw. Erntezeiträume sowie die gesamte Vegetationszeit der im Betrieb angebauten Kulturen innerhalb von 15 Monaten dargestellt. Durch die Anhäufung der schraffierten Flächen (Arbeitszeit-intensive Saat-/Erntezeiträume) in den Monaten Mai, Juni, September und Oktober sind die Arbeitsspitzen leicht erkennbar.



**Abbildung 3-1** Vegetationszeit, Ernte- und Saatzeiträume der Kulturen im Betrieb (eigene Abbildung, verändert nach Kuhlmann 2003)

Abbildung 3-2 stellt die Arbeitszeitverteilung der ackerbaulichen Arbeiten im Laufe eines Jahres dar. Auf der x-Achse sind die Monate aufgetragen, jeweils unterteilt in erste Hälfte des Monats (z. B: Mai 1) und zweite Hälfte des Monats

(Mai 2). Die y-Achse beinhaltet die Arbeitsstunden. Somit ist erkennbar, in welcher Monatshälfte viel und in welcher wenige Arbeitsstunden zu verrichten sind. Weiter sind die einzelnen Fruchtfolgeglieder dargestellt, sowie eine Summenkurve für die gesamte Fruchtfolge. Zu den beiden oben schon erwähnten Arbeitsspitzen ist in Abbildung 3-2 eine dritte Arbeitsspitze erkennbar. Diese beruht auf der Gärrestausrückführung nach Ende der Sperrfrist Anfang Februar. Abbildung 3-1 beinhaltet neben der alten Fruchtfolge (siehe Kap.5.1) mit den Fruchtfolgegliedern Weizen, Gerste GPS/Sonnenblume und Roggen GPS/Silomais auch die neue Fruchtfolge, in welcher die Gerste durch Roggen, sowie die Zweitfrucht Sonnenblume durch die Energiesonnenblume (E-Sonnenblume) ersetzt wird. Weiter wird der Silomais als Zweitkultur und als normaler Silomais nach Schwarzbrache dargestellt. Abbildung 3-2 beruht jedoch nur auf der neuen Fruchtfolge.



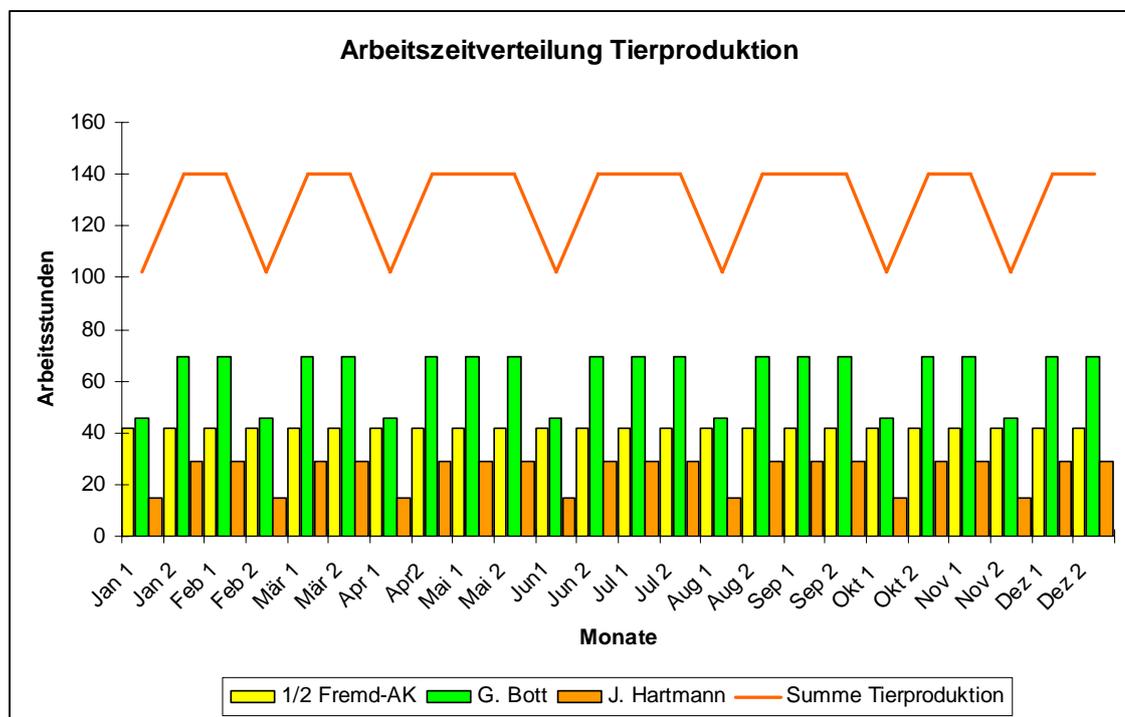
**Abbildung 3-2** Arbeitszeitverteilung Ackerbau (eigene Abbildung)

Die Datengrundlage für Abbildung 3-2 kann dem Anhang entnommen werden. Dabei muss jedoch darauf geachtet werden, dass die Ernte der beiden Fruchtfolgeglieder Roggen GPS/Energiesonnenblume und Roggen GPS/Silomais nicht mit einbezogen ist. Diese werden von einem Lohnunternehmen durchgeführt, die Eigenleistung der Betriebsleiter und der Erntehelfer sind in den Arbeiten der Biogasanlage (siehe Kap. 3.5.3)

berücksichtigt, da die Bioenergie GbR die Rohstoffe ab Feld bezieht. Zudem sind die Arbeiten der Einzelkornaussaat von Mais und Energiesonnenblumen miteinbezogen, obwohl sie zurzeit noch von einem Lohnunternehmen erledigt werden. Dies beruht auf der geplanten Anschaffung einer eigenen, geeigneten Drille.

Die benötigte Gesamt-Arbeitszeit für die ackerbaulichen Arbeiten beträgt ca. 864 Stunden.

### 3.5.2 Arbeiten Tierproduktion

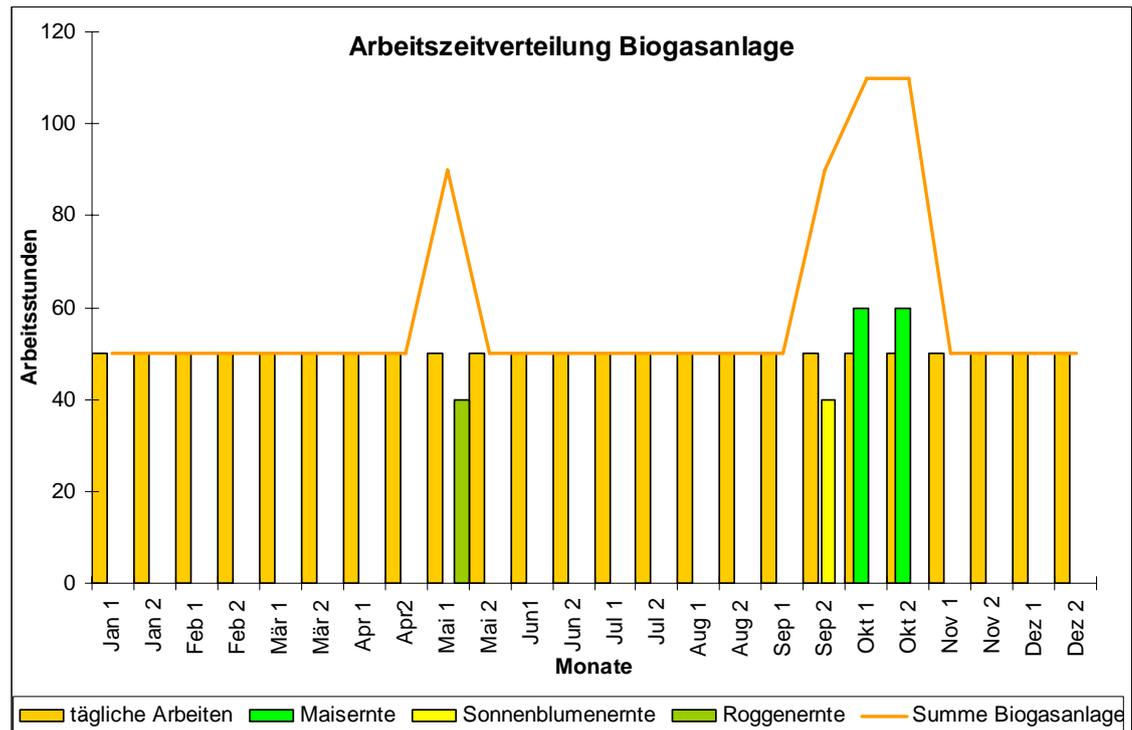


**Abbildung 3-3** Arbeitszeitverteilung Tierproduktion (eigene Abbildung)

Abbildung 3-3 zeigt die Arbeitszeitverteilung innerhalb der Tierproduktion. Betriebsleiter ... betreibt einen Ferkelmaststall, sowie einige Endmastplätze, Betriebsleiter ... betreibt einen Sauenstall. Die Arbeitszeit ist über das ganze Jahr mit gleichmäßigen Schwankungen verteilt. Die Schwankungen beruhen auf dem 3-Wochen Rhythmus der Ferkelproduktion, da alle 3 Wochen abgesetzt wird. Dadurch ergeben sich nicht nur für den Sauenstall 3-Wochen-Zyklen, sondern auch für die Ferkelmast. Betriebsleiter ... wird dabei von einer halben Fremd-Arbeitskraft unterstützt, welche pro Jahr ca. 1000 Arbeitstunden

ableistet. Somit ergibt sich ein Arbeitsaufwand für die Tierproduktion von ca. 100 Stunden pro halber Monat, bzw. ca. 140 Stunden während des Absetzens. Die benötigte Gesamt-Arbeitszeit für die Tierproduktion beträgt pro Jahr ca. 3100 Stunden.

### 3.5.3 Arbeiten Biogasanlage



**Abbildung 3-4** Arbeitszeitverteilung Biogasanlage (eigene Abbildung)

Auf obigem Schema der Darstellungen beruht auch Abbildung 3-4. Hier werden die Arbeiten rund um die Biogasanlage dargestellt. 100 Stunden pro Monat (50 h pro ½ Monat) werden für die täglichen Arbeiten benötigt. Darunter sind Arbeiten wie die zweimal tägliche Substrat-Bereitstellung, Wartungs- und Reparaturarbeiten (Ölwechsel, usw.), sowie Kontroll- und Dokumentationsarbeiten zu verstehen. Hinzu kommen die Erntearbeiten im Mai und in den Herbstmonaten von Ende September bis Ende Oktober. Diese werden in den Berechnungen der Biogasanlage zugewiesen, da die Bioenergie GbR die Rohstoffe ab Feld bezieht.

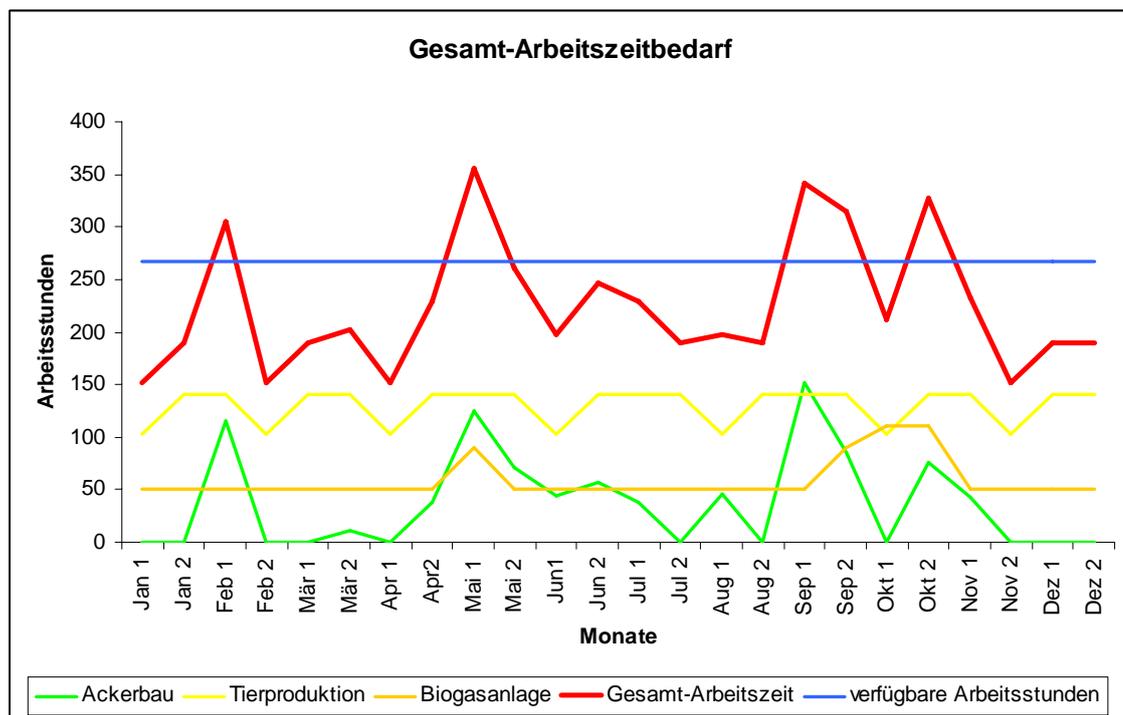
Die Arbeitstunden für Häckseln und Walzen des Erntegutes werden nicht berücksichtigt, da diese von einem Lohnunternehmen durchgeführt werden, ebenso das Mähen des Roggens und des Grünlands. Der Transport des

Erntegutes zum Silo, einen Teil des Walzens und die Abdeckung der Silohaufen werden jedoch in Eigenleistung durchgeführt. Um die Schlagkraft der Erntekette zu gewährleisten, müssen die Betriebsleiter mehrere Aushilfen einsetzen (siehe Kap. 3.4).

Jährlich werden somit ca. 1400 Stunden für den Betrieb der Biogasanlage benötigt

### 3.5.4 Gesamtbetrachtung

Aus den drei Arbeitsfeldern Ackerbau, Tierproduktion und Biogas ergibt sich die in Abbildung 3-5 dargestellte Summenkurve für die gesamten benötigten Arbeitsstunden. Zusätzlich sind die insgesamt verfügbaren Arbeitsstunden dargestellt. Diese setzen sich aus jeweils 2700 Stunden der beiden Betriebsleiter und 1000 Stunden der Fremd-Ak zusammen. Pro halben Monat ergeben sich somit 266,66 verfügbare Arbeitsstunden.



**Abbildung 3-5** Gesamt-Arbeitszeitbedarf (eigene Abbildung)

Aus der Abbildung 3-5 ist zu erkennen, dass vier Arbeitsspitzen auftreten, welche nicht durch die verfügbaren Kapazitäten abgedeckt werden können. Das relativ kleine Defizit im Februar beruht auf der Gärrestausbringung nach Ende

der Sperrfrist, welches meist durch die fixe Aushilfe abgedeckt werden kann. Ein größeres Defizit ist im Mai zu erkennen. Hier handelt es sich um die ackerbaulichen Arbeiten rund um die Roggen GPS Ernte und die anschließende Aussaat der Zweitkulturen Silomais bzw. Energiesonnenblumen. Während der Ernte sind neben der fixen Aushilfe noch ein bis zwei weitere Aushilfen engagiert. Ein benachbarter Landwirt hat sich durch den kostenlosen Bezug der Abwärme des BHKWs dazu verpflichtet, bei jeder Biomasse-Ernte eine Arbeitskraft und einen Schlepper zur Verfügung zu stellen. Die zeitlich nicht erfüllbaren Arbeiten rund um die neue Bestellung der Flächen werden meist von der fixen Aushilfe erledigt.

Die dritte Arbeitsspitze ist im September zu erkennen. Die Sonnenblumenernte, sowie ackerbaulichen Arbeiten wie Stoppelbearbeitung, Gärrestausrückführung usw. sind die Gründe dafür. Das Gleiche gilt für die Arbeitsspitze im Oktober, jedoch handelt es sich hier um die Maisernte. Wie im Mai werden auch hier die Defizite durch den benachbarten Landwirt, die fixe Aushilfe, sowie weitere Aushilfen abgedeckt. In der Maisernte sind jedoch bis zu 5 Aushilfen notwendig.

In Abbildung 3-5 werden die Sommermonate Juli und August als Monate mit relativ geringer Arbeitsbelastung dargestellt. Dies entspricht jedoch nicht der Realität, da die Grafik den Lohnbetrieb des eigenen Mähdreschers nicht mit einbezieht. Nur die Ernte der eigenen Getreideflächen ist in der Grafik enthalten. Durch den Lohndrusch von ca. 100 ha ergibt sich im Juli und August eine fünfte Arbeitsspitze, welche von den Betriebsleitern durch Überstunden selbst bewältigt werden muss. Um die Übersicht der Grafik zu erhalten, wurden die Arbeiten des Lohndrusches nicht berücksichtigt.

Die den Abbildungen 3-1 bis 3-5 zugrunde liegenden Daten sind dem Anhang zu entnehmen.

### **3.6 Maschinenpark**

Der Maschinenpark der Betriebsgemeinschaft .../... setzt sich aus mehreren Maschinengemeinschaften zusammen. Das Eigentum der Bioenergie GbR beschränkt sich auf einen 125 kW (170 PS) Schlepper, einen 3-Seitenkipper mit 16 t Gesamtgewicht, sowie eine 1,65 m breite Greifschaufel für die täglichen Futterarbeiten.

Aus dem Betrieb ... stammt ein weiterer 90 kW (125 PS) Schlepper mit Frontlader, sowie ein 16 t und ein 10 t 3-Seitenkipper.

Hinzu kommt noch ein 3-Seitenkipper mit 12 t Gesamtgewicht, welcher zum Betrieb ... zählt, sowie ein 2,9 m breites Scheibenmähwerk sowie ein Zetter mit 5,4 m Arbeitsbreite.

Bevor die Betriebsgemeinschaft der beiden Betriebe ... und ... gegründet wurde, existierte schon eine Maschinengemeinschaft zwischen den Betrieben. Dieser Gemeinschaft entstammen ein 5-Schüttler-Mähdrescher (132 kW/180 PS) mit 4,25 m Arbeitsbreite, ein 1000 l Düngerstreuer und ein 2,8 t Mini-Bagger. Mit dem Mähdrescher werden, neben den eigenen Druscharbeiten, auch Lohndruscharbeiten durchgeführt.

Ein 14 m<sup>3</sup> Pumptankwagen mit 15 m breitem Schleppschlauchverteiler zählt zu einer weiteren Maschinengemeinschaft. Diese setzt sich aus einem benachbarten Landwirt, sowie den Betrieben ... und ... zusammen (Maschinengemeinschaft .../.../...). Weiter zählen ein 4 furchiger Volldrehpflug mit Steinsicherung, ein Ringpacker, ein 3 m Flügelschargrubber mit Steinsicherung, eine 3 m breite, pneumatische Kreiseleggen-Drillkombination, eine 1000 l Pflanzenschutzspritze mit 15 m Arbeitsbreite sowie ein 8 m<sup>3</sup> Vakuumfass und eine 6 m breite Cambridgewalze zur Maschinengemeinschaft .../.../.....

Aus Sicht der Bioenergie GbR ist die Anschaffung eines Abschiebewagens in naher Zukunft sinnvoll, da durch entsprechendes Ladevolumen die Arbeitszeit bei der Bereitstellung des Futters für die Biogasanlage verkürzt werden kann. Ziel ist es, nur noch einmal am Tag zu den Futtersilos fahren zu müssen (siehe Kap. 4.1.2). Um dieses Ziel zu erreichen, muss das Ladevolumen des Abschiebewagens so gewählt werden, damit die täglich benötigten 21 t Feststoffe (siehe Kap. 4.3.2) in einem Arbeitsgang zur Biogasanlage

---

transportiert werden können. Weiter könnte ein Abschiebewagen sinnvoll in der Biomasseernte eingesetzt werden, da er gegenüber den Transportwagen des Lohnunternehmers (Kratzböden) gewisse Vorteile bietet (z.B.: Ladevolumen, Vorverdichtung, gleichmäßiges Entladen, usw.).

Aufgrund der hohen Betriebstundenzahl des 90 kW Schleppers (11500 h, Baujahr 1995) wird auch über die Anschaffung eines zweiten Schleppers für die Bioenergie GbR nachgedacht. Um den 125 kW Schlepper bei der Gülleausbringung und anderen schweren Arbeiten zu entlasten, sollte ein zweiter Schlepper mindestens 115 kW besitzen. Weiter sollte einer der Schlepper mit einem Frontlader ausgerüstet werden, da die täglichen Arbeiten der Futterbereitstellung bis jetzt noch von dem 90 kW Schlepper erledigt werden.

Zudem wird über die Anschaffung einer Direktsaatmaschine in einer Betriebsgemeinschaft mit einem großen Ackerbaubetrieb nachgedacht. Dies soll an dieser Stelle jedoch nicht weiter diskutiert werden, da die Diskussion zur Direktsaat zu weit führen würde.

Kommt es nicht zur Neuanschaffung einer Direktsaatmaschine, so wird die Anschaffung einer Einzelkorndrille die Folge sein.

## **4 Biogasproduktion**

Die Sonnenblume wird in der Bioenergie GbR ... als Energiepflanze genutzt. Sie wird als Koferment in Form von Sonnenblumensilage in der eigenen Biogasanlage eingesetzt. Kapitel 4 soll die Biogasproduktion der Bioenergie GbR erläutern. Im Folgenden werden somit die technischen und biologischen Aspekte der Biogasproduktion abgehandelt, die Zusammensetzung der Input-Substrate, die Thematik des Gärrestes, sowie das Wärmenutzungskonzept der GbR.

### **4.1 Biogasanlage**

#### 4.1.1 Planung

Die Biogasanlage der ‚... und ... Bioenergie GbR‘ wurde im Frühjahr 2005 gebaut. Geplant wurde sie von einer Gruppe interessierter Landwirte aus dem ‚Arbeitskreis Biogas‘ des Maschinenrings Kassel. Die bautechnische Betreuung übernahm die ‚Biogas Nord‘. Bereits am 04.07.2005 konnte die Anlage an das örtliche Stromnetz angeschlossen werden. Der Anschluss eines zweiten BHKWs (Block-Heiz-Kraft-Werk) erfolgte ein Jahr später, im August 2006.

#### 4.1.2 Standort

Die Biogasanlage befindet sich auf dem Betriebsgelände von .... Dieses liegt im Ortskern von Heimarshausen (siehe Kap. 3.1). Die beiden Fermenter, die Vorgrube und der Feststoffdosierer stehen auf einer ehemaligen Wiese direkt an die Betriebsgebäude angrenzend. Die beiden BHKWs sind in unmittelbarer Nähe in einem kleineren, ehemals als Hühnerstall genutzten Gebäude untergebracht.

Die Siloplatten für die Lagerung der festen Substrate befinden sich außerhalb des Dorfes. Die Entfernung zwischen Anlage und Siloplatte beträgt 1,5 km. Der Standort der Silos liegt an einer Kreuzung zweier, für die Logistik während der Ernte, wichtiger Verkehrsstrassen. Die Feld-Silo-Entfernung ist mit durchschnittlich 4 km somit möglichst gering.

In Planung ist ein Endlager für die Gärrückstände im benachbarten Ort Züschen. Dort befindet sich der Betrieb von ... und somit auch ein Großteil der bewirtschafteten Flächen (siehe Kap. 3.1). Im Zentrum dieser Flächen soll im Sommer 2007 ein Endlager errichtet werden.

#### 4.1.3 Technische Ausstattung

Die Biogasproduktion erfolgt auf dem Betrieb ... nach dem Speicher-Durchfluss-Prinzip. Dafür stehen zwei 1200 m<sup>3</sup> große Fermenter zur Verfügung. Beide sind mit einem flexiblen Gasspeicher überdacht (Doppelmembran-Gashaube). Der Fermenter ist mit zwei langsam laufenden Rührwerken der Firma ‚Enwicon‘ ausgestattet, dem ‚Biobull‘ und dem ‚Biosubstrator‘. Der ‚Biobull‘ ist fest auf dem Boden des Fermenters verankert, er besitzt 2x2 Propeller und einen außerhalb des Fermenters liegenden Motor. Die Rührintervalle setzen sich aus 48 mal täglich 15 Minuten Rühren zusammen. Der ‚Biobull‘ dreht dabei mit 30 Umdrehungen pro Minute. Der etwas kleinere ‚Biosubstrator‘ besitzt ebenfalls einen Außenmotor, jedoch keine Verbindung zum Boden. Er besteht auch nur aus einer, frei im oberen Teil des Gärraums hängenden Schraube (ähnlich einer Schiffsschraube). Mit 52 U/min läuft er etwas schneller als der ‚Biobull‘, jedoch in den gleichen Intervallen. Somit soll eine möglichst effektive Durchmischung des Gärsubstrates erfolgen und die Bildung von Schwimm- und Sinkschichten vermieden werden.

Der Nachgärer (zweiter Fermenter) ist nur mit einem Rührwerk ausgestattet. Dieses wird als ‚Tauchmotorrührwerk‘ bezeichnet und stammt von der Firma ‚Flyght‘. Es ist ein schnell laufendes Rührwerk, welches in Winkel und Höhe verstellbar ist. Somit kann immer knapp unterhalb der Füllhöhe gearbeitet werden und die Bildung von Schwimmschichten vermieden werden. Die Höhe des ‚Tauchmotorrührwerks‘ ist also dem Füllstand des Nachgärers anzupassen. Die Rührintervalle betragen 24 mal täglich 12 Minuten.

Da die Anlage nach dem Speicher-Durchfluß-Verfahren gebaut wurde, sitzt der Nachgärer einen halben Meter tiefer als der Fermenter. Somit ist die automatische Befüllung des Nachgärers über eine Überlaufleitung vom Fermenter gewährleistet. Um Verstopfungen vorzubeugen und den Überlauf

des Fermenters sicher zu stellen, wird die Überlaufleitung alle 10 Minuten 4 Sekunden lang mit Luft durchgespült („Autoblub“).

Um eine konstante Temperatur des Substrates von 39,5-41 °C im Fermenter und 36-38,5 °C im Nachgärer (mesophiler Temperaturbereich) zu gewährleisten sind beide Behälter mit einer Innenwandheizung ausgestattet (keine Fußbodenheizung). Jeweils 12 Kreisläufe pro Behälter mit ½ Zoll Kunststoffrohren leiten warmes Wasser durch die Wände. Die hierfür benötigte Energie kommt von der Abwärme der BHKWs.

Der Feststoffeintrag in den Fermenter erfolgt über einen, in den Boden eingelassenen, überdachten Feststoffdosierer der Firma ‚Huning‘. Dieser hat ein Volumen von 16 m<sup>3</sup> und beschickt die Anlage 21 mal am Tag mit jeweils einer Tonne Feststoffen. Eine elektronische Wiegeeinrichtung ermöglicht die genaue Kontrolle und Dokumentation der Beschickung.

Täglich werden neben den Feststoffen auch flüssige Substrate eingebracht. Diese lagern in der 100 m<sup>3</sup> großen Vorgrube, welche direkt vor dem Feststoffdosierer im Boden sitzt. Die Vorgrube ist mit einer Betonplatte abgedeckt, welche gleichzeitig als Arbeitsplattform bei der Befüllung des Feststoffdosierers und zum be- und entladen flüssiger Substrate (Gülle bzw. Gärrückstand) dient. In der Vorgrube befindet sich eine Tauchschneitpumpe, mit der zwei mal täglich 5 m<sup>3</sup> Gülle in den Fermenter gepumpt werden. Die Speicherkapazität der Vorgrube beträgt somit höchstens 10 Tage. Ein Volumen von 150 m<sup>3</sup> wäre, laut Betriebsleiter ..., bei diesen Pump-Intervallen durchaus sinnvoller.

Die Lagerung der Gärrückstände erfolgt bisher in zwei, ehemals als Güllebehälter genutzten Endlagern. Eines mit 500 m<sup>3</sup> Fassungsvermögen in direkter Nähe zum Nachgärer, so dass die Befüllung durch Umpumpen erfolgen kann und ein Weiteres mit 600 m<sup>3</sup> Volumen außerhalb des Ortes. Wie oben beschrieben, ist ein Drittes, großes Endlager in der Planung. Dieses soll ein Fassungsvermögen von 2400 m<sup>3</sup> besitzen. Da die Einhaltung der Sperrfrist vom 1. November bis zum 31. Januar mit der vorhandenen Endlagerkapazität nicht möglich ist, ist die Erweiterung dringend notwendig. Im vergangenen Jahr musste auf Kapazitäten in Nachbargemeinden zurückgegriffen werden.

Beide BHKWs sind in einem 7x5 m großen Technikraum untergebracht. Als Sicherheitseinrichtung ist ein großer Lufteinlass über dem Eingangstor

vorhanden. Die BHKWs sind jeweils mit Schallschutzhauben umhüllt, damit die Geräuschbelastung in der Umgebung möglichst gering bleibt.

Weiter zählt auch die Lagerung der festen Rohstoffe zur technischen Ausstattung der Biogasanlage. Die 60x30 m große Siloplatte ist die wichtigste Lagerstätte für die NaWaRo's (Nachwachsende Rohstoffe). Sie besitzt zwei Kammern mit jeweils 3 m hohen Wänden. Die große Kammer ist 20 m breit, 60 m lang und 3 m hoch, die kleine Kammer ist mit 10 m Breite nur halb so groß. Gemeinsam bilden die beiden Kammern ein Lagervolumen von 5400 m<sup>3</sup>. Zur Abdeckung der Silagen werden dünne Unterziehfolien, Silofolien, Vogelschutznetze und Sandsäcke benutzt. Der Sickersaft wird in einer Sickersaftgrube aufgefangen. In Planung ist derzeit noch die Installation einer dynamischen Überfahrwaage an der Zufahrt zum Silo. Somit kann eine genaue Ertragserfassung erfolgen und bei Zukauf von Substraten auch eine exakte Abrechnung. Des Weiteren werden vereinzelt Freiflächen zur Lagerung von Silagen und Festmist in so genannten ‚Freihaufen‘ genutzt.

#### 4.1.4 Technische Daten

Zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme der Anlage im Juli 2005 wurde ein BHKW der Firma MAN mit 190 kW elektrischer Leistung an das örtliche Stromnetz angeschlossen. Die Anlagengröße wurde jedoch so gewählt, dass nach der erfolgreichen Anlaufphase der Anlage bereits ein Jahr später ein zweites BHKW installiert werden konnte. Dieses hat eine elektrische Leistung von 90 kW und stammt ebenfalls aus dem Hause MAN. Gemeinsam liefern die beiden Aggregate also 280 kW elektrische und 365 kW thermische Leistung. Zur Zeit laufen beide Aggregate mit durchschnittlich 7884 Volllaststunden pro Jahr. Das entspricht einer Auslastung von 90 %, wobei das langfristige Ziel 95 % Auslastung ist. Dieses Ziel kann zur Zeit noch nicht erreicht werden, da durch den Anschluss des zweiten BHKWs im vergangenen Jahr sich das Fütterungsmanagement noch in der ‚Lernphase‘ befindet. Die Unsicherheit durch die Frage, ob die Substrate bis zur nächsten Ernte reichen, implizierte ein gewisses defensives Verhalten in der Fütterungsintensität. Da die Erfahrungen zur Zeit gesammelt werden, ist mit einer Steigerung der Volllaststunden auf 8322 Stunden pro Jahr (95% Auslastung) zu rechnen. Der produzierte Strom

wird in das örtliche Stromnetz eingespeist, die Nutzung der thermischen Leistung wird in Kap. 4.5 beschrieben. Der Wirkungsgrad der beiden Aggregate beträgt 38,5%.

Weitere technische Daten sind unter anderem die durchschnittliche hydraulische Verweilzeit der Substrate im Gärprozess. Diese ist durch die Abdeckung des Nachgärers mit 80,7 Tagen sehr hoch. So kann eine optimale Vergärung der Substrate erfolgen und Verluste durch nicht vollständig umgesetzte Substrate vermieden werden. Die durchschnittliche Raumbelastung beträgt 2,4 kg organische Trockensubstanz pro Kubikmeter und Tag. ‚Diese lässt sich aus der täglich zugeführten Menge an organischer Trockensubstanz und dem nutzbaren Gärbehältervolumen errechnen‘ (aid, 2005). Das vorhandene Fermentervolumen beträgt 8,57 m<sup>3</sup> pro kW<sub>el.</sub>. Dieses ist für Anlagen des Typ 2 (siehe Kap. 4.3) und in der Größenordnung ab 200 kW<sub>el.</sub> etwas überdurchschnittlich (7-8 m<sup>3</sup>/kW<sub>el.</sub>) bemessen (KTBL, 2005). Weiter wird die Qualität des Biogases durch die Messung der Methan- (CH<sub>4</sub>) und Schwefelwasserstoffgehalte (H<sub>2</sub>S), sowie die Temperatur der beiden Behälter kontinuierlich erfasst. Die Methangehalte liegen mit 63-65 % im guten Bereich. Durch die biologische Entschwefelung über Luftzufuhr werden durchschnittliche Schwefelgehalte von 160 ppm erreicht. Der tägliche Arbeitsaufwand ist mit 2 Stunden für Routinearbeiten (2 mal täglich 30 min. füttern, 30 min. kontrollieren, 30 min. dokumentieren) angesetzt. Durch Reparaturen und Wartungsarbeiten (z. B. Ölwechsel, Einstellen der Ventile, usw.) sind monatlich 120 Stunden jedoch schnell erreicht. Insgesamt ist eine  $\frac{3}{4}$  Ak für den Betrieb der Biogasanlage angesetzt.

Die spezifischen Investitionskosten betragen 2846 € pro kW installierter elektrischer Leistung.

## **4.2 Gärbiologie**

Der Gärprozess läuft in der Biogasanlage der ... Bioenergie GbR im mesophilen Temperaturbereich ab. Das heißt, es herrscht eine konstante Temperatur von 39,5- 41 °C im Fermenter und 36-38,5 °C im Nachgärer. Kontrolliert wird der Gärprozess durch die tägliche Kontrolle der Temperatur

---

und des Methan- und Schwefelwasserstoffgehaltes im Biogas. Weiter werden alle drei Monate Gärsubstratproben den beiden Fermentern entnommen und zur Analyse in ein Labor geschickt.

Der Gärprozess verläuft nach den allgemein gültigen Gesetzen der Gärbiologie: Biogas entsteht bei der anaeroben (sauerstofffreien) Vergärung von organischem Material und ist ein Gemisch aus Methan und Kohlenstoffdioxid (45-75% Methan, 24-50% Kohlenstoffdioxid, 0-1% Schwefelwasserstoff) (aid, 2005).

Die Methanbildung ist ein Teil des natürlichen Stoffkreislaufes. Durch den anaeroben Abbau organischer Masse mit Hilfe von Bakterien entstehen Methan und Kohlenstoffdioxid als Endprodukte. Die Methanerzeugung lässt sich in mehrere Phasen einteilen. Diese werden im Folgenden einzeln dargestellt:

Die erste Phase der Methanerzeugung ist die Hydrolyse. Hierbei werden langkettige Substanzen wie Kohlenhydrate, Proteine und Fette in kurzkettige, wasserlösliche Bruchstücke, wie Aminosäuren und Zucker oder in langkettige Fettsäuren zerschnitten. Dies geschieht mit Hilfe von Enzymen fermentativer Bakterien. In der nächsten Phase, der Versäuerungsphase, werden die Zwischenprodukte aus der Hydrolyse von den fermentativen Bakterien aufgenommen und weiter abgebaut. Dadurch entstehen kurzkettige Fettsäuren, Alkohole und Milchsäure. Teilweise können hierbei bereits Essigsäure, Wasserstoff und Kohlenstoffdioxid entstehen. Die eigentliche Essigsäurebildung läuft jedoch erst in der dritten Phase ab. In dieser werden durch acetogene Bakterien die Ausgangssubstanzen (Essigsäure, Wasserstoff und Kohlenstoffdioxid) für die Methanbakterien gebildet. Die letzte Phase, die Methanbildung, beendet den mikrobiellen Abbau der organischen Substanz. Diese sind nun vollständig in Methan und Kohlenstoffdioxid umgesetzt. Andere Inhaltsstoffe der Ausgangssubstanzen wie z. B. Stickstoff oder Kalium befinden sich jetzt als Rückstand im Gärsubstrat, welches als hochwertiger Dünger dem Gärprozess entnommen wird (Top Agrar, 2002).

### **4.3 Substratzusammensetzung**

Die Biogasanlage zählt auf Grund ihrer Substratzusammensetzung zum Anlagentyp 2. Das heißt, die Biogasanlage ist eine ‚Kofermentationsanlage mit den Einsatzstoffen Wirtschaftsdünger und nachwachsende Rohstoffe‘ (KTBL, 2005). Die Vergärung erfolgt nach dem Prinzip der Nassfermentation.

Im täglichen Betrieb bedeutet dies: Die Substratzufuhr ist eine Mischung aus festen und flüssigen Substraten. Insgesamt werden dem Fermenter täglich ca. 30 t Substrat zugeführt. Im Folgenden soll die Zusammensetzung am Beispiel eines durchschnittlichen Fütterungstages dargestellt werden (Stand: 27.03.2007, Betriebstagebuch der Bioenergie GbR ...).

#### 4.3.1 Flüssige Substrate

Als ‚flüssig‘ gelten Substrate, wenn sie weniger als 15 % TS besitzen, ab 18 % TS sind die Substrate nicht mehr pumpfähig (Zerr, 2007). Zu diesen zählen im oben genannten Beispiel der Einsatz von 10 t Schweinegülle mit 6,5 % TS. Vereinzelt kommt auch Rindergülle mit 8 % TS zum Einsatz, hauptsächlich jedoch Schweinegülle. Die Rindergülle spielt im Gärprozess eine wichtige Rolle. ‚Sie liefert zwar, im Vergleich zu den Energiepflanzen, keinen so großen Beitrag zur Energiegewinnung, sie stabilisiert jedoch den Gärprozess, trägt (...) neue Bakterien in den Fermenter ein und puffert die Säuren ab‘ (Karpenstein-Machan, 2005). Weiter entsteht ‚weniger Aufwand beim Rühren durch dünnflüssigere Substrate‘ (Karpenstein-Machan, 2005).

#### 4.3.2 Feste Substrate

Zu den ‚festen‘ Substraten zählen jene, die mehr als 20 % TS besitzen (Zerr, 2007). Im obigen Beispiel setzt sich der Input fester Substanzen aus Festmist und nachwachsenden Rohstoffen (NaWaRo) zusammen. Somit wird die Anlage mit täglich 3,6 t Festmist, 7,6 t Maissilage, 7,1 t Grünroggen GPS, 2,4 t Sonnenblumen GPS und 0,4 t Weizenkörnern beschickt. Dies ergibt einen täglichen Input von 21,1 t Feststoffen. Ergänzt wird diese Zusammensetzung je nach Verfügbarkeit durch GPS-Getreide (Weizen oder Gerste), Grassilage und Hühnertrockenkot.

---

## 4.4 Gärrest

### 4.4.1 Inhaltsstoffe

Als Gärrest wird das Endprodukt des Gärprozesses bezeichnet. Diese sollte vollständig vergoren sein und erst dann dem Gärprozess entnommen werden. Im Betrieb ... ist das nach durchschnittlich 80,7 Tagen der Fall (siehe Kap: 4.1.4). Da die Anlage zum Typ 2 zählt und somit ,nur Wirtschaftsdünger und nachwachsende Rohstoffe verarbeitet, so bleiben sie auch nach dem Gärprozess Wirtschaftsdünger. Diese unterliegen düngemittelrechtlichen Vorgaben wie der Düngeverordnung (DüV) und der Düngemittelverordnung (DüMV)' (aid, 2005). Somit gelten bei der Ausbringung des Gärrestes die Auflagen dieser Verordnungen.

Durch die Ausbringung des Gärrestes auf die zum Energiepflanzenanbau genutzten Flächen wird der Stoffkreislauf innerhalb des Betriebes geschlossen, da ,die Nährstoffgehalte (...) des Gärrestes weitgehend den Nährstoffgehalten (...) der eingesetzten Mischung an Ausgangssubstraten (Gülle und Pflanze) entsprechen' (Karpenstein-Machan, 2005). Der Gärrest ist somit ein wertvoller Dünger mit hohen Gehalten an wichtigen Inhaltsstoffen. Laut Prüfbericht des Hessischen Landeslabors vom 07.02.2007 besitzt der Gärrest folgende Gehalte:

Stickstoff (N) gesamt	4,96 kg/t
Stickstoff (N) wasserlöslich	3,22 kg/t
Phosphor ( $P_2O_5$ )	2,60 kg/t
Kalium ( $K_2O$ )	5,45 kg/t

Die Trockensubstanz (TS) beträgt 7,7 %. Diese ist wichtig für den Humushaushalt, welcher in Kap. 5.2 näher behandelt wird.

Da der Großteil des Stickstoffs in wasserlöslicher Form vorliegt (Ammonium-N) ist auf eine bodennahe Ausbringung, sowie ein zügiges Einarbeiten des Gärrestes zu achten (DüV). Weitere verbesserte Eigenschaften des Gärrestes gegenüber normaler Gülle sind neben der Umwandlung von organisch gebundenem Stickstoff in pflanzenverfügbaren Ammonium-N, die Verminderung flüchtiger, geruchsbildender Stoffe, die Verringerung der

organischen Säuren, die Herabsetzung der pflanzenschädigenden Ätzwirkung und die Verbesserung der Fließeigenschaften (aid, 2005). Die ausgebrachten Mengen an Stickstoff können mit 60% im ersten Jahr der Anwendung angerechnet werden (KWS, o. J.). Weiter muss bei der Ausbringung die Sperrfrist vom 1.11. bis zum 31.1. eingehalten werden.

#### 4.4.2 Gärrestausbringung

Die Ausbringung des Gärrestes erfolgt mit emissionsminimierender Technik. Das heißt, der Gärrest wird mit einem 14 m<sup>3</sup> großen Güllefass der Firma Joskin zum Feld transportiert und mit einem 15 m breiten Schleppschlauchverteiler gleichmäßig und bodennah ausgebracht. Das Fass besitzt eine Tandemachse um den Bodendruck so gering wie möglich zu halten und eine Untenanhängung zur optimalen Kraftübertragung mit minimiertem Schlupf. Nach dem Ausbringen erfolgt die Einarbeitung, soweit kein Nutzpflanzenbewuchs auf der Fläche ist, mit dem Grubber oder dem Pflug. Zudem wird bei der Ausbringung auf die Witterung geachtet, damit keine zu großen Ammoniak-Verluste auftreten.

### **4.5 Wärmenutzung**

Die Nutzung der Abwärme der BHKWs ist für die Wirtschaftlichkeit einer Biogasanlage von großer Bedeutung. Durch den Wärmekopplungs-Bonus erhält der Betreiber einer Biogasanlage eine zusätzliche Vergütung von 2 ct/kWh, sofern er eine externe Wärmenutzung nachweisen kann (EEG, 2004).

In der Bioenergie GbR ... erfolgt die externe Wärmenutzung durch das Heizen von fünf Wohnhäusern und zwei Sauenställen mit je 200 Plätzen in direkter Umgebung des Betriebsgeländes. In den Sommermonaten soll zukünftig das 200 m von der Anlage entfernte Freibad der Gemeinde beheizt werden. Somit ist auch im Sommer die Abnahme der Wärme gewährleistet.

## 5 Bedeutung der Sonnenblume im Betrieb

In den ersten zwei Jahren nach Netzanschluss der Biogasanlage konnte die Sonnenblume aus wirtschaftlicher Sicht noch nicht überzeugen. Die TS-Erträge und die Gasausbeute in Kombination mit anderen Kofermenten sind bisher noch unbefriedigend. Erfahrungen rund um den Sonnenblumenanbau müssen und werden zurzeit auch von den beiden Betriebsleitern gesammelt. Trotzdem hat die Sonnenblume schon große Bedeutung innerhalb der Aspekte Fruchtfolge, Humus und Bodenfruchtbarkeit, sowie der gesellschaftlichen Akzeptanz einer Biogasanlage in zentraler Ortslage. Obige Punkte werden im folgenden Kapitel 5 abgehandelt.

### 5.1 Fruchtfolge

Die Sonnenblume spielt in der Fruchtfolge des Betriebes eine wichtige Rolle. Sie steht alle drei Jahre in Hauptfruchtstellung. Die Fruchtfolge ist dreifeldrig mit den in Abbildung 3-1 dargestellten Fruchtarten Sonnenblumen GPS, Roggen GPS, Silomais, Weizen (Körnernutzung) und Gerste GPS. Aus der Abbildung ergibt sich ein Ackerflächenverhältnis von 67 % Blattfrucht und 33 % Halmfrucht. Zudem kommen noch 67 % Halmfrucht durch den Zwischenfruchtanbau hinzu.

	Jan	Feb	März	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
1.	Gerste GPS					Sonnenblumen GPS			Roggen GPS			
2.	Roggen GPS				Silomais						Weizen-K.	
3.	Weizen-Körner								Gerste GPS			

Abbildung 5-1 Fruchtfolgeplan (eigene Abbildung)

Die Sonnenblume steht im ersten Jahr als tragende Blattfrucht in Hauptfruchtstellung. Sie wird Ende September als Ganzpflanzensilage (GPS)

geerntet. Darauf folgt Winterfutterroggen (auch Grünroggen genannt) als Winterzwischenfrucht, welcher Mitte bis Ende April ebenso als GPS geerntet wird. Im zweiten Jahr steht nach dem Grünroggen dann der Mais in Hauptfruchtstellung. Im letzten Jahr der Fruchtfolge wird als letzte abtragende Halmfrucht Winterweizen angebaut. Nach der Maisernte im Oktober erfolgt die Aussaat des Winterweizens, welcher im August gedroschen wird. Den Abschluss der Fruchtfolge bildet dann der Winterzwischenfruchtanbau von Wintergerste, welche Anfang Juni auch als GPS geerntet wird.

Diese Art der Bodennutzung kann als intensive Energiepflanzenfruchtfolge bezeichnet werden. Bis auf den Winterweizen im zweiten Jahr der Fruchtfolge kann von einem ‚Zweikulturnutzungssystem‘ gesprochen werden. ‚Dieses Anbausystem beinhaltet den Anbau und die Ernte von zwei Kulturen im Laufe eines Jahres‘ (Grass, 2007). Die ‚Zweikulturnutzung vereinigt die Ziele hoher Flächenproduktivität und ökologischer Produktion‘ (Scheffer, 2005). ‚Das Konzept basiert auf dem Anbau von winterfesten Pflanzenarten im Herbst, der Ernte der nichtausgereiften Pflanzen zwischen Mai und Juli, dem direkten Nachbau von Wärme liebenden Kulturarten und deren Ernte im Herbst‘ (Scheffer, 2005). Neben den oben erwähnten Vorteilen Flächenproduktivität und Ökologie, zählt noch ein ‚effektiver Bodenschutz‘ durch ‚ganzjährige Bodenbedeckung‘ und die ‚reduzierte Bodenbearbeitung‘ zu den Vorzügen des Zweikulturnutzungssystems. Somit ist auch in Reihenkulturen ein ‚sehr guter Erosionsschutz‘ gewährleistet. Zudem kann ein ‚höherer Besatz an Wildpflanzen bzw. Unkräutern geduldet werden‘, sowie ‚eine Auswaschung von Nährstoffen weitestgehend vermieden werden‘ (Grass, 2007). Nach Scheffer, 2005, sind jährliche Trockenmasseerträge von 15-28 t pro ha je nach Bodengüte und Wasserversorgung möglich.

Die Sonnenblume bildet in der Fruchtfolge des Betriebes gemeinsam mit der Winterzwischenfrucht Gerste ein Zweikulturnutzungssystem mit allen oben genannten Vorteilen.

Auf sehr schwachen Standorten wird jedoch auf den Anbau zweier Kulturen verzichtet, da ‚auf Flächen mit begrenztem Wasserhaushalt von einer vorgeschalteten Nutzung von Winterzwischenfrüchten oder Grünroggen abzuraten ist‘ (Riekmann/Benke, 2006). ‚Auf sehr trockenen Standorten ist zu überlegen, ob nicht durch die Nutzung von Winterroggen als GPS die

Winterfeuchte am effektivsten ausgenutzt werden kann' (Riekmann/Benke, 2006).

Um langfristig einen nachhaltigen Energiepflanzenbau zu betreiben, ist über den Einbau einer Gründüngungspflanze in die Fruchtfolge nachzudenken, um die Humusreproduktion sicherzustellen (siehe Kap. 5.2). Ein Beispiel könnte der Ersatz der Winterzwischenfrucht (WZ) ‚Gerste GPS‘ durch eine abfrierende WZ wie z. B. Senf, Phacelia oder eine beerntbare WZ wie z.B. Welsches Weidelgras, Inkarnatklée oder Winterwicken sein. Da die Gerste laut Betriebsleiter ... bis jetzt ein unbefriedigendes ‚Gefühl‘ in der Gasausbeute erbracht hat, könnte auf ihren Anbau am ehesten verzichtet werden. Mit Senf oder Phacelia würde, neben den bekannten Vorteilen des Winterzwischenfruchtanbaus, dem Boden organische Substanz zugeführt und die Aussaat der Hauptfrucht Sonnenblumen könnte vorgezogen werden. Eine längere Vegetationszeit und höhere TS-Erträge wären die Folgen. In diesem Fall könnten auch hochwertige Energiesonnenblumen angebaut werden.

Auf den guten Standorten soll im nächsten Jahr die Gerste durch Grünroggen ersetzt werden. Obige Vorteile und mehr Gasausbeute sind die geplanten Ziele. Mehr Gasausbeute auf Grund dessen, dass sich der Roggen als optimaler Mischungspartner für den Mais herausgestellt hat.

Die neue Fruchtfolge ist in Abbildung 5-2 dargestellt.

	Jan	Feb	März	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
1.	Roggen GPS				Energiesonnenblumen				Roggen GPS			
2.	Roggen GPS				Silomais						Weizen-K.	
3.	Weizen-Körner								Roggen GPS			

**Abbildung 5-2** neuer Fruchtfolgeplan (eigene Abbildung)

## **5.2 Humus und Bodenfruchtbarkeit**

Bisher liegen nur sehr wenige Erkenntnisse über die Sonnenblume als Biomasselieferant im Zusammenhang mit dem Humusgehalt und der Bodenfruchtbarkeit vor. ‚Der Humusgehalt und seine mögliche künftige Veränderung in energiebetonten Fruchtfolgen erlangt [...] zunehmende Bedeutung‘ (Riekmann/Benke, 2006). Die Erfahrungen des letzten Anbaujahres zeigen am auffälligsten, dass die Sonnenblume eine sehr gute Bodengare hinterlässt, sowie auch auf Grenzstandorten genügend Wasser aus dem Boden beziehen kann, was sich durch die starke Durchwurzelung des Bodens erklären lässt.

Die von der Sonnenblume entzogenen Nährstoffe, vor allem große Mengen an Kali, werden durch den geschlossenen Stoffkreislauf des Betriebes dem Boden über die Gärrestausbringung wieder zugeführt. Auf Grund ihres tiefen Wurzelwerkes können somit auch Nährstoffe aus tieferen Bodenschichten für die anderen Fruchtarten innerhalb der Fruchtfolge verfügbar werden. Mit dem Gärrest werden neben den Nährstoffen Stickstoff, Phosphor und Kali auch 7,7 % TS auf das Feld gebracht, welcher jedoch laut Beste, 2007 ‚keinen Humusersatz leisten kann, da vergorene Gülle noch mehr schnell verfügbaren Stickstoff enthält [als nicht vergorene] und noch weniger verfügbaren Kohlenstoff [...] darüber hinaus trägt sie in noch geringerem Maße zur Ernährung der Bodenmikroorganismen bei.‘ Stülpnagel (o. J.) hingegen beurteilt die ‚Ausbringung der Reststoffe‘ als positiv, da mit ihnen schon ‚ein Teil des Humusersatzes realisiert werden kann, der noch durch weitere Biomassen (z.B. Stroh) zu ergänzen ist‘. ‚Die [oben beschriebene] Fruchtfolge produziert neben den oberirdischen Ernteprodukten soviel Stoppel- und Wurzelmasse, dass die Humusreproduktion gewährleistet ist. Es kommt zu keinem Humusverlust‘ (Zerr, 2006). Die weit auseinander reichenden Meinungen zur Humusreproduktion zeigen, dass auf diesem Gebiet noch viel Informationsbedarf besteht.

Betrachtet man die Sonnenblume explizit, so ergeben sich folgende Probleme hinsichtlich der Bodenfruchtbarkeit: Auf trockenen Standorten kann es zu massiven Austrocknungen des Bodens kommen, es werden große Mengen an Kali entzogen, durch die Nutzungsrichtung bedingt kommt es zu häufigen Überfahrten auch bei nicht optimalen Bodenkonsistenzen (z. B. Ernte im Herbst

unter feuchten Bedingungen), sowie die erhebliche Erosionsgefahr durch den Anbau von Reihenkulturen.

Positive Aspekte des Sonnenblumenanbaus sind neben den schon genannten Aspekten der tiefen und intensiven Durchwurzelung, die Schattengare des geschlossenen Bestandes, die ständige Bodenbedeckung durch die Zweikulturnutzung (siehe oben) und somit die Vermeidung von Teilbrachezeiten sowie die minimierte Auswaschung von unkontrolliert freigesetztem Stickstoff, die geringe Intensität der Bodenbearbeitung und die günstige Bodengare für die Nachfrucht (Steffens, 2007). Weiter weisen ‚Sonnenblumen [...] fördernde Einflüsse auf den Standort auf‘ (Beste, 2007).

Um die Gefahr der Bodenerosion zu minimieren erfolgt der Sonnenblumenanbau in der ... Bioenergie GbR im Mulchsaatverfahren. Die Schnitthöhe bei der Ernte wird relativ hoch gewählt (ca. 20 cm), zum Einen damit nur wenig der schon verholzten Stängelteile mit in die Silage gelangen und zum Anderen, damit für die Humusreproduktion noch genügend organische Substanz auf dem Feld verbleibt. Die Schnittstelle am Stängel wird durch die Sägeblätter des Erntevorsatzes am Feldhäcksler größt-möglich aufgerissen, damit ein beschleunigter mikrobieller Abbau erfolgen kann. Die häufigen Überfahrten sind nur schwer zu vermeiden. Große Arbeitsbreiten stoßen oft an die Grenzen des zulässigen Gesamtgewichts, sowie an die Leistungsgrenzen der Maschinen. Wichtig ist die Bodenkonsistenz zum Zeitpunkt der Überfahrt. Es wird versucht, möglichst nur bei fester bzw. halbfester Bodenkonsistenz das Feld zu befahren. In der Ernte im September/Oktober sind vereinzelt suboptimale Verhältnisse bei der Befahrung jedoch nur schwer zu vermeiden.

#### 5.2.1 Humusbilanzierung

‚Bei der Biogasproduktion entwickelt sich [...] die Humusbilanz meist negativ. [...] Ein permanenter Monoanbau von Biogasmals ist ebenso wie Monosilomais somit nicht nachhaltig‘ (Hugger, 2007).

Die unter Kapitel 5.1 beschriebene Fruchtfolge ergibt nach der Bilanzierungsmethode der VDLUFA einen positiven Humussaldo von 140. Eine Maismonokultur würde bei gleicher Düngung und den gleichen Standortbedingungen einen negativen Humussaldo von -452 aufweisen. Dabei

wurde mit den oberen Werten des Humusbruttobedarfs gerechnet, da die Fruchtfolge fast ohne mineralische Düngung auskommt. Bei der Interpretation der Humussalden muss jedoch darauf geachtet werden, dass die Humusbilanzierung im Allgemeinen sehr umstritten ist. Sie ist kein wissenschaftliches Instrument zur exakten Beurteilung der Humusversorgung landwirtschaftlich genutzter Böden, sondern nur ein Anhaltspunkt. ‚Die Humusbilanz ist nur eine grobe Näherung, sie erlaubt jedoch Aussagen über Zustände‘ (Leithold, 2007). Hier soll mit den Humussalden lediglich gezeigt werden, dass eine vielfältige Fruchtfolge bei ähnlichen Leistungen und nachhaltiger Bewirtschaftung einer Maismonokultur überlegen ist. Nähere Informationen zur Humusbilanzierung nach VDLUFA können dem Schreiben ‚Standpunkt Humusbilanzierung, 2004‘ der VDLUFA entnommen werden. Die Daten der Bilanzierung sind dem Anhang zu entnehmen.

Wichtig für die Humusreproduktion in der obigen Fruchtfolge ist die Strohdüngung des Winterweizens. Ohne diese würde die Humusbilanz einen negativen Wert ergeben und es würde langfristig zum Humusabbau innerhalb der Fruchtfolge kommen.

### **5.3 Erträge**

Die Erträge der letzten Anbaujahre sind nur schwer erfassbar. Eine Waage zur Feststellung der Frischmasseerträge wird erst im Laufe dieses Jahres installiert, so dass die Erträge nur über die Waage des Feststoffdosierers grob ermittelt werden können. Durch die Addition der täglich zugeführten Frischmasse an Sonnenblumensilage erhält man eine Menge von 632 t (Betriebstagebuch 06/07). Da die Sonnenblume im letzten Jahr auf 30 ha Fläche angebaut wurde, ergibt sich ein Frischmasseertrag von 21 t/ha. Hierbei sind jedoch die Verluste durch Sickersaft zu beachten, da die Sonnenblume nur einen TS-Gehalt von 15,28 % aufwies. Daraus ergibt sich ein äußerst geringer Trockenmasseertrag von 3,2 t/ha im Vergleich zum Mais mit ca. 15 t TS/ha. Die Ernte erfolgte daher im letzten Jahr zu früh. Dies ist durch die fehlende Erfahrung im Anbau und die damit einhergehende Befürchtung, der Bestand würde einknicken und ‚ins Lager gehen‘, verbunden. Diese Befürchtung ist durchaus begründet, da die

Erfahrung aus dem Erntejahr 2005 zeigen, dass ein Lagerbestand mit dem Feldhäcksler nicht mehr ausreichend beerntbar ist. Es ist zukünftig also darauf zu achten, dass höhere TS-Gehalte durch standfeste und frühe Sorten erreicht werden.

Eine positive wirtschaftliche Bedeutung kann der Sonnenblume durch die im letzten Jahr erzielten Erträge nicht zugewiesen werden. Bei richtiger Sortenwahl und angepassten Anbaubedingungen können jedoch durchaus wirtschaftlich interessante Erträge erreicht werden (siehe Kap. 7.1).

#### **5.4 Gesellschaftliche Akzeptanz**

„Kritiker verbinden mit dem Bau einer Biogasanlage automatisch eine Monokultur Mais in der Feldflur“ (Riekmann/Benke, 2006). „Ein großflächiger und einseitiger Anbau [von Mais] stößt auf Akzeptanzprobleme in der Bevölkerung“ (Karpentstein-Machan, 2005). Energiepflanzenfruchtfolgen wie oben beschrieben wirken dieser Kritik entgegen. Gerade die Sonnenblume bewirkt mit ihrem auffälligen Blütenkorb ein positives Image in der Bevölkerung. „Wenn [man] Sonnenblumen mit Biogas in Verbindung bringt, bewirkt das ein positives Image“ (Wolters, 2006)

## **6 Anbauverfahren der Sonnenblume im Betrieb**

Kapitel 6 beschreibt das Verfahren des Sonnenblumenanbaus in der Bioenergie GbR. Von der Saatbettbereitung, der Aussaat, der Pflege, über die Düngung, die Ernte und Konservierung, bis hin zur Sortenwahl werden die spezifischen Verfahren im Folgenden beschrieben.

### **6.1 Saatbettbereitung**

Nach der Ernte der Vorfrucht, erfolgt die Saatbettbereitung der Sonnenblumenflächen mit dem Flügelschargrubber. Die Bearbeitbarkeit der meist noch grünen Stoppeln der Vorfrucht bereitet in der Regel keine Probleme. Die Arbeitstiefe des Grubbers beträgt 8-10 cm. Um Wasserverluste zu vermeiden, sollte der Umbruch der Stoppeln möglichst schnell erfolgen. Probleme bei der Saatbettbereitung ergeben sich nur durch Fehler in der Ernte der Vorfrucht. Nicht gemähte Streifen oder Lagerstellen, die vom Mähwerk nicht erfasst wurden, sowie vom Häcksler liegen gelassene Schwadteile oder Häckselguthaufen durch überlaufende Anhänger können zu Verstopfungen im Grubber führen.

Wird die Aussaat mit der pneumatischen Drille durchgeführt, erfolgt eine zusätzliche Saatbettbereitung mit der vorgeschalteten Kreiselegge.

### **6.2 Aussaat**

Der Zeitpunkt der Aussaat wird durch die Ernte der Vorfrucht bestimmt. Da die Gerste erst ab dem Entwicklungsstadium ‚Ährenschieben‘ geerntet werden kann, ergibt sich ein Aussaatzeitpunkt der Sonnenblume zwischen Ende Juni und Anfang Juli. Ein früherer Termin wäre für die Bildung hoher Biomasseerträge von Vorteil. In Zukunft soll die Sonnenblumen auch nach Grünroggen stehen. Daraus ergibt sich ein günstigerer Aussaattermin von Mitte bis Ende Mai.

Die Aussaat der Sonnenblume erfolgt entweder mit dem Schneckenkornstreuer, einer pneumatischen Drillkombination oder einer Einzelkorndrille. Letztere steht aus dem Maisanbau zur Verfügung. Wird einfaches Vogelfutter als Saatgut

verwendet, so wird dies mit dem Schneckenkornstreuer auf die gegrubberte Fläche ausgebracht. Hochwertigeres Saatgut (Z-Saatgut) wird mit der Drillkombination oder der Einzelkorndrille gesät. Der Reihenabstand beträgt 12,5 cm (Drillkombination) bzw. 37,5 cm (Einzelkorndrille).

Ziel bei der Aussaat des Z-Saatgutes sind 7 Pflanzen pro m<sup>2</sup>. Um diese Aussaatstärke zu erreichen werden 12 kg/ha gesät.

### **6.3 Pflege**

Eine Pflege der Sonnenblumenflächen erfolgt in der Regel nicht. Die Vorfrucht Gerste GPS bzw. Roggen GPS hinterlässt ein sauberes Saatbett. Bei schneller Aussaat nach der GPS-Ernte kann ein zügiges Auflaufen der Sonnenblumen erfolgen. Unter guten Wachstumsbedingungen kommt es auf Grund der raschen Jugendentwicklung schnell zum Reihenschluss. Potentielle Unkräuter und Ungräser werden somit unterdrückt. Mögliche Pflegemaßnahmen wurden bereits im Kapitel 2.3.3 behandelt.

Das Auftreten von Krankheiten kann in Zukunft einige Pflegemaßnahmen erzwingen. Da der Sonnenblumenanbau im Betrieb noch sehr jung ist und noch nicht alle Flächen mit Sonnenblumen bestellt waren, ist in naher Zukunft noch nicht mit Krankheiten zu rechnen. Bleibt es allerdings bei der Einhaltung der dreifeldrigen Fruchtfolge, so kann die Anbaupause nach Schuster und Marquardt (2000) von fünf bis sieben Jahren nicht eingehalten werden (siehe Kap. 2.3.4). Aufwendige Pflegemaßnahmen aus der Kombination acker-, pflanzenbaulicher und phytosanitärer Maßnahmen sind die Folgen.

### **6.4 Düngung**

Die Sonnenblumenflächen werden einmalig vor der Aussaat mit dem Gärrückstand aus der Biogasproduktion gedüngt. Eine weitere Düngung erfolgt nicht. Die Düngermenge beträgt 14 m<sup>3</sup>/ha. Dies entspricht bei 4,96 kg/t Gesamtstickstoff etwa 70 kg N/ha. Zudem werden mit der Ausbringung der Gärrückstände auch 36,4 kg Phosphor (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) und 76,3 kg Kalium (K<sub>2</sub>O) pro ha gedüngt. Die Sonnenblumen sind somit ausreichend mit den Hauptnährstoffen versorgt (siehe Kap. 2.2.3) (Prüfbericht des Hessischen Landeslabors vom 07.02.2007).

---

## **6.5 Ernte**

Die Sonnenblumen, die zur Biogasproduktion in der Bioenergie GbR ... verwendet werden, werden mit dem Feldhäcksler auf eine möglichst kurze Schnittlänge von 3-4 mm gehäckselt. Dabei wird ein 6 m breites, reihenunabhängiges Maisgebiss eingesetzt. Die Schnitthöhe beträgt 15-20 cm. Den Transport des Häckselgutes zum Silohaufen übernimmt eine Erntekette von 3-4 Transportfahrzeugen.

Probleme bei der Ernte ergeben sich durch ungünstige Witterungsbedingungen und Wildschäden. Erhebliche Probleme in der Beerntbarkeit von Sonnenblumen entstehen bei Lager. Wenn die Pflanzen einmal umgeknickt sind, kann sie auch das reihenunabhängige Maisgebiss des Häckslers nicht mehr aufnehmen. Somit kann es bei zu spätem Erntetermin, zu hohen Stickstoffgaben oder witterungsbedingten Lagerschäden, zu großen Verlusten kommen.

Der Erntetermin ergibt sich meist aus dem Erntetermin der Maisbestände. Diese werden in zwei Gruppen eingeteilt. Eine frühe Erntegruppe Anfang bis Mitte Oktober und eine späte Gruppe Mitte bis Ende Oktober. Je nach Entwicklungsstadium der Sonnenblumen werden sie mit dem Mais entweder in der frühen oder späten Gruppe geerntet. Aus arbeitswirtschaftlichen Gründen wäre eine einzelne Sonnenblumenernte vor oder zwischen den beiden Maisernten nicht sinnvoll. Aus pflanzenbaulicher Sicht müsste die Sonnenblume jedoch dann geerntet werden, wenn sie den höchsten Ertrag bei bester Silierfähigkeit besitzt, unabhängig vom Mais (siehe 2.3.6 Ernte). Aus der Befürchtung, die Sonnenblumen würden einknicken, erfolgte die Ernte im letzten Jahr schon Ende September. Wie oben schon erwähnt, ist dies aus arbeitswirtschaftlicher Sicht nicht sinnvoll.

## **6.6 Konservierung**

Für eine erfolgreiche Konservierung der Sonnenblumen werden diese in der Bioenergie GbR siliert. Dies geschieht durch verdichten, luftdicht abschließen und ansäuern mit Hilfe von Milchsäurebakterien. Voraussetzungen für eine erfolgreiche Silierung der Sonnenblumen wurden bereits im Kapitel 2.4 behandelt.

Der Silohaufen befindet sich meist als Freihaufen im Feld ohne Siloplatte. Dabei muss darauf geachtet werden, dass es zu keiner Sickersaftbildung kommt. ‚Wird die Biomasse mit Trockensubstanzgehalten von 28 % und mehr geerntet, [...] ist eine Feldlagerung ohne Siloplatte auch in Wasserschutzgebieten möglich‘ (Karpenstein-Machan, 2005). Die zuletzt geernteten Sonnenblumen auf dem Betrieb wiesen jedoch ein TS-Gehalt von 15,28 % auf (Prüfbericht Maschinenring, 25.09.2006), was zu großen Problemen bei der Konservierung führte. Der Silohaufen lässt sich bei solch geringen TS-Gehalten nicht mehr befahren, kaum verdichten und es treten große Mengen an Sickersaft auf.

### **6.7 Sortenwahl**

Die Auswahl der Sorte beschränkte sich bisher auf die einfache Frage: ‚billiges Vogelfutter oder teures Z-Saatgut?‘ Da generell keine großen Erfahrungen mit dem Sonnenblumenanbau vorliegen, fiel die Wahl bisher meist auf das billige Vogelfutter. Zum ersten Mal wurde in diesem Jahr auf einer Versuchsfläche von knapp einem Hektar Z-Saatgut der Firma Pioneer ausgesät. Es handelt sich dabei um eine Körnersonnenblume (PR63A04), die vom Züchter aber auch als Energiesonnenblume ausgewiesen wird. Im Vergleich zum Z-Saatgut stehen direkt im Anschluss daran die Vogelfutter-Sonnenblumen. Die TS-Erträge und die Inhaltsstoffe werden während und nach der Ernte erfasst und miteinander verglichen.

## 7 Wirtschaftlichkeit der Sonnenblume

### 7.1 Erträge

Der errechnete Trockensubstanzertrag (siehe Kap. 5.3) der Sonnenblumenernte 2006 beträgt 3,2 t/ha, mit einem Trockensubstanzgehalt von 15,28 %. Weitere Ertragswerte oder wichtige Kennzahlen zur Beurteilung der Sonnenblumensilage als Koferment in landwirtschaftlichen Biogasanlagen (z.B.: Methangehalt, Gasausbeute, oTS-Gehalt, usw.) liegen nicht vor. Für eine sinnvolle Wirtschaftlichkeitsbetrachtung sind diese Kennzahlen jedoch von großer Bedeutung. Daher wird im Folgenden auf Zahlen aus der Züchtung (Utesch KWS, 2007) und der KTBL-Datensammlung Gasausbeute in landwirtschaftlichen Biogasanlagen, 2005 zurückgegriffen.

Im Allgemeinen sind die Trockensubstanzerträge der Sonnenblume sehr sortenabhängig. Die KWS wirbt mit einem ‚Ertragspotenzial von bis zu 150 dt/ha TS‘ des Sonnenblumenstammes KW 0411 (KWS, o. J.). Oechsner, 2003, berichtet aus Versuchsergebnissen von nur 55,5 dt/ha TS. Er beurteilt den Sonnenblumenanbau zur Vergärung in Biogasanlagen als unwirtschaftlich. Die einjährigen Versuchsergebnisse des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Universität Gießen, vom Standort Rauschholzhausen, belegen Trockensubstanzerträge des Stammes KW 0411 von 194,1 dt/ha. Diese lagen im Versuchsjahr 2006 sogar über den Erträgen des Mais, wobei es sich hier, wie schon erwähnt, nur um einjährige Versuche handelt (Friedt, 2007).

Auf Grund dieser großen Schwankungen ist es schwierig, einen realistischen Ertrag für den Energiesonnenblumenanbau der Bioenergie GbR zu prognostizieren. In der folgenden Betrachtung der Sonnenblume wird der Stromertrag von Energiesonnenblumen mit den Stromerträgen des Mais verglichen (siehe Tabelle 1 und Tabelle 2). Die Zahlen in Tabelle 1 beruhen zum Großteil auf Ergebnissen aus Streifenversuchen der KWS. Für eine individuelle Berechnung des Stromertrages werden nach der diesjährigen Ernte eigene Analysen erstellt. Um schon vor der neuen Ernte eine praxisrelevante,

näherungsweise Aussage über die Wirtschaftlichkeit der Sonnenblumen geben zu können, wird in Tabelle 1 mit durchschnittlichen Werten gerechnet.

Die Zahlen in Tabelle 2 stammen zum Teil aus eigenen Analysen, oder aus der KTBL-Datensammlung Gasausbeute in landwirtschaftlichen Biogasanlagen, 2005.

**Tabelle 1** Stromertrag E-Sonnenblumen

TS-Ertrag t/ha <sup>^</sup>	10
FM-Ertrag t/ha	40
TS-Gehalt % <sup>^</sup>	25
oTS-Gehalt % <sup>^</sup>	88
oTS-Ertrag t/ha	8,8
Gasausbeute I <sub>N</sub> /kg oTS <sup>^</sup>	464,29
Gasertrag I <sub>N</sub> /ha	4085752
Methangehalt % <sup>^</sup>	56
Methanertrag m <sup>3</sup> /ha	2288,02
Energieertrag* in kW/ha	22880,21
elektr. Wirkungsgrad %	38,50
KW <sub>elektr.</sub> /ha	8808,89
<b>Stromgeld (0,17€/kWh) €/ha</b>	<b>1497,51</b>
Stromgeld €/t FM	37,44
Stromgeld €/t TS	149,75
<sup>^</sup> Utesch KWS, 2007	
*bei 10 kWh pro m <sup>3</sup> Methan	

**Tabelle 2** Stromertrag Mais

TS-Ertrag t/ha	15
FM-Ertrag t/ha	44,40
TS-Gehalt %	33,78
oTS-Gehalt % <sup>^</sup>	94,70
oTS-Ertrag t/ha	14,21
Gasausbeute I <sub>N</sub> /kg oTS <sup>^</sup>	642
Gasertrag I <sub>N</sub> /ha	9122820
Methangehalt % <sup>^</sup>	54
Methanertrag m <sup>3</sup> /ha	4926,32
Energieertrag* in kW/ha	49263,23
elektr. Wirkungsgrad %	38,50
KW <sub>elektr.</sub> /ha	18966,34
<b>Stromgeld (0,17€/kWh) €/ha</b>	<b>3224,28</b>
Stromgeld €/t FM	72,62
Stromgeld €/t TS	214,95
<sup>^</sup> aus: KTBL-Datensammlung, Gasausbeute in landwirtschaftlichen Biogasanlagen, 2005	
*bei 10 kWh pro m <sup>3</sup> Methan	

Bei einem, laut Utesch, 2007, durchschnittlichen Trockensubstanzertrag der Sonnenblumen in Zweitfruchtstellung (nach Grünroggen) von 100 dt/ha ergeben sich die obigen Erlöse für den Anbau von Energiesonnenblumen. Weiter werden ein TS-Gehalt von 25 %, ein oTS-Gehalt von 88 %, ein Methangehalt von 56 %, sowie eine Gasausbeute von 464,29 l<sub>N</sub>/kg oTS angenommen (Utesch, 2007). Unter der Annahme, dass aus einem Kubikmeter Methan 10 kWh Strom produziert werden können (KTBL, 2005), sowie einem elektrischen Wirkungsgrad der BHKWs von 38,5 %, ergibt sich aus dem Verkauf des produzierten Stroms ein Erlös der Sonnenblumen von 1497,51 €/ha. Pro Tonne Frischmasse errechnet sich ein Erlös in Höhe von 37,44 €, pro Tonne Trockensubstanz sind es 149,75 €.

Im Vergleich dazu bringt der Maisanbau einen Erlös von 3224,28 €/ha, 72,62 €/t FM sowie 214,95 €/t TS.

Wie sich die Sonnenblumensilage in Kombination mit anderen Substraten verhält (bezüglich Gasausbeute, Methangehalt, usw.), kann an dieser Stelle nicht berücksichtigt werden. Die obigen Abhandlungen beruhen vollständig auf Monovergärungen.

## **7.2 Kosten des Anbaues im Vergleich mit Silomais**

### 7.2.1 Kosten des Energiesonnenblumenanbaues

In den Tabelle 3 bis Tabelle 7 sind die einzelnen Kosten des Energiesonnenblumenanbaues dargestellt. Tabelle 3 listet die Maschinenkosten für das Produktionsverfahren Energiesonnenblumenanbau auf. Da es sich hierbei um ein extensives Verfahren handelt, sind nur vier Arbeitsgänge aufgeführt: Die Düngung, die Saatbettbereitung, die Aussaat und die Ernte. In der Summe ergeben sich nach den Daten des KTBL 2004/05 genau 374,00 €/ha Maschinenkosten. Darin enthalten sind: Diesel, Betriebsstoffe, Zinsansatz, Abschreibung, Versicherung und Reparaturen.

**Tabelle 3** Maschinenkosten E-Sonnenblume

Arbeitsgang	Gerät	Kosten €/ha
Gülleausbringung ab Hof	PTW 15m <sup>3</sup> , 15m Schleppschauchverteiler	55,30
Saatbettbereitung	Schwergrubber, 3m	33,48
Aussaat	Einzelkornsaat, 3m	41,32
Ernte E-Sonnenblume	Selbstfahrer, 6m, Doppelzug, Radlader, 30 t FM	243,90
Summe Maschinenkosten		<b>374,00</b>

Tabelle 4 zeigt den Produktionsmittelaufwand des E-Sonnenblumenanbaues. Da keine Pflanzenschutzmaßnahmen und keine mineralische Düngung stattfinden, fallen als Produktionsmittel nur die Saatgutkosten an. Der eingesetzte Dünger wird in Form von Gärresten kostenlos von der Biogasanlage bereitgestellt. Für die Düngung sind somit nur die Ausbringungskosten zu veranschlagen (siehe Tabelle 3).

**Tabelle 4** Produktionsmittelkosten E-Sonnenblume

Produktionsmittel	Menge	Kosten €/ha
Saatgut	1 E/ha (75.000Pfl./ha)	90,00
Summe Produktionsmittelkosten		<b>90,00</b>

Der Lohnsatz ist mit 15 € pro Stunde angesetzt. Tabelle 5 zeigt die Lohnkosten des E-Sonnenblumenanbaues bei einem Arbeitsaufwand von 7,03 Akh/ha (Vergleich Kap.7.3.). Die Lohnkosten betragen 105,45 €/ha.

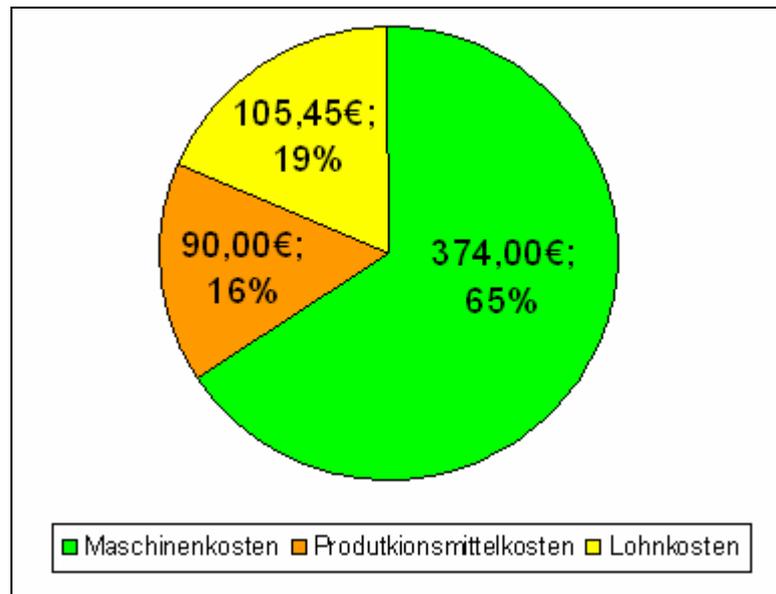
**Tabelle 5** Lohnkosten E-Sonnenblume

Lohnsatz €/h	Akh/ha	Kosten €/ha
15,00	7,03	<b>105,45</b>

Betrachtet man nun die 3 Faktoren Maschinen-/Produktionsmittel- und Lohnkosten gemeinsam, ergeben sich Gesamtkosten des E-Sonnenblumenanbaues im Betrieb der Bioenergie GbR ... in Höhe von 569,45 €/ha (siehe Tabelle 6).

**Tabelle 6** Gesamtkosten E-Sonnenblume

	Kosten €/ha
Maschinenkosten	374,00
Produktionsmittelkosten	90,00
Lohnkosten	105,45
Summe	<b>569,45</b>

**Abbildung 7-1** Zusammensetzung der Gesamtkosten E-Sonnenblume (eigene Abbildung)

Das in Abbildung 7-1 dargestellte Kreisdiagramm zeigt die prozentuale Zusammensetzung der Gesamtkosten des E-Sonnenblumenanbaues. Die Maschinenkosten sind mit 65 % der Gesamtkosten der größte Kostenfaktor. Die Lohnkosten machen 19 % aus, die Produktionsmittelkosten nur 16 %.

**Tabelle 7** Energiesonnenblumenkosten bei durchschnittlichem Ertragsniveau

FM-Ertrag t/ha	TS-Gehalt %	TS-Ertrag t/ha	Kosten €/t FM	Kosten €/t TS
40	25	10	<b>14,23</b>	<b>56,95</b>

Bezieht man nun die Gesamtkosten auf das angenommene durchschnittliche Ertragsniveau, so entstehen für eine Tonne Frischmasse Kosten in Höhe von 14,23 €, bezogen auf eine Tonne Trockensubstanz sind es 56,95 € (siehe Tabelle 7).

### 7.2.2 Kosten des Silomaisanbaues

Der Maisanbau ist im Vergleich zum E-Sonnenblumenanbau etwas intensiver, da eine zweite Güllegabe und eine einmalige Herbizidmaßnahme durchgeführt werden.

In Tabelle 8 ergeben sich Maschinenkosten für den Silomaisanbau in Höhe von 476,92 €/ha. Die einzelnen Verfahren entsprechen denen des E-Sonnenblumenanbaues, nur bei der Ernte wurde ein höheres Ertragsniveau von 40 t FM/ha angenommen, da der durchschnittliche FM-Ertrag des Maises im Betrieb bei 44,4 t FM/ha liegt. Die Daten stammen ebenfalls aus der KTBL-Datensammlung 2004/05.

**Tabelle 8** Maschinenkosten Silomais

Arbeitsgang	Gerät	Kosten €/ha
Gülleausbringung ab Hof	PTW 15m <sup>3</sup> , 15m Schleppschauchverteiler	55,30
Saatbettbereitung	Schwergrubber, 3m	33,48
Aussaat	Einzelkornsaat, 3m	41,32
Herbizidmaßnahme	Anbaupflanzenschutzspritze, 15m, 1000l	11,23
Gülleausbringung ab Hof	PTW 15m <sup>3</sup> , 15m Schleppschauchverteiler	55,30
Ernte Silomais	Selbstfahrer, 6m, Doppelzug, Radlader, 40 t FM	280,29
Summe Maschinenkosten		<b>476,92</b>

Auch in Tabelle 9 werden die Düngerkosten nicht mit in die Berechnung der Produktionsmittelkosten einbezogen (siehe oben). Neben dem Kostenaufwand für die Herbizidmaßnahme (55,00 €/ha), treten relativ hohe Kosten für die Bereitstellung des Saatgutes auf. Der Preis für eine Einheit (50.000 Pflanzen) beträgt 72 €. Für eine Aussaatstärke von 9,5 Pflanzen/m<sup>2</sup> ergeben sich Saatgutkosten von 136,80 €/ha. In der Summe belaufen sich die Produktionsmittelkosten für den Silomaisanbau auf 191,80 €/ha.

**Tabelle 9** Produktionsmittelkosten Silomais

Produktionsmittel	Menge	Kosten €/ha
Saatgut	1,9 E/ha (95.000Pfl./ha)	136,80
Maispremiumpack	30 g Titus, 0,5 l Certrol B, 1,0 l Click	55,00
Summe Produktionsmittelkosten		<b>191,80</b>

In Tabelle 10 sind die Lohnkosten aufgeführt. Bei einem Arbeitsaufwand von 9,1 Akh/ha (siehe Kap. 7.3) ergeben sich Lohnkosten in Höhe von 136,50 €/ha.

**Tabelle 10** Lohnkosten Silomais

Lohnsatz €/h	Akh/ha	Kosten €/ha
15,00	9,1	<b>136,50</b>

Die Gesamtkosten des Silomaisanbaues sind in Tabelle 11 dargestellt. Die Summe aus Maschinen-, Produktionsmittel- und Lohnkosten ergibt ein Gesamtkostenaufwand von 805,22 €/ha.

**Tabelle 11** Gesamtkosten Silomais

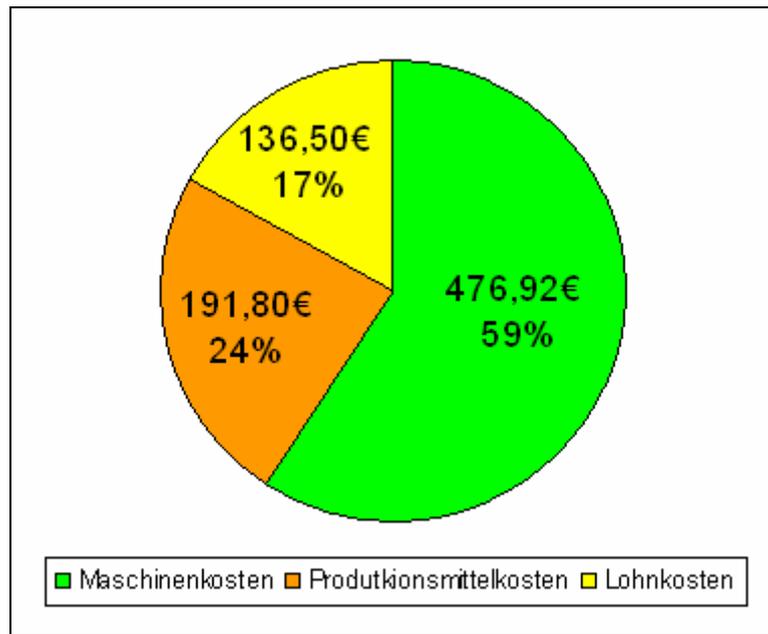
	Kosten €/ha
Maschinenkosten	476,92
Produktionsmittelkosten	191,8
Lohnkosten	136,5
Summe	<b>805,22</b>

Rechnet man nun die Gesamtkosten auf das durchschnittliche Ertragsniveau des Silomaisanbaues um, so erhält man Kosten pro Tonne Frischmasse in Höhe von 18,13 €. Auf die Trockenmasse bezogen ergeben sich 56,94 € pro Tonne (siehe Tabelle 12).

**Tabelle 12** Silomaiskosten bei durchschnittlichem Ertragsniveau

FM-Ertrag t/ha	TS-Gehalt %	TS-Ertrag t/ha	Kosten €/t FM	Kosten €/t TS
44,4	31,85	14,14	<b>18,13</b>	<b>56,94</b>

Prozentual teilen sich die Gesamtkosten des Silomaisanbaues wie in Abbildung 7-2 dargestellt auf. Der größte Anteil entfällt auf die Maschinenkosten (59 %), knapp ¼ auf die Produktionsmittelkosten (24 %) und 17 % auf die Lohnkosten.



**Abbildung 7-2** Zusammensetzung der Gesamtkosten Silomais (eigene Abbildung)

### 7.3 Arbeitszeitbedarf im Vergleich mit Silomais

Die Energiesonnenblume ist im Vergleich zum Silomais wenig arbeitsintensiv. In Tabelle 13 sind die einzelnen Arbeitsgänge der Energiesonnenblumenproduktion dargestellt. Nach der Ernte der Vorfrucht (Grünroggen) erfolgt eine Güllegabe von 14 m<sup>3</sup>/ha. Im Anschluss folgen ein Grubberstrich und die Einzelkornaussaat der Zweitkultur Energiesonnenblumen. Bis zur Ernte werden keine weiteren Maßnahmen durchgeführt. Die Energiesonnenblume wird somit extensiv angebaut.

Neben den eingesetzten Geräten ist der Arbeitsbedarf in Akh pro Hektar aufgeführt. Dieser ergibt in der Summe 7,03 Akh/ha, wobei die Arbeitszeit der Ernte auf ein Ertragsniveau von 30 t FM bezogen ist, da das Ertragsniveau der Energiesonnenblume geringer ist als das Niveau des Maises (40 t FM).

**Tabelle 13** Arbeitszeitbedarf Energiesonnenblume

Arbeitsgang	Gerät	Arbeitsbedarf Akh/ha
Gülleausbringung ab Hof	PTW 15m <sup>3</sup> , 15m Schleppschlauchverteiler	0,85
Saatbettbereitung	Schwergrubber, 3m	0,83
Aussaat	Einzelkornsaat, 3m	0,74
Ernte E-Sonnenblumen	Feldhäcksler, 30 t FM/ha	4,61
Summe E-Sonnenblume		<b>7,03</b>

Der Silomaisanbau in Zweitkulturstellung nach Grünroggen ist arbeitswirtschaftlich etwas intensiver im Vergleich zum Energiesonnenblumenanbau. Hier sind sechs Arbeitsgänge nötig (Vergleich E-Sonnenblume: nur vier Arbeitsgänge). Neben der Saatbettbereitung und der Aussaat sind zwei Güllegaben notwendig, sowie eine Herbizidmaßnahme. Der Arbeitszeitbedarf der Ernte ist auf ein Ertragsniveau von 40 t FM bezogen. In der Summe ergibt sich ein Arbeitszeitbedarf für den Silomaisanbau von 9,1 Akh/ha (siehe Tabelle 14).

**Tabelle 14** Arbeitszeitbedarf Silomais

Arbeitsgang	Gerät	Arbeitsbedarf Akh/ha
Gülleausbringung ab Hof	PTW 15m <sup>3</sup> , 15m Schleppschlauchverteiler	0,85
Saatbettbereitung	Schwergrubber, 3m	0,83
Aussaat	Einzelkornsaat, 3m	0,74
Herbizidmaßnahme	Anbaupflanzenschutzspritze, 15m, 1000l	0,26
Gülleausbringung ab Hof	PTW 15m <sup>3</sup> , 15m Schleppschlauchverteiler	0,85
Ernte Silomais	Feldhäcksler, 40 t FM/ha	5,57
Summe Silomais		<b>9,1</b>

Die, der obigen Tabellen zugrunde liegenden Daten sind der KTBL-Datensammlung Betriebsplanung Landwirtschaft 2004/05 entnommen.

## 8 Diskussion der Ergebnisse

Mit der relativ jungen Produktion von Biogas, geht auch ein relativ junger Energiepflanzenbau der Bioenergie GbR ... einher. Vor Netzanschluss im Juli 2005 spielte der Energiepflanzenbau auf den Betrieben ... bzw. ... keine Rolle. Zu diesem Zeitpunkt waren höchstens Erfahrungen aus dem Silomaisanbau zur Milchviehfütterung vorhanden, jedoch keine aktuellen und präzisen Erfahrungen speziell zum Energiepflanzenbau. Daher gibt es eine Vielzahl potentieller Möglichkeiten innerhalb des Energiepflanzenbaus, welche innerhalb von 2 Jahren nach Betriebsumstellung noch nicht zum tragen gekommen sind. Die Sonnenblume stand von Beginn an im Fokus beider Betriebsleiter. Welche Fragen sich im Laufe der obigen Arbeit zur Sonnenblume ergeben haben und welche der vielen Möglichkeiten des Energiepflanzenbaues für den Betrieb eine Rolle spielen, wird im Folgenden diskutiert.

Das erste Kriterium an dem eine neue Pflanze bemessen wird ist der Ertrag. Die Betriebsleiter stellen sich bei der Überlegung, eine neue Kultur in die Fruchtfolge aufzunehmen, immer zuerst die Frage: Was bringt die Pflanze an Ertrag? Die Erträge, die bisher erreicht wurden, sind nicht zufrieden stellend. Um zukünftig einen wirtschaftlich erfolgreichen Sonnenblumenanbau zu betreiben, müssen viele Faktoren beachtet werden. Der extensive Anbau ist bei der geringen Verfügbarkeit an Arbeitsstunden sinnvoll, aus organisatorischer Sicht muss jedoch eine Intensivierung innerhalb der Anbauplanung und der Bestandesführung erfolgen. Die komplexen Fragen des optimalen Aussaattermins, der Aussaatstärke, der Sortenwahl, des Standortes und des richtigen Erntetermins bedürfen einer gut strukturierten Bearbeitung. Eine allgemein gültige Lösung dieser Fragen gibt es nicht, je nach Standortbedingungen und Witterung müssen obige Fragen immer wieder neu gestellt werden. Laut Utesch (2007) sind durch die vorhandenen Standortbedingungen des Betriebes und der Zweitkulturnutzung der Energiesonnenblume nach Grünroggen Erträge von 100-120 dt TS/ha bei 25 % TS durchaus realistisch. Diese sollen das Ziel für die nächste Vegetationsperiode sein.

Um dieses Ziel zu erreichen, sollten folgende Aspekte im Anbauverfahren berücksichtigt werden:

Aus verfahrenstechnischer Sicht sollten die Energiesonnenblumen prinzipiell mit einer Einzelkorndrille ausgesät werden. Zum Einen wird durch die 37,5 cm Reihenabstand die, für das Pflanzenwachstum optimale Gleichstandsart näherungsweise erreicht, zum Anderen können Fehlstellen und Mehrfachbelegungen (wie bei der Aussaat mit einer normalen Drille) besser vermieden, und somit Saatgut eingespart werden.

Pflanzenschutzmaßnahmen sind bisher nicht nötig gewesen. Da es sich um ein extensives Anbauverfahren der Sonnenblumen handelt, sollten auch in Zukunft möglichst keine Pflanzenschutzmaßnahmen notwendig werden. Ein Problem dabei kann sich jedoch aus der relativ engen, dreifeldrigen Fruchtfolge ergeben. Anbaupausen von 5-7 Jahren (Schuster, Marquardt, 2000) können nicht eingehalten werden (siehe Kap. 6.3). Ob dieser Fall eintritt, bleibt fraglich, da sich die Empfehlungen aus der Literatur nur auf die Körnernutzung der Sonnenblume beziehen. Wie sich die Anbaupausen bei der GPS-Nutzung der Sonnenblume gestalten, ist bisher noch ungeklärt. Zu vermuten sind allerdings geringere Anbaupausen, da im Fall der GPS-Nutzung fast die ganze oberirdische Pflanzenmasse vom Feld abgeführt wird und somit weniger Wirtschaftsmaterial für mögliche Pathogene vorhanden ist. Als Beispiel für einen ähnlichen Sachverhalt ist das höhere Fusarium-Risiko nach Körnermais, bei dem auch der Großteil der Pflanze auf dem Feld bleibt, im Vergleich zum Silomais (GPS-Nutzung) zu nennen.

Obwohl die Sonnenblume mit den oben genannten Ertragszielen (100-120 dt TS/ha) nicht an die Erträge des Mais (150 dt TS/ha) heran kommt, soll der gesellschaftliche Wert der Sonnenblume an dieser Stelle noch mal explizit betont werden. Auch wenn das Kapitel 5.4 recht kurz erscheint, so spielt dieser Aspekt für den langfristigen, erfolgreichen Betrieb der Biogasanlage eine wichtige Rolle. Durch die zentrale Ortslage der Anlage werden die Bewohner des Dorfes ständig mit der Anlage konfrontiert. Daher sollte darauf geachtet werden, eine positive Einstellung der Einwohner gegenüber der Biogasanlage hervorzurufen. Der Sonnenblumenanbau trägt in so fern dazu bei, dass er das Ortsbild im Vergleich zum Mais erheblich verbessert und diese positive Veränderung der Biogasanlage zugeschrieben wird.

Ein weiterer Punkt, der nicht in direkter Beziehung zum Ertrag steht, ist der Aspekt Humus und Bodenfruchtbarkeit. Spätestens seit Cross Compliance trägt

dieser eine große Bedeutung. Auch wenn die Humus-Frage sehr umstritten ist (siehe Kap. 5.2), bleibt festzuhalten, dass der Nährstoffkreislauf des Betriebes geschlossen bleiben sollte und eine Strohabfuhr nach der Weizenernte langfristig zum Humusabbau führt. Die Sonnenblume kann Nährstoffe aus tieferen Bodenschichten mobilisieren und durch die Nährstoffrecyclierung diese auch für die anderen Kulturen innerhalb der Fruchtfolge verfügbar machen. Zudem hinterlässt sie eine sehr gute Bodengare für den Anbau der Folgefrucht. Die oben genannten Argumente stärken die Position der Sonnenblume gegenüber dem Mais, auch bei geringeren Erträgen.

Zudem stellt sich immer wieder die Frage des optimalen Erntezeitpunktes. Wie in Kapitel 6.5 beschrieben, sollten die Sonnenblumen mit dem Mais geerntet werden und unter Umständen (siehe Kap. 2.4) sogar in Form einer Mischsilage konserviert werden. Wichtig dabei ist, das TS-Gehalte von >25 % erreicht werden, um Sickersaft zu vermeiden.

Da ein gezieltes, gleichzeitiges Abreifen der Sonnenblumen- und Maisbestände sehr viel Erfahrung erfordert, ist das Zusammentreffen der optimalen Erntetermine schwierig. Aus arbeitswirtschaftlicher Sicht ist eine gemeinsame Ernte jedoch sehr sinnvoll. Gründe dafür sind unter anderem der geringere organisatorische Aufwand für nur eine Ernte (Planung, Maschinenbereitstellung, Personalbeschaffung, usw.), der nur einmalige logistische Aufwand für die Bereitstellung der Maschinen (Schlepper, Transportwagen, usw.), sowie die Mischsilierung in nur einem Silohaufen. Des Weiteren überschneidet sich die Sonnenblumenernte im September mit den Arbeiten der Roggenaussaat. Wird die Sonnenblume erst im Oktober geerntet, so steht mehr Arbeitszeit für die Roggenaussaat zur Verfügung. Ziel sollte es daher sein, den Aussattermin der Sonnenblumen so zu wählen, dass der optimale Erntetermin gleichzeitig mit dem Mais eintritt.

Ist dies der Fall, so verändert sich die Summenkurve in Abbildung 3-4. Der gelbe Balken für die Sonnenblumenernte verschiebt sich nach rechts und die orange Summenkurve wird schmaler und spitzer. In der ersten Oktoberhälfte ergibt sich somit ein Arbeitszeitbedarf von 150 Akh (statt 110 Akh). Durch die vorhandenen Aushilfen zur Maisernte, sind diese Stunden leicht abzudecken.

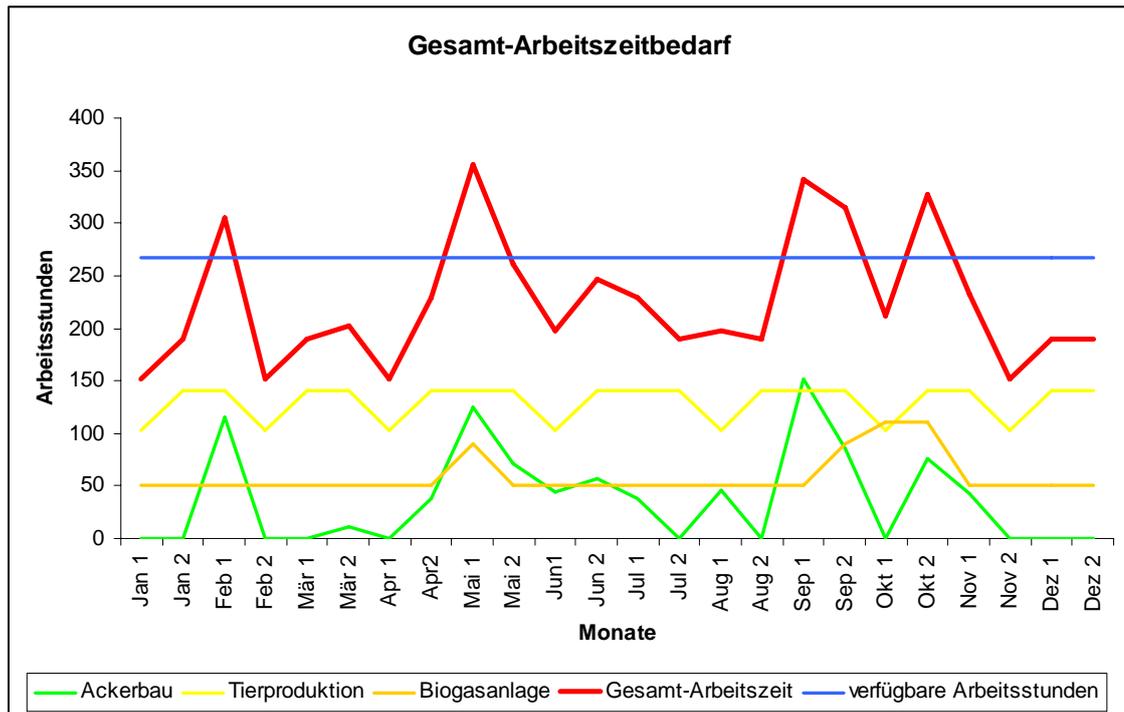


Abbildung 3-5 Gesamt-Arbeitszeitbedarf (eigene Abbildung)

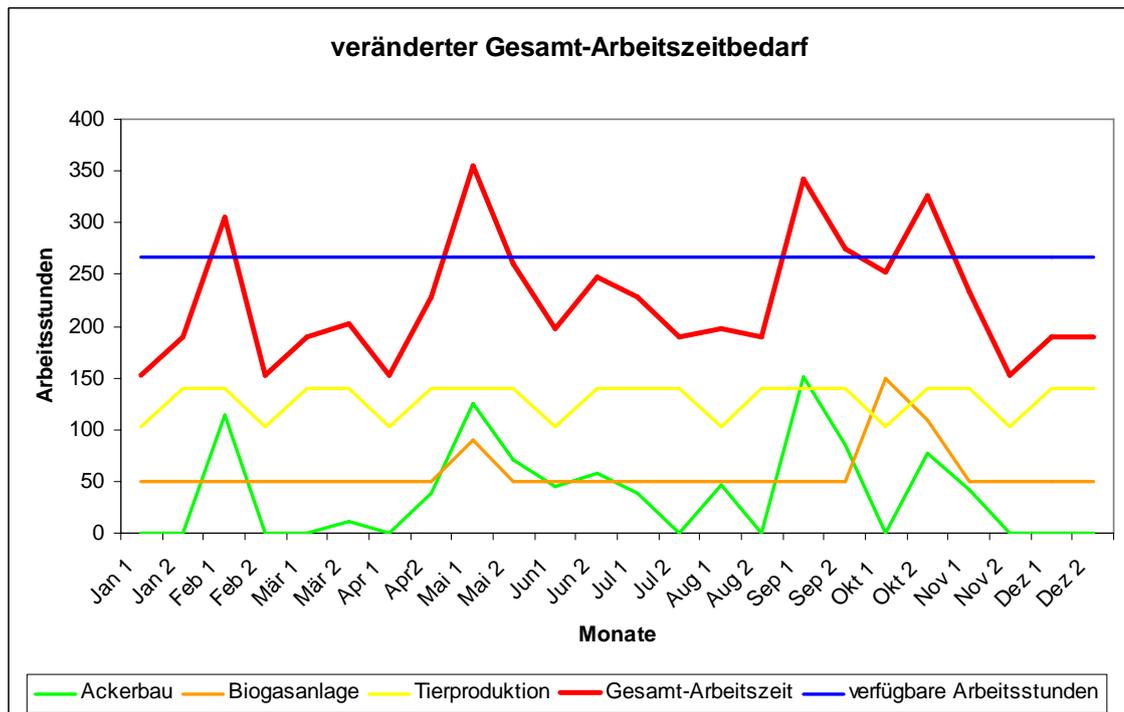


Abbildung 8-1 veränderter Gesamt-Arbeitszeitbedarf, Sonnenblumenernte im Okt 1 (eigene Abbildung)

Betrachtet man diese einzelne Veränderung im Anbauverfahren der Sonnenblume (Ernte im Oktober), so ist im direkten Vergleich der Gesamt-

Arbeitszeiten (Abbildung 3-5 und Abbildung 8-1) zu erkennen, dass die Belastung der Arbeitskräfte im September durch die Verschiebung der Sonnenblumenernte in den Oktober verringert wird. Weiter ist zu erkennen, dass sich die Arbeitsspitze im September oberhalb der verfügbaren Arbeitsstunden verkleinert und daher die Belastung der Betriebsleiter geringer wird. Die Summe der benötigten Arbeitsstunden verändert sich dabei nicht, es werden jedoch mehr Stunden von den Ernteaushilfen abgeleistet, und somit die Betriebsleiter entlastet.

Zudem ist darauf zu achten, dass in der Tierproduktion kein Absetztermin in die erste Oktoberhälfte fällt, da in diesem Fall die Belastung der Betriebsleiter wieder ansteigt.

Die benötigten Akh/ha aus Kapitel 7.3 zeigen, dass der extensive Sonnenblumenanbau mit 7,03 Akh/ha weniger arbeitsintensiv ist wie der Maisanbau mit 9,1 Akh/ha. Dies befürwortet den Sonnenblumenanbau immens, da Arbeitsstunden knapp und teuer sind. Weiter entlastet der Sonnenblumenanbau die arbeitsintensive Zeit der Maisaussaat (siehe Abbildung 3-2) Anfang Mai in so fern, dass die Aussaat der Sonnenblumen erst Ende Mai oder Anfang Juni erfolgt.

Der geringere Arbeitsaufwand des Sonnenblumenanbaues von ca. 2 Akh/ha gegenüber dem Mais, verschafft der Sonnenblume einen Kostenvorteil. Die Lohnkosten betragen 105,45 €/ha, was bei 569,45 €/ha Gesamtkosten in etwa 19 % ausmacht (siehe Abbildung 7-1). Im Vergleich zum Mais (136,50 €/ha Lohnkosten) sind dies ca. 30 €/ha Lohnkostenvorteil. Ebenso liegen die Maschinen- und Produktionsmittelkosten des Sonnenblumenanbaues unterhalb der Kosten des Maisanbaues (siehe Kap. 7.2). Im Vergleich der Gesamtkosten ist festzustellen, dass der Mais (805,22 €/ha Gesamtkosten) um ca. 235 €/ha teurer ist.

Bei Betrachtung der Tabelle 7 und der Tabelle 12 fällt auf, dass die Kosten pro t TS fast identisch sind. Die geringeren Erträge der Sonnenblume werden durch den Kostenvorteil gegenüber dem Mais kompensiert. In Bezug auf die Maschinen-, Lohn- und Produktionsmittelkosten pro t TS, ist somit der Sonnenblumenanbau mit dem Maisanbau gleichzusetzen. Das heißt, die Kosten für die Produktion einer Tonne Mais sind gleich den Kosten einer Tonne Sonnenblumen (bezogen auf die Trockensubstanz). Hierbei ist jedoch darauf zu

achten, dass es sich nur um Maschinen-, Lohn- und Produktionsmittelkosten handelt. Auf Grund der geringeren Erträge gegenüber dem Mais, sind dem Sonnenblumenanbau noch höhere Flächenkosten anzurechnen.

Die Vorzüglichkeit einer Kultur hängt jedoch nicht nur von den Kosten pro t TS ab, vielmehr spielen die Erlöse aus der Biogasproduktion eine wichtige Rolle. In Kapitel 7.1 werden Rechnungen zu den Stromerlösen angestellt. Hier wird deutlich, welche Parameter in der Biogasproduktion von Bedeutung sind. Tabelle 2 zeigt die Stromerlöse von Maissilage. Diese Tabelle beruht im Vergleich zu Tabelle 1 auf gefestigten Erfahrungen und wissenschaftlichen Ergebnissen. Tabelle 1 hingegen bezieht sich lediglich auf die Aussagen von Herrn V. Utesch (2007). Es stehen auch andere Zahlen für die Berechnungen in Tabelle 1 zur Verfügung, jedoch keine zusammenhängenden Werte. Nur die Ergebnisse aus den Streifenversuchen der KWS von Herrn Utesch beinhalten alle Werte (aus einer Quelle) für die Berechnungen. Daher kann hier nicht von ‚gefestigten Erfahrungen und wissenschaftlichen Ergebnissen‘ gesprochen werden. Die Werte in den Berechnungen können stark von den eingesetzten Werten abweichen, zur Veranschaulichung der unterschiedlichen Sonnenblumen- und Maiserlöse können die Tabellen Tabelle 1 Tabelle 2 jedoch herangezogen werden.

Im Vergleich der Stromerlöse pro Hektar erzielt der Mais einen zweimal höheren Erlös (3224 €) wie die Sonnenblume (1497 €). Die Erlöse pro Tonne Trockensubstanz unterscheiden sich hingegen weniger signifikant: Sonnenblume ca. 150 €/t TS, Mais ca. 215 €/t TS. Ausschlaggebende Gründe dafür sind neben den geringeren Erträgen, die angenommene, niedrigere Gasausbeute und der geringe oTS-Gehalt. Lediglich der Methangehalt ist mit 56 % um 2% höher angesetzt als der des Maises. Somit ist festzustellen, dass die Sonnenblume aus Sicht der Erlöse nicht konkurrenzfähig zum Mais ist.

Wie sich die Sonnenblumensilage in Kombination mit anderen Substraten bezüglich Gasausbeute und Methangehalt verhält, ist bisher nicht bekannt.

Eine Möglichkeit die Gasausbeute zu verbessern, ist die Vorbehandlung rohfaserreicher Substrate. Nach Amon (o. J.) ‚erhöht der Voraufschluss der Silagen von Sonnenblumen [...] mit Dampf, Mikrowellen oder Säuren die Methanausbeute.‘ ‚Bei Sonnenblumen führten Dampf- und Mikrowellenbehandlung der Gärrohstoffsilage zu einer deutlichen Steigerung

des spezifischen Methanertrages um 65-82 % im Vergleich zum unbehandelten Gärrohstoff. Durch die Säurebehandlung wurde ein Mehrertrag von 16 % erreicht.' (Amon, o. J.). Im Fall steigender Substratpreise kann die Vorbehandlung für die Bioenergie GbR ... durchaus interessant werden.

Weiter können laut Euralis Saaten (2007) ‚höhere Methanausbeuten‘ durch den Misanbau von Mais und Sonnenblumen erzielt werden. ‚Die Sonne[nblume] hat, was dem Mais fehlt. Sie erhöht den Rohfettgehalt in der Silage‘ (Euralis Saaten, 2007). Die KWS hingegen argumentiert gegen den Misanbau, da ‚Sonnenblumen und Mais in den seltensten Fällen gleichzeitig den optimalen Erntezeitpunkt erreichen. [...] Zum Zeitpunkt der Maisernte sind die Sonnenblumen bereits deutlich abgereift, das abgestorbene Material weist eine geringe Gasausbeute auf. Deshalb sind diese beiden Kulturen auf separaten Flächen zu säen‘ (KWS, o. J.).

Abschließend soll noch einmal auf Verfahrenstechnische Aspekte bezüglich der Sonnenblumenernte eingegangen werden. Zu den oben genannten Argumenten für eine gemeinsame Ernte von Sonnenblumen und Mais ergeben sich aus Sicht des Lohnunternehmers einige weitere Aspekte: Dieser muss unter Umständen den Feldhäcksler für die Sonnenblumenernte im September umrüsten, da zu diesem Zeitpunkt die Maschine meist noch auf die Grünlandernte eingestellt und ausgerüstet ist. Zudem ist es für den Lohnunternehmer wichtig, direkt nach dem Ende der Sonnenblumenernte die Möglichkeit zu haben, den Feldhäcksler zu reinigen. Dabei handelt es sich um die, durch das Öl der Sonnenblumenkörner hervorgerufenen Verschmutzungen innerhalb der Maschine. Diese können durch die anschließende Beerntung eines Maisschlages relativ einfach beseitigt werden.

Verbesserungen im Ernteverfahren (Einsparung von Arbeitszeit, Häckselqualität, usw.) sind nur bedingt möglich. Da die Ernte ohne Hilfe eines Lohnunternehmers nicht durchführbar ist, kann nur zwischen verschiedenen Unternehmen variiert werden. Wie schlagkräftig die Erntekette ist, wird durch die technische Ausrüstung des Lohnunternehmers bestimmt. Ausschlaggebende Faktoren für eine kostengünstige und schnelle Ernte sind große Arbeitsbreiten und große Transportvolumen der Anhänger. Faktoren für gute Häcksel- und Siloqualität sind die Einstellung des Feldhäckslers (Geschwindigkeit der Vorpresswalzen, Einsatz des Corn-Crackers, usw.), die

Anzahl der Messer auf der Häckseltrommel (z.B. spezielle Biogastrommel mit 40 Messern) sowie eine hohe und gleichmäßige Verdichtung. Die Verdichtung des Silohaufens hat oberste Priorität. ‚Der Walzschlepper bestimmt die Geschwindigkeit der Silobefüllung, nicht der Häcksler!‘ (KWS, o.J.). Weiter kann die Schlagkraft der Erntekette mit der geplanten Anschaffung eines eigenen Abschiebewagens (siehe Kap. 3.6) erhöht werden.

Im Gegensatz zu den Empfehlungen der KWS (o. J.) (siehe Kap. 2.3.6) sollte mit dem Einsatz des Corn-Crackers vorsichtig umgegangen werden. Wird die Sonnenblume nicht in Form einer Mischsilage konserviert, so kann der Corn-Cracker-Einsatz zu großen Problemen auf dem Silohaufen führen. Aus den gequetschten Körnern tritt Öl aus, welches einen ‚Schmierfilm‘ auf der Oberfläche des Haufens bildet. Das Befahren des Silohaufens wird erschwert und die Verdichtung kann nicht mehr ordnungsgemäß erfolgen. Andererseits kann aus unbeschädigten Körnern nur wenig Energie gewonnen werden. Ebenso wie nicht angeschlagene Maiskörner den Verdauungstrakt der Kuh unverdaut wieder verlassen, können die Bakterien im Fermenter die nicht angeschlagenen Sonnenblumenkerne nur schwer aufschließen. Die Energie aus dem Öl kann nicht optimal genutzt werden. Die Einstellung des Corn-Crackers sollte also so gewählt werden, dass die Körner nicht gequetscht, sondern nur angebrochen werden. Aus angebrochenen Körnern tritt nur wenig Öl aus, der Aufschluß der Körner im Fermenter kann jedoch problemlos erfolgen.

## 9 Zusammenfassung

Die Sonnenblume ist eine sehr vielfältige Pflanze mit vielen unterschiedlichen Möglichkeiten der landwirtschaftlichen Nutzung. Eine Möglichkeit ist die Produktion von Biomasse zur Vergärung in Biogasanlagen. Die Bioenergie GbR ... nutzt diese Möglichkeit seit dem Beginn ihrer Biogasproduktion im Sommer 2005.

Als Problem innerhalb des Sonnenblumenanbaues stellt sich in der vorliegenden Arbeit unter anderem heraus, dass es sich trotz eines extensiven Anbauverfahrens um ein komplexes System pflanzenbaulicher und organisatorischer Fragestellungen handelt. So ist zum Beispiel die Wahl des richtigen Aussaatzeitpunktes schwer und kann nicht pauschal abgehandelt werden. Zudem hängt auch der Erntetermin damit zusammen. Dieser sollte möglichst zeitgleich mit dem Erntetermin der Maisbestände eintreten, da die Vorteile einer gleichzeitigen Ernte von Mais und Sonnenblumen weniger organisatorischer und logistischer Aufwand, eine verbesserte Silierfähigkeit der Sonnenblumen durch die Möglichkeit der Mischsilierung und mehr verfügbare Arbeitsstunden der Betriebsleiter im Herbst sind.

Die dreifeldrige Energiepflanzen betonte Fruchtfolge der Bioenergie GbR führt, trotz der intensiven Nutzung und der Abfuhr fast aller oberirdischen Biomasse, nicht zum Humusabbau (unter Berücksichtigung der Strohdüngung und der Ausbringung der Gärreste). Die Sonnenblume spielt dabei eine wichtige Rolle, da ohne ihre große Wurzelmasse und in Folge ihres Ersatzes in der Fruchtfolge durch Mais, es langfristig zum Humusabbau kommen würde.

Entscheidender Faktor für einen erfolgreichen Sonnenblumenanbau ist unter anderem auch die Sortenwahl. Spezielle Energiesonnenblumen befinden sich bei den Züchtern erst in der Anfangsphase, da die Sonnenblume bisher nur sehr wenig in Richtung Biomassenutzung züchterisch bearbeitet worden ist.

Das größte Problem für die Bioenergie GbR stellt die Ertragsleistung dar. Es sind bisher TS-Erträge von 3,2 t/ha erzielt wurden. Das Ziel für die nächste Vegetationsperiode sind 10-12 t TS/ha. Erreicht werden soll dies mit einer Umstellung in der Fruchtfolge, hochwertigem Z-Saatgut (Energiesonnenblumen) und einer sorgfältigen Bestandesführung. Werden die obigen Ertragsziele erreicht, so kann man die E-Sonnenblumen wirtschaftlich

mit dem Mais vergleichen. Die Produktion einer Tonne Trockensubstanz kostet im Maisanbau ebenso viel wie im Sonnenblumenanbau (bezogen auf die Maschinen-, Produktionsmittel- und Lohnkosten). Der Ertrag pro Hektar ist mit den erwarteten 10-12 t TS im Vergleich zum Mais (15 t TS/ha) jedoch um 3-5 t/ha geringer. Bezogen auf den Stromerlös aus der Biogasproduktion wird die Spannweite vom Mais zur Sonnenblume noch größer. Bei der Monovergärung von Sonnenblumen kann Strom im Wert von ca. 1500 €/ha produziert werden, wobei der Mais Stromerlöse von 3225 €/ha erbringt. Wie sich die Sonnenblume allerdings als Partner in einer Substratmischung verhält, ist noch ungeklärt, ebenso wie die Analyse der genauen Kennzahlen der neuen Energiesorten für die obigen Berechnungen.

Im Vergleich der Arbeitszeiten wird das extensivere Anbauverfahren der Sonnenblume gegenüber dem Mais deutlich. Mit ca. 9 Akh/ha ist der Maisanbau in etwa 2 Akh/ha aufwendiger als der Anbau von Sonnenblumen.

Abschließend bleibt festzuhalten, dass die Sonnenblume trotz geringerer Erträge gegenüber dem Mais, eine wichtige Bedeutung im Energiepflanzenbau der Bioenergie GbR ... besitzt. Die pflanzenbaulichen, organisatorischen und gesellschaftlichen Vorteile der Sonnenblume überzeugen. In den nächsten Jahren ist mit einer Reihe neuer Sorten aus der Züchtung zu rechnen, was die Betriebsleiter dazu ermutigt, am Sonnenblumenanbau festzuhalten und ihn sukzessive zu optimieren.

**Literaturverzeichnis**

- /1/ aid (Hrsg.) (2005): Biogasanlagen in der Landwirtschaft. Heft 1453/2005. 3., überarbeitete Auflage. Bonn: Benatzky [Druck]: o. Verlag.
- /2/ Amon, T.; Kryvoruchko, V.; Bodiroza, V. und B. Amon (o.J.): Methanerzeugung aus Getreide, Wiesengras und Sonnenblumen: Einfluss des Erntezeitpunktes und der Vorbehandlung. Universität für Bodenkultur Wien: o. Verlag.
- /3/ Beste, A. (2007): Böden leiden unter Biogas. In: Unabhängige Bauernstimme, Heft 6, S. 17.
- /4/ Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (2007): Verzeichnis zugelassener Pflanzenschutzmittel. Standartsuche. <http://psm.zadi.de/psm/jsp/ListeMain.jsp?page=1&ts=1187784710119>, <http://psm.zadi.de/psm/jsp/ListeMain.jsp?page=1&ts=1187784967920>, 22.08.2007.
- /5/ Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (2007): Verzeichnis zugelassener Pflanzenschutzmittel. Standartsuche. <http://psm.zadi.de/psm/jsp/ListeMain.jsp?page=1&ts=1190824852440>, 25.09.2007.
- /6/ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2004): Erneuerbare-Energien-Gesetz. § 8 Abs. 3. Berlin: o. Verlag.
- /7/ Bundessortenamt (Hrsg.) (2006): Beschreibende Sortenliste für Getreide, Mais, Ölfrüchte, Leguminosen und Hackfrüchte. Hannover: o. Verlag.
- /8/ Euralis Saaten (2007): Mais und Sonnenblumen im Mischanbau. <http://www.euralis.de/fachinfo/mais/mischanbau-maissonnenblume/>, 29.09.2007.
- /9/ Friedt, W. (2007): Sonnenblumenerträge Rauischholzhausen. persönliche Mitteilung. Gießen, 06.06.2007.
- /10/ Gaudschau, M. (2007): Vorlesungsunterlagen BKA 10 Nutzpflanzenproduktion. Unveröffentlicht.
- /11/ Grass, R. (2007): Es muss nicht immer Mais sein. Das Zweikulturnutzungssystem als alternative Anbaumethode für Biomasse. Neue Landwirtschaft, Heft 3, S. 76-82.

- /12/ Hessisches Landeslabor (2007): Prüfbericht Biogasgülle vom 07.02.2007. Kassel. Unveröffentlicht.
- /13/ Hugger, H. (2007): Mais, Mais, Mais,...?.In: DLG (Hrsg.): DLG Mittelungen. Frankfurt a. M.: Max-Eyth-Verlagsgesellschaft mbH, Heft 5, S. 53.
- /14/ Hugger, H. (1989): Sonnenblumen. Züchtung, Anbau, Verarbeitung. Freiburg: Ulmer-Verlag.
- /15/ Karpenstein-Machan, M. (2005): Energiepflanzenbau für Biogasanlagenbetreiber. Frankfurt a. M.: DLG-Verlag.
- /16/ Kuhlmann, F. (2003): Betriebslehre der Agrar- und Ernährungswirtschaft. Gießen: DLG-Verlag.
- /17/ Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (Hrsg.) (2005): Clevere Landwirte geben Gas. Musterlösungen für landwirtschaftliche Biogasanlagen. Darmstadt: Landwirtschaftsverlag.
- /18/ KWS Mais GmbH (o. J.): Ratgeber Energiepflanzen. Einbeck: o. Verlag.
- /19/ KWS Mais GmbH (o. J.): Anbauratgeber Energiesonnenblume KW 0411. Einbeck: o. Verlag.
- /20/ Laser, H. (2007): Siliereigenschaften der Sonnenblume. persönliche Mitteilung. Gießen, 13.06.2007.
- /21/ Leithold, G. (2007), Vorlesungsunterlagen BP 36 Bodenfruchtbarkeit. Unveröffentlicht.
- /22/ Lindemann, K.; Hunger, A. und J. Weickel (1988): Sonnenblumen. Anbau, Verfahrenstechnik, Wirtschaftlichkeit. Darmstadt: KTBL-Schrift 325, o. Verlag.
- /23/ Lütke Entrup, N. und J. Oehmichen (Hrsg.) (2000): Lehrbuch des Pflanzenbaues. Band 2: Kulturpflanzen. Soest: Verlag Th. Mann.
- /24/ Nussbaum, H. (2006): Erzeugung hochwertiger Silagen aus nachwachsenden Rohstoffen. In: Deutsches Maiskomitee e.V. (Hrsg.): Mais. Erfolgreich Biogas Erzeugen. Aulendorf: o. Verlag. S. 54-59.
- /25/ N. N. (1997): DLG-Futterwerttabelle Wiederkäuer. Frankfurt a. M.: DLG-Verlag.
- /26/ N. N. (2007): Betriebstagebuch der ... Bioenergie GbR. Naumburg-Heimarshausen. unveröffentlicht

- /27/ Oechsner, H.; Lemmer, A. und C. Neuberg (2003): Feldfrüchte als Gärsubstrat in Biogasanlagen. Landtechnik, Heft 3, S. 58.
- /28/ Ordon, F. und W. Friedt (1998): Von Mendel zum Gentransfer. Grundlagen und aktuelle Methoden der Pflanzenzüchtung. aid Broschüre 3452/1998. Gießen: Verlag Th. Mann.
- /29/ Riekmann, C. und M. Benke (2006): Optimierte Fruchtfolgen mit Mais. In: Deutsches Maiskomitee e.V. (Hrsg.): Mais. Erfolgreich Biogas Erzeugen. Oldenburg: o.Verlag, S. 38-45.
- /30/ Scheffer, K. (2005): Anbau und Nutzung von Energiepflanzen. Eine Option mehr für Ökonomie und Ökologie im Ökologischen Landbau. Landinfo, Heft 4, S. 17-21.
- /31/ Schuster, W. H. und R. A. Marquard (2003): Die Sonnenblume (*Helianthus annuus* L.). Gießen: Elektronische Bibliothek der Justus-Liebig-Universität Gießen.
- /32/ Steffens, D. (2007): Auswirkungen des Sonnenblumenanbaus auf den Nährstoffhaushalt des Bodens. persönliche Mitteilung. Gießen, 24.5.2007.
- /33/ Stülpnagel, R. (o. J.): Alternativen im Energiepflanzenbau. Universität Kassel, Institut für Nutzpflanzenkunde. Witzenhausen: o. Verlag.
- /34/ Top agrar (Hrsg.) (2002): Biogas. Strom aus Gülle und Biomasse. Fachbuch. Münster: Landwirtschaftsverlag.
- /35/ Utesch, V.(2007): Sonnenblumenerträge und Kennzahlen zur Wirtschaftlichkeitsberechnung. persönliche Mitteilung. Einbeck, 25.09.2007.
- /36/ Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.) (2004): Standpunkt. Humusbilanzierung. Bonn: VDLUFA, Selbstverlag.
- /37/ Weiland, P. (2006): Technische Anforderungen an die Vergärung von Energiepflanzen. Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL). Braunschweig: o. Verlag.
- /38/ Wetter-online.de (2007): Klimarechner. Fritzlar Jahresanalyse Temperatur von August 2002 bis August 2007. <http://www.wetteronline.de/cgi-bin/regframe?3&CONT=dldl&ART=MAX&PLZ=34560&PLZNAME=&LANG=de&PRG=klimavar>. 23.08.2007.
-

- /39/ Wetter-online.de (2007): Klimarechner. Fritzlar Jahresanalyse Niederschlagsmenge von August 2002 bis August 2007. <http://www.wetteronline.de/cgi-bin/regframe?3&CONT=dldl&ART=MAX&PLZ=34560&PLZNAME=&LANG=de&PRG=klimavar>. 23.08.2007.
- /40/ Wolters, W. (2006): Wie ein Stall mit 100 Kühen. In: Deutsches Maiskomitee e.V. (Hrsg.): Mais. Erfolgreich Biogas Erzeugen. Niederkrüchten: o. Verlag, S. 60-63.
- /41/ Zerr, W. (2006): Möglichkeiten innerhalb des Energiepflanzenbaus. persönliche Mitteilung. Eichhof Bad Hersfeld, Dez. 2006.

## Anhang

### A1: Humusbilanz (kg C/ha) der Fruchtfolge

Anzeigeebene	Gruppe	Jahr	Ackerzahl	Humus-Brutto-bedarf	Humus-Mehrerleistung	Stroh-Düngung	Grün-Düngung	Humus-Netto-bedarf
Schlag 1	Alt1-SoBlu	2005	55	-800	160	0	0	-640
Schlag 1	Alt1-SoBlu	2006	55	-400	160	660	0	420
Schlag 1	Alt1-SoBlu	2007	55	-400	0	0	0	-400
Zusammenfassung	Alt1-SoBlu	ausgewählte Jahre	55	-533,33	106,67	220	0	-206,67

Stalldung	Gülle	Sonstige org. Dünger	Org. Düngung ges.	Humusersatzleistung ges.	Saldo
0	0	347,65	347,65	507,65	-292,35
0	0	347,65	347,65	1167,66	767,66
0	0	347,65	347,65	347,65	-52,35
0	0	347,65	347,65	674,32	<b>140,99</b>

### A 2: Humusbilanz (kg C/ha) einer Maismonokultur

Anzeigeebene	Gruppe	Jahr	Ackerzahl	Humus-Brutto-bedarf	Humus-Mehrerleistung	Stroh-Düngung	Grün-Düngung	Humus-Netto-bedarf
Schlag	Alt2-MaisMono	2005	55	-800	0	0	0	-800
Schlag	Alt2-MaisMono	2006	55	-800	0	0	0	-800
Schlag	Alt2-MaisMono	2007	55	-800	0	0	0	-800
Zusammenfassung	Alt2-MaisMono	ausgewählte Jahre	55	-800	0	0	0	-800

Stalldung	Gülle	Sonstige org. Dünger	Org. Düngung ges.	Humusersatzleistung ges.	Saldo
0	0	347,65	347,65	347,65	-452,35
0	0	347,65	347,65	347,65	-452,35
0	0	347,65	347,65	347,65	-452,35
0	0	347,65	347,65	347,65	<b>-452,35</b>

## A 3: Arbeitszeitbedarf Ackerbau

<b>Roggen/ E-Sonnenblume,</b> 5 ha, 120 kW Schlepper, Bodenart: mittel					
Arbeitsgang	Gerät	Teilarbeit	Menge je ha	Zeitspanne	Arbeitsbedarf in Akh/ha
<u>Roggen</u>					
Gülleausbringung ab Hof	PTW 15m <sup>3</sup> , 15m Schleppschlauchverteiler	FA	15 m <sup>3</sup>	SEP	0,85
Saatbettbereitung	Schwergrubber, 3m	FA		SEP	0,83
Aussaat	Kreiselegge und Sämaschine, 3m	FA	200 kg	SEP	0,94
Gülleausbringung ab Hof	PTW 15m <sup>3</sup> , 15m Schleppschlauchverteiler	FA	15 m <sup>3</sup>	FEB	0,85
Ernte Roggen		KO		MAI	
<u>E-Sonnenblumen</u>					
Gülleausbringung ab Hof	PTW 15m <sup>3</sup> , 15m Schleppschlauchverteiler	FA	15 m <sup>3</sup>	MAI	0,85
Saatbettbereitung	Schwergrubber, 3m	FA		MAI	0,83
Aussaat	Einzelkornsaat, 3m	KO	12 kg	JUN	0,74
Ernte E-Sonnenblumen		KO		SEP	
Summe					<b>5,89</b>

<b>Roggen/Silomais,</b> 5 ha, 120 kW Schlepper, Bodenart: mittel					
Arbeitsgang	Gerät	Teilarbeit	Menge je ha	Zeitspanne	Arbeitsbedarf in Akh/ha
<u>Roggen</u>					
Gülleausbringung ab Hof	PTW 15m <sup>3</sup> , 15m Schleppschlauchverteiler	FA	15 m <sup>3</sup>	SEP	0,85
Saatbettbereitung	Schwergrubber, 3m	FA		SEP	0,83
Aussaat	Kreiselegge und Sähmaschine, 3m	FA	200 kg	SEP	0,94
Gülleausbringung ab Hof	PTW 15m <sup>3</sup> , 15m Schleppschlauchverteiler	FA	15 m <sup>3</sup>	FEB	0,85
Ernte Roggen				MAI	
<u>Silomais</u>					
Gülleausbringung ab Hof	PTW 15m <sup>3</sup> , 15m Schleppschlauchverteiler	FA	15 m <sup>3</sup>	MAI	0,85
Saatbettbereitung	Schwergrubber, 3m	FA		MAI	0,83
Aussaat	Einzelkornsaat, 3m	KO	2,2 E/ha	MAI	0,74
Herbizidmaßnahme	Anbaupflanzenschutzspritze, 15m, 1000l	FA	200 l	JUN	0,26
Gülleausbringung ab Hof	PTW 15m <sup>3</sup> , 15m Schleppschlauchverteiler	FA	15 m <sup>3</sup>	JUN	0,85
Ernte Silomais		KO		OKT	
Summe					<b>7</b>

<b>Weizen, 5 ha, 120 kW Schlepper, Bodenart: mittel</b>					
Arbeitsgang	Gerät	Teilarbeit	Menge je ha	Zeitspanne	Arbeitsbedarf in Akh/ha
Pflügen	Anbaudrehpflug mit Packer, 4-furchig, 1,40m	FA		OKT	1,7
Aussaat	Kreiselegge und Sämaschine, 3m	FA	200 kg	NOV	0,94
Gülleausbringung ab Hof	PTW 15m <sup>3</sup> , 15m Schleppschauchverteiler	FA	15 m <sup>3</sup>	FEB	0,85
Herbizidmaßnahme + Einkürzung	Anbaupflanzenschutz- spritze, 15m, 1000l	FA	200 l	MÄR	0,26
Gülleausbringung ab Hof	PTW 15m <sup>3</sup> , 15m Schleppschauchverteiler	FA	15 m <sup>3</sup>	APR	0,85
1.Fungizidmaßnahme + Einkürzung	Anbaupflanzenschutz- spritze, 15m, 1000l	FA	200 l	MAI	0,26
2.Fungizidmaßnahme	Anbaupflanzenschutz- spritze, 15m, 1000l	FA	200 l	JUN	0,26
Ährengabe KAS	Schleuderstreuer, 800l, Düngerförderschnecke, 5m	FA	80 kg	JUN	0,16
Mähdrusch	Mähdrescher, 4,50m, 125kW	FA	80 dt	AUG	1,02
Summe					<b>6,3</b>

## A 4: Arbeitszeitverteilung Ackerbau, Gesamtfläche 135ha (3\*45 ha)

## Datengrundlage für Abbildung 3-2

Jan 1	Jan 2	Feb 1	Feb 2	Mär 1	Mär 2	Apr 1	Apr 2	Mai 1	Mai 2	Jun 1	Jun 2	
0	0	38,25	0	0	0	0	0	38,25	37,35	33,3	0	Roggen/ E-Sonnen- blumen
0	0	38,25	0	0	0	0	0	75,6	33,3	0	49,95	Roggen/ Silomais
0	0	38,25	0	0	11,7	0	38,25	11,7	0	11,7	7,2	Weizen
0	0	114,75	0	0	11,7	0	38,25	125,55	70,65	45	57,15	Summe

Jul 1	Jul 2	Aug 1	Aug 2	Sep 1	Sep 2	Okt 1	Okt 2	Nov 1	Nov 2	Dez 1	Dez 2	Summe	
0	0	0	0	75,6	42,3	0	0	0	0	0	0	265,05	Roggen/ E-Sonnen- blumen
0	0	0	0	75,6	42,3	0	0	0	0	0	0	315	Roggen/ Silomais
0	0	45,9	0	0	0	0	76,5	42,3	0	0	0	283,5	Weizen
0	0	45,9	0	151,2	84,6	0	76,5	42,3	0	0	0	<b>863,55</b>	Summe

## A 5: Arbeitszeitverteilung Tierproduktion

## Datengrundlage für Abbildung 3-3

Jan 1	Jan 2	Feb 1	Feb 2	Mär 1	Mär 2	Apr 1	Apr2	Mai 1	Mai 2	Jun1	Jun 2	Jul 1
41,7	41,7	41,7	41,7	41,7	41,7	41,7	41,7	41,7	41,7	41,7	41,7	41,7
45,5	69,5	69,5	45,5	69,5	69,5	45,5	69,5	69,5	69,5	45,5	69,5	69,5
15,0	29,1	29,1	15,0	29,1	29,1	15,0	29,1	29,1	29,1	15,0	29,1	29,1
102,2	140,3	140,3	102,2	140,3	140,3	102,2	140,3	140,3	140,3	102,2	140,3	140,3

Jul 2	Aug 1	Aug 2	Sep 1	Sep 2	Okt 1	Okt 2	Nov 1	Nov 2	Dez 1	Dez 2		Summe
41,7	41,7	41,7	41,7	41,7	41,7	41,7	41,7	41,7	41,7	41,7	1000h Fremd-Ak	999,8
69,5	45,5	69,5	69,5	69,5	45,5	69,5	69,5	45,5	69,5	69,5	1500h G....	1500,0
29,1	15,0	29,1	29,1	29,1	15,0	29,1	29,1	15,0	29,1	29,1	600h J....	599,7
140,3	102,2	140,3	140,3	140,3	102,2	140,3	140,3	102,2	140,3	140,3	Summe Tierprod.	<b>3099,5</b>

## A 6: Arbeitszeitverteilung Biogasanlage

## Datengrundlage für Abbildung 3-4

Jan 1	Jan 2	Feb 1	Feb 2	Mär 1	Mär 2	Apr 1	Apr2	Mai 1	Mai 2	Jun1	Jun 2	Jul 1	
50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	Anlage
													Maisernte
													SB-Ernte
								40					Roggenernte
50	50	50	50	50	50	50	50	90	50	50	50	50	Summe

Jul 2	Aug 1	Aug 2	Sep 1	Sep 2	Okt 1	Okt 2	Nov 1	Nov 2	Dez 1	Dez 2		Summe
50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	1200h Anlage	1200
					60	60					120h Maisernte	120
				40							40h SB-Ernte	40
											40h Roggenernte	40
50	50	50	50	90	110	110	50	50	50	50	Summe	<b>1400</b>

A 7: Arbeitszeitverteilung Gesamt  
 Datengrundlage für Abbildung 3-5

Jan 1	Jan 2	Feb 1	Feb 2	Mär 1	Mär 2	Apr 1	Apr2	Mai 1	Mai 2	Jun1	Jun 2	Jul 1
0	0	114,75	0	0	11,7	0	38,25	125,55	70,65	45	57,15	
50	50	50	50	50	50	50	50	90	50	50	50	50
102,16	140,26	140,26	102,16	140,26	140,26	102,16	140,26	140,26	140,26	102,16	140,26	140,26
152,16	190,26	305,01	152,16	190,26	201,96	152,16	228,51	355,81	260,91	197,16	247,41	228,51
266,66	266,66	266,66	266,66	266,66	266,66	266,66	266,66	266,66	266,66	266,66	266,66	266,66

Jul 2	Aug 1	Aug 2	Sep 1	Sep 2	Okt 1	Okt 2	Nov 1	Nov 2	Dez 1	Dez 2	Summe	
0	45,9	0	151,2	84,6	0	76,5	42,3	0	0	0	863,55	Acker- bau
50	50	50	50	50	150	110	50	50	50	50	1400	Biogas- anlage
140,26	102,16	140,26	140,26	140,26	102,16	140,26	140,26	102,16	140,26	140,26	3099,54	Tier- prod.
190,26	198,06	190,26	341,46	274,86	252,16	326,76	232,56	152,16	190,26	190,26	<b>5363,09</b>	Gesamt Arbeit
266,66	266,66	266,66	266,66	266,66	266,66	266,66	266,66	266,66	266,66	266,66	<b>6399,84</b>	Gesamt Verfügb. Akh

## **Ehrenwörtliche Erklärung**

**Bachelorarbeit:**

Ich versichere, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe.

Die Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch in keinem anderen Studiengang als Prüfungsleistung verwendet.

Gießen. 02.10.2007