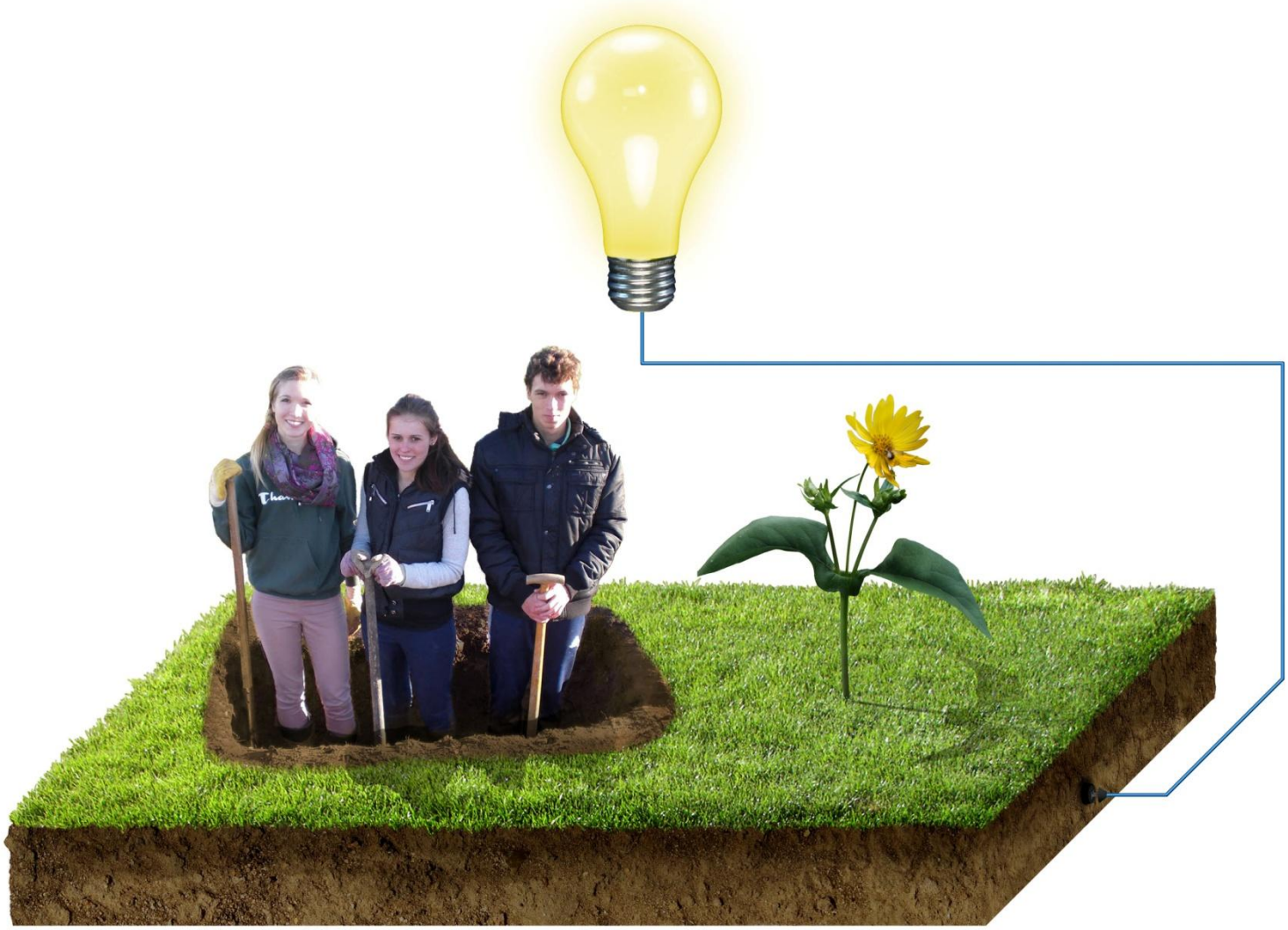
# Durchwachsene Silphie - Alternative zum Mais?



## Jugend forscht-Arbeit von:


Laura Eschweiler, Rolf Hartmann und Ramona Pick

*St. Michael-Gymnasium - Bad Münstereifel*

# Inhaltsverzeichnis

Seite

1 Einleitung ..... 3
2 Hauptteil ..... 4
2.1 Problematik ..... 4
2.1.1 Vor- und Nachteile der Silphie im Vergleich zum Mais ..... 4
2.2 Feldversuche im 1. Pflanzjahr ..... 5
2.2.1 Anbau der Energiepflanzen ..... 5
2.2.2 Wachstumsbedingungen ..... 6
2.2.3 Auswertung der Pflanzenentwicklung ..... 8
2.2.4 Auswertung des Nährstoffbedarfs ..... 9
2.3 Versuche zum Kohlenstoffgehalt im Boden ..... 11
2.3.1 Nasse Oxidation ..... 11
2.3.2 Auswertung der Kohlenstoffgehalts ..... 12
2.4 Laborversuche im 2. Wachstumsjahr ..... 12
2.4.1 Aufbau der Kästen ..... 12
2.4.2 Aufbau der Töpfe ..... 14
2.4.3 Auswertung der Versuchsreihen ..... 14
2.5 Keimversuche ..... 15
2.5.1 Aufbau ..... 16
2.5.2 Auswertung ..... 16
2.6 Versuch zur Saatgutoptimierung ..... 17
2.7 Wirtschaftlichkeit ..... 18
3 Fazit und Ausblick ..... 19
4 Danksagung ..... 20
5 Abbildungsverzeichnis ..... 20
6 Literaturverzeichnis ..... 20

# 1 Einleitung

Die Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung in Form des Erneuerbaren Energien Gesetzes (EEG 2012) verfolgt das Ziel, den Anteil erneuerbarer Energien bis zum Jahr 2020 mindestens auf 35% und bis 2050 auf mindestens 80% zu steigern.[1] Dieses Gesetz wurde notwendig, da fossile Energieträger nicht unbegrenzt zur Verfügung stehen und der globale Energieverbrauch stetig steigt. Zudem trägt die Nutzung von fossilen Energieträgern zu $CO_2$-Emmissionen bei, die wiederum für den Treibhauseffekt mitverantwortlich sind. Für kommende Generationen setzt man daher auf erneuerbare Energien**.** In diesem Zusammenhang galt unser Interesse den nachwachsenden Rohstoffen.

Silomais ist zurzeit die wichtigste Energiepflanze zur Erzeugung von Biogas. Jedoch hat diese Pflanze einige ökologische Nachteile, da sie einen sehr hohen Nährstoffbedarf aufweist und daher das Grundwasser durch Nitratauswaschungen stark belastet.[2] Ebenso trägt sie zur Erosion bei.

Mit der **Durchwachsenen Silphie (Silphium perfoliatum)** möchten wir eine Alternative schaffen. Die Silphie, als eine mehrjährige Energiepflanze, bedeckt den Boden ganzjährig, vermindert daher die Erosionsgefahr und sorgt für eine Vielfalt in der Landwirtschaft, da sie auch als „Bienenweidepflanze in Betracht komm[t]“[3]. Die ursprünglich aus Nordamerika stammende Silphie kann man auf unsere klimatischen Bedingungen adaptieren. Die Silphie scheint eine anspruchslose Pflanze zu sein, da sie sich in Nordamerika auch über die kontinentale Trockengrenze ausgebreitet hat. Im ersten Anpflanzjahr bildet sie nur eine bodendeckende Blattrosette. Im Winter friert sie zurück und wächst im zweiten Standjahr bis zu 3,00 m hoch und bildet drei bis zehn Stängel aus. Die Silphie ist eine Becherpflanze (cup plant), da sie am Stängel durch zwei zusammengewachsene Blätter einen Becher bildet, der den Tau auffängt. Zusätzlich ist sie durch ihr enormes Wurzelwerk in der Lage, die Bodenfeuchte optimal auszunutzen. Ihr Wasserbedarf liegt unter der agronomischen Trockengrenze von ca. 500 mm. Außerdem benötigt sie weniger Nährstoffe als Mais. Diesen Vorteilen der Silphie stehen jedoch höhere Kosten im ersten Pflanzjahr gegenüber, die wir in unserem Projekt versuchen wollen zu minimieren.

---

[1] http://www.erneuerbare-energien.de/fileadmin/ee-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/eeg_2012_bf.pdf, 06.05.13, 15:06
[2] http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3642.pdf, 06.05.2013, 16:20
[3] http://www.tll.de/ainfo/pdf/silp0810.pdf, 6.12.13,12:20

Aufbauend auf den Informationen, die wir mithilfe von Internetrecherchen und dem Besuch eines Versuchsfeldes im Tagebau Garzweiler erhielten, führten wir eigene Versuchsreihen durch, um die Nachhaltigkeit, Effizienz und Wirtschaftlichkeit der Silphie zu prüfen. Um die Silphie-Pflanze selber und ihr Wachstumsverhalten weitreichend und gegenüber dem Mais untersuchen zu können, haben wir im Frühjahr 2013 einige Setzlinge bestellt und diese auf einem eigenen Versuchsfeld, in Versuchskästen und in Blumentöpfen unter verschiedenen Bedingungen gepflanzt. Zudem haben wir verschiedene Versuche zur Keimung durchgeführt.

# 2 Hauptteil

## 2.1 Problematik

Das größte Problem beim Maisanbau ist die intensive Düngung der Anbauflächen. Dieses wiederum führt zu einer sehr hohen Grundwasserbelastung nicht nur in Deutschland.[4] In Nordfrankreich ist die Grundwasserförderung deswegen in einigen Gebieten nicht mehr möglich. Diesen Grundwasserbelastungen versuchen wir mit dem Anbau der Silphie-Pflanze entgegen zu wirken. Auch arbeiten wir daran die geringe Keimungsfähigkeit, welche neben dem Unkrautdruck im ersten Pflanzjahr einen Nachteil der Silphie darstellt, zu verbessern.

### 2.1.1 Vor- und Nachteile der Silphie im Vergleich zum Mais

Die Silphie hat ausschlaggebende Vorteile gegenüber dem Mais. Die ökologischen Vorteile der Silphie liegen insbesondere im geringen Nährstoffbedarf, der Trockentoleranz und der Mehrjährigkeit. Durch ihren geringeren Nährstoffbedarf kann sie auf nährstoffarmen Böden (Lehm, Sand) gepflanzt werden. Mais ist jedoch eine sehr nährstoffzehrende Pflanze. Die Silphie benötigt zudem weniger Düngung als der Mais, dadurch wird das Grundwasser nicht so stark durch Nitratauswaschungen gefährdet. Außerdem besitzt sie eine sehr hohe Trockenresistenz, da sie mit 400-500 mm Niederschlag im Jahr auskommt. Die Silphie ist mehrjährig und erzielt erst nach dem zweiten Wachstumsjahr annähernd den vollen Ertrag. Jedoch kann sie als überwinternde Staude zwischen 10 bis zu 20 Jahren beerntet werden.

[4] WasserBLICK, BfG, 22.03.2010

Der Mais erzielt im ersten Wachstumsjahr bereits den vollen Ertrag, muss aber jedes Jahr neu gesät werden und ist so auf die Jahre bezogen arbeits- und kostenintensiver. Zudem hat die Silphie ab dem zweiten Pflanzjahr keine Konkurrenzpflanzen (Unkraut) mehr und kann sich selbst vermehren.

Ein großer Nachteil der Silphie ist aber die schwierige Etablierung im ersten Pflanzjahr. Die verminderte Keimfähigkeit führt zu einer geringen Feldaufgangsrate (ca. 20%).[5] Daher müssen die Jungpflanzen vorkultiviert und dann gesetzt werden. Dies ist im Gegensatz zum normierten Maissamen, der maschinell ausgesät werden kann, kosten- und arbeitsintensiv. Ein weiterer Nachteil im Anpflanzjahr ist, dass die niedrigen Blattrosetten von Unkraut überwuchert werden. Bei größeren Feldern müssen Hackkolonnen das Unkraut entfernen.

Ein wichtiger Aspekt der Energiepflanzen ist die Methanausbeute, welche bei Silphie und Mais in etwa gleich ist.[6]

## 2.2 Feldversuche im 1. Pflanzjahr

Mit unseren Feldversuchen überprüften wir mithilfe von Wetterdaten und Klimavergleichen, ob die Pflanze unter den hiesigen klimatischen Bedingungen kultiviert werden kann. Der Anbau der Silphie fand auf sehr nährstoffarmen Boden statt, um zu prüfen, ob sich die Pflanze für die Bewirtschaftung von Grenzertragsflächen eignet. Desweiteren wurde ein Vergleichsfeld mit gleichen Wachstumsbedingungen für Mais angelegt. Zudem verkürzten wir bewusst die Wachstumsperiode der Silphie, um zu fest zustellen, wie sich die Silphie unter dieser Voraussetzung entwickelt.

### 2.2.1 Anbau der Energiepflanzen

Im Frühjahr haben wir auf einem umgepflügten Acker ein ca. 200 m² großes Feld angelegt, das wir in vier kleinere Versuchsfelder von jeweils 25 m² Größe aufgeteilt haben, die durch ca. 1m breite Wege getrennt waren (s. Bild 1). Auf jeweils zwei Felder wurde Mais gesät und auf den beiden anderen Silphie gesetzt. Jeweils ein Feld wurde gedüngt und das Andere nicht. Die Düngergabe erfolgte nach dem empfohlenen Werten: Mais (N-Sollwert 180-200kg/ha) und Silphie (N-Sollwert 100-120 kg/ha).[7] Die Düngung wurde mit Blaukorndünger vorgenommen. Die Maissaat

[5] www.thueringen.de/de/tll, 10.1.14, 18:00 (10.1.14 18:00)
[6] M.Konrad, A.Biertümpfel, Fachgespräch Energiepflanzen/NAWARO
[7] Friedt, Wolfgang, Durchwachsene Silphie- Von der Futterpflanze zum Koferment,Jena,2009,S.288

fand Anfang Mai (07.05.13) statt. Der Abstand der einzelnen Pflanzen in einer Reihe betrug 15 cm. Der Reihenstand war 50 cm. Die Silphie wurde als Setzling erst Mitte Juni (22.06.13) eingepflanzt. Der Abstand der Pflanzen betrug 50 cm. Bei den Setzlingen handelte es sich nicht um Klone, wie beim Maissamen. Die Setzlinge waren bei der Pflanzung gleich kräftig und stammten von einem Züchter (Firma Chrestensen, Erfurt), der diese alle zum gleichen Zeitpunkt angezogen hatte. Anfang August (10.8.13) wurde das komplette Feld von Unkraut befreit, welches zu diesem Zeitpunkt so stark von Unkraut bedeckt war, dass die Silphie-Pflanzen nicht mehr zu erkennen waren.

Während des Feldversuchs wurden die Wetterdaten von einer Wetterstation (Modell: DAVIS Wireless Vantage Pro 2) genau aufgezeichnet. Dazu gehörten das Modem mit Datenspeicher sowie eine Grundeinheit, die meteorologische Basisdaten dokumentiert, und eine Bodeneinheit, die sich im Zentrum des Feldes befand und weitere wachstumsrelevante Daten aufzeichnete.

**Bild 1: Feldbestellung (eigene Fotos)**

### 2.2.2 Wachstumsbedingungen

Während der Wachstumsperiode wurden folgende wachstumsrelevante Parameter dokumentiert: Bodeneigenschaften, Licht, Niederschlag, Bodenfeuchte und Temperatur (s. Tabelle 1).

Durch Bodenproben, die mittels eines Bohrstocks entnommen wurden, bestimmten wir die Bodenqualität genauer. Für alle Teilfelder wurden folgende gleiche Bodeneigenschaften bestimmt: Der A-Horizont (Mutterboden) wies eine Mächtigkeit von 15-25 cm auf. Der B-Horizont war 50-70 cm mächtig und gliederte sich in zwei Schichten. Die obere Schicht war sehr tonig-lehmig und zwischen 20-40 cm mächtig, die untere zwischen 15-30 cm war schon sehr steinig. Es folgte der C-Horizont, das anstehende Gestein. Es handelte sich um eine Grenzertragsfläche, die zuvor nicht bewirtschaftet wurde.

Die Lichtintensität (Sonnenenergie und -strahlung) war während der Wachstumsperiode je nach Wolkendecke etwas unterschiedlich. Die maximale Intensität wurde im Juni und Juli gemessen, mit täglichen Höchstwerten zwischen 850 und 1300 W/m$^2$. Der Lichtsättigungspunkt der beiden Pflanzen wurde jedoch an jedem Tag von Sonnenauf- bis Sonnenuntergang erreicht. Die Bestrahlungsdauer betrug somit je nach Tageslänge 12-16,5 h.

Da der Niederschlag über den Messungszeitraum gleichmäßig verteilt gefallen ist, war der Boden immer ausreichend feucht. Die Niederschlagmenge im Juli und August war zwar sehr gering, aber aufgrund der vielen Regentage gab es keine längere Trockenperiode. Der längste, niederschlagslose Zeitraum war vom 26.08. - 07.09.13. In diesem Zeitraum sank die Bodenfeuchte auf den trockensten, gemessenen Wert: 42 cb (s. Tab. 1). Das heißt, zu diesem Zeitpunkt war der Unterdruck, den eine Pflanze überwinden muss, um an Wasser aus dem Boden zu kommen, am größten und somit der Boden am trockensten. Das Feld (ein schwerer Boden) war zu diesem Zeitpunkt jedoch nicht ausgetrocknet, sondern immer noch ausreichend feucht, obwohl es sich um den trockensten Wert handelte.

Die monatliche Durchschnittstemperatur betrug im Juni 14,7, im Juli 19,1, im August 17,1 und im September 14,1 °C.

Anhand der Daten lässt sich feststellen, dass die Wachstumsfaktoren Licht, Wasser und die Temperatur während der gesamten Wachstumsperiode im Präferenzbereich, der Silphie vorhanden waren.

Unsere aufgezeichneten Wetterdaten und die hiesigen Klimadaten sind mit den Hauptanbaugebieten der Silphie in Nordamerika[8] vergleichbar.

| | Juni | Juli | August | September | Gesamt | Präferenzbereich D. Silphie |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Durchschnittstemperatur (in °C)** | 14,7 | 19,1 | 17,1 | 14,1 | 16,25 | 15 – 23 |
| **Mittelwert (Euskirchen)** | 15,9 | 17,6 | 17,3 | 14,5 | 16,33 | |
| **Niederschlag (in mm)** | 67,6 | 42,8 | 39,2 | 92,2 | 241,8 | 150 – 400 |
| **Mittelwert (Euskirchen)** | 67 | 70 | 63 | 48 | 248 | |
| **Regentage** | 15 | 10 | 12 | 14 | 12,75 | 11 – 14 |
| **Mittelwert (Euskirchen)** | 14 | 14 | 14 | 13 | 13,75 | |
| **Bodenfeuchte, Durchschnittswert (in cb)** | 14,3 | 19,3 | 17,8 | 12,5 | 15,98 | |

Tabelle 1: Wetterdaten während des Feldversuchs

[8] Klima Peoria: http://www.klimadiagramme.de/Namerika/Plots/peoria.gif

### 2.2.3 Auswertung der Pflanzenentwicklung

Bei der Entwicklung unserer Silphie-Pflanzen konnte man keinen großen Unterschied zwischen dem ungedüngten und gedüngten Feld erkennen (s. Tabelle 2). So war die Blattzahl pro Pflanze (berücksichtig ab einer Länge von 20 cm) in etwa gleich: 6,9 (gedüngt) und 6,6 (ungedüngt). Es wurde also in beiden Fällen ungefähr gleich viel Biomasse gebildet. Die Photosyntheseleistung der Pflanzen ist also auf beiden Feldern ungefähr gleich gewesen. Diese Pflanzenentwicklung ist vergleichbar mit den Versuchsfeldern im Tagebau Garzweiler, Blattzahl dort 7,4 im Durchschnitt. Außerdem wurde auch ohne Düngung ein Bestandesschluss von etwa 60% erreicht. Das Unkraut wurde also vollständig verdrängt.

| Feld | Blattzahl (Durchschn.) | Rosette in cm | Bestandesschluss |
|---|---|---|---|
| **gedüngt** | 6,9 | 40 | 60 % |
| **ungedüngt** | 6,6 | 40 | 60 % |

Tabelle 2: Pflanzenentwicklung der Silphie-Pflanzen

Abschließend man kann daher sagen, dass die verkürzte Wachstumsperiode die Entwicklung der Silphie kaum beeinflusst hat. Die Durchwachsene Silphie ist auch für den Anbau auf nährstoffärmeren Böden geeignet. Auf eine Düngung im ersten Pflanzjahr kann sogar verzichtet werden, da diese bei uns nicht zu einer Ertragssteigerung führte. Bei den Maispflanzen hingegen konnte man größere Defizite in der Entwicklung erkennen. Gegen Ende August konnte man erste optische Unterschiede zwischen den Pflanzen des ungedüngten Felds im Vergleich mit den gedüngten Pflanzen erkennen. Am Ende der Wachstumsperiode betrug die Masse der ungedüngten Kolben folglich auch nur 76% der Masse der gedüngten Maisfrüchte.

Vergleicht man die aufgezeichneten Wetterdaten mit Mittelwerten der Jahre 1937-2010, stellt man für manche Monate große Abweichungen von den Mittelwerten fest. Die Monate Juli und August wiesen während dem Feldversuch sehr geringe Niederschlagsmengen auf, die deutlich unter dem Durchschnitt lagen. Der September war dagegen sehr niederschlagsreich. Es fiel über 90% mehr Niederschlag als im Mittel. Die klimatischen Bedingungen entsprechen also nicht nur theoretisch dem Präferenzbereich der Silphie. Auch in der Realität kann die Pflanze bei stark abweichenden Bedingungen an hiesigen Standorten wachsen.

Der einzige Nachteil der Silphie, den man während des Feldversuchs beobachten konnte, war die geringe Durchsetzungsfähigkeit der Setzlinge gegen Wildpflanzen.

Um den Silphiebestand zu etablieren, war es daher nötig, das gesamte Feld zu jäten. Auch bei anderen Betreibern (z. B. im Tagebau) war eine Entfernung von Unkraut während dem ersten Pflanzjahr notwendig. Danach konnten die langen Blätter der Rosette den Boden ganz bedecken und dem Unkraut das Licht nehmen. Der Mais hingegen konnte das Unkraut durch seine Größe verdrängen.

### 2.2.4 Auswertung des Nährstoffbedarfs

Desweiteren konnte man bei der Auswertung von Bodenproben, die nach der Ernte des Maises und der ersten Wachstumsperiode der Silphie Ende Oktober entnommen wurden, feststellen, dass der Nitrataustrag der Maispflanzen deutlich größer war, als der der Silphie-Pflanzen (s. Diagramm 1). Die Konzentration an Nitrat ist im Boden der nicht gedüngten und gedüngten Silphiefelder jeweils größer, im Vergleich mit dem jeweiligen Maisfeld. Da die Konzentration zu Versuchsbeginn auf allen Feldern gleich gewesen ist, hat der Mais deutlich mehr Nitrat verbraucht. Die Silphie weist einen viel geringen Bedarf an Nitrat auf. Dies wird nochmal dadurch bestätigt, dass die beiden Differenz in etwa gleich groß sind.

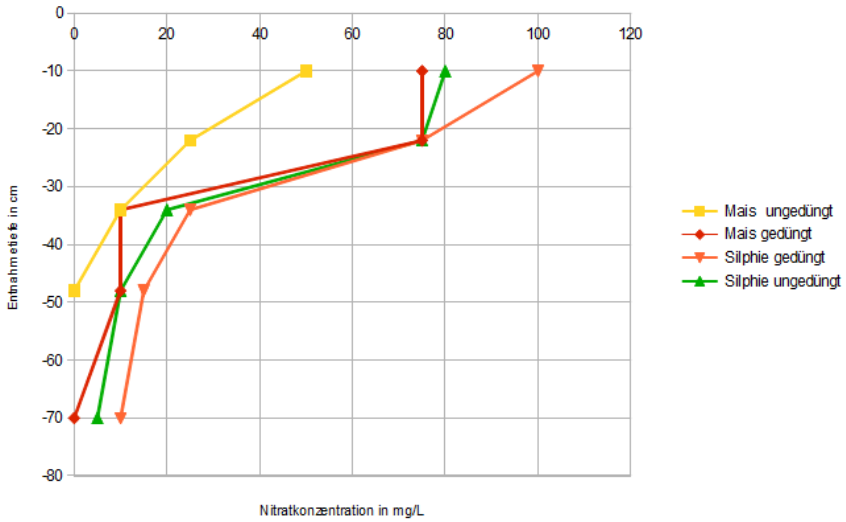



Diagramm 1: Nitratkonzentration in verschiedenen Bodentiefen im Oktober

Für eine weitere Messung im Frühjahr wurden daher auch höhere Konzentrationen auf dem Silphie- gegenüber der Konzentration auf dem Maisfeld erwartet. Es ergab sich aber folgendes Diagramm:

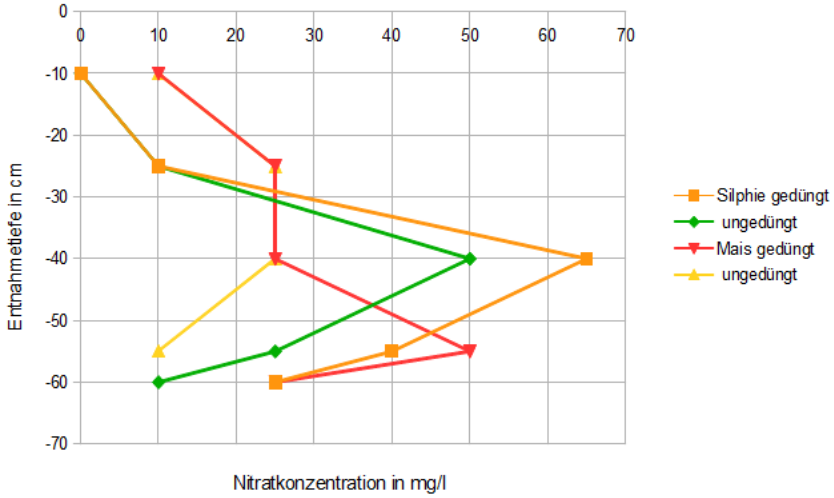



Diagramm 2: Nitratkonzentration in verschiedenen Bodentiefen im März

Bei unseren Messungen stellten wir fest, dass der Nitratgehalt auf den beiden Silphiefeldern niedriger als auf dem Maisfeld ist (s. Diagramm 2). Mehrere Bohrproben bestätigten dieses Ergebnis. Diese Beobachtung kann nur durch das Wurzelwerk der Silphie erklärt werden. Die Wurzel der Silphie ist viel weiträumiger und länger als die vom Mais. Schon im ersten Pflanzjahr entwickelt sie einen Wurzelballen, der ungefähr 25-30 cm tief in die Erde vordringt und im Durchmesser zwischen 35-45cm groß wird. Die Maiswurzel ist dagegen sehr klein und kompakt und reicht nur 15 cm tief in den Boden. Der Durchmesser beträgt an der breitesten Stelle max.15cm. Dadurch, dass die Wurzeln der Pflanze nun nach der Wachstumsperiode, noch im Boden verbleiben, kann Nitrat fast über das gesamte Jahr gebunden werden. Wenn man sich nun die Zu- und Abnahme der Nitratkonzentrationen für den Zeitraum nach der Wachstumperiode betrachtet, erkennt man, das die Nitratkonzentration auf den Silphiefeldern in Bodentiefen bis 35cm viel stärker abgenommen hat, als auf den Maisfeldern. Die große Abnahme lässt sich nur mit dem ausgeprägten, tiefen Wurzelwerk begründen und zeigt das enorme Potenzial der Silphie. Es kann angenommen werden, dass das auch für andere wichtige Nährstoffionen wie Kalium oder Phosphate gilt.

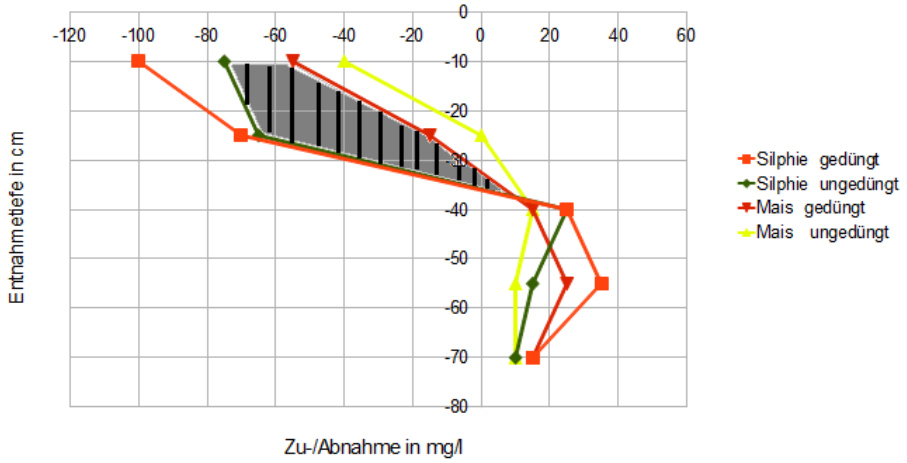



**Diagramm 3: Nitratdifferenz - Herbst/Frühjahr (2013/2014)**

Während der Mais im Herbst abgeerntet wird, stehen die gebunden Nährsalze der mehrjährigen Silphie im nächsten Pflanzjahr zur Verfügung (s. schraffiertes Feld in Diagramm 3). Selbst durch Umpflügen des Feldes könnte der Landwirt nur einen sehr kleinen Teil des Nitrats in größeren Tiefen wieder für neue Pflanzen erschließbar machen. Der Silphie nutzt somit Nährstoffe effizienter als Mais. Es handelt sich aufgrund dieser Ergebnisse um eine sehr nährstoffökonomische Pflanze.

## 2.3 Versuche zum Kohlenstoffgehalt im Boden

Mit der Bestimmung des C-Gehalts im Boden wollten wir der Frage nachgehen, ob der Anbau von Silphie bzw. Mais den Kohlenstoffgehalt im Boden erhöht oder reduziert. Da wir erst im Frühjahr auf diesen Aspekt gestoßen sind, konnten wir keine Kohlenstoffbilanz während der gesamten Wachstumsperiode erstellen. Deshalb entschlossen wir uns für eine Momentaufnahme Anfang April.

Bei näherer Auseinandersetzung mit dem Prozess der Humifizierung wollten wir nun über die Bestimmung des Kohlenstoffgehalts klären, ob sich der Kohlenstoffgehalt in Abhängigkeit der Entfernung zur Wurzel verändert. Schließlich leben an Wurzeln Mikroorganismen, die für die Humifizierung verantwortlich sind. Ihre Ausprägung hängt von den Eigenschaften des Wurzelwerks ab. Es wurden somit wurzelnahe und wurzelferne Entnahmestellen (jeweils drei) gewählt. Da die Eigenschaften von Mais- und Silphiewurzeln unterschiedlich sind, müsste sich auch der C-Gehalt unterscheiden.

### 2.3.1 Nasse Oxidation

Der C-Gehalt wurde mittels „Nasser Oxidation“ ermittelt. Dabei wird die Probe verascht, wobei elementarer Kohlenstoff entsteht, welcher dann mit einem starken Oxidationsmittel ($K_2Cr_2O_7$) zu $CO_2$ oxidiert. Gleichzeitig wird Cr(+VI) zu $Cr^{3+}$ reduziert. Da das Oxidationsmittel im Überschuss dazugegeben wird, kann über Rücktitration der C-Gehalt bestimmt werden. Vor der Titration wird das überschüssige Oxidationsmittel mit Eisen-(II)-Sulfat reduziert, wobei $Fe^{2+}$ zu $Fe^{3+}$ oxidiert und das Oxidationsmittel reduziert wird. Bei der Redoxtitration werden nun mit einer $K_2Cr_2O_7$-Lösung die überschüssigen Eisen-(II)-Ionen so lange oxidiert, bis man den Farbumschlag eines beigegebenen Redoxindikators beobachten kann. Bevor man mit der Analyse beginnt, muss man vor allem aus den wurzelnah entnommen Proben sorgfältig alle Feinwurzeln entfernen, da diese aufgrund ihres hohen Kohlenstoffgehalts die Ergebnisse verfälschen. Der Humusgehalt kann unter der Annahme, dass als Humusverbindung zu 58% aus Kohlenstoff bestehen, durch Multiplikation des C-Gehalts mit dem Faktor 1,724 berechnet werden.

### 2.3.2 Auswertung der Kohlenstoffgehalts

| | Verbrauch an Maßlösung in ml | C-Gehalt im Boden in Masseprozent | Humusgehalt* in Masseprozent |
|---|---|---|---|
| **Mais wurzelnah** | 10,7 | 0,48 | 0,83 |
| **Mais wurzelfern** | 12,6 | 1,16 | 2,01 |
| **Silphie wurzelnah** | 16,6 | 2,54 | 4,35 |
| **Silphie wurzelfern** | 13,6 | 1,51 | 2,60 |

Tabelle 3: Auswertung der Kohlenstoffgehalts (Mittelwerte aus jeweils drei Versuchen)

Aus der Tabelle 3 geht hervor, dass der C- bzw. der Humusgehalt im wurzelnahen Bereich der Silphie deutlich höher ist als im Wurzelfernen. Wurzelnah ist der Kohlenstoffgehalt um 68% höher als im Wurzelfernen. Beim Mais dagegen ist das Gegenteil der Fall. Im wurzelnahen Bereich ist der C-Gehalt 60% niedriger. Man kann somit sagen, dass das Wurzelwerk der Silphie die Humifizierung positiv beeinflusst. Es erscheint möglich, dass eine Symbiose zwischen der Wurzel und humifizierenden Organismen den Kohlenstoff- bzw. Humusgehalt erhöht. Beim Mais scheint die Humifizierung negativ beeinflusst zu werden, da weniger humifizierende Organismen vorhanden sind, oder der Mais Humus verbraucht.

Wenn die Humifizierung begünstig wird, wird mehr Kohlenstoff im Boden gebunden, welcher sonst als $CO_2$ in der Atmosphäre vorliegt. Der Boden kann somit Kohlenstoff speichern, der sonst zum Treibhauseffekt beitragen würde.

## 2.4 Laborversuche im 2. Wachstumsjahr

Während der Feldversuche war der Niederschlag eine Konstante. Im Labor wollten wir das Wasserangebot variieren um die Trockentoleranz genauer zu bestimmen. Hinzu kommen weitergehende Untersuchungen zum Nährstoff- und Lichtbedarf. Ziel ist es, anhand der Versuche einen Beweis für den geringen Wasser- und Lichtbedarf der Silphie zu erbringen sowie den Nährstoffbedarf im 2. Pflanzjahr.

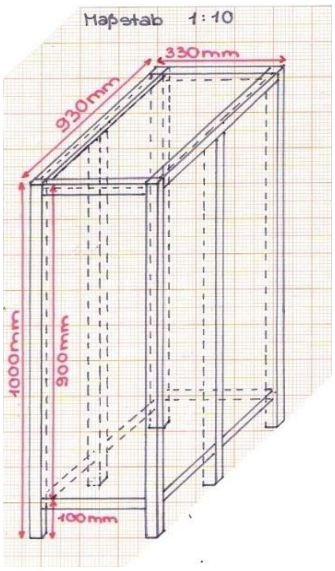



Bild 2: Konstruktionszeichnung

### 2.4.1 Aufbau der Kästen

Für den Laborversuch haben wir sechs Behälter eigenständig geplant und gebaut. Die Maße der Behälter betrugen jeweils in der Höhe 1000 mm, in der Länge 930 mm und in der Tiefe 330 mm (s. Bild 2). In die Furchen der Konstruktionsprofile aus Aluminium setzten wir

Plexiglasscheiben als Wände ein. Somit ist eine Sicht auf das Erdprofil und auch auf das Wurzelwerk der Pflanzen gewährleistet. Die Bodenhorizonte haben wir durch eine eigenhändige Ausgrabung von unserem Feld entnommen (s. Bild 4), um die einzelnen Bodenschichten möglichst realitätsgetreu für unsere Versuche zu verwenden. Wir haben einen ca. 15 cm dicken A-Horizont, einen ca. 60 cm dicken B-Horizont der nochmals in zwei Schichten von ca. 20 cm und ca. 40 cm unterteilt ist (s. Bild 3).

Bild 3: Versuchsaufbau mit Beleuchtung

Von sechs dieser Kästen haben wir jeweils vier mit drei Silphie-Pflanzen bepflanzt und zwei, in denen jeweils nur eine Silphie-Pflanze wächst. Dabei waren die Bedingungen in einem Kasten gleich. Anhand der Pflanzen sollten Durchschnittswerte bzgl. der Blattzahl und der Wuchshöhe errechnet werden. Zunächst haben wir uns in unseren Versuchsreihen auf die Dünger- und die Wassergabe konzentriert. Die Temperatur war den Tag über konstant und betrug 17°C–20 °C. Über den Kästen waren vier Neonröhren (jeweils 36 W) angebracht, die durch Zeitschaltuhren gesteuert wurden. Die Pflanzen wurden so für 13 h mit einer Lichtintensität von ungefähr 5000Lux bestrahlt. Die Konstruktion sieht es vor, die Lampen mit dem Wachstum der Pflanzen zu erhöhen. Die Düngergabe pro Pflanze haben wir über den niedrigsten der empfohlenen Werte errechnet (N-Sollwert 100kg/ha)[9]. Die Wassergabe pro m² haben wir den Niederschlagswerten des Kreises Euskirchen angepasst (s. Tab. 4, Kasten 3 und 4). Zwei Kästen bekamen nur 1,5 l pro Woche, was einem Durchschnittsniederschlag von 400 mm pro Jahr (unter agronomischer Trockengrenze) entspricht und die Trockenresistenz belegen soll (s. Kasten 1 und 2).

[9]Friedt, Wolfgang, Durchwachsene Silphie- Von der Futterpflanze zum Koferment,Jena,2009,S.288

| Kasten | Wassergabe (pro Woche) | Düngung |
|---|---|---|
| 1 | 1,5 l | 7,5 g |
| 2 | 1,5 l | keine |
| 3 | 3 l | keine |
| 4 | 3 l | 7,5 g |
| 5 | 0,5 l | keine |
| 6 | 0,5 l | keine |

Tabelle 4: Unterschiedliche Wassergabe und Düngung der Kästen

Bild 4: Bauprozess (eigene Fotos)

### 2.4.2 Aufbau der Töpfe

Wir haben insgesamt sechs, gleichkräftige Pflanzen in separate Töpfe gepflanzt, davon jeweils zwei Pflanzen in drei verschiedene Erden (s. Tabelle 5). Bei den Böden verwendeten wir Sand als nährstoffarmen Boden, Mutterboden von unserem Feld aus dem A-Horizont und nährstoffreiche Blumenerde.

| | Sand | Felderde | Blumenerde |
|---|---|---|---|
| Nitrat | ~30 mg/l | ~75 mg/l | ~150 mg/l |
| Nitrit | 0 mg/l | 0 mg/l | 0 mg/l |
| Phosphat | ~1 mg/l | ~0,5 mg/l | ~1 mg/l |
| Ammonium | ~0,1 mg/l | <0,05 mg/l | <0,05 mg/l |

Tabelle 5: Nährstofftabelle der verschiedenen Böden

Pro Woche haben die Pflanzen nur jeweils 400 ml Wasser bekommen, um die Trockenresistenz zu untersuchen.

### 2.4.3 Auswertung der Versuchsreihen

Die Entwicklung der Silphie-Pflanzen weist in dem Zeitraum vom 09.11.13 bis zum 13.01.14 bei beiden Versuchsreihen keine deutlichen Defizite auf (s. Tabelle 6). Die

gedüngten Pflanzen und die Pflanzen, die eine höhere Wassergabe bekamen, haben sich nicht schlechter entwickelt als die nicht gedüngten Pflanzen und die Pflanzen die weniger Wasser bekamen. Blattzahl und Wuchshöhe sind ungefähr identisch.

| Kasten | Blätteranzahl von Blättern von über 4cm Größe (Durchschnitt) | Wuchshöhe (in cm, Durchschnitt) |
|---|---|---|
| 1 | 12,0 | 43,3 |
| 2 | 11,6 | 39,0 |
| 3 | 11,0 | 58,0 |
| 4 | 7,0 | 52,0 |
| 5 | 10,0 | 50,0 |
| 6 | 13,0 | 44,0 |

Tabelle 6: Entwicklungsstand nach dem 2. Pflanzjahr

Somit haben wir die Trockenresistenz und den geringen Nährstoffbedarf der Silphie im 2. Wachstumsjahr bewiesen. Da sich die Pflanzen bei der sehr geringen Lichtintensität von 5000 Lux, welche zum Beispiel im Frühjahr bei einer mittelstarken Beschattung erreicht wird, gut entwickelt haben, stellt die Silphie einen geringen Anspruch ans Licht. Die Silphie ist wahrscheinlich eine Schattenpflanze. Es wäre also möglich eine Deckfrucht im ersten Pflanzjahr einzubringen. Dies würde auch den Unkrautdruck im ersten Pflanzjahr reduzieren. Damit könnte man die Kosten, die mit der Unkrautbekämpfung einhergehen, verringern. Außerdem würde die Deckfrucht, wie beispielsweise die Energiepflanze Sudangras, einen Erlös im ersten Pflanzjahr erbringen und somit ökonomisch sinnvoll sein.

Aufgrund dieser Ergebnisse können wir nachweisen, dass die Silphie an die Wachstumsfaktoren Licht, Wasser und Nährstoffbedarf geringe Ansprüche stellt. Dies könnte mit dem Ertragsgesetz der Landwirtschaft zusammenhängen. Dies besagt, dass der Ertragszuwachs, der durch günstigere Wachstumsbedingungen erzielt wird bei Annährung an ein pflanzenspezifisches Optimum zunimmt. Somit wäre es möglich mit der Silphie unrentable Flächen zu erschließen, die nicht über ein optimales Licht-, Nährstoff- und Wasserangebot verfügen.

## 2.5 Keimversuche

Wir haben Versuche mit dem Samen durchgeführt, um die Behauptung zu überprüfen, dass der Samen auf einem Nährboden vorgezüchtet werden muss, um später als Setzlinge auf dem Feld ausgepflanzt zu werden. Die Behauptung wollten

wir durch eine Samenkeimung auf Böden mit unterschiedlichem Nährstoffgehalt untersuchen.

### 2.5.1 Aufbau

Wir haben Samen in drei verschiedene Böden gepflanzt. Wie bei der vorherigen Versuchsreihe verwendeten wir wieder Sand, Mutterboden von unserem Versuchsfeld und Blumenerde. Die Samen wurden in allen verschiedenen Erden in einem kleinen Treibhaus bei 22°C untergebracht. Die Erde wurde durchgehend feucht gehalten, was zusätzlich zu einer hohen Luftfeuchtigkeit im Treibhaus führte.
Zwei Wochen nach dem Pflanzen der Silphie-Samen, am 10.11.13, haben wir auch Maissamen unter den gleichen Bedingungen eingepflanzt und gegossen um deren Wachstum mit dem der Silphie-Samen zu vergleichen.

### 2.5.2 Auswertung

Die Silphie-Samen keimten nach acht Tagen. Bei dem Wachstum auf den unterschiedlichen Böden konnte man keine großen Unterschiede feststellen. Auch die Größe der Pflanzen hat sich bei den verschiedenen Böden nicht signifikant unterschieden. Die Aufgangsrate lag insgesamt jedoch nur bei 40%. Beim Mais war die Aufgangsrate auf allen drei Böden annähernd gleich und betrug ungefähr 100%. Allerdings gab es Differenzen in der Wachstumsgeschwindigkeit. Schon vier Tage nach dem Einpflanzen der Samen waren erste Stängel zu sehen, die bereits 3 cm hoch waren. Die Setzlinge schossen innerhalb kürzester Zeit in die Höhe. Zwei Wochen später zeigte der Mais erste Schimmelstellen, die aufgrund des Treibhausklimas entstanden sein müssen. Die Silphie-Setzlinge blieben jedoch unversehrt.
Demnach haben wir den Beweis, dass die Silphie-Pflanze nicht auf einem speziellen Nährboden vorgezüchtet werden muss, sondern dass sie genauso gut auf nährstoffarmen Böden keimen kann. Außerdem ist die Pflanze sogar schon direkt nach der Keimung in der Lage Extrembedingungen besser standzuhalten als der Mais. Der hohen Luftfeuchtigkeit und den relativ hohen Temperaturen von 22°C hat die Silphie sehr gut standgehalten, während der Mais schon nach zwei Wochen eingegangen ist.
Mit der Keimung auf dem nährstoffarmen Boden sind wir der Aussaat auf dem Feld schon einen Schritt näher gekommen. Da unsere Aufgangsrate insgesamt jedoch nur

bei 40% lag, haben wir uns in weiteren Versuchen auf die Samenoptimierung spezialisiert.

## 2.6 Versuch zur Saatgutoptimierung

Um die Samenkeimung zu verbessern, untersuchten wir zunächst, ob es eher ein Hell- oder ein Dunkel-Keimer ist. Zu diesem Zweck pflanzten wir jeweils 20 Samen in vier verschiedene Bodentiefen von 0,5 cm, 1,0 cm, 2,0 cm und 3,0 cm. Wir konnten feststellen, dass die Aufgangsrate der in höheren Bodenschichten gekeimten Samen deutlich höher war. Sie lag bei 40%, während sie bei der Keimung in tieferen Bodenschichten nur bei 20% lag.

Außerdem haben wir jeweils 10 Samen unter gleichen Bedingungen jeweils mit 0°C, 7°C, 10°C und 13°C Temperaurunterschied keimen lassen, um zu überprüfen, ob die ausgeprägte Temperaturdifferenz zwischen Tag und Nacht wie in ihrem Herkunftsgebiet eine Auswirkung auf die Aufgangsrate der Samen hat. Dabei ist herausgekommen, dass die Samen mit 13°C Temperaturunterschied deutlich besser gekeimt sind als diejenigen Samen, die nur einer geringen (7°C) oder gar keinem Temperaturunterschied ausgesetzt waren. Es handelt sich bei der Silphie um einen Hemikryptophyt.

Aufbauend auf diesen Erkenntnissen, haben wir das vorbehandelte Saatgut in Petrischalen keimen lassen (s. Diagramm 4). Die Versuche liefen unter Treibhausatmosphäre.

Stand der Aufgangsrate nach 14 Tagen:

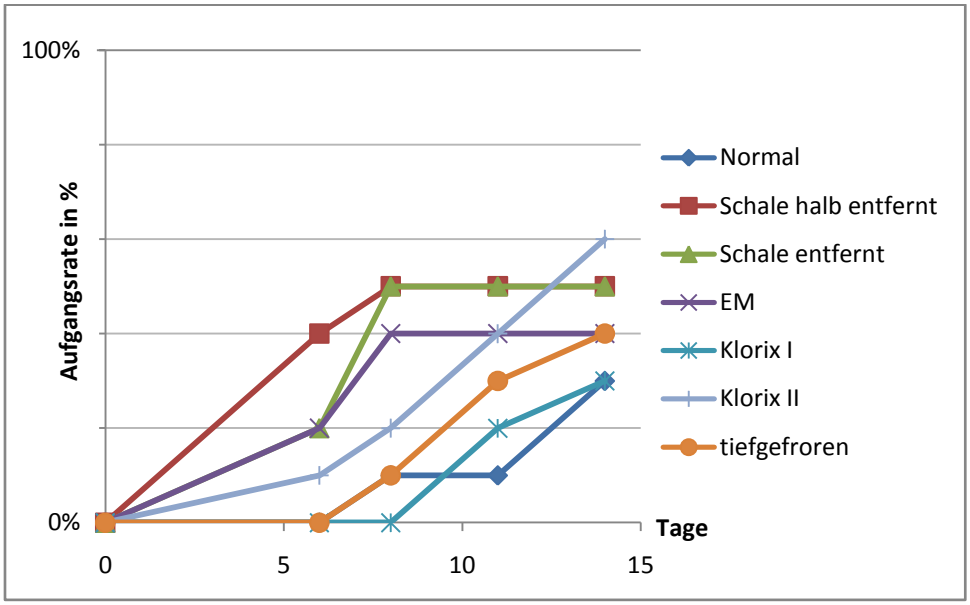



Diagramm 4: Auswertungen der Saatgutoptimierungen

Bei den Auswertungen der Saatgutoptimierung zeigt sich, dass sich die Methoden der Schalenentfernung und Halbentfernung, jeweils 50% Aufgangsrate, sowie eine Vorbehandlung mit effektiven Mikroorganismen (EM), 40%, und Klorix II (Desinfektionsmittel, geringe Konzentration und lange Einweichzeit), 60%, sich am besten bewährt haben. Deshalb haben wir in weiteren Versuchen diese Verfahren noch genauer untersucht und die Vorbehandlungsmethode mit Phytohormon Gibberellinsäure hinzufügt. Die unterschiedlichen Methoden wurden kombiniert. Es wurden wieder jeweils 10 Samen pro Vorbehandlungsart eingesetzt. Das beste Ergebnis mit jeweils 60% erzielte die Kombination von Samen mit halb entfernter Schale und einer Behandlung mit Mikroorganismen. Gibberellinsäure als Phytohormon konnte die Aufgangsrate nicht steigern. Auch konnte die Steigerung der Rate durch die Vorbehandlung mit Klorix nicht bestätigt werden.

Desweiteren werden wir die vorbehandelten Samen, die sich als besonders effektiv herausstellten, im Freiland keimen lassen, um auf eine Aussaat des Silphie-Samens auf dem Feld hinzuarbeiten.

## 2.7 Wirtschaftlichkeit

Damit sich die Silphie gegenüber Mais integrieren kann, spielt für die Landwirtschaft die Wirtschaftlichkeit eine sehr große Rolle. Deshalb haben wir eine Umfrage bei Landwirten in der näheren Umgebung durchgeführt, um eine Kostenkalkulation für Mais und Silphie pro Hektar aufzustellen.

| Mais | | Silphie | 1.Pflanzjahr | 2. Wachstums-jahr |
|---|---|---|---|---|
| **Saatgut** | - 190€ | Setzlinge | - 6400€ | ---------- |
| **Pflanzenschutz** | - 80€ | Pflanzenschutz | ---------- | - 80€ |
| **Dünger** | - 200€ | Dünger | ---------- | - 100€ |
| **Arbeitskosten** | - 600€ | Arbeitskosten | - 900€ | - 400€ |
| **Gewinn Trockenmasse** | + 1900€ | Gewinn Trockenmasse | ---------- | - 1900€ |
| | + 830€ | | - 7300€ | + 1320€ |

Tabelle 6: Kostenkalkulation/ha

Da die Silphie länger als 10 Jahre geerntet werden kann, haben wir den Gewinn der beiden Kofermenten nach 15 Jahren betrachtet. Der Gewinn der Silphie mit 11.180€ liegt unter Maisniveau mit 12.450€. Deshalb ist es notwendig, das Saatgut zu optimieren. Der Landwirt müsste dann nicht mehr einen so hohen Kostenbetrag in

die Setzlinge investieren und würde den Gewinn des Mais nach wenigen Jahren überbieten.

## 3 Fazit und Ausblick

Aufbauend auf den Auswertungen unserer Versuchsreihen zur Nachhaltigkeit, Effizienz und Wirtschaftlichkeit der Durchwachsenen Silphie kann man sagen, dass sie eine anspruchslose Energiepflanze mit Zukunftspotential ist. Aus unserer Versuchsauswertung geht hervor, dass sie im ersten und zweiten Pflanzjahr mit wenig Wasser, wenig Nährstoffen und einer geringen Lichtintensität auskommt. Zudem kann die Silphie Nährstoffe wie Nitrat sehr effizient und ökonomisch nutzen. Die Nährstoffnutzung der Silphie ist daher ökologischer und ökonomischer im Vergleich zum Mais: Ökologisch, da durch die gesteigerte Humifizierung aufgrund des ausgeprägten Wurzelwerks der Silphie Kohlenstoff langfristig im Boden gebunden wird, welcher sonst als $CO_2$ zum Treibhauseffekt beiträgt. Außerdem reduziert das Wurzelwerk Erosion und Nitratauswaschungen. Ökonomisch, da somit Ausgaben für Düngemittel gespart werden können. Diese Beobachtungen werden durch unsere Versuche bestätigt. Es wäre also möglich, mit der Silphie brachliegende Grenzertragsflächen zu bewirtschaften, bei denen eine andere Nutzung unwirtschaftlich wäre.

Damit der mögliche Gewinn weiter gesteigert werden kann, könnte man über den Anbau einer Deckfrucht bzw. eine Vorfrucht weitere Erträge erzielen.

Da die Silphie momentan bei Kauf von vorkultivierten Setzlingen auch langfristig den Gewinn durch Maisanabau nicht überbieten kann, wird zur Etablierung ein optimiertes Saatgut benötigt. Durch ein optimiertes Saatgut ist der Anbau der Silphie gewinnbringender als Mais. Es könnten nicht nur Grenzertragsflächen genutzt werden, sondern auch Maisflächen durch die Silphie ersetzt werden.

Bei unserer Saatgutoptimierung zeigte sich, dass ganzes oder teilweises Entfernen der Samenschale sowie eine Vorbehandlung mit Mikroorganismen die Keimung begünstig. Zudem scheint eine große Temperaturdifferenz die Keimung anzuregen.

Im weiteren Verlauf werden wir Versuchsreihen zur Saatgutoptimierung als Feldversuch durchführen. Zusätzlich laufen Hydrokulturversuche zur genaueren Bestimmung des Nährstoffbedarfs.

# 4 Danksagung

Wir möchten uns rechtherzlich bei Frau Stein und Herr Bitterberg für ihre monatelange Hilfe bedanken. Zudem möchten wir uns bei Herr Scheiff für die Bereitstellung des Versuchsfeldes bedanken. Vielen Dank an Paraskevas Ntinakis für die Unterstützung beim Titelbild.

# 5 Abbildungsverzeichnis

Bild 1: Feldbestellung (eigene Fotos) ..... 6
Bild 2: Konstruktionszeichnung..... 12
Bild 3: Versuchsaufbau mit Beleuchtung ..... 13
Bild 4: Bauprozess (eigene Fotos)..... 14

Diagramm 1: Nitratkonzentration in verschiedenen Bodentiefen im Oktober..... 9
Diagramm 2: Nitratkonzentration in verschiedenen Bodentiefen im März ..... 9
Diagramm 3: Nitratdifferenz - Herbst/Frühjahr (2013/2014)..... 10
Diagramm 4: Auswertungen der Saatgutoptimierungen ..... 17

Tabelle 1: Wetterdaten während des Feldversuchs..... 7
Tabelle 2: Pflanzenentwicklung der Silphie-Pflanzen ..... 8
Tabelle 3: Auswertung der Kohlenstoffgehalts (Mittelwerte aus jeweils drei Versuchen) ..... 12
Tabelle 4: Unterschiedliche Wassergabe und Düngung der Kästen..... 14
Tabelle 5: Nährstofftabelle der verschiedenen Böden ..... 14
Tabelle 6: Entwicklungsstand nach dem 2. Pflanzjahr..... 15

# 6 Literaturverzeichnis

**Zeitschriftenartikel und Aufsätze:**

FRIEDT, WOLFGANG, Durchwachsene Silphie- Von der Futterpflanze zum Koferment, Jena, 2009, S.288

HESSE, CHRISTINA; ET AL. ;„Energie und Umwelt“, in: Informationen zur politischen Bildung 312 (3/2013)

KONRAD, M. , BIERTÜMPFEL, A. Fachgespräch zu Energiepflanzen/NAWARO

**Internetseiten:**

http://www.erneuerbare-energien.de/fileadmin/ee-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/eeg_2012_bf.pdf, 14.01.14, 10:06

http://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/technik/biogas/veroeffentlichungen/energiemais.htm, 14.01.14, 18:00

http://www.klimadiagramme.de/Namerika/Plots/peoria.gif, 14.02.2014, 16:10

http://www.thueringen.de/de/tll, 10.1.14, 18:00

http://www.tll.de/ainfo/pdf/silp0810.pdf, 6.12.13,12:20

http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3642.pdf