

# **Bachelorarbeit**

Im Studiengang Wirtschaftsingenieurwesen

## **Die wirtschaftliche Begrünung der Wüste durch Meerwasserentsalzungsanlagen**

Verfasser: Goulebe Rashid

Matrikelnummer: 3417063

Abgabetermin: 15.07.2022

Erstprüfer: Kriegel Michael

Zweitprüfer: Waschik Monika

## Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung .....</b>	<b>3</b>
<b>1.1 Desertification .....</b>	<b>3</b>
<b>1.2 Die Folgen von Desertifikation .....</b>	<b>5</b>
<b>2. Meerwasserentsalzung Allgemein .....</b>	<b>7</b>
<b>2.1 Allgemeiner Überblick über die verschiedenen Techniken der Entsalzung.....</b>	<b>8</b>
2.1.1 Umkehrosmose (RO).....	8
2.1.2 Mehrstufen-Entspannungsverdampfungsanlage (MSF) .....	9
2.1.3 Multi-Effekt Destillation (MED).....	10
<b>3. Anforderungen an die Entsalzungsanlage .....</b>	<b>12</b>
<b>3.1 Exemplarische Standorte .....</b>	<b>12</b>
3.1.1 Almería (Spanien) .....	12
3.1.2 Hurghada (Ägypten).....	16
<b>4. Detaillierte Vorstellung der ausgewählten Anlagen .....</b>	<b>20</b>
<b>4.1 Solare Meerwasser-Entsalzungsanlagen mit mehrstufiger Wärmerückgewinnung....</b>	<b>20</b>
4.1.1 Aufbau.....	21
4.1.2 Flachkollektor .....	21
4.1.3 Optimierung .....	23
4.1.4 Wasserproduktion .....	24
4.1.5 Kostenaufstellung.....	25
4.1.6 Fazit – Solare Entsalzung mit mehrstufiger Wärmerückgewinnung .....	25
<b>4.2 Mehrfacheffekt-Feuchtluftdestillation bei Umgebungsdruck.....</b>	<b>26</b>
4.2.1 Aufbau:.....	26
4.2.2 Verdunster mit Flüssigkeitsverteiler .....	28
4.2.3 Kondensator .....	29
4.2.4 Freie Konvektionsströmung .....	30
4.2.5 Produziertes Destillat .....	30
4.2.6 Kosten .....	32
4.2.7 Fazit - Feuchtluftdestillation .....	33

<b>5.</b>	<b><i>Plantage</i></b> .....	<b>34</b>
<b>5.1</b>	<b>Anbautechniken</b> .....	<b>34</b>
5.1.1	Boden .....	34
5.1.2	Bewässerung .....	37
<b>5.2</b>	<b>Pflanzen</b> .....	<b>38</b>
5.2.1	Fruchtfolge aus Yamswurzeln, Erdnüssen und Weidegras .....	39
5.2.2	Monokultur mit Orangenbäumen .....	49
<b>6.</b>	<b><i>Fazit dieser Arbeit</i></b> .....	<b>56</b>
<b>7.</b>	<b><i>Literaturverzeichnis</i></b> .....	<b>58</b>
<b>8.</b>	<b><i>Abbildungsverzeichnis</i></b> .....	<b>63</b>
<b>9.</b>	<b><i>Tabellenverzeichnis</i></b> .....	<b>64</b>
<b>10.</b>	<b><i>Ehrenwörtliche Erklärung</i></b> .....	<b>66</b>

# 1. Einleitung

Diese Arbeit stellt ein Konzept aus Entsalzungsanlage und Plantage zusammen, um zu ermitteln, ob ein Gesamtkonzept aus Meerwasserentsalzung zur landwirtschaftlichen Bewässerung wirtschaftlich und gewinnbringend ist. Die Bachelorarbeit beschränkt sich ausschließlich auf Meerwasserentsalzungsanlagen, die für den Wasserbedarf von einzelnen Kleinbauern ausreicht. In dieser Bachelorarbeit wird daher von einer Ackerfläche von einem Hektar (10.000 Quadratmetern) ausgegangen. Die Anlagen sollen für einfache Farmer erschwinglich und von ihrer Funktionsweise verständlich sein.

Ebenso wird diskutiert, welche Pflanzen unter optimalen Anbautechniken am gewinnbringendsten angebaut werden können und welche Schwierigkeiten der Ackerbau in der Wüste mit sich bringt.

## 1.1 Desertification

“When resources are degraded, we start competing for them.  
[...] So one way to promote peace is to promote sustainable  
management and equitable distribution of resources.”

(Wangari Maathi)

Das Zitat von Wangari Maathi, einer kenianischen Wissenschaftlerin, Politikerin und stellvertretende Ministerin für Umweltschutz, macht auf die drastischen Folgen von Landdegradation aufmerksam. Landdegradation oder auch Landverödung beschreibt die Verringerung oder den Verlust der biologischen oder wirtschaftlichen Produktivität und Komplexität von Ackerland, Weideland oder Wäldern. Landverödung muss als ein globales Problem menschlicher Dominanz betrachtet werden, das komplexe Wechselwirkungen zwischen sozialen, wirtschaftlichen und ökologischen Systemen beinhaltet.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup>(Cherlet, et al., 2018, p. 11-19)

Eine Form von Landdegradation ist die sogenannte „Desertifikation“. Hier verwandelt sich fruchtbare Nutzfläche in Brache Wüstenlandschaft.

Die Ursachen hierfür sind:<sup>2</sup>

### **Verbrauch/Verschwendung von Wasser**

Für wachsende Bevölkerung, landwirtschaftliche Bewässerung und Tourismus werden der Natur immense Wasserressourcen entzogen. Eine Folge davon kann das Austrocknen von Seen oder Flüssen sein. So auch der Poopó-See in Bolivien, der einst als einer der größten Seen weltweit galt und 2015 unter anderem wegen menschlicher Misswirtschaft offiziell für ausgetrocknet erklärt werden musste.<sup>3</sup> Verheerende Auswirkungen auf Menschen und Natur sind die Folge. Ohne Wasser kann nichts wachsen und die Wüste breitet sich weiter aus.

### **Übernutzung von Böden**

Dem Boden werden durch kurze Brachzeiten und falsche Ackerbautechniken mehr Nährstoffe entzogen, als auf natürlichem Weg aufgefüllt werden kann. Das führt zu verringertem Pflanzenwuchs und fördert Erosion. Der richtige Einsatz von Düngermitteln kann hier bis zu einem bestimmten Grad entgegenwirken.

### **Überweidung von Flächen**

Viehzucht ist ein wichtiger Teil der Landwirtschaft, doch überweidete Flächen überbeanspruchen die Pflanzen; der Boden verliert seine schützende Vegetationsschicht, wird lockerer und erodiert.

---

<sup>2</sup> (BR Wissen, 2021)

<sup>3</sup> (Weiss, 2018)

## Vernichtung von Wäldern

Der Baumbestand wird drastisch verringert, um Brenn- bzw. Bauholz zu gewinnen oder um Flächen für Ackerland, Industrie oder Wohnimmobilien zu schaffen, doch gerade in Steppen spielen die Bäume und Sträucher eine große Rolle im Kampf gegen die Wüstenbildung.

## 1.2 Die Folgen von Desertifikation

Jährlich verwandeln sich so rund 70.000 Quadratkilometer weltweiter Land- in Wüstenfläche. Das entspricht in etwa der Größe Bayerns. Abbildung 1 zeigt eine Prognose des Bayrischen Rundfunks zur Entwicklung der Wüstengebiete weltweit.<sup>4</sup>

In den nächsten Jahrzehnten könnte ein Drittel der globalen Landfläche verwüstet sein. Betroffen sind vor allem die Sahelzone, Südafrika, Zentral- und Südasien, Australien, Nord- und Südamerika, aber auch Südeuropa.

Aktuell leben etwa zwei Milliarden Menschen in Trockengebieten. Doch durch drohende Desertifikation der Böden könnte ihre bisherige Heimat ein

lebensfeindlicher Ort werden, gerade dort, wo die Bevölkerung wirtschaftlich auf die Böden angewiesen ist. In den Entwicklungsländern Afrikas, in denen viele Menschen weiterhin von ihrem Ackerbau und der Viehzucht leben, wird die Wüstenbildung zu ökologischen, wirtschaftlichen und sozialen Umbrüchen führen.

Die UN schätzt, dass derzeit bereits 250 Millionen Menschen bedroht sind. Für 135 Millionen könnte es in den nächsten Jahrzehnten zu einer akuten Fluchtursache werden.<sup>5</sup>

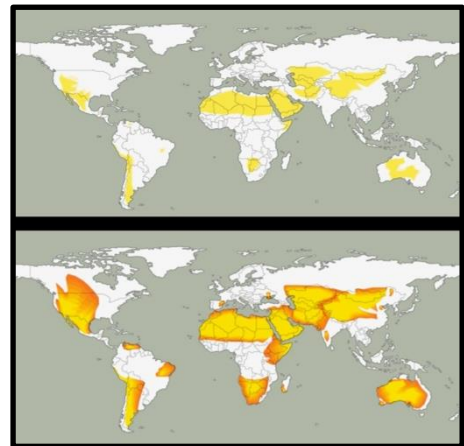


Abbildung 1 BR/Michael Martin Die Wüsten der Erde

---

<sup>4</sup> (BR Wissen, 2021)

<sup>5</sup> (Tertilt, 2019)



*Abbildung 2 Trockene Böden in Mauretanien*

Die konsequente Ausbeutung der Böden entzieht den Menschen auf Dauer ihre Lebensgrundlage. Der Wasserhaushalt ist gestört, die Fruchtbarkeit des Bodens lässt nach. Mehr vegetationsfreie Flächen entstehen und dadurch steigt die Verdunstung. Der Boden trocknet aus. Auch die Artenvielfalt nimmt ab.

Diese Faktoren führen dazu, dass die entsprechenden Regionen nicht mehr in der Lage sind sich auf natürliche Weise zu regenerieren<sup>6</sup>

Es entsteht ein gefährlicher Teufelskreis. In Gebieten in denen Menschen Land nicht mehr nutzen und ihre Familie nicht mehr ernähren können, sind sie gezwungen, andersorts nach Land oder Arbeit zu suchen. Doch je mehr Land zerstört ist, desto weniger Land bleibt übrig, um die Weltbevölkerung zu ernähren. Das kann zu Spannungen und Konflikten führen.<sup>7</sup>

Die Rückgewinnung von Wüstenflächen ist daher eine wichtige Herausforderung, der sich viele Menschen stellen müssen. Projekte wie die Sekem Farm in Ägypten<sup>8</sup> geben Grund zur Hoffnung. Durch intensive Bodenaufbereitung und dem gezielten Einsatz und der Verteilung von Wasser konnten hier über 70 Hektar Wüste zurückgewonnen werden, auf denen die Entwicklungsinitiative unter der Führung von Ibrahim Abouleish über 2000 Menschen beschäftigt.

---

<sup>6</sup> (BR Wissen, 2021)

<sup>7</sup> (Tertilt, 2019)

<sup>8</sup> (Abouleish, 2022)

## 2. Meerwasserentsalzung Allgemein

97% des Wasservorkommens auf der Erde ist Salzwasser. Im Durchschnitt befinden sich unter anderem 3,5% Natrium-Chlorid (NaCl) in gelöster Form im Meerwasser. Das entspricht 35kg Salz pro  $m^3$ .<sup>9</sup> Um das Salzwasser zur Bewässerung von Feldern und Plantagen nutzen zu können, muss es stark entsalzt werden. Trinkwasser gilt ab einem Salzgehalt von unter 0,02% als unbedenklich, doch um zu verhindern, dass die Böden bei der Bewässerung versalzen, muss das Wasser stärker entsalzt werden. Die gängigsten Verfahren sind die Umkehrosmose (RO), die Mehrstufenverdampfung (MSF) und die Multi-Effect-Destillation (MED). Eine detaillierte Beschreibung der Verfahren sind in Kapiteln 2.1.1 bis 2.1.3 zu finden.

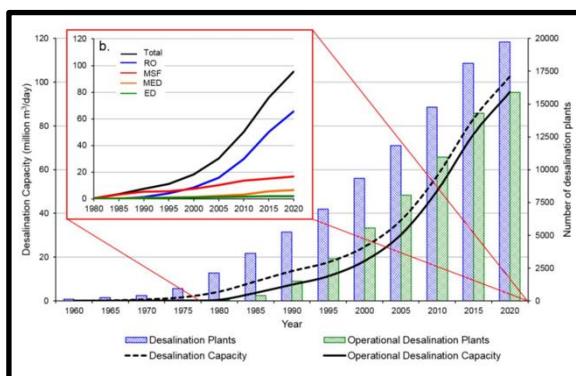


Abbildung 3 Entwicklung der Entsalzungsanlagen von 1960 bis 2020 (UNU-INWEH, 2021)

Die nebenstehende Grafik der United Nation University<sup>10</sup> zeigt den starken Anstieg an Entsalzungsanlagen weltweit im Zeitraum von 1960 bis 2020. Heute gibt es rund 10-mal so viele Anlagen wie 1980, die zusammen jährlich 35 Milliarden  $m^3$  Wasser entsalzen. Auffällig ist auch, dass die Anzahl kontinuierlich wächst und jährlich zunimmt. Das liegt zum einen an dem stetig steigenden Bedarf an Süßwasser und zum anderen an den enormen Fortschritten, die im Bereich der Entsalzung erzielt wurden.

<sup>9</sup> (Proetel, 1921)

<sup>10</sup> (United Nations University Institute for Water, Environment and Health (UNU-INWEH), 2021)



## 2.1 Allgemeiner Überblick über die verschiedenen Techniken der Entsalzung

Eine detaillierte Aufschlüsselung der angewandten Verfahren zeigt, dass zum Jahr 2020 69% der Anlagen auf Umkehrosmose (RO) zurückgreifen und nur 25% Multi-Effekt Destillation (MED) und Mehrstufenverdampfung (MSF) anwenden.<sup>11</sup> Das liegt hauptsächlich daran, dass mit Umkehrosmose große Wassermengen in kurzer Zeit entsalzt werden können. Dazu wird allerdings viel Energie benötigt, die oft mit dem Verbrennen von fossilen Energieträgern einhergeht. Daher kommen diese Verfahren hauptsächlich in Ländern mit großen Rohölvorkommen wie den Arabischen Emiraten zum Einsatz. Doch in Ländern mit hoher Sonneneinstrahlung und instabilem Stromnetz können Verfahren wie Multi-Effekt Destillation (MED) und Mehrstufenverdampfung (MSF) eine gute und effiziente Alternative zur Umkehrosmose bieten, insbesondere wenn die Wasserverteilung dezentral und regional organisiert wird und damit die Anlagenkapazität reduziert werden kann.

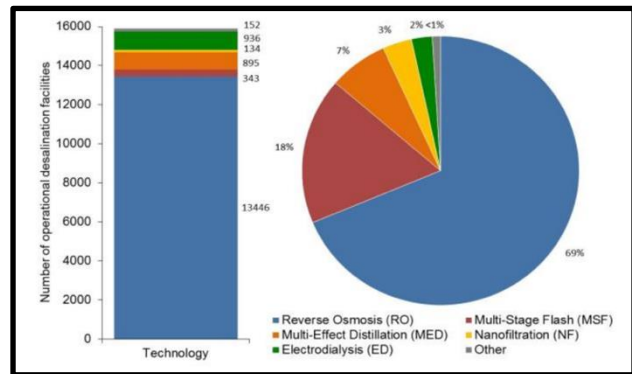


Abbildung 4 Prozentualer Anteil der Entsalzungsverfahren (UNU-INWEH, 2021)

Im Folgenden werden die verbreitetsten Verfahren des 20. Jahrhunderts genauer erklärt und betrachtet.

### 2.1.1 Umkehrosmose (RO)

Bei der Umkehrosmose oder Reverse Osmosis wird salzhaltiges Rohwasser durch eine halbdurchlässige Membran (semipermeable Membran) gepresst. Optimalerweise lassen die 0,1 bis 3,5 nm großen Poren nur die Wassermoleküle hindurch und das größere NaCl-Molekül wird an der Membran ausgesiebt. Wichtig ist hierbei zu beachten, dass das Salzwasser den Salzunterschied gegenüber der entsalzten Süßwasserseite ausgleichen will (sog. Osmotischer Druck). Um die Flüssigkeit weiter durch die Membran pressen zu können, muss der osmotische

---

<sup>11</sup> (United Nations University Institute for Water, Environment and Health (UNU-INWEH), 2021)

Druck (bei Meerwasser zwischen 25 und 80 bar) in der Kammer erhöht werden, in der sich das salzhaltige Wasser befindet.<sup>12</sup>

Die Umkehrosmose macht heute fast 70% der Entsalzungsanlagen aus. Sie ist gegenüber anderen Verfahren vor allem dann im Vorteil, wenn das Rohwasser einen geringen Salzgehalt aufweist oder wenn Produktwasser mit erhöhtem Restsalzgehalt akzeptiert wird. Bei Brackwasser mit weniger als 10 g Salz pro Liter kann das gefilterte Wasser direkt als Trinkwasser verwendet werden. Bei Entsalzung von Meerwasser sind niedrigere Salzgehalte nur mit Hilfe leistungsfähigerer Membranen und höherem Druck zu erreichen. Oft muss hier in mehreren Stufen entsalzt werden, das wirkt sich unmittelbar auf die Wassergestehungskosten aus. Um hohen Druck erzeugen zu können, greifen viele Länder, wie Saudi-Arabien, auf fossile Brennstoffe zurück, was zu hohen CO<sub>2</sub> Emissionen führt.

### **2.1.2 Mehrstufen-Entspannungsverdampfungsanlage (MSF)**

Bei der Mehrstufenverdampfung (Multi-Stage-Flash) wird das Rohwasser durch Wärmerückgewinnung vorgewärmt. Zur Vorwärmung wird das Salzwasser durch die Kondensatoren der einzelnen Stufen gefördert und anschließend im Enderhitzer auf die Maximaltemperatur von 90 bis 135 °C erhitzt.<sup>13</sup> Danach wird das heiße Salzwasser in der ersten Verdampferkammer über Entspannungsverdampfung teilweise in Wasserdampf umgewandelt und anschließend zum Kondensieren gebracht. Das destillierte Kondenswasser ist entsalzen und kann als Endprodukt aus der Anlage abgeführt werden. Das restliche Salzwasser, welches im ersten Durchgang nicht verdunstet ist, weist nun eine höhere Konzentration an Salz auf und wird als „Sole“ bezeichnet. Die Sole wird im nächsten Schritt in die zweite Verdampferkammer geleitet. Der Vorgang wiederholt sich, wobei von Stufe zu Stufe der Druck und die Temperatur abnimmt, so dass in jeder Verdampferkammer erneut eine Entspannungsverdampfung (Flash) stattfinden kann. Im oberen Teil jeder Stufe wird der Dampf kondensiert, die Kondensationswärme an das eingespeiste Rohwasser abgegeben und das Destillat abgezogen. Eine MSF hat im Durchschnitt zwischen 20 und 40 Stufen.

---

<sup>12</sup> (Buchinger, 2003, p. 32-34)

<sup>13</sup> (Buchinger, 2003, p. 29-30)

Abbildung 5 zeigt das Fließbild einer Mehrstufen-Entspannungsverdampfungsanlage (MSF, Multi-Stage-Flash).

Ein Nachteil der MSF ist die große Pumpenleistung, die benötigt wird, um die Sole weiter zu transportieren. Auch der Wirkungsgrad ist bei einer MED-Anlage höher.<sup>14</sup>

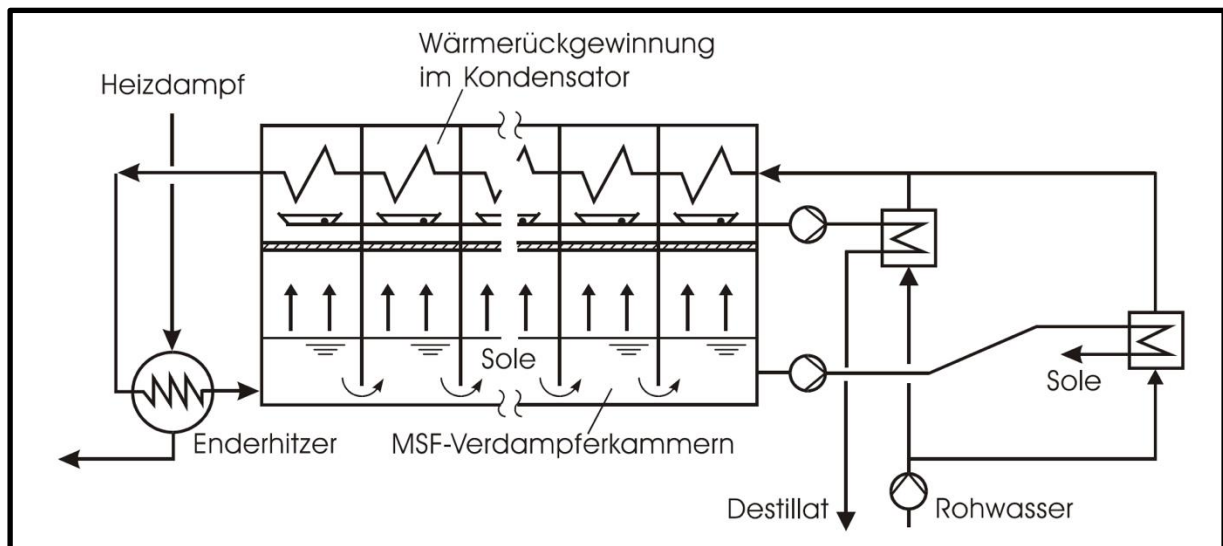


Abbildung 5 Fließbild einer MSF

### 2.1.3 Multi-Effekt Destillation (MED)

Bei der Multi-Effect-Destillation gibt es ebenfalls verschiedene Kammern. Im Unterschied zu MSF wird hier allerdings nicht ausschließlich durch Entspannungsverdampfung destilliert.<sup>15</sup> Durch die Verdampferkammern führen zusätzlich mit Dampf erheizte Rohre. Im Beispiel von Abbildung 6 werden hierfür sogenannte „Horizontalrohr-Rieselfilmverdampfer“ verwendet, die mit dem Heizdampf durchströmt werden. Das vorgewärmte Wasser wird auf die Heizrohre gesprüht und verdampft dort zum Großteil. Der entstandene heiße Wasserdampf wird in den Rieselfilmverdampfer der nächsten Kammer weitergeleitet und dort wieder mit kälterem Meerwasser besprüht. Durch das Besprühen der mit Wasserdampf befüllten Heizrohre, kühlt der Wasserdampf in den Rohren ab und kondensiert. Das immer noch warme Kondenswasser

<sup>14</sup> (Brendel, 2003, p. 4-7)

<sup>15</sup> (Buchinger, 2003, p. 30-31)

kann im Rahmen der Wärmerückgewinnung zur Vorwärmung des Rohwassers verwendet werden, bevor es als Endprodukt aus der Anlage abgeführt wird.<sup>16</sup>

Einige Aufbauten benutzen im ersten Heiz-Kreis ein in sich abgeschlossenes Heizrohrsystem, das nach dem Abkühlen durch das Salzwasser nicht als Brauchwasser abgeführt wird, sondern erneut auf Temperaturen von ca. 100°C gebracht wird um anschließend wieder in die erste Kammer geleitet zu werden. In Abbildung 6 symbolisiert der Pfeil „Kondensatrückführung“, dass der erste Heizkreis nicht als Brauchwasser abgeführt wird, sondern erneut erhitzt wird.

Ebenfalls bietet es sich an in der letzten Stufe den Wasserdampf (ähnlich wie bei einer MSF-Destillation) an den Rohwasserleitungen kondensieren zu lassen, um so durch Wärmerückgewinnung das Rohwasser vorzuwärmen. In Abbildung 6 ist dieser Schritt rechts zu sehen, nachdem das Rohwasser aus der Pumpe vom Wasserdampf der vorherigen Kammer umströmt wird. Durchschnittlich hat eine MED-Anlage zwischen 8 und 16 Stufen.

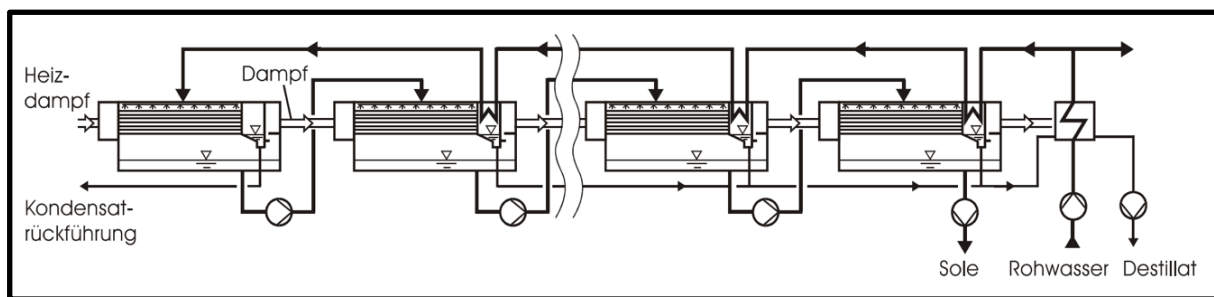


Abbildung 6 Fließbild einer Vielfachverdampfungsanlage (MED)

<sup>16</sup> (Brendel, 2003, p. 4-7)

## 3. Anforderungen an die Entsalzungsanlage

### 3.1 Exemplarische Standorte

Um realistische Zahlenwerte zu erhalten, werden im Folgenden 2 exemplarische Standorte vorgestellt, die ein sehr trockenes Klima und große Küstenflächen aufweisen.

Sowohl die Anlage als auch die Pflanzen der Plantage werden unter den natürlichen Gegebenheiten der Beispielländer kalkuliert.

#### 3.1.1 Almería (Spanien)

Knapp 40% von Spanien sind von Desertifikation betroffen.<sup>17</sup> Der sogenannte Hotspot liegt dabei südlich bei Murcia, Almería und Alicante in der semi-ariden Küstenzone. In Spanien entfallen mittlerweile rund 80 Prozent des Wasserverbrauchs auf künstliche Bewässerung in der Landwirtschaft<sup>18</sup>. Um gegen die Wasserknappheit vorzugehen und die Desertifikation einzudämmen, können Entsalzungsanlagen hier eine entscheidende Rolle spielen. Gebiete in Küstennähe könnten so in Zukunft bewässert und versorgt werden. Die Böden könnten sich regenerieren und die Vegetation zurückkehren.

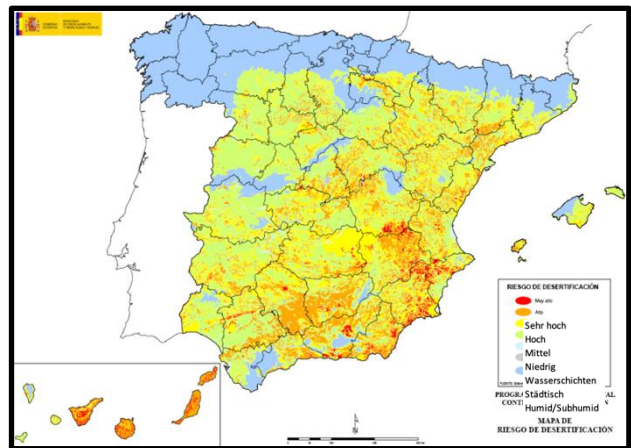


Abbildung 7 Klimazonen Spaniens (Regierung von Spanien, kein Datum)

#### Klima

In Spanien gibt es diverse Klimazonen. An der nördlichen Küste herrscht atlantisches Klima mit milden Sommern und Wintern. Im Durchschnitt liegt die Temperatur hier zwischen 17,1

---

<sup>17</sup> (Streck, 2007)

<sup>18</sup> (Dürmeier, 2019)

und 18,8 Grad.<sup>19</sup> Auch im Winter liegt der Mittelwert deutlich über 10 Grad. Vor allem im Winter kommt es zu Niederschlag, wobei der Januar die meisten Regentage aufweist.

Im Zentrum Spaniens herrscht ozeanisch-kontinentales Klima. Im nördlichen Inland fällt regelmäßig Schnee und die niederschlagsreichen Winter fallen hier mit Tiefstwerten von durchschnittlich unter drei Grad sehr kalt aus. Die monatliche Durchschnittstemperatur schwankt zwischen 8,5 Grad im Januar und 30,8 Grad im Juli.

Die höheren Lagen der Pyrenäen weisen ein Gebirgsklima auf. Der Winter fällt hier besonders lang und kalt aus. Die sehr frisch temperierten Sommer sind kurz.

Für diese Arbeit wird die Stadt Almería betrachtet, welche sich im südlichen Teil von Spanien befindet. Der Ort ist vom Mittelmeerklima geprägt. Der Winter fällt im Durchschnitt mit mindestens 15,7 Grad sehr mild aus. Der Sommer hat im Mittelwert über 30 Grad zwischen Juni und September und ist damit relativ heiß. Regen fällt vor allem im Frühling und Herbst. Die Niederschlagsmenge nimmt dabei in Richtung Süden deutlich ab. In Almería regnet es durchschnittlich nur 4 Tage im Monat. Über das Jahr verteilt, ergibt sich so eine Niederschlagsmenge von 207,9 mm.<sup>20</sup> Im Vergleich zum Norden Spaniens, fällt im Südosten des Landes fast fünfmal weniger Regen. Der Süden hat im Schnitt mindestens 8 Sonnenstunden am Tag. Insgesamt wurden in Almería im Jahr 2021 3566 Sonnenstunden gemessen. Auch die Wassertemperatur ist im Süden mit 18 Grad deutlich höher als im Norden mit 15 Grad.

Im August liegt die Durchschnittstemperatur des Meeres mit 20 Grad im Norden und 23 Grad im Süden jeweils am höchsten.<sup>21</sup>

---

<sup>19</sup> (Weather Spark, 2022)

<sup>20</sup> (Klimatabelle.info, 2022)

<sup>21</sup> (wetter.de, 2022)

<b>Klima in Almería Zusammenfassung</b>	
<b>Klimazone</b>	
<b>Klima:</b>	<b>kaltes Steppenklima</b>
<b>Wassertemperatur</b>	
<b>Ø Wassertemperatur:</b>	<b>18°C</b>
<b>Monat mit höchster Wassertemperatur:</b>	<b>September mit 24.6°C</b>
<b>Monat mit niedrigster Wassertemperatur:</b>	<b>Februar mit 14.5°C</b>
<b>Temperatur</b>	
<b>Ø Temperatur:</b>	<b>21,8°C</b>
<b>Wärmster Monat:</b>	<b>August mit 31.5°C</b>
<b>Kältester Monat:</b>	<b>Februar mit 5°C</b>
<b>Niederschlag</b>	
<b>Ø Niederschlag:</b>	<b>17,33 mm /Monat</b>
<b>Niederschlagreichster Monat:</b>	<b>Dezember mit 43 mm</b>
<b>Trockenster Monat:</b>	<b>Juli mit 2 mm</b>
<b>Sonneneinstrahlung</b>	
<b>Ø Sonnenstunden:</b>	<b>10,1 Std. /Tag</b>
<b>Monat mit höchsten Sonnenstunden:</b>	<b>Juni mit 13 Std. /Tag</b>
<b>Monat mit geringsten Sonnenstunden:</b>	<b>Dezember mit 7 Std. /Tag</b>
<b>Sonnenstunden im Jahr:</b>	<b>3566</b>
<b>Ø Sonneneinstrahlung in</b>	<b>5,39 kWh/m<sup>2</sup></b>

*Tabelle 1 Klimadaten für Almería (Süd Spanien)*

## *Vegetation*

Durch das Steppenklima beschränkt sich die Vegetation auf Gräser und kleinere Sträucher. Bestimmte Moose und verschiedene Flechten sind ebenfalls zu finden. Die langen Dürrephasen und der fehlende Regen lassen hohe Sträucher oder Bäume nicht zu. Lediglich im Frühling und im Herbst kommt es stellenweise zu bis zu zwei Meter hohen Gräsern, denn nur zu diesen Jahreszeiten gibt es ausreichend Feuchtigkeit im Boden. Das Wetter ist stark von seinen Hochdrucklagen geprägt.<sup>22</sup>

---

<sup>22</sup> (Klimatabelle.info, 2022)

Auch die Tierwelt hat sich an das Klima angepasst. Hauptsächlich kleinere Säugetiere, Nager und Vögel sind hier anzutreffen. In einigen Regionen gibt es jedoch auch größere Säugetiere, wie Steppen-Antilopen oder Bisons.

### *Landwirtschaft*

Sowohl durch Viehhaltung als auch durch Landwirtschaft ist die Steppe für Menschen nutzbar. Es gibt große Herden von Rindern, Schafen oder Ziegen, die besonders in der Vegetationsperiode im Frühjahr viel Nahrung finden. Auch Kamele, Yaks und Pferde können hier gehalten werden.

Landwirtschaftlich bringt der feinerdige Boden bei großflächiger Bewässerung Sonnenblumen und Mais zum Vorschein, aber auch viele Getreidesorten und Zuckerrüben wachsen hier gut.<sup>23</sup>

Ein besonderes Merkmal der Provinz Almería ist die intensive Landwirtschaft.

Was Einheimische „Das Plastikmeer“ nennen, ist eine riesige Landfläche, bedeckt mit Gewächshäusern. Gebaut werden die Gewächshäuser meist aus Kunststoff, der über Holzpfosten oder Metallstrukturen gespannt und mit Draht gesichert wird. Der transparente Kunststoff verstärkt die Wärmeentwicklung und hält die Luftfeuchtigkeit aufrecht. Auf diese Weise



Abbildung 8 Campo de Delías Satellitenbild Gewächshäuser (Plastikmeer)

kann ein Monat früher geerntet werden als unter freiem Himmel. Die Ernte beginnt im Dezember und das Pflanzenwachstum der Herbst-Winter-Pflanzung kann bis März erfolgen. Dadurch kann sich die Anzahl der Ernten verdoppeln und manchmal sogar verdreifachen.

Trotz der Vorzüge des Gewächshauses, hat diese intensive Landwirtschaft auch ihre Schattenseiten. Skandale wegen unmenschlichen Arbeitsbedingungen in den Gewächshäusern erschüttern die Allgemeinheit. Arbeitnehmer müssen angeblich unter „sklavenähnlichen“ Bedingungen bei Temperaturen von bis zu 50°C mit nichtvorhandenen Belüftungen arbeiten.<sup>24</sup>

---

<sup>23</sup> (klimatabelle, 2022)

<sup>24</sup> (Wikibrief, 2021)



Auch die Grundwasserverschmutzung und das Bohren von illegalen Brunnen ist ein Problem. Durch Düngermittel und Pestizide wird das Grundwasser verschmutzt. Jährlich werden rund 5200 Tonnen chemischer Abfall in das Gebiet abgeladen. Die lokale Regierung hat auch das Bohren neuer Wasserbrunnen verboten. Doch viele Landwirte halten sich nicht daran. Neue Brunnen werden oft bis zu einer Tiefe von 2000 Meter gebohrt.<sup>25</sup>

Einige Farmer haben sich allerdings dazu entschlossen nachhaltigere Anbaupraktiken anzuwenden. Sie verwenden biologischen Pflanzendünger und achten auf einen rückstandsfreien Anbau. Viele verzichten sogar vollständig auf Pestizide.<sup>26</sup>

### 3.1.2 Hurghada (Ägypten)

Hurghada war in den 70er Jahren eine unbedeutende Kleinstadt an der Küste zwischen dem Roten Meer und der Arabischen Wüste. Durch Investoren wurde die Region zum größten bade- und tauchtouristischen Zentrum von Ägypten. Neue Hotelanlagen wurden gebaut und die Menschen aus den umliegenden Dörfern zogen in die rasant wachsende Stadt.<sup>27</sup>

Da es in und um Hurghada kein natürliches Trinkwasservorkommen gibt, wird die Stadt durch Trinkwassertransporte aus dem Nil versorgt. Zusätzlich wurde 2016 eine Wasserentsalzungsanlage errichtet, die



Abbildung 9 Google Maps - Hurghada in Ägypten

Frischwasser für die ganze Region liefert. Die Anlage liefert rund 100.000 Kubikmeter an frisch aufbereitetem Leitungswasser pro Tag. Dabei beliefen sich die Baukosten der Anlage auf über 400 Millionen ägyptische Pfund. Das entsalzte Wasser wird für den haushaltsüblichen

---

<sup>25</sup> (Wikibrief, 2021)

<sup>26</sup> (Wikibrief, 2021)

<sup>27</sup> (klimatabelle.info, 2022)

Gebrauch genutzt, wie beispielsweise: Toilettennutzung, Duschen und Geschirrwäsche. Da viele Haushalte in Hurghada noch immer nicht über einen Leitungswasseranschluss verfügen, werden diese oft noch mit dem Tankwagen beliefert.<sup>28</sup>

## *Klima*

Das Klima in Hurghada ist **subtropisch**. Die Temperaturunterschiede zwischen den warmen und den kalten Monaten sind minimal. Die Klimadaten zeigen, dass der August mit einer Durchschnittstemperatur von 30,5°C der wärmste Monat ist. In Summe liegt die Maximaltemperatur von Mai bis Oktober oberhalb der 30°C-Marke. Das Klimadiagramm von Hurghada zeigt, dass die minimalen Temperaturen zwar im Frühling und Herbst ein wenig geringer sind, allerdings fallen sie nie unter 20°C im Durchschnitt ab.

Lediglich im Winter kann es dazu kommen, dass die Temperaturen unter 20°C sinken. Insgesamt wird der Winter allerdings als sehr mild eingestuft. Der kälteste Monat ist der Januar, in dem die maximalen Temperaturen im Mittel bei 22°C und die minimalen Werte bei 15°C liegen. Erkennbar sind im Januar aber noch immer 7 Sonnenstunden durchschnittlich am Tag. Im Jahresdurchschnitt liegen die Tageshöchstwerte bei 28°C und in der Nacht bei 20°C.

Die Sonnenscheindauer beträgt circa 9 Stunden pro Tag.<sup>29</sup>

---

<sup>28</sup> (AT-Touren, 2017)

<sup>29</sup> (Klima.org, 2022)

<b>Klima in Hurghada Zusammenfassung</b>	
<b>Klimazone</b>	
Klima:	Subtropen
<b>Wassertemperatur</b>	
Ø Wassertemperatur:	24°C
Monat mit höchster Wassertemperatur:	August mit 28°C
Monat mit niedrigster Wassertemperatur:	Februar mit 21°C
<b>Temperatur</b>	
Ø Temperatur:	24°C
Wärmster Monat:	August mit 34°C
Kältester Monat:	Februar mit 14°C
<b>Niederschlag</b>	
Ø Niederschlag:	1,5 mm/Monat
Niederschlagreichster Monat:	August mit 9 mm
Trockenster Monat:	Juni mit 0 mm
<b>Luftfeuchtigkeit</b>	
Durchschnittliche Luftfeuchtigkeit:	-
Monat mit höchster Luftfeuchtigkeit:	-
Monat mit niedrigster Luftfeuchtigkeit:	-
<b>Sonneneinstrahlung</b>	
Ø Sonnenstunden:	9 Std. /Tag
Monat mit höchsten Sonnenstunden:	Mai mit 11 h/Tag
Monat mit geringsten Sonnenstunden:	Jan mit 7 h/Tag
Sonnenstunden im Jahr:	3285
Ø Sonneneinstrahlung in	8,5 kWh/m <sup>2</sup>

Tabelle 2 Klimatabelle Hurghada (Klima.org 2022)

## Vegetation

Durch die geringe Niederschlagsmenge besitzt Ägypten nur eine sehr karge Vegetation. Typische Pflanzen, die am Nildelta und am Nilufer natürlich vorkommen, sind Maulbeerfeigen, Johannisbrotbäume, Dattelpalmen, Nilakazien, Bambusrohre und Lotusbäume. Papyrusstauden sind nur noch selten vorzufinden. Da Hurghada über 150 km vom Nil entfernt liegt, gibt es hier an Land keine nennenswerte wilde Vegetation.

Auch das Tierreich orientiert sich stark am Wasser des Nils. Allein 190 Fischarten leben im Nil. Auch verschiedene Wasservogelarten wie der Kranich, die Nilgans und der Reiher sind hier heimisch. Vor allem während der Wintermonate in Europa, kommen diverse Zugvögel hinzu. Auch Kamele, Schafe, Ziegen, Steinböcke, Esel, Wildkatzen, Schakale, Feneks und Hyänen finden hier ihren Lebensraum. Auch in der lebensfeindlichen Wüste gibt es einige

Tierarten. Eidechsen, Springmäuse und Hasen kommen mit den schwierigen Bedingungen gut zurecht. Auch viele Käferarten und Skorpione leben in der Wüste.

### *Landwirtschaft*

Obwohl fehlender Niederschlag und Trockenheit den Anbau von Feldern erschweren, ist die Landwirtschaft Ägyptens der drittgrößte Produktionssektor nach der verarbeitenden Industrie und dem Bergbau, der Öl und Gas miteinschließt. Mindestens ein Drittel der Bevölkerung ist in diesem Bereich direkt beschäftigt. Weit mehr noch, wenn man den Transport und die Verarbeitung miteinbezieht.<sup>30</sup>

Nur rund 2,4 Prozent von Ägypten sind Ackerfläche. Lediglich im Nildelta, im Niltal zwischen Kairo und Assuan und in einigen Oasen, in denen Tiefwasser zu finden ist, ist Landwirtschaft möglich. Ohne den Nil wäre Ägypten eine einzige Wüste. Der fruchtbare Flussschlamm sorgt wegen seines hohen Nährstoffgehaltes für die Düngung des Bodens und ermöglicht den Anbau von Nutzpflanzen und die Haltung von Vieh.

Der Assuan-Staudamm konnte zwar die Überschwemmungen entlang des Nils eindämmen, der nährstoffreiche Schlamm kann so aber nicht mehr abfließen und die Bauern sind zunehmend auf den Einsatz von künstlichen Düngemitteln angewiesen. Diese belasten wiederum die Wasserqualität des Flusses. Abseits des Flusses sind Ackerbau und Viehzucht möglich, allerdings muss hier auf künstliche Bewässerungssysteme zurückgegriffen werden.

Obwohl die Ernte mehrmals im Jahr möglich ist, reichen die Lebensmittel nicht für die Bevölkerung aus. Zusätzlich ist die Landwirtschaft stark exportorientiert. Ägypten ist weltweit der wichtigste Exporteur von langfaseriger Baumwolle.

Neben der Baumwolle werden auch Zuckerrohr, Mais, Reis, Weizen, Hirse, Kartoffeln, Gerste und Zwiebeln angebaut. Auch Wassermelonen, Zitrusfrüchte, Mangos, Datteln, Feigen und Wein werden angepflanzt.

Bei der Viehzucht beschränkt sich die Haltung auf Büffel, Rinder, Ziegen, Esel, Hühner und Schafe, die zum Teil als Lasten- und Arbeitstiere, sowie zur Milcherzeugung genutzt werden.<sup>31</sup>

---

<sup>30</sup> (Audiatur, 2012)

<sup>31</sup> (aegypten.com, 2022)

## 4. Detaillierte Vorstellung der ausgewählten Anlagen

In diesem Abschnitt werden 2 konkrete Bauweisen von Entsalzungsanlagen vorgestellt. Dabei wird vor allem darauf geachtet, wie die Anlage aufgebaut ist, welche Leistung sie erbringen kann und welche Investitionskosten zu berücksichtigen sind.

### 4.1 Solare Meerwasser-Entsalzungsanlagen mit mehrstufiger Wärmerückgewinnung

Seit 2017 forscht die FH-Aachen am Solar-Institut Jülich daran, die Trinkwasserqualität in ländlichen Regionen wie Marokko zu verbessern. Dabei wird versucht ein umweltfreundliches und ökologisches Wasserressourcen-Management Marokkos durch erneuerbare Energien zu realisieren.<sup>32</sup>

„(Boura, 2017) Die Solarentsalzungsanlage bietet eine kostengünstige und CO<sub>2</sub>-freie Trinkwasserversorgung. Für das vom Solar-Institut Jülich und Ingenieurbüro für Energie- und Umwelttechnik Jülich (IBEU) entwickelte Entsalzungssystem ergeben sich aufgrund seiner einfachen Bauweise, Handhabung, Wartungsmöglichkeit, Reinigungsmöglichkeit und seines effizienten Betriebsverhaltens, viele



Abbildung 10 Entsalzungsmodul mit Flachkollektoren

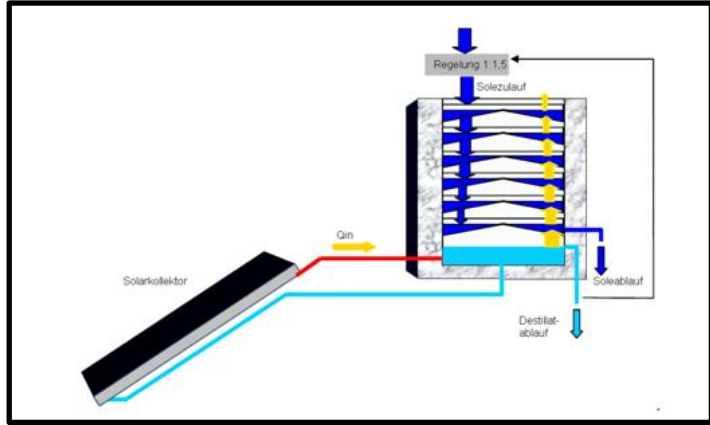
Einsatzmöglichkeiten in ariden, sonnenreichen Regionen Nordafrikas (wie z. B. Siedlungen, Farmen, Schulen und kleine Hotels).“

---

<sup>32</sup> (Boura, 2017)

### 4.1.1 Aufbau

Um einen Liter Meerwasser verdampfen zu lassen, wird eine Verdampfungsenthalpie von 2294 kJ/kg benötigt.<sup>33</sup> Um diese Energie durch Solarkollektoren aufzubringen, müssen große Flächen abgedeckt werden, die meist mit hohen Preisen einhergehen. Um den Betrieb wirtschaftlicher zu gestalten, muss das Verfahren energiesparender konstruiert werden. Abbildung 13 zeigt eine Anlage, die ihren Wirkungsgrad durch Wärmerückgewinnung der Verdampfungsenthalpie steigert. Mit Hilfe einer mehrstufigen Anordnung der Verdampferwannen kann durch



die Rückgewinnung der Verdampfungsenthalpie ein

Abbildung 11 Schema der mehrstufigen Entsalzung

verbesserter energetischer Wirkungsgrad erzielt werden. Da der Wasserdampf nur kondensiert, wenn er auf die Kondensatoren trifft, setzen viele Anlagen Ventilatoren ein, um die Luftmassen in der Verdampferkammer umzuwälzen. Da hier allerdings der Solarkollektor unterhalb der Verdampferkammer angeordnet ist, zirkuliert der Wasserdampf mit Hilfe von natürlicher Konvektion.<sup>34</sup> Das System verzichtet vollständig auf aktive Komponenten wie Pumpen und Steuerelektronik und kann dadurch vollständig ohne Anschluss an das Stromnetz betrieben werden. Das vereinfacht die Handhabung stark, sodass die Anlage auch von technisch wenig versierten Benutzern betrieben werden kann.

### 4.1.2 Flachkollektor

Eine Anlage mit einer Flachkollektorgröße von 4 m<sup>2</sup> und einer Verdampferfläche von 1 m<sup>2</sup> erzeugt an einem Sommertag in Deutschland einen Ertrag von 44 kg Destillat.<sup>35</sup> Die eingestrahlte Tagesenergiesumme liegt bei 7,23 kWh/m<sup>2</sup> pro Tag. Damit ergibt sich ein

---

<sup>33</sup> (Müller, Schwarzer, Silva, & Mertes, 2004, p. 1)

<sup>34</sup> (Müller, Schwarzer, Silva, & Mertes, 2004, p. 2)

<sup>35</sup> (Müller, Schwarzer, Silva, & Mertes, 2004, p. 3)

Wirkungsgrad zwischen eingestrahelter Energie und genutzter Energie ( $Q=M_{\text{dest}} \cdot h$ ) von 98 Prozent. Eine parallel betriebene einfache Destille vom Gewächshaus-Typ produzierte im gleichen Zeitraum eine Destillatmenge von 4,0 Liter/m<sup>2</sup>. Im direkten Vergleich kann das mehrstufige Entsalzungssystem gegenüber diesem System die 2,75-fache Menge an Destillat pro Tag erwirtschaften.

Abbildung 14 zeigt die Telemetriedaten der Sensoren während eines Versuchs mit Flächenkollektor.

Es wurde gemessen:

- Temperaturverläufe der obersten Verdampferwanne
- Temperaturverläufe der untersten Verdampferwanne
- Temperaturverlauf des Verdampfers
- Einstrahlung der Sonne und die
- Destillatproduktion

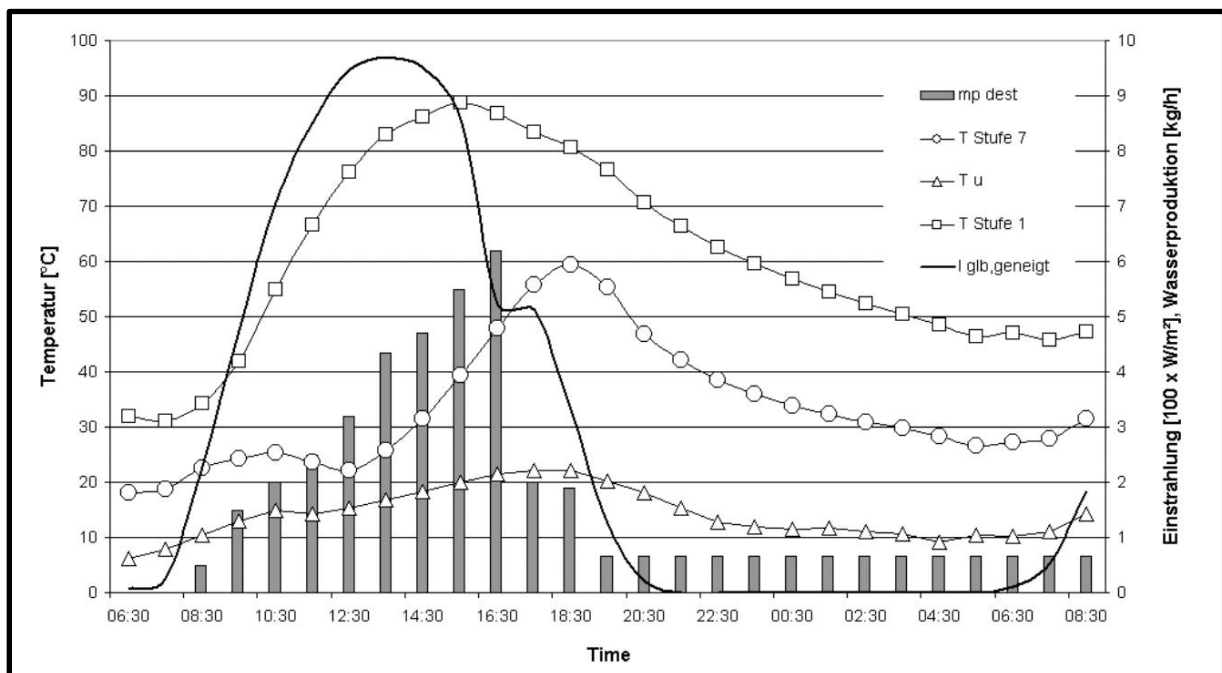


Abbildung 12 Messkurve der Flachkollektordestille über 24 Stunden



Hieraus lässt sich ableiten, dass die Anlage um 16:30 mit durchschnittlich 6 kg/h am produktivsten war, obwohl die Sonneneinstrahlung schon um 12:30 ihren Höhepunkt erreicht hatte. Das deutet auf die Trägheit des Systems hin, die durch die Verteilung der Wassermenge im System erklärt werden kann. Gut zu erkennen ist auch, dass die Anlage selbst nach Sonnenuntergang (21:00) nicht vollständig abkühlt und so weiter zwischen 0,5 l und 0,8 l Destillat pro Stunde produziert. Denkbar wäre es, die Leistung nachts durch einen Wärmespeicher weiter zu erhöhen. Auch eine Wärmerückgewinnung über die abfließende Sole könnte den Wirkungsgrad und somit den Ertrag weiter steigern.

Abbildung 15 zeigt die Simulation der gleichen Anlage am Standort Sidi Barran in Ägypten.<sup>36</sup>

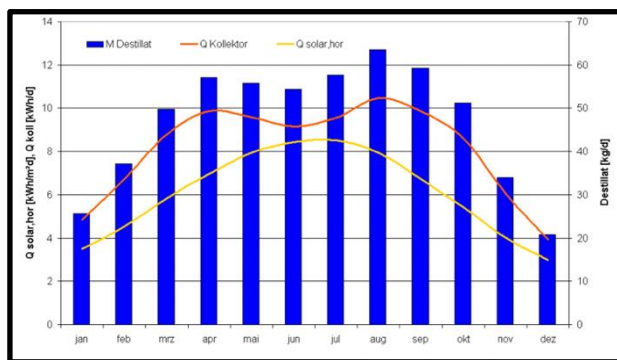


Abbildung 13 Simulierter Tagesertrag im Jahresverlauf

Die Prognose bildet den durchschnittlichen Tagesertrag eines 1 m<sup>2</sup> großen Entsalzungsmoduls mit 4 m<sup>2</sup> großen Flächenkollektoren ab. Laut Simulation erzeugt eine Anlage dieser Größenordnung im Durchschnitt eine Menge von 47 kg am Tag. Das entspricht **11,75 Litern pro Quadratmeter**. Extremwerte liegen bei

knapp über 60 Litern im August und rund 20 Litern im Dezember.

### 4.1.3 Optimierung

Um die Anlage weiter zu verbessern, kann der Flachkollektor durch Parabolspiegel oder Vakuumröhren ersetzt werde.

Weitere Tests und Simulationen ergaben, dass die Version mit Parabolspiegeln unter höheren Windgeschwindigkeiten einen Verlust der Leistung aufweist. Da der Absorber nur durch einen Hohlraum geschützt ist, kühlt er bei Wind schneller aus. Hier könnte es je nach Standort effizient sein, eine schützende Glasabdeckung zu installieren.<sup>37</sup>

<sup>36</sup> (Müller, Schwarzer, Silva, & Mertes, 2004, p. 5)

<sup>37</sup> (Müller, Schwarzer, Silva, & Mertes, 2004, p. 4)



Die Vakuumröhrenversion ist die Leistungseffizienteste. Allerdings muss hier beachtet werden, dass die Anschaffungs- und Instandhaltungskosten höher sind.

Auch ein Wärmespeicher, der den 24-stündigen Betrieb der Anlage ermöglicht, wäre denkbar und würde die Leistung der Anlage stark verbessern.

Leider konnten in dieser Arbeit weder Kalkulationen zu der Variante mit Vakuumröhre noch zu dem Betrieb mit einem Wärmespeicher durchgeführt werden, da die vorliegenden Informationen nicht ausreichen und die Kontaktaufnahme mit der FH-Aachen leider erfolglos blieb.

#### 4.1.4 Wasserproduktion

Tabelle 1 zeigt, dass die monatliche Produktion einer Anlage mit 40 Quadratmetern Flachkollektoren in Ägypten hochgerechnet<sup>38</sup> rund 14.100 Liter pro Monat produzieren würde. Um den Bedarf der Fruchtfolge zu decken, wie sie in Kapitel 1.3.1 beschrieben wird, werden allerdings 528.889 Liter pro Monat benötigt. Das entspricht einer Anlagengröße von 1.500 Quadratmetern.

### Destillat - Mehrstufige Wärmerückgewinnung

Deutschland	
Sonneneinstrahlung	7,23 kWh/m <sup>2</sup>
Kollektorfläche	40 m <sup>2</sup>
Speichergröße	0 m <sup>3</sup>
Destillat/ Stunde	18,3 Liter
Destillat/ Tag	440 Liter
Destillat/ Monat	13200 Liter
Destillat/ Jahr	160600 Liter

Ägypten - Hurghada	
Sonneneinstrahlung	8,5 kWh/m <sup>2</sup>
Kollektorfläche	40 m <sup>2</sup>
Speichergröße	0 m <sup>3</sup>
Destillat/ Stunde	20 Liter
Destillat/ Tag	470 Liter
Destillat/ Monat	14100 Liter
Destillat/ Jahr	171550 Liter

Spanien - Almería	
Sonneneinstrahlung	5,39 kWh/m <sup>2</sup>
Kollektorfläche	40 m <sup>2</sup>
Speichergröße	0 m <sup>3</sup>
Destillat/ Stunde	14 Liter
Destillat/ Tag	328 Liter
Destillat/ Monat	9844 Liter
Destillat/ Jahr	119765 Liter

Hurghada	Wasserbedarf pro Monat	Benötigte Anlagen	Kollektorfläche	Seitenlänge in Metern
Wasserbedarf Mono	1100000 Liter	78,0	3121m <sup>2</sup>	56 m
Wasserbedarf Frucht	528889 Liter	37,5	1500 m <sup>2</sup>	39 m

Tabelle 3 Destillatproduktion durch mehrstufige Wärmerückgewinnung in Deutschland, Ägypten und Spanien

<sup>38</sup> Das Verhältnis zwischen Sonneneinstrahlung, Kollektorgröße und daraus resultierender Destillationsmenge wurden vereinfacht als linear und positiv korrelierend angenommen und dem entsprechend berechnet. Die dadurch entstandenen Werte und Prognosen können daher lediglich als Richtwerte zur groben Einschätzung des Systems genutzt werden.

### **4.1.5 Kostenaufstellung**

Aufgrund fehlender Angaben über Komponenten und Bauweisen kann hier keine aussagekräftige Kalkulation aufgestellt werden. Trotz wiederholter Versuche der Kontaktaufnahme zu den Verantwortlichen an der FH-Aachen, konnten weder Stücklisten noch detaillierte Bauzeichnungen zur Kalkulation miteinbezogen werden. Eine Kostenaufstellung wäre an dieser Stelle pure Spekulation und könnte für Verwirrung und Fehlern sorgen.

### **4.1.6 Fazit – Solare Entsalzung mit mehrstufiger Wärmerückgewinnung**

Mit weiteren Daten, Simulationen und Unterstützung der FH-Aachen hätten vor allem die weiterentwickelten Module mit Parabolspiegeln, Vakuumröhren und Wärmespeicher eine relevante und zielführende Alternative ergeben können. Anhand der vorliegenden Daten kann zu diesem Zeitpunkt allerdings nur wage über Preis und Leistung spekuliert werden.

Basierend auf diesen Umständen, kann die Entsalzungsanlage durch mehrstufige Wärmerückgewinnung der FH-Aachen im weiteren Verlauf dieser Arbeit bei Kalkulationen nicht weiter berücksichtigt werden.

## 4.2 Mehrfacheffekt-Feuchtluftdestillation bei Umgebungsdruck

Hendrik Müller-Holst beschreibt in seiner Doktorarbeit für die Technische Universität München ein

Feuchtluftdestillationsverfahren (MEH), dass Kalkulationen zufolge <sup>39</sup> unter durchschnittlich 3,2 kWh/m<sup>2</sup> pro Tag mit einer Anlagengröße von 35-55 m<sup>2</sup> und einem Wärmespeicher für den 24 h Betrieb rund 42 l/h produzieren kann. Das entspricht einer destillierten Menge von 1008 Litern pro Tag.

Abbildung 16 zeigt ein Pilotprojekt <sup>40</sup> in Oman, an dem Messungen und Versuche durchgeführt wurden, um Simulationen

künftiger Anlagen präziser und aussagekräftiger zu machen.



Abbildung 14 Pilotanlage Oman

### 4.2.1 Aufbau:

Feuchtluft-Destillationsanlagen basieren auf dem Prinzip der Be- und Entfeuchtung von Luft in benachbarten Verdunstungs- und Kondensationsbaugruppen. Dabei wird die warme Luft durch eine Verdunstungseinheit geleitet und nimmt Wasserdampf auf. Anschließend wird die gesättigte Luft durch die Kondensationskammer geleitet und die Feuchtigkeit wird entzogen. Das Befeuchten der Luft in der Verdunstungseinheit erfolgt hier über frei hängende Tücher, die mit heißer Sole getränkt werden. Der dabei entstehende Wasserdampf wird durch einen Luftzug an der Kondensatoreinheit vorbeigeführt. Der Luftstrom bildet ein in sich geschlossenes System. Bei dieser Anlage erfolgt der Transport der Luft zwischen den Bauteilen durch freie

---

<sup>39</sup> (Müller-Holst, 2002, p. 113 ff.)

<sup>40</sup> (Müller-Holst, 2002, p. 131 ff.)

Konvektion bei Umgebungsdruck. Die freie Konvektion entsteht innerhalb eines wärmeisolierten und den Stoffaustausch mit der Umgebung unterbindenden Gehäuses.<sup>41</sup>

Auch diese Anlage arbeitet mit Wärmerückgewinnung, indem sie die Kondensatoreinheit zur Vorwärme des Rohwassers einsetzt. Das destillierte Kondensat rinnt an den Kondensatorplatten herab und wird als Produkt aus der Anlage geführt. Die Luft kühlt sich dabei an den Platten ab und kehrt anschließend zum Verdunster zurück.

Nachdem das salzhaltige Rohwasser vorgewärmt aus den Kondensatorplatten kommt, wird es durch eine externe Wärmequelle, wie beispielsweise einem Flachkollektor auf

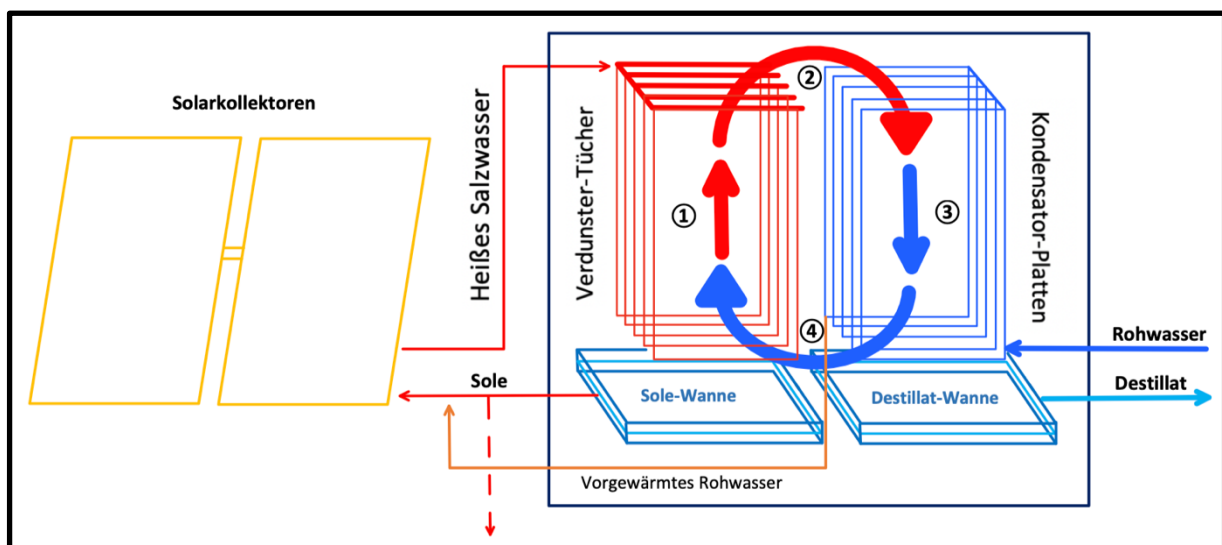


Abbildung 15 Schematische Darstellung einer Mehrfacheffekt-Feuchtluftdestillation bei Umgebungsdruck

Verdunstereinlauftemperatur nacherhitzt. Der Solestrom auf den Tüchern verdunstet nur teilweise zu 5 bis 7 %.<sup>42</sup> Die ablaufende, leicht mit den gelösten Stoffen angereicherte Sole kann entweder nach Abkühlung auf Kondensator-Einlauftemperatur, dem zulaufenden Meerwasser zugemischt werden (Kreislaufprinzip) oder dem Reservoir (z.B. Meer) wieder zugeführt werden. Ist das Reservoir weit entfernt und hohe Pumpleistungen zu berücksichtigen, oder steht nur eine geringe Menge an aufzubereitendem Rohwasser zur Verfügung (z.B. Brackwasserbrunnen) so wird man sicher den Kreislaufbetrieb wählen. Dieser hat auch verfahrenstechnisch einen Vorteil, da man das untere Temperaturniveau des dem Kondensator zugeführten Rohwassers unabhängig von der Reservoir-Temperatur wählen kann. Bei gleichem

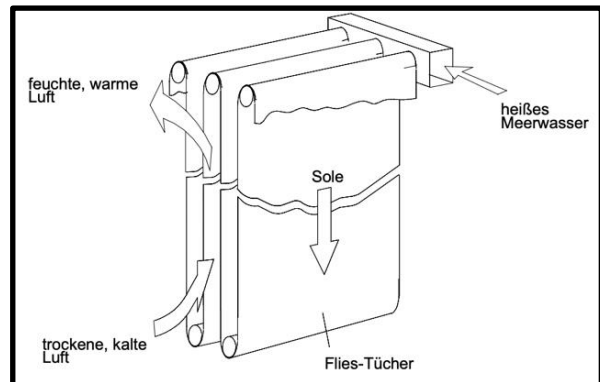
<sup>41</sup> (Müller-Holst, 2002, p. 58)

<sup>42</sup> (Müller-Holst, 2002, p. 58)

Prozesswärmebedarf kann so eine wesentlich höhere Destillationsausbeute erzielt werden. Allerdings muss auch darauf geachtet werden, dass die Sole nicht bis zum Sättigungskonzentrat angereichert wird. Dafür ist eine minimale Zufuhr an frischer Sole sicherzustellen.

## 4.2.2 Verdunster mit Flüssigkeitsverteiler

Abbildung 18 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines Verdunsters mit hängenden Tüchern. Das Hauptverteilerrohr wird mit heißem Meerwasser durchströmt und teilt dieses gleichmäßig auf die Verteilerrohre des Verteilerrechens auf. In den Verteilerrohren befinden sich feine Bohrungen, aus denen die heiße Flüssigkeit auf die Tücher fließt.



Es ist wichtig, dass der Druckabfall bis zum Eintritt in jedes einzelne Rohr möglichst gleichmäßig ist, da die Verteilung der Flüssigkeit vom Hauptrohr auf die Einzelverteilerrohre sonst nicht regelmäßig erfolgt und die Tücher dadurch ungleichmäßig feucht werden.<sup>43</sup>

Abbildung 16 Verdunster mit Verteiler-Rechen und eingehängten Vliestüchern als Verdunstungsflächen (Müller-Holst, 2002)

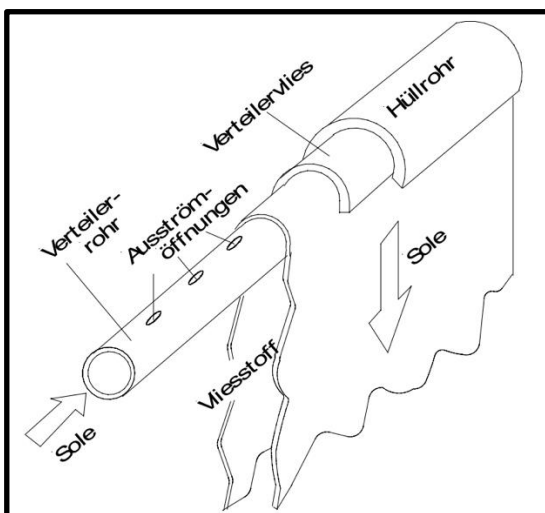


Abbildung 17 Verteilerrohr im Verdunster mit aufgeklebtem Hüllrohr zur Verbesserung der Verteilung (Müller-Holst, 2002)

Eine Optimierung der Wasserverteilung auf die Verdunstertuch-Fläche wurde mit einem Verdunstertuch-Halterohr aus Polycarbonat mit aufgelegtem Verdunstervlies versucht. Fixiert wurde der Verteiler mit einem Hüllrohr. Nach Angaben von Hendrik Müller-Holst wurden „(Müller-Holst, 2002, p. 76 f.) Die extrudierten Vollrohre [...] mit einem Hakenmesser längsgeschlitzt und dann spanabhebend mit einer Fräse bearbeitet. [...] problematisch zeigte sich hier zunächst das Verhalten des Rohres nach dem Schlitzen:

<sup>43</sup> (Müller-Holst, 2002, p. 73)

Da das Rohr offenbar im extrudierten Zustand unter Spannung steht, vergrößert sich der Krümmungsradius des Materials nach dem Schlitten. Dem musste durch eine Änderung der abzuspannenden Materialmenge begegnet werden, um den Umfassungswinkel beizubehalten. Nach thermischer Belastung des Materials in der laufenden Anlage wurde schnell deutlich, dass PP kein geeigneter Werkstoff für diesen Einsatzzweck darstellt. Durch Erwärmung auf knapp über 80 °C wird das Rohr so weich, dass die Biegespannung nicht ausreicht, das Hüllrohr auf dem Verteilerrohr zu halten. Es wird durch den Staudruck der austretenden Flüssigkeit abgehoben und fällt entweder ab oder sitzt so weit über dem Tuch, dass kein Staudruck mehr aufgebaut wird. Härtere und thermisch belastbarere Materialien könnten hier eventuell Abhilfe leisten. Aufgrund der aufgetretenen Schwierigkeiten wurde diese Variante verworfen.“<sup>44</sup>

### 4.2.3 Kondensator

In der Arbeit von Hendrik Müller-Holst wird die Feuchtluftdestillationsanlage mit einem Kondensator getestet, der in Zusammenarbeit mit der Firma T.A.S GmbH & Co. KG in München entworfen und von dieser hergestellt wurde. Es handelt sich hierbei um einen Platten-Kunststoffwärmetauscher mit Stegdoppelplatten der Wandstärke 0,6 mm und einem Rastermaß von 3 mm.<sup>45</sup>

Die Stegdoppelplatten werden von unten nach oben von der kalten Sole durchströmt; im Gegenstrom dazu strömt von oben nach unten die feuchte Luft. Der Wasserdampf setzt sich an den Kondensatorplatten ab und die feuchte Luft kühlt aus. Die anfallende Wärme wird von der Sole aufgenommen woraufhin die Sole den Kondensator stark

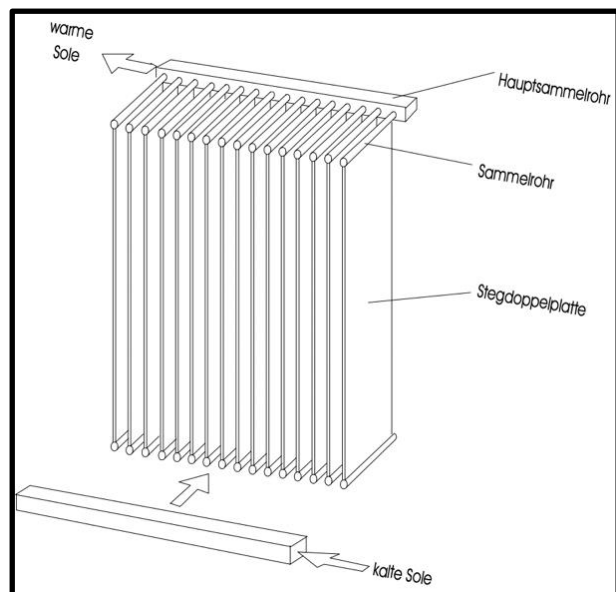


Abbildung 18 Gesamtansicht des Kunststoffkondensators der Fa. T.A.S. GmbH aus Polypropylen (Müller-Holst, 2002)

erwärmt wieder verlässt, um der Prozesswärmequelle zugeführt zu werden. Das sich auf den

<sup>44</sup> (Müller-Holst, 2002, p. 76 f.)

<sup>45</sup> (Müller-Holst, 2002, p. 77 f.)

Kondensatorplatten sammelnde Kondensat fließt nach unten ab, tropft in das Sammelbecken unter dem Kondensator und wird aus der Anlage geführt.<sup>46</sup>

#### 4.2.4 Freie Konvektionsströmung

Die Luft zwischen Verdunster und Kondensator wird durch freie Konvektion in Bewegung gebracht. Dabei wird die Luft im Verdunster erwärmt und befeuchtet (vgl. Abbildung 17-①). Die warme Luft steigt auf und trifft oben auf den Kondensator (vgl. Abbildung 17-②). Hier gibt die Luft ihre Wärme an das Rohwasser ab und das Destillat kondensiert an den Kondensatorplatten (vgl. Abbildung 17-③). Die kalte und entfeuchtete Luft rotiert am Boden zur Verdunsterseite hin (vgl. Abbildung 17-④ ). Global betrachtet verursacht der Dichteunterschied zwischen

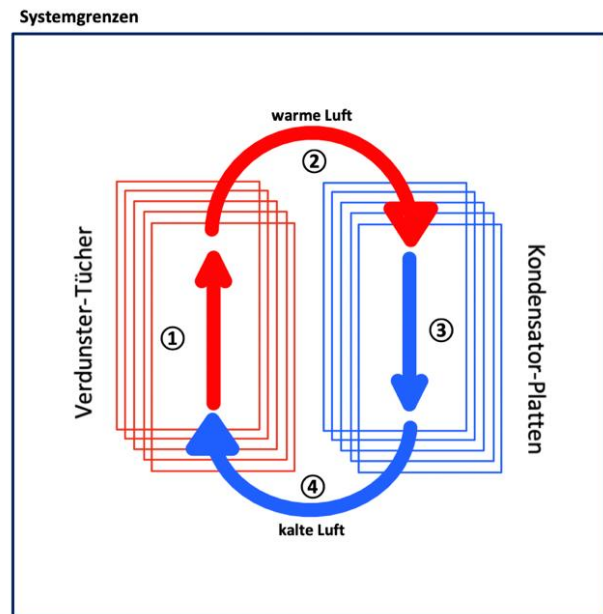


Abbildung 19 Konvektionswalze zwischen Verdunster und Kondensator

der Luftsäule im Kondensator ③ (kühl und trocken) und im Verdunster ① (warm und feucht) eine Konvektionswalze, die gewissermaßen die Hauptströmung darstellt. Bei niedrigen Umwalzgeschwindigkeiten erhöht sich im Verdunster die Luftfeuchtigkeit und die Lufttemperatur der Konvektionswalze, da lokal mehr Zeit für die Diffusion und den Wärmeausgleich zur Verfügung steht. Durch diesen vergrößerten Dichteunterschied erfährt die Konvektionswalze neuen Antrieb und die Umlaufgeschwindigkeit erhöht sich.<sup>47</sup>

#### 4.2.5 Produziertes Destillat

Die benötigte Wärme und Energie für das Feuchtluftdestillationsverfahren kann sowohl mit Solarwärme, Abwärme eines Generators oder direkt mit Strom erfolgen. Diese Bachelorarbeit

<sup>46</sup> (Müller-Holst, 2002, p. 78)

<sup>47</sup> (Müller-Holst, 2002, p. 80)

konzentriert sich auf die Versorgung durch Solarwärme. In Hendrik Müller-Holsts Dissertation<sup>48</sup> wird eine Anlage beschrieben, die 42 Liter Destillat mit 8 qm Kollektorfläche an einem Standort erzeugt, der durchschnittlich 3,2 kWh/m<sup>2</sup> Sonneneinstrahlung pro Tag erhält. Dabei wird erwähnt, dass die 24-stündige Produktion durch einen Wasserspeicher von einer Größe zwischen 3,5 und 5 m<sup>3</sup> ermöglicht werden kann und sinnvoll ist. Dafür muss die Kollektorfläche allerdings auf einen Wert zwischen 35 und 50 m<sup>2</sup> vergrößert werden.<sup>49</sup>

In Tabelle 4 wurden die Werte des Beispiels übernommen und auf die jeweiligen Standorte angepasst. Bei der Kollektorfläche für den Betrieb des Wassertanks zur Wärmespeicherung, wurden 42 m<sup>2</sup> angenommen (zwischen 35-50 m<sup>2</sup>) und bei der Tankgröße an sich wurde mit 4,2 m<sup>3</sup> gerechnet (zwischen 3,5-50 m<sup>3</sup>).

Werden diese Werte auf den Standort Hurghada projiziert<sup>50</sup>, der eine durchschnittliche Sonneneinstrahlung von 8,5 kWh/m<sup>2</sup><sup>51</sup> hat, so ergibt sich bei gleicher Kollektorfläche eine Destillatproduktion von 102 Litern pro Stunde. Das entspricht 73.440 Litern im Monat. (Vgl. Tabelle 4).

Für den Standort Almería, der am Tag durchschnittlich 5,39 kWh/m<sup>2</sup> Sonneneinstrahlung erhält, ergibt sich eine benötigte Nachtspeichergröße von 7,1 m<sup>3</sup> und eine stündliche Süßwasserproduktion von 71 Litern. Das entspricht knapp 51.000 Litern im Monat. (Vgl. Tabelle 4).

---

<sup>48</sup> (Müller-Holst, 2002, p. 113)

<sup>49</sup> (Müller-Holst, 2002, 113f.)

<sup>50</sup> Das Verhältnis zwischen Sonneneinstrahlung, Kollektorgroße und daraus resultierender Destillationsmenge wurden vereinfacht als linear und positiv korrelierend angenommen und dem entsprechend berechnet. Die dadurch entstandenen Werte und Prognosen können daher lediglich als Richtwerte zur groben Einschätzung des Systems genutzt werden.

<sup>51</sup> (Bundesministerium für Wirtschaft und Technik, 2011)



Als Wasserspeicher kann ein herkömmlichere Brauchwasserspeicher eingesetzt werden.

# Destillat - Mehrfache Feuchtluftdestillation bei Umgebungsdruck

Deutschland	
Sonneneinstrahlung	3,2 kWh/m <sup>2</sup>
Kollektorfläche	42 m <sup>2</sup>
Speichergröße	4,2 m <sup>3</sup>
Destillat/ Stunde	42 Liter
Destillat/ Tag	1008 Liter
Destillat/ Monat	30240 Liter
Destillat/ Jahr	367920 Liter

Ägypten - Hurghada	
Sonneneinstrahlung	8,5 kWh/m <sup>2</sup>
Kollektorfläche	42 m <sup>2</sup>
Speichergröße	11,16 m <sup>3</sup>
Destillat/ Stunde	112 Liter
Destillat/ Tag	2678 Liter
Destillat/ Monat	80325 Liter
Destillat/ Jahr	977288 Liter

Spanien - Almería	
Sonneneinstrahlung	5,39 kWh/m <sup>2</sup>
Kollektorfläche	42 m <sup>2</sup>
Speichergröße	7,077 m <sup>3</sup>
Destillat/ Stunde	71 Liter
Destillat/ Tag	1698 Liter
Destillat/ Monat	50951 Liter
Destillat/ Jahr	619907 Liter

## Hurghada

	Wasserbedarf pro Monat	Benötigte Anlagen	Kollektorfläche	Seitenlänge in Metern
Wasserbedarf Mono	1100000 Liter	13,7	575 m <sup>2</sup>	24 m
Wasserbedarf Frucht	528889 Liter	6,6	277 m <sup>2</sup>	17 m

Tabelle 4 Destillat - Mehrfache Fruchtluftdestillation

## 4.2.6 Kosten

Die Berechnung der Kosten einer Anlage in Hurghada (Vgl. Tabelle 5) belaufen sich auf Investitionskosten von 66.255,14 €. Durch die Solarkollektoren ist die Anlage autark und muss nicht an das örtliche Stromnetz angebunden werden. Sowohl bei der „Thermisch isolierten Box“ als auch bei dem „Kondensatormodul“ wurden exemplarische Artikel zur Kalkulation benutzt. Die thermisch isolierte Box wurde durch einen thermisch isolierten Lagerkühlschrank ersetzt und der Kondensator mit einem umfunktionierten Heizkörper.

Feuchtluftdestillation Hurghada					
Stückliste					
Artikel	Einzelpreis	Stückzahl	Einheit	Gesamtkosten	Beschreibung
Arbeitszeit (Aufbau)	5,00 €	300	h	1.500,00 €	Aufbau
Brauchwasserspeicher	1.879,00 €	12	St.	22.548,00 €	Brauchwasserspeicher als Wärmespeicher
Flachkollektor	312,75 €	42	qm	13.135,46 €	
Fundament	70,00 €	70	qm	4.900,00 €	Fundament um Stabilität zu gewähren
Heizungsrohre	9,95 €	80	m	796,00 €	Kupferrohr
Kondensator (Kondensatorfläche = 132 qm)	317,99 €	8	St.	2.543,92 €	Umfunktionierte Heizkörper (Zwei pro Kammer)
Mischventil	139,00 €	6	St.	834,00 €	Zum der Wasserreserven im Wärmespeicher
Pumpe Meerwasser	193,00 €	1	St.	193,00 €	Zum anpumpen des Meerwassers
Pumpe System	43,07 €	4	St.	172,28 €	Für die Verteilung im System
Solarregler	699,00 €	1	St.	699,00 €	Für die Steuerung des Systems
Thermisch isolierte Box	2.999,00 €	4	St.	11.996,00 €	Thermisch isolierte Box, die Wasserdicht ist. Hier wurde exemplarisch ein Lagerkühlschrank eingesetzt, der ähnliche Bedingungen aufweist. 1314x805x(H)2065mm
Verdunster (Flies-Tücher 162 qm)	4,58 €	81	qm	370,98 €	Tücher zum Befeuchten der Luft
Verteilerrechen mit Verteilerrohr	9,95 €	45	m	447,75 €	Kupferrohr
Photovoltaikanlage	611,88 €	10	qm	6.118,75 €	PV Anlage für autarge Stromversorgung Verhältnis von Kollektorfläche zu PV-Anlage etwa 4 zu 1
Ergebnis				66.255,14 €	

Tabelle 5 Stückliste Feuchtluftdestillation - Hurghada

Die Kalkulationen zu Almería sind ähnlich wie am Standort Hurghada, allerdings wird hier ein geringerer Wärmespeicher benötigt, was die Anzahl der Brauchwasserspeicher von 12 auf 7 reduziert. Insgesamt ergeben sich so Gesamtkosten von 56.860,14 €.

Feuchtluftdestillation Almería					
Stückliste					
Name	Einzelpreis	Stückzahl	Einheit	Gesamtkosten	Beschreibung
Arbeitszeit (aufbau)	5,00 €	300	h	1.500,00 €	Aufbau
Brauchwasserspeicher	1.879,00 €	7	St.	13.153,00 €	Brauchwasserspeicher als Wärmespeicher
Flachkollektor	312,75 €	42	qm	13.135,46 €	
Fundament	70,00 €	70	qm	4.900,00 €	Fundament um Stabilität zu gewähren
Heizungsrohre	9,95 €	80	m	796,00 €	Kupferrohr
Kondensator (Kondensatorfläche = 132 qm)	317,99 €	8	St.	2.543,92 €	Umfunkionierte Heizkörper (Zwei pro Kammer)
Mischventil	139,00 €	6	St.	834,00 €	Zum der Wassereserven im Wärmespeicher
Pumpe Meerwasser	193,00 €	1	St.	193,00 €	Zum anpumpen des Meerwassers
Pumpe System	43,07 €	4	St.	172,28 €	Für die Verteilung im System
Solarregler	699,00 €	1	St.	699,00 €	Für die Steuerung des Systems
Thermisch isolierte Box	2.999,00 €	4	St.	11.996,00 €	Thermisch isolierte Box, die Wasserdicht ist. Hier wurde exemplarisch ein Lagerkühlschrank eingesetzt, der ähnliche Bedingungen aufweist. 1314x805x(H)2065mm
Verdunster (Flies-Tücher 162 qm)	4,58 €	81	qm	370,98 €	Tücher zum Befeuchten der Luft
Verteilerrechen mit Verteilerrohr	9,95 €	45	m	447,75 €	Kupferrohr
Photovoltaikanlage	611,88 €	10	qm	6.118,75 €	PV Anlage für autarge Stromversorgung Verhältnis von Kollektorfläche zu PV-Anlage etwar 4 zu 1
Ergebnis				56.860,14 €	

Tabelle 6 Stückliste Feuchtluftdestillation - Almería

## 4.2.7 Fazit - Feuchtluftdestillation

Die Feuchtluftdestillation bei Umgebungsdruck in Kombination mit einem Wärmespeicher für den 24 h Betrieb erweist sich als gute Möglichkeit Wasser zu entsalzen. Mit bis zu 2678 Litern in 24 Stunden ist die Anlage im Verhältnis zu ihrer Kollektorfläche von 42 Quadratmetern sehr effizient und leistungsstark für eine rein solare Entsalzungsanlage.

Auch der autarke Betrieb der Anlage durch Solarkollektoren ist ein enormer Vorteil, der es der Anlage ermöglicht auch an abgelegenen Standorten errichtet zu werden, an denen es keine Anbindung an das örtliche Stromnetz gibt.

Ein großer Haken der Anlage sind allerdings die Investitionskosten. Mit bis zu 66.255,14 € pro Anlage ist der Preis hoch, vor allem wenn für die Bewässerung teilweise die 6- bis 12-fache Anlagengröße benötigt wird.

Im Folgenden werden alle weiteren Kalkulationen der vorliegenden Arbeit mit dieser Anlage vorgenommen. Das liegt vor allem daran, dass die Feuchtluftdestillation bei Umgebungsdruck mehr Destillat produziert als die mehrstufige Entsalzung.

## 5. Plantage

Die trockenen Bedingungen der Wüste stellen Landwirte vor Ort vor große Herausforderungen. Doch einige Projekte beweisen, dass selbst unter diesen Bedingungen Landwirtschaft möglich ist. Eines der bekanntesten Beispiele hierfür ist die Sekem-Farm in Ägypten, die in der Wüste mittlerweile 25.000 Hektar Land begrünt und etwa 2000 Menschen einen Arbeitsplatz bietet. Dabei wird viel Wert auf die nachhaltige Bewirtschaftung des Wüstenbodens gelegt.<sup>52</sup>

### 5.1 Anbautechniken

#### 5.1.1 Boden



Abbildung 20 Wüstenplantage Sekem-Farm

Ein fruchtbarer Boden ist der Schlüssel zu produktiver Landwirtschaft. Ansätze wie der Windschutz, Kompostierung und angepasste Bewässerungstechniken im Ackerbau sorgen für den Erhalt und die Anreicherung von Nährstoffen im Boden. So kann sogar auf kargem Wüstenboden eine Plantage entstehen, die den Anbau verschiedener Pflanzen zulässt.

#### *Windschutz*

Der Schutz vor Wind ist ein wichtiger Bestandteil, um den Boden vor Erosion zu bewahren, denn durch Winderosion und dem damit einhergehenden Abtragen von fruchtbarem Boden wird Desertifikation stark gefördert. Um dem entgegenzuwirken, können Baumreihen gepflanzt werden. Hier bieten sich Kasuarinen an, da sie nur wenig Wasser benötigen und das Holz und die



Abbildung 21 Kasuarinen Baumreihe als Windschutz

---

<sup>52</sup> (Abouleish, 2022)

Blätter zur Weiterverarbeitung genutzt werden können. An manchen Stellen der Sekem-Farm umfasst der Windschutz eine Breite von bis zu 10 Baumreihen.<sup>53</sup>

Auch Gewächshäuser, wie sie in Südspanien zum Einsatz kommen, schützen vor Winderosionen. Wenn die Temperaturen zwischen Sommer und Winter stark schwanken, können Gewächshäuser auch für ausgeglichene Temperaturen sorgen. Dadurch kann früher angepflanzt und später geerntet werden. Das kann die Ernte oft verdoppeln oder sogar verdreifachen.

### *Kompostierung*



*Abbildung 22 Komposthaufen Sekem-Farm*

Die Kompostierung ist ein wichtiger Teil der Bodenerhaltung und Bodenverbesserung. Pflanzenreste, Strauchschnitt, Kot und Einstreu können hier verwendet werden. Sekem bedient sich hier sogar der Nebenprodukte einer nahegelegenen Instantkaffe-Produktion. Die Veredelung der Abfälle zu nährstoffreichem Boden basiert auf Mikroorganismen, wie heterotrophe Bakterien, Aktinomyceten, Pilze und

Protozoen, die Sauerstoff und Wasser benötigen. Sobald die Kerntemperatur 65°C oder der CO<sub>2</sub>-Gehalt 11 % erreicht, muss der Komposthaufen umgesetzt werden. Unter „richtiger“ Bakterienmischung entsteht idealer Dünger für die Pflanzen.<sup>54</sup>

### *Fruchtfolge*

Die Fruchtfolge stellt einen wesentlichen Bestandteil für erfolgreichen Pflanzenanbau im ökologischen Rahmen dar.<sup>55</sup> Krankheits- und Schädlingsdruck, sowie die Unkrautbildung und die Nährstoffversorgung aller Fruchtfolgeglieder werden davon beeinflusst. Um den Boden mit

---

<sup>53</sup> (WBECKE, 2016)

<sup>54</sup> (Böthling, 2020)

<sup>55</sup> (Verena, 2012)

Stickstoff zu bereichern, werden Leguminosen (Hülsenfrüchte) angebaut, denn die Knöllchenbakterien, die sich an den Wurzeln der Pflanzen ansiedeln, wandeln Luftstickstoff in Stickstoff um, der für Pflanzen nutzbar ist. Ein weiterer Vorteil der Hülsenfrüchte ist, dass der oberirdische Aufbau als Viehfutter genutzt werden kann. Die dabei entstehende Gülle und der Stallmist können als Stickstoff-Dünger für die Marktfrüchte eingesetzt werden.<sup>56</sup>

Typische Fruchtfolgen rotieren also zwischen stickstofffördernden Leguminosen und stickstoffverbrauchenden Marktpflanzen, um den Boden nicht einseitig zu belasten.

Um eine sinnvolle Fruchtfolge zu planen, macht es Sinn die Pflanzen in die Kategorie Stark-, Mittel- und Schwachzehrer einzuteilen. Dabei sind Starkzehrer Pflanzen, die dem Boden viele Nährstoffe entziehen. Hier sollte das Feld schon im Vorfeld auf die starke Belastung vorbereitet werden. Zusätzlich braucht die Pflanze beim Anbau eine regelmäßige Düngung. Zu den Starkzehrern gehören beispielsweise Gurken, Zucchini und Tomaten.

Die Mittelzehrer benötigen nicht ganz so viele Nährstoffe wie die Starkzehrer. Hier muss nicht so stark vorbereitet und gedüngt werden. Rote Bete, Kohlrabi und Karotten zählen zu dieser Kategorie.

Als Schwachzehrer zählen Bohnen und Erbsen. Sie benötigen wenig Düngung und helfen dabei, die Qualität des Bodens zu verbessern und können oft auch als Grünschnitt oder Tierfutter verwendet werden.<sup>57</sup>

Eine gängige Reihenfolge beim Bepflanzen der Felder ist:

**Starkzehrer → Mittelzehrer → Schwachzehrer**

Nach der Ernte des Schwachzehrers, beginnt die Reihenfolge wieder von vorn.

---

<sup>56</sup> (Schneider, et al., 2012)

<sup>57</sup> (Plantura GmbH, 2019)



## 5.1.2 Bewässerung

Ein sparsamer Umgang mit Wasser ist wichtig, da die Wassermenge begrenzt ist. Dennoch ist die regelmäßige Flutung der Felder weiterhin eine weit verbreitete Bewässerungsmethode in Ägypten. Hierbei wird jedoch viel Wasser benötigt. Um das Wasser effizienter einzusetzen, kann entweder ein Rohrleitungssystem verlegt werden, das mit Tröpfchenbewässerung die Pflanzen mit Wasser versorgt oder es wird eine Sprinklerbewässerung eingesetzt.<sup>58</sup>

### *Tröpfchenbewässerung*

Die Tröpfchenbewässerung setzt das gegebene Wasser am effizientesten ein. Durch Tropfvorrichtungen am Bewässerungsschlauch tropft das Wasser regelmäßig an den Stamm der Pflanzen und versorgt diese so mit genau der Menge an Wasser, die sie benötigt. Durch diese Form der Bewässerung verdunstet auch nicht so viel Wasser wie bei der Flutung oder der Sprinklerbewässerung.<sup>59</sup>



Abbildung 23 Tröpfchenbewässerung

Ein weiterer Vorteil ist, dass die Blätter der Pflanzen nicht mit Wasser benetzt werden und dadurch Pilzkrankheiten nicht weiter gefördert werden.

Ein Nachteil der Tröpfchenbewässerung ist, dass Schläuche und Tropfer durch die Beimischung von Düngermitteln verstopfen können. Ein verstopfter Schlauch ist oft nicht leicht zu erkennen und kann für Schäden an den Pflanzen sorgen. Das Verstopfen kann allerdings durch vorgeschaltete Filter teilweise verhindert werden.

Auch die großen Abstände zwischen den Pflanzen führen dazu, dass die Fläche nicht optimal genutzt wird. Andere Verfahren erlauben einen dichteren Anbau.

---

<sup>58</sup> (Wlcek, 2016)

<sup>59</sup> (Böthling, 2020)

Bei Gefälle, wie zum Beispiel an steileren Bergen, muss ein druckausgleichendes und damit teureres System genutzt werden, damit das Wasser nicht nur am unteren Ende des Berges ankommt.

Auch die Bearbeitungsmöglichkeiten durch den Einsatz von Maschinen ist durch das Schlauchsystem am Boden eingeschränkt.<sup>60</sup>

### *Sprinklerbewässerung*



Abbildung 24 Kreisberegnungsanlage

Die Sprinkler werden häufig als Kreisberegnungsanlagen eingesetzt. Das künstliche Beregnungssystem ist zuverlässig, kaum störanfällig und erleichtert die Bearbeitung der Felder, da hier keine Leitungen am Boden verlegt werden müssen.<sup>61</sup> Obwohl hier mehr Wasser verbraucht wird als bei der

Tröpfchenbewässerung, kann laut Angaben von Sekems Farmmanager Hany Hassanein<sup>62</sup> fast der doppelte Ertrag erwirtschaftet werden, weil durch die flächendeckende Bewässerung enger gepflanzt werden kann.

## **5.2 Pflanzen**

Im folgenden Abschnitt wird eine Fruchtfolge aus Yamswurzeln, Erdnüssen und Weidegras einer Monokultur mit Orangenbäumen gegenübergestellt. Abschließend wird ein Fazit gezogen, welche der beiden Konzepte für den Anbau in der Wüste vorteilhafter und gewinnbringender ist.

---

<sup>60</sup> (Böthling, 2020)

<sup>61</sup> (Böthling, 2020)

<sup>62</sup> (Böthling, 2020)

### 5.2.1 Fruchtfolge aus Yamswurzeln, Erdnüssen und Weidegras

Da die Fruchtfolgen absteigend von Stark- nach Schwachzehrer angeordnet wird, werden für diese Arbeit zunächst Yamswurzeln (Starkzehrer) dann Erdnüsse (Mittelzehrer) und abschließend Klee groß (Schwachzehrer) angepflanzt. Insgesamt nimmt die Folge eine Zeitspanne von 1,5 Jahren ein, bevor sie sich wiederholt und wieder von neuem beginnt.

Um die Marktpreise in Ägypten für die Yamswurzel, sowie die Erdnuss zu ermitteln, wurde Abdulrahman Mohammed<sup>63</sup>, ein Supermarktbefitzer in Kairo befragt. Laut seinen Aussagen werden Erdnüsse (Stand 1.07.2022) für 3,03 €/kg und Yamswurzeln für bis zu 1,31 €/kg auf dem ägyptischen Markt gehandelt.

Yamswurzeln erzielen einen Ernteertrag zwischen 13,6 t/ha und 27,4 t/ha.<sup>64</sup> Daraus errechnet sich bei einem Marktpreis von 1,31 €/kg ein Umsatz von 17.816 € bis 35.894 € pro Ernte für Yamswurzeln pro Hektar.

Erdnüsse erzielen in Ägypten 2020 einen durchschnittlichen Ernteertrag von 3,34 t/ha.<sup>65</sup> Bei einem Marktpreis von 3,03 €/kg ergibt sich so ein Umsatz von 10.120,2 € pro Hektar.

Eine detaillierte Aufstellung der Erträge und Einnahmen folgt auf Seite 47.

Das Weidegras dient vollständig der Futtermittelversorgung der Nutztiere und der Regeneration des Bodens. In dieser Bachelorarbeit werden Schafe als Nutztiere eingesetzt. Das Halten von Tieren ist eine große Bereicherung in diesem System, da der Stallmist für die Kompostierung genutzt werden kann. Zusätzliche Nebenprodukte wie Wolle und Milch fallen hier ebenfalls an, werden in dieser Bachelorarbeit allerdings nicht weiter berücksichtigt.

---

<sup>63</sup> (Mohammed, 2022)

<sup>64</sup> (Kouakou A. M, 2012, p. 4154)

<sup>65</sup> (proplanta, 2020)



### *Starkzehrer (Dioscorea alata C18 -weiße Yam)*

In Afrika hat die Yamswurzel eine ähnliche Bedeutung wie die Kartoffel in Europa. Trotz einigen Gemeinsamkeiten unterscheidet sie sich in manchen Punkten auch stark von der Kartoffel. Yamswurzeln gehören zu der Pflanzengattung der Dioscorea, welche in etwa 250 verschiedene Arten umfasst.<sup>66</sup> Einige davon werden mit dem Sammelbegriff Yamswurzeln oder Yam



bezeichnet. In Afrika gehört die Wurzel zu *Abbildung 25 Yamswurzel*

den wichtigsten Grundnahrungsmitteln und wird häufig zu einem Kartoffelbrei ähnlichem Gericht namens „Fufu“ verarbeitet. Ursprünglich kommen die Yams aus Asien und Afrika.<sup>67</sup> Die größten Anbauflächen sind allerdings in Afrika zu finden. Dort werden auf etwa 2,3 Millionen Hektar Yamswurzeln angebaut. Das entspricht beinahe der gesamten Anbaufläche weltweit, die etwa 2,5 Millionen Hektar beträgt.<sup>68</sup> Unter tropischen Bedingungen wächst die Pflanze das ganze Jahr über. Durch ihren geringen Kalorien- und Fettanteil, sowie dem niedrigen Kohlehydratanteil, kann sie auch von figurbewussten Menschen guten Gewissens verspeist werden. Die weiteren Inhaltsstoffe ähneln der der Kartoffel. Neben Kalium weist das Gemüse auch 10 mg Vitamin C pro 100g und jeweils 23 mg Magnesium und Kalzium auf, weshalb sie auch oft als Heilpflanze bezeichnet wird<sup>69</sup>. Ähnlich wie Kartoffeln, hält sich die Yamswurzel bei richtiger Lagerung wochenlang; dabei sollte der Lagerraum unter 13 Grad und nicht zu trocken sein.<sup>70</sup>

Für den Anbau der Yamswurzel wurde in dieser Arbeit die Art der Dioscorea alata C18 (weiße Yam) ausgewählt. Vor allem in den letzten Jahren erfährt diese Art aufgrund ihrer Krankheitsresistenz, ihrer Ertragszahlen und ihrer kulinarischen Eigenschaften große

---

<sup>66</sup> (Koelle, 2019)

<sup>67</sup> (yamswurzel.net, 2014)

<sup>68</sup> (Koelle, 2019)

<sup>69</sup> (SUPPLEMENTBIBEL, 2022)

<sup>70</sup> (Koelle, 2019)

Beliebtheit auf den Feldern der afrikanischen Bauern. Das “Journal of Applied Biosciences“ Magazin schreibt in seiner 57. Ausgabe, dass der Ertrag der D. alata C18 in einem Feldversuch 1999 bei 13,6 t/ha und 2000 sogar bei 27,4 t/ha lag<sup>71</sup>. Obwohl andere Sorten der Yam wie beispielsweise Akassa mit 31,2 t/ha deutlich mehr Ertrag geben würden, wird die C18 Variante auf Grund ihres Geschmacks stark bevorzugt<sup>72</sup>.

Der Wasserbedarf der Yamswurzel ist nur in den ersten 6 Monaten hoch. Wilde Yams würden unter einen Jährlichen Niederschlag von 1000 – 1500 mm<sup>73</sup> gut gedeihen. Durch die gezielte Bewässerung mit Bewässerungssystemen kann von 1000 mm ausgegangen werden.

Um den Boden auf den intensiven Stickstoffverbrauch der Yamswurzel vorzubereiten, wird als Vorfrucht die Erdnuss als Hülsenfrucht empfohlen. Als Dünger wird Kompost von Grünschnitt und Stallmist aus der Viehhaltung verwendet.

Das Beet der Yamswurzel muss einige Besonderheiten aufweisen. Da die Pflanze eine Kletterpflanze ist, die zwischen 2-4 Meter hoch werden kann<sup>74</sup>, müssen gewisse Kletterkonstruktionen angefertigt werden. Um den Preis und die Rodung von Sträuchern in der Wüste zu unterbinden, werden hier Seilkonstruktionen empfohlen.

Beim Säen der Pflanzen können Wurzelstücke der Vorernte genutzt werden. Die Keim-Rate liegt durchschnittlich bei 87%<sup>75</sup>. Vor dem Säen wird die Wurzel oft in Asche eingetaucht. Das schützt vor Schädlingen.

Ist die Pflanze eingesetzt, lässt sich ihr Wachstum in 4 Phasen untergliedern:<sup>76</sup>

1. Die erste Phase erstreckt sich von 0-6 Wochen nach dem Säen und ist durch ein umfangreiches Wurzel- und Rankenwachstum bei einer sehr begrenzten Blattentwicklung gekennzeichnet.

---

<sup>71</sup> (Kouakou A. M, 2012)

<sup>72</sup> (Kouakou A. M, 2012)

<sup>73</sup> (CABI, 2019)

<sup>74</sup> (yamswurzel.net, 2014)

<sup>75</sup> (Kouakou A. M, 2012)

<sup>76</sup> (CABI, 2022)

2. Die zweite Phase von 6-12 Wochen nach dem Säen ist durch ein begrenztes Wurzelwachstum, ein umfangreiches Spross- und Blattwachstum und dem Beginn der Knollenbildung gekennzeichnet.
3. Die dritte Phase, die bis zum Ende der Saison andauert, ist durch Knollenbildung und Reife gekennzeichnet. Das Wurzel- und Sprosswachstum ist in dieser Phase sehr begrenzt. Die gesamte Wachstumszeit beträgt 8-10 Monate.
4. In der vierten Phase senkt sich der Trieb und stirbt ab und die Knollen gehen in eine Ruhephase von 2 bis 4 Monaten über, bevor sie wieder austreiben.

Nach der dritten Phase kann die Pflanze allerdings geerntet werden, weshalb die vierte Phase ausgelassen wird. Anstelle der 4. Phase können hier sogenannte Zwischenfrüchte gepflanzt werden, die die Bodenbeschaffenheit aufwerten.

Die Ernte der Yamswurzel gestaltet sich allerdings als aufwendig, da die Wurzeln der Yams bis zu einem Meter tief ins Erdreich vordringen können<sup>77</sup>. Hierbei muss darauf geachtet werden, die Knolle der Yams nicht zu beschädigen, da sich andernfalls die Haltbarkeit stark verkürzt.

Da die Knolle allerdings lockeren und sandigen Boden bevorzugt, kann die Pflanze meist unbeschädigt aus dem Boden gelöst werden.

### *Mittelzehrer (Erdnuss)*

Erdnüsse gehören zur Familie der Leguminosen und bildet daher eine Symbiose mit Knöllchenbakterien, die den Boden mit Stickstoff anreichern.<sup>78</sup>

Die Erdnüsse werden direkt nach der Ernte der Yamswurzel angebaut. Dabei benötigt die Erdnuss insgesamt 5 sonnige Monate, um zu reifen. In freier Wildbahn wäre die Erdnuss auf etwa 500 – 1000 mm Niederschlag im Jahr<sup>79</sup> angewiesen. Durch die gezielte Bewässerung kann mit einem Wasserbedarf von 500 mm pro Jahr, also 41mm pro Monat gerechnet werden.

Die reifen Früchte befinden sich nur knapp unter dem Boden und lassen sich leicht aus der Erde lösen. Bei der Ernte muss darauf geachtet werden, dass so wenig Erde wie möglich an den

---

<sup>77</sup> (yamswurzel.net, 2014)

<sup>78</sup> (IWOFR Conference , 2021)

<sup>79</sup> (IWOFR Conference , 2021)

Nüssen hängen bleibt, denn diese Erde ist besonders stickstoffhaltig und unter anderem der Grund dafür, dass Leguminosen angepflanzt werden. Nach der Ernte kann die obere Erdschicht mit Kompost angereichert werden, so dass sich eine etwa 30cm dicke, nährstoffreiche Humusschicht bildet. In Summe ist es wichtig, dass die Humusschicht tendenziell eher zunimmt statt abnimmt, damit der Boden nicht degradiert. Unter der Humusschicht kann leicht sandiger Boden liegen. Da sowohl die Yamswurzeln als auch die Erdnüsse Staunässe nicht gut vertragen, kann das Wasser hier problemlos durch den Sand abfließen. Idealerweise ist der Sandboden unter der Humusschicht bis zu einer Tiefe von 1m leicht mit Komposterde angereichert. Die kleinen Kompostkügelchen in der Erde halten das Wasser länger und geben Nährstoffe an die Wurzeln der Pflanzen ab.

Um den Boden weiter vor dem Austrocknen und der Abtragung durch Witterung zu schützen, sollte die Humusschicht gemulcht werden. Hierfür wird eine ca. 2-5cm dicke Schicht aus unverrotteten organischen Materialien (Mulch) aufgetragen<sup>80</sup>. Aufgrund der trockenen und windigen Bedingungen bietet sich Rindenmulch an, da er nicht so leicht weggeweht wird und resistenter gegen Sonnenlicht ist als Grünschnitt.

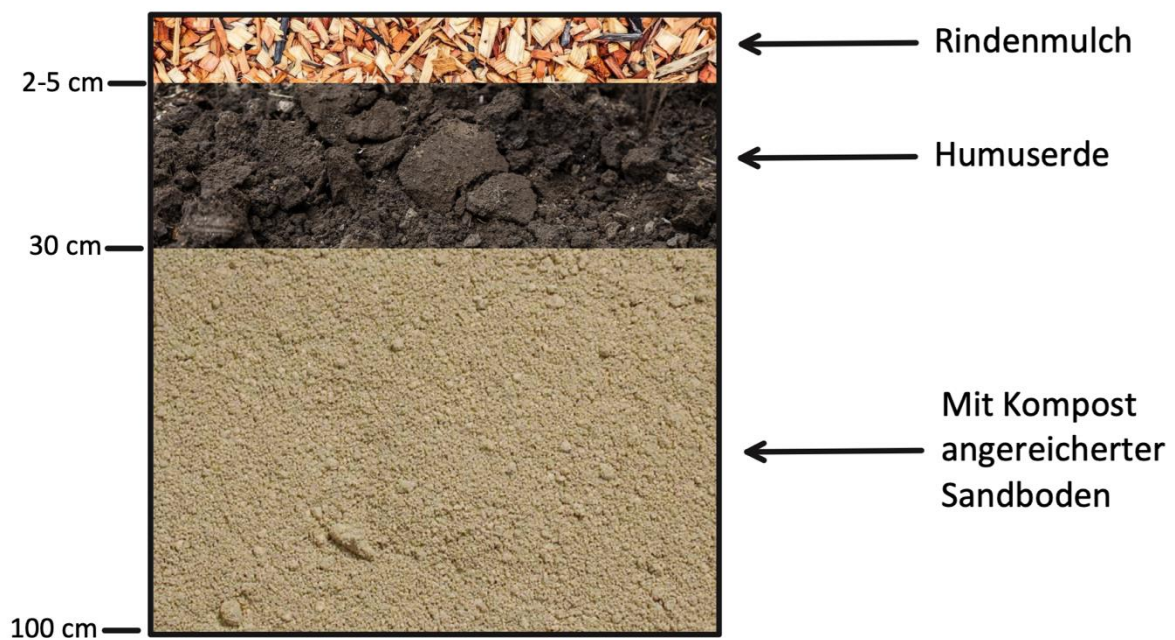


Abbildung 26 Bodenschichten beim Anbau der Fruchtfolge

<sup>80</sup> (wikipedia, 2022)

### *Schwachzehrer (Einjähriges Weidegras)*

Als Schwachzehrer oder Zwischenfrucht wird das einjährige Weidegras eingesetzt. Das Gras dient der Bodenaufbereitung und als Futterquelle für Nutztiere.<sup>81</sup> Bereits nach 8-10 Wochen<sup>82</sup> bringen die Gräser einen Ertrag von 3-4 t/ha (Trockenmasse)<sup>83</sup>.

Ein Schaf frisst rund 3,5% seines Körpergewichtes. Ein schwangeres Schaf mit 65 kg benötigt also 2,28 kg Heu pro Tag<sup>84</sup>. Bei einer Ernte von 3 Tonnen könnte ein Schaf also ca. 1300 Tage oder 3.61 Jahre gefüttert werden.



Abbildung 27 Einjähriges Weidegras

Der Anbau des Weidegrases erfolgt direkt im Anschluss an die Ernte der Erdnuss. Hier muss darauf geachtet werden, dass der Boden nicht zu lange brach liegt, da er sonst austrocknet. Das einjährige Weidegras wächst in Regionen mit rund 700 mm Niederschlag im Jahr. Das entspricht rund 58mm im Monat.

### *Wasserbedarf*

Der durchschnittliche Wasserbedarf der Fruchtfolge ist nicht so hoch wie der Bedarf der Monokultur. Eine Besonderheit der Fruchtfolge ist, dass manche Glieder einen höheren Wasserbedarf haben als andere. In Summe ergibt sich so eine monatliche Wassermenge von 528.889 Liter.

Um den Wasserbedarf der Fruchtfolge mit der Feuchtluftdestillationsanlage aus Kapitel 4.2 zu decken, benötigt es rund  $(528.889 \text{ Liter} / 80.325 \text{ Liter} =) \mathbf{6,6\text{-mal die Anlagengröße}}$ , wie sie

---

<sup>81</sup> (Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, 2011)

<sup>82</sup> (saatgut2000, 2000)

<sup>83</sup> (Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen)

<sup>84</sup> (Schwarz, 2021)

oben beschrieben wird. Das entspricht einer Kollektorfläche von  $(42 \text{ qm} * 6,6 =) \mathbf{277 \text{ qm}}$ . Im Vergleich zur Ackerfläche von einem Hektar sind das rund **2,8 %**.

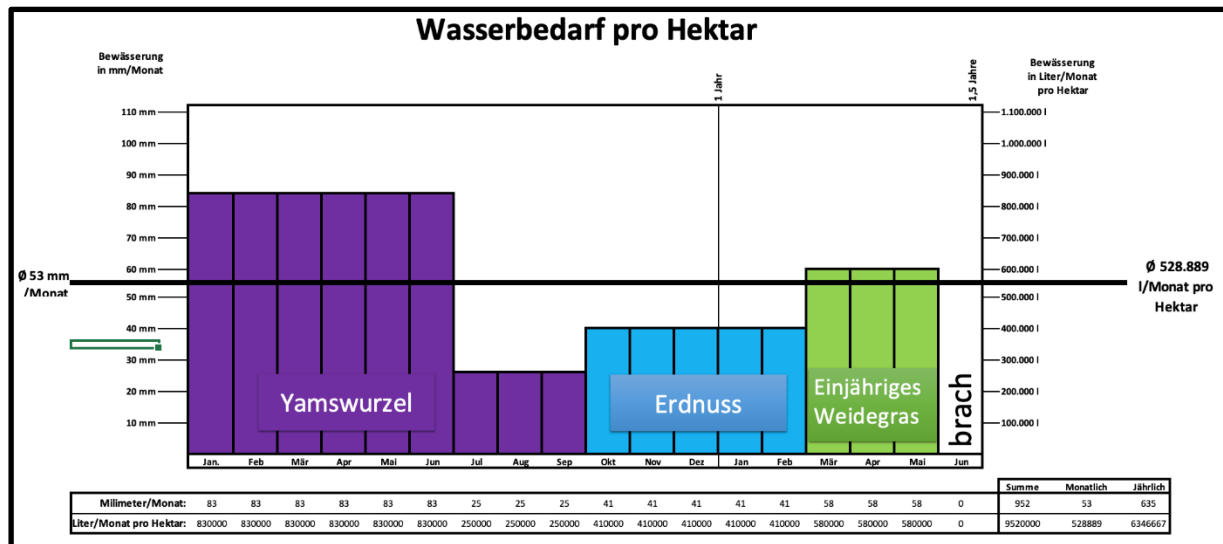


Tabelle 7 Wasserbedarf der Fruchtfolge

Tabelle 7 veranschaulicht den unterschiedlichen Wasserbedarf der einzelnen Glieder der Fruchtfolge. Unterhalb der Grafik steht der monatliche Verbrauch der Pflanze sowohl in Millimetern/Hektar als auch in Litern/Hektar. Auch der durchschnittliche Monatsverbrauch wurde errechnet und auf der Grafik mit einem horizontalen Balken eingetragen. Durchschnittlich verbraucht die Fruchtfolge Monatlich 528.889 Liter/Hektar. Daraus ergibt sich eine jährliche Menge von insgesamt 6.346.667 Liter/Hektar.

### Fixkosten

Die Investitionskosten einer Entsalzungsanlage dieser Größe belaufen sich auf  $(66.255,14 \text{ €} * 6,6 =) \mathbf{437.284,91 \text{ €}}$ . Zuzüglich zu den Anlagekosten, kommen die Investitionskosten, die beim Anlegen der Ackerflächen anfallen. An Werkzeug werden hier mehr Hacken, Schaufeln und Mistgabeln benötigt, als bei der Monokultur, da hier der Boden stärker bearbeitet werden muss. Zusätzlich muss hier mit einer Sense das Weidegras gemäht werden.

Es wird auch mehr Seil benötigt, da für die Yamswurzeln spezielle Stützen für die Ranken errichtet werden. Zusätzlich ist auch das Bewässerungssystem komplexer als das der Monokultur, da die einzelnen Pflanzen enger und die Reihen dichter verlaufen.

So errechnen sich 613.664,51 € an fixen Kosten, die zum Start der Farm investiert werden müssen. Tabelle 8 zeigt eine detaillierte Auflistung der anfallenden Fixkosten mit Stückzahl und Beschreibung der Gegenstände.

## Fruchtfolge pro Hektar

Fixe Kosten				
	Einzelpreis	Stückzahl	Gesamtkosten	Beschreibung
<b>Entsalzung Fixkosten</b>				
Anlage	66.255,14 €	6,6	437.283,91 €	Das gesamte Anlagensystem
<b>Plantage Fixkosten</b>				
<b>Werkzeug</b>				
Hacke	31,95	30	958,50 €	Bearbeitung des Feldes
Schaufel	8,95 €	30	268,50 €	Bearbeitung des Feldes
Mistgabel	29,95 €	20	599,00 €	Kompostierung des Tiermists
Leiter	89,00 €	1	89,00 €	Reparaturaufgaben
Gartenschere	16,49 €	10	164,90 €	beschneidung von Pflanzen
Hammer	3,95 €	10	39,50 €	Reparaturarbeiten
Vorschlaghammer	29,95 €	10	299,50 €	plazieren von Pfählen
Unkrautstecher	36,49 €	20	729,80 €	Unkrautbekämpfung
Säge	8,95 €	10	89,50 €	Reparaturarbeiten
Sense	29,49 €	10	294,90 €	Mähen von Weidegras
Schubkarren	39,96 €	40	1.598,40 €	Transport
<b>Lager &amp; Geräteschuppen</b>				
Seil	0,45 €	1000	450,00 €	Errichten von Ranken-Gestell
Holz	14,25 €	600	8.550,00 €	Errichten von Lager und Geräteschuppen
Nagel	0,10 €	1000	100,00 €	Reparaturarbeiten
Arbeitsstunden	5,00 €	100	500,00 €	Aufbauarbeiten
<b>Bewässerungssystem</b>				
Schlauch	14,95 €	10.000	149.500,00 €	Wasserverteilung
Pumpe	193,00 €	50	9.650,00 €	Wasserverteilung
Sieb	24,99 €	100	2.499,00 €	Wasserfilterung
Verteiler	2,95 €	100	295,00 €	Wasserverteilung
<b>Summe :</b>			<b>613.959,41 €</b>	

Tabelle 8 Fixkosten der Fruchtfolge

### Variable Kosten

Um die Entsalzungsanlage zu betreiben, wird im Gegensatz zur Monokultur nur eine Person benötigt. Dafür gibt es hier 4 Vollzeitangestellte und 2 Teilzeitkräfte, die bei der Ernte und dem Sähen helfen. So ergibt sich bei der Ernte und dem Sähen der Pflanzen für jeden Angestellten eine Fläche von 1666 Quadratmetern die zu bearbeiten sind. Tabelle 9 listet alle anfallenden Personalkosten auf.



Variable Kosten pro Jahr				
	Einzelpreis	Stückzahl	Gesamtkosten	Beschreibung
<b>Entsorgung variable Kosten pro Jahr</b>				
Strom	-			Anlage ist autark
Wartung durch Personal	1,69 €	1920	3.240,00 €	Wartung
<b>Plantage variable Kosten pro Jahr</b>				
<b>Personal</b>				
Personal (40h Woche)	1,69 €	7680	12.960,00 €	4 Vollzeitarbeitskräfte
Erntehelfer (20h Woche)	1,69 €	1920	3.240,00 €	2 Teilzeit Erntehelfer
<b>Summe :</b>			<b>19.440,00 €</b>	

Tabelle 9 Variable Kosten der Fruchtfolge

## Einnahmen

Der jährliche Umsatz der Fruchtfolge beläuft sich auf **32.116 €** und setzt sich zusammen aus den Erträgen der Yamswurzel und der Erdnuss, da das einjährige Weidelgras nicht auf dem Markt angebaut wird. (Siehe Tabelle 10)

Wichtig ist hier zu beachten, dass sich die Ernte der Yamswurzel im Idealfall zwar auf 27,4 t/ha beläuft, die Fruchtfolge aber insgesamt 1,5 Jahre läuft. Um den Ertrag pro Jahr zu erhalten, müssen die 27,4 mit (2/3) multipliziert werden was jährlich 18,3 t/ha ergibt. Das gleiche gilt auch für die Erdnuss.

Werden die variablen Kosten vom Umsatz abgezogen, so ergibt sich der jährliche Gewinn.

$$35.216 \text{ €} - 19.440 \text{ €} = 15.776 \text{ €}$$

Umsatz pro Jahr			
	Marktpreis	Tonnen / Hektar jährlich*	Umsatz pro Jahr
<b>Ertrag</b>			
<b>Yamswurzel</b>	1,55 €	18,3	28.313,33 €
<b>Erdnuss</b>	3,10 €	2,23	6.902,67 €
<b>Einjähriges Weidegras</b>	0,00 €	0,00 €	0,00 €
<b>Summe :</b>			<b>35.216,00 €</b>

\* Da die Fruchtfolge sich über 1,5 Jahre erstreckt, muss der Ertrag pro Hektar mit (2/3) multipliziert werden, um den Ertrag pro Jahr zu erhalten

Tabelle 10 Jährliche Einnahmen der Fruchtfolge



## Break-Even Point

Unter diesen Umständen begleichen die Einnahmen nach **39 Jahren** die Investitionskosten.

Die blaue Kurve in Tabelle 11 zeigt den Kostenverlauf zusammengesetzt aus fixen- und variablen Kosten. Die orangene Linie zeigt die erzielten Einnahmen und die graue Linie visualisiert das aktuelle Guthaben.

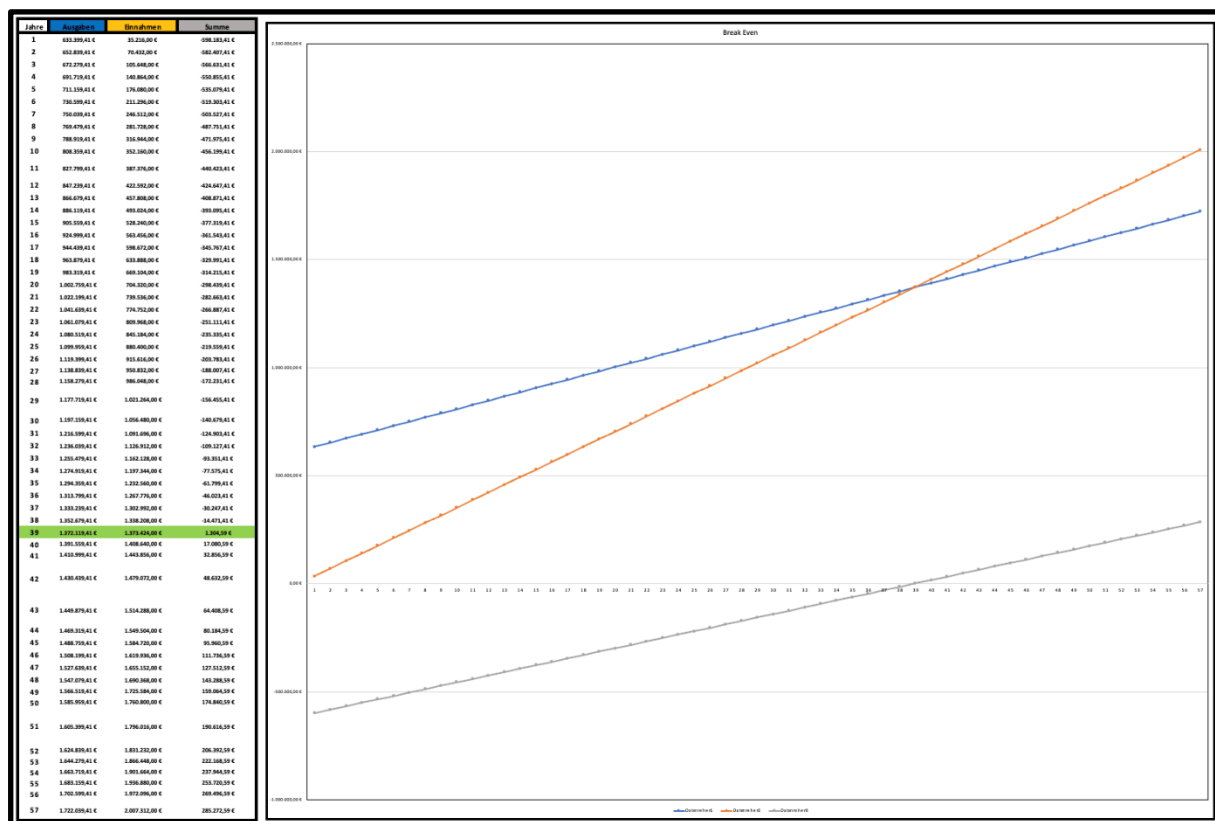


Tabelle 11 Break-Even Point - Fruchtfolge

## Zusammenfassung Fruchtfolge

Die Fruchtfolge in Kombination mit der vorgestellten Feuchtluftdestillation bei Umgebungsdruck ist **kein wirtschaftlich tragbares System**.

Obwohl die Kalkulationen ergeben, dass es jährlich zu einem Gewinn von 15.776 € kommt, so sind die Investitionskosten und die laufenden Kosten so groß, dass das Konzept erst nach 39 Jahren ein positives Einkommen erwirtschaftet. Wenn für die Investition ein Kredit

aufgenommen werden muss, der parallel zu den variablen Kosten getilgt wird, verzögert sich die Rückzahlung sogar noch weiter.

Ein weiterer Punkt ist, dass es im Rahmen dieser Bachelorarbeit nicht möglich war, eine Ausführliche Risikoanalyse in die Kalkulationen mit aufzunehmen. Die Berechnungen gehen von idealen Ernten und Marktpreisen aus und lassen keinen Raum für Marktschwankungen und Ernteausfälle durch Krankheiten oder ähnliches. Vor allem diese unbekannten Risiken könnten allerdings große Gewinneinbußen mit sich bringen.

Die Löhne der Angestellten sind mit dem Mindestlohn von Ägypten angesetzt. Die Arbeit ist allerdings sehr anstrengend und Bereiche wie die Wartung der Entsalzungsanlage benötigt einen gewissen Grad an Expertise. Ein Anstieg des Mindestlohns in dieser Region würde zur Insolvenz führen.

## 5.2.2 Monokultur mit Orangenbäumen

Der immergrüne Orangenbaum gehört zur Gattung der Zitrusbäume. Die produktive Lebensspanne der Bäume liegt zwischen 50-60 Jahren wobei gut gepflegte Exemplare auch bis zu 100 Jahre oder älter werden können.<sup>85</sup> Die „Citrus x sinensis“ ist eine Orangenpflanze aus der Familie der Rutaceae. Diese Sorte kann im ausgewachsenen Zustand eine Höhe von bis zu 15m erreichen. Hauptsächlich wird diese Sorte wegen seiner Früchte angebaut.<sup>86</sup>



Abbildung 28 Orangenbaum

Brasilien ist mit 16.707.897 Tonnen pro Jahr<sup>87</sup> weltweit führend im Anbau und Export von Orangen, doch auch in Ägypten werden Orangen angebaut. Mit 3.157.960 Tonnen pro Jahr<sup>88</sup> belegt Ägypten Platz 7 der größten Orangenproduzenten.

---

<sup>85</sup> (wikifarmer, 2022)

<sup>86</sup> (wikifarmer, 2022)

<sup>87</sup> (wikipedia, 2020)

<sup>88</sup> (wikipedia, 2020)

## Anbau

Für den Anbau einer Orangenplantage werden veredelte Samen genutzt, da normale Samen aus einer Orange krankheitsanfälliger sind und mindestens 10-12 Jahre brauchen, um überhaupt erst Früchte zu kriegen. Ein veredelter Samen ist nicht so Krankheitsanfällig und der Orangenbaum bringt schon nach 3 Jahren einen vernünftigen Ertrag ein.<sup>89</sup>

Durchschnittlich lässt sich sagen, dass Orangenbäume bei Temperaturen über 37°C und einem feucht gehaltenen Boden besonders gut wachsen. Vor allem in der Blütezeit muss darauf geachtet werden, dass die Bäume nicht unter Wasserstress geraten, da es sonst zu einem drastischen Rückgang in der Produktion kommen kann.<sup>90</sup> In der Regel benötigen junge Bäume etwas mehr Wasser als ältere Bäume und grob lässt sich sagen, dass der Wasserbedarf bei sandigem Boden etwa dreimal so groß ist wie in Lehmboden. Um genau bestimmen zu können wie viel Wasser der Baum benötigt, sollte der Standort von einem örtlichen Agronomen begutachtet werden.<sup>91</sup> In dieser Arbeit wird ein Wasserbedarf von 25,4-38,1 mm pro Woche<sup>92</sup> angenommen, pro Tag sind das 3,62-5,44 mm Niederschlag. Das entspricht einer Wassermenge von

$$(0,00362 \text{ m} \times 10.000 \text{ qm} \times 1000 \text{ l}) = 36.200 \text{ Litern pro Tag.}$$

In einem Monat entspricht das rund 1.100.000 Litern pro Hektar. (Siehe S. 52-Tabelle 11)

Für die Berechnung wurde die geringere Wassermenge angenommen, da Bewässerungstechniken wie die Tröpfchenbewässerung, oder eine abgewandelte Form der Sprinklerbewässerung eine hohe Effizienz des Wassereinsatzes aufweisen.

Orangenbäume haben einen bestimmten Bedarf an Stickstoff, Phosphor, Kalium und Kalzium. Stickstoffmangel führt zu einem Rückgang der Vegetation und verursacht eine Gelbfärbung des Laubes, vorzeitige Entlaubung und einen Produktionsrückgang.<sup>93</sup> Die Ausbringung erfolgt im Allgemeinen durch Boden- oder Blattdüngung. Die Blattdüngung ist eine schnelle und

---

<sup>89</sup> (wikifarmer, 2020)

<sup>90</sup> (OBI Redaktion, 2022)

<sup>91</sup> (wikifarmer, 2020)

<sup>92</sup> (les-jardins-de-sanne, 2021)

<sup>93</sup> (wikifarmer, 2022)

wirksame Methode, wenn Eisen-, Magnesium-, Bor- und Kupfermängel in kritischen Phasen der Pflanzenentwicklung behoben werden müssen. Auch der pH-Wert des Bodens muss mindestens einmal im Jahr überprüft werden. Liegt der pH-Wert des Bodens über 7, müssen die Landwirte nach Rücksprache mit einem zugelassenen Agronomen möglicherweise Maßnahmen zur Korrektur ergreifen, indem sie einen ansäuernden Dünger ausbringen.<sup>94</sup>

## *Ernte*

Etwa 6-12 Monate nach der Blüte erreichen Orangen einen akzeptablen Reifegrad und können innerhalb von 2-3 Monaten abgeerntet werden<sup>95</sup>, bevor sie überreif sind. Abhängig von Sorte und Region ergeben sich verschiedene erntezeitpunkte. In den USA werden Navel-Orangen oft von Oktober bis Juni geerntet, während Valencia-Orangen oft von März bis Oktober geerntet werden können. In Florida berichten Zitrusbauern sogar davon, dass sie das ganze Jahr über ernten können, außer im Sommer. Sobald die ersten reifen Orangen vom Baum fallen, kann geerntet werden.<sup>96</sup>

Traditionell werden Orangenfrüchte von Hand geerntet, mit einer kombinierten Bewegung aus Drehen und Ziehen des Handgelenks. Zum Teil verwenden die Erzeuger auch Scheren und schneiden den Stiel ab. Vor allem bei Früchten mit dünner Schale kommt diese Methode zum Einsatz.



*Abbildung 29 Traditionelle Orangenernte*

In den letzten zehn Jahren geht der Trend allerdings stark zur maschinellen Ernte.

Dabei kommen sogenannte Schüttelmaschinen zum Einsatz, die an Traktoren befestigt sind. Die Maschine schüttelt den Stamm und fängt die Früchte auf, welche dann in einen Speicherwagen weitergeleitet werden. Der Einsatz solcher Maschinen funktioniert allerdings nur bei jüngeren Bäumen und auch nur wenn beim Pflanzen der Bäume auf genug Abstand geachtet wurde.

---

<sup>94</sup> (wikifarmer, 2020)

<sup>95</sup> (wikifarmer, 2022)

<sup>96</sup> (wikifarmer, 2020)

Im Durchschnitt bringt ein gesunder und ausgewachsener Orangenbaum 200 bis 350 Orangen hervor. Nach jahrelanger Praxis können erfahrene Orangenbauern den Ertrag auf 400-600 Orangen pro Baum steigern. Bei dichter Bepflanzung von 400 Bäumen pro Hektar ergibt sich für erfahrene Landwirte ein Ertrag von 40-50 Tonnen pro Hektar. Der aktuelle Marktpreis liegt bei 0,72 € was einen maximalen Umsatz von 36.000 € ergibt.

### Wasserbedarf

Der Wasserverbrauch der Orangenbäume ist mit durchschnittlich 1.100.000 Litern pro Monat sehr hoch. (Vgl. Tabelle 12) Vor allem in der Blütezeit dürfen die Bäume nicht unter Wassermangel stehen, da es sonst zu großen Ernteeinbußen kommt. Um den Wasserbedarf der Bäume für einen gesamten Hektar mit der Feuchtluftdestillation decken zu können, würde es in Hurghada die (1.100.000 Liter / 80325 Liter =) **13,7-fache Anlagengröße** brauchen. Das entspricht (13,7 x 42 =) **575,4 qm Kollektorfläche**. Im Verhältnis zu den 10.000 qm Ackerfläche wären das rund **5,7%**.

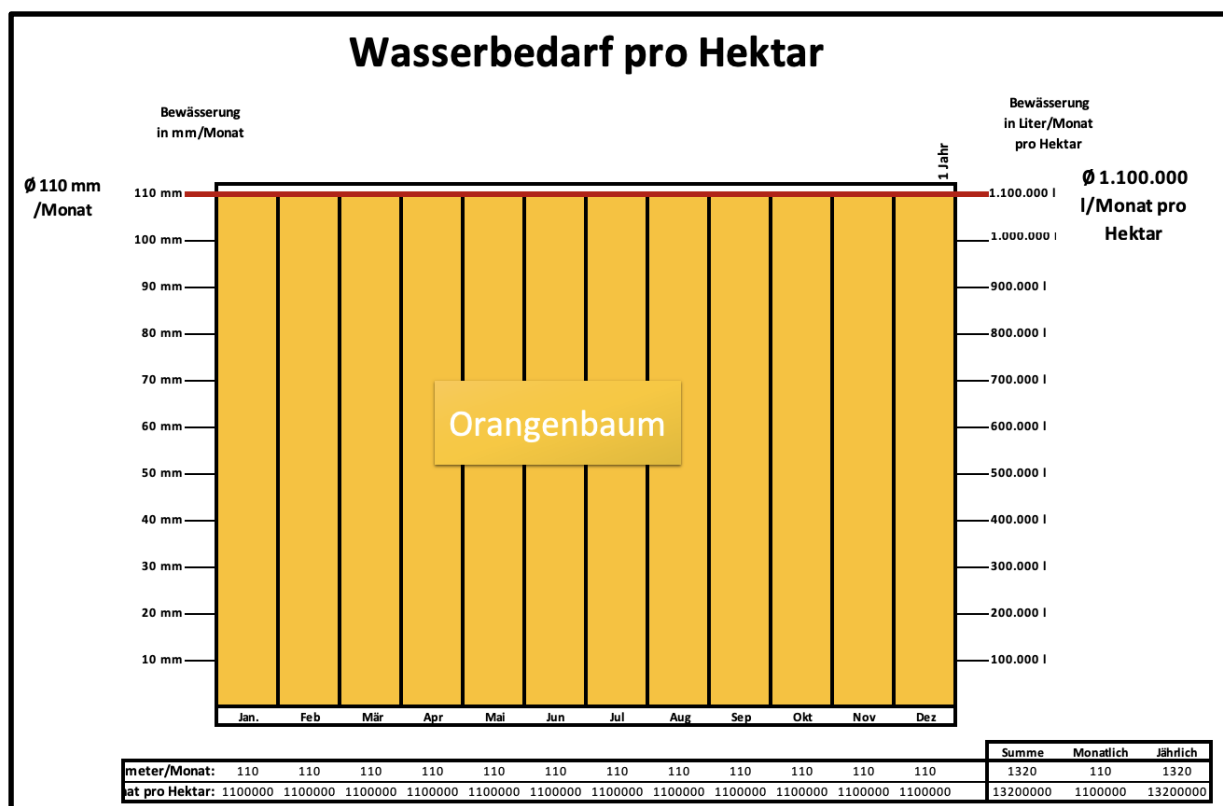


Tabelle 12 Wasserbedarf Monokultur

## Fixkosten

Die Kosten einer Entsalzungsanlage dieser Größe belaufen sich auf rund **907.695 €**.

Hinzu kommen die Investitionskosten für die Orangenplantage. Tabelle 13 liefert eine Übersicht über die kalkulierten Fix Kosten. Neben den oben erwähnten Anlagekosten, werden hier auch Werkzeugkosten, Kosten für den benötigten Lager und Geräteschuppen, sowie für das Bewässerungssystem aufgelistet.

## Monokultur pro Hektar

Fixe Kosten				
	Einzelpreis	Stückzahl	Gesamtkosten	Beschreibung
<b>Entsalzung Fixkosten</b>				
Anlage	66.255,14 €	13,7	907.695,39 €	Das gesamte Anlagensystem
<b>Plantage Fixkosten</b>				
<b>Werkzeug</b>				
Hacke	31,95	5	159,75 €	Bearbeitung des Feldes
Schaufel	8,95 €	5	44,75 €	Bearbeitung des Feldes
Mistgabel	29,95 €	3	89,85 €	Kompostierung des Tierrists
Leiter	89,00 €	10	890,00 €	Reparaturaufgaben
Gartenschere	16,49 €	10	164,90 €	beschneidung von Pflanzen
Hammer	3,95 €	10	39,50 €	Reparaturarbeiten
Vorschlaghammer	29,95 €	1	29,95 €	plazieren von Pfählen
Unkrautstecher	36,49 €	20	729,80 €	Unkrautbekämpfung
Säge	8,95 €	10	89,50 €	Reparaturarbeiten
Schubkarren	39,96 €	40	1.598,40 €	Transport
<b>Lager &amp; Geräteschuppen</b>				
Seil	0,45 €	100	45,00 €	Errichten von Ranken-Gestell
Holz	14,25 €	600	8.550,00 €	Errichten von Lager und Geräteschuppen
Nagel	0,10 €	1000	100,00 €	Reparaturarbeiten
Arbeitsstunden	5,00 €	100	500,00 €	Aufbauarbeiten
<b>Bewässerungssystem</b>				
Schlauch	14,95 €	1.000	14.950,00 €	Wasserverteilung
Pumpe	193,00 €	5	965,00 €	Wasserverteilung
Sieb	24,99 €	10	249,90 €	Wasserfilterung
Verteiler	2,95 €	10	29,50 €	Wasserverteilung
<b>Summe :</b>			<b>936.921,19 €</b>	

Tabelle 13 Fixkosten Monokultur

## Variable Kosten

Zu den fixen Kosten kommen noch weitere variable Kosten hinzu. Der Stundenlohn orientiert sich mit 1,69€ am ägyptischen Mindestlohn <sup>97</sup> und für die verhältnismäßig große Entsalzungsanlage wurden hier 2 Personen zur Wartung eingesetzt, die Vollzeit arbeiten.

<sup>97</sup> (Kemmer, 2022)

Zur Instandhaltung der Orangenplantage wurde mit 2 Vollzeitkräften gerechnet, da die Pflege der Bäume nicht so intensiv ausfällt, wie bei der Fruchtfolge. Zusätzlich wurden 2 Erntehelfer mit jeweils 20 Stunden pro Woche für die drei Erntemonate hinzugezogen. So fallen während der Erntezeit auf jeden der Mitarbeiter 100 Bäume, die ab zu Ernten sind. So entstehen jährlich Kosten von 13.770 €. (Vgl. Tabelle 14)

Variable Kosten pro Jahr			
	Einzelpreis	Stundenzahl	Gesamtkosten
Entsorgung variable Kosten pro Jahr			
Strom	-		Anlage ist autark
Wartung durch Personal	1,69 €	3840	6.480,00 €
Plantage variable Kosten pro Jahr			
Personal			
Personal (40h Woche)	1,69 €	3840	6.480,00 €
Erntehelfer (20h Woche)	1,69 €	480	810,00 €
Summe :			13.770,00 €

Tabelle 14 Variable Kosten - Monokultur

## Einnahmen

Der reine Umsatz ergibt sich aus dem Marktpreis, multipliziert mit dem jährlichen Ertrag. Das ergibt einen Umsatz von 36.000 € Jährlich. (Vgl. Tabelle 15)

Werden die variablen Kosten vom Umsatz abgezogen, so ergibt sich der jährliche Gewinn von.

$$36.000 \text{ €} - 13.770 \text{ €} = 22.230 \text{ €}$$

Umsatz pro Jahr			
	Marktpreis	Tonnen / Hektar jährlich*	Umsatz pro Jahr
Ertrag			
Orange	0,72 €	50,0	36.000,00 €
Summe :			36.000,00 €

Tabelle 15 Einnahmen - Monokultur

## Break-Even Point

Das System erreicht erst nach 43 Jahren den Punkt, an dem die Einnahmen in Summe größer sind als die Ausgaben. Die blaue Kurve in Tabelle 16 zeigt den Kostenverlauf zusammengesetzt

aus fixen- und variablen Kosten. Die orangene Linie zeigt die erzielten Einnahmen und die graue Linie visualisiert das aktuelle Guthaben.

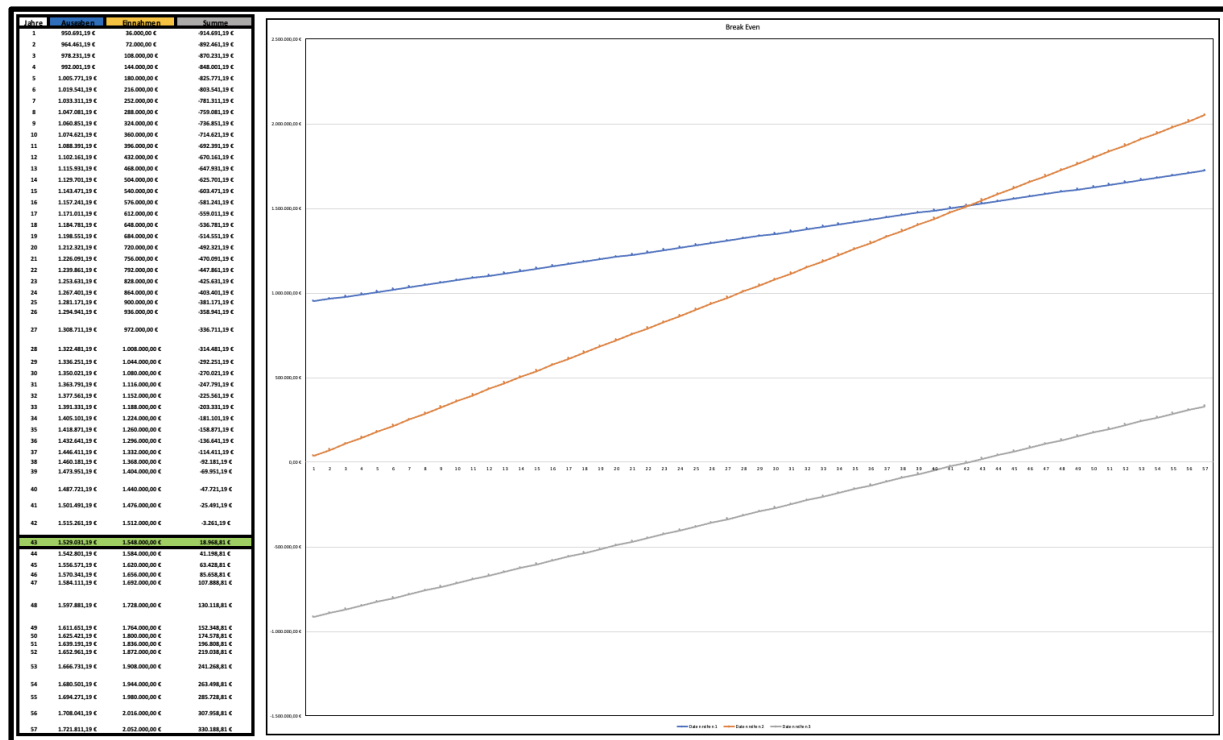


Tabelle 16 Break-Even Point - Monokultur

## Zusammenfassung - Monokultur

Auch die Monokultur, in Kombination mit der vorgestellten Feuchtluftdestillationsanlage bei Umgebungsdruck, erweist sich **als wirtschaftlich nicht tragbar**.

Hier ergeben die Kalkulationen einen jährlichen Gewinn von 22.230 € und obwohl das jährlich 6.454 € mehr sind als bei der Fruchtfolge, wird auch hier erst nach 43 Jahren ein positives Einkommen erzielt.

Im Gegensatz zur Fruchtfolge hat die Monokultur geringere Personalkosten, da die Pflege der Bäume nicht so arbeitsaufwendig ist, wie das Bewirtschaften und Umpflügen der Felder bei der Fruchtfolge.

Dennoch sind auch hier keine Finanzierungspläne zur Tilgung von Schulden berücksichtigt, die den Zeitpunkt des „Break Even“ noch weiter nach hinten verzögern würden.

Durch die guten Lagerbedingungen der Orange können zwar kleinere Marktschwankungen ausgeglichen werden, doch vor allem bei der Monokultur sind Schädlinge und Krankheiten eine



große Gefahr und bringen Risiken mit sich die in dieser Kalkulation nicht berücksichtigt wurden und zum Bankrott der Anlage führen könnten.

Die Löhne der Angestellten sind auch hier mit dem Mindestlohn von Ägypten angesetzt. Die Arbeit ist allerdings sehr anstrengend und Bereiche wie die Wartung der Entsalzungsanlage benötigt auch einen gewissen Grad an Expertise. Ein Anstieg des Mindestlohns in dieser Region würde zur Insolvenz führen.

## 6. Fazit dieser Arbeit

Diese Arbeit ist zu dem Fazit gekommen, dass die Entsalzungsbewässerung eines küstennahen Wüstengebiets durch die Feuchtluftdestillation wie sie in Kapitel 4.2 beschrieben wird, weder für die Bewirtschaftung einer Fruchtfolge aus Yamswurzeln, Erdnüssen und Weidegras, noch für das gewinnbringende Anpflanzen einer Monokultur aus Orangenbäumen geeignet ist.

Dies liegt vor allem daran, dass der Bau einer solchen Anlage kostspielig ist und die Tilgung der Schulden, die bei der Errichtung der Anlage und der Plantage anfallen, aufgrund zu hoher Risiken nicht sicher beglichen werden können.

So könnte es beispielsweise zu einem Krankheitsbefall der Felder kommen, was die Ernten stark reduzieren würde. Das wiederum hätte zur Folge, dass die Einnahmen sinken und die Löhne für die Angestellten nicht ausgezahlt werden können. Wenn dieser Fall eintritt, ist es wahrscheinlich, dass die Angestellten ihre Arbeit verweigern und die Plantage unbrauchbar wird.

Um das Konzept tragfähiger und stabiler zu gestalten, müssen vor allem die folgenden Punkte verbessert werden:

- Das vorhandene Wasser muss effizienter eingesetzt und verteilt werden, um Wasserverluste zu reduzieren und die Plantagengröße und damit den Ertrag zu steigern.
- Die Kosten für die Anlage, die Plantage und die Instandhaltung müssen überarbeitet und reduziert werden. Ebenso muss ein Finanzierungsplan für die Investitionskosten erarbeitet werden
- Das Risiko von Krankheiten, Schädlingen, Bodenüberlastung und Marktschwankungen muss eingeschätzt und reduziert werden.

Diese Arbeit dient dabei als Hinweis auf ungelösten Problemstellungen und kann als Anhaltspunkt verwendet werden, auf den zukünftige Arbeiten aufbauen, um Lösungen oder Teillösungen für oben genannte Aspekte zu finden.

## 7. Literaturverzeichnis

- Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen. (kein Datum). *landwirtschaftskammer*. Von Tabelle-zwischenfrucht :  
<https://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/ackerbau/pdf/tabellen-zwischenfruechte-futternutzung.pdf> abgerufen
- Abouleish, D. I. (2022). *Sekem*. Von Ganzheitlich nachhaltige Entwicklung fördern:  
<https://www.sekem.com/de/uber-uns/> abgerufen
- aegypten.com. (2022). *Faszination Ägypten*. Von Landwirtschaft:  
<https://www.aegypten.com/land-leute/wirtschaft/landwirtschaft/> abgerufen
- AT-Touren. (2017). *at-touren*. Von <https://www.at-touren.de/trinkwasser-in-hurghada-agypten/> abgerufen
- Audiatur. (01 2012). *Audiatur online*. Von Landwirtschaft in Ägypten: <https://www.audiatur-online.ch/2012/01/06/landwirtschaft-in-aegypten/> abgerufen
- Ayoub, J., & Alward, R. (1996). *Water requirements and remote arid areas: the need for small-scale desalination*. ELSEVIER.
- Böthling, J. (2020). *Flur & Furche*. Von Grüne Revolution in der Wüste:  
<https://flurundfurche.de/bewaesserung-wueste-ackerbau-sekem-aegypten/> abgerufen
- Boura, D.-I. C. (2017). *FH-Aachen*. Von Qanat: <https://www.fh-aachen.de/forschung/solar-institut-juelich/schwerpunkte/projekte-solarthermische-systeme> abgerufen
- BR Wissen. (24. 12 2021). *BR Wissen*. Abgerufen am 2022 von Desertifikation - Wüstenbildung weltweit:  
<https://www.br.de/wissen/natur/naturgewalten/desertifikation-wueste-verwuestung-wuestenbildung-ausbreitung-100.html>
- Brendel, T. (2003). *Solare Meerwasserentsalzungsanlagen mit mehrstufiger Verdunstung*. Bochum.
- Buchinger, J. G. (2003). *Solarthermische Meerwasserentsalzung zur Trinkwassererzeugung in Entwicklungsländern*. Von Diplomarbeit zur Erlangung des akademischen Grades Diplomingenieur:  
[https://pure.unileoben.ac.at/portal/files/2300861/AC03896373\\_2001.pdf](https://pure.unileoben.ac.at/portal/files/2300861/AC03896373_2001.pdf) abgerufen

- Bundesministerium für Wirtschaft und Technik. (2011). *Windenergie & Solarthermie in Ägypten*. Von Perspektiven der Erneuerbaren Energien In Ägypten - Fact Sheet: [https://www.eclareon.com/sites/default/files/ahk\\_ee\\_factsheet\\_aegypten.pdf](https://www.eclareon.com/sites/default/files/ahk_ee_factsheet_aegypten.pdf) abgerufen
- CABI. (2019). *Invasive Species Compendium*. Von *Dioscorea alata* (white yam): <https://www.cabi.org/isc/datasheet/19293> abgerufen
- CABI. (2022). *Invasive Species Compendium*. Von *Dioscorea alata* (white yam): <https://www.cabi.org/isc/datasheet/19293> abgerufen
- Charlet, M., Hutchinson, C., Reynolds, J., & Hill, J. (2018). *World Atlas of Desertification*. Luxemburg.
- Cherlet, M., Hutchinson, C., Reynolds, J., Hill, J., Sommer, S., & von Maltitz, G. (2018). Part I - Introduction. In M. Cherlet, C. Hutchinson, J. Reynolds, J. Hill, S. Sommer, & G. von Maltitz, *WORLD ATLAS OF DESERTIFICATION* (S. 11-19). Luxembourg: Publication Office of the European Union.
- Dürmeier, F. (06 2019). Wir verlieren unwiderruflich die besten Böden. *Süddeutsche Zeitung*.
- Greifenhagen, C. (2020). *Pflanzen in Deutschland*. Von Saat-Luzerne - *Medicago sativa*: [https://www.pflanzen-deutschland.de/Medicago\\_sativa.html](https://www.pflanzen-deutschland.de/Medicago_sativa.html) abgerufen
- Hopp, V. (2016). Entsalzung von Meer- und Brackwasser. In V. Hopp, *Wasser und Energie* (S. 319-329). Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum.
- IWOFR Conference . (2021). *IWOFR Conference* . Von Erdnuss: <https://iwofr.org/de/erdnuss/> abgerufen
- Kemmer, J. (2022). *Neuer Mindestlohn in Ägypten zum Jahreswechsel*. Von Germany - Trade & Invest: <https://www.gtai.de/de/trade/aegypten/recht/neuer-mindestlohn-in-aegypten-zum-jahreswechsel-763096> abgerufen
- Klima.org. (2022). *Klima.org*. Von Klima in Hurghada: <https://klima.org/%C3%A4gypten/klima-hurghada/> abgerufen
- klimatebelle. (2022). *Klimatebelle und Klima weltweit* . Von Klima und Klimatebelle für Almeria: <https://www.klimatebelle.de/klima/europa/spanien/klimatebelle-almeria.htm> abgerufen
- klimatebelle.info. (2022). *klimatebelle.info*. Von Klimatebelle Hurghada: <https://www.klimatebelle.info/afrika/aegypten/hurghada> abgerufen

- Klimatabelle.info. (2022). *Klimatabelle.info*. Von Klimatabelle Almería: <https://www.klimatabelle.info/europa/spanien/almeria> abgerufen
- Koelle, K. (02 2019). *EatSmarter!* Von Yamswurzel (Yam): <https://eatsmarter.de/lexikon/warenkunde/gemuese/yamswurzel> abgerufen
- Kouakou A. M, Z. G.-B. (2012). Émergence d’une nouvelle variété d’igname de l’espèce *Dioscorea alata* L. *Journal of Applied Biosciences* 57, S. 4151– 4158.
- Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen. (2011). *Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen*. Von Zwischenfrüchte für die Futternutzung: <https://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/ackerbau/zwischenfruechte/zf-futternutzung.htm> abgerufen
- les-jardins-de-sanne. (2021). *les-jardins-de-sanne*. Von Anbau von Orangenbäumen: Informationen zur Pflege eines Orangenbaums: <https://de.les-jardins-de-sanne.com/anbau-von-orangenbaumen-informationen-zur-pflege/> abgerufen
- Müller, C., Schwarzer, K., Silva, E. V., & Mertes, C. (2004). *Solar-Institut Jülich*. Von Solare Meerwasser-Entsalzungsanlagen mit mehrstufiger Wärmerückgewinnung: [http://www.hc-solar.de/files/Entsalzung\\_2004\\_cm.pdf](http://www.hc-solar.de/files/Entsalzung_2004_cm.pdf) abgerufen
- Müller-Holst, H. (2002). *Mehrfacheffekt-Feuchtluftdestillation bei Umgebungsdruck – Verfahrensoptimierung und Anwendungen*. München: Technischen Universität München.
- Mohammed, A. (06 2022). Supermarktbesitzer in Kairo. (G. Rashid, Interviewer)
- OBI Redaktion. (2022). Orangenbaum – Eigenschaften im Überblick. *So geht das - OBI Magazin*, 1. Von <https://www.obide.de/magazin/garten/pflanzen/orangenbaum> abgerufen
- Plantura GmbH. (2019). Fruchtfolge: Erklärung & Tabelle für den Gemüsegarten. *Plantura Magazin*. Von <https://www.plantura.garden/gemuese/gemuese-anbauen/fruchtfolge> abgerufen
- Proetel, H. (1921). *Das Meerwasser*.
- proplanta. (2020). *Erdnuss Ertrag weltweit 1961-2020*. Von proplanta - Vorsprung durch Wissen: [https://www.proplanta.de/karten/erdnuss\\_ertrag\\_weltweit\\_1961-2020-uebersichtskarte1637932178.html](https://www.proplanta.de/karten/erdnuss_ertrag_weltweit_1961-2020-uebersichtskarte1637932178.html) abgerufen

- Regierung von Spanien. (kein Datum). *miteco.gob*. Von Wüstenbildung in Spanien:  
[https://www.miteco.gob.es/en/biodiversidad/temas/desertificacion-restauracion/lucha-contra-la-desertificacion/lch\\_espana.aspx](https://www.miteco.gob.es/en/biodiversidad/temas/desertificacion-restauracion/lucha-contra-la-desertificacion/lch_espana.aspx) abgerufen
- saatgut2000. (2000). *saatgut2000*. Von Einjähriges Weidelgras:  
<https://saatgut2000.de/saatgut/graeser/einjaehriges-weidelgras/> abgerufen
- Schneider, R., Heiles, E., Salzeder, G., Wiesinger, K., Schmidt, M., & Urbatzka, P. (2012). *Auswirkungen unterschiedlicher Fruchtfolgen im ökologischen Landbau auf den Ertrag und die Produktivität*. Angewandte Forschung und Beratung für den ökologischen Landbau in Bayern.
- Schwarz, E. (2021). *animalfriends24*. Von Wie Viel Gras Braucht Ein Schaf?:  
<https://animalfriends24.de/nutztiere/wie-viel-gras-braucht-ein-schaf/> abgerufen
- Streck, R. (2007). Wird Spanien zur Wüste? *TELEPOLIS*, 1.
- SUPPLEMENTBIBEL. (2022). *Lichtwurzeln: Test, Wirkung, Anwendung & Studien (07/22)*.  
 Von SUPPLEMENTBIBEL: <https://www.supplementbibel.de/lichtwurzeln-test/> abgerufen
- Technische Universität Braunschweig. (03 2016). *Gewichtete Punktbewertung*. Von  
<https://methodos.ik.ing.tu-bs.de/methode/GewichtetePunktbewertung.html> abgerufen
- Tertilt, M. (17. 5 2019). *Quarks*. Von Warum die Welt langsam vertrocknet:  
<https://www.quarks.de/umwelt/warum-die-welt-langsam-vertrocknet/> abgerufen
- United Nations University Institute for Water, Environment and Health (UNU-INWEH). (2021). *munichre-foundation*. Von Unconventional Water Resources:  
[https://www.munichre-foundation.org/content/dam/munichre/foundation/publications/fog-nets/2021\\_FogNet\\_Alliance\\_Qadir.pdf/\\_jcr\\_content/renditions/original./2021\\_FogNet\\_Alliance\\_Qadir.pdf](https://www.munichre-foundation.org/content/dam/munichre/foundation/publications/fog-nets/2021_FogNet_Alliance_Qadir.pdf/_jcr_content/renditions/original./2021_FogNet_Alliance_Qadir.pdf) abgerufen
- Verena. (2012). Fruchtfolge: Erklärung & Tabelle für den Gemüsegarten. *Plantura*. Von Fruchtfolge: Erklärung & Tabelle für den Gemüsegarten:  
<https://www.plantura.garden/gemuese/gemuese-anbauen/fruchtfolge> abgerufen
- WBECKE. (2016). *austria.sekem.com*. Von SEKEM-Österreich pflanzt Bäume in der Wüste – und erlebt Erstaunliches!: <https://austria.sekem.com/projekte/sekem-oesterreich-pflanzt-baeume-in-der-wueste-und-erlebt-erstaunliches/> abgerufen

Weather Spark. (2022). *Klima und durchschnittliches Wetter das ganze Jahr über in Almería Spanien*. Von Durchschnittliche Temperatur in Almería: <https://de.weatherspark.com/y/38216/Durchschnittswetter-in-Almer%C3%ADa-Spanien-das-ganze-Jahr-%C3%BCber> abgerufen

Weiss, K. R. (02 2018). *NATIONAL GEOGRAPHIC*. Von Wenn Seen einfach verschwinden: <https://www.nationalgeographic.de/umwelt/2018/02/wenn-seen-einfach-verschwinden> abgerufen

wetter.de. (2022). *wetter.de*. Von Urlaubsziele Spanien: <https://www.wetter.de/klima/europa/spanien-c34.html> abgerufen

Wikibrief. (2021). Von Intensive Landwirtschaft in Almería: [https://de.wikibrief.org/wiki/Intensive\\_farming\\_in\\_Almer%C3%ADa](https://de.wikibrief.org/wiki/Intensive_farming_in_Almer%C3%ADa) abgerufen

wikifarmer. (2020). *wikifarmer*. Von Ernte und Ertrag von Orangenbäumen – Wie oft werden Orangen im Jahr geerntet?: <https://wikifarmer.com/de/ernte-und-ertrag-von-orangenbaumen/> abgerufen

wikifarmer. (2020). *wikifarmer*. Von Wasserbedarf von Orangenbäumen: <https://wikifarmer.com/de/wasserbedarf-fur-orangenbaume/> abgerufen

wikifarmer. (2022). *wikifarmer*. Von Informationen zum Orangenbaum – Wie hoch wird ein Orangenbaum?: <https://wikifarmer.com/de/informationen-zum-orangenbaum/> abgerufen

wikipedia. (2020). *wikipedia*. Von Orange (Frucht): [https://de.wikipedia.org/wiki/Orange\\_\(Frucht\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Orange_(Frucht)) abgerufen

wikipedia. (2022). *Mulchen*. Von wikipedia: <https://de.wikipedia.org/wiki/Mulchen> abgerufen

Wlcek, S. (2016). *Organic17*. Von Boden auf Sand oder Sand ohne Boden: <http://organic17.org/bodenaufbau-versalzung-bodenverluste-aegypten/> abgerufen

YAMMY. (09 2014). *yamswurzel.net*. Von ANBAU UND ERNTE DER YAMSWURZEL: <https://www.yamswurzel.net/anbau-ernte-yamswurzel.html> abgerufen

yamswurzel.net. (2014). *ANBAU UND ERNTE DER YAMSWURZEL*. Von <https://www.yamswurzel.net/anbau-ernte-yamswurzel.html> abgerufen

## 8. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 BR/Michael Martin Die Wüsten der Erde.....	5
Abbildung 2 Trockene Böden in Mauretanien.....	6
Abbildung 3 Entwicklung der Entsalzungsanlagen von 1960 bis 2020 (UNU-INWEH, 2021)	7
Abbildung 4 Prozentualer Anteil der Entsalzungsverfahren (UNU-INWEH, 2021).....	8
Abbildung 5 Fließbild einer MSF .....	10
Abbildung 6 Fließbild einer Vielfachverdampfungsanlage (MED).....	11
Abbildung 7 Klimazonen Spaniens (Regierung von Spanien, kein Datum).....	12
Abbildung 8 Campo de Delías Satellitenbild Gewächshäuser (Plastikmeer) .....	15
Abbildung 9 Google Maps - Hurghada in Ägypten .....	16
Abbildung 10 Entsalzungsmodul mit Flachkollektoren.....	20
Abbildung 11 Schema der mehrstufigen Entsalzung .....	21
Abbildung 12 Messkurve der Flachkollektordestillie über 24 Stunden .....	22
Abbildung 13 Simulierter Tagesertrag im Jahresverlauf .....	23
Abbildung 14 Pilotanlage Oman .....	26
Abbildung 15 Schematische Darstellung einer Mehrfacheffekt-Feuchtluftdestillation bei Umgebungsdruck .....	27
Abbildung 16 Verdunster mit Verteiler-Rechen und eingehängten Vliestüchern als Verdunstungsflächen (Müller-Holst, 2002) .....	28
Abbildung 17 Verteilerrohr im Verdunster mit aufgeklemmtem Hüllrohr zur Verbesserung der Verteilung (Müller-Holst, 2002) .....	28
Abbildung 18 Gesamtansicht des Kunststoffkondensators der Fa. T.A.S. GmbH aus Polypropylen (Müller-Holst, 2002).....	29
Abbildung 19 Konvektionswalze zwischen Verdunster und Kondensator .....	30
Abbildung 20 Wüstenplantage Sekem-Farm .....	34
Abbildung 21 Kasuarinen Baumreihe als Windschutz .....	34



Abbildung 22 Komposthaufen Sekem-Farm.....	35
Abbildung 23 Tröpfchenbewässerung .....	37
Abbildung 24 Kreisberegnungsanlage .....	38
Abbildung 25 Yamswurzel.....	40
Abbildung 26 Bodenschichten beim Anbau der Fruchtfolge.....	43
Abbildung 27 Wasserbedarf der Fruchtfolge .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
Abbildung 28 Orangenbaum .....	49
Abbildung 29 Traditionelle Orangenernte .....	51

## 9. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Klimadaten für Almería (Süd Spanien).....	14
Tabelle 2 Klimatable Hurghada (Klima.org 2022) .....	18
Tabelle 3 Destillatproduktion durch mehrstufige Wärmerückgewinnung in Deutschland, Ägypten und Spanien .....	24
Tabelle 4 Destillat - Mehrfache Fruchtluftdestillation .....	32
Tabelle 5 Stückliste Feuchtluftdestillation - Hurghada.....	32
Tabelle 6 Stückliste Feuchtluftdestillation - Almería .....	33
Tabelle 7 Fixkosten der Fruchtfolge .....	46
Tabelle 8 Variable Kosten der Fruchtfolge .....	47
Tabelle 9 Jährliche Einnahmen der Fruchtfolge .....	47
Tabelle 10 Break-Even Point - Fruchtfolge .....	48
Tabelle 11 Wasserbedarf Monokultur.....	52
Tabelle 12 Fixkosten Monokultur .....	53
Tabelle 13 Variable Kosten - Monokultur .....	54
Tabelle 14 Einnahmen - Monokultur .....	54

Tabelle 15 Break-Even Point - Monokultur .....	55
--	----

## 10. Ehrenwörtliche Erklärung

Ich erkläre hiermit ehrenwörtlich,

- diese Bachelorarbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe angefertigt,
- keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt,
- die Übernahme wörtlicher und sinngemäßer Zitate aus der Literatur an den entsprechenden Stellen innerhalb der Arbeit gekennzeichnet,
- die Arbeit mit gleichem Inhalt bzw. in wesentlichen Teilen noch nicht anderweitig für Prüfungszwecke vorgelegt zu haben.

Ich bin mir bewusst, dass eine falsche Erklärung rechtliche Folgen haben wird.

.....

Ort, Datum

.....

Unterschrift