

Diplomarbeit

# Vertical Farming: Die Gewinnung von Cannabinoiden (CBD)

Anna Siegl, Sophie Stangl

Schule

HBLFA Raumberg-Gumpenstein

Schulart

Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft

Fachrichtung/Ausbildungsschwerpunkt

Agrarmanagement

Titel der Diplomarbeit

Vertical Farming: Die Gewinnung von Cannabinoiden (CBD)

Verfasser/innen

Anna Siegl

Sophie Stangl

Betreuer/innen

Mag.rer.nat Verena Mayer

Projektpartner/innen

Flowerbauer

Furth 16

8982 Bad Mitterndorf

Verfasst im

Oktober 2019-März 2020

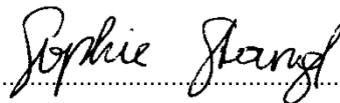
## Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorgelegte Diplomarbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche erkenntlich gemacht habe. Weiters stimme ich zu, dass die Inhalte der Arbeit von den Betreuern der Diplomarbeit und von der HBLFA Raumberg-Gumpenstein für Publikationen und Vorträge uneingeschränkt verwendet werden dürfen.

Raumberg-Gumpenstein, am 04. April 2020



Anna Siegl



Sophie Stangl

## Vorwort und Danksagung

Der Anbau innovativer Pflanzen mit der vertikalen Landwirtschaft bietet völlig neue Perspektiven in der modernen Landwirtschaft. Vertical Farming bietet immenses Potenzial, Pflanzen flächeneffizient und asaisonal anzubauen. CBD, eines der wichtigsten Inhaltsstoffe der Hanfpflanze, wird heutzutage als natürliches Allheilmittel für eine Vielzahl von Krankheiten, als Schmerzmittel sowie gegen Krebs eingesetzt. Aus diesem Grund haben wir uns dazu entschlossen, diese zwei Zukunftsperspektiven zu verbinden und uns in unserer Diplomarbeit, an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein, mit der Gewinnung von Cannabinoiden (CBD) mit der Anbaumethode Vertical Farming auseinanderzusetzen.

Ein besonderer Dank gilt unserer Diplomarbeitsbetreuerin Frau Mag.rer.nat Verena Mayer. Sie unterstützte uns bei unserem Versuchsaufbau sowie bei der Verfassung unserer Arbeit. Bei Fragen und Problemen konnten wir uns immer an sie wenden und sie half uns, stets eine Lösung für unser Anliegen zu finden. Daher möchten wir uns bei Frau Mag.rer.nat Verena Mayer für Ihr Engagement und ihre Hilfe bedanken.

Ein weiterer Dank gilt unserem außerschulischen Partner Flowerbauer, welcher uns Fachausstattung für den Versuch sowie wichtige Informationen zu Verfügung stellte.

*Anna Siegl, Sophie Stangl*

## Zusammenfassung

### Zielsetzung

Die Zielsetzung unserer Diplomarbeit ist es, herauszufinden ob sich die vertikale Anbaumethode Hydroponik zum Kultivieren der Nutzpflanze Cannabis eignet, um daraus CBD-Erträge zu erzielen.

### Allgemeines

Vertical Farming ist eine Zukunftstechnologie, welche für das Kultivieren von Pflanzen im urbanen Raum Verwendung findet. Durch den Anbau in mehreren Etagen sowie durch die Verwendung eines künstlichen Bewässerungs- und Beleuchtungssystems werden mithilfe modernster Technologien optimale Wachstumsbedingungen flächeneffizient hergestellt, welche die ganzjährige Kultivierung der Nutzpflanzen ermöglichen.

*Cannabis sativa* ist eine auf der ganzen Welt verbreitete Nutzpflanze, welche durch ihre Inhaltsstoffe, im speziellen der Cannabinoide, immer mehr an Bedeutung erlangt. Durch die vielseitigen Verwendungsmöglichkeiten dieser Pflanze in verschiedenen Bereichen, wie beispielsweise Medizin, Kosmetik und Naturheilkunde erweist sich die Kultivierung als sehr zukunftsorientiert.

### Versuchsaufbau

Mithilfe einer Growbox und einem selbst konstruierten hydroponischen Bewässerungssystem wird versucht, Cannabispflanzen zu kultivieren und in Blühstimmung zu bringen. Des Weiteren werden die Blüten der Pflanzen getrocknet und durch eine Analyse die CBD-Erträge ermittelt.

## Ergebnis

Das hydroponische System ist nicht besonders gut für den Anbau von Cannabis geeignet. Anstelle der Kultivierung der Hanfpflanze ausschließlich mit einer Nährstofflösung sollte man eine auf Substrat basierende Anbaumethode wählen.

## Summary

### ***Vertical farming: The production of cannabinoids (CBD).***

#### Objective

The objective of our diploma thesis is to assess if the vertical irrigation method Hydroponics can be used for the cultivation of the crop plant Cannabis. Furthermore, it is impugned if CBD-yields can be reached.

#### General

Vertical farming is a future technology, which is used in order to cultivate plants in vertical layers in large buildings in the urban areas. With the creation of an artificial environment and the help of the latest technology optimal growing conditions with little space are constructed. This system enables the cultivation of the crops the whole year.

*Cannabis sativa* is a widespread crop plant all over the world, which receives importance due to its active components especially cannabinoids. The large variety of application in the fields of medicine, cosmetics and naturopathy is it, what makes the cultivation of this plant interesting.

#### Attempt

With assistance of a grow box and a self-constructed hydroponic irrigation system *Cannabis sativa* is cultivated and in addition, artificial lighting brings them to bloom. As final step, the blossoms of the plants are dried and the CBD-yields are determined by an analysis.

#### Result

The hydroponic system is not particularly appropriated for the growth of Cannabis. It is better to use a substrate based growing method than to cultivate the crops only with a nutrition solution.

# Inhaltsverzeichnis

Eidesstattliche Erklärung.....	III
Vorwort und Danksagung.....	IV
Zusammenfassung.....	V
Summary.....	VII
Inhaltsverzeichnis.....	VIII
Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen.....	XI
1 Einleitung und Stand des Wissens .....	1
1.1 Was ist Vertical Farming? .....	1
1.2 Geschichtlicher Hintergrund .....	1
1.3 Gründe für die vertikale Landwirtschaft .....	2
1.3.1 Wachstum der Weltbevölkerung .....	2
1.3.2 Ressourcenschonung .....	3
1.3.3 Steigerung der Produktion .....	4
1.3.4 Keine wetterbedingten Ernteauffälle .....	4
1.3.5 Organische Landwirtschaft.....	4
1.3.6 Gesundheit .....	5
1.4 Nachteile von Vertical Farming .....	5
1.4.1 Keime .....	5
1.4.2 Mikroben .....	6
1.4.3 Sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe .....	6
1.4.4 Hoher Energiebedarf .....	6
1.4.5 Kosten .....	7
1.4.6 Mehrwert.....	7
1.5 Technologien .....	7
1.5.1 Gewächshauscomputer .....	7
1.5.2 Beleuchtungstechnologie .....	8
1.5.3 Hydroponik.....	8
1.5.3.1 Ebbe-Flut System.....	9
1.5.3.2 Nährstoff-Film Technik .....	9



1.5.3.3	Tiefwasserkultur.....	10
1.5.3.4	Tiefwasser-Film Technik.....	11
1.5.3.5	Tröpfchenbewässerung.....	12
1.5.3.6	Aeroponik.....	12
1.5.3.7	Aquaponik.....	13
1.6	Beispiele für Vertical Farms in Österreich.....	14
1.6.1	Vertical Farm Institut.....	14
1.6.2	Herbeus Greens.....	14
1.7	Allgemeines Hanfpflanze.....	15
1.7.1	Aussehen.....	15
1.7.2	Anbau und Wachstum.....	16
1.7.2.1	Outdooranbau.....	16
1.7.2.2	Indooranbau.....	17
1.7.2.3	Licht.....	17
1.7.2.4	pH-Wert.....	17
1.7.2.5	Nährstoffe.....	18
1.7.3	Geschichte.....	19
1.7.4	Nutzung.....	20
1.7.4.1	Samen.....	20
1.7.4.2	Fasern.....	20
1.7.5	Inhaltsstoffe <i>Cannabis sativa</i> .....	22
1.7.5.1	Cannabinoide.....	22
1.7.5.2	Tetrahydrocannabinol (THC).....	23
1.7.5.3	Cannabidiol.....	23
1.8	Rechtslage Cannabis.....	24
2	Fragestellungen und Ziele.....	26
3	Material und Methoden.....	27
3.1	Versuchsaufbau.....	27
3.1.1	Growbox.....	27
3.1.2	Bewässerungssystem.....	27
3.1.3	Hanfpflanzen.....	28
3.2	Versuchsablauf.....	29
3.2.1	Parameter.....	29
3.2.2	Zeit.....	30

3.2.3 Düngung.....	31
3.2.4 Ernte.....	32
3.2.5 Analyse des Ertrages .....	32
4 Ergebnisse und Diskussion .....	34
4.1 Erster Versuchsdurchgang .....	34
4.2 Zweiter Versuchsdurchgang .....	35
5 Schlussfolgerungen und Ausblick .....	36
6 Literaturverzeichnis.....	38

# Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen

## **Abbildungen**

Abbildung 1: Ebbe-Flut System (HYDROPONIK-URBAN-GARDENING, 2019) .....	9
Abbildung 2: Nährstoff-Film Technik (HYDROPONIK-URBAN-GARDENING, 2019)	10
Abbildung 3: Tiefwasserkultur (HYDROPONIK-URBAN-GARDENING, 2019) .....	11
Abbildung 4: Tiefwasser-Film Technik (HYDROPONIK-URBAN-GARDENING, 2019) .....	11
Abbildung 5: rezirkulierende Tröpfchenbewässerung (HYDROPONIK-URBAN- GARDENING, 2019) .....	12
Abbildung 6: Aeroponik (HYDROPONIK-URBAN-GARDENING, 2019) .....	13
Abbildung 7: Aquaponik (HYDROPONIK-URBAN-GARDENING, 2019) .....	14
Abbildung 8: Hanfpflanze (SIEGL, 2019) .....	16
Abbildung 9: Anzeichen eines Nährstoffmangels (SIEGL, 2019) .....	19
Abbildung 10: Hanfsamen (SIEGL, 2019) .....	20
Abbildung 11: Nutzung der Hanfpflanze (vgl. PLEYER et al., 2019) .....	21
Abbildung 12: selbstgebautes Bewässerungssystem (STANGL, 2019) .....	28
Abbildung 13: Hanfsteckling in Steinwolle (SIEGL, 2019) .....	29
Abbildung 14: Messung wichtiger Parameter während des Anbaus (SIEGL, 2020) ..	30
Abbildung 15: Düngung im ersten Durchgang (EIGENE DARSTELLUNG, 2020) .....	31
Abbildung 16: Düngung im zweiten Durchgang (EIGENE DARSTELLUNG, 2020) ...	32

Abbildung 17: Analysebericht (FLOWERBAUER, 2020) ..... 33

Abbildung 18: Ergebnisse des ersten Versuchsdurchganges (STANGL, 2020) ..... 34

Abbildung 19: Ergebnisse des zweiten Versuchsdurchganges (STANGL, 2020)..... 35

***Tabellen***

***Abkürzungsverzeichnis***

CBD .....	Cannabidiol
CBDa .....	Cannabidiolsäure
CBC .....	Cannabichromen
CBN .....	Cannabinol
CBG .....	Cannabigerol
THC .....	Tetrahydrocannabinol
THCa .....	Tetrahydrocannabinolsäure
THCv .....	Tetrahydrocannabivarin
P .....	Phosphor
K .....	Kalium
N .....	Stickstoff
% .....	Prozent
CO <sub>2</sub> .....	Kohlenstoffdioxid
cm .....	Zentimeter
ha .....	Hektar
kg .....	Kilogramm
l .....	Liter
ml .....	Milliliter

# 1 Einleitung und Stand des Wissens

## 1.1 Was ist Vertical Farming?

Vertical Farming ist eine Form der urbanen Landwirtschaft und ist ein Begriff der Zukunftstechnologie. Das auf der Kreislaufwirtschaft basierende System ermöglicht durch übereinander geschichtete Etagen die Massenproduktion von Nutzpflanzen in Ballungsräumen, vor allem in Städten (vgl. NILOK, 2011, 1).

Die Produktion von Gemüse, Kräutern und anderen Pflanzen erfolgt im Gebäude und wird daher nicht von wetterbedingten Umwelteinflüssen und Schadorganismen beeinflusst. Durch eine künstlich hergestellte Umwelt mit den besten Wachstumsbedingungen ist es möglich, höhere Erträge als in der traditionellen Landwirtschaft zu erzielen. Die vertikale Landwirtschaft ermöglicht folglich ein ganzjähriges und standortsunabhängiges Kultivieren der Nutzpflanzen (vgl. SAUERBORN, 2014, 73).

## 1.2 Geschichtlicher Hintergrund

Vertical Farming wurde von Doktor Dickson Despommier ins Leben gerufen; er gilt als Vater der vertikalen Landwirtschaft und ist Professor für Umweltgesundheit und Mikrobiologie an der Columbia University in New York. Ursprünglich arbeitete er 1999 mit seiner Studentengruppe an einem Projekt, das 50 000 Bewohner Manhattans mit der Produktion von Nutzpflanzen auf Dächern ernähren sollte. Aufgrund des Ergebnisses, dass nicht einmal 2 % der Bewohner mit dieser Idee versorgt werden können, fasste Despommier die ersten Gedanken einer Stapelung der Produktionseinheiten, um Platz zu sparen. Durch den vermehrten Problemdruck aufgrund des schnellen Bevölkerungswachstums und anderen Aspekten erlangte das Projekt schnell Aufmerksamkeit. Bald darauf wurden erste Planskizzen erstellt und seit 2009 gibt es ausreichend praxistaugliche Konzepte. Heute

arbeiten Wissenschaftler aus der ganzen Welt daran, die Zukunftstechnologie Vertical Farming auszureifen (vgl. NILOK, 2011, 1f).

Dickson Despommier erklärt, dass für den Anbau von Nutzpflanzen in einer Vertical Farm alle benötigten Technologien und Innovationen bereits vorhanden sind. Für optimale Wachstumsbedingungen wird jede einzelne Etage ihr eigenes Bewässerungs- und Nährstoffüberwachungssystem haben. Mithilfe von Sensoren wird die Nährstoffaufnahme der Pflanzen kontrolliert. Weiters wird es Überwachungssysteme und DNS Chips geben, die den Ausbruch von Pflanzenkrankheiten und Infektionen vermeiden sollen. Durch Messung der Flavonoide mit einem Gaschromatograph wird der Reifezustand und Erntezeitpunkt bestimmt. Mit diesen Technologien und Innovationen wäre die Umsetzung der Zukunftstechnologie Vertical Farming bereits möglich (vgl. NILOK, 2011, 1f).

### **1.3 Gründe für die vertikale Landwirtschaft**

#### **1.3.1 Wachstum der Weltbevölkerung**

Zurzeit leben rund 7.7 Milliarden Menschen auf unserem Planeten, die eine landwirtschaftliche Nutzfläche so groß wie Südamerika benötigen, um ihre Versorgung mit Lebensmitteln sicherstellen zu können. Im Jahr 2050 wird die Weltbevölkerung auf etwa 9.5 Milliarden Menschen gestiegen sein. Dieser Zuwachs bräuchte zusätzlich 10 Milliarden Hektar landwirtschaftliche Nutzfläche, das entspricht einer Fläche so groß wie Brasilien, die nicht existiert (vgl. DESPOMMIER, 2011, s.p.).

Durch die Urbanisierung werden Schätzungen nach im Jahr 2030 rund 60 % der Weltbevölkerung in Städten leben. Deshalb wird sich der ökologische Fußabdruck der Städte um ein Vielfaches vergrößern, obwohl bereits heute die urbanisierten Ballungsräume für 70 % des weltweiten CO<sub>2</sub>-Ausstoßes verantwortlich sind. Urbane Landwirtschaft, wie Vertical Farming, macht es möglich, die städtische Bevölkerung direkt mit frischen Nahrungsmitteln zu versorgen. Dadurch entfallen weite Transportwege von Lebensmittel, was einen großen Beitrag zum Umweltschutz bildet (vgl. MEES, s.a., 136).

### 1.3.2 Ressourcenschonung

In einer vertikalen Landwirtschaft befinden sich auf einem Hektar mehrere Etagen, die 10 bis 20 Hektar einer Ackerfläche im traditionellen Sinn ersetzen können. Aus diesem Grund reduziert Vertical Farming Rodungen, weil die Flächen effizienter genutzt werden und somit die Erschließung von neuen landwirtschaftlichen Nutzflächen nicht mehr von Nöten ist. Des Weiteren werden die Nutzflächen geschont, denn bei zu intensiv bewirtschafteten landwirtschaftlichen Betrieben kommt es oft zur Desertifikation (Wüstenbildung), Versalzung und Nährstoffauslaugung der Böden.

Weiters vermindern nicht nur die bereits erwähnten kürzeren Transportwege, sondern auch der Entfall der Mechanisierung am Feld den Verbrauch von fossilen Brennstoffen und anderen Energieträgern. Vertical Farming versucht, den Energiebedarf durch lokal verfügbare Energiequellen zu decken. So wird beispielsweise in Küstennähe auf Wind- und Wasserenergie gesetzt. Eine weitere Möglichkeit wäre der Betrieb von Biogasanlagen, die mit organischen Abfällen beschickt werden könnten. Die gesamte benötigte Elektrizität könnte somit durch die erzeugte erneuerbare Energie vollständig abgedeckt werden.

Die vertikale Landwirtschaft bietet einen geschlossenen Wasserkreislauf. Das heißt, dass das Brauchwasser durch die Evapotranspiration der Pflanzen in Trinkwasser umgewandelt wird. Vertical Farming reduziert den Verbrauch von Frischwasser durch Verwendung von Brauchwasser und dem wassersparenden Bewässerungssystem Hydroponik erheblich.

Die hohen Stickstoffgaben auf konventionelle Flächen, die den Ertrag verbessern, führen vermehrt zu Grundwasser- und Gewässerverschmutzung durch Nitrat. Die vertikale Landwirtschaft ermöglicht, die Gewässer zu schützen und die Grundwasserqualität wieder aufzubessern.

Die Freisetzung von frischem Sauerstoff, der von Pflanzen durch deren Photosynthese produziert wird, könnte zuletzt auch ein wichtiger Beitrag für den Umweltschutz sein (vgl. NILOK, 2011, 4ff).



### 1.3.3 Steigerung der Produktion

Durch die Globalisierung müssen Nahrungsmittel oft lange Transportwege zurücklegen, dabei verderben etwa 30 % des geernteten Obstes und Gemüses. Die direkte Versorgung ohne weite Transporte führt zur erheblichen Reduktion der verdorbenen Lebensmittel, dass somit auch den Versorgungsgrad der Weltbevölkerung steigert (vgl. NILOK, 2011, 4).

Durch den bereits erwähnten Bevölkerungszuwachs steigt auch der globale Nahrungsbedarf. Deshalb müssen konventionelle Landwirte ihre Betriebe immer intensiver bewirtschaften, um den Bedarf abdecken zu können. Dadurch werden mehr landwirtschaftliche Nutzflächen benötigt und Wälder müssen gerodet werden. Das beschleunigt den Klimawandel enorm, da klimarelevante Gase freigesetzt werden. Aus diesem Grund ist die immer intensiver werdendere Landwirtschaft keine Option. Eine Vertical Farm bewirkt eine enorme Produktionssteigerung- einerseits, durch das wetterunabhängige und ganzjährige Kultivieren der Pflanze und-andererseits, durch das Übereinander-Stapeln von mehreren Produktionseinheiten (vgl. SAUERBORN, 2014, 73).

### 1.3.4 Keine wetterbedingten Ernteauffälle

Durch Wetterkatastrophen, wie Überflutungen, Dürren und Hagelstürmen, bleiben Ernteverluste nicht aus. Aufgrund des Klimawandels tragen Staaten, vor allem Entwicklungsländer, die den größten Bevölkerungswachstum im urbanen Raum haben, finanzielle Schäden davon. Diese Länder sehen als Lösung des Problems die vertikale Landwirtschaft, weil mit der Schaffung von Gewächshausbedingungen der Einfluss der Umwelt verhindert werden kann (vgl. KAHLENBORN und TAPPESER, 2018, 7).

### 1.3.5 Organische Landwirtschaft

Die vertikale Landwirtschaft ermöglicht durch die ständige Überwachung mit der modernsten Technologie einen stark reduzierten Bedarf an Pestiziden, Fungiziden und Herbiziden. „Herbeus Greens“, eine Vertical Farm in Österreich, behauptet sogar, dass sie gar

keine Spritzmittel verwenden müssen. Trotzdem ist dieses Unternehmen nicht Bio-zertifiziert, weil das natürliche Licht und der lebendige Boden fehlen, und die biologische Landwirtschaft aber darauf basiert (vgl. PRCHAL, 2019, 30).

### 1.3.6 Gesundheit

Die traditionelle Landwirtschaft bringt auch einige Gefahren mit sich. Der tägliche Umgang mit Pflanzenschutzmitteln und Maschinen kostet jährlich vielen Menschen das Leben. In den Entwicklungsländern spielen Infektionskrankheiten, wie zum Beispiel Malaria, bei der Arbeit am Feld, aber auch gefährliche Wildtiere eine große Rolle.

Ein weiterer Aspekt sind die derzeitigen Essgewohnheiten der Weltbevölkerung. Fast Food, das sehr fetthaltige Speisen beinhaltet, hat zu Übergewichtsproblemen bei Menschen geführt (vgl. NILOK, 2011, 6).

## 1.4 Nachteile von Vertical Farming

### 1.4.1 Keime

Vertical Farms haben das gleiche Ziel wie Krankenhäuser, nämlich möglichst keimfrei zu bleiben. Resistente Keime können jedoch ein großes Problem darstellen, weil sie kaum vermeidbar beziehungsweise bekämpfbar sind. In der Natur kann dieses Problem nicht auftreten, da es viele verschiedene Mikroorganismen gibt und ein einziger Keim allein nicht fähig ist, sich weit auszubreiten (vgl. GRAND, 2018).

Durch diese sterile Umgebung, die mit einem Krankenhaus vergleichbar ist, können multiresistente Keime entstehen. Diese Keime sind nicht nur resistent, sondern können auch eine Gefahr darstellen (vgl. DRAMONT, 2018).

#### 1.4.2 Mikroben

Die Mikroorganismen und das Bodenleben übernehmen verschiedene Steuertätigkeiten der Pflanze, wie zum Beispiel die Nährstoffmobilisierung oder die Krankheits- und Schädlingsabwehr. In der vertikalen Landwirtschaft sind praktisch keine Mikroben vorhanden und müssen durch das Zutun von Menschen ersetzt werden (vgl. GRAND, 2018).

#### 1.4.3 Sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe

Damit Pflanzen Nährstoffe aus dem Boden aufnehmen und Schädlinge abwehren können haben sie verschiedene Strategien entwickelt. Deshalb produzieren die Nutzpflanzen Bitter- und Gerbstoffe und lagern Farbstoffe ein. Diese Stoffe machen die Pflanzen zu wertvollen Lebensmitteln für den Menschen. Wenn sie jedoch ohne Widerstand und Stress wachsen können fehlen diese wichtigen Stoffe in den Lebensmitteln (vgl. GRAND, 2018).

Dadurch entstehen sehr saubere Lebensmittel, die unser Immunsystem noch weiter schwächen und noch mehr Allergien verursachen könnten (vgl. DRAMONT, 2018).

#### 1.4.4 Hoher Energiebedarf

Es ist sehr wichtig, die richtige Gebäudetypologie mit der richtigen Kultur zu kombinieren, da dies ansonsten aufgrund des hohen Technisierungsgrades zu einem sehr hohen Energiebedarf führen könnte, der nicht mit erneuerbarer Energie abgedeckt werden kann. Deshalb ist die Optimierung der Abstimmung zwischen der Gebäudetypologien und der Kulturen beziehungsweise der Kulturfolgen sehr wichtig, um die Effizienz einer Vertical Farm zu steigern. Wenn dies gewährleistet werden kann, ist es möglich, die gesamte benötigte Elektrizität ausschließlich mit erneuerbaren Energien zu erzeugen (vgl. PODMIRSEG, 2017, s.p.).

#### 1.4.5 Kosten

Der Erbau und Betrieb einer Vertical Farm ist im Moment noch sehr kostspielig. Auch wenn höhere Erträge erzielt werden können, sind die Kosten jedoch zu hoch, um Gewinn erwirtschaften zu können. Deshalb verweigern im Moment die Staaten die Förderung von Vertical Farming, trotzdem könnte es in der Zukunft aufgrund von weiteren Umweltkatastrophen ein Muss werden (vgl. MATHIS, 2009, s.p.).

#### 1.4.6 Mehrwert

Die vertikale Landwirtschaft hat fast keinen Mehrwert. Ein kleiner Biogemüsebauernhof produziert nicht nur hochwertige Lebensmittel, sondern fördert auch die Biodiversität, speichert, trägt Kohlenstoff in den Boden ein und pflegt zugleich auch die Landschaft. Diese positiven Aspekte würden in der vertikalen Landwirtschaft wegfallen (vgl. GRAND, 2018).

### 1.5 Technologien

Die vertikale Landwirtschaft ist ein komplexes System und benötigt eine Vielzahl an Technologien. Einige von ihnen sind noch nicht ausgereift und müssen noch erforscht werden. Die wichtigsten einsetzbaren Technologien werden im Folgendem beschrieben (vgl. NILLOK, 2011, 7).

#### 1.5.1 Gewächshauscomputer

Um den Nutzpflanzen optimale Wachstumsbedingungen gewährleisten zu können, werden in der vertikalen Landwirtschaft Gewächshauscomputer eingesetzt. Wichtige Informationen von Wachstumsfaktoren, wie zum Beispiel Bewässerung oder Düngung, werden gesammelt und miteinander vernetzt. Durch die kontinuierliche Überwachung ist es möglich, ressourcenschonende und günstige Kulturverfahren zu verwenden.

Sensoren in der Vertical Farm helfen, bestimmte Größen zu messen. Wichtige Faktoren, wie die Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und die CO<sub>2</sub>-Konzentration werden gemessen. Weiters wird auch die Innenlichtstärke überprüft, um die Beleuchtungsanlage zu optimieren zu können. Zuletzt finden die Sensoren wichtige Informationen über die Nährstofflösung heraus. Nicht nur der pH-Wert ist dabei wichtig, sondern auch die Leitfähigkeit der Nährstofflösung zur Verbesserung der Nährstoffgaben (vgl. NILOK, 2011, 25f).

### 1.5.2 Beleuchtungstechnologie

Da die vertikale Landwirtschaft einen hohen Energiebedarf hat, ist es wichtig, eine effiziente Beleuchtungstechnik zu verwenden. Dadurch wird die Kultivierung von Nutzpflanzen weniger energieintensiv und die dabei entstehenden Kosten werden komprimiert. Mit der modernsten LED-Technik kann man mit Hilfe der unterschiedlichen Lichtfarben und Lichtintensität die Pflanzenproduktion steigern und dennoch Energie sparen (vgl. KAHLENBORN und TAAPPESER, 2018, 8).

### 1.5.3 Hydroponik

Hydroponik ist das Kultivieren von Pflanzen ohne organische Substanz. Die Erde wird durch anorganische Substrate, wie zum Beispiel Steinwolle und Bimsstein, ersetzt. Es gibt aber auch Anbaumethoden, die auf ein Substrat verzichten und die Wurzeln ganz oder nur teilweise in die Nährstofflösung getaucht werden.

Man unterscheidet zwischen aktiven und passiven Hydrokulturen. Auf die passiven Hydrokulturen wird jedoch kein Augenmerk gelegt, weil diese hydroponischen Systeme im Außenbereich verwendet werden und keinen hohen technischen Aufwand benötigen. Aktive Systeme sind meist hochkomplexe Systeme mit Beleuchtungsanlagen und anderen technischen Einrichtungen (vgl. IMMERL, s.a.).

### 1.5.3.1 Ebbe-Flut System

Bei diesem System, das in der Abbildung 1 bildlich dargestellt ist, wird die Nährstofflösung in regelmäßigen Zeitabständen, das mit Hilfe einer Zeitschaltuhr funktioniert, zu den Pflanzen gepumpt. Die Pflanzen sitzen in Netztöpfen mit einem Substrat und können die benötigte Menge an Mineralstoffen ohne hohen Energieaufwand aufnehmen. Wenn die Bewässerungsdauer endet, läuft die Nährstofflösung über einem Überlauf wieder zurück in das Wasserreservoir. Aufgrund des variierenden Wasserspiegels erhalten die Wurzeln genügend Sauerstoff, der für ein gutes Pflanzenwachstum benötigt wird (vgl. HYDROPONIK-URBAN-GARDENING, 2019).

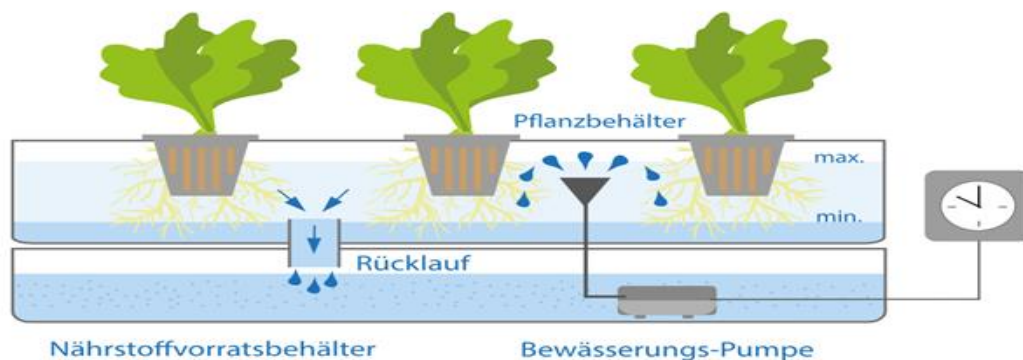


Abbildung 1: Ebbe-Flut System (HYDROPONIK-URBAN-GARDENING, 2019)

Das Ebbe-Flut System ist ein sehr einfach aufgebautes System und hat keinen hohen Wartungsaufwand. Durch die flexible Bewässerungsdauer kann man den Zyklus der Bewässerung sehr gut an die Pflanzen anpassen, daher ist dieses hydroponische System auch für Pflanzen aus anderen Klimazonen geeignet. Da das System von einer Pumpe abhängig ist, können technische Defekte ein Problem darstellen. Des Weiteren könnte das Verstopfen des Überlaufes zu einer Überschwemmung führen. Nährstoffablagerungen im Substrat, die Schwankungen des pH-Wertes bewirken, könnten ein weiterer Nachteil dieser Methode sein (vgl. POLSFUSS, 2019).

### 1.5.3.2 Nährstoff-Film Technik

Das Nährstoff-Film System wird permanent bewässert und die Pflanzenwurzeln werden nur durch einen dünnen Wasserfilm umgeben, wie in der Abbildung 2 ersichtlich ist. Das

hat den Vorteil, dass ein Teil der Wurzeln in der Luft hängen und dadurch ein perfektes Verhältnis zwischen dem Sauerstoff und der Nährstofflösung entsteht. Eine Pumpe befördert das Wasser auf die Pflanzenebene. Durch ein leichtes Gefälle der Ebene kann das Wasser ungehindert wieder retour in das Sammelbecken fließen. Das permanente Zirkulieren der Nährstofflösung und der Verzicht auf ein Substrat verhindert eine Nährstoffansammlung. Da man bei diesem System kein Substrat verwendet, können die Wurzeln schnell und ungehindert wachsen (vgl. HYDROPONIK-URBAN-GARDENING, 2019).

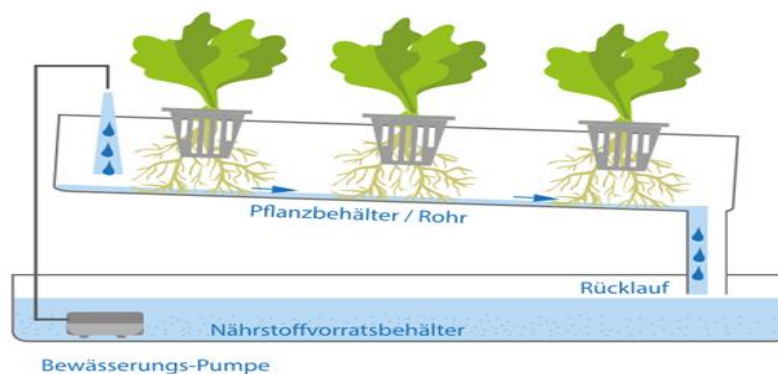


Abbildung 2: Nährstoff-Film Technik (HYDROPONIK-URBAN-GARDENING, 2019)

Wie das Ebbe-Flut System ist auch die Nährstoff-Film Technik ein relativ simples System. Ein Timer wird nicht benötigt, da die Pflanzen durchgehend bewässert werden. Ein Problem könnte ein Pumpenausfall darstellen, der so schnell wie möglich zu beheben wäre. Diese Methode ist nicht für Pflanzen mit großen Wurzeln geeignet. Verstopfungen können durch die richtige Abstimmung von Form, Gefälle und Strömungsgeschwindigkeit vermieden werden (vgl. SCHNEIDER, s.a.).

### 1.5.3.3 Tiefwasserkultur

In der folgenden Abbildung wird die Funktion einer Tiefwasserkultur dargestellt. Bei diesem hydroponischen System hängen die Wurzeln direkt in das Wasserreservoir mit der Nährstofflösung. Die Pflanzen werden in Netztöpfe gesetzt, die bei Bedarf mit einem Substrat ausgestattet werden. Die Töpfe sind entweder auf einer schwimmenden Platte, das Floß genannt wird, befestigt oder sie werden direkt durch ein Loch im Deckel in das Wasserreservoir gesetzt. Mit Hilfe eines Belüftungssteins und einer Luftpumpe werden die Wurzeln mit Sauerstoff versorgt (vgl. HYDROPONIK-URBAN-GARDENING, 2019).

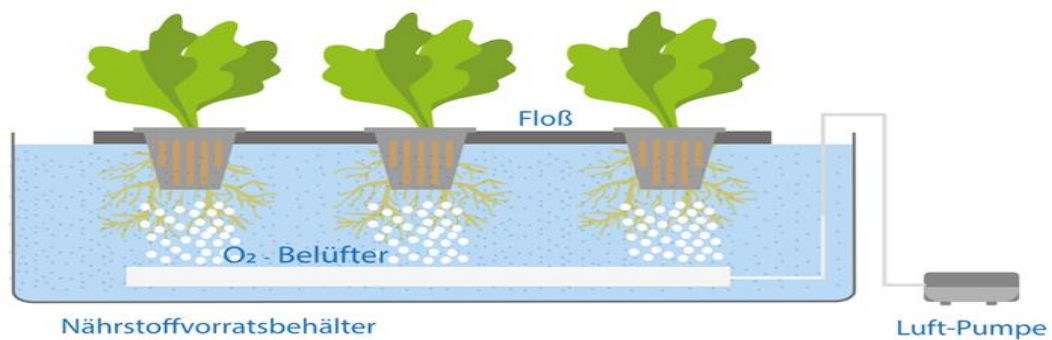


Abbildung 3: Tiefwasserkultur (HYDROPONIK-URBAN-GARDENING, 2019)

Tiefwasserkulturen sind sehr einfach aufgebaute Systeme. Die einzelnen Kulturen wachsen aufgrund der optimalen Nährstoff- und Sauerstoffversorgung schnell und sind sehr ertragsreich. Bei Ausfall der Sauerstoffzubringer bekommen die Wurzeln zu wenig Sauerstoff und könnten dadurch absterben. Weiters ist zu beachten, dass dieses Bewässerungssystem nicht für jede Pflanze geeignet ist (POLSFUSS, 2019b).

#### 1.5.3.4 Tiefwasser-Film Technik

In der Abbildung 4 kann man sehr gut erkennen, dass das Tiefwasser-Film System dem Nährstoff-Film System sehr ähnlich ist. Anstatt des dünnen Films werden die Wurzeln der Pflanze mit einer 3-4 cm Schicht der Nährstofflösung umgeben. Dadurch ist das System auch sicherer, weil die Pflanzen nach einem Pumpenausfall trotzdem noch mit der Nährstofflösung ausreichend versorgt sein würden. Dennoch hat sich das System nicht durchgesetzt, da die Wurzeln ungleichmäßig mit Sauerstoff versorgt werden und die Pflanzen nur sehr ungleichmäßig heranwachsen (vgl. HYDROPONIK-URBAN-GARDENING, 2019).

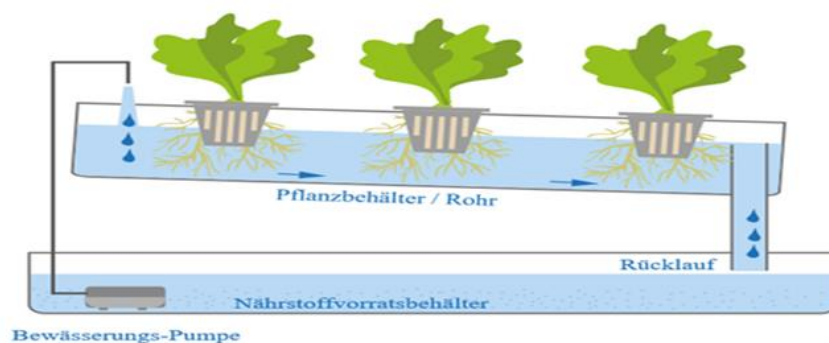


Abbildung 4: Tiefwasser-Film Technik (HYDROPONIK-URBAN-GARDENING, 2019)



### 1.5.3.5 Tröpfchenbewässerung

Über einen Tropfschlauch wird die Nährstofflösung bei diesem Bewässerungssystem auf das Substrat getropft. Die nicht absorbierte Nährstofflösung sickert nach unten und zieht Sauerstoff zu den Wurzeln. Das Wasser wird von einem Auffangbehälter aufgefangen und wieder zurück in das Wasserreservoir geleitet, wie in der nachstehenden Abbildung ersichtlich. Durch das Versickern des überschüssigen Wassers wird eine Staunässe verhindert und eine optimale Entwicklung der Wurzeln führt zu guten Erträgen. Die Tröpfchenbewässerung kann auch nicht zirkulierend stattfinden. Hier wird einfach das abfließende Wasser in einem anderen Behälter gesammelt. Dies ist in der industriellen Kultivierung sehr wichtig, um Krankheiten zu vermeiden. Beim nicht zirkulierenden System sind der Nährstoff und Wasserbedarf allerdings höher (vgl. HYDROPONIK-URBAN-GARDENING, 2019).

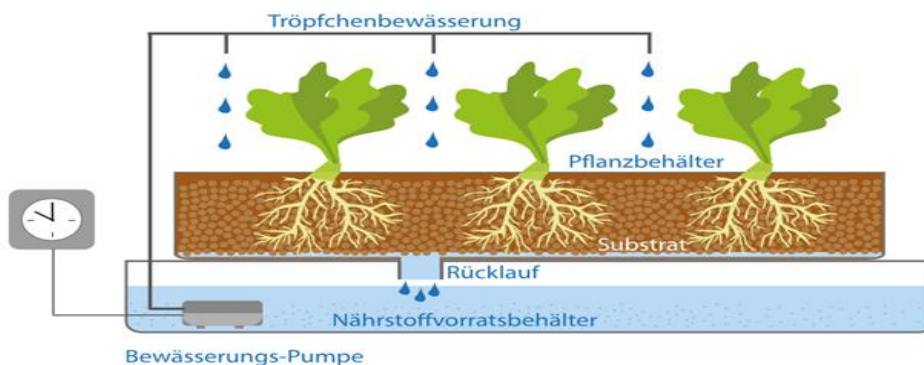


Abbildung 5: rezirkulierende Tröpfchenbewässerung (HYDROPONIK-URBAN-GARDENING, 2019)

### 1.5.3.6 Aeroponik

Die Abbildung 6 zeigt das hydroponische System Aeroponik. Bei dieser Bewässerungsmethode hängen die Wurzeln mit einem Netztopf in einer mit Luft befüllten Kammer. Die Pflanzen werden durch einen Sprühnebel der Nährstofflösung ernährt. Die Wurzeln werden permanent benebelt durch Sprühdüsen (vgl. HYDROPONIK-URBAN-GARDENING, 2019).

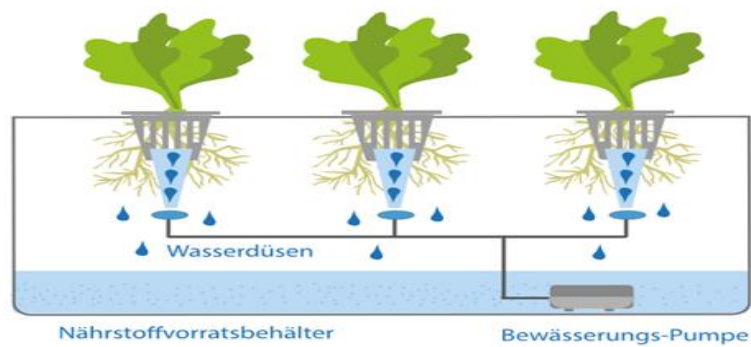


Abbildung 6: Aeroponik (HYDROPONIK-URBAN-GARDENING, 2019)

Ein großer Vorteil ist, dass durch den Nebel die Pflanzen genügend Sauerstoff zu Verfügung haben. In anderen Systemen sollte die Wassertemperatur möglichst niedrig sein, um den Sauerstoffgehalt zu fördern. Aeroponik stellt durch den Nebel genug Sauerstoff zu Verfügung und deshalb muss auf die Wassertemperatur kein besonderes Augenmerk gelegt werden. Aufgrund der Düsen hat dieses hydroponische System jedoch einen sehr hohen technischen Aufwand. Bei einem Defekt der Sprühnebelanlage oder bei Verstopfung der Düsen muss schnell gehandelt werden, da die freihängenden Pflanzen dies nur schwer verkraften (vgl. SCHNEIDER, s.a.).

#### 1.5.3.7 Aquaponik

Aquaponik ist eine Kombination von Aquakultur, also die Fischzucht, und Hydrokultur. Bei diesem System wird, wie in der Abbildung 7 erkennbar ist, das Abwasser des Fischzuchtbeckens mit den Ausscheidungen für Nährstoffversorgung der Pflanzen verwendet. Um die Nährstoffe für Pflanzen verfügbar zu machen, setzt man Mikroorganismen ein. Bei diesem Prozess wird gleichzeitig das Wasser gereinigt und kann in das Fischwasserbecken zurückgeführt werden (vgl. HYDROPONIK-URBAN-GARDENING, 2019).

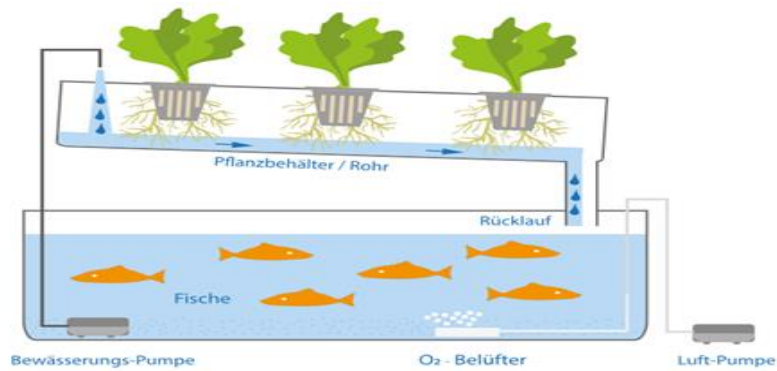


Abbildung 7: Aquaponik (HYDROPONIK-URBAN-GARDENING, 2019)

## 1.6 Beispiele für Vertical Farms in Österreich

### 1.6.1 Vertical Farm Institut

Das Institut ist ein internationales Forschungsnetzwerk für Vertical Farming in Wien. Experten aus verschiedenen Branchen, wie zum Beispiel Architektur, Pflanzenphysiologie aber auch Kunst, versuchen die Zukunftstechnologie weiter zu erforschen und umsetzungsfähige Projekte zu entwickeln. Ein Beispiel für ein Projekt ist eine Vertical Farm, die Firewall genannt wird.

Die Firewall, ist eine vertikale Farm, die ungenützte Flächen in der Stadt für die Kultivierung von Nutzpflanzen nützt. Da es direkt an ein Gebäude anschließt, hat dieses zusätzlich einen energetischen Vorteil. Die produzierten Produkte können im Erdgeschoss liegenden Shop gekauft werden. Dieses Konzept ist bereits völlig ausgereift und umsetzungsfähig (vgl. VERTICAL FARM INSTITUTE, 2018).

### 1.6.2 Herbeus Greens

Das Unternehmen Herbeus Greens befindet sich im niederösterreichischen Raasdorf. Die Unternehmer und Neubauern Clemens Jahn und Ronald Frank eröffneten im Jahr 2018 die erste großangelegte Vertical Farm in Österreich. Das Wissen erlangten sie durch einen Testdurchlauf in einer rund 40 Quadratmeter großen Garage und konnten mit dieser

Fläche 40 Restaurants in Wien beliefern. Heute kultiviert Herbeus Greens Pflanzen in einer Lagerhalle mit etwa 60 Quadratmeter (vgl. ATEFIE, 2018).

Herbeus Greens erntet nur Microgreens, das sind Pflanzen, die in einem frühen Stadium des Wachstumszyklus geerntet werden. Die kleinen Pflänzchen wachsen in einem Zeitraum von 8 bis 25 Tagen und erreichen eine Höhe von fünf bis acht Zentimeter. Diese Keimlinge sind zwar klein, sind aber trotzdem sehr wohlschmeckend. Weiters haben Microgreens eine rund 40 % höhere Nährstoffdichte als ausgewachsene Gemüsesorten und haben somit einen höheren Gehalt an Vitaminen, Ballaststoffen, Mineralen und ätherischen Ölen. Herbeus Greens bietet derzeit 30 verschiedene Gemüsesorten an wie zum Beispiel Microgreens von Sonnenblumen, Erbsen oder Radieschen (vgl. HERBEUS GREENS, 2019).

## 1.7 Allgemeines Hanfpflanze

### 1.7.1 Aussehen

Die handförmig zusammengesetzten Blätter der Hanfpflanze haben pro Blatt sieben bis neun kleine Blättchen, die Anzahl kann jedoch variieren. Je höher eine Pflanze ist, desto mehr Blättchen können pro Blatt ausgebildet werden. Die Blättchenanzahl auf den einzelnen Blattpaaren wird mit voranschreitender Blüte wieder geringer. Bei der endständigen Blüte befinden sich dann wieder Einzelblättchen. Die Anordnung der Blätter ist im unteren Bereich gegenständig und im oberen Bereich wechselständig, jedoch ist der Wuchs je nach Art verschieden. In Abbildung 8 sind die für die Hanfpflanze typischen Blätter an einem Steckling ersichtlich. Der Nutzhanf (*Cannabis sativa*) kann bis zu vier Meter hoch werden. Er hat meist einen dicken faserhaltigen Stängel. Eine auch weit verbreitete Sorte ist der indische Hanf (*Cannabis indica*). Im Vergleich zum Nutzhanf ist er mit nur circa 1,20 Meter sehr klein. Außerdem ist er im Gegensatz zum Nutzhanf faserarm und buschig. Eine noch kleinere Art ist der Ruderalhanf (*Cannabis ruderalis*) mit ungefähr 60 Zentimeter. Er hat typische, große Blätter und ein lockeres Laubwerk. Wichtig beim Hanf ist, dass die männlichen Blüten nicht mit den weiblichen Blüten auf einer Pflanze

wachsen. Betrachtet man die Blüten genauer, kann man erkennen, dass die männlichen Blüten lose in Rispen, die weiblichen Blüten aber in Trauben angeordnet sind (vgl. NADIG2009, s.p.).



*Abbildung 8: Hanfpflanze (SIEGL, 2019)*

## 1.7.2 Anbau und Wachstum

Für den Anbau der Hanfpflanze können verschiedene Standorte sowie Methoden in Erwägung gezogen werden (vgl. LIZERMANN, 2012, s.p.).

### 1.7.2.1 Outdooranbau

Unter Outdooranbau versteht man das Anpflanzen des Hanfes unter freiem Himmel. Zu beachten sind dabei jedoch der erhöhte Schädlingsdruck, die Gefahr der Beschädigung oder Vernichtung durch Tiere, die schwierige Regulierung des pH-Wertes in der Erde, hohe Temperaturen im Sommer, Schimmelgefahr durch Niederschlag sowie jahreszeitenbedingte Temperaturschwankungen. Beim Anbau im Outdoorbereich sind eigens dafür gezüchtete Cannabissorten zu wählen. Diese sind aufgrund ihres Wuchsverhaltens, ihrer

Blütedauer sowie ihrer Wetterfestigkeit an die Bedingungen in der Natur angepasst (vgl. LIZERMANN, 2012, s.p.).

#### 1.7.2.2 Indooranbau

Beim Indooranbau kann man zwischen verschiedenen Methoden unterscheiden. Generell gilt, dass die Pflanzen ohne Sonne, richtigen Boden, Regen oder Wind wachsen. Als Hilfsmittel verwendet man hierbei meist eine Zeitschaltuhr sowie Lampen für künstliches Licht. Weiters wird für die Erzeugung von Wind ein Ventilator verwendet und Frischluft tritt, wenn vorhanden, über ein Fenster in die Innenräume. Wird beim Anbau Erde verwendet, ist diese speziell für den Hanf aufbereitet. Ein wesentlicher Vorteil besteht darin, dass durch die künstlich erzeugten Prozesse der Anbau weniger zeitintensiv ist als in der Natur (vgl. LIZERMANN, 2012, s.p.).

#### 1.7.2.3 Licht

Um die optimalen Erträge erzielen zu können, sollte die richtige Beleuchtung verwendet werden. Man benötigt unterschiedliche Leuchtmittel mit verschiedensten Lichtspektralen. Die Beleuchtungsintensität ist je nach Wachstums- und Blütephase unterschiedlich zu wählen. Auf Leistung und Lichtspektrum der gewählten Beleuchtung sollte man für einen erfolgreichen Anbau großen Wert legen (vgl. LIZERMANN, 2012, s.p.).

#### 1.7.2.4 pH-Wert

Damit die Hanfpflanze alle Nährstoffe, welche ihr während der Wachstumsperiode zur Verfügung gestellt werden, effizient verwerten kann, ist der richtige pH-Wert von wesentlicher Bedeutung. Ist dies nicht der Fall, kommt es zu Mangelerscheinungen der Pflanze, welche zu Ertragseinbußen und sogar zum Absterben führen können. Handelt es sich beim Nährmedium der Hanfpflanze um gewöhnliche Erde, führt der falsche pH-Wert dazu, dass es zur Ablagerung der Nährstoffe in kristalliner Form in der Erde kommt und die Pflanze die Nährstoffe nicht mehr verwerten kann. Die Wichtigkeit des korrekten pH-Wertes ist

jedoch auch bei anderen Nährmedien nicht außer Acht zu lassen. Unterschiedliche Nährstoffe können bei einem zu hohen pH-Wert beziehungsweise zu niedrigem pH-Wert nicht mehr verwertet werden. Allgemein ist ein pH-Wert von 6,5-7,5 beim Anbau auf Erde optimal. Bei einem Anbau mit Kokos oder Hydroponik als Wachstumsgrundlage ist ein pH-Wert von 5,5-6,5 wünschenswert. Die am meisten leidenden Nährstoffe sind bei einem zu hohen pH-Wert Eisen, Mangan, Kupfer, Zink und Bor und bei einem zu niedrigen pH-Wert Phosphor, Kalzium und Magnesium. Die Nährstoffe in ihrer Gesamtheit unterliegen jedoch unterschiedlicher Wechselwirkungen und so kommt es zu starken Abhängigkeiten dieser zueinander (vgl. GONG, 2019).

#### 1.7.2.5 Nährstoffe

Zunächst ist es wichtig, die Nährstoffe in drei große Gruppen zu unterteilen. Man unterscheidet die sogenannten Makronährstoffe, die Sekundärnährstoffe und die Mikronährstoffe. Wie der Name schon zu erkennen gibt, sind die Makronährstoffe in größeren Mengen sehr bedeutend für die Pflanze. Wesentlich zu den Makronährstoffen gezählt werden Stickstoff (N), Phosphor (P) sowie Kalium (K). Wie für die meisten Pflanzen ist auch für die Hanfpflanze Stickstoff sehr wichtig für das Wachstum sowie für die Ausbildung von Blättern und Stängel. In Abbildung 9 ist zu sehen, wie sich die Blätter bei einem Mangel dieser wichtigen Nährstoffe entwickeln. Auch für die Fotosynthese und die Chlorophyllproduktion ist N von großer Bedeutung. Für die Wachstums- als auch für die Blühphase ist Phosphor ein wichtiger Makronährstoff. Die Ausbildung von Blüten, Wurzeln sowie die Bildung neuer Triebe wäre ohne ausreichender Phosphorversorgung nicht möglich. Ein weiterer wichtiger Makronährstoff ist das Kalium. Auch Kalium spielt eine wichtige Rolle bei der Wurzelbildung der Pflanze. Aber auch die Chlorophyllaktivität wäre ohne Kalium nicht möglich. Am Wichtigsten ist das Kalium aber für die Ausbildung der Blüten. Schwefel, Calcium und Magnesium zählen zu den wichtigsten Sekundärnährstoffen der Hanfpflanze. Diese sind für wichtige Vorgänge in der Pflanze wie beispielsweise die Enzymproduktion, von großem Stellenwert. Die Mikronährstoffe werden von der Hanfpflanze nur in geringen Mengen benötigt. Zu den bekanntesten Vertretern zählen Eisen, Zink, Bor, Mangan und Molybdän (vgl. WORMS, 2019).



Abbildung 9: Anzeichen eines Nährstoffmangels (SIEGL, 2019)

### 1.7.3 Geschichte

Hanf ist eine der ältesten Kulturpflanzen der Menschheit. Schon in früheren Kulturen galt er als Nutzpflanze sowie als Heilmittel. Spekulationen zufolge wird Kasachstan als Ursprungsland vermutet. Im alten Ägypten sowie in der altarabischen Medizin schätzte man den Hanf als Heilmittel. Auch von Hildegard von Bingen wurde der Hanf als gesundheitsfördernd gepriesen. Zur früheren Zeit bestanden rund 60 % aller Schmerzmittel aus Cannabisprodukten. Erst als am Ende des 19. Jahrhunderts die synthetischen Arzneimittel populär wurden, vertrieben diese die Hanfprodukte fast zur Gänze. Durch die Chemie- sowie Pharmaindustrie wurde für die aus Erdöl oder Schlafmohn erzeugten Arzneimonosubstanzen Werbung gemacht und die Bevölkerung substituierte Cannabisprodukte mit diesen. Der Nutzen der Hanfpflanze ist jedoch weitaus größer als nur in der Medizin. Vor allem in der Schifffahrt fand man großen Gefallen an diesem Material. So bestanden beispielsweise die Segel der phönizischen Handelsschiffe sowie die Tauen und Takelage bedeutender Schiffe am Anfang der Neuzeit aus Hanf. Weiters nutzen die Matrosen die Strapazierfähigkeit und die Beständigkeit gegen Salzwasser als Vorteil für ihre Kleidung. Auch das Papier für den Buchdruck von Gutenberg am Beginn der Neuzeit sowie Bücher im alten China wurden aus Hanffaser gefertigt (vgl. PLEYER et al., 2019, 14ff).



## 1.7.4 Nutzung

### 1.7.4.1 Samen

Hanföl ist ein wertvolles Produkt aus den Samen der Hanfpflanze. Die Herstellung des Öls erfolgt durch das Pressen der Samen sowie durch die Herstellung von Auszügen. Die Samen werden mit einem Mährescher von der Hanfpflanze getrennt und geerntet. Dieser Drusch stellt oft eine Schwierigkeit da, weil die Fasern sehr zäh sind und bei der Ernte oft Probleme bereiten. Generell sind beim Outdooranbau Erträge von ungefähr 1000 kg Samen je ha Fläche zu erwarten. Die Ölausbeute liegt dabei bei 30 bis 35 Prozent. Spricht man vom Hanföl, kann man von einer nicht psychoaktiven Substanz ausgehen, da dabei ja nicht von den ätherischen Ölen oder dem Öl des Harzes die Rede ist. Ernährungsphysiologisch betrachtet ist das Öl reich an Omega 3- und Omega 6-Fettsäuren. Auch bei Farben, Lacke sowie als Brennstoff und im kosmetischen Bereich findet das Hanföl Gebrauch. Die Samen finden auch unbehandelt Verwendung als Ballaststoffquelle in Müslis und gelten als Superfood. In der Abbildung 10 sind Hanfsamen zu sehen, welche für den menschlichen Verzehr geeignet sind (vgl. HIRSCHI und KLAISS, 2019).



Abbildung 10: Hanfsamen (SIEGL, 2019)

### 1.7.4.2 Fasern

Auch die Fasern des Hanfs haben einen wichtigen Nutzen und finden bei Kleidung, Isolierung sowie bei Formteilen für die Autoindustrie großen Anklang. Die Faser befindet sich

im Stängel der Hanfpflanze; weshalb für die Faserherstellung ein langer Stängel vom Vorteil ist. Die Fasern werden nach der Entfernung der verholzten Teile (Schäben) meist in Ballen gepresst. Die Schäben können als Einstreu in der Tierhaltung verwendet werden oder auch als Isolierung genutzt werden. Weitere Verwendungsmöglichkeiten der Fasern sowie der gesamten Pflanze sind in der Abbildung 11 ersichtlich (vgl. HIRSCHI und KLAISS 2019).

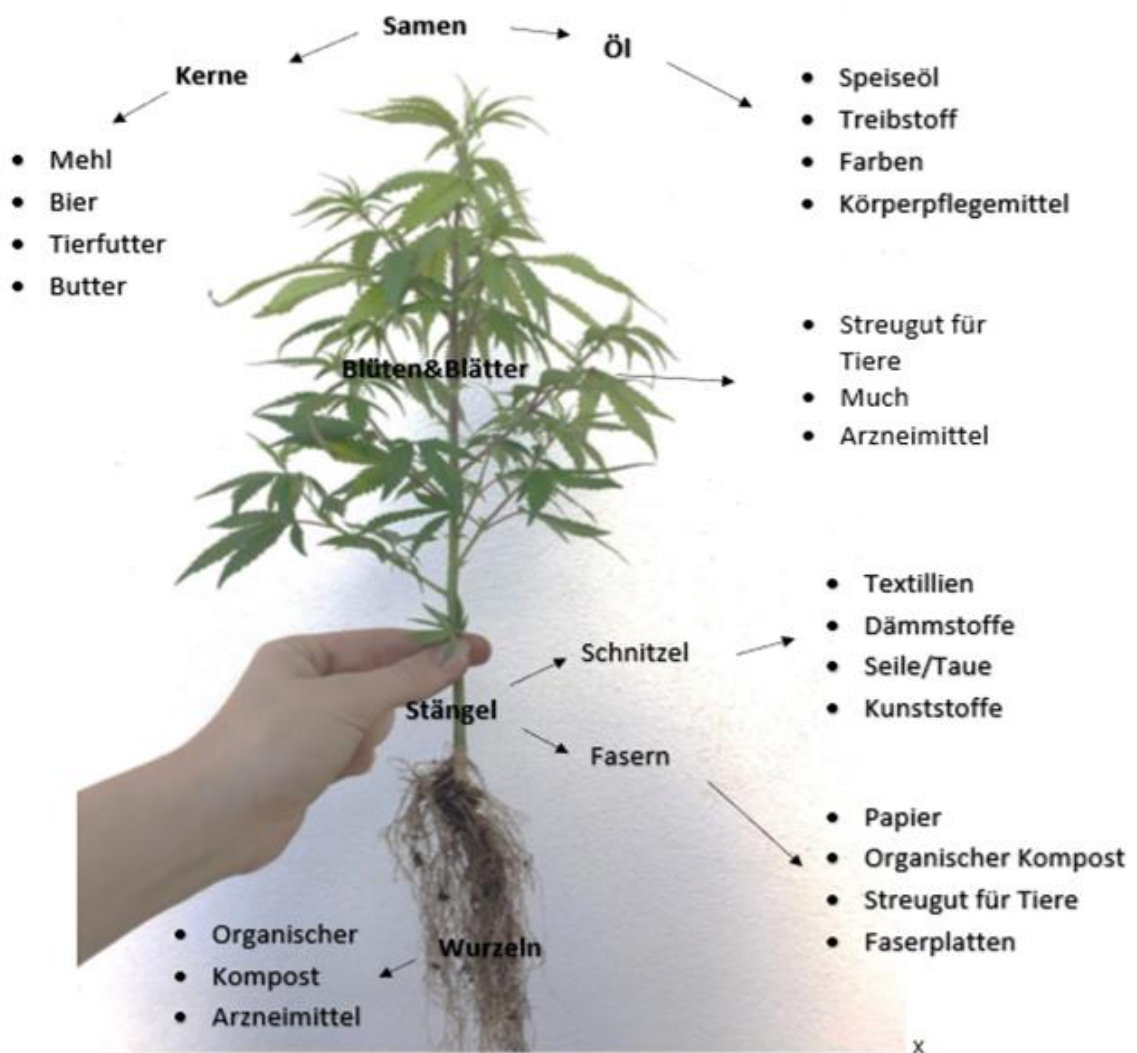


Abbildung 11: Nutzung der Hanfpflanze (vgl. PLEYER et al., 2019)

### 1.7.5 Inhaltsstoffe *Cannabis sativa*

Neben Cannabinoiden, Proteinen, Aminosäuren, Ätherischen Ölen (Terpenen), Zucker, Alkohole, Flavonoide, Vitamine, Hydrocarbone, Aldehyde und Fettsäuren konnten in der Hanfpflanze noch ca. 500 weitere Inhaltsstoffe entdeckt werden. Betrachtet man beispielsweise nur die Ätherischen Öle, kommen davon schon ungefähr 120 verschiedene in einer Pflanze vor. Die Zusammensetzung der Inhaltsstoffe variiert jedoch von Pflanze zu Pflanze. Die für die Medizin wichtigsten Inhaltsstoffe sind die Cannabinoide (vgl. KANATURI, 2019).

#### 1.7.5.1 Cannabinoide

Die nach der Pflanze benannten prominenten Inhaltsstoffe von *Cannabis sativa* sind die Cannabinoide. Diese „phenolischen Terpene“ leiten sich strukturell von Isoprenen ab und stellen sekundäre Inhaltsstoffe dar. Die Unterschiede zwischen den verschiedenen Cannabinoiden leiten sich aus den verschiedenen funktionellen Gruppen der Moleküle ab. Bisher wurden über 60 unterschiedliche Cannabinoide in Cannabis gefunden, die auch nur in dieser Gattung auftreten. Das wohl bekannteste Cannabinoid ist THC – Tetrahydrocannabinol. Dieses Molekül ist hauptverantwortlich für die psychoaktive Wirkung von Cannabis.

Die Moleküle binden im Körper an sogenannte Cannabinoid-Rezeptoren (CB-Rezeptoren) des körpereigenen Endocannabinoid-Systems. Hier wurden bisher zwei Rezeptortypen beschrieben, die sich nicht nur im Gehirn befinden. Es gibt neben den cannabistypischen Stoffen also auch körpereigene Cannabinoide des Menschen, die sogenannten Endocannabinoide. Diese dienen als Modulatoren und Regulatoren für einige natürliche Körperkreisläufe, jedoch ist über die genauen Funktionen noch nicht vieles bekannt. Im Stammhirn befinden sich keine CB-Rezeptoren, was erklärt, wieso es auch bei hoher Dosierung zu keinem Aussetzen der Atmung kommt (vgl. PHILIPPS UNIVERSITÄT MARBURG, 2019).

#### 1.7.5.2 Tetrahydrocannabinol (THC)

Wie bereits beschrieben ist dieser Stoff hauptverantwortlich für den Rauschzustand des Cannabiskonsums. Es kommt zu Veränderung in der Wahrnehmung, zum Beispiel in Bezug auf Farben und Geräusche. Neben Stimmungssteigerung und Euphorie wird jedoch auch eine sedierende, beruhigende Wirkung beschrieben. Konzentrations-, Lern- und Erinnerungsvermögen werden beeinträchtigt, selten kann es bei Überdosierung auch zu Verwirrtheit und Halluzinationen kommen. Da sich die CB-Rezeptoren auch im Kleinhirn und den Basalganglien befinden, kann es zu motorischen Störungen kommen (vgl. PHILIPPS UNIVERSITÄT MARBURG, 2019).

#### 1.7.5.3 Cannabidiol

Cannabidiol ist eines der Cannabinoide, welches nicht psychoaktiv wirkt. Es gilt als allgemein sehr gut verträglich und frei von Nebenwirkungen, weshalb es häufig für die Selbstmedikation eingesetzt wird. Cannabidiol kommt wie die anderen Phytocannabinoide vor allem als Säure in der Cannabispflanze vor. Die CBD-Carbonsäure (CBDa) ist die „azidische Form“ von CBD, weshalb auch der Buchstabe A hinter dem Cannabinoid gesetzt wird. Die Pflanze produziert daher nicht direkt CBD, sondern nur die Säure CBDa. Erst durch das Erhitzen und dem damit verbundenen Decarboxylierungsprozess wird die Säure dann in CBD umgewandelt (vgl. PHYTHODOC, 2019).

Besonders an CBD ist, dass es viele in der Medizin erwünschte Eigenschaften besitzt. So wirkt es gegen Schmerzen, entkrampfend, antiepileptisch, antipsychotisch, angstlösend, entzündungshemmend, antioxidativ. Des Weiteren schützt CBD die Nerven und hemmt Übelkeit. Aufgrund dieser Eigenschaften wird CBD gegen eine Vielzahl von Krankheiten wie beispielsweise Epilepsie, Psychose oder gegen Probleme des Nervensystems verwendet. Weiters wurde festgestellt, dass CBD auch gegen neurodegenerative Krankheiten wie Alzheimer oder Parkinson hilft. Auch krebshemmende Eigenschaften werden dem CBD zugeschrieben.

Betrachtet man CBD in Verbindung mit dem körpereigenem Endocannabinoidsystem, ist zu erkennen, dass dieses nur in einem sehr geringen Ausmaß mit den Rezeptoren des Endocannabinoidsystems interagiert. Bemerkenswert ist eher, dass CBD den Abbau der körpereigenen Cannabinoide hemmt, was bedeutet, dass die Wirkung der vom Körper selbst erzeugten Substanzen intensiviert sowie verlängert wird (vgl. LÜSCHER, 2012).

Der natürliche Cannabiswirkstoff CBD, welchen man aus der weiblichen Cannabisblüte gewinnt, wird vor allem aus Nutzhanf gewonnen, da dieser meist einen niedrigen THC-Gehalt besitzt. Dabei wird CBD aufwendig von den anderen Cannabinoiden der Pflanze getrennt. Eine der am häufigsten verwendeten Methoden, um die Cannabidiol-Carbonsäure (CBDa) in CBD umzuwandeln, ist die Extraktion mit hochprozentigem Alkohol. Weitere Möglichkeiten zur Gewinnung von CBD sind die Verwendung von Butan, die gezielte industrielle Erhitzung sowie die als hochwertig eingestufte Form der CO<sub>2</sub>-Extraktion.

Als Konsument kann man CBD in verschiedensten Formen erwerben. Die Bekanntesten am Markt verwendeten Produkte sind CBD-Öl, CBD-Kapseln, Kosmetikprodukte, Esswaren und Lebensmittel sowie E-Liquids. Diese können beispielsweise über die Atemwege, über die Schleimhäute, über den Verdauungsapparat sowie über die Haut in den Körper gelangen (vgl. HANF-INFOS, 2019).

## **1.8 Rechtslage Cannabis**

Betrachtet man die rechtliche Situation des Hanfes, kann man sagen, dass diese sehr umfangreich und kompliziert ist. Die Nutzpflanze Hanf darf seit 1995 in der Europäischen Union angebaut werden. In Österreich ist der Anbau von Cannabis nur unter einem THC-Gehalt von 0,3 % erlaubt. Laut des Suchtmittelgesetzes gilt Cannabis mit einem THC-Gehalt über 0,3 % als illegale Droge und darf nur für medizinische Zwecke von der Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit mit strengen Auflagen und Kontrollen angebaut werden, wobei die Inhaltsstoffe genau gemessen und überprüft werden. Die Einstellung sowie die Gesetze zum Thema Cannabis sind von Land zu Land verschieden. Das womöglich am meisten für den Cannabiskonsum bekannte Land in Europa sind die Niederlande. Dort ist Anbau und Konsum in sogenannten Coffee-Shops zulässig. Auch andere Länder

wie beispielsweise Kanada oder einige US-Bundestaaten erlauben den Konsum von Cannabis. Diese gelten dort oft als Substitutionsprodukt für Alkohol und andere Drogen und man erhofft sich damit ein Plus in der Wirtschaft. In Österreich sowie in vielen anderen Ländern der Welt ist ein Umdenken bezüglich des Cannabiskonsums in Gange und die Bevölkerung stellt die Regierung vor eine Herausforderung mit diesem so heiklen Thema (vgl. PLEYER et al., 2019, 38f).

## 2 Fragestellungen und Ziele

Mit der Diplomarbeit wird die Thematik behandelt, ob sich der vertikale Anbau auch für die Nutzpflanze Hanf eignet und sich darüber hinaus Cannabidiolerträge erzielen lassen.

Der Versuch wurde so konstruiert, dass die Hanfpflanzen sich in einer Umgebung befanden, welche für den vertikalen Anbau üblich ist. Eine Growbox und ein eigens zusammengestelltes hydroponisches Bewässerungssystem, welches die sich in Etagen befindlichen Pflanzen in Intervallen bewässerte und mit Nährstoffen versorgte, bildete die Wachstumsgrundlage für die in einem Drahtgitter befestigten Pflanzen. Die Pflanzen wurden mit Licht und Wärme versorgt und es wurde sichergestellt, dass die Nährstoff- sowie Wasserversorgung stets dem Wachstumsstadium gerecht wurde. Die Pflanzen wurden auch während der gesamten Versuchsdauer mit Frischluft versorgt und mit Wasser benetzt. Nach der Ernte der Hanfpflanzen wurden die Blüten sorgfältig vom Rest der Pflanze getrennt und bei Raumtemperatur schonend getrocknet. Die getrockneten Blüten wurden anschließend für die Messung des Cannabidiolgehaltes beim außerschulischen Partner Flowerbauer analysiert. Ein spezielles Gerät, welches die Inhaltsstoffe des Hanfes genau misst, lieferte uns dann die Ergebnisse zum Versuch.

Ziel dieser Diplomarbeit ist es, herauszufinden, wie der Wachstumsprozess der Hanfpflanzen mit dieser außergewöhnlichen Anbaumethode verläuft. Weiters ist es ein Ziel, festzustellen, inwieweit sich die Erträge an Cannabidiol mit dem vertikalen Anbausystem verbinden lassen. Der Schwerpunkt der gesamten Diplomarbeit liegt dabei, *Cannabis sativa*, eine Pflanze, welche weltweit verbreitet ist und durch ihre heilende Wirkung immer mehr an Beliebtheit gewinnt, mit der vor allem durch den geringen Platzbedarf für urbane Gebiete geeigneten Anbaumethode Vertikal Farming zu verknüpfen.

## 3 Material und Methoden

### 3.1 Versuchsaufbau

#### 3.1.1 Growbox

Die Growbox, welche für den Versuch verwendet wurde, hatte die Maße 120 cm × 120 cm × 200 cm. Sie besteht aus einem Metallgerüst und die Wände sowie der Boden bestehen aus Plastikplanen. Diese dichten die Growbox nach außen hin ab und reflektieren das Licht ins Innere der Growbox. In der Growbox befanden sich die für den erfolgreichen Anbau unbedingt benötigten Zusatzelemente. Ein Ventilator in der Box sorgte für die Zirkulation der Luft. In den Wänden eingebaute Lüftungselemente beförderten die für die Pflanzen nötige Frischluft von außen hinein. An der Decke der Growbox befand sich das Licht. Dieses versorgte die Pflanzen mithilfe einer eingebauten Zeitschaltuhr jeweils zwölf Stunden. In der Growbox befand sich ebenfalls ein Thermometer zur Kontrolle der Temperatur. Durch einen Reißverschluss gelang man ins Innere der Box.

#### 3.1.2 Bewässerungssystem

Das hydroponische Bewässerungssystem war auf zwei Etagen aufgeteilt. Eine Etage beziehungsweise Produktionseinheit stellte eine Blumenkiste dar. Die beiden Produktionseinheiten waren mit einer Plastikfolie und einer Kokosfaser, welche als Unterlage diente, ausgelegt. Ein aus Holz konstruiertes regalähnliches Gestell war das Grundgerüst und hielt die Blumenkisten in ihren Positionen. Weiters hatten die Etagen ein leichtes Gefälle, damit die Nährstofflösung ungehindert von der oberen in die untere Etage fließen konnte. Die beiden Produktionseinheiten wurden mit einem Schlauch verbunden. Als Wasserreservoir diente ein Aquarium, von dem die Nährstofflösung mit Hilfe einer Pumpe in die oberste Etage befördert wurde. Eine weitere Pumpe versorgte das Wasser mit Sauerstoff. Der Kreislauf der Nährstofflösung endete wieder im Wasserreservoir, wo es von der unteren



Produktionseinheit wieder hineinfluss. Der Aufbau des Bewässerungssystems ist in der Abbildung 8 nochmals ersichtlich.



Abbildung 12: selbstgebautes Bewässerungssystem (STANGL, 2019)

### 3.1.3 Hanfpflanzen

Die für den Versuch verwendete Hanfsorte „Rosi“ ist eine THC-haltige Sorte unter 0,2 %.

Der erste Durchgang wurde mit sieben Pflanzen durchgeführt. Fünf von den Stecklingen waren kleine Pflanzen mit Steinwolle, die wir jedoch mit einem Nährstoffmangel erhielten, wie in der Abbildung 13 ersichtlich ist. Die anderen zwei waren normale Stecklinge in Erde, weshalb die Wurzeln von der Erde befreit und gereinigt werden mussten. Diese Pflanzen waren giftgrün gefärbt und hatten keine Mängel. Von den Pflanzen mit Steinwolle befanden sich vier in der oberen Etage und eine in der unteren Etage. Die anderen zwei waren ebenfalls in der unteren Blumenkiste platziert.

Im zweiten Durchgang wurden vier Stecklinge in Erde verwendet, wobei die Wurzeln von der Erde befreit und dann gereinigt werden mussten. Bei diesem Versuchsdurchlauf

wurden sowohl in der oberen als auch in der unteren Etage jeweils zwei Pflanzen im Gitter befestigt.



Abbildung 13: Hanfsteckling in Steinwolle (SIEGL, 2019)

## 3.2 Versuchsablauf

### 3.2.1 Parameter

Im Laufe der beiden Versuchsdurchgänge wurden die für das Wachstum der Pflanzen wichtigen Parameter genau dokumentiert. Die Lufttemperatur sowie die Temperatur des Wassers wurden in bestimmten Zeitabständen gemessen. Auch der EC-Wert, welcher die Leitfähigkeit des Wassers in Siemens pro Meter (S/m) angibt, wurde in gewissen Intervallen mit einem speziell dafür geeigneten Messgerät gemessen. Der pH-Wert des Wassers wurde mit Messstreifen ermittelt und wenn erforderlich durch eine pH-Wert steuernde Flüssigkeit im optimalen Bereich zwischen 6-7 gehalten. Weiters wurde das Wachstum der Pflanzen in regelmäßigen Zeitabständen untersucht. Die Höhe jeder einzelnen Pflanze wurde wöchentlich mit einem Lineal gemessen und die Anzahl der Blätter gezählt. In der folgenden Abbildung sind die Parameter und die dazu erhobenen Daten ersichtlich.

Datum	Uhrzeit	Temperatur Growbox	Wasser- tempera- tur	EC-Wert	
17.10.2019	17:00	24,2 °C	18°C	0,473	6,5
24.10.2019	14:00	20,5°C	16,6°C	0,476	6,5
31.10.2019	08:40	24°C	17,2°C	0,476	6,6
8.11.2019	15:00	22,7°C	16,9°C	0,476	6,4
14.11.2019	13:00	22,8°C	16,6°C	0,476	6,5
21.11.2019	13:30	22,6°C	12,7°C	0,476	6,3
28.11.2019	09:00	21,8°C	18,8°C	0,476	6,5
5.12.2019	13:30	24,6°C	19,8°C	0,476	6,4
12.12.2019	11:30	24,5°C	21,7°C	0,476	6,5
16.12.2019	14:00	24,2°C	20,3°C	0,476	6,5

Abbildung 14: Messung wichtiger Parameter während des Anbaus (SIEGL, 2020)

### 3.2.2 Zeit

Der erste Durchgang des Versuches startete im Oktober 2019. Da die dort verwendeten Hanfpflanzen noch relativ klein waren, dauerte dieser Versuch sechs Wochen. Schon nach vier Wochen konnte man mit einer Lupe die ersten Anzeichen von Blüten bei einzelnen Pflanzen erkennen. Nach sechs Wochen zeigten die Pflanzen deutliche Anzeichen vorhandener Mängel. Um die Blüten durch das frühzeitige Absterben der Pflanzen nicht zu verlieren, wurden diese nach sechs Wochen geerntet. Zu diesem Zeitpunkt waren bereits eindeutig mit der Lupe ersichtliche Blüten vorhanden. Beim zweiten Versuchsdurchlauf waren die Ausgangspflanzen schon wesentlich größer und es dauerte nicht so lange wie bei

Versuchsdurchlauf 1 bis zur Ausbildung von Blüten. Die vorhandenen Blüten wurden dann nach 25 Tagen geerntet, da sich der Zustand der überlebenden Pflanze multifaktoriell verschlechterte.

### 3.2.3 Düngung

Die Düngung im ersten Durchgang wurde mit einem PK-Dünger, der für Hydrokulturen geeignet ist, durchgeführt. Diese zwei Pflanzennährstoffe sind sehr wichtig für die Pflanzen, um in Blühstimmung zu kommen. Der Dünger enthielt 13 % Phosphorpentoxid und 14 % Kaliumoxid. Die Düngeintervalle sowie die Dosiermengen sind in der folgenden Abbildung ersichtlich.

<b>Datum</b>	<b>Wasser(l)</b>	<b>PK(ml)</b>
17. Okt	20	20
21. Okt	20	70
24. Okt	20	90
Wasserwechsel		
31. Okt	20	100
08. Nov	20	120
Wasserwechsel		
14. Nov	20	120

Abbildung 15: Düngung im ersten Durchgang (EIGENE DARSTELLUNG, 2020)

Im zweiten Durchgang wurde derselbe PK-Dünger verwendet. Zusätzlich wurde noch ein NPK-Dünger und eine pH-Wert senkende Flüssigkeit zur Optimierung gekauft. Der NPK-Dünger war ebenfalls für hydroponische Systeme geeignet. Dieser Dünger war aus 6 % Stickstoff, 3 % Ammoniumstickstoff und 3 % Nitratstickstoff sowie aus 4 % Phosphorpentoxid und 6 % Kaliumoxid zusammengesetzt. Des Weiteren enthielt der Dünger Spurenelemente wie Bor, Eisen, Mangan und Zink. Zur Senkung des pH-Wertes wurde eine 24,5%ige Lösung einer Phosphorsäure verwendet. Die folgende Abbildung enthält Information über die Dünagemengen sowie Düngeintervalle des zweiten Durchganges.

Datum	Wasser(Liter)	NPK(ml)	PK(ml)	pH(ml)
21. Nov	30	300	300	30
25. Nov	10	50	50	10
28. Nov	10	100	60	30
03. Dez	10	100	60	30
05. Dez	10	50	60	30
09. Dez	10	150	60	30
12. Dez	10	50	150	30
Wasserwechsel				
16. Dez	30	100	100	10

Abbildung 16: Düngung im zweiten Durchgang (EIGENE DARSTELLUNG, 2020)

Zusätzlich wurden die Hanfpflanzen regelmäßig mit einer Sprühflasche mit Wasser besprüht.

#### 3.2.4 Ernte

Die Hanfpflanzen des ersten Durchganges wurden nach 6 Wochen und die des zweiten Durchganges nach 25 Tagen geerntet. Mithilfe einer Schere konnten die Blüten von den Hanfpflanzen getrennt und die Blüten jeder einzelnen Pflanze separat getrocknet werden. Die Trocknung erfolgte in einem trockenen Raum mit einer Temperatur von etwa 25 Grad. Die Blüten des ersten Durchganges wurden rund zwei Monate getrocknet, die des zweiten Durchganges rund ein Monat.

#### 3.2.5 Analyse des Ertrages

Die Analyse der Blüten führte der außerschulische Partner am 21. Jänner 2020 durch. Es wurde mit dem Gerät THC-Digital Analyzer ML-XXL der Gehalt von THC, THCa, CBD, THCv, CBG, CBC, CBN und CBDa gemessen. Die folgende Abbildung zeigt einen Analysebericht des Versuches.

**Zertifikat** flowerbauer®  
Die Probe entspricht den vorgegebenen gesetzlichen Bestimmungen!

**Analysebericht**

für: <u>HBLFA Raumberg-Gumpenstein</u>	THC: <u>0,05</u>
Sortenbezeichnung: <u>Ros1</u>	THCa: <u>0,15</u>
Messung: <u>Industrial Hemp</u>	CBD: <u>0,97</u>
Datum der Probenahme: <u>21.01.2020</u>	THCv: <u>0,78</u>
Probenummer: <u>Durchgang 1</u>	CBG: <u>0,17</u>
ppm: <u>5,22</u>	CBC: <u>0,23</u>
Moisture Hemp: <u>3,80</u>	CBN: <u>0,16</u>
	CBDa: <u>0,79</u>

Alexander Manzler, Bnr: 3436012, info@flowerbauer.net  
Furt 16, 8982 Bad Mitterndorf, Mobil: +43 680 23 21 351  
BIC: RZSTAT2G249 IBAN: AT38 3824 9000 0302 2878

  
flowerbauer®  
Bad Mitterndorf  
Furt 16  
8982 Bad Mitterndorf  
Tel: +43 680 23 21 351  
info@flowerbauer.net

Abbildung 17: Analysebericht (FLOWERBAUER, 2020)

## 4 Ergebnisse und Diskussion

### 4.1 Erster Versuchsdurchgang

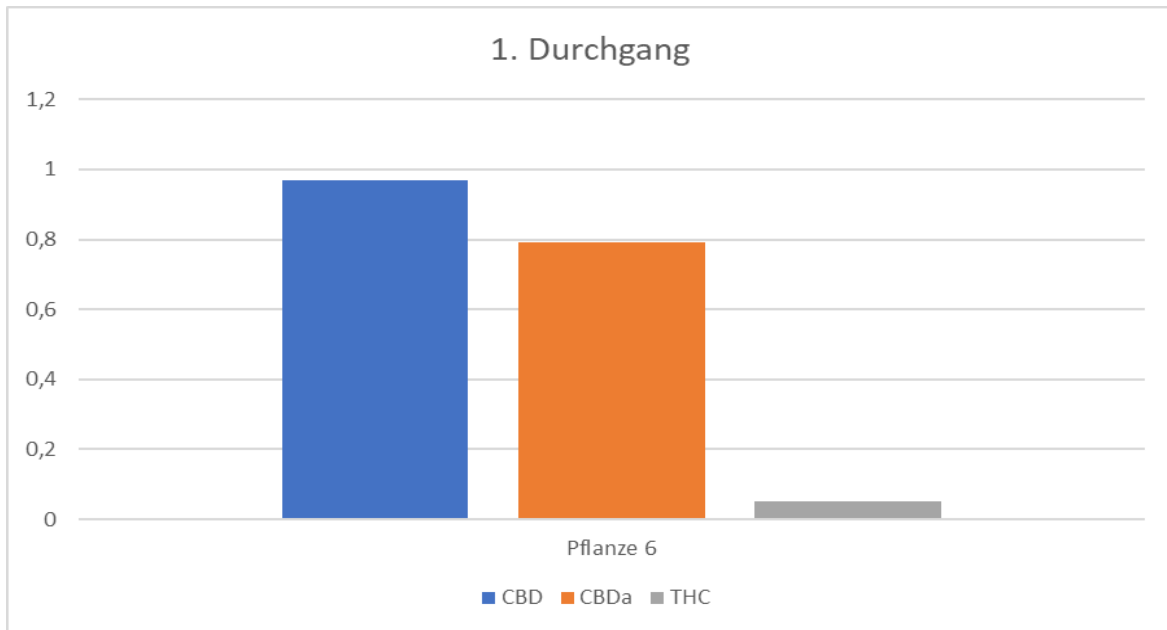


Abbildung 18: Ergebnisse des ersten Versuchsdurchganges (STANGL, 2020)

Der erste Durchgang wurde mit insgesamt sieben Hanfpflanzen durchgeführt. Die fünf Stecklinge, welche durch Steinwolle durchwurzelten, hatten bereits einen Nährstoffmangel vor dem eigentlichen Versuchsbeginn, welcher durch die gelb gefärbten Blätter zu erkennen war. Weiters war die Beleuchtung der Growbox nicht für das Kultivieren von Pflanzen in mehrere Etagen ausgerichtet, dadurch hatten die Hanfpflanzen mit Steinwolle in der obersten Etage eine zu starke Belichtung. Aufgrund dessen und des bereits vorhandenen Nährstoffmangels war es nicht möglich, die Pflanzen zum Blühen zu bringen. Die Pflanze 5 mit Steinwolle wurde bei Pflegemaßnahmen beschädigt und überlebte nicht.

Rasches Wachstum und Blütenbildung konnte man hingegen bei den Hanfpflanzen, welche durch die Wurzeln direkt in die Nährstofflösung hingen, beobachten. Da zu diesem Zeitpunkt nur mit einem PK-Dünger gedüngt wurde, hatte einer der beiden Stecklinge ein Stickstoffdefizit und überlebte dieses nicht. Anschließend wurde die Düngung der anderen Pflanze mit einem N-Dünger optimiert, um bessere Wachstumsbedingungen zu schaffen.

Die Hanfpflanzen des Versuches sind Nutzpflanzen und dürfen daher den THC-Gehalt von maximal 0,3 % nicht überschreiten. Wie man aus dem Diagramm herausnehmen kann, beträgt der THC-Gehalt der untersuchten Hanfpflanze nur 0,05 %, was weit unter dem gesetzlichen THC-Grenzwert ist. Der CBD-Gehalt der geernteten Blüten beträgt 0,97 % und der CBDa-Gehalt 0,79 %.

## 4.2 Zweiter Versuchsdurchgang

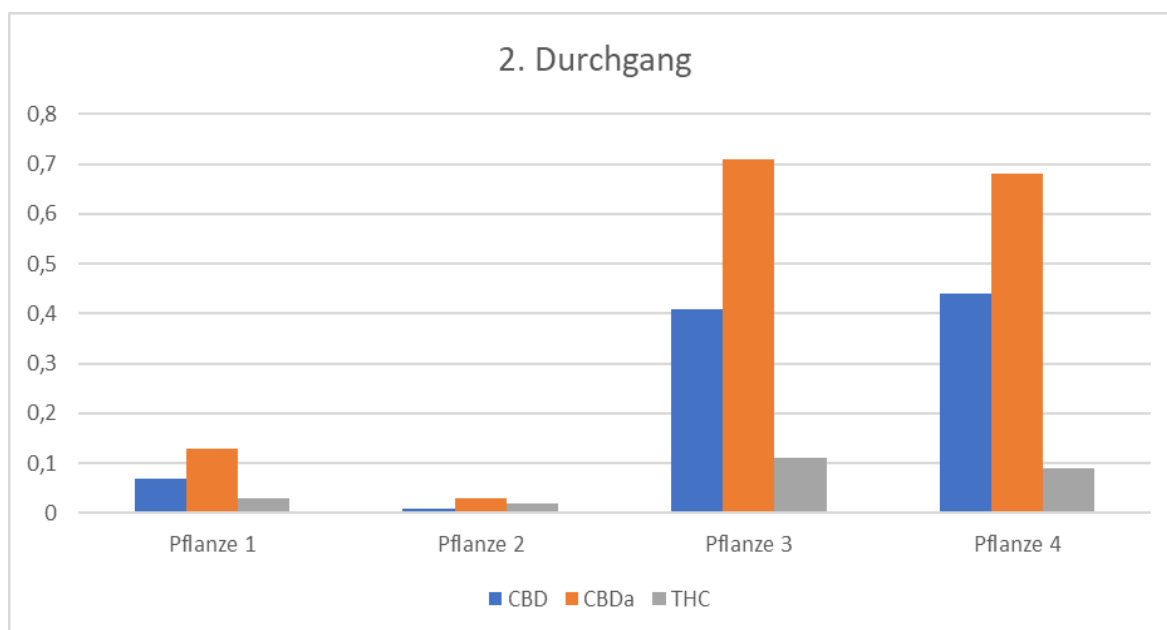


Abbildung 19: Ergebnisse des zweiten Versuchsdurchganges (STANGL, 2020)

Im zweiten Durchgang wurde ebenfalls der gesetzliche THC-Höchstwert von 0,3 % bei keiner Versuchspflanze überschritten. Wie man im Diagramm erkennen kann, heben sich die Erträge der Pflanze 3 und der Pflanze 4 deutlich von den Erträgen der Pflanze 1 und der Pflanze 2 ab. Da sich Pflanze 1 und Pflanze 2 in der obersten Produktionseinheit befanden, konnten hier nur CBD-Erträge von 0,07 % und 0,01 % erzielt werden. Als Ursache dafür wird die zu starke Lichtintensität gesehen. Der CBD-Gehalt der Pflanze 3 beträgt 0,41 % und der CBDa-Gehalt beträgt 0,71 %. Pflanze 4 erreicht einen CBD-Gehalt von 0,44 % und einen CBDa-Gehalt von 0,68 %.

Auch bei den analysierten Cannabinoiden THCa, THCv, CBG, CBC und CBN ließen sich ähnliche Erträge erzielen, welche aber wegen der geringen Relevanz nicht explizit angeführt werden.



## 5 Schlussfolgerungen und Ausblick

Betrachtet man die Ergebnisse der Analyse, ist deutlich zu erkennen, dass die Erträge noch Potenzial nach oben haben. Durch Verbesserung möglicher Fehlerquellen und Optimierung dieser Faktoren wird es möglich sein, bessere Erträge mit der vertikalen Anbaumethode und dem hydroponischen Bewässerungssystem zu erzielen. Jedoch wird die Chance auf bessere Ergebnisse mit der Verwendung eines geeigneten Wachstumssubstrates im vertikalen Anbau möglicherweise gesteigert. Da sich der Anbau von *Cannabis sativa* als äußerst feinfühlig erweist, würde für höhere Erträge ein grundlegendes Vorwissen sowie Erfahrung mit dem Anbau dieser Nutzpflanzen einen wesentlichen Vorteil bringen. Auch wenn sich die Erzielung von Cannabinoiderträgen mit der Anbaumethode Vertical Farming als möglich darstellt, ist aus unserer Sicht aktuell für die wirtschaftliche Produktion von Cannabinoiden eine andere Anbaumethode im Bereich der hydroponischen Systeme vorzuziehen.

Die vertikale Landwirtschaft wird in Zukunft immer mehr an Bedeutung gewinnen. Durch die zunehmende Verbauung der Flächen, Zunahme des Bevölkerungswachstums und der verstärkten Nachfrage nach suburbanen Flächen rund um die Stadt, wird es landwirtschaftlichen Produzenten nur schwer möglich sein, in Stadtnähe zu produzieren. Langfristig gesehen wird es jedoch auch nicht von Vorteil sein, Lebensmittel sowie andere Agrarprodukte weite Distanzen mit Lkws oder Zügen in die Städte zu befördern. Der vertikale Anbau in Städten würde somit vermutlich als Alternative dazu an Bedeutung gewinnen, um die Bedürfnisse der Menschen an pflanzlichen Produkten zu decken. Auch die CO<sub>2</sub>-Emissionen würden durch die vertikale Landwirtschaft im urbanen Raum vermindert werden, da die weiten Transportwege entfallen beziehungsweise reduziert werden. Letztendlich würde auch das Krankheitsrisiko der Pflanzen durch den vertikalen Anbau vermindert werden, da die Pflanzen von Einflüssen durch die Außenwelt geschützt sind. Vor allem für die für Krankheiten und Pilze eher empfindliche Cannabispflanze würde das einen Vorteil bringen.

Die vielseitige Verwendung von Cannabis macht die Pflanze für Konsumenten sowie auch für Produzenten zu einer interessanten Alternative. In Zeiten des Wohlstandes, in welchen

Gesundheit und Wohlempfinden für den Menschen immer mehr an Bedeutung gewinnen, könnten Naturprodukte auf pflanzlicher Basis als Alternative zur Pharmaindustrie und zu synthetisch erzeugten Produkten immer mehr gefragt werden. Die Nachfrage an cannabinoidhaltigen Produkten wird in Zukunft daher vermutlich stärker. Der vermehrte Anbau von Cannabis direkt im urbanen Gebiet würde die Möglichkeit bieten, den Cannabisbedarf mit regional erzeugter Ware ohne weite Distanz zu decken. Die Nutzpflanze Hanf würde möglicherweise auch für Hochhäuser und andere urbane Bauten als Dämmmaterial Verwendung finden. Abschließend sollte man das Potenzial von *Cannabis sativa* als Heilmittel gegen schwerwiegende Krankheiten wie Krebs oder zur Schmerztherapie nicht vergessen.

## 6 Literaturverzeichnis

ATEFIE, N. (2018): Vertical Farming: Landwirtschaft ohne Land. Publiziert vom Standard, Wien, <https://www.derstandard.at/story/2000088148977/vertical-farming-landwirtschaft-ohne-land> (abgerufen am 22.12.2019).

BECKER, M. (s.a): Cannabis sativa-Morphologie & Geschichte. Publiziert von Becker Marcel, Philipps Universität Marburg, [https://www.online.uni-marburg.de/botanik/nutzpflanzen/marcel\\_becker/Wirkstoffe.html](https://www.online.uni-marburg.de/botanik/nutzpflanzen/marcel_becker/Wirkstoffe.html) (abgerufen am 03.1.2020).

DESPOMMIER, D. (2011): The vertical farm – Feeding the world in the 21st century. New York: Picador.

DRAMONT, F. (2018): Die Ernte aus dem Hochhaus gegenüber. Publiziert von YARA Digital Farming, Berlin, <https://www.trecker.com/index.php/digitalisierung-landwirtschaft/die-ernte-aus-dem-hochhaus-gegenueber/> (abgerufen am 06.02.2020).

GRAND, A. (2018): Neun gute Argumente gegen Vertical Farming. Publiziert von Biorama, Wien, <https://www.biorama.eu/gruende-gegen-vertical-farming/> (abgerufen am 20.12.2019).

GONG, J. (2019): pH-Wert beim Cannabis Anbau: Das musst du wissen. Publiziert von Cannabis Anbauen.net, Oregon (USA), <https://www.cannabisanbauen.net/ph-wert/> (abgerufen am 04.01.2020).

HERBEUS GREENS (2019): Was sind Microgreens?. Wien, <https://herbeusgreens.com/microgreens/?lang=de> (abgerufen am 22.12.2019).

HIRSCHI, C.; KLAISS, M. (s.a): Hanf – Anbau und Verwendungsmöglichkeiten. Publiziert von BIO Aktuell.ch Die Plattform der Schweizer Biobäuerinnen und Biobauern, Frick, <https://www.bioaktuell.ch/service-impressum/impressum-webseite.html> (abgerufen am 17.02.2020).

HYDROPONIK-URBAN-GARDENING (2019): Hydroponik Leitfaden. Verschiedene Hydroponik-Systeme. Publiziert von PictoGraphica Interaktive Medien GmbH, Kreßberg, <https://www.hydroponik-urban-gardening.de/hydroponik-leitfaden/verschiedene-hydroponik-systeme/?L=0> (abgerufen am 21.12.2019).

IMMERL, T. (s.a.): Hydrokultur und Hydroponik: ein Leitfaden. Purkersdorf, <https://indoorgarten.com/hydrokultur-leitfaden/> (abgerufen am 21.12.2019).

KAHLENBORN, W. und TAPPESER, V. (2018): Arbeitspapier – Vertikale Landwirtschaft Fallstudie im Rahmen des Projekts Evolution2Green – Transformationspfade zu einer Green Economy. Berlin: evolution2green.

KANATURIA (2019): Hanf in der Medizin-Inhaltsstoffe. Publiziert von Kanaturia Hanf Produkte Gesundheit Wohlempfinden, Spanien, <https://www.kanaturia.com/cannabis-medicin/inhaltsstoffe> (abgerufen am 03.1.2020).

LIZERMANN, LL. (2012): DER CANNABIS-ANBAU DER EINFACHE WEG ZUM EIGENEN HOMEGROW. Alles über Botanik, Anbau, Vermehrung, Weiterverarbeitung und medizinische Anwendung. 4.Auflage, Solothurn, Schweiz: Nachtschatten Verlag, <https://books.google.at/books?hl=de&lr=&id=aD14DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT8&dq=der+cannabis+anbau+lizermann&ots=2-NfwxyZDP&sig=12lidXO88ghFOmEihOxqNqCw-dg#v=onepage&q=der%20cannabis%20anbau%20lizermann&f=false> (abgerufen am 3.10.2019).

LÜSCHER, H. (2012): CBD-Cannabidiol. Publiziert von Praxis für Vitalstoffmedizin DR. Heinz Lüscher, Herisau, <https://www.vitalstoffmedizin.ch/index.php/de/wirkstoffe/cbd-cannabidiol> (abgerufen am 05.01.2020).

MATHIS, A. (2009): Vertical farming – High Tech - Gemüse aus der Stadt. In: Verband Schweizer Gemüseproduzenten (Hrsg.): Der Gemüsebau, Band 6, s.p., [https://digitalcollection.zhaw.ch/bitstream/11475/13216/3/2009\\_Mathis\\_Verical\\_farming.pdf](https://digitalcollection.zhaw.ch/bitstream/11475/13216/3/2009_Mathis_Verical_farming.pdf) (abgerufen am 02.09.2019).

MEESE, C. (s.a.): Urban Agriculture. Nahrungsmittelproduktion und Stadt. [http://www.nextroom.at/data/media/med\\_binary/original/1265910080.pdf](http://www.nextroom.at/data/media/med_binary/original/1265910080.pdf) (abgerufen am 02.09.2019).

NADIG, A. (2009): Das persönliche Pflanzenportrait – Cannabis sativa. Publiziert vom Sonntag Verlag in MVS Medizinverlage Stuttgart GmbH & Co. KG, Stuttgart, <https://www.thieme-connect.com/products/ejournals/html/10.1055/s-0029-1185891> (abgerufen am 30.08.2019).

NILOK, P. (2011): Vertical Farming. Urbane Landwirtschaft in Hochhäuser. Mauritius: fast-book publishing.

PHYTDOC (s.a): Cannabidiol: Wie wirkt es, wobei hilft es?. Publiziert von Phytodoc Limited, Heidelberg, <https://www.phytodoc.de/heilpflanzen/cannabidiol> (abgerufen am 03.01.2020).

PLEYER, I.; HLATKY, M.; HLATKY, P. (2019): Cannabidiol Ein natürliches Heilmittel des Hanfes. 1.Auflage, Wien: Verlagshaus der Ärzte.

PODMIRSEG, D. (2017): Vertical Farming – Lebensmittelproduktion wird Teil des Urbanen Alltags. Vertical Farm Institute, <http://www.verticalfarminstitute.org/wp-content/uploads/2017/09/VERTICAL-FARMING-Lebensmittelproduktion-wird-Teil-des-urbanen-Alltags-Klima-und-Energie-Fonds-2017.pdf> (abgerufen am 14.03.2020).

POLSFUSS, L. (2019): Das Ebbe- und Flutsystem der Hydroponik. Osnabrück, <https://www.pflanzenfabrik.de/ebbe-und-flutsystem/> (abgerufen am 21.12.2019).

POLSFUSS, L. (2019b): Die Tiefwasserkultur. <https://www.pflanzenfabrik.de/tiefwasserkultur/> (abgerufen am 21.12.2019).

PRCHAL, M. (2019): Bodenloser Anbau. NÖN 30, 30.

SAUERBORN, J. (2014): Skyfarming – Innovation in der Pflanzenproduktion. In: 25. Hülseberger Gespräche der H. Wilhelm Schaumann Stiftung. Innovative Erzeugung,

Konversion und Nutzung agrarischer Biomasse – Zukunftsfeld der Bioökonomie. Hamburg: Heigener Europrint GmbH, 73.

SCHNEIDER, O. (s.a.): Hydroponik – Erdlose Kulturverfahren. Selbstversorgung auf engstem Raum. Bonn, <https://www.erdelos.de/> (abgerufen am 21.12.2019).

SEARCHTEAM CONSULTING GMBH, (s.a.): CBD. Publiziert von HANF-INFOS, Leibnitz, <https://www.hanf-infos.at/cbd/> (abgerufen am 05.01.2020).

VERTICAL FARM INSTITUTE (2018): Wien, <http://www.verticalfarminstitute.org/de/team/> (abgerufen am 22.12.2019).

WORMS, B. (2019): Nährstoffmangel und-überschuss beim Hanfanbau. Publiziert von Dinafemseds, Spanien, <https://www.dinafem.org/de/rechtliche-hinweise/> (abgerufen am 04.01.2020).