

Bachelorarbeit

Entwicklung eines Tools zur Empfehlung eines Bewässerungssystems auf Basis lokaler Parameter

Ufuk Akay

Matrikelnummer: 42818

Studiengang Bau- und Umweltingenieurwesen

Hamburg

17. Mai 2013

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Ralf Otterpohl

Betreuerin: Dipl.-Ing. Wibke Scheurer

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|------------|
| Inhaltsverzeichnis | II |
| Abbildungsverzeichnis | III |
| Tabellenverzeichnis | IV |
| 1. Einleitung | 1 |
| 2. Aufbau künstlicher Bewässerungssysteme | 2 |
| 2.1 Wasserquelle..... | 3 |
| 2.2 Wasserpumpe | 3 |
| 2.3 Bewässerungsmethoden | 4 |
| 2.3.1 Oberflächenbewässerung | 4 |
| 2.3.2 Beregnung | 9 |
| 2.3.3 Tröpfchenbewässerung | 11 |
| 2.3.4 Unterflurbewässerung..... | 13 |
| 2.4 Generatoren | 15 |
| 3. Relevanz der künstlichen Bewässerung | 18 |
| 4. Durch die künstliche Bewässerung resultierende Probleme | 22 |
| 5. Entwicklung eines Tools zur Empfehlung eines Bewässerungssystems | 24 |
| 5.1 Bewässerungsmethode | 25 |
| 5.2 Generatorempfehlung durch Kostenvergleich..... | 37 |
| 5.3 Geeignete Nutzpflanzen für das gewählte Bewässerungssystem | 42 |
| 6. Anwendung des Tools am Beispiel eines innovativen Bewässerungssystems | 45 |
| 6.1 Projekthintergrund | 45 |
| 6.2 Klimaverhältnisse in Nicaragua | 46 |
| 6.3 Empfehlung der Bewässerungsmethode..... | 49 |
| 6.4 Empfehlung eines Generators..... | 51 |
| 7. Zusammenfassung | 53 |
| 8. Ausblick | 54 |
| 9. Literaturverzeichnis | 55 |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Abbildung 1 Schema Bewässerungssystem | 2 |
| Abbildung 2 Beckenbewässerung..... | 5 |
| Abbildung 3 Landstreifenbewässerung | 6 |
| Abbildung 4 Furcheneinstaubewässerung | 7 |
| Abbildung 5 Bewegliche Beregnungsanlage..... | 9 |
| Abbildung 6 Fest installierte Beregnungsanlage | 9 |
| Abbildung 7 Kreisberegnungsanlagen aus der Luft | 10 |
| Abbildung 8 Schema einer Tröpfchenbewässerung..... | 11 |
| Abbildung 9 Tröpfchenbewässerung..... | 12 |
| Abbildung 10 Schema einer Unterflurbewässerung | 14 |
| Abbildung 11 Ausdehnung der erschlossenen Bewässerungsfläche weltweit im Zeitraum 1900-2008..... | 20 |
| Abbildung 12 Aufbau der allgemeinen Bewertungsmatrix..... | 27 |
| Abbildung 13 Eingabefeld im Tool | 38 |
| Abbildung 14 Gesamtkosten des Bewässerungssystems nach Jahren ... | 40 |
| Abbildung 15 Diagramm zum Kostenvergleich nach Generatoren | 40 |
| Abbildung 16 Kostenvergleich im Auslegungsjahr | 41 |
| Abbildung 17 Auflistung der Kosten des Bewässerungssystems..... | 41 |
| Abbildung 18 Gemessene Windgeschwindigkeiten bei einer Höhe von zehn Metern..... | 42 |
| Abbildung 19 Aufbau Eignungsklassenmatrix Nutzpflanzen | 43 |
| Abbildung 20 Empfohlene Nutzpflanzen zum Anbau | 45 |
| Abbildung 21 Klimadiagramm Leon/Nicaragua | 47 |
| Abbildung 22 Sonneneinstrahlung Leon/Nicaragua im Vergleich zu Hamburg..... | 48 |
| Abbildung 23 Bewässerungsbedarf Leon | 49 |
| Abbildung 24 Solargestützte Tröpfchenbewässerung..... | 51 |
| Abbildung 25 Kostenvergleich Photovoltaiksystem zu Dieselsystem..... | 52 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|---|----|
| Tabelle 1 Vorteile und Nachteile der Beckenbewässerung..... | 6 |
| Tabelle 2 Vorteile und Nachteile der Streifenbewässerung | 7 |
| Tabelle 3 Vorteile und Nachteile der Furchenbewässerung..... | 8 |
| Tabelle 4 Vorteile und Nachteile der Beregnung..... | 10 |
| Tabelle 5 Vorteile und Nachteile der Tröpfchenbewässerung..... | 12 |
| Tabelle 6 Vorteile und Nachteile der Unterflurbewässerung | 14 |
| Tabelle 7 Vorteile und Nachteile Benzingenerator | 15 |
| Tabelle 8 Vorteile und Nachteile Dieselgenerator | 16 |
| Tabelle 9 Vorteile und Nachteile Erdgas/Flüssiggasgenerator | 16 |
| Tabelle 10 Vorteile und Nachteile Photovoltaikgenerator | 17 |
| Tabelle 11 Vorteile und Nachteile Windgenerator..... | 18 |
| Tabelle 12 Prozentualer Anteil der Bewässerungsfläche in verschiedenen Regionen..... | 18 |
| Tabelle 13 Erschlossene Bewässerungsfläche (Mio ha) und aktuell bewässerte Fläche (Mio. ha)..... | 19 |
| Tabelle 14 Merkmale und Eignung verschiedener Bewässerungsverfahren | 26 |
| Tabelle 15 Hangneigungsstufen | 28 |
| Tabelle 16 lokale Ackerparameter für die Bewertungsmatrix Bodengefälle | 28 |
| Tabelle 17 Tabellenwerte für Bewertungsmatrix Bodengefälle | 28 |
| Tabelle 18 lokale Ackerparameter für die Bewertungsmatrix Erosionsgefahr | 29 |
| Tabelle 19 Tabellenwerte für Bewertungsmatrix Erosionsgefahr..... | 30 |
| Tabelle 20 lokale Ackerparameter für die Bewertungsmatrix Versalzung | 31 |
| Tabelle 21 Tabellenwerte für Bewertungsmatrix Versalzung | 31 |
| Tabelle 22 lokale Ackerparameter für die Bewertungsmatrix Wasserverluste | 32 |
| Tabelle 23 Tabellenwerte für Bewertungsmatrix Wasserverluste | 32 |
| Tabelle 24 lokale Ackerparameter für die Bewertungsmatrix Auswaschung | 33 |
| Tabelle 25 Tabellenwerte für Bewertungsmatrix Auswaschung..... | 33 |
| Tabelle 26 lokale Ackerparameter für die Bewertungsmatrix Energiebedarf | 34 |
| Tabelle 27 Tabellenwerte für Bewertungsmatrix Energiebedarf..... | 34 |
| Tabelle 28 lokale Ackerparameter für die Bewertungsmatrix Anlagekosten | 35 |

| | |
|---|----|
| Tabelle 29 Tabellenwerte für Bewertungsmatrix Anlagekosten | 35 |
| Tabelle 30 lokale Ackerparameter für die Bewertungsmatrix Betriebskosten | 36 |
| Tabelle 31 Tabellenwerte für Bewertungsmatrix Betriebskosten | 36 |
| Tabelle 32 Abkürzungsverzeichnis Tilgungsplan | 39 |
| Tabelle 33 Abkürzung der Eignungsklassen | 44 |
| Tabelle 34 Monatliche Temperatur- und Niederschlagswerte Leon/Nicaragua | 47 |
| Tabelle 35 Anwendung des Tools Reiter Bewässerungsmethode auf ein Beispiel | 50 |
| Tabelle 36 Kostenvergleich Photovoltaiksystem zu Dieselsystem | 51 |

1. Einleitung

Es gibt kein optimales und universales Bewässerungssystem, welches man weltweit auf jedem Ackerland einsetzen kann. Abhängig von dem vorherrschenden lokalen Klima-, Wasser-, und den Bodeneigenschaften auf dem Ackerland müssen unterschiedliche Bewässerungssysteme eingesetzt werden. Um effektiv, wassersparend zu sein und um Gefahren der Bodendegradation zu minimieren, müssen die künstlichen Bewässerungssysteme exakt auf die lokalen Klima-, Wasser- und Bodenparameter des Ackerlandes abgestimmt sein.

Die Auswahl eines Bewässerungssystems ist sehr komplex. Es müssen dabei viele Faktoren berücksichtigt werden, wodurch die manuelle Wahl eines Bewässerungssystems umfangreich und zeitintensiv ist. Durch die Komplexität des manuellen Verfahrens gibt es Landwirte die nicht auf die lokalen Klima-, Wasser- und Bodenparameter des Ackerlandes bei der Wahl eines Bewässerungssystems achten, sondern ungeeignete und unangepasste Bewässerungssysteme zur künstlichen Bewässerung nutzen.

Das Ziel dieser Bachelorarbeit ist es, ein computerbasiertes Tool zu erstellen mit dem man das optimale Bewässerungssystem für ein Ackerland bestimmen kann.

Anfangs wird der Aufbau der künstlichen Bewässerungssysteme erläutert und die einzelnen Systemkomponenten werden genauer betrachtet. Anschließend wird die Relevanz der künstlichen Bewässerung dargelegt und die Probleme, die durch die künstliche Bewässerung resultieren können werden erörtert. Anschließend wird die Entwicklung und Programmierung des Tools aufgezeigt. In einem Beispiel am Ende der Arbeit wird das Tool angewendet.

2. Aufbau künstlicher Bewässerungssysteme

Der schematische Aufbau eines Bewässerungssystems ist in Abb. 1 zu sehen. Durch die Primärenergie wird ein Generator betrieben. Der Generator betreibt eine Wasserpumpe, welche das Wasser aus der Wasserquelle mit dem benötigten Wasserdruck auf das Ackerland befördert. Der Acker wird dann durch die Bewässerungsmethode bewässert. Da sich diese Arbeit auf die Bewässerungsmethode konzentriert, wird nur kurz ein Überblick über die am weitesten verbreiteten Wasserquellen und Wasserpumpen gegeben.

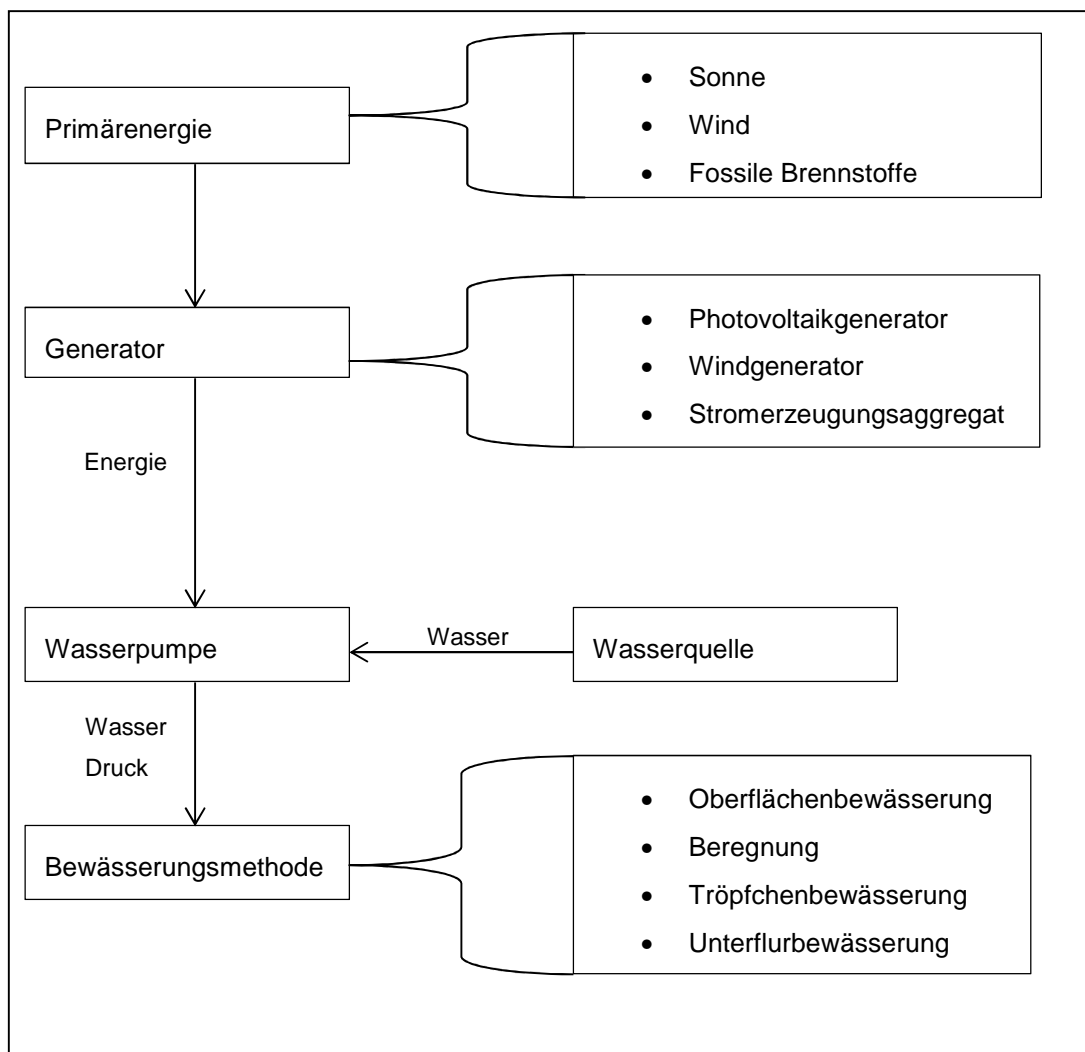


Abbildung 1 Schema Bewässerungssystem

2.1 Wasserquelle

Es gibt verschiedene Quellen, um das Wasser zu entnehmen.

- Oberflächengewässer

Das Wasser wird hierbei aus Stillgewässern oder Fließgewässern, entnommen.

- Regenwassernutzung

Bei der Regenwassernutzung wird der Niederschlag aufgefangen und in künstlichen Wasserspeichern gesammelt. Diese werden in den niederschlagsreichen Monaten mit Wasser aufgefüllt. Diese müssen von sehr großem Ausmaß sein, damit die Bewässerung während länger andauernden niederschlagsarmen Monaten über den Speicher erfolgen kann. Außerdem ist bei Aufbrauchen des Wassers im Wasserspeicher eine andere Wasserquelle zur Bewässerung heranzuziehen. (Hausgarten, 12.04.2013)

- Grundwasser

Die Niederschläge die durch den Boden versickern werden im Grundwasserleiter gespeichert und zur Bewässerung über Brunnen entnommen. (Pfleger, 2009)

- Gereinigtes Abwasser

Bei der Bewässerung durch gereinigtes Abwasser, wird Abwasser soweit gereinigt, dass es in der landwirtschaftlichen Bewässerung eingesetzt werden kann. (Neubert, 2003)

2.2 Wasserpumpe

Die Wasserpumpe ist dazu, da das Wasser für die Bewässerung aus der Wasserquelle zu fördern.

Um zu bestimmen welche Pumpe für das zu bewässernde Ackerland benötigt wird müssen zwei Parameter bestimmt werden. Die Fördermenge und die Förderhöhe. Aus dem Höhenunterschied des Wasserpegels der Wasserquelle zum höchsten Punkt des Ackerlandes wird die geodätische

Höhe bestimmt. Danach wird durch Anwenden der Bernoulligleichung die Förderhöhe ausgerechnet. (Johannsen, 2011)

Formel der Bernoulligleichung:

$$\frac{va^2}{2 * g} + \frac{pa}{\rho * g} + za = \frac{ve^2}{2 * g} + \frac{pe}{\rho * g} + ze$$

Mit den Variablen:

- g Erdbeschleunigung
- ρ Dichte des Fluids
- va Strömungsgeschwindigkeit des Anfangspunktes
- pa Druck des Anfangspunktes
- za Höhe des Anfangspunktes zum Bezugshorizont
- ve Strömungsgeschwindigkeit des Endpunktes
- pe Druck des Endpunktes
- ze Höhe des Endpunktes zum Bezugshorizont

Die benötigte Wassermenge ist je nach Nutzpflanze unterschiedlich. Der Wasserbedarf für z.B. Weizen beträgt durchschnittlich 3 mm Niederschlag pro Tag, für Kartoffeln benötigt man durchschnittlich 1 mm Niederschlag pro Tag. Um die Fördermenge zu bestimmen wird der Wasserbedarf mit der Ackerfläche in m² multipliziert. (Siegert, 1927)

2.3 Bewässerungsmethoden

Bei den Bewässerungsmethoden zwischen unter Oberflächenbewässerung, Beregnung, Tröpfchenbewässerung und Unterflurbewässerung unterschieden.

2.3.1 Oberflächenbewässerung

Die Oberflächenbewässerung kann durch Beckenbewässerung, Landstreifenbewässerung und Furchenbewässerung erfolgen.

Beckenbewässerung



Abbildung 2 Beckenbewässerung (Achtnich, 1980)

Bei der Beckenbewässerung wird das Ackerland, wie in Abb. 2 zu sehen, in Zonen eingeteilt. Das über Gräben eingeleitete Wasser versickert langsam aus den Becken in den Boden. Dies ist nicht für alle Pflanzen geeignet. Die Versickerung des Wassers kann zu einer Auswaschung führen. Das stehende Wasser führt dazu, dass keine Erosion und Versalzung des Bodens möglich ist. (Achtnich, 1980)

Die Abmessungen des Beckens sind variabel, sie können, je nach Standort und angebauter Kultur, von ein paar Quadratmetern bis zu mehreren Hektar groß sein. Die Abgrenzungen der Becken werden aus angehäuften Boden geformt, diese sind zwischen 15 cm und 45 cm hoch. Außer dem Boden sind wenig Materialien und keine weiteren Maschinen zur Bearbeitung des Bodens notwendig. Es muss zwischen 10 cm bis 20 cm Höhe zwischen der Wasseroberfläche und der Bodenkuppe der Abgrenzung sein. Die Breite der Abgrenzungen liegt für saisonale Becken zwischen 60 cm und 120 cm, für permanente Becken bei bis zu 180 cm. Zum Schutz werden die Abgrenzungen mit Membranen oder Folien überzogen. Für die Wasserverteilung der Becken ist ein gleichbleibendes geringes Gefälle von ca. 0,1% erforderlich. Stärkere Gefälle, wie eine starke Hanglage von größer als 0,3%, beeinträchtigen den Wirkungsgrad des Systems. Für die Beckenbewässerung sind ein Gelände mit geringer Geländeneigung und ein Boden mit niedrigem Versickerungsgrad von Vorteil. Da der Acker vom Wasser bedeckt sein muss, ist keine kleine Wassergabe möglich. In der Tab. 1 sind die Vor- und Nachteile einer Beckenbewässerung dargestellt. (Achtnich, 1980)

2. Aufbau künstlicher Bewässerungssysteme

Tabelle 1 Vorteile und Nachteile der Beckenbewässerung (nach Achtnich, 1980)

| Vorteile | Nachteile |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none">• große Wassergaben gut aufnehmbar• Keine Maschinen benötigt• Wenig Materialbedarf• Kein Energiebedarf• Keine Erosion des Bodens möglich• Versalzung des Bodens kaum möglich• Geringes technisches Verständnis benötigt | <ul style="list-style-type: none">• Keine kleinen Wassergaben möglich• Hohe Gefahr der Auswaschung• Viel Handarbeit benötigt• Nicht für alle Pflanzen als Bewässerungsmethode geeignet |

Landstreifenbewässerung

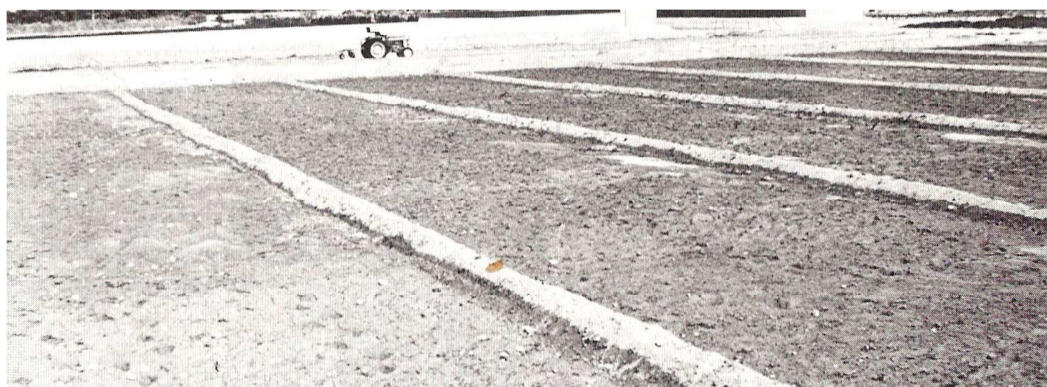


Abbildung 3 Landstreifenbewässerung (Achtnich, 1980)

Bei der Landstreifenbewässerung wird das zu bewässernde Ackerland vom Wasser überströmt, daher sind keine kleinen Wassergaben möglich. Nicht alle Pflanzen sind für die überströmte Bewässerung geeignet. Im Gegensatz zur Beckenbewässerung wird die Landstreifenbewässerung erfolgt die Bewässerung über Streifen. Die Abgrenzungen der Streifen werden aus angehäuften Boden geformt. Außer dem Boden sind wenig andere Materialien notwendig, daher ist das Verfahren auch kaum Wartungsaufwändig. Das Gefälle des Ackerlandes muss mindestens 0,2% betragen, bei höherer Durchlässigkeit kann das Gefälle bis zu 2% sein. Bei Einhaltung des Gefälles wird kaum Energie benötigt. Die Maximallänge der Landstreifen kann 400 m und mehr betragen, dies wird nach Durchlässigkeit des Bodens unterschieden. Um die Erosion des Bodens zu minimieren, liegen die üblichen Breiten der Landstreifen, wie in Abb. 3 zu sehen, bei 10 m bis 20 m. Auf der zu bewässernden Fläche dürfen keine Hindernisse wie Mulden, Querrinnen und Erhebungen sein. Ein Gefälle

2. Aufbau künstlicher Bewässerungssysteme

von größer als 3 cm quer zur Fließrichtung wirkt sich nachteilig für die gleichmäßige Wasserverteilung aus. Der Wasserzulauf muss regulierbar ausgeführt werden. Der Wasserzulauf sollte so reguliert werden, dass nachdem dreiviertel des Landstreifens überströmt worden sind, der Wasserzulauf gekappt wird, da das Restwasser des oberen Landstreifens den restlichen Landstreifen mit Wasser versorgt. Das Restwasser ist zu vermeiden, da dies sonst zur Überstauung führen kann. Das Restwasser, welches sich nach der Bewässerung noch auf dem Ackerland befindet sollte abgeführt werden, um Salz Anlagerungen zu vermeiden. Daher ist der Gebrauch von salzhaltigem Wasser nachteilig. Die Landstreifenbewässerung ist für mäßige und mittlere Bodendurchlässigkeit geeignet. In der Tab. 2 sind die Vor- und Nachteile einer Streifenbewässerung dargestellt. (Achnich, 1980)

Tabelle 2 Vorteile und Nachteile der Streifenbewässerung (nach Achnich, 1980)

| Vorteile | Nachteile |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none">• große Wassergaben aufnehmenbar• Wenig Materialbedarf• Geringes technisches Verständnis benötigt• Geringer Energiebedarf• Kaum Wartungsaufwand | <ul style="list-style-type: none">• Keine kleinen Wassergaben möglich• Nicht für ebenes Gelände geeignet• Nicht zum Gebrauch von salzhaltigem Wasser geeignet• Nicht für alle Pflanzen als Bewässerungsmethode geeignet |

Furchenbewässerung



Abbildung 4 Furcheneinstaubewässerung (Satego, 14.04.2013)

Furchen werden als kleine Gräben aus Boden geformt, die Furchen haben eine V-, gerundete- oder flache Grabenform. Die Furchen sind üblicherweise 20 bis 40 cm breit und 15 bis 25 cm tief. Der Abstand zwischen den Furchen beträgt 50 bis 150 cm. Die Furchen sind in gleichmäßigen Seitenabständen längs über das Ackerland verteilt. Das Wasser infiltriert seitwärts durch die Furche in den Boden und gelangt so zur Pflanzenwurzel. Nicht alle Pflanzen sind dafür geeignet. Der Zulauf mit Wasser erfolgt über Zulaufkanäle, welche durch Öffnen und Schließen geregelt werden können (Siehe Abb. 4). Die Wassergabe ist nur mit großen Wassermengen möglich, da die Furchen mit Wasser gefüllt sein müssen. Durch Große Wassergaben ist eine Auswaschung möglich. Falls salzhaltiges Wasser zur Bewässerung gebraucht wird, kann dies zu Versalzungen an den Grabenkuppen führen. Da die Bewässerung durch Gräben aus Boden erfolgt, ist wenig Material erforderlich. Demnach wird für die Furchenbewässerung wenig technisches Verständnis benötigt. Bei der Furchenbewässerung gilt ein Mindestgefälle von 0,5%, daher ist die Bewässerungsmethode nicht für ebenes Gelände geeignet. Für die Furchenbewässerung wird bei Einhaltung des Mindestgefälles kaum Energie benötigt. Von Vorteil ist eine gleichmäßige flache Hangneigung. Die mögliche Hangneigung ist unterschiedlich, je nach Boden bindigkeit. Nachteilig ist ein Gefälle quer zur Fließrichtung, es sollte weniger als die Hangneigung und weniger als 2% betragen. Die Furchenlänge hängt von der Bodenart ab, je bindiger der Boden ist desto länger kann die Furchenlänge bemessen werden. Bei leichten Böden ist die Furchenlänge auf maximal 100 m und bei bindigen Böden bis zu 200 m zu begrenzen. In der Tab. 3 sind die Vor- und Nachteile einer Furchenbewässerung dargestellt. (Achnich, 1980)

Tabelle 3 Vorteile und Nachteile der Furchenbewässerung (nach Achnich, 1980)

| Vorteile | Nachteile |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none">• Wenig Materialbedarf• Geringer Energiebedarf• Kaum Wartungsaufwand• Geringes technisches Verständnis benötigt | <ul style="list-style-type: none">• Keine kleinen Wassergaben möglich• Gefahr der Auswaschung• Nicht für alle Pflanzen als Bewässerungsmethode geeignet• Nicht zum Gebrauch von salzhaltigem Wasser geeignet• Nicht für ebenes Gelände geeignet |

2.3.2 Beregnung

Bei der Beregnung werden die Pflanzen über eine regulierbare regenartige Beregnung bewässert. Dafür sind nicht alle Pflanzen geeignet. Man unterscheidet bei der Beregnung zwischen beweglichen (Siehe Abb. 5), ortsfesten (Siehe Abb. 6) und teilortsfesten Anlagen. (Achnich, 1980)



Abbildung 5 Bewegliche Beregnungsanlage (Klett, 15.04.2013)

Bewegliche Beregnungssysteme sind Beregnungsanlagen, die auf einem fahrbaren Gestell montiert sind und auf diesen fahrend den Acker bewässern. Bei ortsfesten Beregnungsanlagen sind die Rohre, welche die Düsen zur Bewässerung enthalten, fest installiert (Siehe Abb. 6), wohingegen die teilortsfesten Beregnungsanlagen aus Rohren bestehen die schnell demontiert werden können. Unebenes Gelände ist für bewegliche Beregnungsanlagen schwer zu bewässern, da die Rollen bzw. Reifen der beweglichen Beregnungsanlagen das unebene Gelände schlecht befahren können.



Abbildung 6 Fest installierte Beregnungsanlage (mnrainman, 24.04.2013)

Starke Winde und hohe Temperaturen erschweren den Einsatz der Beregnung als Bewässerungsmethode. Die Beregnung erfolgt meist in den Abend oder Morgenstunden, um hohe Verdunstungen zu vermeiden. Die Beregnungsanlagen sind regulierbar, sodass die Wassermenge, Tropfengröße und Regendichte variabel sind. Durch die Dosierbarkeit der Bereg-

2. Aufbau künstlicher Bewässerungssysteme

nung können sowohl kleine Wassergaben und große Wassergaben dem Boden zugeführt werden. Durch die Beregnung kann dem Boden Dünger zugeführt werden, sodass eine Mehrzweckverwendung möglich ist. Sehr gut geeignete Böden für die Beregnung sind Sand, lehmiger Sand und sandiger Lehm, da das Wasser schnell in den Boden einzieht. Das Wasser sollte frei von Schwebstoffen und Salz sein, welche die Anlage verstopfen könnten. Die Beregnungsanlagen können durch Steuereinrichtungen automatisch gesteuert werden. Die Anlagekosten sind durch die benötigte Technik (Beregnungsanlage, Steuereinrichtung und Rohre) sehr hoch. Es sollte technisch qualifiziertes Personal vorhanden sein. Bei einer ortsfesten Kreisberegnung ist ein Nachteil, dass die Ecken eines rechteckigen Ackers meist nicht gut bewässert werden können (Sieh Abb.7). (Achtnich, 1980)



Abbildung 7 Kreisberegnungsanlagen aus der Luft (Sonnentaler, 15.05.2013)

In der Tab. 4 sind die Vor- und Nachteile der Beregnung dargestellt.

Tabelle 4 Vorteile und Nachteile der Beregnung (nach Achtnich, 1980)

| Vorteile | Nachteile |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none">• Keine Erosion des Bodens möglich• Dosierbarkeit der Regenspende• Automatisierung der Bewässerung kann erfolgen• Maschinen benötigt• Für leichte Böden geeignet• Für schmale Acker geeignet• Mehrzwecknutzung für Dünger möglich | <ul style="list-style-type: none">• Behinderung durch Wind• Hohe Betriebskosten• Hohe Anlagekosten• Nicht für alle Pflanzen als Bewässerungsmethode geeignet• Nicht zum Gebrauch von salzhaltigem Wasser geeignet• Energiebedarf• Technisches Verständnis benötigt |

2.3.3 Tröpfchenbewässerung

Die Tröpfchenbewässerung zeichnet sich durch die Wasserverteilung bei geringem Wasserdruck über sogenannte Tropfer aus. Durch die Tropfer wird der Boden im Ausstrahlungsbereich des Tropfers befeuchtet (Siehe Abb.9). Nicht alle Pflanzen sind für diese Art von Bewässerung geeignet. Ein Schema der Tröpfchenbewässerung ist in Abb. 8 dargestellt. Das Wasser kommt aus der Hydrant Leitung und geht über die elektrische Steuereinheit (Energiebedarf) in die Verteilerleitung. Von dort aus wird das Wasser in die Tropfleitungen verteilt. In diese sind Tropfer eingebracht, welche den Acker im Ausstrahlungsbereich bewässern. Durch den technisch komplexen Aufbau der Tröpfchenbewässerung ist technisches Verständnis benötigt. (Achnich, 1980)

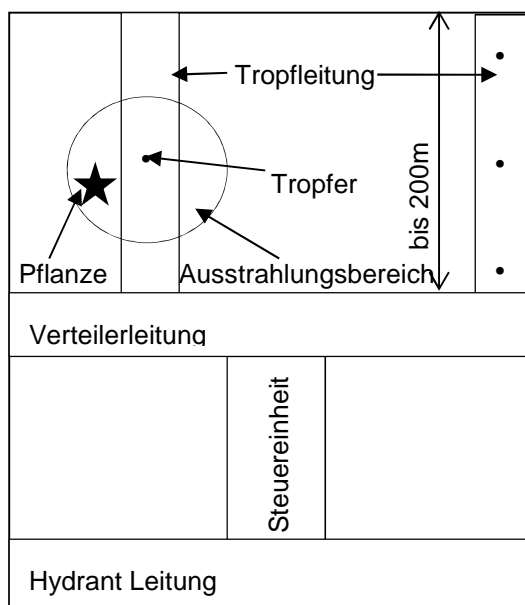


Abbildung 8 Schema einer Tröpfchenbewässerung (nach Achnich, 1980)

Der Boden bei der Tröpfchenbewässerung kann sowohl leicht, als auch schwer sein. Die Tröpfchenbewässerung ist bei jeder Hanglage einsetzbar. Durch die Beregnung ist weder eine Auswaschung noch eine Erosion des Bodens möglich. Durch die Dosierbarkeit der Wassermenge können sowohl kleine Wassergaben und große Wassergaben dem Boden zugeführt werden. Durch die steuerbare Wassermenge kann man den Ausstrahlungsbereich und die Befeuchtung regulieren. Durch den Ausstrahlungsbereich des Tropfers, sind die Wasserverluste durch Verdunstung gering. Die Tropfer können entweder als Düsen oder als Öffnungen in die Tropfleitung eingebracht werden, wobei die Öffnungen zwar preiswerter sind, aber

2. Aufbau künstlicher Bewässerungssysteme

eine unpräzisere Wassergabe zulassen. Durch eine höhere Wassergabe wird der Ausstrahlungsbereich größer, aber die Tiefe des befeuchteten Bodens wird geringer. Die Tropfleitung kann auch eingesetzt werden um Dünger und Pflanzenschutzmittel über die Tropfleitung an die Pflanzen zu bringen, sodass eine Mehrzweckverwendung möglich ist. Durch Benutzung von salzhaltigem Wasser kann es zu Salzanlagerungen in der Ausstrahlungszone des Tropfers kommen, sodass eine Ausspülung des Salzes durch Überstaubewässerung des Ackers durchgeführt werden muss. Auch eine Verstopfung der Tropfer könnte daraus resultieren. In der Tab. 5 sind die Vor- und Nachteile der Tröpfchenbewässerung dargestellt. (Achtnich, 1980)



Abbildung 9 Tröpfchenbewässerung (Krühler, 2007)

Tabelle 5 Vorteile und Nachteile der Tröpfchenbewässerung (nach Achtnich, 1980)

| Vorteile | Nachteile |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none">• Mehrzwecknutzung für Dünger möglich• Wenig Wasserverluste• Dosierbarkeit der Wassergabe• Große Wassergaben aufnehmbar• Gute Wasserverteilung• Technisches Verständnis benötigt• Maschinen benötigt• Automatisierung der Bewässerung kann erfolgen• Bei jeder Hanglage einsetzbar• Keine Erosion des Bodens möglich• Für leichte und schwere Böden geeignet• Keine Möglichkeit der Auswaschung | <ul style="list-style-type: none">• Hohe Betriebskosten• Hohe Anlagekosten• Nicht für alle Pflanzen als Bewässerungsmethode geeignet• Nicht zum Gebrauch von salzhaltigem Wasser geeignet• Energiebedarf• Hoher Materialbedarf |

2.3.4 Unterflurbewässerung

Bei der Unterflurbewässerung wird das Wasser den Pflanzen unter der Ackeroberfläche zugeführt. Nicht alle Pflanzen sind für diese Art der Bewässerung geeignet. Dies geschieht über im Boden verlegte Wasserleitungen. Es gibt eine Vielzahl von Variationen der Unterflurbewässerung, es werden im Folgenden die Unterflurbewässerung durch Entwässerungsanlagen und tiefe Gräben näher betrachtet:

Bei der Unterflurbewässerung können Entwässerungsleitungen zur Bewässerung eingesetzt werden. Dabei dienen die Entwässerungsleitungen bei Bedarf als Entwässerungssystem oder als Bewässerungssystem. Es werden alle 300 m ein Be- bzw. Entwässerungsgraben gelegt, welche im Zuleiter münden. An die Be- bzw. Entwässerungsgräben werden im Abstand von 25 m zueinander Rohrleitungen verlegt, die am Anfang und am Ende in jeweils einen Be- bzw. Entwässerungsgraben münden (Siehe Abb.10). Durch die regelmäßige Anordnung der Leitungen ist eine gleichmäßige Wasserverteilung möglich. Durch Wehre in den Gräben, kann die Wassergabe gesteuert werden. Durch den Aufbau mit viel Material resultieren hohe Anlagekosten, auch Betriebskosten entstehen bei der Unterflurbewässerung. Durch die Dosierbarkeit der Wassermenge können sowohl kleine Wassergaben als auch große Wassergaben dem Boden zugeführt werden. Durch das Wasser kann dem Boden auch Dünger zugeführt werden, sodass eine Mehrzweckverwendung möglich ist. Das Wasser sollte weder unrein noch salzhaltig sein, um Verstopfungen der Leitungen zu vermeiden. Durch die unterirdische Wassergabe nehmen die Bewässerungsleitungen keinen Platz an der Oberfläche in Anspruch. Resultierend aus der unterirdischen Wassergabe sind die Wasserverluste durch Verdunstung gering und es ist weder eine Auswaschung noch eine Erosion des Bodens möglich. Es gibt auch andere Arten der Bewässerung durch Entwässerungsleitungen auf die hier nicht eingegangen wird. (Achnich 1980)

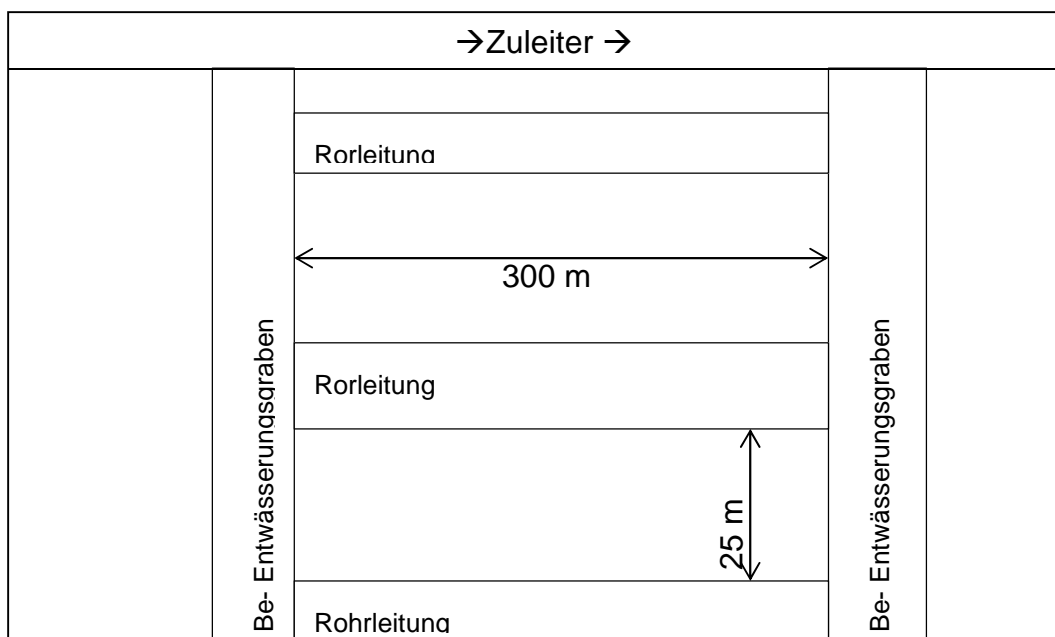


Abbildung 10 Schema einer Unterflurbewässerung (Achnich, 1980)

Die Unterflurbewässerung durch tiefe Gräben ist eine andere Form der Unterflurbewässerung, sie ist aber nur dann einsetzbar, wenn sich die natürlichen Gegebenheiten des Ackers mit den Anforderungen der Unterflurbewässerung decken. Dabei sollte kein Bodengefälle vorhanden sein. Und es muss eine undurchlässige Bodenschicht unter einem durchlässigen Oberboden vorhanden sein, um Wasserversickerungen zu vermeiden. Dadurch ist das Wasser aus dem Niederschlag in der oberflächennahen durchlässigen Bodenschicht vorhanden und steht somit der Pflanze zur Aufnahme zur Verfügung. In der Tab. 6 sind die Vor- und Nachteile einer Unterflurbewässerung dargestellt. (Achnich 1980)

Tabelle 6 Vorteile und Nachteile der Unterflurbewässerung (nach Achnich, 1980)

| Vorteile | Nachteile |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Dosierbarkeit der Wassergabe • Mehrzwecknutzung für Dünger möglich • Gute Wasserverteilung • Kein Geländeverlust • Keine Erosion des Bodens • Technisches Verständnis benötigt • Maschinen benötigt • Keine Möglichkeit der Auswaschung | <ul style="list-style-type: none"> • Keine Wasserverluste • Verstopfungsgefahr der Leitungen, bei unreinem Wasser • Betriebskosten • Hohe Anlagekosten • Nicht für alle Pflanzen geeignet • Nicht zum Gebrauch von salzhaltigem Wasser • Bewässerung ist bei steiler Hanglage nicht möglich • Hoher Materialbedarf |

2.4 Generatoren

Um den, für die Wasserpumpe nötigen, Strom zu generieren, wird im Bewässerungssystem ein Stromgenerator benötigt. Die Prinzipien eines Stromerzeugungsaggregates, eines Photovoltaikgenerators und eines Windgenerators werden nachfolgend aufgezeigt und deren Nachteile und Vorteile werden genannt.

Stromerzeugungsaggregat

Stromerzeugungsaggregate transformieren mechanische Energie in elektrische Energie. Hauptkomponenten sind ein Verbrennungsmotor und ein Generator. Die mechanische Energie wird von einem Verbrennungsmotor generiert. Hierbei werden meist Dieselmotoren, Ottomotoren oder Gasmotoren benutzt.

Die vom Verbrennungsmotor generierte mechanische Energie wird vom Generator in elektrische Energie umgewandelt. Dabei wird die mechanische Energie über eine Welle an eine Spule weiter gegeben. Diese dreht sich in einem Magnetfeld und dabei entsteht elektrische Ladung. Diese kann dann zum Antrieb der Wasserpumpe im Bewässerungssystem genutzt werden. In der Tab. 7, 8 und 9 sind die Vor- und Nachteile eines Benzin-, Diesel- und Flüssiggasgenerators dargestellt. (Lange, 13.04.2013)

Tabelle 7 Vorteile und Nachteile Benzingenerator (Endress, 14.04.2013)

| Vorteile | Nachteile |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none">• Kostengünstige Anschaffung• Leicht, klein und mobil• Energieproduktion nicht abhängig von Sonneneinstrahlung und Wind | <ul style="list-style-type: none">• Ausgaben für Rohstoffe zum Betrieb des Generators• Fossile Energie steht nicht dauerhaft zur Verfügung• Ausstoß von Klimagasen (CO₂, Methan) beim Betrieb des Generators |

Der Benzingenerator ist in der Anschaffung günstig. Aber ist bei der Stromproduktion nicht abhängig von äußeren Einflüssen, wie Sonneneinstrahlung oder Windgeschwindigkeit. Bei dem Betrieb des Generators werden Benzin und Öl benötigt. Benzin ist kein nachwachsender Rohstoff und stößt bei der Verbrennung Klimagase aus.

2. Aufbau künstlicher Bewässerungssysteme

Tabelle 8 Vorteile und Nachteile Dieselgenerator (Endress, 14.04.2013)

| Vorteile | Nachteile |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none">• Rohstoffkosten günstiger als bei dem Benzingenerator• Energieproduktion nicht abhängig von Sonneneinstrahlung und Wind | <ul style="list-style-type: none">• Ausgaben für Rohstoffe zum Betrieb des Generators• Fossile Energie steht nicht dauerhaft zur Verfügung• Ausstoß von Klimagasen (CO₂, Methan) beim Betrieb des Generators• Kostenintensive Anschaffung• Groß, schwer |

Bei den Rohstoffkosten ist der Dieselgenerator günstiger, hat aber einen höheren Anschaffungspreis als der Benzingenerator. Ein weiterer Nachteil ist, dass der Dieselgenerator aufgrund der Größe und des Gewichts nicht so mobil ist wie der Benzingenerator.

Tabelle 9 Vorteile und Nachteile Erdgas/Flüssiggasgenerator (Endress, 14.04.2013)

| Vorteile | Nachteile |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none">• Geringe Rohstoffkosten• Energieproduktion nicht abhängig von Sonneneinstrahlung und Wind• Rückstandslose Verbrennung | <ul style="list-style-type: none">• Fossile Energie steht nicht dauerhaft zur Verfügung• Ausstoß von Klimagasen (CO₂, Methan) beim Betrieb des Generators |

Der Erdgasgenerator hat im Vergleich zum Diesel und Benzingenerator die geringsten Rohstoffkosten. Bei der Verbrennung entstehen keine Rückstände, wie Teer, welche den Generator beeinträchtigen könnten.

Photovoltaikgenerator

Bei einem Photovoltaikgenerator wird aus der Sonneneinstrahlung elektrische Energie generiert.

Eine Photovoltaikanlage sollte so aufgestellt werden, dass sie für jede Sonnenstellung nicht verschattet wird. Die Neigung der Anlage sollte mit 28° Horizontalneigung nach Süden ausgerichtet werden. Die Horizontalneigung kann entweder durch einen geneigten Rahmen, der auf die Photovoltaikanlage montiert ist, erreicht werden, oder indem die Photovoltaikanlage auf ein Dach mit der Horizontalneigung montiert wird. Photovoltaikanlagen können entweder fest ausgerichtet sein oder variabel. Bei einer fest ausgerichteten Anlage ist der Ausrichtungswinkel der Anlage konstant, wohingegen bei einer variabel ausgerichteten Anlage die Anlage

2. Aufbau künstlicher Bewässerungssysteme

der Sonne nachgeführt wird. Bei einer variabel ausgeführten Anlage ist der Vorteil, dass der Stromertrag um bis zu 25-35 % im Vergleich zu einer fest ausgerichteten Anlage gesteigert wird, sie sind dafür aber auch kostenintensiver als die Anlagen mit fester Ausrichtung. Die Photovoltaikanlage kann als sogenannte Inselanlage konzipiert werden oder an das Stromnetz angeschlossen werden. Bei Inselanlagen wird der Strom nicht in das Stromnetz eingespeist, sondern direkt zum Antrieb einer Pumpe benutzt. Der Vorteil der Inselanlagen ist, dass die Anlage unabhängig vom Stromnetz errichtet wird, sodass kein Stromnetz benötigt wird. Es kann ein Akkumulator als Stromspeicher für Zeiten installiert werden in denen keine Sonneneinstrahlung vorhanden ist. In der Tab. 10 sind die Vor- und Nachteile eines Photovoltaikgenerators dargestellt. (Photovoltaik, 2012)

Tabelle 10 Vorteile und Nachteile Photovoltaikgenerator (Solarenergie Windenergie, 15.04.2013a)

| Vorteile | Nachteile |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none">• Primär Energie steht kostenlos zur Verfügung• Keine Ausgaben für Rohstoffe zum Betrieb des Generators• Kein Ausstoß von Klimagasen (CO₂, Methan) beim Betrieb des Generators | <ul style="list-style-type: none">• Energieproduktion abhängig von der Bewölkung• Energieproduktion während der Nacht nicht vorhanden• Kostenintensive Anschaffung• Schwer planbarer Energieertrag |

Windgenerator

Eine Windkraftanlage ist ein Generator zur Gewinnung von elektrischer Energie durch Ausnutzung der Windenergie. Die Hauptbestandteile einer Windkraftanlage sind der Rotor, der Turm und ein Generator. Der Wind treibt die Rotorblätter an, wodurch der Rotor mechanische Energie generiert. Der Generator transformiert die mechanische Energie des Rotors in elektrische Energie. (Wind Energie, 16.04.2013a)

Der Rotor der Windkraftanlage besteht aus mehreren Rotorblättern. Windenergieanlagen produzieren ab einer Windgeschwindigkeit von 4m/s Energie. Ab einer Windgeschwindigkeit von 25 m/s wird die Windenergieanlage heruntergefahren, damit es nicht zu Materialschäden kommt. (Wind Energie, 16.04.2013b)

3. Relevanz der künstlichen Bewässerung

Die Windkraftanlagen in einem Bewässerungssystem sind als sogenannte Inselanlage konzipiert. Im Gegensatz zu den Windkraftanlagen, welche an das Stromnetz angeschlossen sind, wird der generierte Strom bei Inselanlagen nicht in das Stromnetz eingespeist, sondern direkt zum Antrieb einer Pumpe benutzt. Es kann ein Akkumulator als Puffer für windstille Zeiten installiert werden. (Klein Windkraftanlagen, 16.04.2013)

Es können zur Wasserförderung auch Windpumpen, auch Westernmill genannt, eingesetzt werden. Diese treiben, ohne elektrische Energie zu erzeugen, eine mechanische Pumpe an, welche Wasser fördert. Hierbei muss allerdings, je nach Bewässerungsmethode, eine zusätzliche Pumpe vorgesehen werden, um den benötigten Druck, der für die Bewässerung notwendig ist, herzustellen. In der Tab. 11 sind die Vor- und Nachteile eines Windgenerators dargestellt.

Tabelle 11 Vorteile und Nachteile Windgenerator (Vorteile nach Solarenergie Windenergie 15.04.2013b Nachteile nach Solarenergie Windenergie 15.04.2013c)

| Vorteile | Nachteile |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none">• Primär Energie steht kostenlos zur Verfügung• Keine Ausgaben für Rohstoffe zum Betrieb des Generators• Kein Ausstoß von Klimagasen (CO₂, Methan) beim Betrieb des Generators | <ul style="list-style-type: none">• Energieproduktion während Windgeschwindigkeiten unter 4 m/s nicht vorhanden• Kostenintensive Anschaffung• Energieproduktion während Windgeschwindigkeiten über 25 m/s nicht vorhanden• Schwer planbarer Energieertrag |

3. Relevanz der künstlichen Bewässerung

Bewässerungsflächen weltweit

Tabelle 12 Prozentualer Anteil der Bewässerungsfläche in verschiedenen Regionen (Universität für Bodenkultur Wien, 16.04.2013)

| Region | Bewässerte Fläche in % |
|-------------|------------------------|
| Europa | 8 |
| Amerika | 11 |
| Nordamerika | 11 |
| Südamerika | 9 |
| Asien | 34 |
| China | 38 |
| Indien | 34 |

3. Relevanz der künstlichen Bewässerung

| | |
|-----------------|-----------|
| Afrika | 6 |
| Australien | 5 |
| Weltweit | 18 |

Wie in Tab. 12 zu sehen sind 8% der Landfläche von Europa bewässert. Dies entsprach im Jahr 2005 einer Bewässerungsfläche von 22,7 Mio. Hektar. In Amerika sind 11% des Landes bewässert, was im Jahr 2005 49 Mio. Hektar entsprach. Asiens Landfläche ist zu ca. einem Drittel bewässert, im Jahr 2005 war diese Fläche 211,9 Mio. Hektar. Die bewässerte Fläche Afrikas entspricht 6%, was einer Fläche von 13,6 Mio. Hektar im Jahr 2005 gleicht. 5% der Fläche von Australien sind bewässert. Dies entsprach im Jahr 2005 einer Bewässerungsfläche von 4 Mio. Hektar (Neuseeland mit inbegriffen). Weltweit gesehen ist 18% der Landfläche bewässert, im Jahr 2005 war dies eine Fläche von ca. 301 Mio. Hektar. (Siebert und Döll, 2011)

Tabelle 13 Erschlossene Bewässerungsfläche (Mio ha) und aktuell bewässerte Fläche (Mio. ha) (Siebert und Döll, 2011)

| Region | Erschlossene Bewässerungsfläche | Aktuell bewässerte Fläche |
|----------------------------|---------------------------------|---------------------------|
| Nordafrika | 6.4 | 6.0 |
| Afrika südlich der Sahara | 7.2 | 5.5 |
| Nordamerika | 35.5 | 28.9 |
| Zentralamerika und Karibik | 1.9 | 1.1 |
| Südamerika | 11.6 | 9.6 |
| West- und Zentraleuropa | 17.8 | 11.6 |
| Osteuropa | 4.9 | 1.7 |
| Mittlerer Osten | 23.6 | 17.7 |
| Zentralasien | 14.7 | 11.8 |
| Süd- und Ostasien | 173.6 | 155.6 |
| Australien und Neuseeland | 4.0 | 3.0 |
| Andere pazifische Inseln | 0.0 | 0.0 |
| Weltweit | 300.9 | 252.6 |

Wie in Tab. 13 zu sehen ist, betrug die erschlossene Landfläche der Erde für die Bewässerung etwa um das Jahr 2005 weltweit 301 Mio. Hektar. Dies ist die Fläche, auf der Bewässerung realisierbar und nutzbar wäre. Die erschlossene Bewässerungsfläche nimmt, wie der Abb. 11 zu ent-

3. Relevanz der künstlichen Bewässerung

nehmen ist, seit dem Jahr 1900 stetig zu. Von der erschlossenen Fläche wurden 253 Mio. Hektar auch für Bewässerungszwecke genutzt. Die größten Bewässerungsflächen liegen in China, den Vereinigten Staaten von Amerika und Indien. Diese drei Länder gebrauchen mehr als 50% der weltweiten Bewässerungsfläche. Ca. 60% der erschlossenen Bewässerungsfläche (Vgl. Tab. 13) und ca. 2/3 der tatsächlich bewässerten Fläche liegen in Süd- und Ostasien. (Siebert und Döll, 2011)

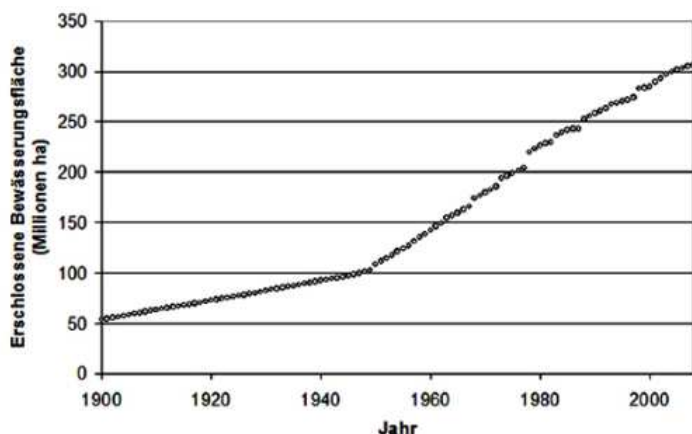


Abbildung 11 Ausdehnung der erschlossenen Bewässerungsfläche weltweit im Zeitraum 1900-2008 (Siebert und Döll, 2011)

Bewässerungskulturen

Auf ca. 1/3 der Erntefläche wurde Reis angebaut. Weizen beanspruchte ca. 21,5% der Erntefläche. Mais wurde auf ca. 9,5% angebaut und Baumwolle auf ca. 5% der Erntefläche. 79% der Fläche auf der Dattelpalmen angebaut werden, 62% der Fläche auf der Reis angebaut werden und 49% der Fläche auf der Zuckerrohr und Baumwolle angebaut werden, werden bewässert. Wohingegen der Anbau von Kakao, Maniok oder Ölpalmen nur über den Regenfeldbau erfolgt. (Siebert und Döll, 2011)

Bewässerungsgründe

In den niederschlagsreichen Monaten ist die Bewässerung der Pflanzen ausreichend gesichert. In den Monaten bei der die Verdunstung den Niederschlag übersteigt (aride Monate), muss die Pflanze bewässert werden. Durch Versickerung, Verdunstung und Abfluss gehen durchschnittlich 1/3

3. Relevanz der künstlichen Bewässerung

der Niederschläge ungenutzt verloren (abhängig von Oberflächen- und Bodenbeschaffenheit) und können somit nicht an die Pflanzen gelangen (Siegert 1927). Um diese Niederschlagseinbußen auszugleichen muss der Landwirt künstlich bewässern. Pflanzen brauchen gerade für die Blüten und Fruchtbildung ausreichend Wasser. Die Frucht wird verkauft und dient den Landwirten als Einkommen. Kommt es aufgrund von Niederschlagsmangel dazu, dass die Fruchtbildung gefährdet wird muss der Landwirt künstlich bewässern, um keine Einkommenseinbußen zu befürchten. (Butscher und Krühler, 2005)

Die künstliche Bewässerung kann auch in den niederschlagsreichen Monaten erfolgen. Hierbei wird zusätzlich zum Niederschlag künstlich bewässert. Dabei wird die künstliche Bewässerung zur Ertragssteigerung eingesetzt. Durch die zusätzliche Bewässerung resultiert ein höherer Ertrag. Durch den Verkauf der zusätzlichen Ernte, wird das Einkommen des Landwirtes gesteigert. (Butscher und Krühler, 2005)

Nicht nur die quantitative Erhöhung der angebauten Nutzpflanzen wird durch die künstliche Bewässerung verbessert, sondern auch die qualitative. Denn durch die kontinuierliche Bewässerung kann die Pflanze einen qualitativ besseren Ertrag liefern. (Butscher und Krühler, 2005)

Die Landwirtschaft ist für die Landwirte nicht nur eine Einkommensquelle, sondern auch eine Nahrungsgrundlage. Somit ist die künstliche Bewässerung nicht nur zur Ertragssicherung und Ertragssteigerung wichtig (somit zur Einkommenssicherung) sondern auch notwendig zum Überleben. (Butscher und Krühler, 2005)

Bereits jetzt sind mehr als 850 Millionen Menschen auf der Welt unterernährt. Es sterben rund 24000 Menschen täglich wegen Hunger. 2/3 von ihnen leben auf dem Land. Sie müssen Nahrung anbauen um zu Überleben. (Bundesregierung, 20.04.2013)

Kommt es nun zu niederschlagsarmen Monaten, so muss künstlich bewässert werden um Nahrung zu haben.

4. Durch die künstliche Bewässerung resultierende Probleme

Durch eine nicht an den Acker angepasste Bewässerung können Probleme resultieren. Diese sind im folgenden aufgeführt. Daher müssen bei der Wahl der Bewässerungssysteme die Ackereigenschaften berücksichtigt werden.

Grundwasser- und Gewässerbelastungen

Die landwirtschaftliche Bewirtschaftung mittels Dünger, Herbiziden und Pestiziden, bewirkt eine diffuse Schmutzeinleitung in das Grundwasser. Dies bedeutet, dass die Schadstoffe nicht an einem Punkt in den Grundwasserleiter eingebracht werden, sondern räumlich gestreckt über eine große Fläche zugeführt werden. Daher ist die Filtration der Schadstoffe nicht möglich. Dies führt zur Infiltration von Nitrat, Herbiziden und Pestiziden in den Boden. Nitrate sickern durch den Boden und sind wasserlöslich und gelangen so ins Grundwasser. Die Sickerung von Nitraten durch den Boden ist in feuchten Klimata ausgeprägter. Der Gebrauch von Pflanzenschutzmitteln hinterlässt toxische Pestizidrückstände, wie Insektizide, Herbizide, Fungizide. Diese sind wasserlöslich und können in das Grundwasser sickern. (Europäische Kommission, 18.04.2013)

Die Menge der Durchsickerung hängt auch von der Durchlässigkeit des Bodens ab. Je durchlässiger der Boden, umso mehr Partikel können ins Grundwasser sickern. (Europäische Kommission, 18.04.2013)

Durch den Eintrag von Nitrat und Phosphat aus Dünger und Gülle aus der Landwirtschaft kann ein Gewässer eutrophieren. Bei einem natürlichen Zustand eines Gewässers ist der Nährstoffkreislauf ausgeglichen und das Gewässer ist sauerstoffreich. Dies kann dazu führen, dass das Gewässer „umkippt“. Dies bedeutet, dass Pflanzen und Tiere durch den Mangel an Sauerstoff sterben und nur noch Bakterien im Wasser vorhanden sind. (Köster, 2012)

Wird eine Bewässerungsmethode gewählt, welche auf das Ackerland abgestimmt ist, können diese Belastungen reduziert werden. Dies resultiert

4. Durch die künstliche Bewässerung resultierende Probleme

dadurch, dass die Wassernutzung effektiver ist. Dadurch kann weniger Wasser in den Grundwasserleiter versickern kann und somit sind weniger diffuse Schmutzeinleitungen in das Grundwasser zu erwarten. Andererseits kann weniger Wasser aus der künstlichen Bewässerung oberflächlich in Gewässer fließen und somit kann die Gefahr zur Eutrophierung eines Gewässers reduziert werden.

Versalzung

Unter Versalzung wird die Erhöhung der Konzentration von Salzen im Boden verstanden. Die Salze sind Kalium (K^+), Magnesium (Mg^{2+}), Kalzium (Ca^{2+}), Chlorid (Cl^-), Sulfat (SO_4^{2-}), Karbonat (CO_3^{2-}), Bikarbonat (HCO_3^-) und Natrium (Na^+). Diese Salze werden gelöst im Wasser transportiert. Verdunstet das Wasser aus dem Boden, bleibt das Salz im Boden über. Die Versalzung kann sowohl durch einen natürlichen Prozess entstehen als auch durch anthropogene Ursachen hervorgerufen werden. Diese können zum Beispiel durch Gebrauch von salzhaltigem Wasser bei der künstlichen Bewässerung entstehen. Durch die Versalzung wird das Pflanzenwachstum dadurch behindert, dass die Nährstoffaufnahme gehemmt und zugleich die Güte des Wassers reduziert wird, wodurch die Pflanze vertrocknen kann. Der Boden wird durch die Versalzung degradiert, sodass sich die Bodenfruchtbarkeit verringert. Welches wiederum die Bewirtschaftung des Ackers beeinträchtigt. Versalzene Böden können schneller durch Wind und Wasser erodieren, dies kann zur Desertifikation führen.

Die menschlichen Ursachen die zur Versalzung führen können, sind folgende Aktivitäten in der künstlichen Bewässerung: unregelmäßige Wasserverteilung auf dem Acker, ungeeignete Bewässerungsmethoden, ungünstiger Wasserabfluss. Weiterhin zur Versalzung führen können der Gebrauch von salzhaltigem Wasser, welcher durch Verwendung von Abwasser zur Bewässerung vorkommen kann und der Einsatz von industriellen Produkten, welche stark salzhaltig sind. (Europäische Gemeinschaften, 2009)

Bodendegradation und –desertifikation

Die Bodendegradation ist die Einwirkung, Abänderung oder Schädigung des Bodenmediums. Diese wird in die chemische, physikalische und biotische Degradation unterteilt. Die Ursachen der Degradation durch die landwirtschaftliche Bewirtschaftung chemisch physikalisch oder biotisch bedingt. Ursachen der Chemischen Degradation sind Verlust der organischen Substanz, Versalzung, Vergiftung und Versauerung. Die Physikalische Degradation kann durch Verdichtung und Versiegelung hervorgerufen werden. Bei der biotischen Degradation werden die Stoffkreisläufe innerhalb des Bodens beeinträchtigt, sodass die Struktur der Kreisläufe verändert wird. (Krawczik und Nowikow, 19.04.2013)

Das Endstadium der Bodendegradation wird Desertifikation genannt. Dabei entsteht auf der Fläche, welche degradiert worden ist, eine Wüste.

Die Desertifikation ist in ariden, semi-ariden und trocken-subhumiden Arealen der Erde ausgeprägter als in anderen Arealen, da die Böden eine verringerte Reenerationseigenschaft haben (Welt Im Wandel, 2007).

5. Entwicklung eines Tools zur Empfehlung eines Bewässerungssystems

Es gibt kein optimales und universales Bewässerungssystem, welches man auf jedem Ackerland einsetzen kann, da das Klima und die Bodeneigenschaften auf jedem Ackerland verschieden sind. Daher muss das Bewässerungssystem nach den lokalen Parametern des Ackerlandes bestimmt werden, um so das am besten geeignete Bewässerungssystem für das Ackerland zu finden.

Entscheidende Faktoren zur Auswahl des Bewässerungssystems für das Ackerland sind die Bodenbeschaffenheit, die Hanglage, das Wasserangebot, der zu bewässernde Pflanzenbestand des Ackerlandes und die technischen Mittel sowie die finanzielle Ausstattung des Landwirts.

5. Entwicklung eines Tools zur Empfehlung eines Bewässerungssystems

Diese Faktoren für jedes mögliche Bewässerungssystem manuell über Tabellen zu vergleichen ist viel zu komplex und erfordert sehr viel Zeit. Daher wird ein Tool zu entworfen, welches anhand von lokalen Parametern ein Bewässerungssystem empfiehlt. Dies beinhaltet eine Empfehlung der Bewässerungsmethode und eines Generators.

Als Tool wird Microsoft Excel benutzt, da es das Tabellenkalkulationsprogramm ist, welches am meisten verbreitet ist.

5.1 Bewässerungsmethode

Es werden vom Tool im Reiter Bewässerungsmethode folgende Bewässerungsmethoden miteinander verglichen:

- Beckenbewässerung
- Streifenbewässerung
- Furchenbewässerung
- Unterflurbewässerung
- Tropfbewässerung
- Beregnung

Die Parameter die von dem Anwender angegeben werden müssen sind:

- Bodengefälle
- Erosionsgefahr des Bodens
- Versalzungsgefahr des Bodens
- Gefahr der Wasserverluste
- Möglichkeit der Auswaschung
- Energievorkommen
- Anfangsbudget
- Jahresbudget

Zum Vergleich der verschiedenen Bewässerungsmethoden wird eine Bewertungsmatrix eingeführt. Als Bewertungsgrundlage wird die Tab. 14 genommen. Werte der Tabelle die als Zahlenbereich, wie 1-3, gegeben sind werden gemittelt.

5. Entwicklung eines Tools zur Empfehlung eines Bewässerungssystems

Tabelle 14 Merkmale und Eignung verschiedener Bewässerungsverfahren (Achnich, 1980)

| Zum Vergleich | Bewässerungsverfahren | | | | | |
|-------------------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|-------------------------|------------|------------|
| | Becken | Streifen | Furchen | Unterflur) ¹ | Tropf-Bew. | Bereg-nung |
| Boden | | | | | | |
| ebenes Gelände | 5 | 0 | 0 | 5 | 5 | 5 |
| mäßige Hanglage | 3-4 | 4-5 | 5 | 3-4 | 5 | 5 |
| steile Hanglage | 2-4) ² | 2-4) ² | 2-4) ² | 0 | 4-5 | 3-4 |
| lehmgiger Sand (leicht) | 3-5 | 2-4 | 2-4 | 3-5 | 5 | 5 |
| toniger Lehm (schwer) | 5 | 3-5 | 3-5 | 3-5 | 5 | 3-5 |
| Erosionsgefahr | 0 | 1-3 | 2-4 | 0 | 0 | 0-2 |
| Versalzunggefahr | 1-2 | 1-3 | 3-5 | 2-4 | 1-3 | 1-2 |
| Wasser | | | | | | |
| kleine Gaben | 0 | 0 | 0 | 2-4 | 5 | 5 |
| große Gaben | 5 | 4 | 3 | 2-4 | 2-4 | 5 |
| verfahrendbedingter Bedarf | 2-4 | 3-5 | 3-5 | 1 | 0 | 0 |
| Dosierung | 3 | 3 | 3 | 5 | 5 | 5 |
| Wasserverteilung | 2-4 | 2-4 | 3-5 | 5 | 5 | 3-5 |
| Wasserverluste | 1-2 | 2-4 | 2-4 | 0 | 0 | 1-2 |
| Gebrauch salzhaltigen Wassers | 2-4 | 1-2 | 1-2 | 1 | 1 | 1 |
| Möglichkeit der Auswaschung | 5 | 2-4 | 1 | 0 | 0 | 5 |
| Pflanzen | | | | | | |
| Getreide | 3-4 | 4-5 | 0 | 4-5 | 1 | 5 |
| Reis | 5 | 2-4 | 0 | 0 | 0 | 1-2 |
| Zuckerrohr | 2-4 | 3-5 | 5 | 3-5 | 1 | 5 |
| Baumwolle | 3-5 | 3-5 | 5 | 3-5 | 2-4 | 5 |
| Hackfrüchte | 2-4 | 3-5 | 5 | 5 | 1 | 5 |
| Gemüse | 2-4 | 3-5 | 3-5 | 5 | 5 | 5 |
| Futterpflanzen | 5 | 5 | 1-3 | 5 | 1 | 5 |
| Grünland | 5 | 5 | 0 | 5 | 0 | 5 |
| Baumwollkulturen | 5 | 1-3 | 3-5 | 2-4 | 5 | 5 |
| Rebanlagen | 2-4) ³ | 2-4) ³ | 3-5 | 2-4) ³ | 5 | 5 |
| Arbeit und Technik | | | | | | |
| Handarbeit | 3-5 | 2-4 | 2-4 | 1 | 1-3 | 1-4 |
| technisches Verständnis | 1-2 | 1-2 | 1-2 | 2-4 | 2-4 | 3-5 |
| Möglichkeit der Automation | 1 | 1 | 1 | 5 | 5 | 5 |
| Mehrzweckverwendung | 1 | 1 | 1 | 2-4 | 2-4 | 3-5 |
| Maschineneinsatz | 1-2 | 2-4 | 2-4 | 5 | 3-5 | 3-5 |
| Anlage und Betrieb | | | | | | |
| Geländeverlust | 3-5 | 2-4 | 1-3 | 0 | 1-2 | 1 |
| Materialbedarf | 1 | 1 | 1 | 5 | 5 | 5 |
| Energiebedarf | 0-2 | 0-2 | 0-2 | 3-4 | 3-4 | 5 |
| Wartungsaufwand | 1 | 1 | 1 | 1-2 | 2-3 | 3-4 |
| Anlagekosten | 1-3 | 1-3 | 1-3 | 5 | 4 | 5 |
| Betriebskosten | 2-3 | 2-3 | 2-3 | 3-4 | 3-4 | 5 |

¹ Unterflurrieselung (nicht Anhebung des Grundwasserstandes)

² auf Terrassen bzw. Konturfurchen

³ in ebenem Gelände

Die Beurteilung erfolgt innerhalb von 6 Bewertungsstufen:

0 = nicht möglich, ungeeignet, unbedeutend

1 = kaum möglich, kaum geeignet, sehr gering, klein, niedrig

5 = sehr gut möglich, sehr gut geeignet, sehr gut, groß, hoch

Die so gewonnen Bewertungspunkte werden wie folgt als Matrix formatiert. Die Spalten der Matrix stellen die verschiedenen Bewässerungsmethoden dar, die Zeilen entsprechen den möglichen lokalen Parameter des Ackerlandes.

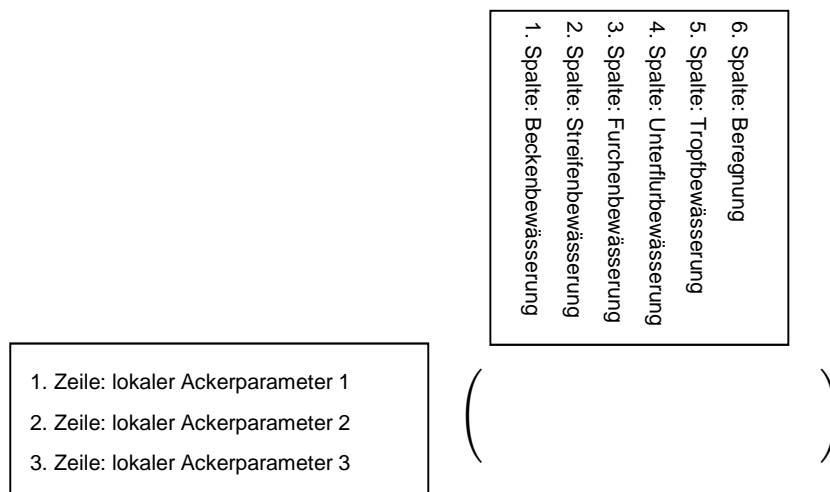


Abbildung 12 Aufbau der allgemeinen Bewertungsmatrix

Dabei wird jeder Bewässerungsmethode für jeden möglichen lokalen Parameter eine Bewertungspunktzahl zugeteilt. Dabei entspricht eine hohe Punktzahl einer schlechteren Bewertung und eine niedrige Punktzahl einer guten Bewertung. Die beste Bewertung entspricht 0 Punkten, die schlechteste 5 Punkte. Die Anwender haben die Möglichkeit einen von 3 lokalen Ackerparametern auszuwählen. Aus der Auswahl der lokalen Ackerparameter wird für jeden Parameter eine Bewertungspunktzahl generiert. Welche am Ende für die Empfehlung der Bewässerungsmethode entscheidend ist. In dieser Form wird nun für jeden Parameter eine Bewertungsmatrix aufgestellt.

Parameter der Bewertungsmatrix Bodengefälle

Zur Einordnung des Bodengefälles für einen lokalen Parameter wird eine Messung benötigt, diese Messung kann mit einem Hangneigungsmesser durchgeführt werden. Dies ist ein Instrument, welches aus einem Pendel und einer ausdrückbaren Schablone konstruiert werden kann. Dabei wird das Pendel durch ein Loch in der Schablone, welches im Papier mittig ist, geführt. Den Hangneigungsmesser hält man 30-40cm vom Körper entfernt und visiert einen entfernten Punkt des Ackerlandes an. Daraus erhält man die Hangneigung. (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, 20.04.2013).

5. Entwicklung eines Tools zur Empfehlung eines Bewässerungssystems

Die Bestimmung des Bodengefälles kann auch durch Vermessungstechniken erfolgen, womit auch die Genauigkeit der Messung erhöht wird.

Tabelle 15 Hangneigungsstufen (Gulich et al, 20.04.2013)

| Neigungsflächentyp | | Hangneigungsstufen | | | | |
|--------------------|--|---------------------|-----------|------------|-------------|---------|
| | | < 4 % | 4 bis 9 % | 9 bis 14 % | 14 bis 23 % | > 23 % |
| Symbol | Bezeichnung | Flächenanteile in % | | | | |
| 01 | eben | 95 bis 100 | 1 bis 5 | 0 | 0 | 0 |
| 03 | flach | 60 bis 80 | < 40 | 1 bis 5 | 0 | 0 |
| 05 | flach mit mäßig geneigten Anteilen | > 80 | | < 20 | 1 bis 5 | 0 |
| 07 | flach mit stark geneigten Anteilen | > 80 | | < 20 | | 1 bis 5 |
| 09 | mäßig geneigt mit stark geneigten Anteilen | 40 bis 60 | | 20 bis 40 | < 20 | 1 bis 5 |
| 11 | stark geneigt | 40 bis 60 | | | 40 bis 60 | |
| 13 | sehr stark geneigt | < 40 | | | > 20 | > 20 |

Aus der Hangneigung kann der Acker nach Tab. 15 einstuft werden. Dabei muss abgeschätzt werden, wie viel Prozent der Fläche des Ackers welche Neigung haben. Daraus kann nun ein lokaler Parameter nach Tab. 16 ausgewählt werden. Der Anwender des Tools muss diesen im Tool eingeben.

Tabelle 16 lokale Ackerparameter für die Bewertungsmatrix Bodengefälle

| Zeile der Matrix | Bedeutung als lokaler Ackerparameter |
|------------------|--|
| 1 | ebenes Gelände (Symbol 01 der Tab. 15) |
| 2 | mäßige Hanglage (Symbol 03;05;07;09 der Tab. 15) |
| 3 | steile Hanglage (Symbol 11;13 der Tab. 15) |

Entwicklung der Bewertungsmatrix für das Tool

Die Tabellenwerte der Tab. 14 werden nach den Annahmen als Tabelle aufgeschrieben.

Tabelle 17 Tabellenwerte für Bewertungsmatrix Bodengefälle

| Bewässerung | Becken | Streifen | Furchen | Unterflur | Tröpfchen | Beregnung |
|-----------------|--------|----------|---------|-----------|-----------|-----------|
| Ebenes Gelände | 5 | 0 | 0 | 5 | 5 | 5 |
| mäßige Hanglage | 3,5 | 4,5 | 5 | 3,5 | 5 | 5 |
| Steile Hanglage | 3 | 3 | 3 | 0 | 4,5 | 3,5 |

Für die Tabellenkalkulation mit Excel muss eine Matrix aufgestellt werden, die Matrix sieht wie folgt aus:

5. Entwicklung eines Tools zur Empfehlung eines Bewässerungssystems

$$\begin{pmatrix} 5 & 0 & 0 & 5 & 5 & 5 \\ 3,5 & 4,5 & 5 & 3,5 & 5 & 5 \\ 3 & 3 & 3 & 0 & 4,5 & 3,5 \end{pmatrix}$$

Die Punktzahl nach Achtnich null bedeutet nicht möglich, eins bedeutet kaum möglich und fünf bedeutet sehr gut möglich.

Da die Punktzahl der Tabelle im Punkt Bodengefälle von Achtnich genau entgegen der in dieser Arbeit definierten Bewertung ist, müssen alle Werte neu errechnet werden.

Im Tool soll fünf nicht möglich und null sehr gut möglich heißen, daher muss jedes Element neu errechnet werden, Damit die richtige Matrix abgebildet werden kann. Die Rechenoperation für die neue Matrix ist:

$$\text{Neuer Elementwert} = 5 - \text{Elementwert der Tabelle von Achtnich}$$

Dies ergibt folgende Matrix:

$$\begin{pmatrix} 0 & 5 & 5 & 0 & 0 & 0 \\ 1,5 & 0,5 & 0 & 1,5 & 0 & 0 \\ 2 & 2 & 2 & 5 & 0,5 & 1,5 \end{pmatrix}$$

Bei der Benotung fünf der neuen Matrix wird die Bewässerungsmethode aus dem Vergleich genommen, da nach Achtnich dann keine Bewässerung mehr möglich ist. Daraus folgt die Bewertungsmatrix des Parameters Bodengefälle für das Tool:

$$\begin{pmatrix} 0 & \text{UNMÖGLICH} & \text{UNMÖGLICH} & 0 & 0 & 0 \\ 1,5 & 0,5 & 0 & 1,5 & 0 & 0 \\ 2 & 2 & 2 & \text{UNMÖGLICH} & 0,5 & 1,5 \end{pmatrix}$$

Parameter der Bewertungsmatrix Erosionsgefahr

Der Anwender des Tools muss nur einen der drei lokalen Ackerparameter, der Tab. 18 auswählen und im Tool eingeben.

Tabelle 18 lokale Ackerparameter für die Bewertungsmatrix Erosionsgefahr

| Zeile der Matrix | Bedeutung als lokaler Ackerparameter |
|------------------|--------------------------------------|
| 1 | Niedrige Erosionsgefahr |
| 2 | Mäßige Erosionsgefahr |
| 3 | Hohe Erosionsgefahr |

5. Entwicklung eines Tools zur Empfehlung eines Bewässerungssystems

Entwicklung der Bewertungsmatrix für das Tool

Die Tabelle von Achtnich hat, wie in Tab. 14 zu sehen, allgemein jeder Bewässerungsmethode eine Bewertungspunktzahl zugeteilt und diese nicht nach den lokalen Ackerparametern unterschieden. Daher muss nun eine Abstufung der allgemeinen Bewertungspunkte vorgenommen werden.

Die Tabellenwerte der Tab. 14 werden nach den Annahmen als Tabelle aufgeschrieben.

Tabelle 19 Tabellenwerte für Bewertungsmatrix Erosionsgefahr

| Bewässerung | Becken | Streifen | Furchen | Unterflur | Tröpfchen | Beregnung |
|-------------|--------|----------|---------|-----------|-----------|-----------|
| Punkte | 0 | 1-3 | 2-4 | 0 | 0 | 0-2 |

Es müssen nun Bewertungspunkte für die Tabellenkalkulation mit Excel entwickelt werden, daher werden nun die Zahlenbereiche nach den Annahmen gemittelt, ergeben sich folgende Bewertungspunkte:

$$(0 \quad 2 \quad 3 \quad 0 \quad 0 \quad 1)$$

Die allgemeinen Bewertungspunkte nach Achtnich werden als lokaler Ackerparameter 3 angenommen. Demnach werden für die lokalen Ackerparameter 1 und 2 die allgemeinen Bewertungspunkte in abgestufter Gewichtung angenommen. Dem lokalen Ackerparameter 2 wird die Gewichtung 0,5 und dem lokalen Ackerparameter 1 wird die Gewichtung 0,25 zugeteilt.

Die Annahme lässt sich dadurch erklären, dass bei einer hohen Erosionsgefahr des Bodens eine schlechtere Bewertung einhergehen muss und andersrum muss eine niedrige Erosionsgefahr eine bessere Bewertung zur Folge haben.

Aus diesen Annahmen lässt sich nun folgende Matrix errechnen:

$$(0,25 \quad 0,5 \quad 1) \times \begin{pmatrix} 0 & 2 & 3 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 2 & 3 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 2 & 3 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0,5 & 0,75 & 0 & 0 & 0,25 \\ 0 & 1 & 1,5 & 0 & 0 & 0,5 \\ 0 & 2 & 3 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Daraus folgt die Bewertungsmatrix des Parameters Erosionsgefahr für das Tool:

5. Entwicklung eines Tools zur Empfehlung eines Bewässerungssystems

$$\begin{pmatrix} 0 & 0,5 & 0,75 & 0 & 0 & 0,25 \\ 0 & 1 & 1,5 & 0 & 0 & 0,5 \\ 0 & 2 & 3 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Parameter der Bewertungsmatrix Versalzung

Der Anwender des Tools muss nur einen der drei lokalen Ackerparameter, der Tab. 20 auswählen und im Tool eingeben.

Tabelle 20 lokale Ackerparameter für die Bewertungsmatrix Versalzung

| Zeile der Matrix | Bedeutung als lokaler Ackerparameter |
|------------------|--------------------------------------|
| 1 | Niedrige Versalzungsgefahr |
| 2 | Mäßige Versalzungsgefahr |
| 3 | Hohe Versalzungsgefahr |

Entwicklung der Bewertungsmatrix für das Tool

Die Tabellenwerte der Tab. 14 werden nach den Annahmen als Tabelle aufgeschrieben.

Tabelle 21 Tabellenwerte für Bewertungsmatrix Versalzung

| Bewässerung | Becken | Streifen | Furchen | Unterflur | Tröpfchen | Beregnung |
|-------------|--------|----------|---------|-----------|-----------|-----------|
| Punkte | 1-2 | 1-3 | 3-5 | 2-4 | 1-3 | 1-2 |

Es müssen nun Bewertungspunkte für die Tabellenkalkulation mit Excel entwickelt werden, daher werden nun die Zahlenbereiche nach den Annahmen gemittelt, ergeben sich folgende Bewertungspunkte:

$$(1,5 \quad 2 \quad 4 \quad 3 \quad 2 \quad 1,5)$$

Es werden dieselben Annahmen, wie für den Parameter Erosionsgefahr getroffen. Aus diesen Annahmen lässt sich nun folgende Matrix errechnen:

$$\begin{aligned} (0,25 \quad 0,5 \quad 1) &\times \begin{pmatrix} 1,5 & 2 & 4 & 3 & 2 & 1,5 \\ 1,5 & 2 & 4 & 3 & 2 & 1,5 \\ 1,5 & 2 & 4 & 3 & 2 & 1,5 \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} 0,375 & 0,5 & 1 & 0,75 & 0,5 & 0,375 \\ 0,75 & 1 & 2 & 1,5 & 1 & 0,75 \\ 1,5 & 2 & 4 & 3 & 2 & 1,5 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

Daraus folgt die Bewertungsmatrix des Parameters Versalzungsgefahr für das Tool:

$$\begin{pmatrix} 0,375 & 0,5 & 1 & 0,75 & 0,5 & 0,375 \\ 0,75 & 1 & 2 & 1,5 & 1 & 0,75 \\ 1,5 & 2 & 4 & 3 & 2 & 1,5 \end{pmatrix}$$

Parameter der Bewertungsmatrix Wasserverluste

Der Anwender des Tools muss nur einen der drei lokalen Ackerparameter, der Tab. 22 auswählen und im Tool eingeben.

Tabelle 22 lokale Ackerparameter für die Bewertungsmatrix Wasserverluste

| Zeile der Matrix | Bedeutung als lokaler Ackerparameter |
|------------------|--------------------------------------|
| 1 | Niedrige Wasserverlustgefahr |
| 2 | Mäßige Wasserverlustgefahr |
| 3 | Hohe Wasserverlustgefahr |

Entwicklung der Bewertungsmatrix für das Tool

Die Tabellenwerte der Tab. 14 werden nach den Annahmen als Tabelle aufgeschrieben.

Tabelle 23 Tabellenwerte für Bewertungsmatrix Wasserverluste

| Bewässerung | Becken | Streifen | Furchen | Unterflur | Tröpfchen | Beregnung |
|-------------|--------|----------|---------|-----------|-----------|-----------|
| Punkte | 1-2 | 2-4 | 2-4 | 0 | 0 | 1-2 |

Es müssen nun Bewertungspunkte für die Tabellenkalkulation mit Excel entwickelt werden, daher werden nun die Zahlenbereiche nach den Annahmen gemittelt, ergeben sich folgende Bewertungspunkte:

$$(1,5 \quad 3 \quad 3 \quad 0 \quad 0 \quad 1,5)$$

Es werden dieselben Annahmen, wie für den Parameter Erosionsgefahr getroffen.

Aus diesen Annahmen lässt sich nun folgende Matrix errechnen:

$$\begin{aligned}
 (0,25 \quad 0,5 \quad 1) &\times \begin{pmatrix} 1,5 & 3 & 3 & 0 & 0 & 1,5 \\ 1,5 & 3 & 3 & 0 & 0 & 1,5 \\ 1,5 & 3 & 3 & 0 & 0 & 1,5 \end{pmatrix} \\
 &= \begin{pmatrix} 0,375 & 0,75 & 0,75 & 0 & 0 & 0,375 \\ 0,75 & 1,5 & 1,5 & 0 & 0 & 0,75 \\ 1,5 & 3 & 3 & 0 & 0 & 1,5 \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

Daraus folgt die Bewertungsmatrix des Parameters Wasserverluste für das Tool:

$$\begin{pmatrix} 0,375 & 0,75 & 0,75 & 0 & 0 & 0,375 \\ 0,75 & 1,5 & 1,5 & 0 & 0 & 0,75 \\ 1,5 & 3 & 3 & 0 & 0 & 1,5 \end{pmatrix}$$

Parameter der Bewertungsmatrix Auswaschung

Der Anwender des Tools muss nur einen der drei lokalen Ackerparameter, der Tab. 24 auswählen und im Tool eingeben.

Tabelle 24 lokale Ackerparameter für die Bewertungsmatrix Auswaschung

| Zeile der Matrix | Bedeutung als lokaler Ackerparameter |
|------------------|--------------------------------------|
| 1 | Niedrige Auswaschungsgefahr |
| 2 | Mäßige Auswaschungsgefahr |
| 3 | Hohes Auswaschungsgefahr |

Entwicklung der Bewertungsmatrix für das Tool

Die Tabellenwerte der Tab. 14 werden nach den Annahmen als Tabelle aufgeschrieben.

Tabelle 25 Tabellenwerte für Bewertungsmatrix Auswaschung

| Bewässerung | Becken | Streifen | Furchen | Unterflur | Tröpfchen | Beregnung |
|-------------|--------|----------|---------|-----------|-----------|-----------|
| Punkte | 5 | 2-4 | 1 | 0 | 0 | 5 |

Es müssen nun Bewertungspunkte für die Tabellenkalkulation mit Excel entwickelt werden, daher werden nun die Zahlenbereiche nach den Annahmen gemittelt, ergeben sich folgende Bewertungspunkte:

$$(5 \quad 3 \quad 1 \quad 0 \quad 0 \quad 5)$$

Es werden dieselben Annahmen, wie für den Parameter Erosionsgefahr getroffen.

Aus diesen Annahmen lässt sich nun folgende Matrix errechnen:

$$\begin{aligned}
 (0,25 \quad 0,5 \quad 1) &\times \begin{pmatrix} 5 & 3 & 1 & 0 & 0 & 5 \\ 5 & 3 & 1 & 0 & 0 & 5 \\ 5 & 3 & 1 & 0 & 0 & 5 \end{pmatrix} \\
 &= \begin{pmatrix} 1,25 & 0,75 & 0,25 & 0 & 0 & 1,25 \\ 2,5 & 1,5 & 0,5 & 0 & 0 & 2,5 \\ 5 & 3 & 1 & 0 & 0 & 5 \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

Daraus folgt die Bewertungsmatrix des Parameters Auswaschung für das Tool:

$$\begin{pmatrix} 1,25 & 0,75 & 0,25 & 0 & 0 & 1,25 \\ 2,5 & 1,5 & 0,5 & 0 & 0 & 2,5 \\ 5 & 3 & 1 & 0 & 0 & 5 \end{pmatrix}$$

Parameter der Bewertungsmatrix Energiebedarf

Der Anwender des Tools muss nur einen der drei lokalen Ackerparameter, der Tab. 26 auswählen und im Tool eingeben.

Tabelle 26 lokale Ackerparameter für die Bewertungsmatrix Energiebedarf

| Zeile der Matrix | Bedeutung als lokaler Ackerparameter |
|------------------|--------------------------------------|
| 1 | Energie vorhanden |
| 2 | Teils Energie Vorhanden |
| 3 | Keine Energie vorhanden |

Entwicklung der Bewertungsmatrix für das Tool

Die Tabellenwerte der Tab. 14 werden nach den Annahmen als Tabelle aufgeschrieben.

Tabelle 27 Tabellenwerte für Bewertungsmatrix Energiebedarf

| Bewässerung | Becken | Streifen | Furchen | Unterflur | Tröpfchen | Beregnung |
|-------------|--------|----------|---------|-----------|-----------|-----------|
| Punkte | 0-2 | 0-2 | 0-2 | 3-4 | 3-4 | 5 |

Es müssen nun Bewertungspunkte für die Tabellenkalkulation mit Excel entwickelt werden, daher werden nun die Zahlenbereiche nach den Annahmen gemittelt, ergeben sich folgende Bewertungspunkte:

$$(1 \quad 1 \quad 1 \quad 3,5 \quad 3,5 \quad 5)$$

Es werden dieselben Annahmen, wie für den Parameter Erosionsgefahr getroffen.

Aus diesen Annahmen lässt sich nun folgende Matrix errechnen:

$$\begin{aligned} (0,25 \quad 0,5 \quad 1) &\times \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 3,5 & 3,5 & 5 \\ 1 & 1 & 1 & 3,5 & 3,5 & 5 \\ 1 & 1 & 1 & 3,5 & 3,5 & 5 \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} 0,25 & 0,25 & 0,25 & 0,875 & 0,875 & 1,25 \\ 0,5 & 0,5 & 0,5 & 1,75 & 1,75 & 2,5 \\ 1 & 1 & 1 & 3,5 & 3,5 & 5 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

Daraus folgt die Bewertungsmatrix des Parameters Energiebedarf für das Tool:

$$\begin{pmatrix} 0,25 & 0,25 & 0,25 & 0,875 & 0,875 & 1,25 \\ 0,5 & 0,5 & 0,5 & 1,75 & 1,75 & 2,5 \\ 1 & 1 & 1 & 3,5 & 3,5 & 5 \end{pmatrix}$$

Parameter der Bewertungsmatrix Anlagekosten

Der Anwender des Tools muss nur einen der drei lokalen Ackerparameter, der Tab. 28 auswählen und im Tool eingeben.

Tabelle 28 lokale Ackerparameter für die Bewertungsmatrix Anlagekosten

| Zeile der Matrix | Bedeutung als lokaler Ackerparameter |
|------------------|--------------------------------------|
| 1 | Niedriges Anfangsbudget |
| 2 | Mäßige Anfangsbudget |
| 3 | Hohes Anfangsbudget |

Das Anfangsbudget ist an den lokalen Kosten für ein Bewässerungssystem zu bemessen. Ist genügend Geld vorhanden, um die teuerste Bewässerungsmethode mit dem empfohlenen Generator zu beschaffen kann von einem hohen Ausgangsbudget ausgegangen werden. Von einem mäßigen Anfangsbudget kann ausgegangen werden, wenn die Anlagekosten zwar nicht durch das Budget gedeckt werden können, aber anderweitig beschafft werden können (Kreditinstitut). Ansonsten ist ein niedriges Anfangsbudget anzunehmen.

Entwicklung der Bewertungsmatrix für das Tool

Die Tabellenwerte der Tab. 14 werden nach den Annahmen als Tabelle aufgeschrieben.

Tabelle 29 Tabellenwerte für Bewertungsmatrix Anlagekosten

| Bewässerung | Becken | Streifen | Furchen | Unterflur | Tröpfchen | Beregnung |
|-------------|--------|----------|---------|-----------|-----------|-----------|
| Punkte | 1-3 | 1-3 | 1-3 | 5 | 4 | 5 |

Es müssen nun Bewertungspunkte für die Tabellenkalkulation mit Excel entwickelt werden, daher werden nun die Zahlenbereiche nach den Annahmen gemittelt, ergeben sich folgende Bewertungspunkte:

$$(2 \quad 2 \quad 2 \quad 5 \quad 4 \quad 5)$$

Es werden dieselben Annahmen, wie für den Parameter Erosionsgefahr getroffen.

Aus diesen Annahmen lässt sich nun folgende Matrix errechnen:

$$(0,25 \quad 0,5 \quad 1) \times \begin{pmatrix} 2 & 2 & 2 & 5 & 4 & 5 \\ 2 & 2 & 2 & 5 & 4 & 5 \\ 2 & 2 & 2 & 5 & 4 & 5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,5 & 0,5 & 0,5 & 1,25 & 1 & 1,25 \\ 1 & 1 & 1 & 2,5 & 2 & 2,5 \\ 2 & 2 & 2 & 5 & 4 & 5 \end{pmatrix}$$

Daraus folgt die Bewertungsmatrix des Parameters Anlagekosten für das Tool:

$$\begin{pmatrix} 0,5 & 0,5 & 0,5 & 1,25 & 1 & 1,25 \\ 1 & 1 & 1 & 2,5 & 2 & 2,5 \\ 2 & 2 & 2 & 5 & 4 & 5 \end{pmatrix}$$

Parameter der Bewertungsmatrix Betriebskosten

Der Anwender des Tools muss nur einen der drei lokalen Ackerparameter, der Tab. 30 auswählen und im Tool eingeben.

Tabelle 30 lokale Ackerparameter für die Bewertungsmatrix Betriebskosten

| Zeile der Matrix | Bedeutung als lokaler Ackerparameter |
|------------------|--------------------------------------|
| 1 | Niedriges Jahresbudget |
| 2 | Mäßige Jahresbudget |
| 3 | Hohes Jahresbudget |

Das Jahresbudget ist an den lokalen Betriebskosten für ein Bewässerungssystem zu bemessen. Ist genügend Geld vorhanden, um das Bewässerungssystem zu betreiben, kann von einem hohen Ausgangsbudget ausgegangen werden. Von einem mäßigen Jahresbudget kann ausgegangen werden, wenn die Betriebskosten zwar nicht durch das Budget gedeckt werden können, aber anderweitig beschafft werden können (Kreditinstitut). Ansonsten ist ein niedriges Jahresbudget anzunehmen.

Entwicklung der Bewertungsmatrix für das Tool

Die Tabellenwerte der Tab. 14 werden nach den Annahmen als Tabelle aufgeschrieben.

Tabelle 31 Tabellenwerte für Bewertungsmatrix Betriebskosten

| Bewässerung | Becken | Streifen | Furchen | Unterflur | Tröpfchen | Beregnung |
|-------------|--------|----------|---------|-----------|-----------|-----------|
| Punkte | 2-3 | 2-3 | 2-3 | 3-4 | 3-4 | 5 |

5. Entwicklung eines Tools zur Empfehlung eines Bewässerungssystems

Es müssen nun Bewertungspunkte für die Tabellenkalkulation mit Excel entwickelt werden, daher werden nun die Zahlenbereiche nach den Annahmen gemittelt, ergeben sich folgende Bewertungspunkte:

$$(2,5 \quad 2,5 \quad 2,5 \quad 3,5 \quad 3,5 \quad 5)$$

Es werden dieselben Annahmen, wie für den Parameter Erosionsgefahr getroffen.

Aus diesen Annahmen lässt sich nun folgende Matrix errechnen:

$$\begin{aligned} (0,25 \quad 0,5 \quad 1) &\times \begin{pmatrix} 2,5 & 2,5 & 2,5 & 3,5 & 3,5 & 5 \\ 2,5 & 2,5 & 2,5 & 3,5 & 3,5 & 5 \\ 2,5 & 2,5 & 2,5 & 3,5 & 3,5 & 5 \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} 0,625 & 0,625 & 0,625 & 0,875 & 0,875 & 1,25 \\ 1,25 & 1,25 & 1,25 & 1,75 & 1,75 & 2,5 \\ 2,5 & 2,5 & 2,5 & 3,5 & 3,5 & 5 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

Daraus folgt die Bewertungsmatrix des Parameters Betriebskosten für das Tool:

$$\begin{pmatrix} 0,625 & 0,625 & 0,625 & 0,875 & 0,875 & 1,25 \\ 1,25 & 1,25 & 1,25 & 1,75 & 1,75 & 2,5 \\ 2,5 & 2,5 & 2,5 & 3,5 & 3,5 & 5 \end{pmatrix}$$

Anschließend werden alle Benotungen für die verschiedenen Parameter eines Bewässerungssystems addiert und das Bewässerungssystem mit der geringsten Punktzahl wird empfohlen.

5.2 Generatorempfehlung durch Kostenvergleich

Im Reiter Kostenvergleich des Tools kann man die auftretenden Kosten verschiedener Systeme mit unterschiedlichen Generatoren ausrechnen und vergleichen lassen. Die Kosten werden nach Jahren errechnet und in einem Diagramm dargestellt. Das Ziel dieses Reiters ist es, den kostengünstigsten Generator für das Bewässerungssystem zu finden. Um einen direkten Vergleich der Generatoren zu haben müssen die Investitionskosten der Wasserpumpe und des Bewässerungssystems bei allen zu vergleichenden Generatoren identisch sein.

5. Entwicklung eines Tools zur Empfehlung eines Bewässerungssystems

Damit das Tool die Kosten der Systeme mit verschiedenen Generatoren vergleichen kann sind Angaben notwendig.

Einzugebende Daten sind (gelb in Abb. 13):

- Währung
- Auslegung des Systems in Jahren (Wobei Auslegung des Systems in Jahren \geq Kreditlaufzeit in Jahren sein muss)
- Investitionskosten der Pumpe (muss in allen Systemen identisch sein)
- Investitionskosten der Bewässerungsmethode (muss in allen Systemen identisch sein)

Für jeden Generator Typen der verglichen werden soll:

- Investitionskosten des Generator
- Lohnkosten pro Jahr
- Betriebsstoffkosten pro Jahr
- Ersatzteilkosten pro Jahr
- Service- und Reparaturkosten pro Jahr
- Kreditlaufzeit in Jahren
- Zinssatz pro Jahr

| Falls kein Kredit benötigt wird Zinssatz auf 0% und Kreditlaufzeit auf 1 Jahr stellen. | | | | | |
|--|------|--|--------------|--------------|------------|
| Pumpe und Bewässerungssystem müssen in allen Systeme Identisch sein. | | | | | |
| in | Euro | | Photovoltaik | Dieselsystem | Windsystem |
| Investitionskosten Generator | | | 3500 | 3500 | 100 |
| Investitionskosten Pumpe | | | 400 | 400 | 400 |
| Investitionskosten Bewässerungsmetho. | | | 200 | 200 | 200 |
| Zinssatz/a | | | 14,00% | 14,00% | 14,00% |
| Kreditlaufzeit in Jahren | | | 1 | 4 | 4 |
| Lohnkosten/a | | | 100 | 100 | 100 |
| Betriebsstoffe/a | | | 0 | 0 | 0 |
| Ersatzteile/a | | | 100 | 100 | 100 |
| Service und Reparatur/a | | | 100 | 100 | 100 |

Abbildung 13 Eingabefeld im Tool (Beispielhafte Werte in Gelb)

Aus den eingegebenen Daten wird nun ein Kostenvergleich erstellt, es werden dabei die Kreditkosten an das Kreditinstitut und die jährlichen Betriebskosten des Generators berücksichtigt.

5. Entwicklung eines Tools zur Empfehlung eines Bewässerungssystems

Tabelle 32 Abkürzungsverzeichnis Tilgungsplan

| Abkürzung | Bedeutung |
|------------|---------------------------------------|
| $\sum V_j$ | Summe Vorjahr |
| I | Investitionskosten des Systems |
| Nk | Kreditlaufzeit |
| P | Zinssatz pro Jahr |
| Na | Aktuelles Jahr |
| L | Lohnkosten pro Jahr |
| B | Betriebsstoffkosten pro Jahr |
| E | Ersatzteilkosten pro Jahr |
| SuR | Service- und Reparaturkosten pro Jahr |

Die Tilgung und Zinsen für die Investition wurden anhand der Annuitätenmethode berechnet. Wenn kein Kredit in Anspruch genommen wird um das System zu finanzieren, so muss der Zinssatz pro Jahr auf 0% und die Kreditlaufzeit auf 1 Jahr gestellt werden.

Kostenformel im Tool für die einzelnen Jahre:

$$\sum V_j + \text{Wenn } \frac{I \cdot p \cdot (nk - na + 1)}{nk} > 0; \frac{I \cdot p \cdot (nk - na + 1)}{nk} ; 0) + \text{Wenn } (nk \geq na; \frac{I}{nk} ; 0) + L + B + E + SuR$$

($\sum V_j$ nur für $na > 1$)

Summe Vorjahr

$$\sum V_j$$

Die Gesamtsumme des Terms vom Vorjahr wird im Folgejahr als Kosten des Systems dazu addiert, da Gesamtkosten ermittelt werden sollen.

Zinsen Pro Jahr

$$\text{Wenn } \frac{I \cdot p \cdot (nk - na + 1)}{nk} > 0; \frac{I \cdot p \cdot (nk - na + 1)}{nk} ; 0)$$

Wenn die Investitionskosten / Kreditlaufzeit * Zinssatz pro Jahr * (Kreditlaufzeit - Aktuelles Jahr + 1 Jahr) > 0 ist dann addiert das Tool Summe der Investitionskosten / Kreditlaufzeit * Zinssatz pro Jahr * (Kreditlaufzeit - Aktuelles Jahr + 1 Jahr) zu den Kosten, da der Kredit noch nicht abbezahlt ist. Wenn die Investitionskosten / Kreditlaufzeit * Zinssatz pro Jahr * (Kreditlaufzeit - Aktuelles Jahr + 1 Jahr) ≤ 0 dann addiert das Tool nichts zu den Kosten dazu. Da, wenn die Zinsen 0 betragen, der Kredit abbezahlt ist und somit keine Zinsen mehr gezahlt werden müssen.

Tilgung pro Jahr

Wenn $(nk \geq na; \frac{I}{nk}; 0)$

Wenn die Kreditlaufzeit \geq Aktuelles Jahr ist, dann addiere Investitionskosten/ Kreditlaufzeit sonst addiere 0.

Mit diesen Formeln wird, wie in Abb. 14 zu sehen, eine Tabelle generiert welche die Gesamtkosten eines Systems mit verschiedenen Generatoren zeigt. Diese Gesamtkosten werden für 10 Jahre errechnet und werden in jährlichen Schritten aufgezeigt.

| Gesamtkosten | | | | | | |
|--------------|------|--------|--------|------|------|------|
| Jahr | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Photovoltaik | 4974 | 5274 | 5574 | 5874 | 6174 | 6474 |
| Diesel | 1899 | 3654,5 | 5266,5 | 6735 | 7035 | 7335 |
| Wind | 573 | 1121,5 | 1645,5 | 2145 | 2445 | 2745 |

Abbildung 14 Gesamtkosten des Bewässerungssystems nach Jahren (Beispielhafte Werte)

In einem Diagramm werden die Gesamtkosten der Systeme für verschiedene Generatoren nach den Jahren aufgezeigt. (Siehe Abbildung 156)

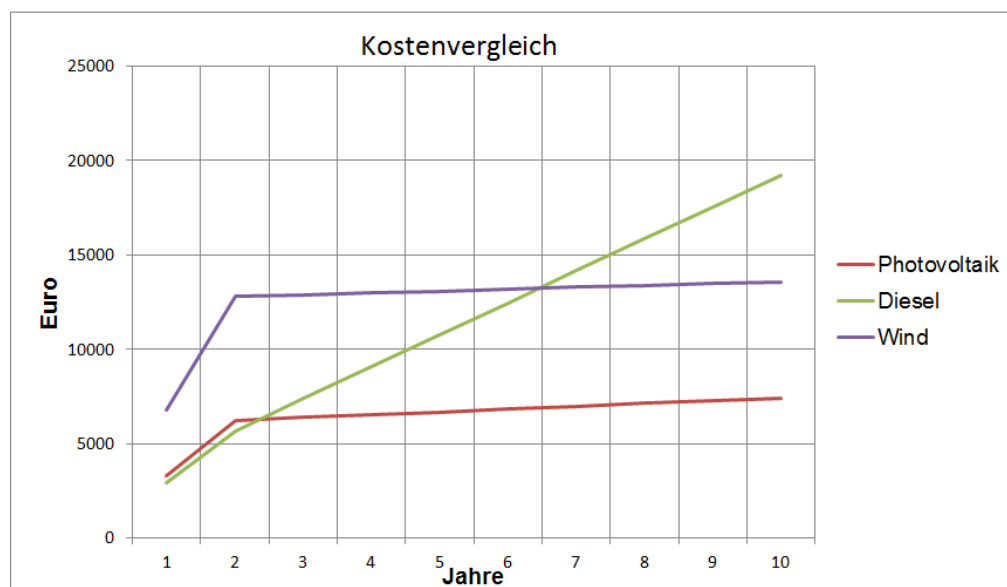


Abbildung 15 Diagramm zum Kostenvergleich nach Generatoren (Beispielhafte Werte)

Anhand der Eingabe, für wie viele Jahre das System ausgelegt ist, zeigt das Tool die Gesamtkosten des Systems für verschiedenen Generatoren in dem Auslegungsjahr an.

5. Entwicklung eines Tools zur Empfehlung eines Bewässerungssystems

Aus den Gesamtkosten der Systeme wird nun der Generator empfohlen, welcher die geringsten Gesamtkosten im Auslegungsjahr hat (Siehe Abb. 16).

| Kostenvergleich im Jahr 6 | |
|---------------------------|-----------------------|
| 6829 | Photovoltaikgenerator |
| 12457 | Dieseldgenerator |
| NICHT MÖGLICH | Windgenerator |
| 7894 | Holzvergasung |

Abbildung 16 Kostenvergleich im Auslegungsjahr (Beispielhafte Werte)

Aus einer extra generierten Tabelle (Abb. 17) kann man sich getrennt die Zahlungen an das Kreditinstitut und die jährlichen Betriebskosten anzeigen lassen, um so sehen zu können in welchem Jahr man wie viel Geld braucht um die Kosten des Systems decken zu können.

| Photo | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|------------------------|------------|------------|--------|------------|------------|------|
| Kredit pro a | 4674 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Summe Kredit | 4674 | 4674 | 4674 | 4674 | 4674 | 4674 |
| Jährliche Kosten | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 |
| Summe Jährliche Kosten | 300 | 600 | 900 | 1200 | 1500 | 1800 |
| Summe Komplett | 4974 | 5274 | 5574 | 5874 | 6174 | 6474 |
| | | | | | | |
| Diesel | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Kredit pro a | 1599 | 1455,5 | 1312 | 1168,5 | 0 | 0 |
| Summe Kredit | 1599 | 3054,5 | 4366,5 | 5535 | 5535 | 5535 |
| Jährliche Kosten | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 |
| Summe Jährliche Kosten | 300 | 600 | 900 | 1200 | 1500 | 1800 |
| Summe Komplett | 1899 | 3654,5 | 5266,5 | 6735 | 7035 | 7335 |
| | | | | | | |
| Wind | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Kredit pro a | 273 | 248,5 | 224 | 199,5 | 0 | 0 |
| Summe Kredit | 273 | 521,5 | 745,5 | 945 | 945 | 945 |
| Jährliche Kosten | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 |
| Summe Jährliche Kosten | 300 | 600 | 900 | 1200 | 1500 | 1800 |
| Summe Komplett | 573 | 1121,5 | 1645,5 | 2145 | 2445 | 2745 |
| | | | | | | |
| Holz | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Kredit pro a | 1410,66667 | 1303,33333 | 1196 | 1088,66667 | 981,333333 | 874 |
| Summe Kredit | 1410,66667 | 2714 | 3910 | 4998,66667 | 5980 | 6854 |
| Jährliche Kosten | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 |
| Summe Jährliche Kosten | 300 | 600 | 900 | 1200 | 1500 | 1800 |
| Summe Komplett | 1710,66667 | 3314 | 4810 | 6198,66667 | 7480 | 8654 |

Abbildung 17 Auflistung der Kosten des Bewässerungssystems(Beispielhafte Werte)

Wie in Kapitel 3.5 beschrieben wurde, sind Generatoren erst ab bestimmten Einwirkungen der Primärenergie sinnvoll. Ein Windgenerator ist ab Windgeschwindigkeiten über 4m/s im Jahresmittel in die Rechnung mit einzubeziehen (Fluktuation nicht betrachtet). Die Windgeschwindigkeiten

5. Entwicklung eines Tools zur Empfehlung eines Bewässerungssystems

kann man durch Karten ablesen, wie in Abb. 18 zu sehen, oder durch Windmessungen bestimmen. Es müssen daher Ausschlussfragen eingeführt werden. Dafür wird der Parameter Windgeschwindigkeit abgefragt. Ist dieser Parameter über der sinnvollen Einwirkung wird der Windgenerator weiterhin berücksichtigt, ansonsten wird der Windgenerator nicht empfohlen.

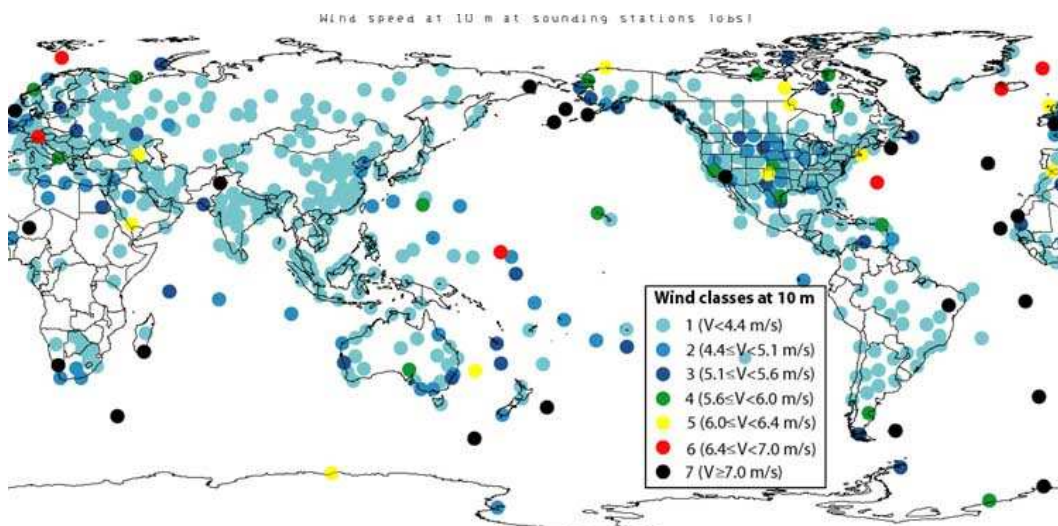


Abbildung 18 Gemessene Windgeschwindigkeiten bei einer Höhe von zehn Metern (Archer, 28.04.2013)

Eine Stromversorgung über eine Photovoltaikanlage ist bei einer Sonneneinstrahlung, welche für die Landwirtschaft geeignet ist, immer möglich (Müller, 10.05.2013). Daher wird sie in der Empfehlung immer berücksichtigt.

5.3 Geeignete Nutzpflanzen für das gewählte Bewässerungssystem

Für die verschiedenen Bewässerungsmethoden sind nicht alle Nutzpflanzen gleich gut zum Anbau geeignet. Daher werden dem Landwirt nach Auswahl des Bewässerungssystems Nutzpflanzen, in Abhängigkeit ihrer Eignung für das gewählte Bewässerungssystem, zu Anbau genannt.

Es werden im Reiter Geeignete Nutzpflanzen folgende Nutzpflanzen für die jeweilige Bewässerungsmethode verglichen:

- Getreide
- Reis
- Zuckerrohr
- Baumwolle

5. Entwicklung eines Tools zur Empfehlung eines Bewässerungssystems

- Hackfrüchte
- Gemüse
- Futterpflanzen
- Grünwald
- Bauwollkulturen
- Rebanlagen

Zum Vergleich der Nutzpflanzen in Bezug auf ihre Eignung für die verschiedenen Bewässerungsmethoden wird eine Eignungsmatrix eingeführt. Die Spalten der Matrix stellen die verschiedenen Bewässerungsmethoden dar, die Zeilen die zu vergleichenden Nutzpflanzen.

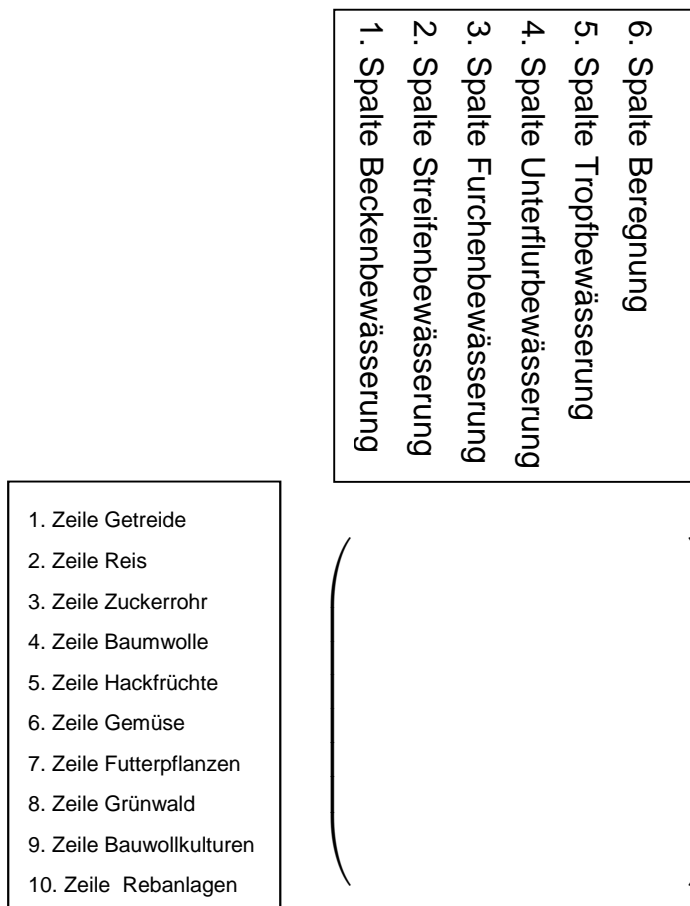


Abbildung 19 Aufbau Eignungsklassenmatrix Nutzpflanzen

Dabei wird jeder Nutzpflanze eine Eignungsklasse zugeteilt. Die Eignungsklassen sind:

5. Entwicklung eines Tools zur Empfehlung eines Bewässerungssystems

- ungeeignet
- kaum geeignet
- bedingt geeignet
- gut geeignet
- sehr gut

Als Bewertungsgrundlage wird die Tabelle 2 genommen (Achnich 1980). Achnich hat 6 Bewertungsstufen eingeführt, diese lauten von 0 ungeeignet bis 5 sehr gut geeignet. Diese werden nun wie folgt in die hier definierten Eignungsklassen transformiert:

Tabelle 33 Abkürzung der Eignungsklassen

| Achnichs Bewertungspunkte | Eignungsklasse | Abkürzung |
|------------------------------|------------------|-----------|
| 0 | ungeeignet | Ug |
| 1 | kaum geeignet | Kg |
| 2 | bedingt geeignet | Bg |
| 3 | bedingt geeignet | Bg |
| 4 | gut geeignet | Gg |
| 5 | sehr gut | Sgg |

Aus diesen Annahmen folgt die Eignungsmatrix der Nutzpflanzen für die verschiedenen Bewässerungsmethoden. Werte der Tabelle von Achnich die als Bereiche, wie ug-bg, gegeben sind werden gemittelt, und ggf. wird das weniger geeignete gewählt:

$$\begin{pmatrix} bg & gg & ug & gg & kg & sgg \\ sgg & bg & ug & ug & ug & ug \\ bg & gg & sg & gg & kg & sg \\ gg & gg & sgg & gg & bg & sgg \\ bg & gg & sgg & sgg & kg & sgg \\ bg & gg & gg & sgg & sgg & sgg \\ sgg & sgg & kg & sgg & kg & sgg \\ sgg & sgg & ug & sgg & ug & sgg \\ sgg & kg & gg & bg & sgg & sgg \\ bg & bg & gg & bg & sgg & sgg \end{pmatrix}$$

Nun wird dem Landwirt, wie in Abb. 20 zu sehen, eine Eignung der verschiedenen Nutzpflanzen, abhängig von dem empfohlenem Bewässerungssystem gezeigt, sodass dieser jene Nutzpflanzen anbauen kann, welche sich für das Bewässerungssystem eignen.

6. Anwendung des Tools am Beispiel eines innovativen Bewässerungssystems

| Geeignete Nutzpflanzen zum Anbau mit dem Bewässerungssystem | |
|---|-------------------|
| Getreide | kaum geeignet |
| Reis | ungeeignet |
| Zuckerrohr | kaum geeignet |
| Baumwolle | bedingt geeignet |
| Hackfrüchte | kaum geeignet |
| Gemüse | sehr gut geeignet |
| Futterpflanzen | kaum geeignet |
| Grünland | ungeeignet |
| Baumwollkulturen | sehr gut geeignet |
| Rebanlagen | sehr gut geeignet |

Abbildung 20 Empfohlene Nutzpflanzen zum Anbau

6. Anwendung des Tools am Beispiel eines innovativen Bewässerungssystems

Das mehrfach, durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt, ausgezeichnete UN-Projekt „Agua es Vida“ des Oberstufenprofils „Zukunftsfähige Energietechnik“ der Stadtteilschule Blankenese erarbeitet verschiedene Möglichkeiten der Wasserversorgung. Hauptziel des Projektes ist ein komplettes künstliches Bewässerungssystem, das durch einen Photovoltaikgenerator betrieben wird, in einem Entwicklungsland zu installieren.

Die Stadtteilschule Blankenese hat in dem Jahre 2002 mit dem Projekt begonnen und schickt seit dem jedes Jahr das Oberstufenprofil „Zukunftsfähige Energietechnik“ nach Leon (Hamburgs Partnerstadt) in Nicaragua um mehrere solargestützte Bewässerungssysteme bei verschiedenen Landwirten aufzubauen. (Krühler, 2007)

6.1 Projekthintergrund

Die Regenzeit in Nicaragua verkürzt sich. Früher konnten zwei oder mehr Ernten eingefahren werden, durch die Verkürzung der Regenzeit nur noch eine. Um dies zu kompensieren, ist eine künstliche Bewässerung notwendig. Viele Landwirte pumpen dafür mit einem Dieselgenerator das benötig-

6. Anwendung des Tools am Beispiel eines innovativen Bewässerungssystems

ter Wasser aus Ihrem Brunnen auf Ihre Felder und bewässern so Ihre Felder, um keine Ernteverluste zu bekommen, da in den tropischen Ländern die Landwirtschaft nicht nur eine Einkommensquelle, sondern auch eine Nahrungsgrundlage für die Landwirte selber und deren Umgebung ist. (Butscher und Krühler, 2005)

Um die künstliche Bewässerung langfristig günstiger und ökologischer garantieren zu können, installiert das Oberstufenprofil „Zukunftsfähige Energietechnik“ der Stadtteilschule Blankenese solargestützte Bewässerungssysteme bei den ortsansässigen Landwirten in Nicaragua. Dabei werden, Messgeräte installiert, damit die Leistungsfähigkeit des Systems bewertet werden kann. Somit kann der nächste Kurs mit den gewonnenen Daten das Bewässerungssystem optimieren und so eine langfristige Wirtschaftlichkeit garantieren um langfristig eine stetige Optimierung erzielen zu können. (Krühler, 2007)

Für die Finanzierung müssen die Bauern komplett selber aufkommen. Den Bauern werden aber Kredite gewährt, sodass sie mit den Einnahmen aus der zusätzlichen Ernte ihre Raten bezahlen können. Für die technische Unterstützung der Landwirte hat die ortsansässige Universität Ingenieure ausgebildet, die sich auf Photovoltaikgeneratoren spezialisiert haben. (Krühler, 2007)

6.2 Klimaverhältnisse in Nicaragua

Leon in Nicaragua liegt in den Tropen. Wie aus der Tab. 23 zu entnehmen ist beträgt die Jahresdurchschnittstemperatur 21,8°C. Die maximale Temperaturamplitude zu der Jahresdurchschnittstemperatur liegt bei 1,8°C. Die Maximaltemperatur liegt bei 39°C die Minimaltemperatur bei 15°C (Wetter.com, 28.04.2013). Wie in Tab. 23 zu sehen ist beträgt die Jahresniederschlagssumme 1204 mm.

6. Anwendung des Tools am Beispiel eines innovativen Bewässerungssystems

Tabelle 34 Monatliche Temperatur- und Niederschlagswerte Leon/Nicaragua (nach Wetter.com 28.04.2013)

| Monat | Temperatur [°C] | Niederschlag [mm] |
|-----------|-----------------|-------------------|
| Januar | 20 | 9 |
| Februar | 21 | 5 |
| März | 22 | 3 |
| April | 23 | 8 |
| Mai | 23 | 130 |
| Juni | 23 | 224 |
| Juli | 23 | 144 |
| August | 22 | 136 |
| September | 22 | 215 |
| Oktober | 22 | 280 |
| November | 21 | 42 |
| Dezember | 20 | 8 |
| Jahr | Ø21,8 | Σ1204 |

Auf der Abb. 21 sieht man, dass die Jahresniederschlagssumme unregelmäßig über die Monate verteilt ist. In den Monaten Dezember bis April maximal 9 mm Niederschlag, in den restlichen Monaten hingegen ist der Niederschlag immer über 120 mm. Der Maximalniederschlag liegt bei 280 mm pro Monat im Oktober. Der Minimalniederschlag liegt bei 3 mm pro Monat im März.

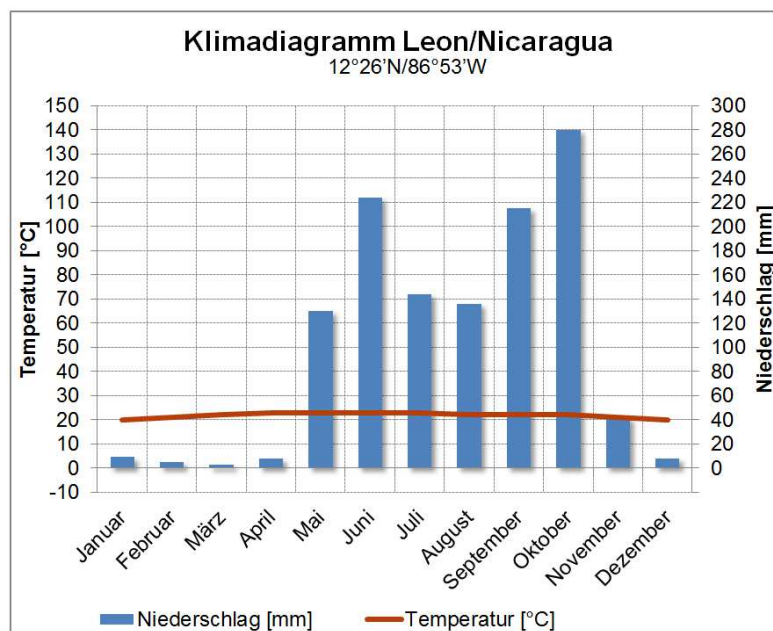


Abbildung 21 Klimadiagramm Leon/Nicaragua (nach Wetter.com, 28.04.2013)

Die Sonneneinstrahlung in Leon Nicaragua beträgt 2007 kWh/m² pro Jahr auf eine horizontale Fläche und ist nahezu konstant über das ganze Jahr

6. Anwendung des Tools am Beispiel eines innovativen Bewässerungssystems

verteilt. Wie in Abb. 22 zu sehen beträgt die maximale Sonneneinstrahlung 196 kWh/m² und die minimale 147 kWh/m² in Leon. In Hamburg sind es nur 1021 kWh/m² pro Jahr. In Deutschland gibt es sehr große Unterschiede der Sonneneinstrahlung zwischen den einzelnen Monaten. Wie der Abb. 22 zu entnehmen ist beträgt die maximale Sonneneinstrahlung 158 kWh/m² und die minimale 8 kWh/m². Somit wäre ein Photovoltaiksystem in Leon nahezu zweimal ertragreicher als in Hamburg und würde in jedem Monat fast dieselbe Leistung bringen.

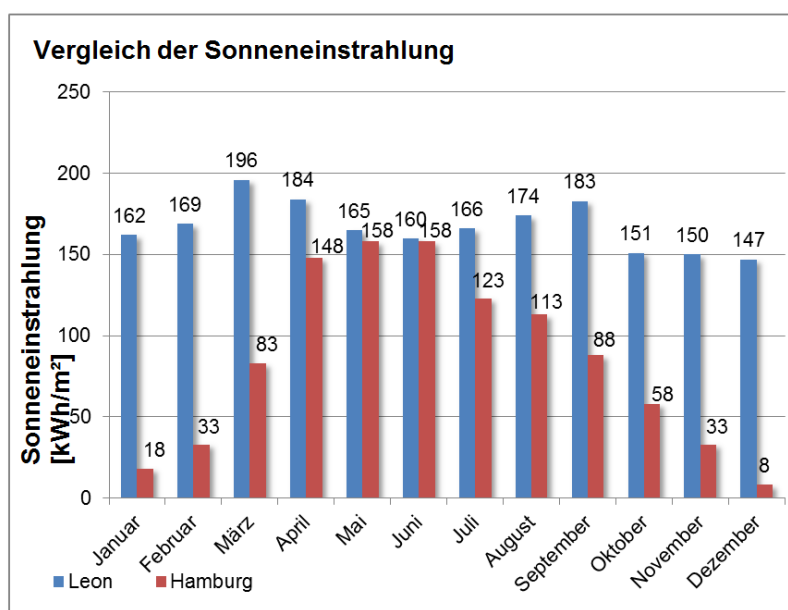


Abbildung 22 Sonneneinstrahlung Leon/Nicaragua im Vergleich zu Hamburg (nach (Hamburg: (Deutscher Wetterdienst, 28.04.2013); Nicaragua: (Krühler, 2007)))

Durch die Wechselwirkung zwischen Verdunstung und Niederschlag lässt sich der Bewässerungsbedarf analysieren. Die Verdunstung in Nicaragua ist durch die konstante Sonneneinstrahlung über das Jahr ebenfalls konstant. Das einzige, was den Bewässerungsbedarf noch beeinflusst, ist der Niederschlag. In den Monaten wo der Niederschlag sehr viel fällt ist der Bewässerungsbedarf gering bis gar nicht nötig. Wie Abb. 23 zu sehen ist, sind die Monate Mai bis Oktober die Monate in denen kein Bewässerungsbedarf nötig ist. Weiterhin sieht man, dass in den Monaten November bis April aufgrund des geringen Niederschlags künstlich bewässert werden muss.

6. Anwendung des Tools am Beispiel eines innovativen Bewässerungssystems

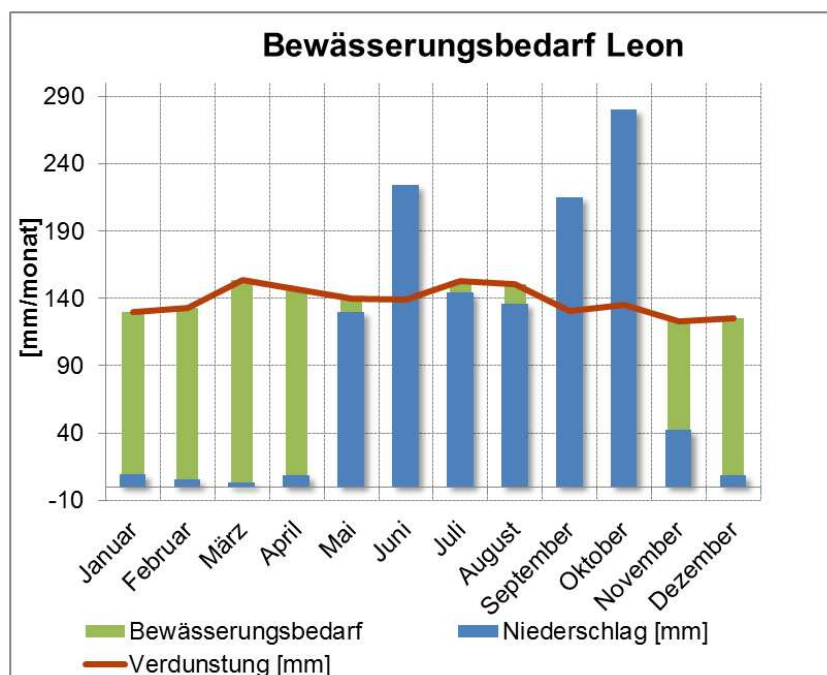


Abbildung 23 Bewässerungsbedarf Leon (nach (Niederschlag: (wetter.com, 28.04.2013); Verdunstung: (Krühler, 2007)))

6.3 Empfehlung der Bewässerungsmethode

Damit eine Empfehlung des Tools erfolgen kann, ist es nötig die lokalen Wasser- Boden und Klimaparameter zu ermitteln und diese in das Tool einzugeben. Das Gelände des Ackers aus dem Beispiel ist eben. Durch die geringe Windstärke von 2,5 m/s in Leon ist das Winderosionsrisiko gering. Die starken Niederschläge von Mai bis Oktober in Leon können zu einer Wassererosion führen. Zusammenfassend kann man sagen, dass das Erosionsrisiko sich im Mittleren Bereich befindet. Es wird kein salzhaltiges Wasser zur Bewässerung verwendet, sondern ausschließlich Brunnenwasser, sodass die Versalzungsgefahr gering ist. Es ist eine durchlässige Bodenschicht vorhanden, sodass eine hohe Gefahr von Wasserverluste durch Versickerung und eine hohe Gefahr der Auswaschung zu erwarten sind. Es wird angenommen, dass Energie durch einen Generator vorhanden sein wird. Weiterhin wird angenommen, dass ein mittleres Anfangsbudget und geringes Jahresbudget vorhanden ist. Werden diese lokalen Ackerparameter nun in das Tool eingegeben, zeigt sich die Tab. 24.

6. Anwendung des Tools am Beispiel eines innovativen Bewässerungssystems

| Vorteile / Nachteile der Bewässerungsmethoden | Faktor | 1 | 1 | 1 | 1 | |
|---|---------|-----------|------------|---------------|-------------|-----------|
| | Gefälle | Erosion | Versalzung | Wasserverlust | Auswaschung | |
| Beckenbew. | | 0 | 0,75 | 0,375 | 1,5 | 5 |
| Streifenbew. | | UNMÖGLICH | UNMÖGLICH | UNMÖGLICH | UNMÖGLICH | UNMÖGLICH |
| Furchenbew. | | UNMÖGLICH | UNMÖGLICH | UNMÖGLICH | UNMÖGLICH | UNMÖGLICH |
| Unterflurbew. | | 0 | 1,5 | 0,75 | 0 | 0 |
| Tröpfchenbew. | | 0 | 1 | 0,5 | 0 | 0 |
| Beregnung | | 0 | 0,75 | 0,375 | 1,5 | 5 |

| 1 | 1 | 1 | |
|-----------|--------------|----------------|-----------|
| Energie | Anlagekosten | Betriebskosten | Summe |
| 0,25 | 1 | 0,625 | 9,5 |
| UNMÖGLICH | UNMÖGLICH | UNMÖGLICH | UNMÖGLICH |
| UNMÖGLICH | UNMÖGLICH | UNMÖGLICH | UNMÖGLICH |
| 0,875 | 2,5 | 0,875 | 6,5 |
| 0,875 | 2 | 0,875 | 5,25 |
| 1,25 | 2,5 | 1,25 | 12,625 |

Tabelle 35 Anwendung des Tools Reiter

Bewässerungsmethode auf ein Beispiel

In der Tabelle wird nun die Bewässerungsmethode empfohlen, welches die geringsten Punkte in der Spalte „Summe“ hat. In dem Tool wird daher die Tröpfchenbewässerung empfohlen. Die Streifenbewässerung und Furchenbewässerung werden aufgrund der fehlenden Geländeneigung auf dem Acker nicht betrachtet. Die Vorteile sind nun in der Tabelle Grün hinterlegt, die Nachteile in Rot.

Für die klimatischen Gegebenheiten Leons in Nicaragua haben die Schüler des Oberstufenprofils „Zukunftsfähige Energietechnik“ der Stadtteilschule Blankenese ein künstliches Bewässerungssystem konzipiert. Die Grundidee ist es aufgrund der hohen Sonneneinstrahlung diesen Faktor zu nutzen, da dieser über das ganze Jahr fast konstant gegeben ist. Aufgrund dessen haben sich die Schüler für einen Photovoltaikgenerator entschieden, der die Wasserpumpe antreiben soll, um somit das benötigte Wasser aus dem Brunnen auf das Feld zu befördern. Die Wasserpumpe muss an den Brunnen angepasst werden, denn um aus tieferen Brunnen Wasser zu fördern benötigt man eine Pumpe mit einer hohen Förderhöhe. Das Wasser das nun auf das Feld befördert worden war sollte allerdings auch möglichst ohne Verdunstungsverluste an die Pflanze gelangen, um das geförderte Wasser nicht zu verschwenden. Infolgedessen entschieden sich die Schüler für ein solargestützte Tröpfchenbewässerung (Siehe Abb. 24). (Krühler, 2007)

6. Anwendung des Tools am Beispiel eines innovativen Bewässerungssystems

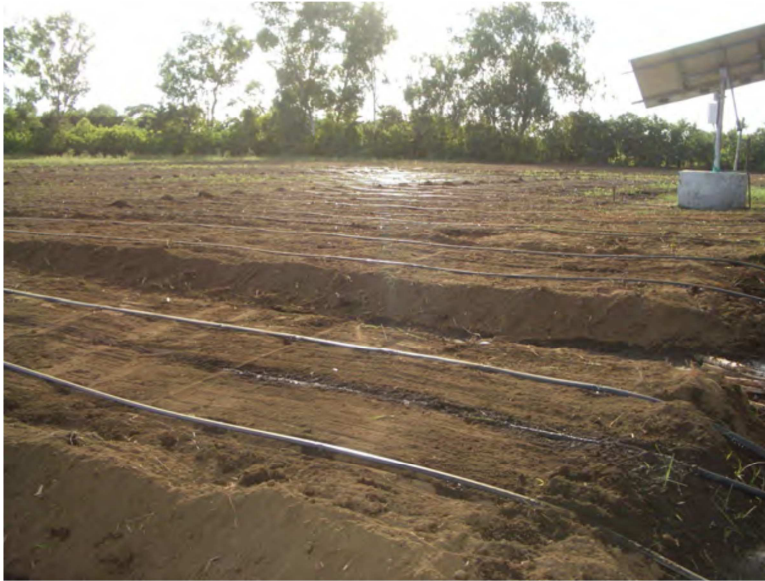


Abbildung 24 Solargestützte Tröpfchenbewässerung (Krühler, 2007)

6.4 Empfehlung eines Generators

Anhand der anfallenden Kosten die für ein neues künstliches Bewässerungssystem mit Solargenerator gegenüber den Kosten für ein ortsübliches künstliches Bewässerungssystem mit Dieseldiesengenerator, kann ein Kostenvergleich aufgezeigt werden. Der Windgenerator wird nicht berücksichtigt, da die Windgeschwindigkeit in Leon bei durchschnittlich in 30m Höhe bei 2,5 m/s liegt und somit unter den geforderten 3,5 m/s, damit der Windgenerator ausreichend Strom für das Bewässerungssystem generieren kann (Meteotest, 29.04.2013). Die durchschnittliche Solare Einstrahlung in Leon liegt bei 167,25 kWh/m² und wird dadurch vom Tool berücksichtigt.

Tabelle 36 Kostenvergleich Photovoltaiksystem zu Dieselsystem (Krühler, 2007)

| Angaben in US Dollar | Photovoltaisches System 0,5 kW | Dieselsystem |
|--------------------------------|--------------------------------|--------------|
| Investitionskosten Generator | 3500 | 500 |
| Investitionskosten Pumpe | 900 | 400 |
| Zinssatz (Kreditlaufzeit: 2 a) | 14,00% | 14,00% |
| Lohnkosten/a | 100 | 100 |
| Betriebsstoffe/a | 0 | 1263 |
| Ersatzteile/a | 20 | 80 |
| Service und Reparatur/a | 30 | 250 |

6. Anwendung des Tools am Beispiel eines innovativen Bewässerungssystems

Berechnung der Abb. 25 mit den Daten von Tab. 25. Gerechnet wurde mit dem Reiter Kostenvergleich des Tools nach Kapitel 5.3. Es zeigt sich das Ergebnis in Abb. 25.

In der Berechnung wurde von einem Kredit mit einer Laufzeit von 2 Jahren gerechnet. Die Kosten für das Dieselsystem wurden anhand von Angaben der nicaraguanischen Landwirte berechnet. (Krühler, 2007)

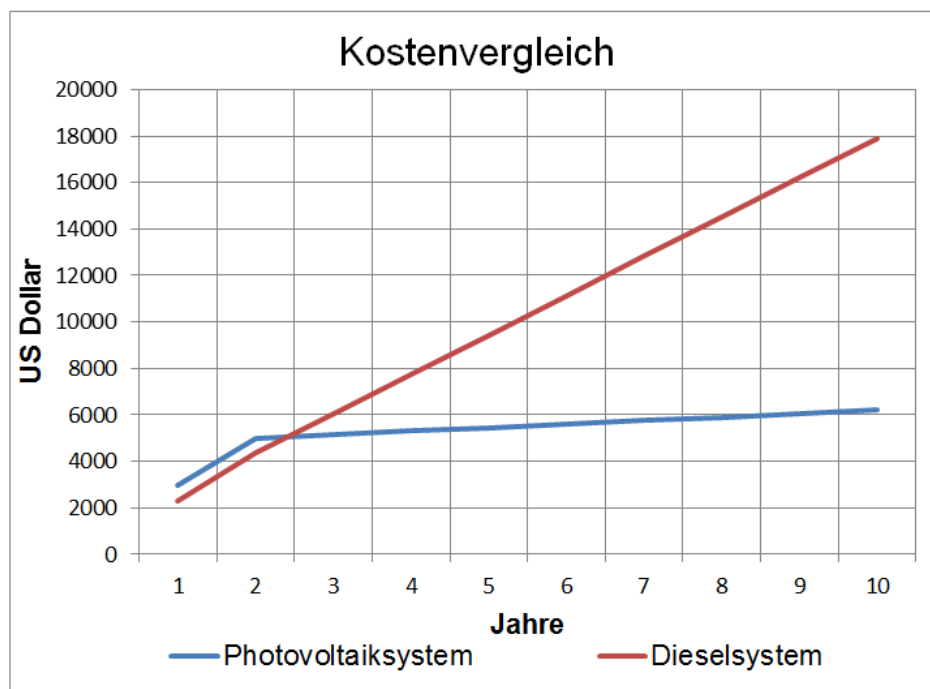


Abbildung 25 Kostenvergleich Photovoltaiksystem zu Dieselsystem

Bei dem Kostenvergleich stellt sich heraus, dass die Kosten im ersten Jahr bei dem Photovoltaiksystem höher sind. Dies resultiert durch die höheren Investitionskosten und der daraus anfallenden höheren Zinsen. Allerdings sind die Kosten der zwei Systeme, aufgrund des benötigten Kraftstoffes des Dieselgenerators, nach bereits zwei Jahren identisch. Nachdem die Systeme ausgeglichen sind, sind die Kosten für das Photovoltaiksystem viel geringer, da das System keine Betriebsstoffe benötigt, wie das Dieselsystem. So das das Photovoltaiksystem nach den Berechnungen nach 10 Jahren eine Kostenersparnis von über 11500 US Dollar gegenüber dem Dieselsystem aufzeigt. (Krühler, 2007)

Daher wird der Photovoltaikgenerator im Tool empfohlen.

7. Zusammenfassung

Das Ziel dieser Bachelorarbeit war es, ein Tool zur Empfehlung eines Bewässerungssystems zu entwickeln, welches nach den lokalen Ackerparametern eine Empfehlung nennt. Dafür wurde ein Überblick über den Aufbau der Bewässerungssysteme gegeben. Dabei wurden die einzelnen Bestandteile genauer betrachtet. Und die Vor- und Nachteile wurden für die verschiedenen Bestandteile genannt. Es wurden die Gründe aufgezeigt, warum künstliche Bewässerung nötig ist und in welchen Regionen und welche Pflanzen bewässert werden. Die Probleme die durch die künstliche Bewässerung resultieren wurden aufgezeigt.

Es wurde herausgearbeitet, dass es kein optimales und universales Bewässerungssystem gibt, welches man auf jedem Ackerland einsetzen kann, da das Klima und die Bodeneigenschaften auf jedem Ackerland verschieden sind. Jedes Bewässerungssystem ist für andere Klima- und Bodeneigenschaften ausgelegt. Das optimalste Bewässerungssystem für das Ackerland muss nach den lokalen Parametern des Ackerlandes bestimmt werden.

Es wurde mit den erarbeiteten Daten ein Tool entwickelt. Das Tool besteht aus 3 Reitern. In dem ersten Reiter des Tools müssen die lokalen Parameter des Ackers eingegeben werden. Aus diesem wird dann die Bewässerungsmethode empfohlen, welche das optimale Bewässerungssystem für das Ackerland ist. In einem zweiten Reiter wird über einen Kostenvergleich der Generator für das System bestimmt, welcher am kostengünstigsten den benötigten Strom für das Bewässerungssystem generieren kann. In dem dritten Reiter werden die Pflanzen genannt, welche gut bzw. weniger gut anzubauen sind mit dem empfohlenem Bewässerungssystem. In einer Zusammenfassung wird das empfohlene Bewässerungssystem mit allen Komponenten dargestellt.

Anhand eines bereits bestehenden innovativen künstlichen Bewässerungssystems wurde die Anwendung des Tools erläutert.

8. Ausblick

Betrachtet man das Tool, gibt es einige Ansatzpunkte die man erweitern kann. Das Tool beinhaltet eine Nennung von Pflanzen die angebaut werden können, abhängig von der empfohlenen Bewässerungsmethode. Dies könnte man umkehren, sodass Pflanzen, die der Landwirt anbauen will abgefragt werden und dies in die Empfehlung des Bewässerungssystems mit eingeht. Die abgefragten Klima- und Bodenparameter könnten auch erweitert werden, sodass eine detailliertere Empfehlung gegeben werden kann.

Die Verwendung des Tools könnte durch die Landwirte selber erfolgen, dazu müssten die Landwirte zur Bestimmung der Klima- und Bodenparameter des Ackerlandes Einrichtungen vor Ort haben, die diese bestimmen können. Diese bestimmten Daten können sie dann ins Tool geben und so eine Empfehlung für ein Bewässerungssystem erhalten. Denkbar wäre es auch, dass Universitäten das Tool nutzen und die Landwirte mit Bodenproben und Wasserproben zu den Universitäten gehen und diese dann von der Universität untersucht werden, um die Bodenparameter zu bestimmen, sodass die Landwirte eine Empfehlung von der Universität erhalten. Es muss ein Zusammenarbeiten zwischen Landwirten, Technikern und Bildungseinrichtungen erfolgen, um so ein optimales und funktionsfähiges Bewässerungssystem zu gewährleisten.

Mit Hilfe des Tools können die Gefahren einer nicht angepassten künstlichen Bewässerung an die lokalen Klima- und Bodeneigenschaften minimiert werden. Sodass auch die Gefahren einer Bodendegradierung durch eine unangepasste künstliche Bewässerung minimiert werden können.

9. Literaturverzeichnis

Achtnich W. (1980). Bewässerungslandbau: Agrotechnische Grundlagen der Bewässerungslandwirtschaft. Ulmer, Stuttgart.

Archer C.. Gemessene Windgeschwindigkeiten bei einer Höhe von 10 Metern. <http://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/grossbild-356250-470759.html> (Abgerufen am 28.04.2013)

Baumhauer R.. Beschleunigung der Desertifikation. http://www.climate-service-center.de/imperia/md/content/csc/warnsignal_klima/Warnsignal_Klima_Kap3.2_3.2.1_Baumhauer.pdf (Abgerufen am 20.04.2013)

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft. Hangneigungsmesser. http://www.lfl.bayern.de/iab/bodenschutz/07882/linkurl_0_17.pdf (Abgerufen am 20.04.2013)

Bundesregierung. Ernährungssicherheit. <http://www.bundesregierung.de/Content/DE/Magazine/MagazinEntwicklungspolitik/064/s3-welthungerhilfe-schaeuble-hunger-beenden.html> (Abgerufen am 20.04.2013)

Deutscher Wetterdienst. Globalstrahlung in der Bundesrepublik Deutschland-Monatssummen. http://www.dwd.de/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwwwDesktop?_nfpb=true&_pageLabel=_dwdwww_klima_umwelt_gutachten&T15805338371147076754824gsbDocumentPath=Navigation%2FOeffentlichkeit%2FKlima__Umwelt%2FKlimagutachten%2FSolarenergie%2FDownload__node.html%3F__nnn%3Dtrue (Abgerufen am 28.04.2013)

Endress. Notstromversorgung. http://www.endress-stromerzeuger.de/uploads/media/Notstromversorgung_de_02.pdf (Abgerufen am 14.04.2013)

Engelhard K. (Hrsg.), Albers H., Appelt D., Juchler I. und Otto K. (2007). Welt im Wandel. Omnia, Stuttgart.

Europäische Gemeinschaften (2009). Versalzung und Sodifizierung. <http://www.agrilife.jrc.ec.europa.eu/documents/DEFactSheet-04.pdf> (Abgerufen am 19.04.2013)

Europäische Kommission. Wasser und Landwirtschaft: Beitrag zur Analyse einer wichtigen, aber schwierigen Wechselbeziehung. http://www.ec.europa.eu/agriculture/envir/report/de/eau_de/report.htm (Abgerufen am 18.04.2013)

Gullich P., Werner D. und Winterot C.. Kennzeichnung der standörtlichen Nutzungseignung. <http://www.tll.de/ainfo/pdf/neig0605.pdf> (Abgerufen am 20.04.2013)

Hausgarten . Regenwassernutzung mittels Zisterne - Vor- und Nachteile.
<http://www.hausgarten.net/gartenpflege/bewaesserung/regenwassernutzung-mittels-zisterne.html> (Abgerufen am 12.04.2013)

Johannsen K. (2011). Rohrhydraulik und Pumpen. <https://www.e-learning.tu-harburg.de/studip/folder.php?cid=0c16b83f9cddf8aeb8410f6c90964e72&cmd=tree> (Abgerufen am 02.04.2013)

Klein Windkraftanlagen. Technik von Klein-Windkraftanlagen.
<http://www.klein-windkraftanlagen.com/technik/> (Abgerufen am 16.04.2013)

Klett.
http://www2.klett.de/sixcms/media.php/76/spanien_sprinklerbew_geiger.jpg (Abgerufen am 15.04.2013)

Köster S. (2011). Limnologie https://www.e-learning.tu-harburg.de/studip/sendfile.php?type=0&file_id=a0300e27587a0e25a6ed599209c7cbb6&file_name=03_Limnologie_Wasserwirtschaft_2012.pdf (Abgerufen am 18.04.2013)

Krawczik D. und Nowikow U.. Die Gefährdung der Böden – Aktuelle Fragen und Probleme. <http://www.future-on-wings.net/dokumente/Bodenheft.pdf> (Abgerufen am 19.04.2013)

Krühler C. und Butscher A. (2005). Überlebenskampf in der Landwirtschaft. <http://www.eduard-hamburg.de/downloads/Notizen-aus-Nicaragua-1.pdf> (Abgerufen am 18.04.2013)

Krühler C. (2007). Solargestützte Feldbewässerung als Mittel zur Armutsbekämpfung.
http://www.eduard-hamburg.de/downloads/Doku_15_Pumpen.pdf

Lange, A.. Notstromaggregat.
<http://www.thw.de/SharedDocs/Ausstattungen/DE/Geraete/notstromaggregat.html> (Abgerufen am 13.04.2013)

Meteotest. Wind Map of Nicaragua.
http://aurora.meteotest.ch/wm_nica/index.php?map=030 (Abgerufen am 29.04.2013)

mnrainman.
<http://www.mnrainman.com/bilder/sport-06.jpg> (Abgerufen am 24.04.2013)

Müller J. Sonneneinstrahlung bei Photovoltaikanlagen. Persönliches Gespräch TUHH am 10.05.2013

Neubert S. (2003). Die Nutzung von Abwasser in der Landwirtschaft
[http://www.die-gdi.de/CMS_Homepage/openwebcms3.nsf/%28ynDK_contentByKey%29/ENTR-7C7BU2/\\$FILE/Die%20Nutzung%20von%20](http://www.die-gdi.de/CMS_Homepage/openwebcms3.nsf/%28ynDK_contentByKey%29/ENTR-7C7BU2/$FILE/Die%20Nutzung%20von%20)

Abwasser%20in%20der%20Landwirtschaft.pdf (Abgerufen am 01.04.2013)

Pfleger I. (2009). Bewässerungswasserqualität – Hygienische und Chemische Belange
http://www.literatur.vti.bund.de/digbib_extern/dk041698.pdf (Abgerufen am 01.04.2013)

Photovoltaik (2012). Was sind die Optimalen Voraussetzungen.
<http://www.photovoltaik-profit.de/Entscheidungen/H/einspeisung.htm> (Abgerufen am 14.04.2013)

Satago. <http://www.satgeo.zum.de/satgeo/beispiele/iberia/fotos/ma21.jpg>
(Abgerufen am 14.04.2013)

Siebert S., Döll P. (2011). Bewässerungswassernutzung – eine globale Perspektive. http://www.climate-service-center.de/imperia/md/content/csc/warnsignalklima/Warnsignal_Klima_Wasser_Kap2_2.6_Siebert.pdf (Abgerufen am 17.04.2013)

Siegert R. (1927). Was muss der praktische Landwirt über Ent- und Bewässerung landwirtschaftlich genutzter Flächen Wissen? J. Neumann, Neudamm.

Solarenergie Windenergie a. Vorteile / Nachteile der Solarenergie im Vergleich zu konventionellen Energieträgern
<http://www.solarenergie-windenergie.de/solar/vorteile-nachteile-der-solarenergie-im-vergleich-zu-konventionellen-energieträgern.php> (Abgerufen am 15.04.2013)

Solarenergie Windenergie b. Vorteile der Windenergie im Vergleich zu konventionellen Energieträgern
<http://www.solarenergie-windenergie.de/wind/vorteile-der-windenergie-im-vergleich-zur-konventionellen-energieerzeugung.php> (Abgerufen am 15.04.2013)

Solarenergie Windenergie c. Nachteile der Windenergie im Vergleich zur konventionellen Energieerzeugung
<http://www.solarenergie-windenergie.de/wind/nachteile-der-windenergie-im-vergleich-zur-konventionellen-energieerzeugung.php> (Abgerufen am 16.04.2013)

Sonnentaler.
<http://www.sonnentaler.net/aktivitaeten/oekologie/bauen-wohnen/hausplanet-ich/wiss-hintergruende/images/kreisbewaesserung.jpg> (Abgerufen am 15.04.2013)

Universität für Bodenkultur Wien. Bewässerung weltweit.
http://www.wau.boku.ac.at/fileadmin/_/H81/H815/Skripten/LKWW/LKWW_2010_Bewaesserung.pdf (Abgerufen am 17.04.2013)

Wetter.com. Klimadatenbank.

<http://www.wetter.com/reise/laenderinfos/klimadatenbank/?continent=NA&country=NANI&station=NIXXX0013> (Abgerufen am 28.04.2013)

Wind Energie a. Energiewandlung.

<http://www.wind-energie.de/infocenter/technik/funktionsweise/energie-wandlung> (Abgerufen am 16.04.2013)

Wind Energie b. Leistungsreglung und Begrenzung. <http://www.wind-energie.de/infocenter/technik/funktionsweise/leistungs-begrenzung-und-regelung> (Abgerufen am 16.04.2013)