

TRANSFORMATION

WORKING PAPER SERIES

Vertical Farming –
Landwirtschaft für die sozial-ökologische
Transformation?

Nina Vogler

 Europa-Universität
Flensburg

| Norbert Elias Center (NEC)

2025

Working Paper #5

Zitiervorschlag

Vogler, Nina (2024). Vertical Farming – Landwirtschaft für die sozial-ökologische Transformation? Eine Analyse des Vertical Farmings unter Bezugnahme auf das Konzept der Ernährungssouveränität. *Transformation Working Paper Series*, No. 05. Norbert Elias Center for Transformation Design & Research, Europa-Universität Flensburg, <https://doi.org/10.18716/ojs/twps/2025.11940>

Impressum

Copyright für diesen Text: Nina Vogler
Redaktion: Matthias Schmelzer und Maike Böcker
Satz: Max Wagner

Alle Working Paper sind frei erhältlich unter
www.uni-flensburg.de/nec/working-papers

Norbert Elias Center for Transformation Design & Research (NEC)
Europa-Universität Flensburg
Auf dem Campus 1
24943 Flensburg
Germany
Tel.: +49 461 805 2871
www.uni-flensburg.de/nec

ISSN 3052-2234 (online)

Vertical Farming – Landwirtschaft für die sozial-ökologische Transformation? Eine Analyse des Vertical Farmings unter Bezugnahme auf das Konzept der Ernährungssouveränität

Angesichts sozialer und ökologischer Krisen des dominierenden Ernährungssystems wird die These aufgestellt, dass Alternativen zur vorherrschenden industriellen Landwirtschaft notwendig sind. Als ressourcenschonende *Hightech*-Alternative wird zunehmend Vertical Farming (VF) diskutiert. Die Arbeit untersucht, welchen Beitrag VF zu einer sozial-ökologisch gerechten und zukunftsfähigen Nahrungsmittelproduktion leisten kann.

Zur normativen Bewertung wird das Konzept der Ernährungssouveränität herangezogen, das für ein ökologisch nachhaltiges und sozial gerechtes Ernährungssystem steht. Methodisch kombiniert die Arbeit eine systematische Literaturrecherche (SLR) mit einer Fallstudie. Die SLR analysiert, welche sozialen und ökologischen Kosten und Nutzen von VF in der Forschung diskutiert werden. Darauf aufbauend werden zwei real existierende Vertical Farms – *Bustanica* (VAE) und *Nordic Harvest* (Dänemark) – analysiert, um kontextabhängige Vor- und Nachteile und praktische Umsetzungsspielräume zu untersuchen.

Die Ergebnisse zeigen: VF bietet ökologische und soziale Nutzen, weist jedoch auch erhebliche Kosten auf. Die Bewertung hängt wesentlich von drei Faktoren ab: der technischen Ausgestaltung, dem Standort und dortiger klimatischer Bedingungen sowie der Organisationsform. Insgesamt erfüllt VF derzeit nicht die zentralen Kriterien der Ernährungssouveränität. Unter bestimmten Bedingungen kann es jedoch eine sinnvolle Ergänzung zu herkömmlichen Anbaumethoden darstellen – etwa in verdichteten urbanen Räumen. Insgesamt besteht das transformative Potenzial von VF vor allem in Nischen, wobei es weder überschätzt noch ignoriert werden sollte.

Die Arbeit leistet damit einen Beitrag zur bislang wenig erforschten Verbindung von VF und Ernährungssouveränität und zeigt auf, unter welchen Voraussetzungen VF sozial-ökologisch gerecht ausgestaltet werden könnte.

Author: Nina Vogler

Keywords: Vertical Farming, Ernährungssouveränität, sozial-ökologische Transformation, Agrarwende, Systematische Literaturrecherche, Fallstudie

Vertical farming – agriculture for socio-ecological transformation? An analysis of vertical farming with reference to the concept of food sovereignty

In view of the social and ecological crises of the dominant food system, the thesis is put forward that alternatives to prevailing industrial agriculture are necessary. Vertical farming (VF) is increasingly being discussed as a resource-saving high-tech alternative. This thesis examines the contribution that VF can make to socially and ecologically just and sustainable food production.

For the normative evaluation, the concept of food sovereignty is used, which stands for an ecologically sustainable and socially just food system. Methodologically, the thesis combines a systematic literature review (SLR) with a case study. The SLR analyses the social and ecological costs and benefits of VF discussed in the research. Building on this, two existing vertical farms – Bustanica (UAE) and Nordic Harvest (Denmark) – are analysed to examine context-dependent advantages and disadvantages and practical scope for implementation.

The results show that VF offers ecological and social benefits, but also entails considerable costs. The assessment depends largely on three factors: the technical design, the location and local climatic conditions, and the form of organisation. Overall, VF does not currently meet the key criteria for food sovereignty. Under certain conditions, however, it can be a useful supplement to conventional farming methods – for example in densely populated urban areas. Overall, the transformative potential of VF lies primarily in niche areas, and should neither be overestimated nor ignored.

The study thus contributes to the up till now little-researched connection between VF and food sovereignty and shows under what conditions VF could be designed in a socially and ecologically equitable manner.

Author: Nina Vogler

Keywords: Vertical farming, food sovereignty, socio-ecological transformation, agricultural transition, systematic literature review, case study

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	7
Abkürzungsverzeichnis	8
1. Einleitung	9
2. Die Notwendigkeit einer Agrar- und Ernährungswende.....	11
2.1 Ursprung der Dominanz der industrialisierten Landwirtschaft.....	13
2.2 Ökologische Auswirkungen der industrialisierten Landwirtschaft.....	14
2.3 Soziale Problemlagen der industrialisierten Landwirtschaft.....	19
3. Ernährungssouveränität.....	21
3.1 Entstehung und Definition	22
3.2 Akteur*innen.....	25
3.3 Abgrenzung zu ähnlichen Konzepten	26
3.4 Ein Gegenkonzept zu Ernährungssicherheit	26
3.5 Ausblick und Relevanz für die vorliegende Arbeit.....	27
4. Vertical Farming	29
4.1 Eingrenzung und Definition.....	29
4.2 Historische Entwicklung und Verbreitung weltweit	30
4.3 Technische Spezifikationen	33
5. Systematische Literaturrecherche	35
5.1 Relevanz der SLR für die vorliegende Arbeit.....	35
5.2 Entwicklung der SLR und Nutzung in den Sozialwissenschaften	37
5.3 Ablauf einer SLR	37
5.4 Inhärente Schwachstellen der SLR	39
5.5 Forschungsdesign der vorliegenden SLR	40
6. Ergebnisse der SLR.....	43
6.1 Quantitative Analyse.....	43
6.2 Qualitative Analyse.....	47
6.2.1 Ökologische Kosten und Nutzen des VFs	47

6.2.2 Soziale Kosten und Nutzen des VFs.....	54
7. Fallstudie.....	63
7.1 Charakteristika einer Fallstudie	63
7.2 Relevanz für die vorliegende Arbeit	64
7.3 Forschungsdesign der vorliegenden Fallstudie	65
8. Ergebnisse der Fallstudie	66
8.1 Nordic Harvest.....	67
8.1.1 Räumliche Einordnung.....	67
8.1.2 Datenlage.....	68
8.1.3 Vorstellung und Analyse	68
8.2 Bustanica.....	74
8.2.1 Räumliche Einordnung.....	74
8.2.2 Datenlage.....	76
8.2.3 Vorstellung und Analyse	76
8.3 Gesamtschau	80
9. Diskussion.....	82
9.1 Reflexion des Forschungsfelds	83
9.2 Drei für Kosten und Nutzen entscheidende Faktoren	84
9.3 Vereinbar mit den Werten der Ernährungssouveränität?	86
9.3.1 Bereits zu vereinbarende Elemente	87
9.3.2 Bisher noch nicht zu vereinbarende Elemente.....	88
9.3.3 Gegenwärtig nicht zukunftsfähig.....	89
9.3.4 Vorhandenes Potenzial	91
9.3.5 Unvereinbare Elemente	93
9.3.6 Eine Weiterentwicklung der Ernährungssouveränität	95
10. Fazit: Transformatives Potenzial nur in Nischen	96
Literaturverzeichnis.....	101
Anhang	110

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: PRISMA-Graph.....	42
Abbildung 2: Erscheinungsjahr der in der SLR genutzten Publikationen.....	43
Abbildung 3: Länder, aus denen mind. ein*e Autor*in der genutzten Publikationen stammt.....	44
Abbildung 4: Thematische Schwerpunktsetzung der Publikationen.....	46
Abbildung 5: Bewertung des VFs in den Publikationen	46

Abkürzungsverzeichnis

CEA	Controlled Environment Agriculture
KI	Künstliche Intelligenz
PFs	Plant Factories
PV(s)	Photovoltaikanlagen
SLR	Systematische Literaturrecherche
UN	United Nations (Vereinte Nationen)
VAE	Vereinte Arabische Emirate
VF	Vertical Farming, Vertical Farm
VFs	Vertical Farms
WoS	Web of Science

1. Einleitung

Futuristische Hochhäuser mitten in der Stadt, in denen das ganze Jahr über ressourcenschonend frisches Gemüse angebaut wird – dies ist eine Vorstellung des Vertical Farmings (VF), das als eine innovative Art, Lebensmittel zu produzieren, in Wissenschaft und Gesellschaft diskutiert wird. Denn es steht fest: In Zeiten von Extremwetterereignissen wie Dürren und Überschwemmungen, einer rapiden Abnahme gesunder Böden und einer stark steigenden Urbanisierung wird die Lebensmittelversorgung der Menschheit zunehmend erschwert. Dieser Umstand ist jedoch nicht nur auf externe Faktoren zurückzuführen. Auch die industrialisierte Landwirtschaft, die global vorherrschende landwirtschaftliche Bewirtschaftungsweise, welche in das größere Ernährungssystem eingebettet ist, schafft ihrerseits sozial-ökologische Problemlagen. Daher ist geboten, nach Alternativen zu dieser Art von Lebensmittelproduktion zu suchen: Als eine *Hightech*-Alternative gilt das VF. Auch wenn es sich zum jetzigen Zeitpunkt um ein Nischenphänomen handelt, sind Vertical Farms (VFs) keine per se utopische Unterfangen. Schon jetzt werden sie im kleinen und großen Maßstab in verschiedenen Weltregionen betrieben, auch wenn sich die VFs eher in industriellen Lagerhallen als modernen Hochhäusern befinden.

So ist das VF ein weites Feld, das von kühlschrangroßen Modulen in Supermärkten oder Büros und Pflanztürmen für den heimischen Balkon bis hin zu umgebauten Überseecontainern und mehrstöckigen Industriegebäuden reicht. Um das Thema einzugrenzen, wird VF in dieser Arbeit als ein in Innenräumen verortetes, mehrstufiges Pflanzenbausystem mit künstlicher Beleuchtung, in dem die Umgebung präzise kontrolliert wird, definiert (vgl. van Delden et al. 2021: 945). Dabei handelt es sich um ein auf Technologie und Innovationen beruhendes Konzept, das stetig weiterentwickelt wird.

Die Arbeit möchte drei Forschungsfragen beantworten. Die erste lautet: Welche sozial-ökologischen Kosten und Nutzen hat das VF? Für die weitere Beurteilung des VF wird das Konzept der Ernährungssouveränität als analytische Perspektive gewählt. Dementsprechend lauten die weiteren Fragestellungen: Handelt es sich beim VF um eine zukunftsähige¹ Nahrungsmittelproduktion im Einklang mit den Werten der Ernährungssouveränität? Sofern das VF zum jetzigen Zeitpunkt nicht mit allen Werten der Ernährungssouveränität vereinbar ist, soll abschließend erörtert werden, ob das VF das Potenzial besitzt, den Werten der Ernährungssouveränität näherzukommen und sich dadurch zukünftig sozial-ökologisch gerechter auszurichten.

Die Ernährungssouveränität ist ein zukunftsgerichtetes Konzept, das ein alternatives Ernährungssystem entwirft. Dieses erhebt den Anspruch, sowohl ökologisch nachhaltig als auch sozial gerecht zu sein. Der Begriff bezeichnet dabei eine soziale Bewegung, ein wissenschaftliches Konzept und eine utopische

¹ Die Autorin definiert Zukunftsfähigkeit als sozial-ökologisch gerecht und die planetaren Grenzen berücksichtigend.

Vision zugleich. Die Ernährungssouveränität hat sich als Reaktion auf die Defizite der industrialisierten Landwirtschaft entwickelt. Folglich richtet sich das Konzept gegen diese Form der Landwirtschaft und das übergeordnete Ernährungssystem, da diese beiden als nicht-zukunftsähig erachtet werden. Damit handelt es sich bei der Ernährungssouveränität auch um den bekanntesten Gegenbegriff zum Prinzip der Ernährungssicherheit, welche wiederum dem jetzigen Ernährungssystem zuzuordnen ist. Die Ernährungssouveränität wird in der späteren Analyse als normative Rahmung dienen, anhand derer die Zukunftsfähigkeit des VF beurteilt wird. Dafür wird die These aufgestellt, dass die Ernährungssouveränität eine sinnvolle Orientierung darstellt, um aufzuzeigen, welche Faktoren VF erfüllen sollte, um sozial-ökologisch nachhaltig zu sein.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist, so einen Beitrag zur Ergründung, ob es sich bei dem VF um eine sinnvolle Art der Lebensmittelherstellung handelt, zu leisten. Ausgangspunkte für die Beschäftigung mit dem VF waren insofern die Fragen, ob das VF zur Lösung der sozial-ökologischen Problemlagen der industrialisierten Landwirtschaft beitragen kann und wo Verbesserungspotenzial besteht, um dieses Ziel zu erreichen. Durch den Einbezug der Ernährungssouveränität in die Diskussion des VFs verknüpft die Autorin zudem zwei, für sich genommen stark diskutierte Konzepte, die jedoch bisher kaum aufeinander bezogen werden. So soll ein Beitrag zu einer bisher noch unterrepräsentierten Perspektive auf VF geleistet werden. Diese ernährungssouveräne Sichtweise wird jedoch als zentral eingeschätzt, da sie insbesondere einen Fokus auf die sozialen Auswirkungen des VF legt. Dies ist relevant, da diese bisher nicht ausreichend in die wissenschaftliche Betrachtung einbezogen werden. Auf diese Weise ermöglicht die Ernährungssouveränität eine differenzierte, den vielfältigen Herausforderungen angemessene Perspektive auf das Themenfeld.

Für dieses Vorhaben wird methodisch in mehreren Schritten vorgegangen. Zunächst wird in den Kapiteln 5 und 6 eine Systematische Literaturrecherche (SLR) durchgeführt, um einen gezielten Überblick über das Forschungsfeld des VF zu bekommen. Spezieller soll aufgezeigt werden, welche sozialen und ökologischen Kosten als auch Nutzen dieser Anbaumethode in der Wissenschaft diskutiert werden. Dies dient primär der Beantwortung der ersten Forschungsfrage, legt aber auch die Grundlage für die ganze weitere Arbeit. Die SLR ermöglicht, dafür relevante Literatur systematisch, anhand vorher festgelegter Gütekriterien, auszuwählen und auszuwerten. Ferner wird in den Kapiteln 7 und 8 eine Fallstudie getätig. Diese Methode wurde gewählt, um dem Umstand Rechnung zu tragen, dass die Bewertung der sozial-ökologischen Folgen einer VF auch vom jeweiligen Kontext abhängen. In der Fallstudie werden zwei real existierende Vertical Farms, *Bustanica* in Dubai und *Nordic Harvest* in der Nähe von Kopenhagen, analysiert. In der Fallstudie werden die vorher gewonnenen Erkenntnisse der SLR angewendet und überprüft. Der direkte Vergleich zweier unterschiedlicher Fälle ermöglicht es, weitere Rückschlüsse auf sozial-ökologische Vor- und Nachteile von VFs zu ziehen.

Der Arbeit liegen unterschiedliche zentrale Quellen zugrunde. Bei den Publikationen, die für die SLR ausgewählt wurden, handelt es sich um Artikel aus wissenschaftlichen Journals, die unterschiedlichen Disziplinen entstammen, allen voran den Umwelt-, Agrar- und Ingenieurwissenschaften. Die Fallbeispiele werden wiederum anhand von Primär- und Sekundärquellen analysiert. Die untersuchten Fälle manifestieren sich in von den VFs verfügbar gemachten Informationen, aber auch journalistischen Artikeln. Als Grundlage für die Ernährungssouveränität dienen wissenschaftliche Fachliteratur und maßgebliche Dokumente der Ernährungssouveränitäts-Bewegung.

Das Masterarbeitsvorhaben wird in folgenden Schritten bearbeitet: Zunächst werden in Kapitel 2 die Grundlagen der vorherrschenden, industrialisierten Landwirtschaft und ihrer sozial-ökologischen Folgen vorgestellt. Das ist die nötige Basis, um zu verstehen, warum der Bedarf besteht, über Alternativen zu ihr nachzudenken. Darauf aufbauend wird das Konzept der Ernährungssouveränität in Kapitel 3 vorgestellt und erörtert, wie diese die eingangs thematisierten Herausforderungen des Agrarsystems adressiert. Daraufhin folgt Kapitel 4 über das VF, in dem das Konzept eingegrenzt wird und seine historische Entwicklung, die aktuelle Verbreitung und technische Spezifikationen vorgestellt werden. Dieser Abschnitt dient der Vermittlung nötiger Fakten und Zusammenhänge, die als grundlegendes Wissen für die weitere Untersuchung wichtig sind. Daran schließt sich die SLR an. Dafür wird in Kapitel 5 erst das Vorgehen einer SLR allgemein, die Relevanz für die vorliegende Arbeit und das konkrete Forschungsdesign vorgestellt. Dann werden im darauffolgenden Kapitel die Ergebnisse der SLR präsentiert. Die Fallstudie knüpft in Kapitel 7 an diese Erkenntnisse an. Zunächst wird in die Methode, die Relevanz für die vorliegende Arbeit und das konkrete Vorgehen der Fallstudie eingeführt, ehe *Nordic Harvest* und *Bustanica* in Kapitel 8 analysiert werden. Die Ergebnisse von SLR und Fallstudie werden abschließend vor dem Hintergrund der Ernährungssouveränität in Kapitel 9 diskutiert. Dabei wird auch die normative Beurteilung des VF mithilfe der durch die Ernährungssouveränität bereitgestellten evaluativen Kriterien getätigt. Damit werden auch die zweite und dritte Forschungsfrage beantwortet. Die Arbeit schließt mit einem Fazit.

2. Die Notwendigkeit einer Agrar- und Ernährungswende

Essen ist ein Grundbedürfnis des Menschen. Die dafür notwendigen Nahrungsmittel anzubauen, wird in Zukunft aufgrund von zahlreichen sozial-ökologischen Problemlagen immer schwieriger. In Gesellschaft und Wissenschaft wird kontrovers diskutiert, welche Art der Landwirtschaft für diese multiplen Herausforderungen des 21. Jahrhunderts, wie z.B. anhaltende Dürren, Überschwemmungen und Versorgungsengpässe, „angemessen“ ist.

Um dieser Frage auf den Grund zu gehen, wird in diesem Kapitel zunächst kurz der aktuelle Zustand der Landwirtschaft und die Debatte darum vorgestellt. Danach werden die daraus entstehenden sozial-ökologischen Schwierigkeiten vertieft. Dadurch soll zum einen die Kritik am jetzigen Zustand fundiert

untermauert und die Notwendigkeit einer Agrar- und Ernährungswende unterstrichen werden. Zum anderen zeigt die Analyse des Status Quo auf, welche Probleme VF zu überwinden hat. Dieses Kapitel dient somit der Grundlage für die gesamte Arbeit.

Industrialisierte oder (klein)bäuerliche Landwirtschaft?

Die Debatte um den Zustand und die Zukunft der Landwirtschaft lässt sich auf zwei Lager herunterbrechen. Wo die einen in der industrialisierten² Landwirtschaft eine effiziente Bewirtschaftungsweise sehen, welche die Bedürfnisse einer wachsenden Weltbevölkerung befriedigen kann, bedeutet sie für andere zuerst immense soziale und ökologische Kosten. Diese Kritiker*innen plädieren stattdessen für eine (klein)bäuerliche, ökologische Landwirtschaft.

Die industrialisierte Landwirtschaft hat ihren Namen durch die Integration industrieller Produktionslogiken in den Agrarsektor erhalten. Insbesondere drei Entwicklungstendenzen – Intensivierung, Konzentration und Spezialisierung – sind hierfür maßgeblich. Erstens wird die Produktion durch den vermehrten Einsatz von Maschinen, Düngemitteln, Pestiziden und standardisiertem, auf Hoyertrag gezüchtetem Saatgut intensiviert. Zweitens wird das Agrarsystem konzentriert: Die Anzahl der Betriebe nimmt ab, während die Betriebsgröße steigt. Dies gilt auch für die gesamte nachgelagerte Wertschöpfungskette. Drittens spezialisieren sich die Betriebe auf einige wenige Produkte und lagern andere Produktions- und Verarbeitungsschritte aus. Das führt zu einer Massenproduktion und Standardisierung von Agrarprodukten (vgl. Laschewski 2017: 269; Grünwald 2019: 147).

Die (klein)bäuerliche Landwirtschaft gilt als ein Gegenmodell zur industriellen Produktionsweise. Grundsätzlich gelten Betriebe mit unter zwei Hektar als kleinbäuerlich (vgl. Akram-Lodhi 2019: 182). (Klein)bäuerlich ist aber nicht zwingend mit ökologischer Bewirtschaftung gleichzusetzen. Gerade im Globalen Süden sind Betriebe häufig nicht offiziell als biologisch wirtschaftend zertifiziert. Durch eine meist vielfältigere Bewirtschaftung auf kleineren Flächen und weniger Maschineneinsatz, werden der (klein)bäuerlichen Landwirtschaft weniger schädliche Umweltauswirkungen zugeordnet. Dennoch sollte sie nicht romantisiert werden, da häufig prekäre Arbeitsbedingungen herrschen – wie fast überall in der Landwirtschaft (vgl. Akram-Lodhi 2019: 181, 184; Luig 2019: 63).

Aber wie sind die verschiedenen Arten der Landwirtschaft weltweit verteilt? Die kleinbäuerliche Landwirtschaft ist mit der Produktion von, je nach Quelle, 50 bis 70 Prozent der weltweit konsumierten Lebensmittel (vgl. Grünwald 2019: 151 f., Albrecht 2021: 305), „nach wie vor das Rückgrat der Welternährung“ (Grünwald 2019: 152). Dies ist insbesondere für nicht-industrialisierte Länder relevant, in

² Die Begriffe „konventionelle“ und „industrialisierte“ Landwirtschaft werden häufig synonym verwendet. Dennoch wird im Folgenden vor allem von der industrialisierten Landwirtschaft gesprochen, da diese durch ihre inhärenten Logiken die schädlichsten Auswirkungen hat. Diese Logiken und ihre Auswirkungen werden im vorliegenden Kapitel noch ausführlich beleuchtet. Konventionelle Landwirtschaft muss wiederum nicht zwangsläufig industrialisiert sein; auf kleinerer Fläche und ohne großtechnisches Equipment hat sie zudem einen weniger schädlichen Einfluss (vgl. John 2019: 40).

denen bis zu 80 Prozent der landwirtschaftlichen Erzeugnisse aus kleinbäuerlicher Landwirtschaft stammen (vgl. Akram-Lodhi 2019: 182). Ausgehend von der Fläche ist jedoch die industrialisierte, konventionelle Landwirtschaft Spitzenreiterin mit 79 Prozent der weltweit bewirtschafteten Flächen (vgl. Albrecht 2021: 305). Auch aufgrund der deutlich höheren Kapitalintensität und damit verbundenen wirtschaftlichen Interessen kann die industrialisierte Landwirtschaft als die dominante Bewirtschaftungsweise bezeichnet werden. In dieser Position ist sie für tiefgreifende sozial-ökologische Problemlagen verantwortlich, die in diesem Kapitel dargestellt werden. Vorher wird jedoch erläutert, wie es überhaupt zur globalen Dominanz der industrialisierten Landwirtschaft kam.

2.1 Ursprung der Dominanz der industrialisierten Landwirtschaft

Um 15.000 v. Chr. begann die Menschheit, sesshaft zu werden und Ackerbau zu betreiben. Dieser Zeitabschnitt wird Neolithische Revolution genannt. Die Menschen fingen an, Land nach ihren Vorstellungen umzugestalten und intensivierten damit auch die Flächennutzung. Dies führte zu ersten Umweltproblemen, wie einer einsetzenden Bodenverarmung, die jedoch nur regionalen Charakter hatten (vgl. Krausmann/Fischer-Kowalski 2010: 40-44). Schon früh wurden Kulturtechniken, wie die Nutzung von organischen Düngemitteln, entwickelt. Nach und nach wurden weitere Methoden zur Bodenverbesserung, wie die Fruchfolge und die Gründüngung, angewandt. Diese Techniken haben gemein, dass die Nährstoffkreisläufe noch weitestgehend geschlossen sind (vgl. Heinrich-Böll-Stiftung et al. 2024: 34; Kellermann 2020: 26). Diese bisherige Nutzung änderte sich, als die Errungenschaften der industriellen Revolution ab dem 19. Jahrhundert auch die Landwirtschaft erfassten. Durch den Einsatz von motorisierten Landmaschinen und neuem mineralischen Dünger konnten die Erträge in einem bisher nicht bekannten Ausmaß gesteigert werden. Diese Entwicklung trat ab den 1960er Jahren unter dem Begriff der Grünen Revolution ihren Siegeszug an. Ausgehend von den USA, wo auch die ersten global agierenden Agrarkonzerne entstanden, wurden die neuen Methoden weltweit verbreitet. Die Grüne Revolution umfasste neben der Mechanisierung durch neue Landmaschinen und der Chemisierung durch die Erfindung von mineralischem Dünger auch die Züchtung von Hochleistungssorten und den Einsatz von Pestiziden. Als Konsequenz „wurden Landwirtschaft und Ernährung zu Haupttreibern der ‚Great Acceleration‘ des Energie- und Materialverbrauchs im Anthropozän“ (Langthaler 2022: 6). Die Grüne Revolution ging einher mit einer massiven Umgestaltung der Agrarlandschaft und entsprechenden Umweltproblemen wie der Bodenverdichtung durch schwere Maschinen (vgl. Krausmann/Fischer-Kowalski 2010: 55 f.; Albrecht 2021: 305).

Durch die letzliche weltweite Etablierung der Grünen Revolution sollte die Nahrungsmittelverfügbarkeit in Ländern des Globalen Südens verbessert werden.³ Etwa durch die Anbindung an den Weltmarkt wurden so auch neoliberalen Marktlogiken weltweit etabliert (vgl. Krausmann/Fischer-Kowalski 2010:

³ Der US-amerikanische Agrarwissenschaftler Norman Borlaug erhielt 1970 sogar den Friedensnobelpreis für neue, ertragreichere Weizensorten, die er in Lateinamerika, Asien und Afrika etablierte (vgl. Grossarth 2019: 17).

56; Heinrich-Böll-Stiftung et al. 2022: 10). Entwicklungen in einzelnen Ländern lassen sich insofern nicht isoliert betrachten, sondern es zeichnet sich ein dicht verwobenes Netz gegenseitiger Abhängigkeiten. Beispielsweise wurden Länder und Regionen ungleich in globale Märkte integriert. Viele Länder des Globalen Südens wurden von Nahrungs- und Düngemittelimporten aus dem Globalen Norden abhängig gemacht, während sie selbst nur wenige Produkte in den Globalen Norden exportieren konnten. Zeitgleich waren sie von Preisschwankungen des Weltmarkts betroffen (vgl. Grünwald 2019: 149; Langthaler 2022: 5). Vieles davon gilt auch noch heute. Kapitel 2.3 befasst sich näher mit diesem Umstand.

2.2 Ökologische Auswirkungen der industrialisierten Landwirtschaft

Nun werden aber im Folgenden zunächst die ökologischen Auswirkungen der industrialisierten Landwirtschaft erläutert.

Umweltbelastungen durch Düngemittel und Pestizide

Die industrialisierte Landwirtschaft ist aufgrund des Anbaus weniger, spezialisierter Pflanzenarten auf großer Fläche auf regelmäßige Düngung des Bodens und die Behandlung der Kulturen mit Pestiziden angewiesen. Ohne diese Pflegemaßnahmen würden die Pflanzen kaum überleben, geschweige denn die gewünschten Erträge erzielen (vgl. Kellermann 2020: 15, 25). Düngung an sich ist in der Landwirtschaft notwendig – schon seit Jahrtausenden verwenden Menschen organischen Dünger. Dieser soll also nicht grundsätzlich kritisiert werden. Problematisch sind vielmehr die Art und Menge des Düngers. Mineraldünger, die Hauptquelle von zugesetzten Nährstoffen in der industrialisierten Landwirtschaft, wird im großen Maßstab seit Anfang des 20. Jahrhunderts hergestellt (vgl. Kellermann 2020: 26; Dohrn 2018: 30). Für die Herstellung werden große Mengen teils fossiler Rohstoffe, wie Erdgas und -öl, Phosphor und Kalium, aus der ganzen Welt benötigt (vgl. Grossarth 2019: 286). Neben dem mineralischen spielt aber auch nach wie vor organischer Dünger, insbesondere in Form von Schweine- und Rindergülle, eine große Rolle, der jedoch auch mit einer Reihe von sozial-ökologischen Problemen einhergeht (vgl. Dohrn 2018: 192), wie in Kapitel 2.3 noch dargelegt wird. Die Relevanz von Dünger wird daran deutlich, dass momentan die Ernährung von ungefähr der Hälfte der weltweiten menschlichen Bevölkerung von Stickstoffdüngung (die sowohl mineralische als organische Düngemittel umfasst) abhängig ist (vgl. Laszewski 2017: 279).

Die ersten chemisch-synthetischen Pestizide entstanden mit der industriellen Revolution. „Pestizide“ ist ein Sammelbegriff, der verschiedene Mittel umfasst, die den Befall von landwirtschaftlichen Kulturen durch Krankheitserreger wie Viren, Bakterien, Pilze, parasitische Pflanzen, störende Begleitpflanzen oder tierische Schädlinge verhindern sollen (vgl. Miedaner 2022: 17). Die industrielle Bewirtschaftungsweise macht die starke Pestizid- und Düngemittelgabe notwendig. Die auf Hoyerträge gezüchteten, genetisch wenig variablen Kulturen, in Monokulturen mit zeitlich engen Fruchfolgen gepflanzt, sind

anfällig gegenüber Krankheitserregern oder anderen Schädlingen (vgl. ebd.: 23-25). Auch unter klimabedingtem Stress, der mit dem Klimawandel weiter zunehmen wird, leidet die Widerstandskraft der Pflanzen (vgl. Heinrich-Böll-Stiftung et al. 2020: 23).

Düngung und Pestizide lassen den Ertrag jedoch nur in einer abflachenden Steigerungskurve wachsen. Deswegen steigt die eingesetzte Pestizid- und Düngemittelmenge immer weiter an (vgl. Heinrich-Böll-Stiftung et al. 2022: 10; Kellermann 2020: 39). Während sich die Flächenproduktivität weltweit zwischen 1950 und 1990 mehr als verdoppelte, verzehnfachte sich die Menge an Dünger in der gleichen Zeit (vgl. Grünwald 2019: 150). Allein diese Zahlen machen klar, dass diese Düngemittel- und Pestizidnutzung nicht zukunftsähig ist, da eine immer größer werdende Abhängigkeit von fossilen, und damit endlichen, Rohstoffen entsteht.

Gravierende Auswirkungen auf Ökosysteme sind die Folge der Pestizid- und Düngemittelnutzung (vgl. Kellermann 2020: 34). Die Nährstoffgabe hat zu einer Veränderung vieler Ökosysteme geführt. Aus nährstoffarmen Standorten wurden fruchtbare, von denen weniger Arten profitierten, während viele der ehemals angestammten Arten verdrängt wurden (vgl. Grossarth 2019: 265; Dohrn 2018: 30). Vorher typische, auf Extremstandorte spezialisierte Pflanzen, die ihren festen Platz im Ökosystem hatten und sowohl Lebensraum als auch Nahrungsgrundlage waren, verschwanden, während sich wenige Generalisten, die auf verschiedene Umweltbedingungen ausgelegt sind, ausbreiteten (vgl. Kellermann 2020: 50 f.). Aber auch durch Pestizide wird die Flora zurückgedrängt. Es ist ein fortschreitender Rückgang von Ackerbegleitflora erkennbar, da die Wirkstoffe nicht spezifisch wirken, sondern für fast alle Pflanzen negative Folgen haben (vgl. ebd.).

Auf den Menschen hat dieses extreme Einwirken auf die Ackerflächen ebenso Auswirkungen. Nitrat, das sich besonders in Gülle befindet, kann ins Grundwasser gelangen, woraufhin es sich im menschlichen Körper in krebserregendes Nitrit umwandelt (vgl. Dohrn 2018: 201). Auch Pestizindrückstände können im Menschen potenziell toxische Wirkungen haben (vgl. Kellermann 2020: 63). Tiere, die durch einen Aufenthalt auf den behandelten Flächen mit Pestiziden in Kontakt kommen, leiden besonders. Neben direkt tödlichen Auswirkungen sind die subletalen (nicht tödlichen) Auswirkungen, wie eine verringerte Vitalität und Reproduktion, anzuführen (vgl. Heinrich-Böll-Stiftung et al. 2020: 12; Dohrn 2018: 167). Davon sind nicht nur Schädlinge, sondern auch Nützlinge⁴ betroffen (vgl. Kellermann 2020: 52).

Ausgebrachte Pestizide und Düngemittel und darin enthaltene Stoffe wie Schwermetalle reichern sich stetig im Boden an. Langzeitauswirkungen sind nicht konkret einschätzbar. Jedoch kann es zu irreversiblen Schäden kommen und giftige Stoffe wie Schwermetalle in die Nahrungskette gelangen. Sowohl

⁴ Bei dieser bewertenden Unterscheidung zwischen Tieren handelt es sich um eine künstliche Einteilung durch den Menschen. Da es sich aber um etablierte Begriffe handelt, werden sie in der vorliegenden Arbeit ebenfalls genutzt.

mineralischer Dünger als auch Pestizide sorgen dafür, dass wertvoller Humus abgebaut wird, da benötigte Energie für den Abbau der aufgebrachten Stoffe durch Mikroorganismen aus dem Humus stammt (vgl. Kellermann 2020: 41-44).

Pestizide und überschüssiger Stickstoff können ins Grundwasser ausgewaschen werden. Zum einen kann dadurch das Trinkwasser belastet werden, zum anderen kann es zu Eutrophierung und Versauerung von Gewässern kommen. Dies kann drastische Folgen für Ökosysteme haben – bis hin zu sog. Todeszonen, wie sie bspw. in der Ostsee zu beobachten sind (vgl. Grossart 2019: 265; Laschewski 2017: 279; Kellermann 2020: 40-42).

Auswirkungen auf den Boden

Als Grundlage der globalen Ernährung ist der Boden besonders schützenswert. Beim Boden handelt es sich um den belebten, obersten Teil der oberen Erdkruste. Er entsteht aus verwitterndem Gestein. Das ist ein langwieriger Prozess: Die Entstehung eines Zentimeters Boden dauert mindestens 100 Jahre. Er ist eine wertvolle, endliche Ressource, was seine Relevanz besonders unterstreicht (vgl. Dohrn 2018: 181). Humus bezeichnet die fein zersetzte organische Substanz im Boden. Sie entsteht, wenn Boden-Kleinstlebewesen abgestorbene organische Material zersetzen und die darin enthaltenen Nährstoffe wieder dem Nährstoffkreislauf zur Verfügung stellen (vgl. ebd.: 111). Humus ist ein Hort des Lebens. Dohrn (2018: 178) stellt fest: „In nur einer Handvoll Erde können mehr Organismen leben als Menschen auf der Welt“. Es wird vermutet, dass gerade diese Bodenorganismen für die Bodenfuchtbarkeit elementar sind. Es ist jedoch nicht ausreichend erforscht, wie anthropogene Einflüsse auf die Organismen wirken, weswegen große Vorsicht im Umgang mit ihnen geboten ist (vgl. ebd.: 188 f.). Humus besteht zu 60 Prozent aus Kohlenstoff (vgl. ebd.: 111). Damit ist der Boden ein wichtiger CO₂-Speicher. Dort ist mehr Kohlenstoffdioxid gespeichert als in der gesamten oberirdischen Pflanzenmasse (vgl. Heinrich-Böll-Stiftung et al. 2024: 11). Außerdem ist er ein natürlicher Wasserspeicher, der Klimawandelfolgen wie Trockenheit, Starkregen und Überschwemmungen abmildern kann (vgl. ebd.: 8).

Durch anthropogene Einflüsse wird die Bodengesundheit stark gefährdet, was zu Bodendegradation führen kann. Degradation ist zwar prinzipiell ein natürlicher Prozess, doch überschreitet ihr gegenwärtiges Ausmaß die natürliche Regenerationsfähigkeit des Bodens (vgl. Heinrich-Böll-Stiftung 2024: 14). Die Landwirtschaft entzieht Nährstoffe und setzt neben externen Nährstoffen auch Schadstoffe ein. Mit schweren Maschinen wird der Boden verdichtet, was die Durchlüftung stört und so zu einem Sauerstoffmangel führt. Die intensive Bodenbearbeitung schädigt die vulnerablen Kleinstlebewesen und stört neben Schädlingen auch Nützlinge (vgl. Kellermann 2020: 37). Auf den großen Flächen, die häufig keine schützende Ackerbegleitflora aufweisen, kommt es zudem zu Bodenerosion durch Wind oder Wasser (vgl. Heinrich-Böll-Stiftung et al. 2024: 14 f.; Kellermann 2020: 36). Desertifikation, die stärkste Form von Bodendegradation, wird durch intensive Bodenbearbeitung und den Klimawandel sowohl im Globalen Süden als auch Norden eine immer reale Gefahr (vgl. Heinrich-Böll-Stiftung et al. 2024: 9).

Darüber hinaus wird die landwirtschaftliche Nutzung fruchbarer Böden immer stärker durch Flächenkonkurrenz eingeschränkt. Auch Siedlungs- und Verkehrsflächen erheben Nutzungsansprüche (vgl. Albrecht 2021: 306). Global stehen mittlerweile abgesehen von Regionen Afrikas und Lateinamerikas kaum noch für die Landwirtschaft geeignete, noch nicht genutzte Flächen zur Verfügung (vgl. Laschewski 2017: 278). Dabei dient ein Drittel der momentan knapp 2000 m² pro Person weltweit zur Verfügung stehenden Quadratmeter Ackerland bereits dem Anbau von Tierfutter (vgl. Kellermann 2020: 6). Aus dieser Perspektive erscheint der Umgang mit der endlichen Ressource Boden besonders drastisch.

Landwirtschaftlicher Wasserverbrauch

Die Beziehung zwischen der industrialisierten Landwirtschaft und der Ressource Wasser ist ambivalent. Zum einen wurden im Zuge der Grünen Revolution im großen Stil Kleingewässer auf landwirtschaftlichen Flächen beseitigt und der Grundwasserspiegel gesenkt, da ein zu hoher Wassergehalt die Böden weniger belastbar macht und die Arbeit mit großen Maschinen erschwert. Damit wurden vulnerable, für die biologische Vielfalt enorm wichtige, Feuchtbiotope zerstört (vgl. Dohrn 2018: 125). Andererseits ist Wasser für die Landwirtschaft von größter Bedeutung, weil eine ausreichende Versorgung damit für die Pflanzen überlebenswichtig ist.

Landwirtschaftlich nutzbares Wasser ist global gesehen nicht knapp, jedoch regional sehr unterschiedlich verfügbar. Wasserknappheit betrifft vor allem die semiariden Weltregionen, wohingegen in den milden Klimazonen und in den (Sub-)Tropen produktive, von Regenwasser gespeiste Agrarsysteme bestehen (vgl. Laschewski 2017: 279). Allerdings wird auch dort die Verfügbarkeit von Wasser aufgrund des Klimawandels zunehmend weniger. So werden schon heute etwa 40 Prozent der Lebensmittel weltweit auf künstlich bewässerten Flächen angebaut (vgl. Laschewski 2017: 278; Kellermann 2020: 29). Die Landwirtschaft beansprucht bereits jetzt global etwa 70 Prozent des menschlichen Wasserverbrauchs. Insbesondere in Weltregionen, in denen Wasser von vornehmerein eine knappe Ressource ist, ist dieser hohe Verbrauch hochproblematisch. Das Grundwasser wird schneller entnommen, als es sich nachbilden kann, wodurch sich der Grundwasserspiegel senkt. Langfristig können so Wasserquellen deswegen versiegen und Ökosysteme austrocknen. Eine Folge davon kann Versalzung von Böden sein. Durch diese gehen bereits heute 10 Millionen Hektar Land pro Jahr für die landwirtschaftliche Nutzung verloren (vgl. Kellermann 2020: 45 f.). Und in Zukunft droht sich die Situation weiter zu verschärfen: Laut Prognosen werden 2025 etwa 20 Prozent der Weltbevölkerung in Regionen mit absoluter Wasserknappheit und 60 Prozent der Menschen in Regionen mit temporärer Wasserknappheit leben (vgl. FAO 2014 zitiert in Laschewski 2017: 279).

Auswirkungen auf die Biodiversität

Weite Teile der Flora und Fauna sind aufgrund von anthropogenen Einflüssen in ihrem Bestand bedroht oder sogar bereits ausgestorben. Die Ausweitung und Intensivierung der Landwirtschaft gilt als eine der

wichtigsten Ursachen für den weltweiten Artenrückgang (vgl. Heinrich-Böll-Stiftung et al. 2020: 12). Der internationalen Roten Liste zufolge sind von 157,100 analysierten Spezies ganze 44,000 (28 Prozent) vom Aussterben bedroht (vgl. IUCN 2024). Viele Arten, die zu einem funktionierenden Ökosystem beitragen, u.a. Bestäuber, Bodenorganismen und natürliche Gegner von Schädlingen, verschwinden zunehmend (vgl. FAO 2019: 113). Bereits jetzt geschieht das Artensterben hundertmal so schnell wie der Durchschnitt der letzten zehn Millionen Jahre (vgl. IPBES 2019: 12). Weil Ökosysteme ein funktionales Gesamtsystem bilden und keine Art durch eine andere ersetzt werden kann, wird das ökologische Gleichgewicht durch das Artensterben aus der Balance gebracht (vgl. Kellermann 2020: 48). So kann das Aussterben einer Art zu einem Zusammenbruch der Nahrungskette führen: Der Rückgang von Pflanzen, die am Anfang der Nahrungskette stehen, betrifft bspw. Insekten und daraufhin Vögel, die oft nur auf wenige Nahrungsquellen spezialisiert sind (vgl. Lingenhöhl 2022: 10; Dohrn 2018: 168). Es wird geschätzt, dass das Verschwinden einer Pflanzenart zum Aussterben von zehn bis zwölf Tierarten führt (vgl. Kellermann 2020: 51). Für den Menschen stehen dabei lebenswichtige Ökosystemleistungen auf dem Spiel. Allein 80 Prozent aller Wild- und Nutzpflanzen werden von Insekten bestäubt (vgl. Albrecht 2021: 307; Grünwald 2019: 59).

Jedoch wäre es verkürzt, die Landwirtschaft pauschal für dieses Artensterben verantwortlich zu machen. Vielmehr hat die Menschheit mit dem Beginn des Ackerbaus und der damit einhergehenden Schaffung von Kulturlandschaften dazu beigetragen, dass Horte der Biodiversität, wie Wiesen, entstanden. Wildpflanzen und -tiere passten sich den verändernden Gegebenheiten an; es kam zu einer Koevolution, also einer wechselseitigen Anpassung (vgl. Dohrn 2018: 16-20). In Zeiten der industrialisierten Landwirtschaft stehen diese empfindlichen Ökosysteme und Arten nun ebenso unter Druck – genauso wie alte Nutztierrassen und Pflanzensorten, die von Hochleistungsrassen und ertragreicher Kulturen ersetzt wurden (vgl. Laschewski 2017: 281).

Ein zentraler Grund für das Artensterben sind die starken Pestizid- und Düngemittelgaben, wie bereits dargestellt wurde. Daneben ist die Zerstörung der ursprünglichen, vielfältigen Landschaften zentral. Spätestens seit der Grünen Revolution werden vielfältige Strukturelemente, wie z.B. Hecken und Bäume, als „Hindernisse“ ausgemerzt und die Felder vergrößert, um sie effizienter, mit größeren Landmaschinen bearbeiten zu können (vgl. Kellermann 2020: 28, Dohrn 2018: 63). In subtropischen und tropischen Regionen werden so auch die biodiversen Regenwälder mittels Rodungen zerstört (vgl. Kellermann 2020: 48). Dementsprechend werden Biotope immer noch verkleinert, vereinzelt oder ganz vernichtet (vgl. Dohrn 2018: 33).

Landwirtschaft und Klimawandel

Die industrialisierte Landwirtschaft spielt in Bezug auf den Klimawandel eine ambivalente Rolle. Einerseits ist sie Mitverursacherin dieser Entwicklung, andererseits auch Leidtragende. Die Landwirtschaft hat mit ungefähr einem Viertel einen enormen Anteil an den anthropogenen verursachten

Treibhausgas-Emissionen (vgl. Laschewski 2017: 280). Besonders die Umwandlung von CO₂-Senken wie Wäldern, Mooren und Grünland in landwirtschaftlich nutzbare Fläche ist hierfür verantwortlich (vgl. Kellermann 2020: 56). Zudem emittiert die Landwirtschaft neben CO₂ auch andere Treibhausgase, wie Methan und Lachgas. Ersteres entsteht durch die Ausscheidungen von Wiederkäuern und durch Reisanbau. Letzteres stammt aus der Mineraldüngung und besitzt einen 300-fach stärkeren Treibhaus- effekt als CO₂ (vgl. Rechid 2022 6; Laschewski 2017: 280; Kellermann 2020: 56).

Auf der anderen Seite wird die Landwirtschaft von dem sich verändernden Klima mit immer extremeren Wetterveränderungen, die kaum mehr plan- oder beherrschbar sein werden, beeinflusst. Gleichzeitig muss betont werden, dass die Effekte des Klimawandels vielfältig sind und regional sehr unterschiedlich ausfallen. Pauschale Aussagen lassen sich daher nicht treffen. Insgesamt werden Temperaturen und Niederschläge stark schwanken und die Witterungsverläufe werden sich im Jahr verschieben (vgl. Rechid 2022: 4 f.; Grossarth 2019: 253, Laschewski 2017: 279). Der Klimawandel macht die Landwirtschaft deutlich vulnerabler, denn „ein einziger Frost, Hagel, Starkregen, Orkan, Hitzeeinbruch oder Schädlingsausbruch kann über Nacht die Ernte eines ganzen Jahres zerstören“ (Kellermann 2020: 58). So werden in Ländern, die schon heute unter Trockenheit leiden, Produktionsengpässe vorhergesagt. In mittleren und hohen Breitengraden sind jedoch (zunächst) Produktionszuwächse zu erwarten. Die Disparitäten zwischen Globalem Norden und Globalen Süden nehmen damit weiter zu (vgl. Laschewski 2017: 280).

Bis hierhin wurden diverse problematische ökologische Auswirkungen der industrialisierten Landwirtschaft dargestellt. Es offenbart sich ein System, das in Summe auf einer Übernutzung natürlicher Ressourcen basiert, anstatt diese zu erhalten. Damit ist die industrialisierte Landwirtschaft als nicht zukunftsfähig einzustufen. Dieser Befund macht Handlungsbedarf notwendig, wie in Kapitel 3 dargelegt wird.

Zunächst folgen aber noch die sozialen Umstände der heutigen Lebensmittelproduktion und die damit einhergehenden Problematiken, um die Kritik an der industrialisierten Landwirtschaft weiter auszudifferenzieren.

2.3 Soziale Problemlagen der industrialisierten Landwirtschaft

Zu einer ganzheitlichen Betrachtung der industrialisierten Landwirtschaft gehört deren soziale Perspektive. Um deutlich zu machen, dass sich sozial-ökologische Problemlagen entlang aller Aktivitäten der Lebensmittelversorgung, von Produktion bis Konsum, befinden, wird häufig von Ernährungs- statt Agrarsystem gesprochen. Durch diese Betrachtung können Machstrukturen und daraus resultierende soziale Ungleichheiten offengelegt werden. Die vielen Herausforderungen, die in Zukunft aus sozialer Perspektive auf das Ernährungssystem zukommen werden oder bereits existieren, machen es notwendig,

eine auch aus dieser Hinsicht zukunftsfähige Art der Landwirtschaft zu praktizieren. Dafür folgt zunächst eine Bestandsaufnahme aktueller Problemlagen.

Hunger, Urbanisierung und Bevölkerungswachstum

Während im Globalen Norden landwirtschaftliche Überschüsse erzielt werden und Lebensmittel im Müll landen, sind etwa eine Milliarde Menschen im Globalen Süden dauerhaft nicht ausreichend mit Lebensmitteln versorgt (vgl. Albrecht 2021: 305). Global gilt das weltweite Hungerniveau zwar als „mäßig“, 2020 litten aber fast 690 Millionen Menschen an Unterernährung. In mehreren Ländern Afrikas und des Nahen Osten wird die Lage als „ernst“ oder „sehr ernst“ bemessen (vgl. Langthaler 2022: 2). Darüber hinaus wird prognostiziert, dass die Weltbevölkerung in den nächsten 15 Jahren um eine Milliarde Menschen wächst, bis sie 2050 auf 9,7 Milliarden angestiegen sein wird (vgl. Kellermann 2020: 5). Dieses Wachstum wird sich größtenteils in Städten abspielen, denn es wird erwartet, dass 2050 etwa zwei Drittel der Weltbevölkerung in Städten leben wird (vgl. Laschewski 2017: 275). Das Bevölkerungswachstum wird die landwirtschaftlich momentan pro Kopf zur Verfügung stehende Fläche weiter minimieren. Wie werden unter diesen Voraussetzungen alle satt? Es ist wissenschaftlich und politisch unumstritten, dass eine Verbesserung der Lebensmittelerzeugung erforderlich ist (vgl. Albrecht 2021: 306). Gleichzeitig herrschen große Verteilungsasymmetrien, da global mit etwa 4600 Kilokalorien pro Tag und Kopf mehr als genug Lebensmittel für eine ausgewogene Ernährung aller Menschen produziert werden (vgl. ebd.). Gerade bei der Verteilung muss angesetzt werden.

Folgen für (Klein)Bäuer*innen

Die Mechanismen der industrialisierten Landwirtschaft stellen Landwirt*innen und (Klein)Bäuer*innen vor diverse Herausforderungen. Sie unterliegen dem Druck, sich der industriellen Wachstumslogik und dem Drang nach Spezialisierung zu fügen. Wer in dieser Hinsicht nicht mithalten kann oder will, wird in der Regel gezwungen sein, den Betrieb aufzugeben. Zunehmend kommt es auch zu *Land Grabbing*, einer Verdrängung von Landnutzenden mittels der Kontrolle über den Zugang zu Land durch zumeist externe Akteur*innen. Im Globalen Süden geht dies auch mit gewaltsauslösenden Vertreibungen einher (vgl. Grünwald 2019: 151; Radtke 2021: 12; Laschewski 2017: 268 f.). Die landwirtschaftlichen Betriebe werden in eine globale Wertschöpfungskette integriert, innerhalb derer sie immer weniger Mitsprachemöglichkeiten und Gestaltungsmacht besitzen. Vorgelagert (*upstream*) liegen meist große, multinational agierende Unternehmen, die den Saatgut-, Düngemittel- und Pestizidmarkt dominieren. Nachgelagert (*downstream*) werden die landwirtschaftlichen Rohstoffe von anderen Unternehmen weitertransportiert und verarbeitet. Wenige große Einzelhandelsunternehmen teilen die Marktmacht dabei untereinander auf (vgl. Laschewski 2017: 273; Grossarth 2019: 24). Die Landwirt*innen erhalten einen immer kleineren Anteil an der Wertschöpfung ihrer Ernte. Gleichzeitig tragen sie die Produktionsrisiken und müssen bestimmte Standards umsetzen (vgl. Laschewski 2017: 271- 273; Grünwald 2019: 150 f.). Zudem sind die

Arbeitsbedingungen prekär, insbesondere für Angestellte wie Erntehelfer*innen. Dies gilt auch für weitere Arbeitnehmer*innen entlang der Wertschöpfungskette, etwa im verarbeitenden Gewerbe (vgl. Grünewald 2019: 151).

Ein zentrales Charakteristikum ist die globale Verkettung des Ernährungssystems. Insbesondere an dieser Stelle sind die Machtasymmetrien zentral – das Ernährungssystem basiert auf ihnen. Heute ist die Welternährung ein immer verwobener werdendes System gegenseitiger Abhängigkeiten. So ist der Weltmarkt für Lebensmittel von Preissprüngen betroffen, die besonders sozial Schwächere betreffen. Auch werden agrarische Nebenprodukte vom Globalen Norden in den Süden exportiert, wo sie heimischen Märkten die Grundlage rauben (vgl. Heinrich-Böll-Stiftung et al. 2024: 22; Grossarth 2019: 22, 24). Es werden sogar Pestizide, die in Europa aus ökologischen oder gesundheitlichen Gründen nicht erlaubt sind, in andere Länder exportiert und dort eingesetzt (vgl. Heinrich-Böll-Stiftung et al. 2022: 8). Im Globalen Süden, wo in vielen Ländern (u.a. Sambia, Bolivien und Vietnam) immer noch mehr als die Hälfte der Bevölkerung in der Landwirtschaft arbeitet, betreffen diese Entwicklungen sehr viele Menschen (vgl. Albrecht 2021: 305; Grünewald 2019: 149).

Diese Dynamik manifestiert sich insbesondere in ländlichen Räumen, da Armut und Hunger global betrachtet vor allem dort verortet sind. Besonders Frauen und Kinder sind betroffen (vgl. Laschewski 2017: 267). Ländliche Räume sind die Zentren der landwirtschaftlichen Produktion. Doch weil diese, wie vorausgehend erläutert wurde, aufgrund von sozial-ökologischen Herausforderungen immer prekärer wird, verstärken sich Migrationstendenzen in die städtischen Ballungszentren. Dies passiert sowohl im Globalen Norden als auch Süden (vgl. Albrecht 2021: 305). Gerade Regionen, in denen nur extensive, arbeitsintensive Landwirtschaft möglich ist, werden marginalisiert (vgl. Laschewski 2017: 270).

In diesem Unterkapitel wurde dargelegt, dass das Agrarsystem nicht in der Lage ist, die Produktion von und den Zugang zu Nahrungsmitteln gerecht zu gestalten. Dies wird sich in der Zukunft durch weiteres Bevölkerungswachstum und Urbanisierung weiter verschärfen. Ein alternatives Ernährungssystem, das die Fortsetzung dieser Dynamiken aufbricht, ist daher dringend notwendig. Das Konzept der Ernährungssouveränität, das genau dies zum Ziel hat, wird im nächsten Kapitel vorgestellt.

3. Ernährungssouveränität

Im Folgen wird das Konzept der Ernährungssouveränität dargestellt. Dazu wird zunächst die Entstehung des vielfältigen Begriffs und der Forschungsstand nachgezeichnet und daraufhin eine Definition vorgenommen. Es folgt eine Abgrenzung zu ähnlichen Konzepten und der gegensätzlich ausgerichteten, jedoch einflussreichen Ernährungssicherheit. Um die Erkenntnisse des Kapitels zusammenzuführen und in die im nächsten Kapitel folgende Vorstellung des VF überzuleiten, wird abschließend begründet, warum Ernährungssouveränität eine sowohl passende als auch notwendige Perspektive auf das VF ist.

3.1 Entstehung und Definition

Ernährungssouveränität ist aus politischen Debatten im Umkreis von Bäuer*innenbewegungen im Globalen Süden entstanden (vgl. Prause 2022: 158), wobei *La Via Campesina*⁵ die größte und bekannteste Organisation ist. Der Begriff der Ernährungssouveränität wurde auf großer, internationaler Bühne das erste Mal 1996 vorgestellt. Die Bäuer*innenorganisation *La Via Campesina* brachte sie auf dem Welternährungsgipfel in Rom in die Debatte um Landwirtschaft und Ernährungssysteme ein (vgl. La Via Campesina 2021; Luig 2019: 58). Das Konzept traf auf fruchtbaren Boden, da in den 1990er Jahren die globalen politischen Diskurse zu Armut und Hunger eine gesteigerte Aufmerksamkeit erfuhren. Bedingt wurde die Debatte durch akute Krisen und Konflikte, aber auch durch die Formulierung der Millenniumsziele vier Jahre zuvor auf der Konferenz der Vereinten Nationen (UN) von Rio 1992, die Nachhaltigkeit als globales Ziel verankerte (vgl. Laschewski 2017: 281; La Via Campesina 2021). Seitdem ist das Konzept zu einem politischen Leitbegriff und zentralen Bezugspunkt weltweiter Agrarbewegungen geworden (vgl. Prause 2022: 155, 163).

Besonders ist, dass Ernährungssouveränität nicht nur ein politischer Leitbegriff und eine sozial-ökologische Bewegung ist, sondern auch ein vielfältiges wissenschaftliches Forschungsfeld. Spätestens seit der *Nyéléni-Deklaration* von 2007 (vgl. Nyéléni 2007) beschäftigen sich unterschiedliche akademische Disziplinen mit dem Konzept – von Soziologie, Politischer Ökologie, Recht, über Entwicklungsstudien, Anthropologie bis hin zu Internationalen Beziehungen, Agrarwissenschaft und Politischer Ökonomie (vgl. Alonso-Fradejas et al. 2015: 433). Diese interdisziplinäre Betrachtung ist sinnvoll, da Ernährungssouveränität an unterschiedlichen kulturellen, ökonomischen und politischen Zusammenhängen ansetzt, die sich von lokalen bis zur internationalen Ebene abspielen (vgl. Alonso-Fradejas et al. 2015: 443).

Ernährungssouveränität ist ein rechtebasierter Begriff. Grundlegend lässt er sich an die allgemeinen Menschenrechte, das Recht auf angemessene Ernährung, aber auch an das Recht auf Zugang zu Land anschließen (vgl. Prause 2022: 156). Darüber hinaus fordert die Ernährungssouveränität explizit Rechte ein und kritisiert zugleich den Status Quo des Ernährungssystems und damit einhergehende Privilegien. Dem Konzept folgend, haben momentan wenige Individuen, Konzerne und Regierungen das Privileg, über Produktion, Konsum und Verteilung von Lebensmitteln zu bestimmen. Stattdessen fordert die Ernährungssouveränität das Recht Aller ein, das Ernährungssystem zu gestalten und mitzubestimmen (vgl. Patel 2009: 667; Luig 2019: 59). Da sich Ernährungssouveränität für eine radikale Demokratisierung des Agrar- und Ernährungssystems einsetzt, ist sie zudem ein normatives Konzept (vgl. Fladvad 2017: 205 f.).

Aufgrund der breiten Ausrichtung ist Ernährungssouveränität kein klar und final definiertes Prinzip, sondern entwickelt sich stetig weiter. Diese definitorische Offenheit ermöglicht, dass sich viele

⁵ Gegründet 1993, hat *La Via Campesina* mittlerweile 182 Mitgliedsorganisationen in 81 Ländern und organisiert bis zu 200 Millionen Bäuer*innen (vgl. Prause 2019: 19).

unterschiedliche Akteur*innen mit dem Begriff identifizieren können. Sowohl lokale Kämpfe als auch breite Bündnisse für übergeordnete Aktionen werden unter dem Motto organisiert. Luig (2019: 62) konstatiert sogar, dass es „keinem anderen Projekt (...) in den letzten 25 Jahren ansatzweise gelungen [ist], in dieser Breite gegen eine konzerngetriebene, kapitalistische Globalisierung des Ernährungssektors zu mobilisieren“. Der Wissenschaftler und Aktivist Raj Patel plädiert dahingehend dafür, von Ernährungssouveränität als ein „big tent“ (Patel 2009: 666) zu sprechen, unter dessen Plane viele unterschiedliche Akteur*innen einen Platz finden (vgl. ebd. 666 f.).

Um die Ernährungssouveränität in ihrer Vielfältigkeit zu definieren, ist die sog. *Nyéléni-Deklaration* wegweisend (vgl. Nyéléni 2007). 2007 in Mali auf einem großen Treffen mit mehr als fünfhundert Repräsentant*innen aus über achtzig Ländern beschlossen, ist sie zu einer Standarddefinition und -referenz geworden:

Food sovereignty is the right of peoples to healthy and culturally appropriate food produced through ecologically sound and sustainable methods, and their right to define their own food and agriculture systems. It puts those who produce, distribute and consume food at the heart of food systems and policies rather than the demands of markets and corporations. It defends the interests and inclusion of the next generation. It offers a strategy to resist and dismantle the current corporate trade and food regime (...). Food sovereignty prioritises local and national economies and markets and empowers peasant and family farmer-driven agriculture, (...) and food production, distribution and consumption based on environmental, social and economic sustainability. Food sovereignty promotes transparent trade that guarantees just income to all peoples and the rights of consumers to control their food and nutrition. It ensures that the rights to use and manage our lands, territories, waters, seeds, livestock and biodiversity are in the hands of those of us who produce food. Food sovereignty implies new social relations free of oppression and inequality between men and women, peoples, racial groups, social classes and generations. (Nyéléni 2007)

Wie in dem Zitat zum Ausdruck kommt, möchte die Ernährungssouveränität die Ausrichtung der Produktion, des Konsums und der Verteilung von Lebensmitteln radikal verändern. Dadurch sollen mächtige, agroindustrielle Geschäftsinteressen ausgehebelt werden (vgl. Langthaler 2022: 10 f.). Das Konzept stellt die Menschen im Ernährungssystem auf eine radikale Weise in den Mittelpunkt und kritisiert die Kommodifizierung von Nahrungsmitteln und Rohstoffen (vgl. Luig 2019: 59). Individuen sollen dazu befähigt werden, selbstständig und losgelöst von wirtschaftlichen Zwängen zu handeln. Eine Bedingung dafür ist die lokale, autonome Kontrolle über Land und Rohstoffe, um sich selbst ernähren zu können. Diese soll mittels Landreformen erlangt werden (vgl. Luig 2019: 59, 62; Nyéléni 2007).

Die Ernährungssouveränität plädiert für eine (klein-)bäuerliche, bestenfalls ökologische Produktion im Einklang mit der Natur. Damit knüpft sie an traditionelle landwirtschaftliche Kulturtechniken an (vgl. Luig 2019: 60; Nyéléni 2007). Auch die Bewahrung und Wertschätzung traditionellen, indigenen Wissens gehört dazu. Dieses ist nicht nur für die Produktion, sondern auch für die Verarbeitung der Lebensmittel relevant (vgl. Luig 2019: 60). Weitergegeben über Generationen, wird es als kollektive Verantwortung angesehen, dieses „reiche Erbe“ (La Via Campesina 2021) zu erhalten und zu verteidigen. Hinter dem Konzept steht eine ganzheitliche Perspektive, die die natürlichen Grundlagen unseres Planeten

als ein zusammenhängendes, lebendiges Ganzes („Mutter Erde“ [ebd.]) ansieht. Ihr zufolge muss die Natur bewahrt und eine Koexistenz angestrebt werden (vgl. ebd.). Auch die soziale Gerechtigkeit, die u.a. eine faire Entlohnung und die Verteidigung der Menschenrechte entlang der gesamten Produktionskette umfasst, ist ein zentrales Anliegen der Ernährungssouveränitäts-Bewegung (vgl. Nyéléni 2007). So organisieren sich insbesondere prekär beschäftigte Arbeiter*innen und andere marginalisierte Menschen, wie Frauen und Indigene, in Ernährungssouveränitäts-Gruppierungen (vgl. Luig 2019: 59; Nyéléni 2007). Dies spiegelt sich auch in den leitenden Werten der Bewegung – Gerechtigkeit, Gleichheit, Würde und Solidarität – wider (vgl. La Via Campesina 2021).

Für die nachgelagerten Schritte in der Produktionskette, also die Verarbeitung, die Verteilung und der Konsum der Lebensmittel, spielt Relokalisierung eine zentrale Rolle. Relokalisierung meint, lokale Wertschöpfungsketten zu erhalten bzw. wiederzubeleben. Diese fördern die regionalen Stoffkreisläufe und sozialen Strukturen (vgl. Prause 2022: 155; Laschewski 2017: 285). So sollen auch Produzent*innen und Konsument*innen wieder näher zusammengebracht werden. Den hierfür nötigen Rahmen soll eine solidarische Ökonomie schaffen. Laschewski versteht darunter ein auf Vertrauen basierendes System, in dem die Preise so bestimmt werden, dass sie den Produzent*innen Sicherheit bieten, jedoch auch bezahlbar für die Konsument*innen bleiben (vgl. Laschewski 2017: 285). Auch *La Via Campesina* stellt eine solidarische Ökonomie als eine „essential precondition for realizing food sovereignty“ (*La Via Campesina* 2021) heraus. Darüber, welche konkrete Form diese Ökonomie annehmen könnte, herrscht im Ernährungssouveränitäts-Diskurs jedoch keine Einigkeit bzw. klare Vorstellung. Dies mag damit zusammenhängen, dass die solidarische Ökonomie ein weit gefasstes Feld ist.⁶

Der Einsatz von Technik, der einer Ertrags- und damit Profitmaximierung dient, ohne jedoch die sozialen, ökonomischen, ökologischen und kulturellen Auswirkungen dessen zu berücksichtigen, wird von Anhänger*innen der Ernährungssouveränität abgelehnt. So wird kritisiert, dass der Extraktivismus, der die für die Technikproduktion nötigen Rohstoffe fördert, zulasten indigener Gruppen und Ökosysteme geschieht. Auch lokale und globale Konflikte heizt er an (vgl. Santarius 2022: 256 f.). Zudem wird hervorgehoben, dass die Technikentwicklung und -nutzung häufig mächtigen Interessen dient, während die Technik und Fähigkeiten von Kleinbauer*innen unsichtbar gemacht werden (vgl. Eurovia 2022: 2).

Das bedeutet jedoch nicht, dass die Ernährungssouveränität Technik per se ablehnt. Vielmehr wurde in den letzten Jahren erkannt, dass Technik angesichts der großen Entwicklungen in der Landwirtschaft (u.a. Big Data, Gentechnik, aber auch Innovationen wie VF) eines der großen Themenfelder ist, auf das die Ernährungssouveränität reagieren muss. So wird in partizipativen Prozessen ausgehandelt, ob bzw.

⁶ Grundsätzlich werden unter dem Stichwort „Solidarische Ökonomie“ unterschiedliche Formen des Wirtschaftens diskutiert, die sich von kapitalistischen Praxisformen befreien möchten und ein gerechtes Leben für Alle anstreben. Innerhalb dieses Rahmens existieren unterschiedliche Formen mit unterschiedlich hohen Transformationsgraden (vgl. Ronge 2016: 21). Prominente Beispiele sind etwa *Commons* und das Prinzip der Solidarischen Landwirtschaft (vgl. Elsen 2018: 207 f.).

welche neuen Technologien die Ernährungssouveränität stärken, welche sie aber auch aushöhlen können (vgl. Eurovia 2022: 23). Das Ziel lautet: „Rather than rejecting progress, we commit ourselves to bottom-up horizontal processes of socio-technical innovation. We claim the right to shape the use of appropriate technology in our food systems that strengthen food sovereignty rather than undermine it“ (Eurovia 2022: 23). So spricht sich bspw. *Eurovia*, die europäische Koordination von *La Via Campesina*, für die Nutzung von Alternativen zu *Hightech*-Innovationen unter lokaler Kontrolle aus (vgl. Eurovia 2022: 23).

Nach dieser ersten Vorstellung des Konzeptes konstatiert die Autorin, dass es sich bei der Ernährungssouveränität um einen sozial-ökologisch gerechten und damit zukunftsfähigen Entwurf eines alternativen Ernährungssystems handelt. Für diese Einschätzung seien besonders die große Bedeutung von sozialer Gerechtigkeit und Care-Perspektiven auf die landwirtschaftliche Nutzung natürlicher Ökosysteme durch den Menschen hervorgehoben.

3.2 Akteur*innen

Streng genommen schließt Ernährungssouveränität jede*n mit ein, der*die Lebensmittel produziert, verteilt und konsumiert (vgl. Prause 2022: 157). Menschen, die sich aktiv für Ernährungssouveränität einsetzen, sind jedoch zumeist (Klein-)Bäuer*innen, ländliche und landlose Arbeiter*innen, Lebensmittelhändler*innen, Fischer*innen, Wissenschaftler*innen und andere Aktivist*innen. So deckt die Ernährungssouveränität mit Themen wie Ernährungspolitik, Agroökologie, Landreformen und *Land Grabbing*, Fischerei, Gentechnik, Patentrechten von Saatgut, *Urban Gardening*, dem Klimawandel, Arbeitsmigration und der Ernährung von wachsenden Städten unterschiedliche Bereiche der aktuellen, globalen Debatte um die Agrar- und Ernährungswende ab und verbindet sie miteinander (vgl. Alonso-Fradejas et al. 2015: 433).

Gleichwohl lässt die breite Positionierung auch widersprüchliche Interessen zu: In der breiten Definition fänden auch Großkonzerne, gegen die sich Ernährungssouveränität eigentlich richtet, ihren Platz; die Forderung von Konsument*innen nach erschwinglichen Preisen steht jener der Produzent*innen nach fairen Löhnen entgegen usw. (vgl. Prause 2022: 157). Auch vertreten beileibe nicht alle Agrarbewegungen die gleichen Positionen (vgl. Prause 2019: 20). Dennoch wird besondere Wirkmächtigkeit erzielt, wenn sich die Aktivist*innen zu institutionalisierten Organisationen wie *La Via Campesina* zusammenschließen (vgl. ebd.: 19 f.). Auf diese Weise konnten bereits diverse Erfolge verzeichnet werden: Seit seiner Etablierung auf großer Bühne 1996 begrenzt sich Ernährungssouveränität längst nicht mehr auf *La Via Campesina*, sondern wurde von diversen Akteur*innen aus Politik und Gesellschaft aufgegriffen und hat so weitere Bekanntheit erlangt (vgl. La Via Campesina 2021; Luig 2019: 58). Beispielsweise wurden bereits in Mali, Venezuela, Senegal, Nepal, Bolivien, Ecuador, Nicaragua und der Dominikanischen Republik entsprechende Gesetzgebungen erlassen (vgl. Alonso-Fradejas et al. 2015: 443 f.). Außerdem haben die UN das Konzept als zukunftsweisend anerkannt (vgl. La Via Campesina 2021). Sogar

das Prinzip der Ernährungssicherheit, das nach wie vor den öffentlichen Diskurs bestimmt, wurde weiterentwickelt und berücksichtigt mittlerweile auch Aspekte wie soziale Kontrolle und die öffentliche Gesundheit – womöglich aufgrund der Bemühungen von Ernährungssouveränität-Aktivist*innen (vgl. Patel 2009: 664 f.).

3.3 Abgrenzung zu ähnlichen Konzepten

Zwei an Ernährungssouveränität angrenzende Konzepte sind die Ernährungsdemokratie und die Agrarökologie. Mit der Ernährungssouveränität teilt die Ernährungsdemokratie das Grundprinzip des Rechts, die Produktion, Verteilung und Konsum von Nahrungsmitteln selbst zu bestimmen. Darüber hinaus ist die Ernährungsdemokratie jedoch gemäßiger und fordert statt einer Überwindung des Ernährungssystems lediglich eine Demokratisierung desselben. Vor allem über ein Mitbestimmungsrecht in institutionalisierten politischen Räumen soll der Einfluss von Konzernen reduziert werden. Das Prinzip wurde in den USA und Europa entwickelt und nimmt häufig die Konsument*innenperspektive ein. Dies wird durchaus kritisiert (vgl. Fladvad 2017: 206). Dennoch arbeiten Akteur*innen der Ernährungssouveränität und -demokratie auch durchaus zusammen (vgl. Prause 2022: 158; Fladvad 2017: 205 f.).

Die Agrarökologie wiederum kann als eine Vorläuferin der Ernährungssouveränität bezeichnet werden. Ebenso wie die Ernährungssouveränität ist sie ein vielfältiges Konzept. Sie bezeichnet eine wissenschaftliche Disziplin, die in den 1920er Jahren im Globalen Norden entstanden ist, und eine soziale und politische Bewegung, die ihren Ursprung im Globalen Süden der 1960er Jahre hat. Darüber hinaus ist die Agrarökologie auch eine landwirtschaftliche Praxis, die an lokale Ökosysteme angepasst ist. Die meisten der traditionellen landwirtschaftlichen Nutzungsformen lassen sich dazuzählen. Die Ernährungssouveränität entstand in den 1990ern aus der bewegungsorientierten Agrarökologie. Heute nimmt die Ernährungssouveränität insbesondere letztere im Sinne der agrarökologischen landwirtschaftlichen Praxis als ein Vorbild, nach dem landwirtschaftliche Betriebe ausgerichtet sein sollten (vgl. John 2019: 37-40).

3.4 Ein Gegenkonzept zu Ernährungssicherheit

Ernährungssouveränität ist eines der einflussreichsten Gegenkonzepte zu Ernährungssicherheit (Food Security). Ernährungssicherheit ist, global betrachtet, das dominante Konzept, um das Ernährungssystem zu verbessern und bestimmt als solches die Debatte um die Welternährung von Regierungen und technokratischen Institutionen wie der Weltbank (vgl. Luig 2019: 59). Laschewski zufolge hat die Ernährungssicherheit hierbei die Rolle einer „konsensuellen Rahmung“ (2017: 282) eingenommen. Ernährungssicherheit ist „a situation that exists when all people, at all times, have physical, social and economic access to sufficient, safe and nutritious food that meets their dietary needs and food preferences for an active and healthy life“ (FAO 2003 zitiert in Patel 2009: 664). Dabei beschränkt sich Ernährungssicherheit auf die technische Bereitstellung der benötigten individuellen Kalorien- und

Nährstoffversorgung der Weltbevölkerung, wie im völkerrechtlich verankerten Menschenrecht auf angemessene Ernährung festgelegt wurde. Die Menschen werden zugleich primär als passive Konsument*innen von Nahrungsmitteln angesehen (vgl. Luig 2019: 59; La Via Campesina 2021). Wie die Versorgung mit Lebensmitteln sichergestellt werden soll, woher sie kommen oder unter welchen Bedingungen sie produziert werden, wird in diesem Diskurs meist ausgeklammert (vgl. Prause 2022: 159; La Via Campesina 2021). Wie der globale Hunger gelöst werden kann, wird durch ein technokratisches, neoliberal beeinflusstes Weltbild beantwortet. Diese Kritik lässt sich auch gut an das vorherige Kapitel anschließen. So sei die Ernährungssicherheit der wachsenden Weltbevölkerung primär durch Effizienz- und Produktivitätssteigerungen und eine Liberalisierung globaler Handelsbeziehungen zu sichern (vgl. Prause 2022: 159). Mit dieser Feststellung kann die Industrialisierung der Landwirtschaft (inklusive der Nutzung großer Maschinen und dem Einsatz von synthetischen Pestizid- und Düngemitteln) gerechtfertigt werden (vgl. Prause 2022: 159; Gliessman 2022: 789). Ebenso wird auf die Notwendigkeit technisch-wissenschaftlicher Innovationen verwiesen (vgl. Laschewski 2017: 283 f.). Darunter fällt auch die Entwicklung neuartiger, smarter und digitaler Anwendungen für den landwirtschaftlichen Gebrauch (vgl. La Via Campesina 2021). Ebenso wird sich neo-malthusischer Argumente bedient, die sich für eine Begrenzung des Bevölkerungswachstums (zumeist im Globalen Süden) stark machen (vgl. Laschewski 2017: 283 f.). Die Bedeutung von kleinbäuerlichen, lokalen Gemeinschaften für die Nahrungsversorgung im Globalen Süden wird hingegen ausgeblendet (vgl. ebd.). Vielmehr wird angenommen, dass die diversifizierten, agroökologischen, traditionellen kleinbäuerlichen Systeme keine ausreichenden Lebensmittelmengen produzieren können (vgl. Gliessman 2022: 789).

Dem entgegengesetzt sieht die Ernährungssouveränität das Problem vielmehr in sozialen Ungleichheiten, die den Zugang zu Nahrung erschweren und betont, dass die inhärent politische Dimension von Ernährung zwingend bedacht werden muss (vgl. Epting 2018: 600). Der Ernährungssouveränität zufolge kommt es nicht trotz, sondern aufgrund der eingeschlagenen Entwicklungspfade global zu gleichzeitiger Über- und Unterernährung (vgl. Langthaler 2022: 3). Wie im Kapitel über das aktuelle Ernährungssystem gezeigt wurde, überschreitet die Produktion bereits den Bedarf; durch Zugangs- und Verteilungsasymmetrien kommen die Lebensmittel jedoch nicht dort an, wo sie gebraucht werden (vgl. Albrecht 2021: 306). Zudem wird immer mehr Ackerfläche für die Produktion von Tierfutter verwendet, was diese Problemlage weiter verschärft (vgl. Gliessman 2022: 789). Insgesamt muss festgehalten werden, dass durch eine Markt- und Technikabhängigkeit der Bäuer*innen Ernährungs- und Einkommensrisiken und mit ihnen die negativen ökologischen Auswirkungen steigen, anstatt zu fallen (vgl. Laschewski 2017: 284).

3.5 Ausblick und Relevanz für die vorliegende Arbeit

Die Ernährungssouveränität ist ein zukunftsgerichtetes Konzept, das skizziert, wie die landwirtschaftliche Produktion und damit die Ernährung der Weltbevölkerung zukünftig organisiert sein sollte (vgl.

Prause 2022: 155). Sie macht sich für tiefgreifende Änderungen stark, die im Gegensatz zum heutigen neoliberal ausgerichteten Ernährungssystem und der industrialisierten Landwirtschaft stehen. Ihre Umsetzung käme einer globalen Revolution gleich, für deren Erfolg Akteur*innen auf allen Ebenen einer Gesellschaft beteiligt sein müssten (vgl. Epting 2018: 600). Entsprechend ist die *Nyéléni-Deklaration* auch ein Aufruf zum Handeln, das dominante Ernährungssystem zu überwerfen und dafür breite, klassen-, identitäts- und regionenübergreifende Allianzen zu schmieden (vgl. Alonso-Fradejas et al. 2015: 444). So sollten zukünftig auch andere Kämpfe gegen Ausbeutung und Enteignung stärker mit bäuerlichen Protesten verbunden werden (vgl. Luig 2019: 64). Solidarität ist hierbei erneut zentral, wie bereits in der *Nyéléni-Deklaration* 2007 verankert wurde: „Every struggle, in any part of the world for food sovereignty, is our struggle“ (Nyéléni 2007). Dieses Vorhaben wird sehr langwierig und Fortschritte, insbesondere auf der globalen Ebene, kaum wahrnehmbar sein (vgl. Epting 2018: 601 f.). Taktisch spricht sich Epting (ebd.) deshalb dafür aus, in kleinen Schritten voranzugehen und Ernährungssouveränität bereits jetzt als ethische Orientierung sowohl für heutige als auch zukünftige Ernährungssysteme zu nutzen. Fest steht: Auch zukünftig wird die Beschäftigung mit Ernährungssouveränität relevant sein. Es ist anzunehmen, dass sich die sozial-ökologischen Problemlagen, aus denen heraus sich die Ernährungssouveränität gebildet hat, in Zukunft noch weiter verschärfen werden. Diese sich verändernden globalen Zusammenhänge zu kontextualisieren und Ernährungssouveränität in seiner Vielfältigkeit weiter inhaltlich auszudifferenzieren, sind weitere Aufgaben für die Wissenschaft (vgl. Alonso-Fradejas et al. 2015: 443-445).

Bis hierhin konnte nachgezeichnet werden, wie Ernährungssouveränität die sozial-ökologischen Problemlagen unseres zurzeit dominanten Ernährungs- und Agrarsystems adressiert. Es entwirft ein Konzept eines Agrar- und Ernährungssystems, das die herrschenden Verhältnisse aufbricht und als sozial-ökologisch gerecht und zukunftsfähig bezeichnet werden kann. Zudem ist es normativ ausgerichtet. Dadurch kann Ernährungssouveränität als Maßstab zur Bewertung der sozial-ökologischen Zukunftsfähigkeit von bereits bestehenden Projekten herangezogen werden. In dieser Funktion, zur Bewertung des VF, wird die Ernährungssouveränität in der vorliegenden Arbeit genutzt.

Es bleibt die Frage, inwiefern ein so global ausgerichtetes, politisches Konstrukt auf einen so konkreten, abgegrenzten, augenscheinlich unpolitischen Gegenstand wie VF bezogen werden kann. Der Politischen Ökologie folgend soll diese Sicht hinterfragt werden. Denn VF ist von seinem sozio-kulturellen Kontext nicht separierbar; ökologische und polit-ökonomische Prozesse sind verwoben, genauso wie Gesellschaft und Natur es sind (vgl. Gottschlich et al. 2022: 12). Als Teil des Ernährungssystems ist das VF in globale, ungleiche Machtstrukturen eingebunden. Dies wird in Kapitel 6.2.2 noch aufgezeigt.

Die Kombination von Ernährungssouveränität und VF hat auch praktische Gründe: Das VF als eine innovative Methode, Lebensmittel zu produzieren, ist im größeren Ernährungssystem eingebettet. Insofern wird das VF auch exemplarisch für das Ernährungssystem analysiert, da ein größerer

Untersuchungsgegenstand innerhalb des Ernährungssystems, geschweige denn das Ernährungssystem per se, die Kapazitäten einer Masterarbeit überschreiten würden. Das heißt aber nicht, dass die Arbeit weniger komplexe Zusammenhänge abbildet: Die Dynamiken des Ernährungssystems lassen sich auch pars pro toto im VF wiederfinden. Außerdem ist es nicht ungewöhnlich, Ernährungssouveränität auf einzelne, unterschiedliche Themenbereiche anzuwenden, sondern vielmehr gelebte Forschungs- und Bewegungspraxis (vgl. Alonso-Fradejas et al. 2015: 433).

4. Vertical Farming

Das folgende Kapitel nähert sich erst grundlegend dem VF mit einer Definition und Abgrenzung zu ähnlichen Konzepten. Daraufhin wird die historische Entwicklung dieser Anbaumethode nachgezeichnet, um anschließend die aktuelle globale Verbreitung darzustellen. Zum Ende werden die technischen Voraussetzungen und weitere für diese Arbeit relevante Faktoren, wie die in VF-Systemen angebauten Kulturen, beleuchtet. Es sei vorangestellt, dass es in diesem Kapitel noch nicht um explizite sozial-ökologische Kosten und Nutzen dieser Anbaumethode gehen wird. Diese werden erst in Kapitel 6 mithilfe der SLR analysiert.

4.1 Eingrenzung und Definition

Die mit VF gemeinhin verbundene Konzeptvielfalt, die sich in begrünten, futuristisch anmutenden Wolkenkratzer oder großen, anonym wirkende Lagerhallen am Stadtrand ausdrückt, spiegelt sich in der Begriffsvielfalt der einschlägigen Literatur wider. Bei der Bezeichnung von VF herrschen weder Einigkeit noch Einheitlichkeit (vgl. van Delden et al. 2021: 945). Neben VF wird häufig von Controlled Environment Agriculture (CEA), Plant Factories (PFs) (optional versehen mit der Ergänzung “with artificial lighting”), Indoor Farms bzw. Indoor Agriculture, Container Farms oder soilless (erdlos) und hydroponischen Systemen⁷ gesprochen. All diese Begriffe meinen ähnliches, wobei manche über- oder untergeordnete Spezifikationen des VFs bezeichnen. So ist die CEA eine Grundlage von sowohl VFs als auch Plant Factories. Plant Factories können wiederum von VFs nur dadurch abgegrenzt werden, dass sie nicht in die Vertikale gehen, sondern auf einer Ebene bleiben (vgl. Bomford 2023: 881). Indoor Farms bzw. Indoor Agriculture ist ein übergeordneter Begriff, Container Farms wiederum eine untergeordnete Spezialform des VF. Jedoch muss auch dort nicht zwangsläufig in der Vertikalen gearbeitet werden. Sowohl *soilless* als auch hydroponische Systeme konkretisieren die Art des Anbaus, und werden in den meisten, aber nicht allen VFs eingesetzt. Gleichzeitig finden sie auch Anwendung in anderen, nicht-vertikalen Anbausystemen (vgl. Orsini et al. 2020b: 297; Mitchell 2022: 247, 252).

⁷ Da es sich bei Hydroponik um eine für das VF maßgebliche Methode handelt, wird sie im Unterkapitel 4.3 zu technischen Spezifikationen noch ausführlicher dargestellt.

Aber auch der Begriff des Vertical Farming ist nicht eindeutig, weil er Raum für ganz unterschiedliche Ausführungen lässt. So variieren diese in ihrer Größe – von kleiner Container-VF hin zu großen Industriebauten (vgl. Glaros et al. 2024: 5). Ebenso kann die Lichtquelle Sonnenlicht wie auch künstliches Licht sein (vgl. Oh/Lu 2023: 135). Einem weiten Verständnis zufolge kann VF auch im Freiland stattfinden (vgl. Romeo et al. 2018: 543). Ebenso existieren unterschiedliche, bereits implementierte, Düngungs- und Bewässerungssysteme. Manche VFs sind klassisch erdgebunden, wobei diese insgesamt die Ausnahme darstellen. Abschließend können Pflanzen sowohl horizontal als auch vertikal gestaffelt angebaut werden (vgl. van Delden et al. 2021: 945). Diese Heterogenität erschwert eine trennscharfe Eingrenzung und Definition von VF in der Forschungsliteratur und Praxis.

Obwohl es nicht „die eine“ Definition gibt, wird VF in dieser Arbeit als ein in Innenräumen stattfindendes, mehrstufiges Pflanzenbausystem mit künstlicher Beleuchtung, in dem die Umgebung präzise kontrolliert wird, definiert (vgl. van Delden et al. 2021: 945). Diese Definition wurde gewählt, da sie das zu untersuchende Phänomen einerseits genügend einschränkt, andererseits aber auch eine Flexibilität hinsichtlich unterschiedlicher Düngungs- und Bewässerungssysteme und der Größe einer VF erlaubt. Darüber hinaus finden sich diese Kriterien sowohl in der Forschungsliteratur als auch in real operierenden VFs wieder.

4.2 Historische Entwicklung und Verbreitung weltweit

Cifuentes-Torres et al. (2021: 166) verfolgen erste Ansätze einer vertikalen, hydroponischen Art des Pflanzenanbaus bis in die Antike zurück. Sie stellen damit die These auf, dass das Grundprinzip heutiger VFs auf alten, bereits erprobten Kulturtechniken beruht. So seien in Babylon in den als Weltwunder bezeichneten hängenden Gärten von 605 bis 562 v. Chr. Pflanzen auf Terrassen angepflanzt und mit Wasser aus einem Fluss bewässert worden. Die Azteken hätten später in einem Chinampas genannten System Lebensmittel auf kleinen, selbst hergestellten Inseln angebaut, auf denen die Wurzeln direkten Kontakt zum Wasser hatten (vgl. ebd.). Diese Thesen werden jedoch nicht von allen Wissenschaftler*innen geteilt. So weist Bomford darauf hin, dass diese Ursprünge des VF geschichtlich nicht gesichert sind. Die historische Existenz der Hängenden Gärten von Babylon wird Bomford zufolge grundsätzlich in Frage gestellt (vgl. Bomford 2023: 883).

Ein wissenschaftlicher Konsens besteht in der Beobachtung, dass die Menschen schon mit den Anfängen des Ackerbaus versuchten, die Kulturen vor harschen Umwelteinflüssen zu schützen und damit die Wachstumsbedingungen zu beeinflussen. Dies geschah durch künstliche Bewässerung und einfache physische Barrieren (vgl. Bomford 2023: 881). Die Existenz von Vorläufern moderner Gewächshäuser wurde bereits für 30 n. Chr. nachgewiesen (vgl. Mitchell 2022: 247). Wie die heutigen VFs hatten diese das Ziel, mehr Ertrag mit gleichzeitig geringerem Landverbrauch zu generieren – der Drang nach landwirtschaftlichen Innovationen und damit einhergehender erhöhter Produktivität ist nichts per se Neues (vgl. Mitchell 2022: 247; Bomford 2023: 881). Die Entwicklung moderner Gewächshäusern, die sich

inzwischen seit Jahrzehnten flächendeckend durchgesetzt haben, war eine der zentralen Grundsteine für die Entwicklung des VF (vgl. Bomford 2023: 883 f.; Stein 2021: 1). Eine ebenso wichtige Voraussetzung war die Erfindung von hydroponischen Bewässerungssystemen durch den US-Amerikanischen Wissenschaftler William F. Gericke 1938, nachdem dieser erfolgreich Tomaten in mit Wasser und Nährstoffen gefüllten Eimern kultiviert hatte (vgl. Gwynn-Jones et al. 2018: 36; Bomford 2021: 883 f.). Mitte des 20. Jahrhunderts wurden hydroponische Systeme daraufhin in die Vertikale erweitert. In den 1950er und -60er Jahren wurden international (mit Australien, Frankreich, Japan, Neuseeland und den USA nur in OECD-Ländern) universitäre und außeruniversitäre Forschungseinrichtungen gegründet, die Potenzial in der neuen Technologie sahen und diese weiter ausbauen wollten (vgl. Mitchell 2022: 247).

Auch kreative Einzelkämpfer*innen wie der österreichische Ingenieur Othmar Ruthner bereicherten das Feld. Ruthner etwa ließ in den 1960er und -70er Jahren die bereits 1935 durch ihn patentierten „Turmgewächshäuser“ in verschiedenen Ländern bauen (vgl. Bomford 2023: 886 f.). Von den 1970er Jahren bis in die 1990er Jahre entstanden international weitere, auch profitorientierte Projekte, die heutigen VF-Systemen bereits in vielen Punkten ähnelten. Trotzdem scheiterten sie alle – vor allem, weil sie aufgrund eines hohen Energiebedarfs nicht rentabel waren (vgl. ebd.). So mussten bis in die 1980er Jahre HID-Lampen verwendet werden, die erst daraufhin von den deutlich energiesparenden LED-Lampen abgelöst wurden. Diese waren jedoch zu Anfang auch recht ineffizient, haben aber seitdem, insbesondere zwischen 2008 und 2015, eine starke Verbesserung erlebt (vgl. Mitchell 2022: 249; Bomford 2023: 883 f.). Sowohl die Verbesserung der LED-Technologie, die erst die notwendige Beleuchtung wirtschaftlich möglich machte, als auch die ersten computergestützten Systeme der 1980er Jahre, die erstmals eine umfassende Kontrolle der Wachstumsbedingungen ermöglichen, können als technologische Meilensteine und Voraussetzungen für die folgende Verbreitung von VFs bezeichnet werden (vgl. Gwynn-Jones et al. 2018: 36; Bomford 2023: 883 f.).

Die aktuelle Debatte um VF in Gesellschaft, Wissenschaft und Wirtschaft wurde in einem nicht unwe sentlichen Maße von Dickson Despommier angestoßen. 1940 geboren, ist der US-Amerikaner emeritierter Professor für Mikrobiologie, Ökologie und Öffentliche Gesundheit. 1999 begann er in einer seiner Lehrveranstaltungen, eine sehr utopische Version des VF zu entwickeln. Seine Idee von autarken Wolkenkratzern in der Stadt, in denen sowohl Pflanzen wachsen als auch Nutztiere gehalten werden, erreichte jedoch zunächst nicht die breitere Öffentlichkeit. Das änderte sich, als 2007 ein Artikel über Despommiers Vision im *New York Magazine* veröffentlicht wurde, der einen regelrechten Hype auslöste (vgl. Bomford 2023: 883). Spätestens Despommiers 2010 veröffentlichtes, populärwissenschaftliches Buch „The Vertical Farm: Feeding the World in the 21st Century“ (vgl. Despommier 2010) vermochte es, ein stärkeres Interesse für das VF zu generieren als die primär wissenschaftliche Beschäftigung zuvor (vgl. Mitchell 2022: 251). Bomford bezeichnet diese vorausgegangene Forschungsperiode als „classroom phase“ (Bomford 2023: 880), in der die Auseinandersetzung mit dem VF vor allem wissenschaftlicher Natur war. Dabei muss angemerkt werden, dass sich diese Einteilung insbesondere auf den US-

Amerikanischen Kontext bezieht. In der darauf folgenden „inspiresting phase“ (ebd.) (Begeisterungs- oder Inspirationsphase) wurden die ersten wirtschaftlich agierenden VFs dieses Jahrtausends aufgebaut, die trotz begrenztem Erfolg durch eine wachsende Zahl an finanziell starken Akteur*innen unterstützt wurden und das Interesse der Öffentlichkeit, Wissenschaft und Finanzwelt weiter steigerten. Außerdem wurde dem VF in TED-Talks, Podcasts und weiteren Medienformaten eine Bühne geboten. Mit steigendem Wissen und weiterer Forschung, die seit Mitte der Nullerjahre durchgeführt worden war, lässt sich 2017 als Beginn der „commercial phase“ (ebd.) betiteln, die den Startschuss für unzählige Startups und Großinvestor*innen gab⁸, die seitdem VF als Geschäftszweig entdeckt haben (vgl. ebd.: 883 f.). Dies hat wiederum die akademische Beschäftigung mit dem Thema befruchtet, da nun erstmals große Datenmengen generiert werden konnten (vgl. ebd.: 880).

Heute existieren global viele unterschiedliche VF-Unternehmen und Forschungseinrichtungen, wobei beachtet werden muss, dass es sich verglichen zu anderen Anbausystemen nach wie vor um ein Nischenmodell handelt. Die Anzahl an erfolgreich laufenden VFs ist pro Land nach wie vor überschaubar (vgl. Oh/Lu 2023: 134). Zudem mussten diverse Start-Ups, aber auch große Unternehmen seit Mitte der 2010er Jahre Insolvenz anmelden oder wurden von konkurrierenden Firmen aufgekauft (vgl. Pinstrup-Andersen 2018: 235). Ein räumlicher Schwerpunkt sind verschiedene Länder des Globalen Nordens. In den USA und Kanada sind die Akteur*innen meist große, private Firmen mit externen Investor*innen. In mittel- und westeuropäischen Ländern wie Großbritannien, Italien, den Niederlanden, Schweden und Deutschland ist das Interesse ebenfalls stark, auch Investitionen werden getätigt. Jedoch fällt die Akzeptanz durch die Bevölkerung geringer aus als in Nordamerika und die VF-Unternehmen stehen in Konkurrenz zu den etablierten Gewächshäusern in traditioneller Form (vgl. Mitchell 2022: 249; Cifuentes-Torres et al. 2021: 174; Oh/Lu 2023: 135). Ein weiterer räumlicher Schwerpunkt ist Ost- und Südostasien mit China, Japan, Singapur und Südkorea. Hier haben die Regierungen aufgrund der starken Urbanisierungsrate ein großes Interesse daran, VF zu fördern. Deshalb subventionieren sie VF zum Teil, etwa in Japan. Zudem werden gerade aus China und Südkorea viele technische Komponenten exportiert, die für den Aufbau einer VF notwendig sind (vgl. Oh/Lu 2023: 134; Mitchell 2022: 249). Ein drittes Cluster lässt sich im Nahen und Mittleren Osten, allen voran in den Vereinten Arabischen Emiraten, ausmachen (vgl. Cifuentes-Torres et al. 2021: 174). Insgesamt geht die Entwicklung in Asien zum aktuellen Zeitpunkt am zügigsten voran (vgl. Mitchell 2022: 249).

Da durch die vertikale Schichtung der Ebenen der Platz zum Wachsen geringer ist als in herkömmlichen Systemen, werden kleinbleibende, kompakte Kulturen bevorzugt. In den VFs werden vor allem sog. Microgreens, Kräuter, Salate und andere Blattgemüse, z.B. Grünkohl und Spinat, angebaut (vgl. Bomford 2023: 889; Mitchell 2022: 253). Die Auswahl hat jedoch auch wirtschaftliche Gründe, denn die

⁸ In dem Jahr konnten etwa die US-Amerikanischen VF-Unternehmen *Plenty* 200 Millionen US-Dollar, *Aero-Farms* 80 Millionen US-Dollar und *Bowery* 27 Millionen US-Dollar an Investitionen sammeln (vgl. Agrilyst 2017: 5).

klein wachsenden Kulturen ermöglichen eine größere Anzahl an Pflanzen pro Flächeneinheit. Außerdem wachsen sie schneller und können dementsprechend auch zeitiger geerntet werden. Sie ermöglichen zudem eine größere Flexibilität, da bei Ernteverlusten der nächste Satz zeitnah zur Verfügung stehen kann (vgl. Beacham et al. 2019: 279 f.). Die Auswahl der Kulturen folgt der Strategie, die Profitabilität von VF, gerade in den ersten Geschäftsjahren, zu erhöhen (vgl. Bomford 2023: 880). So wird sich auf die speziellen, hochwertigen Kulturen beschränkt, die als lokale Premiumware vermarktet werden können und dadurch einen entsprechenden Preis erzielen. Für dieses Marketing findet sich durchaus eine Zielgruppe (vgl. Mitchell 2022: 253 f.). Zwar werden versuchsweise auch Erdbeeren, Gurken, Tomaten, Kartoffeln und weitere Kulturen in VF-Systemen angebaut (vgl. Cifuentes-Torres et al. 2021: 174). Insgesamt können bisher aber nur kaum bis gar keine Grundnahrungsmittel wie Weizen, Reis und Soja angebaut werden, da sie aufgrund des geringeren Grundpreises nicht profitabel sind. Zudem ist ihr Anbau technisch herausfordernder als der von Blattgemüse (vgl. Mitchell 2022: 253).

4.3 Technische Spezifikationen

Die erdlose (*soilless*) Kultivierung ist ein bedeutendes Charakteristikum des VF. Jedoch wird diese Technik bereits lange in herkömmlichen Gewächshaus-Systemen angewandt und ist insofern keine Innovation des VFs (vgl. Oh/Lu 2023: 135). Für diese Methode sind die benötigten Nährstoffe in dem Wasser aufgelöst, das zur Bewässerung dient (vgl. Orsini 2020b: 299). Diese Produktionsweise hat die Vorteile, dass Düngung und Bewässerung optimiert und je nach technischer Ausgangslage auch automatisiert werden können. Das reduziert gleichzeitig die benötigte Arbeit und erhöht die Qualität des Endprodukts (vgl. ebd.). Die bodenlose Kultivierung kann in aeroponische und hydroponische Systeme unterteilt werden. Zudem gibt es offene und geschlossene Systeme. Alle Methoden besitzen dabei jeweils unterschiedliche Vor- und Nachteile (vgl. Stein 2021: 2). Diese Systeme werden im Folgenden vorgestellt.

In aeroponischen Systemen hängen die Wurzeln in der Luft. Für die Aufzucht der Pflanzen wird Substrat jedoch nach wie vor benötigt. Das Nährlösung-Wasser-Gemisch wird in einem feinen Nebel auf die Wurzeln gesprüht. Dies ermöglicht einen sehr geringen Wasserverbrauch und stellt die ausreichende Versorgung der Wurzeln mit Sauerstoff sicher. Gleichzeitig kann es bei einem Ausfall der Systeme oder anderen Problemen schnell zu einer Austrocknung der Pflanzen kommen (vgl. Orsini et al. 2020b: 299 f.; van Delden et al. 2021: 947).

Hydroponische Systeme haben unterschiedliche Designs, doch das Grundprinzip ist das Gleiche: Statt in Erde werden Pflanzen in einer mit Nährstoffen angereicherten Wasserlösung kultiviert. Häufig wachsen sie auf einem Substrat, das für die nötige Stabilität gebraucht wird und wasserspeichernde Fähigkeiten aufweist. Welche Substrate verwendet werden, hängt dabei von der Art des hydroponischen Systems und den Bedürfnissen der jeweiligen Pflanze ab (vgl. Cifuentes-Torres et al. 2021: 167; Beacham et al. 2019: 277). Alternativ gibt es auch hydroponische Systeme, in denen die Wurzeln ganz unmittelbar in

der Nährlösung hängen, die also ohne das Medium auskommen (vgl. Gwynn-Jones et al. 2018: 36). Auch hier findet das Aussäen aber in jedem Fall auf einem Substrat statt (vgl. Stein 2021: 2).

In offenen Systemen werden die Nährösung und das Substrat nur einmalig verwendet und nicht recycelt. Dies hat den Vorteil, dass die Anwendung leichter ist und die Gefahr einer Verbreitung von Schädlingen oder Erregern reduziert wird. Die geringe Ressourceneffizienz ist hingegen der größte Nachteil (vgl. Cifuentes-Torres et al. 2021: 167). In geschlossenen Systemen wird die Nährösung, die nicht von den Pflanzen aufgenommen wurde, gesammelt und der Pflanze wieder zugeführt, sodass ein Kreislauf entsteht. Wasser und Nährstoffe werden in diesem zirkulären System effizienter genutzt, jedoch besteht eine noch stärkere Abhängigkeit von dauerhaft verfügbarer Elektrizität (vgl. Cifuentes-Torres et al. 2021: 168). Um die notwendige Qualität der Nährösung sicherzustellen, wird sie vor der erneuten Zuführung in ihrer Zusammensetzung kontrolliert und ggf. angepasst (vgl. Orsini et al. 2020b: 230).

Neben der vertikalen Stapelung ist das wahrscheinlich bedeutsamste technische Charakteristikum von VF die Kontrolle der Umwelt innerhalb des Systems. Idealerweise ist dafür der Bereich, in dem die Pflanzen wachsen, nahezu hermetisch abgeriegelt und gut isoliert (vgl. Orsini et al. 2020b: 298). Sind die nötigen technischen Voraussetzungen gegeben⁹, wird angestrebt, die Lufttemperatur, -feuchtigkeit, -zufuhr, Lichtintensität und -wellenlänge und CO₂-Konzentration einzeln anzupassen. Darüber hinaus wird häufig die genaue Nährstoffzusammensetzung und der pH-Wert der Wasser-Nährstoff-Lösung, die gegebene Wasser- und Nährstoffmenge und die Sauerstoffkonzentration im Wasser reguliert (vgl. Gwynn-Jones et al. 2018: 35; Stein 2021: 2; van Delden et al. 2021: 945). Der erhöhte technische Aufwand zur Kontrolle wichtiger Variablen verbessert im Ergebnis das Pflanzenwachstum und somit das Erntevolumen.

Diese strikte Kontrolle der Wachstumsbedingungen wird durch einen hohen Technisierungsgrad moderner VFs ermöglicht. Sie sind zumeist mit Belüftungs-, Heizungs- und Klimaanlagen und einer ausgeklügelten Beleuchtung ausgestattet (vgl. Stein 2021: 2). Licht ist für das Wachstum der Pflanzen und die Photosynthese essenziell (vgl. van Delden et al. 2021: 946). Da VF in geschlossenen Gebäuden stattfindet, muss künstliches Licht genutzt werden (vgl. Oh/Lu 2023: 135). Dafür werden flächendeckend LEDs verwendet, die eine lange Lebensdauer haben und verglichen zu herkömmlichen Lampen weniger Energie verbrauchen und Wärme produzieren (vgl. Mitchell 2022: 249). Zudem können spezielle Wellenlängen eingestellt werden, da unterschiedliche Pflanzen in unterschiedlichen Stadien ihres Wachstums verschiedene Lichtspektren bevorzugen (vgl. Beacham et al. 2019: 278; Orsini et al. 2020b: 298).

⁹ Jedoch braucht es keine *High-End*-Technik, um die Wachstumsbedingungen in einem VF-System zu kontrollieren. Die Kontrolle fängt schon an, sobald bspw. die Beleuchtung künstlich geschaffen wurde oder die Anlage auf eine festgelegte Temperatur heruntergekühlt wird.

Die Umweltkontrolle wird gerade bei großen, finanziell starken Vorhaben durch technologische Innovationen und eine immer weiter fortschreitende Automatisierung unterstützt (vgl. Farooq et al. 2022). Mittels Sensoren werden Daten über Temperatur, Luftfeuchtigkeit, den generellen Gesundheitszustand der Pflanzen und weiteres gesammelt. Diese Informationen können drahtlos an eine Software übermittelt werden, die wiederum, zum Teil von Künstlicher Intelligenz (KI) unterstützt, entscheidet, welche Parameter für optimale Bedingungen verändert werden müssen. Dies setzt voraus, dass die anderen Kontrollsysteme, wie Klimaanlage und Lüftung, ebenfalls smart vernetzt sind (vgl. Oh/Lu 2023:136 f.). In manchen VFs wird darüber hinausgehend bereits Robotik eingesetzt, die dort Arbeiten verrichten kann, wo es für Menschen aufgrund von Höhe, hoher UV-Strahlung oder CO₂-Konzentration gefährlich werden könnte (vgl. van Delden et al. 2021: 949). Zurzeit bestehen bei den unterschiedlichen VFs noch große Unterschiede im Grad der Automatisierung, da dieser von Art der VF, Größe und verfügbarem Kapital abhängt. Insgesamt lässt sich jedoch ein starker Trend hin zu nahezu voll autonomen Systemen erkennen (vgl. ebd.).

5. Systematische Literaturrecherche

In diesem Kapitel wird zunächst die Methode der Systematischen Literaturrecherche grundlegend vorgestellt. Dafür werden Relevanz und Entwicklung der Methode, aber auch das konkrete Vorgehen und abschließend inhärente Schwachstellen beleuchtet.

Die Systematische Literaturrecherche (*Systematic Literature Review*¹⁰, kurz SLR) ist mehr als eine große Literaturübersicht. Vielmehr handelt es sich um eine eigenständige wissenschaftliche Methode. Sie befähigt dazu, große Informationsmengen zu einem Thema zu identifizieren und auszuwerten, um eine spezifische Fragestellung zu beantworten. Dabei wird sich an klaren, vorab festgelegten Regeln orientiert. Dadurch kann Voreingenommenheit seitens der Forschenden reduziert und eine Reproduktion der Literaturrecherche ermöglicht werden. Grundlegendes Ziel der SLR ist entsprechend, so objektiv wie möglich zu Ergebnissen zu gelangen (vgl. Wetterich/Plänitz 2021: 14, 108 f.; Page et al. 2021: 3; Fink 2005: 3; Heil 2021: 5; Cooper/Hedges 2009: 10 f.).

5.1 Relevanz der SLR für die vorliegende Arbeit

Die SLR wurde als Reaktion auf Defizite traditioneller Literaturanalysen entwickelt. Die subjektive Auswahl der zitierten Papers und Autor*innen ist von außen oft nur unzureichend nachvollziehbar, was die wissenschaftliche Güte in Gefahr zu bringen droht. So kann es zu unterschiedlichen *Biases* (Verzerrungen) kommen, etwa durch den Druck, bestimmte Autor*innen zitieren zu müssen, damit das eigene Paper an Glaubwürdigkeit gewinnt. Auch die eigene politische Einstellung, externe Beeinflussung, oder

¹⁰ Weitere Begriffe, wie *Research Synthesis* und *Research Literature Review*, werden relativ synonym hierzu verwendet (vgl. Cooper/Hedges 2009: 5).

das bewusste Weglassen unliebsamer Autor*innen, die die eigenen Argumente nicht stützen, führen dazu, dass die Unabhängigkeit der Forschung nicht mehr gewährleistet ist. Darüber hinaus kann die schiere Masse an wissenschaftlichen Publikationen hinderlich für die Erstellung einer fundierten Literaturübersicht sein. Die große Menge ist kaum mehr zu sichten, wodurch es immer schwieriger wird, den Überblick über neue Erkenntnisse und Debatten zu behalten und so zur Wissensproduktion beizutragen (vgl. Wetterich/Plänitz 2021: 9 f., 15, 18, 45 f.).

Dieser kurze Einblick zeigt bereits, dass eine transparente und nachvollziehbare Vorgehensweise bei der LiteratURAUSWAHL von großer Bedeutung ist. Diese wird mithilfe der SLR ermöglicht, da die Entscheidung für die In- oder Exklusion eines Artikels auf nachvollziehbaren, systematischen Entscheidungen beruht. Es wird das Ziel verfolgt, alle für die Forschungsfrage relevanten Publikationen unabhängig von ihrer Stoßrichtung zu identifizieren und zu analysieren. Derartig schafft die SLR größtmögliche Objektivität¹¹, Reproduzierbarkeit und Transparenz. So können die Ergebnisse der SLR möglichst verallgemeinerbar und wirklichkeitsgetreu angesehen werden, da die Gefahr eines *Bias* minimiert wird (vgl. Fink 2005: 17, 152). Letztlich können so auch Forschungslücken erkannt und auf Schwachstellen in bisherigen Literaturanalysen hingewiesen werden. Die Methode verspricht darüber hinaus, die großen Mengen passender Literatur mit überschaubarem zeitlichen Aufwand zu sichten, was ebenfalls ein großer Vorteil gegenüber herkömmlichen Literaturanalysen ist. Es muss jedoch auch betont werden, dass nicht jede traditionelle Literaturanalyse ungenügend ist oder jede systematische Literaturanalyse allein durch die systematische Arbeitsweise automatisch zu besseren Ergebnissen führt (vgl. Wetterich/Plänitz 2021: 10, 14 f., 18). Jedoch ist die SLR, korrekt durchgeführt, eine geeignete Methode, um einen umfassenden Überblick über ein Forschungsfeld zu geben. Darüber hinaus kann sie Forschungsdefizite für zukünftige Vorhaben identifizieren oder Theorien evaluieren (vgl. Page et al. 2021: 1).

SLRs können vielfältig in ihrer Ausrichtung und Zielgruppe sein und damit als „Brücke zwischen Theorie, Empirie und Praxis“ (Wetterich/Plänitz 2021: 114) dienen. Das ist in Zeiten immer relevanter werdender Inter- und Transdisziplinarität ein weiterer Vorteil der Methode. So kann eine SLR nicht nur die Inhalte und Methoden eines Artikels, sondern auch zugrundeliegende Theorien oder praktische Projekte analysieren. Auf diese Weise können SLRs sowohl Wissenschaftler*innen als auch politische Entscheidungsträger*innen oder Praktiker*innen ansprechen (vgl. Cooper/Hedges 2009: 3, 5).

¹¹ Objektivität wird allgemein als die Unabhängigkeit von der verantwortlichen Person definiert (vgl. Wetterich/Plänitz 2021: 15). Grundsätzlich ist jedoch in Frage zu stellen, ob es objektive Forschung überhaupt gibt und wie wünschenswert diese in Zeiten von globalen Krisen ist. Dahingehend plädieren Gegenstimmen vielmehr für eine normative Forschung, die einen kritischen Dialog fördert. Unabhängig davon ist es wichtig, in Zeiten, in denen wissenschaftlicher Forschung immer mehr Skepsis entgegengebracht wird, gute, fundierte Ergebnisse zu produzieren (vgl. ebd.).

5.2 Entwicklung der SLR und Nutzung in den Sozialwissenschaften

Die Disziplinen der Medizin und der Psychologie haben entscheidend zur Ausarbeitung der Methode beigetragen. Anfang des 20. Jahrhunderts entwickelt, wurde die SLR ab Mitte des letzten Jahrhunderts dort zu einer Standardmethode (vgl. Wetterich/Plänitz 2021: 18 f.). Seitdem haben auch andere Disziplinen die SLR adaptiert, wobei der Schwerpunkt immer noch bei den Naturwissenschaften liegt (vgl. ebd.: 114). Da die SLR in erster Linie dazu befähigt, eine Synthese von Forschungsfeldern zu erstellen und die dazugehörige Literatur zu beurteilen, eignet sie sich jedoch grundsätzlich für fast alle Fachrichtungen (vgl. ebd.: 109 f.). So wird die SLR langsam auch zunehmend in den Sozialwissenschaften verwendet. Die Anwendungszahlen steigen, jedoch bewegt sich die SLR in den Sozialwissenschaften weiterhin außerhalb des methodischen Mainstreams (vgl. ebd.: 20 f.; Cooper/Hedges 2009: 7, 10).

5.3 Ablauf einer SLR

Welche konkreten Arbeitsschritte zu der Durchführung einer SLR gehören, wird im Folgenden im Detail dargelegt.

Formulierung einer Forschungsfrage und Protokoll

Zunächst muss eine Forschungsfrage formuliert werden, auf die die SLR eine Antwort geben soll. Die Frage sollte dabei zu dem Forschungsthema, den eigenen Interessen und Vorkenntnissen passen und eine Relevanz, die sich aus dem Forschungsdiskurs oder gesellschaftlichen Problemlagen ableitet, besitzen. Darüber hinaus gilt es, die Frage zwar präzise, jedoch auch nicht zu eng gefasst zu formulieren. Eine gut durchdachte Forschungsfrage ermöglicht schließlich, mithilfe der SLR relevante Suchergebnisse zu erzielen, aber auch zeitlich den Kapazitäten der Forscherin zu entsprechen. Insgesamt ist die Forschungsfrage der Grundstein der darauffolgenden Forschung, weswegen sie eine hohe Relevanz besitzt (vgl. Wetterich/Plänitz 2021: 20 f., 24, 105).

Bei einer so systematischen Methode ist es notwendig, die Entscheidungen und zugrundeliegenden Regeln der empirischen Untersuchung transparent offenzulegen. Daher sollte jede Entscheidung, die Auswirkungen auf die Gestalt der SLR hat, in einem Protokoll festgehalten werden. So kann gezeigt werden, dass die Untersuchung tatsächlich anhand klarer, vorher festgelegter Regeln durchgeführt wurde. Das ermöglicht, Entscheidungen auch mit zeitlichem Abstand nachzuvollziehen und begründen zu können. Insbesondere für die wissenschaftliche Güte der SLR, etwa die Reliabilität und die Validität, ist dies von höchster Relevanz (vgl. Fink 2005: 111, 162 f.; Wetterich/Plänitz 2021: 29).

Auswahlverfahren der Samples

Schließlich werden Ein- und Ausschlusskriterien festgelegt, die bestimmen, welche Artikel in die SLR aufgenommen werden. Diese müssen vor der Durchführung der SLR im Protokoll festgehalten werden.

Die Kriterien orientieren sich dabei an der Forschungsfrage. Sie können sich sowohl auf die Methode als auch den Inhalt der zu untersuchenden Artikel beziehen. Typische Kriterien sind etwa die Sprache, Forschungsdesign und Veröffentlichungsdatum (vgl. Fink 2005: 55 f.). Die Kriterien sollten eindeutig, aber auch weitreichend genug sein, sodass auf dieser Basis jedes gefundene Paper eindeutig in- oder exkludiert werden kann (vgl. Wetterich/Plänitz 2021: 32 f.). Fink spricht sich dafür aus, in einer ersten Phase zunächst inhaltliche Kriterien anzuwenden, um dann in einer zweiten Phase den Fokus auf die wissenschaftliche Methodik der Artikel zu legen, um sicherzustellen, dass ausschließlich wissenschaftlich hochwertige Artikel in der SLR berücksichtigt werden (vgl. Fink 2005: 15, 59, 92).

Der Umfang einer SLR kann sowohl weit als auch eng ausfallen. Heil (2021: 6) spricht in diesem Kontext auch von „sensitiven“ (weiten) und „spezifischen“ (engen) Rechercheprinzipien. Ein eher kleiner Umfang ist notwendig, um eine sehr spezifische Forschungsfrage zu beantworten. Dieser beinhaltet neben sehr konkreten Schlagworten für die Suche auch weitere Eingrenzungen, z.B. einen verkürzten Zeitraum. In diesem Fall ist jedoch mit einer möglichen Verzerrung der Ergebnisse aufgrund von übersehenen relevanten Treffern zu rechnen. Bei einer weit gefassten Frage ist es wiederum möglich, die SLR breiter anzulegen, was dazu führen kann, dass weniger relevante Treffer übersehen werden. Allein aufgrund des deutlich erhöhten Arbeitsaufwandes einer weit gefassten SLR ergibt jedoch eine eng gefasste SLR häufig mehr Sinn (vgl. Wetterich/Plänitz 2021: 36; Heil 2021: 6; Fink 2005: 23). Unabhängig vom Umfang sollte sich bemüht werden, alle relevanten Publikationen zu finden. Jedoch ist es unwahrscheinlich, wirklich jeden passenden Artikel identifizieren zu können. Ein Schlussstrich bei der Literaturauswahl kann in der Regel gesetzt werden, wenn auch durch weitere Artikel keine neuen Erkenntnisse dazukommen. Dies wird auch als Punkt der Sättigung bezeichnet (vgl. Wetterich/Plänitz 2021: 42).

Literaturrecherche

Es können viele analoge und digitale Datenbanken und andere Literatursammlungen für die Recherche genutzt werden. Jedoch haben sich vor allem online-Datenbanken, die immer umfassender werden, als besonders geeignet für die SLR erwiesen. Mithilfe der online-Datenbanken wird die Gefahr, wichtige Titel zu übersehen, immer kleiner (vgl. Fink 2005: 33).

Es existieren Qualitäts- und Quantitätsunterschiede zwischen den einzelnen Datenbanken, denen sich die Forscherin bewusst sein sollte. Google Scholar beispielsweise ist sehr breit und verwendet intransparente Algorithmen (vgl. Wetterich/Plänitz 2021: 46). Web of Science (*WoS*), das eine Auswahl an unterschiedlichen wissenschaftlichen online-Zitations- und Literaturdatenbanken bietet, hat sich hingegen bewährt (vgl. ebd.: 48, 51).

Um auf die Forschungsfrage bestmöglich abgestimmte Treffer zu erzielen, werden für die Suche spezielle Suchstrategien genutzt. Die gängigste Suchstrategie sind die sog. *Boolean Search Strings*. Sie umfassen eine Auflistung der verschiedenen Möglichkeiten, wie die einzelnen Elemente der

Forschungsfrage formuliert werden könnten. Dabei wird insbesondere mit Synonymen gearbeitet, die sich aus dem Forschungsdiskurs ableiten. Die einzelnen Bestandteile werden dann mithilfe der Booleschen Operatoren AND, OR und NOT kombiniert (vgl. Wetterich/Plänitz 2021: 50; Fink 2005: 28-32).

Auswahl und Auswertung der Artikel

Daraufhin werden die Artikel ausgewählt, welche alle vorher bestimmten Auswahlkriterien erfüllen. Der Auswahlprozess lässt sich in zwei Phasen unterteilen. Im sog. ersten Screening werden die Titel und Abstracts der Artikel gesichtet, woraufhin entschieden wird, ob sie den Kriterien entsprechen. Dieses erste Screening ist essenziell, um die große Menge an Ergebnissen einzuschränken. Im zweiten Screening werden daraufhin die Volltexte der noch verbliebenen Publikationen gelesen. Wenn sie auch dann noch den zuvor festgelegten Kriterien entsprechen, kann mit der tiefen inhaltlichen Auseinandersetzung begonnen werden. Ausgehend von der Forschungsfrage wird die zu untersuchende Literatur zusammengefasst und interpretiert. Gemeinsamkeiten, Unterschiede und zentrale Narrative werden identifiziert und besprochen – letztlich wird der aktuelle Forschungsstand in Bezug auf die Forschungsfrage diskutiert (vgl. Wetterich/Plänitz 2021: 59-61, 67, 79).

Die Untersuchung mündet in einer Synthese der ausgewählten Literatur. Die Synthese entspricht dem Narrativ, also der Geschichte, die die SLR erzählen möchte. Diese ist nicht allein deskriptiv, sondern kann auch die inhaltliche und methodische Qualität der aktuellen Forschungsdebatte und die Relevanz für weitere Forschung thematisieren (vgl. Fink 2005: 188). Auf dem Weg zur Synthese kann sowohl qualitativ als auch quantitativ gearbeitet werden. Grundlage für die quantitative Analyse sind als relevant identifizierte Daten, woraufhin Häufigkeiten gebildet und diese ggf. auch grafisch dargestellt werden können. Diese Vorgehensweise eignet sich sowohl für die Analyse von quantitativen als auch von qualitativen Artikeln. Wo die quantitative Analyse einen Überblick und Vergleichbarkeit schafft, ermöglicht die qualitative Analyse eine tiefere inhaltliche Auseinandersetzung. Hierfür werden die Artikel interpretativ sortiert, zusammengefasst und analysiert. Ein besonderer Fokus liegt dabei häufig auf den Unterschieden und Gemeinsamkeiten der untersuchten Literatur in Bezug auf Absicht, Methodik, und Ergebnisse (vgl. ebd.: 198).

5.4 Inhärente Schwachstellen der SLR

Bei der Durchführung einer SLR sind einige inhärente Schwachstellen zu beachten. Unter anderem kann die Suchstrategie durch eine zunehmende Interdisziplinarität beeinflusst werden. In den verschiedenen Disziplinen werden häufig verschiedene Bezeichnungen für ein oder ähnliche Phänomene verwendet, die für eine bestmögliche Suche alle vorher bekannt sein müssen. Idealtypisch müssten so vor der eigentlichen SLR mehrere Vorstudien durchgeführt werden oder profunde Kenntnisse über mehrere Disziplinen vorhanden sein (vgl. Wetterich/Plänitz 2021: 51, 115).

Neben einer möglichen Verzerrung durch übersehene relevante Artikel, können auch bewusste Einschränkungen der Suche, wie die Beschränkung auf eine Sprache, das Ergebnis verfälschen, da wichtige Veröffentlichungen so nicht gefunden werden könnten (vgl. Wetterich/Plänitz 2021: 105). Nach erfolgreicher Suche ist der Zugang zu Literatur häufig durch Zugangsbarrieren wie Bezahlschranken erschwert (vgl. ebd.: 106). Und abschließend muss bewusst sein, dass SLRs keine Endgültigkeit besitzen, da sich Forschungsfelder beständig weiterentwickeln. Insofern stellen SLRs nur eine Momentaufnahme dar. Streng genommen müssen SLRs regelmäßig auf ihre Relevanz hin überprüft und überarbeitet werden (vgl. Wetterich/Plänitz 2021: 110, 114).

Um diesen Schwierigkeiten zu begegnen, wird die Methode von Forschenden weltweit weiterentwickelt und versucht, sie bekannter zu machen. Denn es steht fest, dass die SLR für eine praxisnahe, nachvollziehbare und transparente Forschung viele Chancen bietet. Dafür muss die SLR noch von mehr Forschenden als legitime, eigenständige Methode anerkannt werden, insbesondere in Sozial- und Geisteswissenschaften (vgl. Wetterich/Plänitz 2021: 105 f., 110, 114-117).

5.5 Forschungsdesign der vorliegenden SLR

In der vorliegenden Arbeit wurde sich für die Methode der SLR entschieden, um einen gezielten Überblick über den Forschungsdiskurs zu sozial-ökologischen Kosten und Nutzen des VFs zu erlangen. VF ist ein noch verhältnismäßig junges, aber zugleich sehr vielfältiges Forschungsfeld, das von unterschiedlichen Disziplinen untersucht wird. Die SLR ermöglicht einerseits, dieses breite Gebiet abzudecken und hilft andererseits durch den Einsatz spezieller *Search Strings*, irrelevante Publikationen auszuklammern.

Diese SLR soll eine Antwort darauf geben, welche sozial-ökologischen Kosten und Nutzen des VF in der Wissenschaft diskutiert werden. Der daraufhin angestrebte Überblick über das Forschungsfeld wird eine fundierte Grundlage für die darauffolgenden Fallbeispiele darstellen. Darüber hinaus sollen wiederkehrende Motive und mögliche Leerstellen des Diskurses identifiziert werden. Dafür werden die Ergebnisse sowohl quantitativ dargestellt als auch qualitativ analysiert.

Vorgehen

Zu Beginn der SLR wurde die Forschungsfrage „Welche sozial-ökologischen Kosten und Nutzen hat das Vertical Farming?“ in *Search Strings* operationalisiert (s. Anhang 1). Mithilfe dieser *Search Strings* wurde in der *Core Collection* der *Web of Science*-Datenbank gesucht, einer der vollständigsten und vertrauenswürdigsten Zitationsindizes für die wissenschaftliche Forschung (vgl. Wetterich/Plänitz 2021: 53). In der erweiterten Suche wurden nach Kombination der Search Strings zwei weitere Einschränkungen getätigt, die der Qualität der SLR dienen. Zum einen wurde der Publisher *MDPI*, der im Verdacht steht, ethisch und wissenschaftlich fragwürdiges *Predator Publishing* zu betreiben (vgl. *Predatory Journals* 2022), exkludiert. Zum anderen wurden *Editorial Material* und *Proceeding Papers*

entfernt, da sie keine große Relevanz für die Art der Untersuchung besitzen. So wurden letztlich 130 Treffer erzielt. Die Einschlusskriterien für die durchzuführende SLR waren die Sprachen Englisch und Deutsch (wobei für die *Search Strings* lediglich Ergebnisse in englischer Sprache vorlagen), eine klare Erörterung von sozialen und/oder ökologischen Kosten und/oder Nutzen des VFs und eine hohe wissenschaftliche Qualität, welche sich in einer Unbefangenheit der Autor*innen und Argumenten, die auf einer klaren Datenlage beruhen, äußert. Um der Vielfältigkeit des Forschungsfelds gerecht zu werden, wurden keine Disziplinen im Vorhinein ausgeschlossen oder eine bestimmte thematische Breite der Artikel vorausgesetzt. Offenheit wurde auch der genauen Ausgestaltung der in den Artikeln behandelten VF-Systemen entgegengebracht, da, wie bereits thematisiert, unterschiedliche Varianten unter dem großen Begriff des VFs existieren. Wichtig war, dass es sich, in Übereinstimmung mit der im VF-Kapitel getätigten Definition, um vertikale, abgeschlossene Systeme mit künstlicher Beleuchtung handelt, in denen die Umgebung präzise kontrolliert wird. Obwohl alle ausgewählten Artikel diesem Minimalkonsens entsprechen, werden für ähnliche oder sogar gleiche Systeme z.T. unterschiedliche Begriffe verwendet.¹²

Wie im PRISMA-Graph ersichtlich (Abb. 1), konnten im ersten Screening 73 Artikel aufgrund von inhaltlicher Irrelevanz exkludiert werden, sodass 57 für das darauffolgende Volltext-Screening übrigblieben, wovon ein Volltext nicht akquiriert werden konnte. 17 Artikel wurden im zweiten Screening aus methodisch-inhaltlichen Gründen aussortiert, sodass insgesamt 39 Publikationen in die Analyse einfließen konnten.

Eine zweite Quelle für Publikationen war das informelle Sample. Dieses umfasst Publikationen, auf die die Autorin durch Verweise in anderen Artikeln, das Schneeballverfahren oder zufällig aufmerksam wurde. So wurden noch einmal acht Quellen gesichtet, wovon ein Volltext nicht abgerufen werden konnte und zwei weitere Artikel im zweiten Screening exkludiert wurden. Somit sind fünf weitere Quellen in die folgende Analyse eingeflossen. Beide Samples sind im Anhang aufgeführt (s. Anhang 2).

¹² In der SLR berücksichtigte Artikel bezeichnen VF-Systeme neben (Indoor) Vertical Farming (vgl. Ahamed et al. 2023; Al-Chalabi 2015; Bomford 2023; Kalantari et al. 2018) oder Vertical Agriculture (vgl. Glaros 2024) u.a. Controlled Environment Agriculture (CEA) (vgl. Azzaretti/Schimelpfenig 2022; Cowan et al. 2022; McCartney/Lefsrud 2018), (vertikale) Hydroponics (vgl. Casey et al. 2022; Cifuentes-Torres et al. 2021; Gentry 2019) oder Aeroponics (vgl. Rivera et al. 2023). Auch wird VF im Rahmen von anderen *Urban-Farming*-Projekten (vgl. Carolan 2020; Orsini et al. 2020a; Eigenbrod/Gruda 2015; Li et al. 2020) oder traditionellerer Gewächshaustechnik (vgl. Nicola et al. 2020) analysiert. Rivera et al. (2023) schreiben über die sehr spezifischen aeroponische Container Farms, aber auch Plant Factories with Artificial Lighting (vgl. Orsini et al. 2020b), Building Integrated Agriculture (vgl. Benis et al. 2017) oder Skyfarming (vgl. Germer et al. 2011) werden behandelt, wobei letztere Begrifflichkeiten nur singulär aufgegriffen wurden.

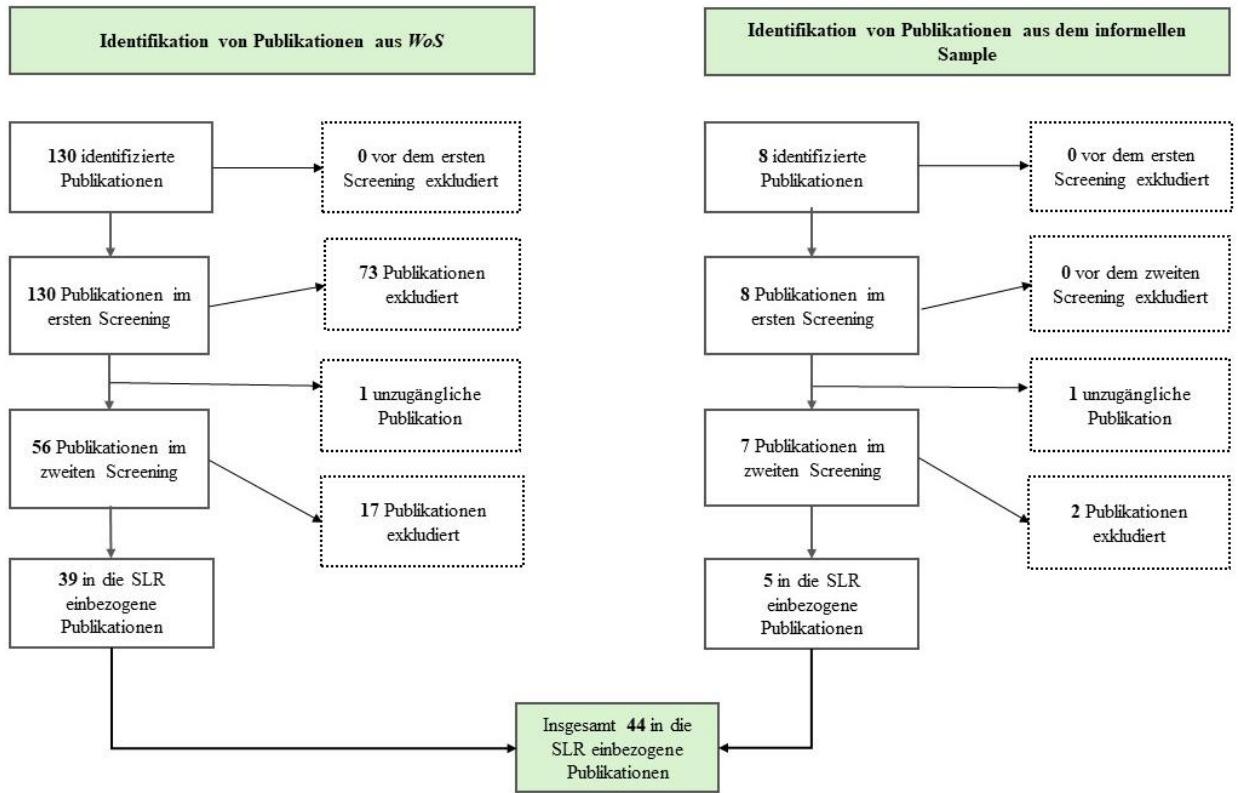


Abbildung 1: PRISMA-Graph

Da ein spezifisches Rechercheprinzip angewendet wurde, das sich z.B. in der Beschränkung auf nur eine Datenbank ausdrückt, ist davon auszugehen, dass nicht alle für den Themenschwerpunkt maßgeblichen Quellen identifiziert werden konnten. Dies erhöht die Wahrscheinlichkeit verzerrter Ergebnisse. Aus Kapazitätsgründen wird dieses Prinzip jedoch häufig in Abschlussarbeiten genutzt (vgl. Heil 2021: 6). Um dem sensitiven Rechercheprinzip näherzukommen, hätten noch mehr Datenbanken in die Suche einbezogen und die *Search Strings* detaillierter formuliert werden müssen. Darüber hinaus hätte das informelle Sample größer ausfallen können. Gleichwohl wird der erreichte Umfang einer Masterarbeit angemessen eingeschätzt, zumal die SLR nicht die einzige Methode ist, die in der Arbeit genutzt wird. Die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse ist aufgrund der transparenten Arbeitsweise gegeben.

6. Ergebnisse der SLR

Die Ergebnisse der SLR sind in eine quantitative und eine qualitative Auswertung gegliedert. Zunächst wird die quantitative Auswertung vorgestellt.

6.1 Quantitative Analyse

Das Unterkapitel zur quantitativen Auswertung umfasst Charakteristika der Samples wie Erscheinungsjahr und *Research Areas* der Artikel, Herkunftsländer der Autor*innen, methodische Vorgehensweisen und inhaltliche Schwerpunktsetzungen. Daraus lassen sich bereits spannende Erkenntnisse ableiten.

Charakteristika der Samples

Wie in Abb. 2 zu erkennen ist, wurden die meisten Artikel ab 2017, also innerhalb der letzten sechs Jahre, veröffentlicht. Dabei muss beachtet werden, dass die *WoS Core Collection* nur Publikationen ab 2010 enthält und auch davor bereits über das VF veröffentlicht wurde. Dennoch zeichnet sich ab, dass die Diskussion ab dem Zeitraum von 2017 Aufwind erfahren hat – sicherlich auch, weil ab diesem Zeitpunkt zum ersten Mal weltweit größere, kommerzielle VFs in einer nennenswerten Anzahl entstanden. Dieses Datum deckt sich mit Bomfords Einschätzung, der 2017 als den Beginn der „commercial phase“ (2023: 880) des VFs charakterisiert, wie in Kapitel 4.2 nachgezeichnet wurde.

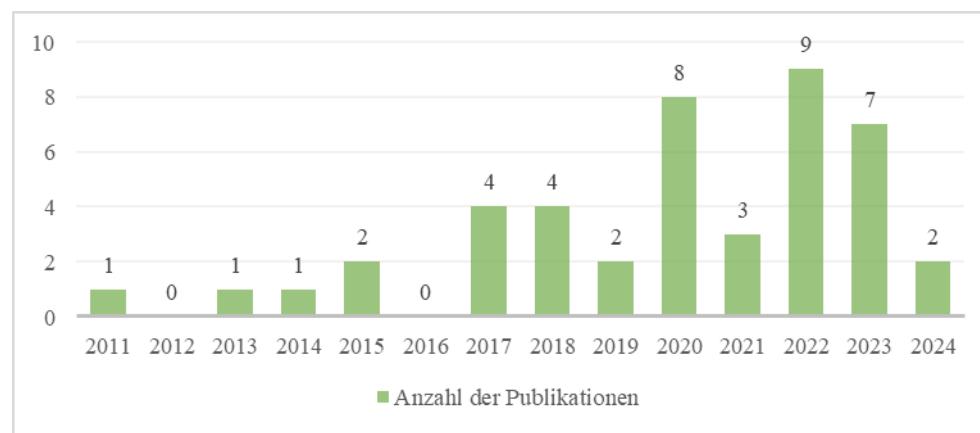


Abbildung 2: Erscheinungsjahr der in der SLR genutzten Publikationen

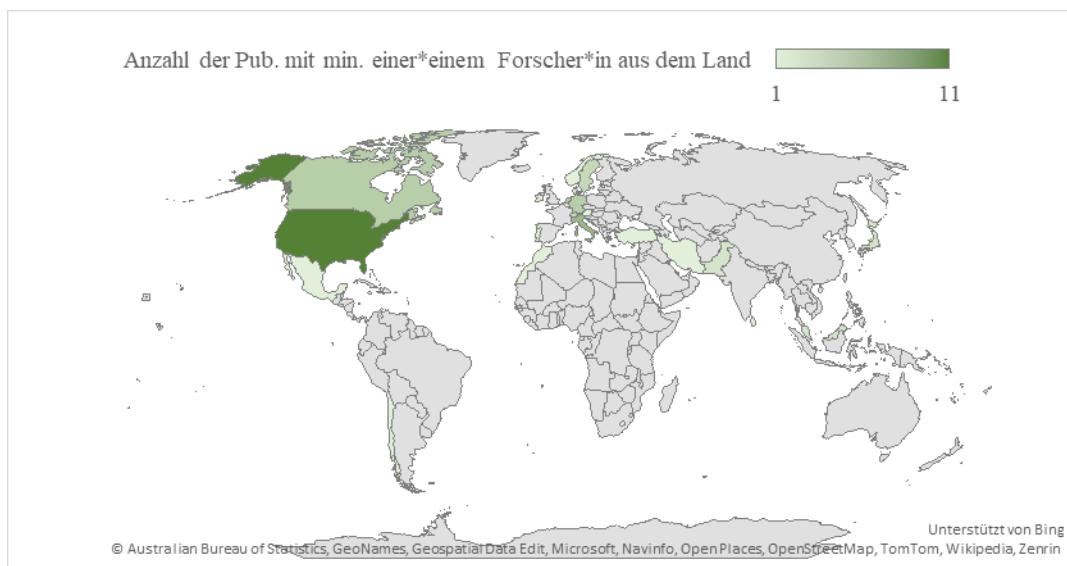


Abbildung 3: Länder, aus denen mind. ein*e Autor*in der genutzten Publikationen stammt

In Abb. 3 wird deutlich, dass es sich um ein internationales Forschungsfeld handelt.¹³ Ein Großteil der Publikationen stammt aus dem Globalen Norden mit den Spitzenreitern USA (11 Publikationen), Großbritannien (10), Italien (6), Kanada, die Niederlande und Deutschland (je 4). Mehrere Artikel kommen aber auch aus verschiedenen Ländern des Globalen Südens wie Singapur (3), Pakistan (2), Malaysia (2), und Marokko (1). Dies unterstreicht, dass auch im Globalen Süden VF als eine zukunftsträchtige Art der Nahrungsmittelproduktion diskutiert wird. Wie in Kapitel 4.2 bereits dargelegt wurde, wird gerade in mehreren asiatischen Ländern die Entwicklung von VF-Systemen stark vorangetrieben, was sich auch in der Anzahl der Publikationen widerspiegelt. Zudem zeichnet sich bereits ab, dass landwirtschaftlich schwierige Klimata, wie in Marokko und Pakistan, oder eine geringe Anzahl landwirtschaftlich verfügbarer Flächen, wie in Stadtstaaten wie Singapur, eine Rolle für die Forschung von VF spielen.

Research Areas und Forschungsstand

Der inhaltlichen Ausrichtung der Artikel kann sich gut über die in WoS hinterlegten *Research Areas* genähert werden. Es offenbart sich, dass die Beschäftigung mit VF insbesondere aus einer technisch-naturwissenschaftlichen Perspektive geschieht. Die meisten Artikel lassen sich den Bereichen *Environmental Sciences and Ecology* (11 Publikationen), *Food Science and Technology* (10), *Agriculture* (10) und *Science and Technology – other Topics* (10) zuordnen. Auch Themengebiete wie *Engineering* (5) und *Energy and Fuels* (3) spielen eine Rolle. Sozialwissenschaftliche Ausrichtungen wie *Sociology*, *Social Issues* und *Urban Studies* spielen mit je einem Treffer nur eine untergeordnete Rolle. Diese Erkenntnis spiegelt sich mit anderen Einschätzungen aus der Fachliteratur. Mina et al. (2023: 1, 9) und Stein (2021: 4) konstatieren, dass sich ein Großteil der Forschung zu VF auf technische und biologische

¹³ Die Daten, auf denen Abb. 3, 4 und 5 beruhen, befinden sich in Anhang 3.

Fragestellungen fokussiert. So werden etwa die Technologie hinter VF, neue Innovationen und Produktionskapazitäten diskutiert. Ökologische Themen, z.B. das Energiemanagement, kommen erst darauf folgend. Sie werden häufig mit Überlegungen zu der Profitabilität von VF-Systemen verbunden (vgl. Stein 2021: 4). Studien, die sich explizit mit Nachhaltigkeit beschäftigen, sind hingegen im geringeren Maße vertreten. Die Diskussion sozialer Auswirkungen und ethischer Überlegungen ist bisher noch deutlich unterrepräsentiert, wobei diese Perspektive zunimmt (vgl. Klerkx/Rose 2020: 4). Glaros et al. (2024: 1) quantifizieren den sozio-ökonomischen Anteil an der Forschung zu VF mit unter zehn Prozent. Innerhalb dieser zehn Prozent nimmt die Wahrnehmung der Verbraucher*innen auf VF den bisher größten Anteil ein (vgl. Bomford 2023: 880). Daraus ableitend lässt sich die These aufstellen, dass die aktuelle Forschungsdebatte zu VF Nachhaltigkeit insgesamt nicht als sozial-ökologisches Zusammenspiel sieht, sondern primär aus einer ökologischen Perspektive diskutiert.

Methodische Vorgehensweisen und inhaltliche Schwerpunkte

Die methodischen Vorgehensweisen der Artikel sind unterschiedlich. Sie reichen von Modellierungen (Khalaf et al. 2023; Rivera et al. 2023; Weidner et al. 2022; Gentry 2019), Life Cycle Assessments (Casey et al. 2022; T. Blom et al. 2022; Martin et al. 2022) und Reviews (Gwynn-Jones et al. 2018; Cifuentes-Torres 2021; McCartney/Lefsrud 2018; van Delden et al. 2021; Stein 2021), über Case Studies (Glaros et al. 2024 über das Fraser Valley in British Columbia oder Mok et al. 2020 mit einem Review über Singapur) bis hin zu qualitativen Interviews (vgl. Carolan 2020) und einer SLR (Mina et al. 2023). Diese methodologische Vielfältigkeit ist erneut der disziplinären Breite des Forschungsfeldes zuzuschreiben. Auch wenn damit für die Analyse der Artikel häufig unterschiedliche Herangehensweisen gefunden werden mussten, ist dieser Umstand insgesamt eher als positiv und spannend denn als hinderlich anzusehen.

Um die Argumente der Artikel quantifizieren zu können, wurden die Publikationen zunächst entsprechend ihrer sozial-ökologischen Ausrichtung eingeteilt. Thematisieren sie die Kosten und Nutzen des VF eher aus sozialer oder ökologischer Perspektive? Oder sind beide Perspektiven relativ ausgeglichen? Diese Unterteilung ist jedoch nicht immer trennscharf möglich, da einige Argumente sowohl soziale als auch ökologische Auswirkungen beinhalten.

Die Tendenz, die sich bereits in den *Research Areas* abzeichnete, setzt sich in den Inhalten der Publikationen fort. Wie in Abb. 4 ersichtlich ist, behandeln zwanzig Publikationen das VF zwar sowohl aus ökologischer als auch sozialer Perspektive, es fokussieren sich jedoch mit 17 Artikeln deutlich mehr nur oder überwiegend auf ökologische Fragestellungen, wohingegen lediglich sieben eine reine oder eher soziale Perspektive auf das VF einnehmen.

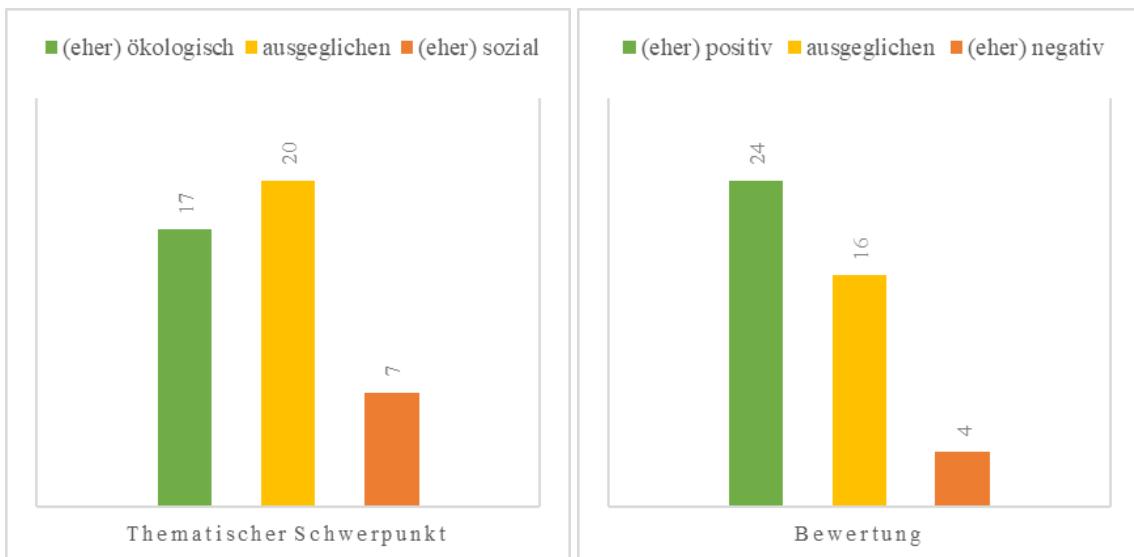


Abbildung 4: Thematische Schwerpunktsetzung der Publikationen (links)

Abbildung 5: Bewertung des VFs in den Publikationen (rechts)

Neben rein sozialen und ökologischen Kosten und Nutzen spielen auch technische und wirtschaftliche Überlegungen in den Publikationen eine Rolle. Auch wenn diese nicht der Fokus dieser SLR sind, gehören sie doch zur Komplexität und Interdisziplinarität sozial-ökologischer Abwägungen dazu. Beispiele dafür sind bestimmte Bauweisen oder Energiegewinnungsmethoden, die entscheidend zur Umweltbilanz beitragen. Auch entscheidet etwa die Wirtschaftlichkeit des Anbaus bestimmter Kulturen darüber, welche in VFs angebauten Nahrungsmittel Verbraucher*innen zu welchem Preis erhalten können. Deswegen greift die folgende Analyse auch immer wieder technische und wirtschaftliche Thematiken auf.

Abschließend seien noch einige Anmerkungen zum quantitativen Verhältnis von in den Artikeln diskutierten sozial-ökologischen Kosten und Nutzen (Abb. 5) zu treffen. Dafür wurde unterschieden, ob die Kosten oder die Nutzen des VFs quantitativ überwiegen oder sowohl Kosten als auch Nutzen zu einigermaßen gleichen Teilen aufgegriffen werden. Es lässt sich feststellen, dass mit 24 Artikeln deutlich mehr Publikationen (eher) die Nutzen des VFs thematisieren und damit positiv oder eher positiv auf die Anbaumethode Bezug nehmen. Zugleich werden Kosten und Nutzen in 16 Artikeln insgesamt ausgeglichen, ggf. mit positivem oder negativem Einschlag, berücksichtigt. In lediglich vier Publikationen stehen hingegen die Kosten des VFs im Vordergrund. Diese Beobachtung kann den Schluss nahelegen, dass VF grundsätzlich mehr Vor- als Nachteile aufweist. Die Autorin stellt jedoch vielmehr die These auf, dass das Ungleichgewicht zugunsten positiv ausgerichteter Artikel vielmehr ein weiteres Zeichen dafür ist, dass in der Forschung kritische Auseinandersetzungen mit VF bisher unterrepräsentiert sind. Diese These wird in der folgenden qualitativen Analyse weiter ausdifferenziert.

6.2 Qualitative Analyse

Bis hierhin wurde eine quantitative Auswertung durchgeführt, um einen Überblick über die Sample zu erhalten und daraus Rückschlüsse auf das Forschungsfeld ziehen zu können. Nun folgt die qualitative Auswertung. Dazu werden die Argumente der in die SLR einbezogenen Artikel zusammengeführt und miteinander kontrastiert. Zunächst werden die ökologischen, daraufhin die sozialen Kosten und Nutzen des VFs vorgestellt.

6.2.1 Ökologische Kosten und Nutzen des VFs

Der folgende Abschnitt behandelt zunächst die in der Literatur diskutierten ökologischen Kosten und Nutzen des VFs. Da viele der dargestellten ökologischen Faktoren, je nach Kontext und Blickwinkel, sowohl Kosten als auch Nutzen aufweisen, werden diese, wo passend, zusammen diskutiert.

Effiziente Ressourcennutzung

Ein zentraler, in der Literatur häufig angebrachter Nutzen von VF, ist die effiziente Nutzung verschiedener Ressourcen (vgl. u.a. Ahamed et al. 2023: 14; Muller et al. 2017: 104; van Delden et al. 2021: 944). Diese schließt Wasser, Land, Nährstoffe und Pestizide mit ein.

Bewässerung

Das benötigte Wasser kann den jeweiligen Kulturen mithilfe der bereits erprobten hydro- oder aeroponischen Systeme sehr zielgerichtet zugeführt werden. Im Vergleich zu traditionellen, erdgebundenen Anbaumethoden, ob im Freiland oder Gewächshaus, reduziert dies den Wasserverbrauch in einem relevanten Maße (vgl. Nicola et al. 2020: 256 f.). Eine hierzu immer wiederkehrende Angabe ist eine 90- bis 95-prozentige Reduktion des Wasserbedarfs im Vergleich zum Freilandbau (vgl. Azzaretti/Schimelpfenig 2022: 536; Khalaf et al. 2023: 2; Yesil/Tatar 2020: 275). Stein (2021: 4) hat diese Angabe nachgerechnet und bestätigt sie. Van Delden et al. (2021: 950) nennen sogar eine 99-prozentige Reduktion im Vergleich zum Freilandbau. Verglichen zu traditionellen Gewächshäusern handelt es sich ihnen zufolge immer noch um einen 90 Prozent geringeren Wasserbedarf (vgl. van Delden et al. 2021: 950).

Abhängig vom Grad der Geschlossenheit des jeweiligen Systems kann das bereits zur Bewässerung genutzte Wasser erneut für die Bewässerung der Pflanzen verwendet werden. So ist bspw. auch möglich, Wasser, das über die Blätter verdunstet ist, mithilfe von Luftentfeuchtern aufzufangen und dem Kreislauf erneut zuzuführen (vgl. Germer et al. 2011: 242; Winiwarter et al. 2014: 39). Der Kreislauf kann auch durch eine Aufbereitung des Abwassers von außerhalb, z.B. aus nahegelegenen Haushalten, weiter ausgebaut werden (vgl. Cowan et al. 2022: 3; Sashika et al. 2024: 7). Dies ermöglicht darüber hinaus eine Reinigung von belastetem Wasser (vgl. Cifuentes-Torres et al. 2021: 170-172). Die mögliche

Etablierung eines Wasserkreislaufs ist als eine zentrale Komponente eines umfassenderen Ressourcenkreislaufs anzusehen, doch dazu im Laufe dieses Kapitels mehr.

Diese sparsame Wassernutzung ist gerade in Regionen, in denen Wasserknappheit die Landwirtschaft vor Herausforderungen stellt, von großer Relevanz (vgl. Khalaf et al. 2023: 18). Zeitgleich wird in der Literatur vereinzelt ebenso angemerkt, dass auch schon der geringe Wasserverbrauch in sehr trockenen Regionen problematisch sein kann (vgl. Khalaf et al. 2023: 18).

Dünger und Pestizide

In einer VF benötigen die Pflanzen zugesetzte Nährstoffe, da die meisten VFs hydro- oder aeroponische Systeme statt eines erdgebundenen Anbaus nutzen (vgl. Romeo et al. 2018: 543). Die Düngemittel können dem Wasserkreislauf hinzugefügt und somit den Pflanzen sehr effektiv verabreicht werden, wodurch eine kleinere Menge als in der industrialisierten Landwirtschaft nötig ist (vgl. Germer et al. 2011: 242). Außerdem kann verbliebene Nährlösung theoretisch wiederverwendet werden (vgl. Germer et al. 2011: 242; Winiwarter et al. 2014: 40). Jedoch ist es, der Literatur zufolge, bisher noch nicht möglich, den Kreislauf ganz zu schließen, da Nährstoffe verloren gehen (vgl. Cowan et al. 2022: 5).

Ähnlich verhält es sich mit Pestiziden. Durch die geschützte Umwelt und die hohen Hygieneanforderungen einer VF wird es Schädlingen oder Krankheitserregern deutlich erschwert, in das System zu gelangen (vgl. Germer et al. 2011: 242). Dennoch kann die Nutzung von Pestiziden nicht per se ausgeschlossen werden, da sich die Schadorganismen, sind sie einmal im System – ähnlich einer industrialisierten Monokultur – leicht verbreiten können. Durch den Wasserkreislauf steigt sogar die Wahrscheinlichkeit, dass sie weiter in der Anlage verteilt werden (vgl. Orsini et al. 2020a: 14). Gleichzeitig ermöglichen die smarten Technologien einer VF, Krankheiten und Befall frühzeitig zu erkennen und entsprechend gegenzusteuern (vgl. Cowan et al. 2022: 4). Außerdem wird die Möglichkeit betont, in solch einem Fall biologische Methoden der Schädlingsbekämpfung einzusetzen (vgl. Yuan et al. 2022: 3).

Durch das geschlossene System einer VF und den verringerten Ressourceneinsatz lassen sich viele der Umweltbelastungen, die mit der industrialisierten Landwirtschaft einhergehen, etwa die Verschmutzung der Umwelt durch giftige Pesti- und Herbizide oder eine Eutrophierung von Gewässern aufgrund eines erhöhten Nährstoffeintrags, immens reduzieren (vgl. Stein 2021: 5; Romeo et al. 2018: 543). Orsini et al. (2020b: 304) konstatieren, dass die Eutrophierung durch VF-Systeme um 87 Prozent im Vergleich zu traditionellen Gewächshaussystemen und um 93 Prozent verglichen zu Freilandbau reduziert werden kann. Auch andersherum sind die Kulturen einer VF vor Verunreinigungen von außerhalb, wie Abgasen oder kontaminierten Böden, geschützt (vgl. Romeo et al. 2018: 543). Gerade für klassische, erdgebundene *Urban-Gardening*-Projekte stellen diese häufig ein Problem dar (vgl. Germer et al. 2011: 242). Des Weiteren kann Lichtverschmutzung, für die konventionelle Gewächshäusern verantwortlich sind, aufgrund der geschlossenen VF-Gebäude minimiert werden (vgl. van Delden et al. 2021: 950).

Jedoch muss festgehalten werden, dass es vorgelagert, „in the areas where fuels, metals and fertilisers are extracted, i.e. mining sites distant from the place of final use“ (Romeo et al. 2018: 544) weiterhin zu Eutrophierung und anderen Formen der Umweltbelastung kommen kann. Eine wirkliche Revolution im Umgang mit Ressourcen und ihren Umweltauswirkungen lässt sich dementsprechend nicht konstatieren.

Hoher Energieverbrauch und CO₂-Emissionen

Die Wissenschaft ist sich weitgehend einig, dass Energie als Ressource in VF-Systemen bislang nicht effizient genutzt wird. Durch den hohen Grad an Automatisierung u.a. der Bewässerung, der Belüftung, je nach Bedarf der Kühlung¹⁴ oder Beheizung der Räumlichkeiten und im besonderen Maße der ganzjährigen künstlichen Beleuchtung, haben VFs einen enormen Energiedurst (vgl. Gentry 2019: 193; Khalaf 2023: 2; Martin et al. 2022: 14 f.). Martin et al. stellen fest: „Energy demand, primarily electricity, (...) are a major influencing input. (...) These results concur with a number of previous studies, suggesting that energy consumption for artificially maintained climatic and light regimes contribute significantly to the environmental impacts of such systems“ (2022: 14).

Der von Martin et al. genannte „environmental impact“ (2022: 14) des Energieverbrauchs bezieht sich auf den damit verbundenen hohen CO₂-Ausstoß. Diese CO₂-Emissionen benennen jedoch nur etwas mehr als die Hälfte der Publikationen (28 von 44 Artikel).

Die wenig prominente Thematisierung dieses für die ökologische Nachhaltigkeit von VF-Anlagen bedeutsamen Zusammenhangs wird als Hinweis gesehen, dass in Teilen des Forschungsfeldes ökonomische Abwägungen an erster Stelle stehen. Schließlich ist ein hoher Energieverbrauch für die Betreiber*innen primär monetär teuer. Der damit direkt zusammenhängende hohe CO₂-Ausstoß ist davon jedoch erst einmal abgekoppelt, da er still und unbemerkt geschieht.

Je nach Energiequelle fällt die Höhe der CO₂-Emissionen sehr unterschiedlich aus, wie viele Autor*innen betonen (vgl. u.a. van Delden et al. 2021: 951; Casey et al. 2022: 6; Romeo et al. 2018: 545). Werden fossile Energieträger wie Kohle und Gas verwendet, ist der CO₂-Ausstoß hoch. Al-Chalabi (2015: 76) zufolge hat ein in Großbritannien angebauter VF-Salat im Sommer einen fünfmal höheren CO₂-Fußabdruck als ein Freiland-Salat. Der Ausstoß ist Al-Chalabi zufolge im Winter „nur“ doppelt so hoch, da der konventionelle Salat dann aus dem beheizten Gewächshaus kommt. T. Blom et al. (2022: 10) sprechen für den Salatanbau, verglichen zum Freiland, sogar von 16,7-mal höheren CO₂-Emissionen. Verglichen mit Salaten aus dem Gewächshaus sind sie 5,6-mal höher, so T. Blom et al. (2022: 10). Gleichzeitig betonen sie, dass solche Berechnungen immer von diversen Faktoren abhängen und es sich dabei meist um theoretische Simulationen handelt, weswegen pauschale Aussagen mit Vorsicht betrachtet werden sollten (vgl. T. Blom et al. 2022: 10).

¹⁴ Die LED-Beleuchtung produziert Wärme, welche die Kühlung der Anlage insbesondere im Sommer notwendig macht (vgl. Kalantari et al. 2018: 42).

Einige wenige Autor*innen, wie Eigenbrod/Gruda (2014: 495), proklamieren hingegen, dass VF aufgrund seiner effizienten Arbeitsweise weniger Emissionen als herkömmliche Systeme verursacht. Diese Aussagen können aber als sehr optimistische Zukunftsprognosen und Nischeneinschätzungen eingeordnet werden.

Nutzung erneuerbarer Energiequellen als größter Hebel

Mit der Nutzung von erneuerbaren Energieträgern wie Wind- oder Solarenergie kann sich der CO₂-Ausstoß drastisch reduzieren und VF in Bezug auf diese Emissionen wieder konkurrenzfähig zu konventionellen Systemen werden (vgl. Casey et al. 2022: 8; Khalaf et al. 2023: 2; Rivera et al. 2023: 14; Yuan et al. 2022: 4). „If sourced from renewable energy sources, [the carbon footprint] may be competitive compared to conventional produce, but this requires further research“, stellt Al-Chalabi (2015: 76) fest. Die Nutzung von erneuerbaren Energieträgern wird von mehreren Wissenschaftler*innen als der größte Hebel, um VF umweltverträglicher zu gestalten, angesehen: „The selection of the energy source is critical to improve the environmental performance of food grown in aeroponics“ (vgl. Rivera et al. 2023: 13). Gleichzeitig müssen auch die vorgelagerten Emissionen und Ressourcen von Windkraftanlagen oder Photovoltaikanlagen (PVs) bedacht werden. Dazu zählen etwa der Energie-, Ressourcen- und Flächenbedarf dieser Anlagen. Diese wiederum verschlechtern die CO₂-Bilanz und können zudem Ökosysteme fragmentieren: „Given the high resource footprint and ecosystem fragmentation impact of solar panels and wind turbines, CEA might be less favourable when open-field farming has a similar total land footprint, even more so when open-field production is done in an ecosystem-friendly way“ (Weidner et al. 2022: 212).

Gleichwohl steht die Nutzung erneuerbarer Energie durch VFs vor Herausforderungen. Beispielsweise ist die Energiegewinnung im Kontext von Flächenkonkurrenz und daraus resultierender -knappheit zu betrachten. Vor diesem Hintergrund muss sich gefragt werden, ob ein großer Teil der erneuerbaren Energie für VF verwendet werden soll. Schließlich gibt es bereits jetzt einen hohen Energiebedarf aus anderen gesellschaftlichen Kontexten, der gedeckt werden will (vgl. Weidner et al. 2022: 212): „Land for renewable energy production is limited in most regions studied in this work¹⁵, which – given the host of other potentially more pressing energy end uses – could strongly limit the scale-up potential of PFs in a low-carbon world, particularly within the setting of regional food and energy independence“. Des Weiteren würden die für den Betrieb der VF notwendigen PVs oder Windkraftanlagen, sofern nicht auf oder am Gebäude der VF installiert, zu neuem Landverbrauch führen, der durch die Nutzung von VF faktisch minimiert werden soll (vgl. Rundgren 2018: 41). Einige Wissenschaftler*innen (vgl. Al-Chalabi 2015: 76; Martin et al. 2022: 13) stellen tatsächlich dar, wie sogar direkt vor Ort, z.B. auf dem Dach und der Fassade der VF, mittels PVs der eigene Energiebedarf auf umweltverträglichere Art und Weise

¹⁵ Die Autor*innen haben Reykjavík, Santiago (Chile), die VAE, Stockholm, Johannesburg, Tokyo, Boston, Phoenix und Singapur analysiert.

gedeckt werden kann und so weitere Flächenversiegelung vermieden wird – zumindest dort, wo eine hohe Sonneneinstrahlung gegeben ist. Auch über die Integration von kleinen Dach-Windturbinen oder Energiespeichern wird diskutiert (vgl. Shamshiri et al. 2018: 16). Anderswo wird hingegen angezweifelt, ob dies in dieser Form möglich ist, weil die für diese Nutzung geeignete Fläche mit Dach und Fassade einer VF eher klein ist (vgl. Muller et al. 2017: 104). Generell muss berücksichtigt werden, dass die globale Entwicklung erneuerbarer Energien insgesamt noch in den Kinderschuhen steckt und nach wie vor eine hohe Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen herrscht: „Few nations are able to generate enough renewable energy to meet their needs fully without supplementing power grids with fossil fuels“ (Cowan et al. 2022: 3). Die vorausgegangenen Überlegungen entsprechen also vielmehr einer Zukunftsperspektive als einer bereits heute möglichen Option.

Auf der anderen Seite soll der hohe Energiebedarf von VF-Systemen und der damit einhergehende CO₂-Ausstoß durch eine Änderung von Betriebsabläufen gesenkt werden. Cowan et al. konstatieren, dass eine verbesserte Effizienz häufig jedoch angestrebt wird, um Kosten einzusparen, statt bewusst die ökologische Nachhaltigkeit zu erhöhen: „While improving efficiencies will provide real environmental benefits (...), these outcomes are largely achieved as a consequence of cost saving rather than deliberate attempts to improve sustainability of systems“ (2022: 5). Zudem handelt es sich bei diesem Vorhaben häufig um Zukunftspläne, da damit auch ein Warten auf weitere Innovationen einhergeht (vgl. Ahamed et al. 2023: 16). Die Effizienz soll z.B. durch sparsamere LEDs gesteigert werden, wodurch die Energienutzung um 20 bis 50 Prozent reduziert werden könnte (vgl. Ahamed et al. 2023: 4). Auch eine verbesserte Isolierung des Gebäudes, die den Wärme- und Kühlungsbedarf reduziert und eine Verbesserung und Ausweitung der smarten, autonomen Systeme, die das VF-System noch effizienter regulieren können, spielen eine Rolle (vgl. Stein 2021: 2).

Etablierung eines Kreislaufs

Grundlegend muss betont werden, dass die meisten der bereits in Betrieb befindlichen VFs (noch?) keinen funktionierenden Ressourcenkreislauf haben. Stattdessen werden für sie Materialien wie Dünger oder die für die Pflanzenaufzucht benötigten Substrate aus externen Quellen genutzt, ohne diese anschließend zu recyceln oder wiederzuverwenden (vgl. Martin et al. 2022: 2). Ein großer Punkt hierbei ist anorganischer Müll, allen voran Plastik. Dieser kann, u.a. wegen der Produktverpackungen, in großen Mengen entstehen. Gleichzeitig wird er bisher jedoch nur in sehr geringem Maße recycelt (vgl. Cowan et al. 2022: 5).

Grundsätzlich besteht aber ein Interesse daran, einen Ressourcenkreislauf zu fördern und damit die Nachhaltigkeitsstrategie der Konsistenz anzuwenden. So könnten gerade in urbanen Settings symbiotische Verbindungen zwischen VF-Systemen und der städtischen Infrastruktur aufgebaut und genutzt werden (vgl. Weidner et al. 2022: 212). So wird erforscht, wie entstandener Biomüll, aber auch andere organische Abfälle, z.B. Nebenerzeugnisse aus Brauprozessen, in betriebseigenen Biogasanlagen

verwertet und in Energie bzw. Wärme umgewandelt werden können (vgl. Martin et al. 2022: 6; Gentry 2019: 194 f.). Diese organischen Nebenprodukte könnten ebenso als Kultursubstrat verwendet (vgl. Martin et al. 2022: 8) oder zu Dünger weiterverarbeitet werden (vgl. Li et al. 2020: 14). Auch soll Abwärme von umliegenden Gebäuden für Beheizungszwecke in die VF geleitet werden und andersherum, was zur „Dekarbonisierung“ (Martin et al. 2022: 15) der Gebäude beitragen kann (vgl. Gentry 2019; Cowan et al. 2022: 3). Des Weiteren kann CO₂, das etwa in einer nachbarschaftlichen Brauerei entstanden ist, in die VF geleitet werden. Die erhöhte CO₂-Konzentration in der Luft stellt ideale Wachstumsbedingungen für die Pflanzen dar (vgl. Cowan et al. 2022: 3; Martin et al. 2022: 14; Shamshiri et al. 2018: 16). Einige Wissenschaftler*innen sprechen in diesem Zusammenhang sogar von einer möglichen Funktion von VF-Anlagen als CO₂-Kompensator (vgl. Cowan et al. 2022: 3; Martin et al. 2022: 14). Diese Methoden befinden sich jedoch noch überwiegend in der Testphase und sind weit davon entfernt, flächendeckender Standard zu sein (vgl. Kalantari et al. 2018: 42).

Kürzere Transportwege

CO₂-Emissionen können auch beim Transport der VF-Erzeugnisse eingespart werden (vgl. Yuan et al. 2022: 13). Gleichzeitig sind diese schwer zu kalkulieren und hängen von vielen unterschiedlichen äußeren Faktoren, wie der Art des Transportmittels und der transportierten Menge, ab (vgl. Gentry 2019: 193). Durch den meist lokalen Vertrieb der Waren sind die Lieferwege deutlich kürzer als bei konventionell erzeugten Lebensmitteln und müssen nicht mit klimaschädlichen Transportmitteln wie dem Flugzeug geleistet werden. Das verkürzt auch die Dauer der Lagerung und minimiert den Bedarf an Verpackungen (vgl. Kalantari et al. 2017: 46; Oh/Lu 2022: 133). Gleichzeitig werden so entlang der Produktionskette weniger Lebensmittel verschwendet, da VF-Lebensmittel in der Regel frischer als konventionell produziertes Obst und Gemüse an die Endverbraucher*innen gelangen (vgl. Casey et al. 2022: 10). Dies spart wiederum das klimaschädliche Treibhausgas Methan ein, das bei Vergärungsprozessen freigesetzt wird (vgl. Mok et al. 2020: 158). In der Literatur werden die durch den verkürzten Transport eingesparten CO₂-Emissionen mit den sonstigen CO₂-Ausstößen eines VF-Systems verrechnet und konstatiert, dass sich diese unter bestimmten Bedingungen sogar ausgleichen können (vgl. Benis et al. 2017: 599; Gentry 2019: 196). Jedoch wird in anderen Publikationen auch betont, dass die Lieferkette einen nur geringen Anteil am gesamten CO₂-Ausstoß des Produktionsprozesses hat und deshalb der positive Einfluss nicht überschätzt werden sollte (vgl. Martin et al. 2022: 12). Van Delden et al. (2021: 951) zufolge beträgt der Anteil des Transports am gesamten CO₂-Fußabdruck eines Produkts weniger als zehn Prozent, Beacham et al. (2019: 281) sprechen von elf Prozent des Transports gegenüber 83 Prozent, die der Produktion zuzuordnen sind.

Insgesamt sind die kürzeren Transportwege und damit reduzierten Emissionen ein ökologischer Vorteil. Gleichzeitig sind ihre gesamten Auswirkungen als nicht allzu stark einzuschätzen. Vorteile, die aus einer

(Re-)Lokalisierung resultieren, lassen sich darüber hinaus insbesondere im sozialen Bereich finden, doch dazu im Kapitel zu den sozialen Kosten und Nutzen (s. Kapitel 6.2.2) mehr.

Effiziente Flächennutzung

Der am häufigsten diskutierte Vorteil ist die effiziente Nutzung von Fläche. 24 der Publikationen greifen dieses Argument auf (vgl. u.a. Orsini 2020b: 304; Kalantari 2018: 44). Durch den vertikalen Anbau von Kulturen, die eher klein bleiben und schnell geerntet werden, ist die Flächenproduktivität im Vergleich zu konventionellen Systemen deutlich erhöht. So kann auf kleinerer Fläche mehr angebaut werden, wodurch weniger Land im Vergleich zu konventioneller Landwirtschaft verbraucht werden muss. Dadurch kann der Druck auf die noch verbliebene Fläche reduziert werden: „[VF] has minimal soil use, correspondingly reduces demand for soil for agricultural production and thus spares soils and their services elsewhere“ (Muller et al. 2017: 103). Orsini (2020b: 304) spricht in diesem Zusammenhang von einer 95-prozentigen Flächenreduktion verglichen zu Gewächshäusern und einer 75-prozentigen verglichen zu Freilandbau. Diese Angaben werden durch Kalantari et al. (2018: 45) bestätigt. Da zudem die Lebensmittelproduktion in VF-Systemen von der Erde als Nährmedium entkoppelt wird, können Boden degradation und andere negative Effekte auf den Boden unmittelbar vermieden werden (vgl. Stein 2021: 5).

Einige Wissenschaftler*innen eröffnen die Möglichkeit, dass die durch Flächeneinsparung nicht benötigten Flächen in ihrem natürlichen Zustand erhalten bleiben oder landwirtschaftliche Fläche renaturiert werden kann (vgl. Winiwarter et al. 2017: 42; Kalantari et al. 2018: 47). So argumentieren etwa Kalantari et al.: „A great benefit of VF is that it gradually helps in repairing the land, large parts of the ecosystem are restored as a result“ (2018: 47). Damit einher geht, dass auf diese Weise mithilfe von VF die Biodiversität und andere Ökosystemdienstleistungen gefördert werden können (vgl. Winiwarter et al. 2014: 42). Einige Wissenschaftler*innen führen auch an, dass durch VFs indirekt CO₂ eingespart werden kann, indem das erhaltene bzw. renaturierte Land potenziell zu einer CO₂-Senke wird (vgl. Germer et al. 2011: 242; Stein 2021: 5 f.; Winiwarter et al. 2014: 42).

Lediglich Bomford (2023: 889-891) kritisiert dieses Narrativ der Flächeneinsparung. Dies tut er jedoch mit großer Stringenz, sodass die Autorin seiner Argumentation eine große Bedeutung beimisst. Bomford stellt den dominanten Argumentationsstrang, der implizit davon ausgeht, dass Fläche, die durch das VF eingespart wird, nicht mehr nachträglich genutzt wird, in Frage. Das Argument der Renaturierung landwirtschaftlich bereits genutzter Fläche als eine Folge von VF geht darüber noch hinaus. Bomford selbst weiß von keinem Fall, in dem diese Versprechen bereits umgesetzt wurden (vgl. ebd.: 890), obwohl dieser ökologische Nutzen in der Literatur zum Teil sehr offensiv behandelt wird. Außerdem kränkt das Argument der Flächeneinsparungen auch daran, dass in VF-Systemen bisher kaum Grundnahrungsmittel angebaut werden, so Bomford (2023: 889). Da diese jedoch einen Hauptteil des landwirtschaftlichen Flächenverbrauchs ausmachen und grundlegend für die menschliche Ernährung sind, wird der

Landverbrauch demnach wahrscheinlich nahezu unvermindert weitergehen, denn: „It's unclear by what mechanism (even at astronomically high salad or even strawberry yields) cattle ranchers in Amazonia or palm oil plantation owners in Indonesia would put aside their livelihoods in this scenario“ (ebd.: 890). Gleichzeitig sind Microgreens und Salate bisher noch nicht für ihren enormen Landverbrauch in Erscheinung getreten: „Leafy greens in general, and microgreens more specifically, are not implicated as significant drivers of land use change or environmental damage at either the local or the global scale“ (Bomford 2023: 891). Insgesamt wäre Bomford zufolge eine radikale Nutzungsänderung landwirtschaftlicher Flächen notwendig, um die Versprechen des VF zu erfüllen: „It is not enough for VF to be *in addition to* existing agricultural practice; in order for the land sparing envisioned in VF promotional communications to occur, the old agriculture must be destroyed to make way for the new“ (ebd., Hervorhebung im Original).

Der Bau von neuen Gebäuden, die für VFs bestimmt sind, gehen mit einem großen Ressourcenaufwand und CO₂-Ausstoß einher (vgl. van Delden et al. 2021: 951; Beacham et al. 2019: 281). Außerdem muss Fläche, anders als bei konventioneller landwirtschaftlicher Nutzung, versiegelt werden. Dieser Umstand hat einen „substantial environmental impact“ (van Delden et al. 2021: 951) und stört auch etwa wichtige hydrologische Dynamiken (vgl. Cowan et al. 2022: 7). Da viele VF-Startups zudem häufig eine eher kurze Lebensspanne aufweisen, werden viele bereits verwendete Ressourcen nur kurzfristig genutzt, was die Umweltbilanz negativ beeinflusst (vgl. van Delden et al. 2021: 951).

Bis hierhin wurden die ökologischen Kosten und Nutzen des VF vorgestellt. Die Auseinandersetzung mit ihnen spiegelt wider, was für komplexe Systeme VFs darstellen – für Kosten und Nutzen kommt es stark auf den Kontext und die spezifische Umsetzung an. Es kann jedoch festgehalten werden, dass die ökologische Nachhaltigkeit von VF-Systemen an einigen großen Faktoren hängt, allem voran dem hohen Energieverbrauch und entsprechenden CO₂-Emissionen. Um die ökologische Nachhaltigkeit von VF zu erhöhen, müssen diese Faktoren perspektivisch stark angepasst werden. Damit befassen sich auch bereits Teile des Forschungsfeldes.

Im nächsten Unterkapitel wird nun dargestellt und analysiert, welche sozialen Auswirkungen von VF-Systemen wissenschaftlich diskutiert werden, um ein noch differenzierteres Bild der Kosten und Nutzen des VFs zu erhalten.

6.2.2 Soziale Kosten und Nutzen des VFs

Es sei vorangestellt, dass viele soziale Auswirkungen noch theoretischer Natur sind. Dies hat den Grund, dass die meisten aktuellen VFs erst wenige Jahre existieren, jedoch viele der sozialen Folgen Zeit brauchen, um sich zu entfalten. Zudem sind die sozialen Folgen von VFs sehr abhängig von der spezifischen Umsetzung, wie im Folgenden vertieft dargelegt wird, sodass keine pauschalen Aussagen getroffen werden können (vgl. van Delden et al. 2021: 953; Mina et al. 2023: 9). Nichtsdestotrotz wird eine ganze Reihe zu erwartender sozialer Folgen in der Forschung debattiert. Häufig werden dazu in der Literatur

auch Rückschlüsse aus bereits existierenden, traditionell ergebundenen Urban Farming-Projekten gezogen und diese auf VF angewandt. Mithilfe der SLR konnten zwei verschiedene Perspektiven, eine „kritische“ und eine „unkritische“, auf die sozialen Kosten und Nutzen identifiziert werden, die diese zum Teil sehr unterschiedlich bewerten. Während die „unkritischen“ Wissenschaftler*innen Kosten und Nutzen überwiegend vor allem in den Raum stellen, ordnen die „kritischen“ sie weiter ein und hinterfragen, ob sich die positiven Auswirkungen tatsächlich so abbilden werden wie erhofft. Es wird wieder thematisch getrennt vorgegangen, wobei bei einzelnen Themen die unterschiedlichen Positionen sichtbar werden.

Standortunabhängige, sichere Versorgung

Ein überwiegender Konsens innerhalb der Forschungsgemeinschaft besteht darin, dass VF-Systeme das Potenzial besitzen, einen höheren Ertrag im Vergleich zu traditionellen Anbaumethoden zu erzielen – unabhängig vom Standort (vgl. Sashika et al. 2024: 3; Oh/Lu 2023: 133, 135). Durch das geschlossene System, in dem Licht, Temperatur, CO₂-Konzentration und Feuchtigkeit in der Luft, Wasser- und Nährstoffzufuhr einzeln angepasst werden können, entstehen ideale Wachstumsbedingungen für die Kulturen. So sind sie ungestört von externen Umwelteinflüssen (vgl. Azzaretti/Schimelpfenig 2022: 536; Gentry 2019: 196; Sashika et al. 2024: 4). Auch die Gefahr von Krankheiten oder Schädlingen wird minimiert (vgl. Germer et al. 2011: 242). Zusätzlich wird durch den vertikalen Aufbau der Kulturen die produktive Fläche multipliziert. Das Ergebnis ist eine hochproduktive VF mit, verglichen zu traditionellen Anbaumethoden, verbessertem Ertrag (vgl. Mok et al. 2020: 158; Oh/Lu 2023: 133; Yuan et al. 2022: 4; Beacham et al. 2019: 281). Oh/Lu (2023: 135) rechnen: „Indoor vertical farming shows 100 times higher productivity in leafy lettuce compared to conventional cultivation and 15 times that of glass house cultivation.“

Ein weiterer Vorteil ist zudem, dass die verbesserten Erntemengen ganzjährig erzielt werden können, da in dem abgeschlossenen System das ganze Jahr über die gleichen Bedingungen herrschen. Das verschafft VF einen großen Vorteil gegenüber herkömmlichen Systemen (vgl. u.a. Kalantari et al. 2018: 44; Eigenbrod/Gruda 2015: 490 f.). Diese Eigenschaft von VF wird von vielen der einbezogenen Publikationen, 22 insgesamt, benannt. Die häufige Nennung mag damit zusammenhängen, dass es sich bei der ganzjährigen Wachstumsperiode auch um einen wirtschaftlichen Vorteil handelt. Das abgeschlossene System ermöglicht auch eine Versorgung mit frischen Produkten, unabhängig von Extremwetterlagen, Schädlingsplagen oder sonstigen Ereignissen, die mit voranschreitender Klimakrise immer häufiger auftreten werden (vgl. van Delden et al. 2021: 944; Cowan et al. 2022: 2).

Zentral ist überdies, dass VF durch das abgeschlossene, regulierbare System und die Entkopplung von fruchtbare Erde grundsätzlich überall aufgebaut werden kann. Ungünstige bzw. (Extrem-)Standorte, an denen konventionelle Landwirtschaft z.B. wegen kontaminierter Böden, Bodenerosion, Trockenheit oder Extremklimata, wie in Wüsten oder Polarregionen unmöglich ist, können grundsätzlich mithilfe

von VF-Systemen versorgt werden (vgl. Muller et al. 2017: 103; Kalantari et al. 2018: 46; Beacham et al. 2019: 280; Nicola et al. 2020: 258)¹⁶. C. Blom et al. (2022) beschäftigen sich beispielsweise mit dem Yukon, Nordkanada. So können VFs Orte, die ansonsten auf Importe oder haltbar gemachte Lebensmittel angewiesen sind, mit frischem Gemüse versorgen und ihre Unabhängigkeit vom Weltmarkt stärken. Dieser Vorteil wird auch in Anbetracht der immer deutlich werdenden Klimawandelfolgen, welche die natürlichen Voraussetzungen der Landwirtschaft gefährden, perspektivisch immer relevanter (vgl. Glaros et al. 2024: 7).

Insbesondere für Städte, die einerseits aufgrund von hoher Flächenverdichtung über eine geringe Anzahl landwirtschaftlich verfügbarer Flächen verfügen, andererseits aber viele Menschen versorgen müssen, ist VF prädestiniert (vgl. Lin/Gomez 2023: 3; Sashika et al. 2024: 5). Durch die Flexibilität der VF-Systeme, was Größe und Ausgestaltung betrifft, lassen sie sich gut an unterschiedliche Kontexte anpassen. Sie können z.B. auch an Orten, die herkömmlicherweise nicht mit der Nahrungsmittelproduktion assoziiert werden, wie in Wohnhäusern, Büros oder Läden implementiert werden (vgl. Mina et al. 2023: 8; Glaros et al. 2024: 5; Romeo et al. 2018: 543). Dies ist insbesondere relevant für sozial marginalisierte Gegenden wie die gerade im nordamerikanischen Kontext thematisierten *food deserts*, auf die aber auch in diesem Kapitel im Kontext der „kritischen Perspektive“ noch Bezug genommen wird (vgl. Mina et al. 2023: 7; Stein 2021: 3). Gleichzeitig wird darauf verwiesen, dass eine konstante Stromversorgung für einen reibungslosen Betrieb der Systeme benötigt wird. Für manche Standorte, die sich außerhalb des Stromnetzes befinden, stellt dies eine wirkliche Herausforderung dar (vgl. C. Blom et al. 2022: 10; Khalaf et al. 2023: 2).

Potenzial für Ernährungssicherheit?

Aufgrund der soeben erläuterten Zusammenhänge wird in der Literatur häufig das Potenzial des VFs für eine Stärkung der Ernährungssicherheit, sowohl im Globalen Norden als auch Süden, hervorgehoben (vgl. u.a. Germer et al. 2011: 242; Ahamed et al. 2023: 16; Khalaf et al. 2023: 2, 18; Nicola et al. 2020: 258). Daneben wird, wenn auch in deutlich geringerem Maße, die gestärkte Resilienz des Ernährungssystems durch VFs aufgegriffen (vgl. Azzaretti/Schimelpfenig 2022: 536; Yuan et al. 2022: 13; Casey et al. 2022: 10 f.; Orsini et al. 2020b: 304). So stellen Ahamed et al. fest:

The innovative technological development and extension of new knowledge will help to ensure food security for the increased world population and connect the new generation with the root of human survival. IVF could be one of the resilient solutions for the trilemma problems (increased demand, shortage of resources, and environmental degradation) of existing agricultural systems. (2023: 16)

¹⁶ Als Randbemerkung sei darauf verwiesen, dass die Nutzung von VF-Systemen für Weltraummissionen bis hin zur Etablierung in Marsiedlungen ein prominentes Themenfeld in der Forschung ist (vgl. Gwynn-Jones et al. 2018: 38).

Von einigen anderen Wissenschaftler*innen wird hingegen darauf verwiesen, dass ein Mehr an Nahrungsmitteln nicht automatisch zu Ernährungssicherheit führt. Dieser Zusammenhang wurde auch schon in Kapitel 3.4 zu Ernährungssicherheit thematisiert. So machen Yuan et al. deutlich: „Food insecurity is a manifestation of wider, and deeply embedded inequities, to the extent that expanding agricultural systems into cities does not automatically guarantee improved food security for the residing population“ (2022: 8).

Vielmehr betonen die entsprechenden Autor*innen die Bedeutung der konkreten Umsetzung einer VF, die auch über den Zugang zu ihr bestimmt (vgl. Mina et al. 2023: 9). Dieser Zugang wird durch ungleiche Machtverhältnisse, bestimmt durch soziale und ökonomische Ressourcen, den sozialen Status und diverse andere intersektionale Merkmale beschränkt (vgl. Klerkx/Rose 2020: 2; Yuan et al. 2022: 8). Auch wenn diese Argumentationen in einer Linie mit den Forderungen der Ernährungssouveränität stehen, wird das Konzept der Ernährungssouveränität nur in zwei Artikeln explizit genannt und auf VF bezogen (vgl. C. Blom et al. 2022; Klerkx/Rose 2020). Diese Beobachtung unterstreicht, dass es sich dabei (noch) um eine Nischenperspektive auf VF handelt. Einige Autor*innen sind sich der Bedeutung von sozialen Ungleichheiten im Ernährungssystem durchaus bewusst (vgl. Besthorn 2013: 13; Yuan et al. 2022: 8), jedoch ohne sich dabei auf Ernährungssouveränität zu beziehen. Andere thematisieren diese Zusammenhänge zumindest nicht, sofern sie sich überhaupt mit sozialen Auswirkungen des VF beschäftigen. Vielfach ist stattdessen zu beobachten, dass die in dieser SLR berücksichtigten Wissenschaftler*innen die sozialen Auswirkungen des VF unkritisch darstellen und Zusammenhänge sozialer Ungleichheiten nicht in ihre Überlegungen einbeziehen. So kommt es stark auf die Position der Autor*innen an, ob positive soziale Folgen des VF, die auch von den Unternehmen selbst kommuniziert werden, unhinterfragt übernommen werden (in dieser Untersuchung als „unkritische Perspektive“ bezeichnet), oder ob diese an weitere Bedingungen geknüpft werden, die den ungleichen Zugangsbedingungen Rechnung tragen (die „kritische Perspektive“).

Anbau von Grundnahrungsmitteln bisher nicht möglich

Eine weitere zentrale Schwachstelle der Argumentation der gestärkten Ernährungssicherheit ist der Umstand, dass bisher kaum bis keine Grundnahrungsmittel, sondern nur einige wenige Kulturen angebaut werden können. Wie bereits in Kapitel 4.3 dargestellt wurde, hat dies zum einen technische Gründe, weil hochwachsende Pflanzen mit längeren Wurzeln bisher schlicht zu groß und schwer sind. Andererseits rechnen sich bisher lediglich die schnell wachsenden und rasch erntefähigen, höherpreisigen Kulturen, zu denen wirkliche Grundnahrungsmittel wie Getreide nicht gehören. Ernährungsphysiologisch betrachtet reichen die Nährwertegenschaften der micro- und leafy greens nicht aus, um als ein vollwertiges Nahrungsmittel für Ernährungssicherheit zu sorgen, enthalten sie doch kaum Proteine und Kohlenhydrate (vgl. Bomford 2023: 889; Eigenbrod/Gruda 2015: 495). Die Einseitigkeit der Produktpalette wird kritisch aufgegriffen (vgl. Bomford 2023: 882), jedoch geschieht dies häufig mehr aus

wirtschaftlichen Kalkulationen heraus (vgl. van Delden et al. 2021: 950; Oh/Lu 2023: 137). Es steht fest, dass die Kulturen diversifiziert werden müssen, um einen substanzialen Beitrag zur menschlichen Ernährung leisten zu können. Unabhängig davon sind in VF-Systemen erzeugte Lebensmittel momentan in einem noch zu kleinen Maßstab verfügbar, als dass sie einen wirklich relevanten Beitrag zur Welternährung leisten könnten (vgl. Glaros et al. 2024: 1, 6 f.).

Soziale Auswirkungen: Die unkritische Perspektive

Im Folgenden werden nun zunächst die sozialen Auswirkungen dargestellt, die von den meisten Autor*innen, die sich mit sozialen Kosten und Nutzen auseinandersetzen, genannt wurden.

Diverse Autor*innen betonen die kurzen Wege zwischen Produzent*innen und Konsument*innen, die durch VF ermöglicht werden (vgl. u.a. Casey et al. 2022: 10; Mina et al. 2023: 9;). Ganz unmittelbar kann dies dazu führen, dass aufgrund kürzerer Transportdauer weniger Lebensmittel verschwendet werden, zumindest auf der Seite der Produzent*innen und Einzelhändler*innen (vgl. van Delden et al. 2021: 951; Casey et al. 2022: 369). Auf einer höheren Abstraktionsebene kann durch die kürzere Distanz zwischen Produzent*innen und Konsument*innen auch ihre Beziehung gestärkt werden (vgl. Mina et al. 2023: 9). Auf diese Weise kann VF perspektivisch zu einer Lokalisierung und gestärkten Resilienz der Ernährungsversorgung beitragen, die wiederum zu höherer Ernährungssicherheit und -souveränität führen kann (vgl. C. Blom et al. 2022: 10).

Gerade in Städten bietet es sich an, bereits bestehende, aber leerstehende Gebäude umzunutzen. Dies reduziert zum einen die Flächenversiegelung und die benötigten Ressourcen zum Aufbau einer VF (vgl. Mina et al. 2023: 7) und macht den Aufbau einer neuen VF niedrigschwelliger, da dieser günstiger wird (vgl. Gentry 2019: 194). Zum anderen kann so ein positiver Strukturwandel mit angestoßen und Gegenenden (wieder) lebenswerter gemacht werden (vgl. Mina et al. 2023: 8; Martin et al. 2022: 13). Durch unterschiedliche (Aus-)Bildungsangebote und neue Arbeitsplätze, die um die VF angesiedelt sein können, kann dieser Effekt verstärkt werden (vgl. Besthorn 2013: 11; Azzaretti/Schimelpfenig 2022: 536; Li et al. 2020: 2; Lin/Gomez 2023: 5; Oh/Lu 2023: 134; Yuan et al. 2022: 12). Daraus hervorgehend können lokale Netzwerke geschaffen bzw. gestärkt werden (vgl. Besthorn 2013: 9). Diese reduzieren auch ein Gefühl sozialer Exklusion (vgl. Mina et al. 2023: 7). Auch kann ein höherer Grad an Mitbestimmung und Involvierung entstehen, der wiederum das eigene Wohlbefinden stärkt (vgl. Besthorn 2012: 9). VF können so einerseits zu einer Dezentralisierung des Ernährungssystems beitragen (vgl. Glaros et al. 2024: 1) und andererseits die Transparenz, unter welchen Bedingungen die Lebensmittel produziert wurden, erhöhen. Dies hat letztlich das Potenzial, das Bewusstsein der Konsument*innen für gesunde Lebensmittel und ihren Anbau zu steigern (vgl. Glaros et al. 2024: 4; Mina et al. 2023: 9). Abschließend kann ganz unmittelbar die Gesundheit der Konsument*innen gestärkt werden, da die frischen Lebensmittel besonders viele Nährstoffe enthalten (vgl. Besthorn 2012: 10).

Soziale Auswirkungen: Die kritische Perspektive

Die Autor*innen, die eine kritische Perspektive auf die sozialen Kosten und Nutzen des VF vertreten (ins. Klerkx/Rose 2020; Mina et al. 2023; Glaros et al. 2024; Orsini et al. 2020a), greifen die bis hierhin genannten, potenziellen sozialen Nutzen von VF ebenfalls auf. Sie machen eine erfolgsversprechende Umsetzung jedoch von bestimmten Bedingungen abhängig. So gehen sie differenzierter als viele ihrer Kolleg*innen vor. Dies ist aber auch darauf zurückzuführen, dass die vier Publikationen einen Fokus auf die sozialen Auswirkungen legen, wohingegen die meisten anderen Artikel sowohl soziale als auch ökologische Auswirkungen diskutieren und diese deswegen nicht in einer vergleichbaren Tiefe aufgreifen.

Wenn sich beim Aufbau einer VF nur auf die wirtschaftlich-technische Seite fokussiert wird, statt bereits bestehende sozialen Disparitäten mitzudenken, so argumentieren die Autor*innen, werden die Ungleichheitsverhältnisse mit einer hohen Wahrscheinlichkeit fortgesetzt und damit marginalisierte Gemeinschaften weiter zurückgesetzt (vgl. Klerkx/Rose 2020: 2). Es wird in Frage gestellt, ob die direkte Umgebung einer VF tatsächlich von ihr profitiert, oder ob die Produkte inklusive aller weitreichender sozialer Folgen vielmehr in andere Stadtteile ausgelagert werden (vgl. Mina et al. 2023: 7). Generell wird hinterfragt, ob VFs überhaupt dort gebaut werden, wo sie auch den größten Nutzen haben. So weisen Yuan et al. darauf hin, dass sich schon traditionelle Urban bzw. Community Farms dort konzentrieren, wo die Ernährungssicherheit keiner Verbesserung bedarf (vgl. Yuan 2022: 8). Es sollte stets gefragt werden, wer die Zielgruppe einer VF ist. Sind es tatsächlich die Menschen, die in einer *food desert* leben und daher von Lebensmittelknappheit betroffen sind? Oder sind es diejenigen, die bereits ein gesteigertes (Gesundheits-)Bewusstsein und die nötigen finanziellen Ressourcen aufweisen, jedoch keinen notwendigen Bedarf haben, da sie womöglich bereits qualitativ hochwertiges Gemüse aus anderen Quellen beziehen (vgl. Glaros et al. 2024: 6)? Van Delden et al. warnen entsprechend: „Positioning VFS in urban areas as ‚techno-local food‘ producers may increase transparency and awareness of food production for urban consumers – but this food may be accessible mainly to elite and gentrified groups of consumers, thereby not contributing to broader access and food justice“ (2021: 951). Anknüpfend daran besteht gerade bei VFs, die in urbanen Quartieren angesiedelt sind, die Gefahr einer einsetzenden (Grünen) Gentrifizierung (vgl. Mina et al. 2023: 8; Orsini et al. 2020a: 7). Bei traditionellen *Urban-Gardening*-Projekten wurde diese Entwicklung bereits beobachtet. Insbesondere Michael Carolan hat sich in diesem Themenfeld hervorgetan und bezieht mittlerweile auch urbane VFs und andere CEAs in seine Forschung ein (vgl. Carolan 2019).

Es muss festgehalten werden, dass die Zielgruppe von VF-Systemen auch durch den Preis angesteuert wird (vgl. Mina et al. 2023: 7). Zwar sprechen einige Wissenschaftler*innen davon, dass durch die sich stetig verbessende Effizienz der VF-Systeme und die kürzeren Transportwege die Lebensmittel relativ günstig oder sogar günstiger als konventionelle Lebensmittel angeboten werden können (vgl. Besthorn

2013: 10; Shamshiri et al. 2018: 17), dabei handelt es sich jedoch um Nischenmeinungen. Zurzeit sind die allermeisten VF-Produkte, die angeboten werden, teurer als konventionell produzierte Lebensmittel (vgl. Cowan et al. 2022: 7; Stein 2021: 3; Beacham et al. 2019: 280 f.)¹⁷. Dies macht die Produkte für viele Menschen unmittelbar weniger zugänglich.

Auch die Ausbildungs- und Arbeitsplatzversprechungen können kritisch hinterfragt werden. Es wird argumentiert, dass diese nicht ohne weiteres langfristige, positive Auswirkungen für die lokale Gemeinschaft ermöglichen. Mina et al. zufolge haben Untersuchungen gezeigt, dass sich nur wenige Stellen im anspruchsvollen, gut bezahlten MINT-Bereich befinden. Stattdessen bleiben viele in einem ungelernten, prekär bezahlten Sektor (vgl. Mina et al. 2023: 8). Die verantwortungsvollen, technologiebasierten Jobs wiederum werden auch eher nicht von Menschen aus der Community, die womöglich schon in traditionellen *Urban-Gardening*-Projekten engagiert waren, besetzt (vgl. Carolan 2020: 10). Auch ist zu erwarten, dass die zunehmende Automatisierung mittels smarter Technologien den Bedarf an Arbeitsplätzen perspektivisch reduziert (vgl. Klerkx/Rose 2020: 4), was einige Wissenschaftler*innen aus ökonomischer Sicht jedoch als positiv bewerten (vgl. van Delden et al. 2021: 949).

Darüber hinaus kann die (städtische) VF nicht losgelöst von angrenzenden Räumen betrachtet werden. Es ist beispielsweise noch völlig unklar, welche Auswirkungen urbane VFs auf ländliche Gemeinschaften und Arbeiter*innen haben wird. Wird sich z.B. die Migration in die Städte dadurch weiter verstärken? Diese Entwicklungen zu begleiten, wird als eine zukünftige Aufgabe der Wissenschaft formuliert (vgl. Klerkx/Rose 2020: 4; van Delden et al. 2021: 951).

Soziale Auswirkungen: von Organisationsform abhängig

Die kritischeren Autor*innen machen besonders deutlich, dass die Orientierung bzw. Organisationsstruktur einer VF für ihre sozialen Kosten und Nutzen entscheidend ist (vgl. Mina et al. 2023: 7). Orsini et al. führen dazu aus:

Notwithstanding the potential social benefits, society's impact mainly relies on the typology of initiative. (...) Socially innovative UA¹⁸ activities contributed to a larger diversity of social benefits than technologically-innovative ones. UA grassroots initiatives (...) commonly focus on enhancing social inclusion and justice, such as improving food access for low-income citizens, thereby creating socially inclusive spaces. On the contrary, within commercial initiatives, economic profit stands as a main driver, while specific social aspects are usually sidelined. (2020a: 7)

Fragen, die an eine VF gestellt werden müssen, sind demnach: Ist sie rein privatwirtschaftlich oder gemeinschaftlich ausgerichtet? Arbeitet sie gewinn- oder gemeinwohlorientiert? Wie sehr werden lokale Akteur*innen in die Prozesse einbezogen? Oder ging die Initiative, die VF aufzubauen, sogar von ihnen

¹⁷ Gleichzeitig besitzen die in VF-Systemen produzierten Lebensmittel auch eine hohe Qualität und sind noch immer etwas Besonderes, was ihnen an dieser Stelle nicht abgesprochen werden soll. Auch ist der Preis, werden die Rahmenbedingungen der Produktion berücksichtigt, insgesamt nachvollziehbar.

¹⁸ *Urban Agriculture*

aus? Werden transparente Informationen bereitgestellt und Bildungsangebote geschaffen (vgl. Mina et al. 2023: 7; Glaros et al. 2024: 11 f.; Klerkx/Rose 2020: 3)? Dabei muss bedacht werden, dass unter anderem aufgrund der hohen Hygieneanforderungen in der Praxis Hürden bestehen, die es erschweren, der Öffentlichkeit Zugang zu verschaffen (vgl. Mina et al. 2023: 7). Gemeinschaftlich organisierte VFs sind in der Regel weniger markt- und gewinnorientiert und berücksichtigen sozial marginalisierte Stadtteile in ihrer Planung, wohingegen kommerzielle VFs ihr Investment amortisieren möchten und dafür die Kulturen mit der größten Gewinnmarge anbauen (vgl. Mina et al. 2023: 8; Klerkx/Rose 2020: 3). Nachgelagert agieren große VFs mit hoher Wahrscheinlichkeit innerhalb der konventionellen Absatzkette, indem sie mit großen Einzelhändlern kooperieren, was wiederum die Chancen auf eine wirkungsvolle Dezentralisierung reduziert (vgl. Glaros et al. 2024: 8). Während insbesondere *bottom-up*-organisierte VFs das allgemeine Wohlbefinden der Menschen durch ein gesteigertes Gefühl von Agency stärken können, wird bei profitorientierten, großen VF nur eine geringe Agency erfahren (vgl. Glaros et al. 2024: 6).

Um den Aufbau gemeinschaftlich orientierter VFs zu ermöglichen, stellen Wissenschaftler*innen insbesondere die Bedeutung von Kooperationen mit finanzkräftigeren Akteur*innen, wie z.B. *public-private-Partnerships* mit lokalen Unternehmen, aber auch Zusammenarbeiten mit Institutionen oder staatlichen Einrichtungen heraus (vgl. Glaros et al. 2024: 10; Sashika et al. 2024: 9). Diese Kooperationen können ausreichend Kapital bereitstellen, bieten aber auch die multidimensionalen Vorteile einer gemeinschaftlich-sozial ausgerichteten VF. So stellen sie momentan die besten Chancen auf eine sozial gerechte Umsetzung von VF dar. Beispielsweise erfüllen VFs, die zu Forschungszwecken an Universitäten oder anderen Forschungseinrichtungen aufgebaut wurden, eine große Bildungsfunktion, sowohl zu technischen als auch naturwissenschaftlich-ökologischen Themen (vgl. Mina et al. 2023: 8). Auch die Zusammenarbeit mit lokalen, meist öffentlichen Ernährungsprogrammen wird positiv herausgestellt (vgl. Glaros et al. 2024: 6). So kann eine möglichst breite Öffentlichkeit erreicht werden. Die wohl meisten Menschen können niedrigschwellig mit VF-Erzeugnissen versorgt werden, wenn diese an Schulen und Krankenhäusern geliefert werden (vgl. Glaros et al. 2024: 9). Grundsätzlich ist positiv für das VF, dass es auch für Laien als nahbarer und besser verständlich als andere neue Technologien wahrgenommen wird, da es immer noch große Ähnlichkeiten zu traditionellem Gewächshaus-Anbau besitzt (vgl. Glaros et al. 2024: 5). Jedoch müssen gleichzeitig auch Vorurteile gegenüber dem VF abgebaut werden. Aufgrund der vermeintlichen Unnatürlichkeit haben Akteur*innen womöglich zunächst gar kein Interesse daran, sich mit VF auseinanderzusetzen, wie Glaros et al. (2024: 10) zu denken geben, was sich auch mit der Forschung zur Konsument*innenwahrnehmung von VF deckt (vgl. Mina et al. 2023: 6).

Ein voraussetzungsvolles Unterfangen

Nachdem bis hierhin vor allem soziale Auswirkungen von VF's, die das Individuum und die Gemeinschaft betreffen, verhandelt wurden, wird nun in einem letzten Schritt der Blick auf Gründer*innen von und Aktive in VF-Unternehmen oder Initiativen gerichtet.

Die Voraussetzungen für die Gründung einer VF werden in den allermeisten der untersuchten Publikationen als herausfordernd dargestellt, da sind sich die Forscher*innen wieder weitestgehend einig. Soll eine VF aufgebaut werden, bestehen mehrere mögliche Hürden, die die Gründung einer VF erschweren. Eine VF aufzubauen ist sehr kapitalintensiv, was hohe initiale Investitionen notwendig macht. Dies ist ein Umstand, den mit 25 Publikationen die meisten der in dieser SLR berücksichtigten Wissenschaftler*innen benennen (vgl. u.a. Benis et al. 2017: 600; Carolan 2020: 49). Dies betrifft zum einen den geeigneten Standort. Eine noch unbebaute Fläche ist gerade in der Stadt oder Stadtnähe häufig teuer. Zudem müssen noch die Kosten für den Bau des Gebäudes addiert werden (vgl. Cowan et al. 2022: 4). Gleichzeitig ist der Kauf oder die Miete eines schon existierenden Gebäudes häufig ebenfalls hochpreisig. Zudem muss das Gebäude wegen der speziellen zukünftigen Nutzung ganz bestimmte Anforderungen erfüllen (vgl. Glaros et al. 2024: 5; van Delden et al. 2021: 951; Sashika et al. 2024: 8; Yuan et al. 2022: 3). In einem zweiten Schritt müssen dann die ganzen technischen Systeme, von Lichtanlagen über Bewässerungs- und Lüftungssysteme und entsprechend abgestimmte smarte Tools angeschafft werden. Hinzu kommen die hohen Unterhaltungskosten, allen voran für den hohen Energiebedarf (vgl. Benis et al. 2017: 600; Mok et al. 2020: 159). Gerade diese Faktoren machen heutige VF-Systeme zu dem „most capital-intensive attempt (so far) at attaining environmental control in commercial agriculture“ (Bomford 2023: 881). Insbesondere für kleine und/oder gemeinschaftlich betriebene VF's, die stets auch mit großen, häufig professionelleren VF's konkurrieren müssen, ist dies eine erste, womöglich bereits entscheidende Hürde. Auch eine Etablierung im Globalen Süden könnte durch die nötige Kapitalintensität erschwert werden (vgl. Eigenbrod/Gruda 2015: 496). Jedoch ist nicht nur ökonomisches Kapital, sondern auch kulturelles Kapital, bestehend aus Vorwissen und Expertise bezüglich Pflanzenbau und der technischen Ausstattung und Bedienung, für den Aufbau einer VF nötig (vgl. Sashika et al. 2024: 2). Durch diese anspruchsvollen Voraussetzungen besteht die Gefahr, dass das Ernährungssystem weiter auf einige wenige, finanzstarke Player zentralisiert wird, die mit dem nötigen Kapital und Know-how ausgestattet sind (vgl. Klerkx/Rose 2020: 3).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass VF-Systeme das Potenzial besitzen, eine standortunabhängige, sichere Lebensmittelversorgung zu gewährleisten und so auch zu einer Lokalisierung der Ernährungssystems beizutragen. Gleichzeitig ist hinderlich, dass keine Grundnahrungsmittel angebaut werden können und der Aufbau und Betrieb der Systeme sehr kapitalintensiv ist. Es wurde aufgezeigt, wie zwei unterschiedliche Perspektiven in der Forschungsdebatte existieren, die die Kosten und Nutzen

jeweils unterschiedlich einordnen. Die kritischen Wissenschaftler*innen, die insgesamt in der Unterzahl sind, knüpfen die positiven Auswirkungen stärker an konkrete Voraussetzungen bezüglich der Umsetzung und Organisationsform von VFs, die erfüllt sein müssen, damit die breite Bevölkerung von den Vorteilen einer VF profitieren kann. Da diese Überlegungen erneut der Kontextabhängigkeit von VFs Rechnung tragen, räumt die Autorin dieser Perspektive eine hohe Relevanz ein.

In diesem Kapitel konnte mithilfe der durchgeführten SLR eine gute Grundlage für die Beantwortung der Frage geschaffen werden, welche sozial-ökologischen Kosten und Nutzen VF-Systeme aufweisen. Als besonders wertvoll wird eingeschätzt, dass die SLR neben den unmittelbaren Ergebnissen auch Erkenntnisse über die Ausrichtung des Forschungsfeldes generieren konnte. Mit diesem Wissen wird sich nun der Fallstudie zugewandt.

7. Fallstudie

Um die Erkenntnisse der SLR anzuwenden und damit zu vertiefen, folgt nun die Fallstudie, die mit *Nordic Harvest* aus Dänemark und *Bustanica* aus Dubai zwei real agierende VFs umfasst. Bevor diese vorgestellt und analysiert werden, wird zunächst dargestellt, was eine Fallstudie ist, warum die vorliegende Arbeit sie nutzt und wie dafür vorgegangen wurde.

7.1 Charakteristika einer Fallstudie

Die Fallstudie ist eine in den Sozialwissenschaften häufig genutzte empirische Forschungsmethode, zu der bereits viel publiziert wurde¹⁹. Zwar existiert eine gewisse Flexibilität in der Durchführung, eine Reihe von festen Eigenschaften hat sich jedoch herauskristallisiert. Diese können als Basis-Charakteristika einer Fallstudie bezeichnet werden (vgl. Ylikoski/Zahle 2019: 1). Ein Fall ist demzufolge ein „räumlich und zeitlich abgegrenztes Phänomen“ (Gerring 2017: 27), das natürlich gegeben sein muss, also nicht von der Forscherin konstruiert wurde (vgl. Ylikoski/Zahle 2019: 1). Der Fall muss das Phänomen enthalten, auf das die Untersuchung Rückschlüsse ziehen möchte (vgl. Gerring 2017: 27). Es werden meist ein oder höchstens einige wenige Fälle analysiert (vgl. Gerring 2017: 28; Ylikoski/Zahle 2019: 1). Mehrere Fälle ermöglichen dabei einen direkten Vergleich, wodurch ihre Beziehung, Unterschiede und Gemeinsamkeiten herausgearbeitet werden können. Ausgangspunkt ist eine Fragestellung, auf die mithilfe der Fallstudie eine Antwort gefunden werden soll. Um die Fälle zu analysieren und damit letztlich die Forschungsfrage zu beantworten, muss zunächst Material gesammelt werden, das u.a. aus Interviews, Primär- und Sekundärquellen stammen kann (vgl. Gerring 2017: 29; Ylikoski/Zahle 2019: 1).

Sowohl zur Datenerhebung bzw. -sammlung als auch zur Analyse können unterschiedliche Methoden herangezogen werden (vgl. Gerring 2017: 29; Ylikoski/Zahle 2019: 1). Die Fallstudie ist grundsätzlich

¹⁹ Ein Standardwerk hierzu ist etwa Yin (2018).

mehr fragen- als methodengeleitet; die Auswahl der Methode wird primär danach getätigt, welches methodische Vorgehen es für die Beantwortung der Forschungsfrage braucht (vgl. Ylikoski/Zahle 2019: 1). So kann sowohl qualitativ als auch quantitativ – oder *mixed methods* – (vgl. Gerring 2017: 138 f.) und ebenso induktiv wie deduktiv geforscht werden (vgl. Ylikoski/Zahle 2019: 2; Bryman 2016: 62). Obwohl viele Fallstudien primär deskriptiv ausgerichtet sind, ist es auch in diesen Fällen möglich, kausale Rückschlüsse zu ziehen und Verknüpfungen herzustellen (vgl. Gerring 2017: 56). Zudem können deskriptive Fallstudien einen hohen wissenschaftlichen Wert haben, da sie zum Nachdenken anregen und Forschungslücken offenbaren können (vgl. Ylikoski/Zahle 2019: 2).

Das Ziel einer Fallstudie besteht darin, mithilfe einer tiefen Analyse die umfassende Darstellung eines Falls zu leisten. Häufig wird diese in einer narrativen Form dargelegt (vgl. Ylikoski/Zahle 2019: 1). Gerade, wenn es der Forscherin gelingt, ihre Beobachtungen mit Ergebnissen aus einer vorausgehenden Literaturrecherche zu kombinieren, kann eine sehr überzeugende Erzählung über den Fall konstruiert werden (vgl. ebd.: 2). Eine der größten Motivationen besteht darin, auch Rückschlüsse auf die größere Population, aus der das Sample stammt, schließen zu können (vgl. Gerring 2017: 28). Fallstudien bieten die Möglichkeit, herauszuarbeiten, was die analysierten Fälle unmittelbar über das große Ganze hinaus, also das übergeordnete Phänomen, aussagen können. Sie können auf diese Weise eine Grundlage schaffen, anhand derer größere Trends und Thematiken erkannt werden können. So sind Fallstudien in der Lage, Empfehlungen, die auch für die größere Population gelten, auszusprechen. Gleichwohl sind die Grenzen der Generalisierbarkeit ein Dauerthema – es sollte bewusst sein, dass Fälle, sind sie noch so „typisch“ für das Phänomen, zuerst einmal für sich stehen und eng vom jeweiligen Kontext, in den sie eingebettet sind, abhängen (vgl. Ylikoski/Zahle 2019: 3). Vom Anspruch an eine Repräsentativität der ausgewählten Fälle sollte entsprechend Abstand genommen werden (vgl. Gerring 2017: 30, 57; Bryman 2016: 62). Insofern ist geboten, die Fälle zuerst in ihrer Einzigartigkeit anzuerkennen und unter Berücksichtigung ihrer Kontextabhängigkeit zu analysieren. Erst daraufhin können einige über den Fall hinaus wirksame Tendenzen herausgearbeitet werden (vgl. Ylikoski/Zahle 2019: 3).

7.2 Relevanz für die vorliegende Arbeit

Die Fallstudie eröffnet die Möglichkeit, die eher abstrakten Erkenntnisse der SLR auf konkrete Fälle anzuwenden. Finden sich die in der Forschungsliteratur diskutierten sozial-ökologischen Kosten und Nutzen auch in den hier analysierten VF-Unternehmen wieder? Oder zeigen sich weitere Chancen und Herausforderungen? Vor diesem Hintergrund erfolgt das Vorgehen der Fallstudie primär deskriptiv, sowie – wo möglich – explorativ. Die Fokussierung auf zwei konkrete Fälle soll auch dem Umstand Rechnung tragen, dass die Kosten und Nutzen des VF stark von äußeren Faktoren abhängen und diese Kontextabhängigkeit immer berücksichtigt werden muss. So ist beispielweise der räumliche Kontext bei der Bewertung der sozial-ökologischen Zukunftsfähigkeit von VF von hoher Relevanz, wie bereits in der SLR herausgestellt werden konnte. Eine Fallstudie ermöglicht, auf solche relevanten Spezifika

einzugehen. Nichtsdestotrotz ist ein zentrales Anliegen der Fallstudie ebenso, Rückschlüsse auf das Phänomen „VF“ als Ganzes ziehen zu können – unter der Annahme, dass nur mit Vorsicht generalisiert werden sollte.

7.3 Forschungsdesign der vorliegenden Fallstudie

Im Folgenden wird mit der Fallauswahl und der Datenlage in das Forschungsdesign der vorliegenden Fallstudie eingeführt.

Fallauswahl

Die Autorin hat sich für eine Fallstudie mit zwei Fällen entschieden, um einerseits durch den direkten Vergleich beider Fälle ein erhöhtes Maß an Tiefe und Abstraktion erreichen zu können. Andererseits bleibt die Fallstudie damit in einem für eine Masterarbeit zu bearbeitbarem Rahmen. In der Fallauswahl wurden nur Fälle aus der Gesamtpopulation „VF-Unternehmungen“ berücksichtigt, welche die in Kapitel 4.1 definierten Kerncharakteristika von VF-Systemen erfüllen. Dafür wurde mithilfe einer Internetrecherche nach in Frage kommenden VFs gesucht. Daraufhin wurden mehrere prinzipiell geeignete Fälle gefunden. In der Auswahl wurde versucht, ein möglichst breites Spektrum an Ausprägungen innerhalb der Gesamtpopulation abzudecken und damit der Diversität innerhalb der VF-Unternehmungen gerecht zu werden. Dementsprechend hat sich die Autorin am „*most different*“-Prinzip orientiert.

Die Unterschiede der letztlich ausgewählten Fälle beziehen sich jedoch vor allem auf die, mit Kopenhagen und Dubai, sehr verschiedenen Standorte. Ebenso herrschen dort spezifische klimatischen Bedingungen, die sich wiederum vor Ort auf die landwirtschaftlichen Möglichkeiten und die Nahrungsversorgung auswirken. In vielen anderen Aspekten, wie der Größe und Organisationsstruktur, sind sich die Fälle wiederum sehr ähnlich. *Bustanica* und *Nordic Harvest* können auch nicht als „typische“ Fälle für die Gesamtpopulation bezeichnet werden, da sie mit ihrer jeweiligen Größe und der technischen Ausstattung auch im internationalen Vergleich zu den Spaltenreiter*innen gehören. Dennoch ist beiden gemein, dass sie aufgrund ihrer Organisationsform, der wirtschaftlichen Ausrichtung und der Kapitalintensität der Art von VF-Unternehmungen entsprechen, welche in der wissenschaftlichen und gesellschaftlichen Debatte die größte Aufmerksamkeit erhält. Dem „*most different*“-Ansatz folgend, wäre es idealtypisch sinnvoller gewesen, auch ein kleineres Unternehmen, das womöglich *bottom-up* gegründet wurde und in einer public-private Partnership organisiert ist, ins Sample aufzunehmen. Dies wurde angestrebt. Wegen einer erschwerten Verfügbarkeit von Daten bei kleinen VF-Unternehmen wurde letztlich jedoch davon abgesehen.

Datenlage

Um zu beantworten, welche sozial-ökologischen Kosten und Nutzen *Bustanica* und *Nordic Harvest* aufweisen, wurden relevante Daten aus Primär- und Sekundärquellen gesammelt. Die Verbindung von

beiden Quellentypen bietet dabei einen differenzierteren Überblick, als jeweils einzeln möglich wäre (vgl. Gerring 2017: 173). In den vorliegenden Fällen umfassen die Primärquellen die firmeneigenen Websites und ein von den VF-Unternehmen erstelltes PDF-Dokument mit weiteren Informationen (vgl. Nordic Harvest 2020a-*Nordic Harvest* o.D.; Bustanica 2024a-f). Des Weiteren hat die Autorin einen Fragenkatalog (s. Anhang 4) an beide Firmen gesendet, den ein Mitarbeiter von *Nordic Harvest* auch beantwortete (vgl. Dyring 2024; Anhang 5). Bei *Bustanica* meldeten sich Verantwortliche auch nach erneuter Nachfrage nicht zurück, weswegen an dieser Stelle womöglich relevante Informationen verborgen geblieben sind. Ergänzt wurde die Datenlage durch journalistische Artikel, die über die beiden VF-Unternehmen berichten (vgl. Herzog 2023; Nachhaltig leben o.D.; Reuters 2023). Insgesamt ist die der Fallstudie zugrundeliegende Datenlage als zufriedenstellend einzuschätzen. Dennoch wäre es optimal gewesen, noch mehr Informationen akquirieren zu können – insbesondere von und über *Bustanica*. Zu dem Unternehmen konnten weniger Informationen in die Analyse einfließen als zu *Nordic Harvest*. Gleichwohl muss anerkannt werden, dass beide VF-Unternehmen erst seit wenigen Jahren existieren und die Datenlage auch aus diesem Grund noch z.T. dünn ausfällt.

Generell gilt es zu reflektieren, dass jede Quelle eine bestimmte Perspektive auf das Thema transportiert und der*die Autor*in damit bestimmte Ziele verfolgt (vgl. Gerring 2017: 176). Deshalb ist die kritische Einschätzung der verwendeten Quellen von höchster Relevanz. Dementsprechend muss vorher überprüft werden, welche Positionalisierung die Autor*innen besitzen und woher sie ihre zugrundeliegenden Informationen nehmen. So kann erkannt werden, wenn die Quelle beeinflusst bzw. voreingenommen ist. Dies ist gerade bei nicht-wissenschaftlicher Literatur elementar, die dieser Fallstudie zugrunde liegt. Dies gilt wohlgemerkt nicht nur für die Sekundär- sondern auch für die Primärquellen, da sich die Unternehmen vermutlich in einem möglichst guten Licht darstellen wollen. Diese Voreingenommenheit von Quellen wurde an verschiedenen Stellen wahrgenommen und wird entsprechend eingeordnet. Obwohl dieser Umstand vordergründig eine Schwierigkeit darstellt, ließ er ebenso spannende Rückschlüsse auf das analysierte Feld zu. Doch dazu später mehr (s. Kapitel 8.3 und 9).

8. Ergebnisse der Fallstudie

Im Folgenden werden die Fälle einzeln analysiert. Dafür werden sie zunächst in ihren räumlichen Kontext eingeordnet und die Datenlage vorgestellt. Dieser umfasst auch klimatische Bedingungen und die landwirtschaftliche Entwicklung des jeweiligen Standorts, da diese maßgeblichen Einfluss auf die Notwendigkeit und Sinnhaftigkeit von VF-Systemen haben. Zudem wird die Art der Energiegewinnung und -nutzung des jeweiligen Raumes kurz dargestellt, da sie ebenso für die weitere Betrachtung der Fälle von Bedeutung ist. Daraufhin wird erörtert, welche sozial-ökologischen Kosten und Nutzen beide Unternehmen in ihrem jeweiligen Kontext aufweisen. Das Kapitel endet mit einer Gesamtschau beider Fälle.

8.1 Nordic Harvest

Nordic Harvest produziert auf 3,500 m² und ist damit eine der größten VF's Europas. Sie befindet sich in Dänemark, in dem Kopenhagener Vorort Taastrup, der 18 Kilometer vom Zentrum entfernt ist. Dort ist *Nordic Harvest* in dem Gewerbegebiet *Copenhagen Markets* angesiedelt (vgl. Nordic Harvest 2024a; Dyring 2024).

8.1.1 Räumliche Einordnung

Dänemark liegt in einer kühlgemäßigten Klimazone mit >7,5 Grad Celsius im Jahresdurchschnitt (vgl. Gläßer et al. 2003: 69). Je nach Lage dauert die Vegetationsperiode, definiert als die Tage pro Jahr mit Tagesmitteltemperaturen über sechs Grad, mehr als 210 Tage in Süddänemark und 200 bis 210 Tage im Rest des Landes (vgl. ebd.: 68 f.). Diese Vegetationsperiode bezeichnen Gläßer et al. als „hinreichend lange“ (ebd.: 102) für eine landwirtschaftliche Nutzung. Es herrschen ganzjährig humide Verhältnisse, Wasser ist also das ganze Jahr über verfügbar (vgl. ebd.: 68). Die Böden sind relativ nährstoffreich, wobei sie im Osten nährstoffreicher als im Westen sind (vgl. ebd.: 108). In Dänemark wurden diese vorteilhaften naturräumlichen Voraussetzungen genutzt, sodass heute mehr als 50 Prozent der Landesfläche Ackerland sind (vgl. ebd.: 102). Sie wird insbesondere für den Getreideanbau von Sommergerste und Winterweizen genutzt, welche die Hälfte der bewirtschafteten Fläche ausmachen. Ein geringerer Anteil entfällt darüber hinaus auf Zuckerrüben und Kartoffeln, Industriepflanzen (vor allem Raps) und Freilandgemüse und Obst (vgl. ebd.: 102, 108).

Die dänische Landwirtschaft zeichnet sich durch eine hohe Betriebs- und Kapitalintensität aus. Der Grundstein hierfür war ein starkes Vorantreiben der Mechanisierung seit den 1950er Jahren (vgl. Gläßer et al. 2003: 106 f.). Heute arbeiten nur noch drei Prozent der dänischen Bevölkerung in der Landwirtschaft. Gleichzeitig versorgen sie 15 Millionen Menschen mit Nahrungsmitteln, wobei Dänemark selbst nur knapp sechs Millionen Einwohner*innen hat (vgl. ebd.: 105). Insgesamt weist Dänemark auch im internationalen Vergleich einen sehr hohen landwirtschaftlichen Entwicklungsstand auf und ist innerhalb der nordischen Länder das führende Agrarland (vgl. ebd.: 104). Dabei muss festgehalten werden, dass ein Hauptteil der dänischen Landwirtschaft auf die Tierhaltung entfällt. Damit geht einher, dass in dem Land 90 Prozent des pflanzlichen Ertrags zur direkten Verfütterung oder Herstellung von Futtermitteln dienen. Außerdem werden zwei Drittel der Agrarprodukte (insbesondere tierische Erzeugnisse) ins Ausland exportiert (vgl. Gläßer et al. 2003: 105, 108 f.).

Dänemarks Energiemix besteht knapp zur Hälfte (46 Prozent, Daten von 2022), aus erneuerbaren Energieträgern. 33,6 Prozent machen davon Biokraftstoffe aus; 12,4 Prozent entfallen auf Solar- und Windenergie. Fossile Energieträger tragen zu 54,1 Prozent zum nationalen Energiemix bei (vgl. International Energy Agency 2024a).

8.1.2 Datenlage

Die wichtigste Quelle zur Analyse des Falls war die Website von *Nordic Harvest*, die viele Informationen zur Verfügung stellt. Hier sei besonders die Unterseite „Nyheder“ (Neuigkeiten) genannt, auf der in einem Blog-ähnlichen Format regelmäßig Artikel veröffentlicht werden. Sie umfassen etwa Neuheiten, Ankündigungen, Interviews mit Angestellten und Informationen zur technischen Ausgestaltung der VF (vgl. Nordic Harvest 2020-2023). Über die Website erhielt die Autorin ebenso Zugriff auf eine Broschüre (vgl. Nordic Harvest o.D.). Diese wird zum Download bereitgestellt, sobald die Website geöffnet wird. Zudem wurde der Fragenkatalog von einem Angestellten von *Nordic Harvest*, Flemming Dyring, beantwortet und in die Analyse miteinbezogen (vgl. Dyring 2024; Anhang 5). Bis auf die englische Beantwortung des Fragenkatalogs liegen alle Primärquellen auf Dänisch vor. Die Sprachbarriere wurde mithilfe des präzisen online-Übersetzers *DeepL* überwunden. Die vorliegenden Primärquellen werden als ergiebig eingeschätzt. Gleichzeitig existiert trotz *Nordic Harvests* Stellung in Europa nur wenig Sekundärliteratur. Aufgrund dessen werden als Sekundärquellen lediglich ein Online-Artikel (vgl. Nachhaltig leben o.D.) und ein *Youtube*-Video (vgl. Reuters 2023) genutzt. Da es sich in beiden Fällen jedoch nicht um wissenschaftliche, sondern journalistische Quellen handelt²⁰, werden diese nicht als Hauptquellen genutzt. Jedoch gab es keine Hinweise für eine Voreingenommenheit der Journalist*innen. Dies kann jedoch für die Primärquellen von *Nordic Harvest* angemerkt werden. Schließlich handelt es sich bei *Nordic Harvest* um ein Unternehmen, das ein Produkt verkaufen möchte und dieses entsprechend positiv bespricht. Die Autorin konstatiert jedoch, dass sie mit dieser Ausgangslage professionell umgegangen ist, indem sie die Angaben nicht einfach übernommen, sondern stets kritisch reflektiert hat.

8.1.3 Vorstellung und Analyse

Bei *Nordic Harvest* handelt es sich um ein dänisches Privatunternehmen (vgl. LinkedIn 2024), das mit dem taiwanischen Technologie-Hersteller *YesHealth* (vgl. Nachhaltig leben o.D.) zusammenarbeitet. LinkedIn zufolge beschäftigt die Firma 31 Mitarbeiter*innen (vgl. LinkedIn 2024). Das Unternehmen wurde 2016 durch Anders Riemann, den CEO von *Nordic Harvest*, der bis dahin als business analyst gearbeitet hatte, gegründet (vgl. Reuters 2023). Im April 2020 wurde daraufhin die nötige Finanzierung, 62 Millionen Kronen (über 8 Millionen Euro), mithilfe von Investor*innen gesichert. Das junge Unternehmen konnte dabei sowohl staatliche Förderungen aus einem dänischen Transformationsfonds als auch Banken und Privatpersonen aus dem In- und Ausland für sich gewinnen (vgl. Nordic Harvest 2020b). Im Dezember 2020 war der Bau des Gebäudes abgeschlossen und die Produktion konnte aufgenommen werden. Zurzeit (Stand April 2024) sind fünf verschiedene Pflück- und Babysalate, Baby-Grünkohl und Thymian im Angebot von *Nordic Harvest*. Basilikum, Koriander und ein weiterer Salat sollen bald verfügbar sein (vgl. Nordic Harvest 2024c). Auch Erdbeeren wurden, zumindest testweise,

²⁰ *Reuters* ist eine internationale Nachrichtenagentur, *Nachhaltig leben* ein Schweizer online-Ratgeber, der sich mit sozial-ökologischen Themen auseinandersetzt.

erfolgreich angebaut (vgl. Nordic Harvest 2023b). Das Unternehmen vermeidet, genaue Zahlen über Erträge zu veröffentlichen, was auch daran liegt, dass diese etwa aufgrund von durchgeföhrten Experimenten momentan noch fluktuieren (vgl. Dyring 2024). Es werden aber 200 Tonnen geernteter Lebensmittel pro Jahr angestrebt (vgl. Nachhaltig leben o.D.).

Trotz der Größe der Anlage befindet sich *Nordic Harvest* momentan im sog. *Proof of Concept*, einem Stadium, in dem die Abläufe noch verbessert werden und sich die Wirtschaftlichkeit beweisen muss (vgl. Nordic Harvest 2023d). So werden zurzeit pro Monat 1,000 Arbeitsstunden in Forschung und Entwicklung investiert (vgl. Dyring 2024). Das aktuelle Ziel ist folglich zunächst, zu demonstrieren, dass das Konzept funktioniert (vgl. Nordic Harvest 2023d). Zukünftig ist jedoch eine große Expansion geplant, die den Übergang zur *Proof of Profit*-Phase besiegeln soll (vgl. Nordic Harvest 2023d). Die Umbaupläne wurden immer wieder verschoben – zu Anfang wurde mit einer Fertigstellung 2022 gerechnet, nun wird auf 2025 gehofft (vgl. Nordic Harvest 2023d; Dyring 2024). Dies mag auch damit zusammenhängen, dass die Etablierung eines funktionierenden Systems länger dauert als zunächst gedacht. Darüber hinaus werden für die Pläne erneut große Investitionen benötigt, die erst noch akquiriert werden müssen. Werden die Umbauten so durchgeführt wie geplant, wird die VF mit 1000 Tonnen Ertrag pro Jahr auf 35,000 m² Fläche unter Vollast laufen (vgl. Nordic Harvest 2023d). Der geplante Umbau wird in dieser Analyse auch zu einem späteren Zeitpunkt in Bezug auf Automatisierung und Kontrolle der Umgebung noch relevant sein.

Nordic Harvest vermittelt, diverse ökologische Vorteile bieten zu können. So heißt es auf der Website, dass die Konsument*innen durch den Kauf von *Nordic Harvest*-Produkten „eine Entscheidung für eine grünere Welt“ (Nordic Harvest 2024a) treffen und „Nachhaltigkeit im gesamten Prozess vom Samen bis zum Verbraucher integriert“ (Nordic Harvest 2020c) ist. *Nordic Harvest* proklamiert sogar, „eine neue Struktur für die gesamte Produktionskette geschaffen [zu haben] – und damit eine naheliegende, wirklich nachhaltige Wahl“ (Nordic Harvest 2024e) zu sein. Zudem wird die VF als „Teil der Lösung“ der „größten ökologischen Herausforderung“ (ebd.), der Nahrungsmittelproduktion, bezeichnet (vgl. ebd.). Stimmen diese weitreichenden Versprechen? Das wird im Folgenden beantwortet.

Nordic Harvest nutzt ein hydroponisches System, das auf 14 Etagen angeordnet ist. Etwa 300,000 Liter Leitungswasser werden auf einmal für die gesamte Anlage benötigt (vgl. Dyring 2024). Das Wasser wird manuell mit Nährstoffen versetzt und der pH-Wert auf ein optimales Niveau eingestellt. Der Nährstoff-Mix wird selbst hergestellt und ist nach eigenen Angaben von Bioqualität (vgl. Nordic Harvest o.D.; Nachhaltig leben o.D.). Als nächstes wird das Wasser-Nährstoffgemisch durch das System geleitet, wobei die Pflanzen aufnehmen, was sie benötigen. Der übriggebliebene Rest wird wieder zurückgeführt, kontrolliert und ggf. angepasst, es wird also z.B. neuer Dünger hinzugefügt. Insofern wird versucht, einen Kreislauf herzustellen, welcher ein in Forschung und Praxis bekannter und erprobter Vorteil von hydroponischen Systemen ist (vgl. Nordic Harvest 2022d, e; Nicola et al. 2020: 256 f.). Das Wasser

verbleibt jedoch nicht dauerhaft im Kreislauf, sondern muss alle 40 Tage gewechselt werden (vgl. Dyring 2024). Dies ist zwar in einer Linie mit dem jetzigen Stand der Entwicklung von VF-Systemen (vgl. Cowan et al. 2022: 5; Martin et al. 2022: 2), entspricht aber nicht der Außendarstellung des Unternehmens. Hier wird versprochen, dass „das einzige Wasser, das die vertikale Farm verlässt, (...) sich in der Pflanze [befindet]“ (vgl. Nordic Harvest o.D.). So soll *Nordic Harvest* bis zu 250-mal weniger Wasser als auf dem Feld und bis zu 80-mal weniger Wasser als im Gewächshaus verbrauchen (vgl. Nordic Harvest o.D.). Es ist jedoch kritisch anzumerken, dass diese Zahlen genannt werden, ohne sie zu belegen. Insofern müssen die Zahlen mit einer vorsichtigen Skepsis eingeordnet werden. Trotz der intransparenten Informationspolitik sind die Wassereinsparungen ein großer ökologischer Nutzen von *Nordic Harvest*. Gleichzeitig ist Wasser in Dänemark (noch) keine Ressource, an der es mangelt (vgl. Gläßer et al. 2003: 68), sodass dieser Nutzen eine insgesamt eher geringe Bedeutung hat.

Auch bei der Pestizidnutzung stimmen Realität und Außendarstellung nicht vollständig überein. Auf der Website heißt es, man arbeite „ohne Pestizide“ und „verwende keine Giftstoffe oder andere gefährliche Chemikalien“ (vgl. Nordic Harvest o.D.). Auf persönliche Nachfrage hin heißt es wiederum: „Pesticides are covering a lot of different parameters so we are not allowed to call us 100% free of pesticides. But we are not using the ‘dangerous’ ones. The ones we are using are totally harmless compared to the pesticides you talk about when looking at conventional farming.“ (vgl. Dyring 2024). Es ist kritisch zu sehen, dass die Außendarstellung des Unternehmens in diesem Punkt nicht mit den realen Betriebsabläufen übereinstimmt. Nichtsdestotrotz ist anzuerkennen, dass die Nutzung von ökologisch bedenklichen Dünge- und Pflanzenschutzmitteln mindestens auf ein Minimum reduziert oder ganz vermieden wird, was ein großer Vorteil gegenüber herkömmlichen Systemen ist.

Die Pflanzen werden bei *Nordic Harvest* in einer geschlossenen und kontrollierten Umgebung angepflanzt. Diese wird durch eine Schleuse gewährleistet. *Nordic Harvest* bewirbt die geschlossene Umgebung offensiv (vgl. Nordic Harvest o.D.). Die Verantwortlichen kommunizieren sogar, dass die Produkte wegen der Abwesenheit von Schädlingen, Pilzsporen, Schmutzpartikeln, aber auch menschlichen Händen, vor dem Verzehr nicht gewaschen werden müssen (vgl. ebd.). In der Umweltkontrolle greift *Nordic Harvest* auf vieles zurück, was bereits in Kapitel 4.3 zu technischen Spezifikationen von VFs vorgestellt wurde. So wird die Temperatur zwischen 20 und 25 °C gehalten und die Luftfeuchtigkeit auf etwa 70 Prozent gesetzt. Ferner ist ein konstanter Luftstrom gewährleistet, damit das verdunstende Wasser ständig ausgetauscht wird. Zudem ist die Luft mit CO₂ angereichert, um das Pflanzenwachstum zu begünstigen. Dafür werden Ventilatoren, Kühl- und Heizungsanlagen, Wärmetauscher, Luftfilter und -entfeuchter verwendet (vgl. Nordic Harvest 2022e). Für die Beleuchtung werden LEDs mit „hoher Energieeffizienz“ (Nordic Harvest 2022f) verwendet und je nach Bedarf unterschiedliche Wellenlängen und damit Farben eingesetzt. In *Nordic Harvest*s Fall sind das vor allem rot und blau (vgl. ebd.). Momentan finden viele der Prozesse noch manuell statt (vgl. Nordic Harvest 2022a). Das erklärte Ziel ist jedoch, alles zu automatisieren und mittels KI zu verknüpfen. Dieses Vorhaben soll mit der geplanten

Erweiterung, die womöglich 2025 fertiggestellt wird, umgesetzt werden. Durch die verbesserte Automatisierung soll so auch eine präzisere Kontrolle der Umwelt ermöglicht und die Effizienz erhöht werden. Momentan herrschen durchschnittliche Bedingungen in der Produktionshalle, mit denen möglichst viele Kulturen zufrieden sind. Zukünftig sollen mehrere verschiedene Mikroklimata geschaffen werden (vgl. Nordic Harvest 2023a). Aber auch schon heute bezeichnet *Nordic Harvest* seine Produktionsstätte aufgrund der kontrollierten Bedingungen als „Pflanzenparadies“ (Nordic Harvest o.D.).

Daneben zeichnen sich auch bei *Nordic Harvest* die unmittelbar verringerten schädlichen Umweltauswirkungen ab, die ein in der Literatur anerkannter ökologischer Nutzen von hydroponischen VF-Systemen sind (vgl. Stein 2021: 5; Orsini et al. 2020b: 304). Dieser Umstand wird stark hervorgehoben und positiv kommuniziert. Den Verantwortlichen zufolge handelt es sich um eine Lebensmittelproduktion mit den „geringstmöglichen Auswirkungen auf die Umwelt“ (Nordic Harvest 2024a), die keine Nährstoffe in Flüsse und Bäche einleitet. Weiterführend bezeichnen sie ihre VF als „eine völlig saubere Produktion mit minimalen Umweltauswirkungen“ (vgl. Nordic Harvest 2024d). Unmittelbar mag das stimmen, doch es ist kritisch anzumerken, dass etwa der Wasser- und Nährstoffkreislauf bei *Nordic Harvest* zurzeit noch nicht geschlossen ist (vgl. Dyring 2024), sodass nicht ausgeschlossen werden kann, dass verwendete Nährstoffe und Pestizide letztlich in die Umwelt gelangen. Auch die vor- und nachgelagerten Ketten finden in diesen Aussagen keine Berücksichtigung, wie bereits in der SLR von einigen Wissenschaftler*innen kritisch angemerkt wurde (vgl. Romeo et al. 2018: 544). So sind beispielsweise die Verpackungen, in denen die Salate und Kräuter verkauft werden, aus Plastik. Diese bestehen zwar aus recycelten Kunststoffen (vgl. Nordic Harvest 2022c). Trotz des Hinweises, dass diese nach Gebrauch wiederum „100% recyclebar“ (vgl. Nordic Harvest 2024d) seien, ist jedoch hinreichend bekannt, dass das heutige Plastikrecycling (noch) nicht in der Lage ist, Kreisläufe zu schließen.

Auch *Nordic Harvest* hat, wie in der wissenschaftlichen Debatte zu VF konstatiert wird, einen hohen Energieverbrauch – Dyring zufolge hat er sich in den letzten zwölf Monaten auf etwa 2mkWh belaufen (vgl. Dyring 2024). Das besondere an *Nordic Harvest* ist jedoch, dass das gesamte System von *off-shore*-Windenergie gespeist wird (vgl. Dyring 2024; Nordic Harvest 2023a). Wenn es einen Überschuss von Windenergie im Stromnetz gibt, wird die Anlage bewusst nachts statt tagsüber hochgefahren. Das führt zu einer besseren Auslastung der Windkraftanlagen und macht die Nutzung zudem etwas preiswerter (vgl. Nordic Harvest o.D., Nordic Harvest 2023a). Es muss anerkannt werden, dass *Nordic Harvest* Art der Energienutzung bisher (noch) sehr selten in VFs vorkommt (vgl. Cowan et al. 2022: 3) und der dänischen VF insofern durchaus eine Vorreiter*innenrolle zugesprochen werden kann. Wie bereits in der SLR dargelegt, handelt es sich bei der Nutzung von erneuerbaren Energien um einen echten ökologischen Vorteil gegenüber fossilen Energiequellen. Dies ist insbesondere der Fall, da sie den gesamten CO₂-Ausstoß der VF beträchtlich senkt. Dahingehend kann sie als größter Hebel für die ökologische Nachhaltigkeit von VF-Systemen bezeichnet werden (vgl. Rivera et al. 2023: 13). *Nordic Harvest* ist sich dieses Umstandes bewusst und spricht von „sauberer Energie“ (Nordic Harvest 2024d). In dem

berücksichtigten Nachhaltig leben-Artikel wird *Nordic Harvest* sogar als „100 Prozent klimaneutral“ bezeichnet (vgl. Nachhaltig leben o.D.). Auch wenn *Nordic Harvest* mit seiner Energienutzung Vorbildcharakter für andere VFs hat, muss an dieser Stelle kritisiert werden, dass auch erneuerbare Energien *up- und downstream* CO₂-Emissionen verursachen und einen enormen Ressourceneinsatz benötigen. Deswegen können auch erneuerbare Energien zum jetzigen Zeitpunkt nicht als „klimaneutral“ bezeichnet werden. Dieser Kontext wird aber vollständig ausgeblendet. Deswegen kann *Nordic Harvest*s Selbstdarstellung an dieser Stelle durchaus als *Greenwashing* bezeichnet werden.

Ein weiterer Punkt, in dem die Verantwortlichen von *Nordic Harvest* die Leistung ihrer Anlage hervorheben, ist der Flächenverbrauch, der mit traditionellen Anbausystemen verglichen wird. Es wird betont, dass *Nordic Harvest* bis zu 250-mal weniger Platz verbraucht (vgl. Nordic Harvest 2024a; Nordic Harvest o.D.). Und es wird noch mehr Potenzial in der Technologie gesehen: Den eigenen Angaben zufolge (vgl. Nordic Harvest 2024e) könnte sich Dänemark mithilfe von VFs auf einer Fläche, die 20 Fußballfeldern entspricht, selbstversorgen. Gleichzeitig geben die Verantwortlichen auch für diese Zahlen keine Quellenangaben an, sodass schwer nachzuvollziehen ist, worauf sie sich hierbei berufen.

Die durch die effiziente Nutzung freiwerdende Fläche könnte dann renaturiert werden (vgl. Nordic Harvest 2022b). Dieses Versprechen wird aktiv gegeben: „Wenn Sie Produkte von uns kaufen, tragen Sie dazu bei, Ackerland freizugeben und der Natur zurückzugeben“ (vgl. Nordic Harvest 2024e). Auch die Möglichkeit, PVs auf der freiwerdenden Fläche zu etablieren, wird ins Spiel gebracht (vgl. Nordic Harvest 2023a). Dadurch soll den Verbraucher*innen das positive Gefühl vermittelt werden, mit ihrem Kauf etwas Gutes zu tun. Theoretisch ist dies möglich, aber da *Nordic Harvest* keine Beweise oder konkrete Absichtserklärungen vorlegt, wie dies in Zukunft ermöglicht werden soll, kann die vermeintliche Flächeneinsparung nicht als ein ökologischer Nutzen gewertet werden. Die vorliegende Arbeit folgt in dieser Einschätzung Bomfords (2023) Analyse, die derartige Versprechen als größtenteils nichtig einstuft und auf die schon in der SLR vertieft eingegangen wurde. Darüber hinaus mussten für den Bau der VF-Anlage zunächst 3,500 m² Fläche für Gebäude, Parkplatz und eine Straße versiegelt werden (vgl. Dyring 2024). Wie bereits dargelegt, wird in Dänemark ein Großteil der Ackerfläche für die Produktion von Tierfutter verwendet, worauf der Anbau von Blattgemüse in VF-Systemen kaum einen Einfluss haben wird. In diesem Kontext erscheint es als ein viel wirkungsvollerer Hebel, den Konsum von tierischen Produkten zu reduzieren, um Fläche einzusparen. Dennoch muss anerkannt werden, dass es *Nordic Harvest*, wie auch anderen VF-Systemen, gelingt, eine hohe Flächenproduktivität zu erreichen und so, ganz unmittelbar, verhältnismäßig wenig Fläche zu nutzen (vgl. Nordic Harvest 2024a; Nordic Harvest o.D.).

Lediglich Kulturen, die schnell wachsen und von denen fast die gesamte Pflanze zu einem hohen Preis pro Gramm verkauft werden kann, sind zum jetzigen Zeitpunkt für das VF-Unternehmen profitabel. Die Salate und Kräuter, die bei *Nordic Harvest* von Saat bis Ernte nur zwei bis drei Wochen benötigen, erfüllen diese Bedingungen ideal. Andere, schwerere Kulturen, die momentan noch nicht angebaut

werden können, wie Wurzelgemüse und Hülsenfrüchte, sollen mit der Weiterentwicklung der Technologie in Zukunft ermöglicht werden. Es wird auch auf die Zucht von optimiertem Saatgut, von Pflanzen, die momentan noch nicht für VF geeignet sind, durch große Konzerne wie Beyer verwiesen (vgl. Nordic Harvest 2022g).

Der Umstand, dass *Nordic Harvest* bisher nur diese sehr beschränkte Gemüseauswahl anbaut, die keinesfalls den täglichen Bedarf an Nährstoffen decken könnte, ist als ein sozialer Nachteil zu werten. Damit ist das dänische Unternehmen jedoch keine Besonderheit, wie bereits in der SLR herausgestellt werden konnte (vgl. Bomford 2023: 889; Eigenbrod/Gruda 2015: 495). Zugleich ist es auch ein sozialer Nutzen, dass *Nordic Harvest* die Palette an Gemüse, das in Dänemark ganzjährig erhältlich ist, erweitert. Gleichzeitig handelt es sich dabei nicht um eine Notwendigkeit, da die dänische Landwirtschaft in der „hinreichend langen“ Vegetationsperiode (Gläßer et al. 2003: 102) lagerfähiges Obst und Gemüse produziert, das über den Winter hält. In diesem Kontext können die Erzeugnisse vielmehr als ein Luxusgut bezeichnet werden.

Direkt zu Anfang konnte *Nordic Harvest* zwei Vereinbarungen bezüglich des Vertriebs der Produkte treffen. Zum einen arbeitet die VF-Firma mit der *Salling Group* zusammen, die zahlreiche dänische Supermarktketten betreibt. Dadurch sind *Nordic Harvest*-Salate landesweit in *føtex*- und *Bilka*-Filialen erhältlich (vgl. Nordic Harvest 2024c; Dyring 2024). Zugleich kooperiert *Nordic Harvest* auch mit der *BC Hospitality Group*, die Hotels und Konferenzzentren betreibt. Dafür werden die Lebensmittel zwei Mal pro Woche aus Taastrup abgeholt und in zwei große Verteilzentren gebracht. Eines ist nur zehn Kilometer, das andere zwei- bis dreihundert Kilometer entfernt (vgl. Nordic Harvest 2020a; Dyring 2024). Da es sich um eine lokale bis maximal nationale Produktions- und Vertriebskette handelt, wird der nötige Transport und die damit assoziierten CO₂-Emissionen als insgesamt vertretbar eingeschätzt. Diese Lage schafft, den Verantwortlichen zufolge, neben mehr Transparenz zudem ein erhöhtes Vertrauen in das Unternehmen und seine Produkte (vgl. Nordic Harvest 2022b). Eine selbst durchgeföhrte Internetrecherche vom 30.04.2024 (vgl. Bilka Togo 2024) hat ergeben, dass *Nordic Harvest*-Salate und Kräuter im oberen Preissegment angesiedelt sind. Sie sind aber durchaus mit den Preisen von Bioware vergleichbar und liegen nicht grundsätzlich darüber. Baby-Rucola von *Nordic Harvest* kostet etwa bei *Bilka* pro 75g 15 DKK (etwa 2 Euro) und rangiert damit zwischen zwei Bio-Rucola, die 10 DKK (1,34 Euro)/75g und 17 DKK (2,28 Euro)/75g kosten (vgl. Bilka Togo 2024). Die grundsätzliche Verfügbarkeit von *Nordic Harvest*-Produkten kann als gut eingeschätzt werden, da *Bilka* und *føtex* in Dänemark weitverbreitete Supermarktketten sind. Die Zugänglichkeit ist wiederum ein anderes Thema, da sie durch den eher hohen Preis nur einer kleineren Zielgruppe zugänglich sind. Von diesem Image möchte sich *Nordic Harvest* jedoch lösen. So ist das erklärte Ziel bezüglich der Erdbeeren, die womöglich bald erfolgreich im größeren Maßstab in der Vertikalen angebaut werden, dass diese kein Luxusgut werden, sondern so viel wie traditionell angebaute Erdbeeren kosten (vgl. Nordic Harvest 2023b). Jedoch kann zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht beantwortet werden, ob dies auch so kommen wird. Mit Blick auf die

bisherigen Preise ist damit zu rechnen, dass die Erdbeeren mindestens so viel wie Bio-Erdbeeren kosten werden.

Es ist festzuhalten, dass *Nordic Harvest* die Nahrungsmittelproduktion zwar lokalisiert, den Vertrieb jedoch nicht dezentralisiert, da sie die etablierten Wege über große, in Marktstrukturen eingebundene Supermärkte gehen. Auch lassen sich keine Bemühungen erkennen, Produktion und Vertrieb gemeinwohlorientierter zu gestalten, obwohl dies die Zugänglichkeit erhöhen würde (vgl. Mina et al. 2023: 8; Klerkx/Rose 2020: 3). So hat *Nordic Harvest* keine Partnerschaft mit einem Verein oder öffentlichen Träger, über den die VF zugänglicher gemacht und Bildungs- oder Mitmachangebote ermöglicht werden könnten.

Nun wird der zweite Fall analysiert, ehe danach eine Gesamtschau der beiden Fälle folgt.

8.2 Bustanica

Wie im vorausgegangenen Fall wird zunächst eine räumliche Einordnung vorgenommen, ehe das VF-Unternehmen *Bustanica* vorgestellt und hinsichtlich seiner sozial-ökologischen Kosten und Nutzen analysiert wird.

8.2.1 Räumliche Einordnung

Bustanica gibt es seit Juli 2022. Die VF befindet sich im Süden Dubais, einer Metropole in den Vereinigten Arabischen Emiraten (VAE). *Bustanica* liegt am Rande einer Wüste (vgl. Herzog 2023). Kennzeichen Dubais heißen Wüstenklimas (vgl. Paparella/Burt 2024: 65) sind hohe Temperaturen; im Sommer herrschen Tagesmittelwerte um die 35 °C, im Winter um die 20°C (vgl. ebd.: 85). Gleichzeitig gibt es nur geringe Niederschlagsmengen, für Dubai 80 bis 100 mm pro Jahr (vgl. Feulner 2024: 20). Der Niederschlag in den VAE ist meist regional begrenzt und erreicht kaum das Grundwasser, da er von oberen Bodenschichten aufgesaugt wird, oberirdisch abfließt oder verdunstet (vgl. Scholz 1999: 67). Zudem gibt es keine natürlich vorkommenden Gewässer, die groß genug sind, um für die Bewässerung genutzt zu werden. Sturzfluten kommen, wie in anderen Trockengebieten, regelmäßig vor, stehen aufgrund ihrer heftigen, kurzfristigen Natur aber nicht für die menschliche Nutzung zur Verfügung (vgl. ebd.: 66).

Das aride Klima und die von Wüsten und Halbwüsten geprägte Landschaft erschweren die Etablierung von Landwirtschaft, weswegen sie lange Zeit praktisch nur in Oasen stattfinden konnte (vgl. Babar/Mirgani 2014: 25; Woertz 2013: 89). Mit dem Ölboom der 1970er Jahre und dem damit einhergehenden, bisher ungekannten Reichtum, sollten die Landwirtschaft und Aufforstungsprojekte – staatlich gesteuert – gefördert werden, um die Selbstversorgung der VAE zu ermöglichen. Als politisches Prestigeprojekt wurde die heimische Landwirtschaft (ebenso wie in den meisten anderen kleinen Golfstaaten) nicht nur zahlenmäßig vervielfacht, sondern auch mechanisiert und automatisiert, um die

agrarische Produktivität massiv zu erhöhen. Dies konnte nur mithilfe staatlicher Subventionen und Unmengen an künstlicher Bewässerung, gespeist vom Grundwasser, ermöglicht werden. Gleichwohl konnten diese Pläne nie vollständig umgesetzt werden (vgl. Woertz 2013: 95, 97). Traditionell bewirtschaftete Weiden und Oasen wurden zu der Zeit mehr und mehr aufgegeben, da sie in den staatlichen Förderungsplänen keine Rolle spielten (vgl. Scholz 1999: 772).

Neben Oman sind die VAE heute die einzigen kleinen Golfstaaten, die eine relevante Zahl an Hektar landwirtschaftlich bewirtschafteter Fläche aufweisen. In VAE werden mit 255,000 Hektar (Daten von 2003) drei Prozent der Landfläche kultiviert (vgl. Woertz 2013: 89). Diese werden zu fast drei Vierteln für Dattelpalmen genutzt. Der Rest entfällt auf Futtermittel und Gemüse. Getreide, im Nahen Osten ein absolutes Grundnahrungsmittel, wird hingegen gar nicht angebaut (vgl. ebd.).

Diese Art von Landwirtschaft bleibt in dem Wüstenstaat nicht ohne Folgen. Die unmittelbarste Auswirkung ist der hohe Wasserbedarf für Bewässerungszwecke, der ganz überwiegend über das Grundwasser gedeckt wird. Die VAE haben den höchsten Pro Kopf-Wasserverbrauch der Welt, wobei 81 Prozent des genutzten Grundwassers der Bewässerung dient (vgl. Woertz 2013: 96). Geht dies so weiter, wird das Grundwasser innerhalb der nächsten 20 bis 40 Jahre erschöpft sein (vgl. ebd.: 97). Darüber hinaus geht der hohe Wasserverbrauch Hand in Hand mit einem hohen Energiebedarf für die nötigen Wasserpumpen (vgl. ebd.). Abgesehen von der bereits heute dramatischen Grundwasserabsenkung führt die zumeist industrielle Landwirtschaft in den VAE zu Bodenerstörung, Überdüngung, Bodenversalzung und einer hohen Pestizidbelastung (vgl. Scholz 1999: 72). Auch wenn zunehmend versucht wird, den Wasserbedarf über Meerwasserentsalzungsanlagen zu decken, die gleichzeitig einen hohen Energieverbrauch aufweisen, lässt sich konstatieren, dass die Landwirtschaft in den VAE nur aufgrund der staatlichen Subventionen noch aufrechterhalten werden kann. Dieser Zustand wird sich aber auf Dauer kaum mehr tragen (vgl. ebd.: 72 f.). Verschärfend kommt hinzu, dass sich der Mittlere Osten zurzeit um 0,45 °C pro Jahrzehnt erhitzt, was 1,66-mal höher als der globale Durchschnitt ist (vgl. Paparella/Burt 2024: 73).

Bereits heute importieren die VAE ungefähr 90 Prozent ihrer Nahrungsmittel und liegen damit deutlich über dem Durchschnitt des Nahen Ostens mit 25 bis 50 Prozent. Zwar gelten die VAE nicht als von Ernährungsunsicherheit betroffen, da sie die benötigten Lebensmittel durch ihren Reichtum extern erwerben können (vgl. Babar/Mirgani 2014: 10 f.). Jedoch haben sie so kaum Kontrolle über ihre Nahrungsquellen und befinden sich dadurch in einer Abhängigkeit. Diese erschwert die Sicherstellung der zukünftigen Ernährungssicherheit (vgl. Babar/Mirgani 2014: 8 f., 11). Hinzu kommt, dass die Bevölkerung in den VAE in den letzten Jahren rasant angestiegen ist – von 3,2 Millionen 2000 zu 9,5 Millionen 2023 (vgl. World Bank Group 2024). Diese Menschen möchten alle versorgt werden.

Die Energieversorgung der VAE wird zu einem Großteil aus fossilen Energieträgern gespeist. Diese machen 96,2 Prozent des nationalen Energiemixes aus, wobei Erdgas mit 63,5 Prozent führt. Auf

Kernenergie entfallen darüber hinaus 3,1 Prozent, wohingegen erneuerbare Energiequellen nur 0,91 Prozent ausmachen (vgl. International Energy Agency 2024b, Daten von 2021).

8.2.2 Datenlage

Für die Analyse von *Bustanica* sind Primärquellen ausschlaggebend. Diese umfassen die Eigendarstellung anhand der Website (vgl. Bustanica 2024 a-f) und ein von *Bustanica* herausgegebenes *Factsheet* (vgl. Bustanica o.D.). Die Website ist zwar nicht so detailliert wie die von *Nordic Harvest*, dennoch sind die relevanten Kerninformationen vorhanden. Die Primärquellen sind auf Englisch, sodass keine Sprachbarriere überwunden werden musste. Auch nach mehrmaligen Nachfragen blieb der Fragenkatalog der Autorin leider unbeantwortet, sodass einige spezifische Informationen nicht akquiriert werden konnten. Darüber hinaus wurden zwei Sekundärquellen genutzt (vgl. Herzog 2023; Bartels 2022). Beide sind journalistischen Ursprungs²¹ und können durch ihre Berichte eines Besuchs in der Anlage relevante Informationen beitragen. Jedoch musste Bartels (2022) durch die Autorin kritisch eingeordnet werden – Die Autorin hat den Eindruck gewonnen, dass Bartels Inhalte aus *Bustanicas Factsheet* (vgl. Bustanica o.D.) unhinterfragt übernommen hat. Insofern wurden aus dieser Quelle nur Informationen genutzt, die nicht unmittelbar dem *Factsheet* entnommen wurden. Auch die Primärquellen werden an den entsprechenden Stellen kritisch eingeordnet.

8.2.3 Vorstellung und Analyse

Bustanica ist arabisch und bedeutet „kleine Farm“ (vgl. Herzog 2023). Dieser Name ist eine Untertreibung, denn in dem Gebäude werden auf knapp 31,000 m², aufgeteilt auf drei Stockwerke mit je sieben vertikalen Ebenen, ein täglicher Ertrag von bis zu drei Tonnen erzielt. Damit ist *Bustanica* eine der größten VFs der Welt (vgl. Bustanica 2024b; Herzog 2023). Dort können über eine Millionen Pflanzen zur gleichen Zeit wachsen. Momentan sind das verschiedene Arten von Pflücksalat, Rucola, Spinat, Petersilie und Grünkohl (vgl. Bustanica 2024a; Herzog 2023). Zukünftig sollen weitere Kräuterarten, aber auch Tomaten und Obst, wie Himbeeren und Erdbeeren, angebaut werden (vgl. Bustanica o.D.; Bartels 2022).

Bustanica ist als Joint Venture des staatlichen Unternehmens *Emirates Flight Catering* und des US-amerikanischen VF-Technologie-Unternehmens *CropOne* aufgebaut worden (vgl. Bustanica o.D.). Im Februar 2024 ist bekannt gegeben worden, dass *Emirates Flight Catering Bustanica* vollständig übernommen hat. Somit gehört *Bustanica* mittlerweile zu 100 Prozent einem staatlichen Unternehmen (vgl. Emirates 2024). Direktor von *Bustanica* ist der Brite Robert Fellows, der vorher für Fluggesellschaften im Logistik- und Cateringbereich, meist im Mittleren Osten, gearbeitet hat (vgl. Herzog 2023). Um

²¹ Herzog schreibt für die *Neue Zürcher Zeitung*, Bartels für den *Stern*.

Bustanica zu realisieren, wurde eine Investition im Wert von 40 Millionen US-Dollar (gut 37 Millionen Euro) getätigt (vgl. *Bustanica* o.D.).

Bustanica nutzt ein hydroponisches System, bei dem die Wurzeln der Pflanzen in mit einer Nährstofflösung versetztem Wasser hängen (vgl. Herzog 2023; *Bustanica* o.D.). *Bustanica* gibt an, dass sowohl der Wasser- als auch der Nährstoffkreislauf geschlossen sind: Das „closed loop system ensures [that] nutrients are not lost“ (*Bustanica* o.D.). Dafür wird die Nährstofflösung laufend kontrolliert und ggf. angepasst (vgl. Herzog 2023). Des Weiteren heißt es: „We ensure reusing and recycling every drop of water used to grow our produce“ (*Bustanica* 2024a). Ein Baustein des Kreislaufs ist dabei, auch verdunstetes Wasser aufzufangen und zurückzuführen (vgl. Bartels 2023). Ob die Kreisläufe tatsächlich geschlossen sind oder ob wie bei *Nordic Harvest* das Wasser regelmäßig ausgetauscht werden muss, lässt sich nicht abschließend beantworten. In Bezug auf die Ergebnisse der SLR ist es als unwahrscheinlich einzuschätzen, dass es *Bustanica* gelingt, einen geschlossenen Kreislauf zu etablieren. Fest steht jedoch auch, dass *Bustanica* kapitalintensiver und jünger als *Nordic Harvest* ist, also womöglich einem geschlossenen Kreislauf bereits technisch näherkommt als die dänische VF. So werden *Bustanica* zufolge 15 Liter Wasser pro Kilo geerntetem Gemüse benötigt, was einer bis zu 95-prozentigen Reduktion des Wasserverbrauchs entsprechen soll (vgl. *Bustanica* 2024b; *Bustanica* o.D.). Diese Angaben lassen sich jedoch nicht seriös überprüfen, da keine Quellenverweise gemacht werden. An anderer Stelle wird z.B. auch direkt von einer „95%“-igen Reduktion gesprochen (*Bustanica* 2024b) – dieser Umgang mit Daten ist kritisch zu sehen. Dennoch können diese Zahlen als realistisch eingestuft werden, werden in der Forschungsliteratur doch ähnliche Schlüsse gezogen (vgl. Stein 2021: 4; Khalaf et al. 2023: 2). Dieser verringerte Wasserbedarf ist einer der ökologischen Nutzen der VF-Anlage. Schließlich ist Wasser in den VAE ein enorm knappes Gut, das bereits drastisch übernutzt wird. Insofern ist nur eine Anbaumethode, der es gelingt, Wasser zu sparen, in den VAE zukunftsfähig.

Darüber hinaus verspricht *Bustanica*, komplett ohne Fungizide, Herbizide und Pestizide zu produzieren (vgl. *Bustanica* 2024a; *Bustanica* o.D.). Ob das tatsächlich stimmt oder wie bei *Nordic Harvest* „unkritische“ Pestizide (vgl. Dyring 2024) eingesetzt werden, kann leider nicht mit Sicherheit gesagt werden. Der vollständige oder teilweise Verzicht auf Pestizide liegt in den kontrollierten Umweltbedingungen der Anlage begründet. Diese werden durch eine Schleuse und strenge Hygienevorschriften sichergestellt (vgl. Herzog 2023). So schließt *Bustanica* die Tür für alle „Nasties“ (vgl. *Bustanica* 2024a) und reduziert dadurch negative Umweltauswirkungen wie Eutrophierung. Außerdem werden so ideale Wachstumsbedingungen geschaffen (vgl. *Bustanica* 2024a). Licht, Temperatur, Feuchtigkeit, Belüftung usw. werden einzeln kontrolliert und gesteuert (vgl. *Bustanica* 2024f; Herzog 2023). Die Automatisierung dieser Prozesse ist noch nicht abgeschlossen. So wird z.B. noch per Hand geerntet (vgl. Bartels 2022). Zudem lässt sich zwischen den Zeilen herauslesen, dass viele Entscheidungen noch von Menschen getroffen werden: „Supported by digital controls, the teams monitor the plants‘ growing conditions“ (vgl. *Bustanica* o.D.). Gleichwohl ist die Automatisierung weiter fortgeschritten als bei *Nordic Harvest*. So wird

das Saatgut etwa innerhalb von Sekunden mithilfe eines „vacuum seeders“ ausgesät (vgl. Herzog 2023) und Millionen Daten gesammelt, auf denen wiederum KI-Entscheidungen basiert werden (vgl. Bustanica o.D.). Insgesamt ist der hohe Technologie- und Automatisierungsgrad ein großes Thema für *Bustanica*. Es entsteht der Eindruck, dass die Verantwortlichen stolz auf diese technischen Möglichkeiten sind. So wird konstatiert: „Our cutting-edge proprietary technology propels us to the forefront of vertical farming“ (Bustanica 2024f). Sie verbinden den Einsatz von Technik zudem mit erhöhter Nachhaltigkeit – wohlgemerkt primär auf einer kommunikativen Ebene: „Technology is an enabler for achieving sustainable goals for a healthier and better environment“ (Bustanica 2024f). Dabei muss jedoch festgehalten werden, dass diese Technik mit einem enormen Ressourcenaufwand einhergeht (vgl. Romeo et al. 2018: 544), was als ein großer ökologischer Kostenpunkt bezeichnet werden kann. Dieser Umstand wird jedoch nicht kommuniziert.

Der benötigte, und der Forschungsliteratur entsprechend hohe Energiebedarf wird aus fossilen Quellen gespeist (vgl. Herzog 2023), was sich in das Muster der Energieversorgung der VAE einfügt (vgl. International Energy Agency 2024b). Dennoch bezeichnet sich *Bustanica* als „Planet positive, carbon negative“ (vgl. Bustanica 2024f). Auf welcher Grundlage dies geschieht, wird nicht ersichtlich – ist es doch ausreichend bekannt und auch in der Forschungsliteratur diskutiert, dass die Nutzung von fossilen Brennstoffen den CO₂-Ausstoß bei VFs enorm in die Höhe treibt und damit einer der größten ökologischen Kosten ist.

Beim Thema Flächenverbrauch bzw. -einsparungen verhält es sich ähnlich. *Bustanica* beansprucht für sich „the least amount of agricultural land“ (Bustanica 2024f) zu nutzen und für „zero soil degradation“ (Bustanica 2024e) verantwortlich zu sein. Abgesehen davon, dass das nicht korrekt ist, weil zunächst ganz unmittelbar Boden für den Bau des Gebäudes versiegelt werden musste, kann auch an dieser Stelle betont werden, dass die Flächeneinsparungs-Versprechen nicht belegt sind. Dennoch muss auch hier anerkannt werden, dass es *Bustanica* gelingt, aufgrund der hohen Flächenproduktivität unmittelbar weniger Fläche als im konventionellen Anbau für sich zu beanspruchen. Insgesamt spielen die Flächeneinsparung und andere ökologische Nutzen des VF, die mithilfe der SLR identifiziert werden konnten, für *Bustanica* eine verhältnismäßig geringe Rolle. Zwar nennen sie, dass ihre Anbauweise einen positiven Einfluss auf die Umwelt hat und einen „new standard for sustainability“ setzt (vgl. Bustanica 2024f). Darüber hinaus misst *Bustanica* jedoch den sozial-ökonomischen Auswirkungen ihres Unternehmens ein stärkeres Gewicht bei, wie im nächsten Absatz erläutert wird.

So möchte *Bustanica* die lokale Wirtschaft unterstützen, indem Arbeitsplätze geschaffen werden (vgl. Bustanica 2024d). Die Verantwortlichen sind ebenso stolz, 12 der 17 SDGs der UN zu adressieren. Welche der SDGs sie genau bearbeiten, machen sie jedoch nicht deutlich (vgl. Bustanica 2024d). Besonders betont *Bustanica*, die Ernährungssicherheit zu stärken, indem sie lokal Nahrungsmittel anbauen. Diese Gewichtung ergibt aus dem regionalen Kontext der VAE heraus viel Sinn, da so ermöglicht wird,

weniger abhängig von Lebensmittelimporten zu sein. In einer Linie dazu unterstützt *Bustanica* auch die nationale „Food Security Strategy 2051 Agenda“ der VAE²² (vgl. Bustanica o.D.). Anknüpfend an die Erkenntnisse der SLR ist jedoch zu konstatieren, dass das Vorhandensein einer VF, oder auch mehrerer VFs, noch nicht für eine Unabhängigkeit von Importen ausreicht. Einerseits ist die Produktpalette noch zu einseitig, andererseits wird noch keine ausreichende Menge produziert, um einen wirklichen Einfluss auf das Lebensmittelangebot in Dubai zu haben.

Doch wie steht es um die Zugänglichkeit der *Bustanica*-Produkte und die Dezentralisierung der Absatzwege? Diese sind neben dem reinen Vorhandensein von Lebensmitteln ebenso wichtige Voraussetzungen für Ernährungssicherheit (vgl. Mina et al. 2023: 9). *Bustanica* betont: „We believe everyone deserves safe and nutritious food“ (2024a) – doch sind die Erzeugnisse auch erschwinglich und verfügbar? *Bustanica* proklamiert jedenfalls für sich, die Produkte aufgrund der strategischen Lage „more accessible“ (Bustanica 2024f) machen zu können. Die Lage allein entscheidet jedoch nicht über die Verfügbarkeit. *Bustanica*-Produkte werden an lokale Supermärkte, Restaurants und Hotels geliefert (vgl. Bartels 2022). Die Produkte sind zwar in der gehobenen Preiskategorie angesiedelt, kosten jedoch nicht viel mehr als traditionell angebaute Produkte: So kosten 150g *Bustanica*-Spinat 10,95 AED (etwa 2,80 Euro), 125g herkömmlicher Spinat hingegen 9,95 AED (etwa 2,50 Euro). 100g gemischter Salat der Sorte „Spring Mix“ ist für 8,95 AED (etwa 2,30 Euro) zu haben, der konventionelle gemischte Salat (125g) ebenfalls für 8,95 AED (vgl. Carrefour UAE 2024). Diese Preise sind zunächst einmal positiv hervorzuheben. Jedoch kann festgehalten werden, dass der Zugang zu den Lebensmitteln nicht dezentralisiert ist, sondern mit Supermärkten, Restaurants und Hotels über die etablierten Absatzwege organisiert ist. Ein Großteil der Ernte ist darüber hinaus für *Emirates Flight Catering* bestimmt, wo der Salat in den gehobenen Klassen serviert wird (vgl. Herzog 2023). Wie zugänglich so ein Flug-Menü ist, kann kritisch hinterfragt werden.

Fest steht jedoch, dass zwischen Ernte und Verkauf nur eine kurze Zeitspanne verstreicht. Wegen schogender Handhabung während des Produktionsprozesses halten sich die Lebensmittel zudem lange. Das Ergebnis ist eine reduzierte Lebensmittelverschwendug (vgl. Bustanica 2024a). Weil alle Produkte entweder in Plastiktüten oder -schalen verkauft werden, entsteht trotzdem Müll (vgl. Herzog 2023). Dennoch werden wegen des regionalen Vertriebs und den damit einhergehenden kurzen Transportwegen die CO₂-Emissionen reduziert (vgl. Bustanica 2024e, f), gerade wenn sie mit dem Flugzeug, dem ansonsten häufigsten Transportmittel in Dubai für frische Lebensmittel (vgl. Herzog 2023), verglichen werden. Gleichzeitig wird ein Teil der Salate und Kräuter trotzdem per Flugzeug transportiert – als Verpflegung für die Fluggäste der *Emirates*.

²² Diese sieht vor, die VAE bis 2051 an die Spitze des *Global Food Security Index* zu setzen (vgl. United Arab Emirates 2024).

8.3 Gesamtschau

Bis hierhin konnten mit *Bustanica* und *Nordic Harvest* zwei VF-Unternehmen vorgestellt werden, die in einigen Punkten sehr ähnlich, in anderen Aspekten aber auch unterschiedlich aufgestellt sind. Beide haben gemeinsam, dass sie zwei hochprofessionelle, großformatige VFs sind. Sie nutzen zudem hydroponische Systeme mit einem in Ansätzen geschlossenen Wasserkreislauf. Auf diese Art gelingt es, deutlich weniger Wasser als traditionelle Systeme verwenden zu müssen. Da Wasser in Dänemark ausreichend vorhanden ist, ist dies für *Nordic Harvest* zwar ein Vorteil, der jedoch eine untergeordnete Bedeutung hat. Anders verhält es sich in den VAE, wo Wasser aufgrund der geographisch-klimatischen Lage eine knappe Ressource ist (vgl. Feulner 2024: 20). Dort macht der deutlich verringerte Wasserbedarf von *Bustanica* einen wirklichen Unterschied.

Beide profitieren zudem von anderen, bereits aus der Literatur bekannten ökologischen Vorteilen. Hier sei besonders die starke Reduktion von Düng- und Pflanzenschutzmitteln genannt, welche durch die Herstellung optimaler Wachstumsbedingungen ermöglicht wird. Das im Vergleich zu herkömmlichen Anbaumethoden stärker geschlossene System führt darüber hinaus dazu, dass die verwendeten Mittel lediglich in einem deutlich geringeren Maße in die Umwelt gelangen können. Das bedeutet jedoch nicht, dass VFs grundsätzlich ressourcenschonende Unterfangen sind, wie auch schon in der SLR kritisch beleuchtet wurde. Vielmehr beanspruchen sie ein großes Maß an Ressourcen, allen voran durch den hohen Grad an Umweltkontrolle, Automatisierung und dafür benötigte technische Geräte.²³ Im direkten Vergleich ist *Bustanica* das technisch versiertere und größere Unternehmen, das deswegen auch mehr Ressourcen und Energie benötigt. Gleichwohl möchten die *Nordic Harvest*-Unternehmer*innen, wird der Erweiterungsplan vollzogen, zu *Bustanica* aufschließen und ihre VF-Anlage ähnlich ausstatten.

Dennoch hat *Nordic Harvest* gegenüber *Bustanica* durch die Nutzung von Windenergie einen enormen Vorteil, der den CO₂-Ausstoß des VF-Systems drastisch reduziert. Unterstützt durch die Erkenntnisse der SLR, können erneuerbare Energien wie in *Nordic Harvest*'s Fall als einzige zukunftsfähige Energiequelle von VFs bezeichnet werden. Auch wenn anzunehmen ist, dass sich die Verantwortlichen von *Nordic Harvest* bewusst für die Nutzung dieser Energiequelle eingesetzt haben, profitiert die VF vor allem davon, dass die Windenergie in Dänemark bereits stark ausgebaut ist (vgl. International Energy Agency 2024a). *Bustanica* nutzt hingegen entsprechend seines Standortes fossile Energieträger, die dort einen Anteil von 96,2 Prozent am nationalen Energiemix haben (vgl. International Energy Agency 2024b). Dementsprechend ist *Bustanicas* Umweltbilanz kritisch einzuschätzen, da die Art der Energie der momentan größte Hebel für die ökologische Nachhaltigkeit von VF-Systemen ist (vgl. Rivera et al. 2023: 13).

²³ Gleichzeitig wird die stärkere Automatisierung die Nutzung der gesamten Geräte zur Umweltkontrolle perspektivisch effizienter und damit sparsamer machen. Letztlich handelt es sich um ein Dilemma, das nur schwer aufzulösen ist.

In den VAE, die aufgrund ihrer Wüstenlage einen Extremstandort für die landwirtschaftliche Produktion darstellen, eröffnet eine VF eine neue Möglichkeit, Nahrungsmittel anzubauen. Grundsätzlich ermöglicht *Bustanica* den VAE, die Ernährungssicherheit durch eine Reduktion der Abhängigkeit von Importen zu erhöhen. Die Bedeutung hiervon ist hervorzuheben. Für Dänemark, das ein etabliertes Agrarland mit günstigen klimatischen Bedingungen ist, stellt eine VF hingegen eine fast schon spielerisch-experimentelle Ergänzung, nicht jedoch eine Notwendigkeit, dar.

Die analysierten VFs lokalisieren die Lebensmittelproduktion, dezentralisieren diese jedoch nicht, da der Vertrieb über etablierte Handelswege läuft. Auch sind beide Unternehmen profit-, statt gemeinwohlorientiert – ein Grund dafür können auch die hohen Investitionen sein, die sich möglichst schnell amortisieren sollen. An dieser Stelle konnten die Erkenntnisse aus der SLR über die hohen Investitionen, die nötig sind, um eine VF aufzuziehen, bestätigt werden – auch wenn diese grundsätzlich nicht so hoch sein müssen wie bei *Bustanica*, die mit ihren 37 Millionen Euro selbst fast viermal so hoch sind wie die von *Nordic Harvest* mit „nur“ acht Millionen Euro. Es ist vorstellbar, dass sich Personen oder Vereine, die bspw. eine VF mit Bildungsfunktion aufbauen möchten, durch diese Summen gehemmt fühlen – zumal sich die getätigten Investitionen in so einem Fall aufgrund einer fehlenden Profitorientierung erst spät amortisieren können.

Abgesehen von Absichtserklärungen und sonstigen unverbindlichen Versprechen machen beide Unternehmen kaum Anstalten, ihre sozial-ökologischen Nutzen zu erhöhen, etwa den Zugang zu den Produkten niedrigschwelliger zu gestalten oder, im Falle von *Bustanica*, auf erneuerbare Energiequellen umzusteigen. Dabei bestünde durchaus das Potenzial dazu: Khalaf et al. (2023) stellen in ihrem Paper heraus, wie im Irak mithilfe von PV-Nutzung erfolgreich VF betrieben werden könnte. Und auch die VAE investieren zurzeit massiv in erneuerbare Methoden der Energiegewinnung, allen voran PV. Bei dem momentan noch sehr geringen Anteil am nationalen Energiemix (0,91 Prozent) wird es jedoch noch dauern, bis die gewonnene Energie in einem größeren Maßstab genutzt werden kann (vgl. International Energy Agency 2024b).

Stattdessen haben sich in den Primärquellen beider VFs viele nicht näher belegte oder ausgeschmückte Aussagen finden lassen, die zum Teil als *Greenwashing* eingeordnet werden können. Dies ist jedoch nichts Außergewöhnliches: Santarius bescheinigt kapitalistischen Interessengruppen, gerade bei „nachhaltigen“ Themen, „weltverbessernde“ Motivationen in den diskursiven Vordergrund zu stellen, bei denen vielfach nicht klar ist, ob es sich um ernst gemeinte Ambitionen oder *Greenwashing* handelt. Diese Strategie wird aber zunehmend entlarvt, so Santarius (2022: 259).

Die nicht näher belegten Aussagen haben zudem vermutlich damit zu tun, dass VF als Ganzes noch nicht lange unter realen Bedingungen ausprobiert wird. Selbst die Forschung steckt noch in den Kinderschuhen. Und auch beide Unternehmen müssen sich erst noch etablieren und interne Abläufe verbessern, sodass sich viele, sowohl positive als auch negative Folgen erst noch mit der Zeit herauskristallisieren

werden. Auf der anderen Seite muss kritisch beleuchtet werden, welche Zwecke die Unternehmen mit ihrer Kommunikation und Medienarbeit bedienen wollen. Im Falle von *Bustanica* kann etwa konstatiert werden, dass es sich um ein staatlich gefördertes Prestige-Projekt handelt, mit dem ein grünes Image für den Wüstenstaat gefördert wird. Damit stünde *Bustanica* in der Tradition der Agrarinvestitionen der letzten Jahrzehnte, die einen großen Technikoptimismus und hohen Kapitaleinsatz gemein hatten. Letztlich erwiesen sie sich jedoch als nicht zukunftsfähig (vgl. Woertz 2013: 95, 97). *Bustanica* könnte es ähnlich ergehen.

Insgesamt lässt sich konstatieren, dass sich die VAE mit der Intention, eine nicht-nachhaltige Ressourcennutzung (Wasser) zu überwinden und die Ernährungssicherheit zu stärken, mit *Bustanica* an eine andere Art der intensiven Ressourcennutzung gebunden haben. Grundsätzlich stellt sich die Frage, sowohl für *Bustanica* als auch *Nordic Harvest*, zu welchem sozial-ökologischen Preis die Lebensmittel angebaut werden. Gäbe es keine ressourcenschonenderen, weniger kapitalintensiven Alternativen? Besonders in Hinblick auf *Nordic Harvest*, wo VF aufgrund von Dänemarks hoher landwirtschaftlicher Entwicklung keine Notwendigkeit für die Sicherung der Ernährung darstellt, muss gefragt werden, ob die sozial-ökologischen Nutzen so ein Gewicht haben, dass sie den Aufwand und Energiebedarf rechtfertigen.

9. Diskussion

Die Diskussion ist wie folgt gegliedert: Nach einer kurzen Rekapitulation der bis hierhin erfolgten Arbeitsschritte werden die in SLR und Fallstudie gewonnenen Erkenntnisse über das Forschungsfeld reflektiert. Daraufhin werden drei Faktoren vorgestellt, welche für die Ausgestaltung der sozial-ökologischen Kosten und Nutzen einer VF als maßgeblich eingestuft werden. Diese sind eine Synthese der vorausgehend diskutierten Kosten und Nutzen. Der Abschnitt beantwortet die erste Forschungsfrage. Daraufhin wird unter Bezug auf die Ernährungssouveränität eine normative Beurteilung des VF getätigt. Diese dient der Beantwortung der zweiten Forschungsfrage, die ermittelt, ob es sich beim VF um eine zukunftsfähige Nahrungsmittelproduktion im Einklang mit den Werten der Ernährungssouveränität handelt. Unter der Annahme, dass das VF zum jetzigen Zeitpunkt nicht mit allen Werten der Ernährungssouveränität vereinbar ist, soll daraufhin in Bezug auf die dritte Forschungsfrage beantwortet werden, ob das VF das Potenzial besitzt, den Werten der Ernährungssouveränität mehr zu entsprechen. Auch Hürden, die dem im Weg stehen, werden thematisiert. Die Diskussion schließt mit weiterführenden Gedanken zum Konzept der Ernährungssouveränität.

Bisheriges Vorgehen

Bis hierhin wurde zunächst eine SLR durchgeführt, um zu beantworten, welche sozial-ökologischen Kosten und Nutzen des VF in der Literatur diskutiert werden. Diese Methode hat ermöglicht, einen

systematischen Überblick über das junge und vor allem interdisziplinäre Forschungsfeld des VFs zu erhalten. Mittels angepasster *Search Strings* konnten geeignete Veröffentlichungen ausgewählt werden. Diese wurden daraufhin sowohl quantitativ als auch qualitativ analysiert. Um der Kontextabhängigkeit des VF gerecht zu werden, wurde daraufhin eine Fallstudie durchgeführt. Durch die Analyse der Praxisbeispiele *Bustanica* und *Nordic Harvest* wurden die Erkenntnisse der SLR unmittelbar angewandt. Darüber hinaus konnten so ergänzend eine andere Perspektive auf VF gewonnen und einige Rückschlüsse auf die Grundgesamtheit der VF-Unternehmungen gezogen werden.

9.1 Reflexion des Forschungsfelds

In der SLR hat sich VF als ein komplexes Themenfeld dargestellt. Es handelt sich um ein Thema, das mit großem und aktuell noch stärker werdenden Interesse bedacht wird. Die Bewertung der sozial-ökologischen Kosten und Nutzen hängt dabei stark von spezifischen Kontextfaktoren ab, sodass am besten von Kosten und Nutzen einzelner VFs statt von VF insgesamt gesprochen wird. Dennoch ließen sich drei Faktoren herauskristallisieren, die, je nach Umsetzungsgrad, die größten Auswirkungen auf die sozial-ökologischen Kosten und Nutzen einer VF haben. Insofern ist es dennoch möglich, Faktoren, die über einzelne VFs hinaus gelten, zu benennen. Diese werden im Verlauf noch ausgeführt.

Unmittelbar wurde festgestellt, dass die meisten Publikationen aufgrund ihrer disziplinären Hintergründe unterschiedliche thematische Schwerpunkte setzen. Da die einbezogenen Publikationen in ihrer Gesamtheit trotzdem ein facettenreiches, abgerundetes Bild des Forschungsstandes zeichnen können, stellen die unterschiedlichen Zugänge zum Thema kein Problem dar. Gleichwohl wurde deutlich, dass das Forschungsfeld von naturwissenschaftlichen und technischen Disziplinen dominiert wird. Die disziplinären Hintergründe prägen, wie VF bewertet wird und worauf die Prioritäten der Bewertung liegen. In diesem Fall sind es überwiegend technisch-wirtschaftliche Perspektiven. Darüber hinaus waren während der Analyse der sozial-ökologischen Nachhaltigkeit von VF ökologische Perspektiven auf das Themenfeld in der analysierten Literatur am sichtbarsten. Multidimensionale Perspektiven, die ökologische mit sozialen Zusammenhängen verbinden, sind insgesamt unterrepräsentiert. Dies wird als große Lücke des Forschungsfelds eingestuft. Insbesondere Perspektiven auf die sozialen Kosten und Nutzen des VF, die soziale Disparitäten einbeziehen, wurden nur von wenigen Wissenschaftler*innen eingenommen. Stattdessen wurden soziale Vorteile häufig reproduziert, ohne dabei etwa auf Ungleichheitsstrukturen einzugehen.

Ein Charakteristikum des naturwissenschaftlich-technischen Fokus des Forschungsfeldes ist, dass die (primär ökologisch gedachte) Nachhaltigkeit von VF-Systemen insbesondere durch Maßnahmen der Effizienz und Konsistenz erhöht werden soll. Effizienz und Konsistenz werden vor allem mithilfe von technologischen Elementen verbessert, wobei dies auch aus wirtschaftlichen Abwägungen heraus geschieht. Dies ist wiederum damit kongruent, dass die soziale Perspektive auf VF in der Forschung unterrepräsentiert ist. Die in der Fallstudie analysierten VFs kommunizieren zwar soziale Vorteile (vgl.

Nordic Harvest 2023b; Bustanica 2024d, 2024a), in diesem Fall handelt es sich bei der Thematisierung sozialer Nutzen momentan jedoch (noch) um Versprechen, die (bisher noch) keine größeren Auswirkungen haben.

Diese Unterpräsentation der sozialen Ebene kann jedoch, zumindest zu einem gewissen Teil, auch auf die Neuheit von VF im Allgemeinen und *Bustanica* und *Nordic Harvest* im Speziellen zurückzuführen sein. So können viele soziale Auswirkungen bisher lediglich abgeschätzt werden. Schließlich werden sie sich erst zukünftig voll entfalten, da sie Zeit für die Entwicklung brauchen. Aber auch die ökologischen Kosten und Nutzen befinden sich momentan noch im Wandel, da sich VF-Systeme stetig weiterentwickeln. Dies mag auch Teil der Erklärung sein, weswegen unterschiedliche Einschätzungen zur sozial-ökologischen Zukunftsfähigkeit von VF getroffen werden: Die Zukunft der VFs ist noch nicht festgelegt, sodass sie optimistisch-begeistert oder pessimistisch-kritisch aufgefasst werden kann. Diese Einschätzungen hängen auch von der Position der jeweiligen Autor*innen ab. Wer ein großes Vertrauen in die für VF nötige Technik besitzt, wird eher davon überzeugt sein, dass sich heutige Herausforderungen mit der Verbesserung der Technik lösen lassen, da VF ein von Technik abhängiges und maßgeblich geprägtes Konstrukt ist.

Anknüpfend daran muss immer hinterfragt werden, welche Interessen Autor*innen verfolgen, da es sich bei VF um einen wachsenden Wirtschaftszweig mit entsprechend viel Kapital im Hintergrund handelt. Durch die Gütekriterien einer SLR wurde das Risiko einer Verzerrung der Ergebnisse zwar stark reduziert. Dennoch haben viele Autor*innen einen sehr positiven Blick auf das Thema, was einer kritischen Abwägung in manchen Fällen im Wege steht. Dieser Eindruck war bei der Analyse der Fallbeispiele am größten, da diese ganz unmittelbar ein Produkt verkaufen möchten und deswegen als voreingenommen zu werten sind. Dieser Umstand erforderte eine kritische Begegnung.

9.2 Drei für Kosten und Nutzen entscheidende Faktoren

Die Fallstudie hat gezeigt, dass es herausfordernd ist, allgemeingültige Aussagen zur sozial-ökologischen Nachhaltigkeit von VF-Systemen zu treffen, weil diese stark kontextabhängig ist. So weisen etwa einzelne Spezifikationen von VFs gleichzeitig sowohl sozial-ökologische Vorteile als auch Nachteile auf. An vielen Stellen ist somit eine Abwägung, welche Faktoren im jeweiligen Kontext schwerer wiegen, vonnöten. Insgesamt lassen sich mithilfe der Synthese aus SLR und Fallstudie drei Faktoren heraustranslatisieren, die den größten Einfluss auf die jeweiligen sozial-ökologischen Kosten und Nutzen einer VF haben.

Ein Faktor ist die **spezifische technische Ausgestaltung der VF**. Werden Kreisläufe geschlossen, z.B. mithilfe eines versierten hydroponischen Systems, das auch Abwasser aufbereitet? Wird darauf geachtet, aus welchen Quellen die für den Betrieb nötige Energie stammt und dass diese möglichst energiesparend genutzt wird? Vorbildlich umgesetzt, kann dies den ökologischen Nutzen einer VF deutlich

steigern. Zugleich muss festgehalten werden, dass wiederum ein hoher Energie- und Ressourceninput für eine ausgeklügelte und damit weit fortgeschrittene technische Ausstattung notwendig ist. Dieser reguliert die positiven Nutzen nach unten. Überhaupt kann mithilfe dieses Punktes deutlich gemacht werden, dass vor- und nachgelagerte Emissionen häufig ausgeblendet werden (vgl. Romeo et al. 2018: 544; Weidner et al. 2022: 212). Diese müssen jedoch viel stärker bedacht werden, um einen wirklichen Wandel der Ressourcennutzung anzustoßen und damit die ökologischen Kosten von VFs zu reduzieren.

Als zweites sind der **Standort und die dortigen klimatisch-naturräumlichen Bedingungen** von zentraler Bedeutung. Handelt es sich um eine Region, in der herkömmliche Methoden der Landwirtschaft aufgrund eines extremen Klimas oder fehlenden Platzes an ihre Grenzen stoßen? Dort kann Landwirtschaft in kontrollierten, abgeschlossenen Systemen, wie einer VF, eine der einzigen Möglichkeiten darstellen, frische Nahrungsmittel für die Bevölkerung zur Verfügung zu stellen. *Bustanica* zeugt von diesem Umstand. Da in Dubai aufgrund der für Landwirtschaft ungünstigen klimatischen Bedingungen die allermeisten frischen Lebensmittel importiert werden müssen, wird stark davon profitiert, dass VFs theoretisch überall aufgebaut werden können. Bei einer Etablierung in einer für die landwirtschaftliche Nutzung geeigneteren Umgebung, wie bei *Nordic Harvest* in Taastrup, verhält es sich anders. Da dort Landwirtschaft in einem großen Maßstab erfolgreich praktiziert wird und kein Mangel herrscht, braucht es nicht notwendigerweise Alternativen dazu. Die schädlichen Auswirkungen der überwiegend konventionellen, industrialisierten dänischen Landwirtschaft sollen hiermit nicht übergangen werden. Gleichwohl stellen VFs in diesem Fall keine umweltfreundlichere Alternative dar – gerade im Vergleich zu Freilandbau, wie in der SLR hervorgehoben wurde (vgl. Al-Chalabi 2015: 76; Weidner et al. 2022: 212). Insgesamt lassen sich in den landwirtschaftlich günstigen Regionen wie Dänemark die ökologischen Kosten aufgrund der weniger stark ausfallenden sozialen Nutzen schlechter rechtfertigen.

Die zugleich geringsten ökologischen Auswirkungen und größeren sozialen Nutzen haben VF-Systeme, wenn Standorte ausgewählt werden, die einerseits für die landwirtschaftliche Nutzung ungünstig sind, andererseits jedoch die Gewinnung erneuerbarer Energien ermöglichen. Dazu führen Weidner et al. (2022: 212) aus:

More generally, CEA seems particularly recommendable for extreme climates with abundant wind or solar energy resources (for example, Reykjavik, UAE), and to some extent for highly urbanized regions with little farmland compared with land available for energy generation (for example, Singapore).

Cowan et al. (2022:7) ergänzt:

In terms of economic and environmental sustainability, geographic location will be a major driver in the feasibility of CEA development. In areas with high biodiversity or pristine natural beauty, it does not make sense to build intensive CEA facilities, nor is there a need to do so. CEA facilities are best suited to areas where conventional productivity is low, and where sustainable energy is easily available and cheap.

Drittens ist die **Organisationsform einer VF** besonders für ihre sozialen Kosten und Nutzen von großer Bedeutung. Ist sie privatwirtschaftlich, öffentlich oder als *public-private-Partnership* organisiert? Ist sie profit- oder gemeinwohlorientiert ausgerichtet oder versucht sie, beides zu ermöglichen? Aus der Literatur ließ sich schließen, dass gerade Privatunternehmen profitorientiert handeln, öffentliche VFs jedoch häufiger gemäß des öffentlichen Nutzens agieren (vgl. Mina et al. 2023: 8; Klerkx/Rose 2020: 3). Dies hat einen großen Einfluss darauf, wie zugänglich die VF und ihre Produkte gemacht werden. Beispielsweise kann die Stadtgesellschaft mittels Bildungsangeboten zumindest einbezogen werden. Oder wurde die VF sogar von einem Verein ins Leben gerufen und jetzt niedrigschwellig betrieben? Die Organisationsform geht auch häufig mit einer spezifischen Größe einher. Die zwei hier untersuchten Fälle gehören zu den größten VFs der Welt, womit sie zwar Besonderheiten darstellen, sich jedoch in einer Linie mit profitorientierten VFs befinden, die einfacher als kleine Vereine das nötige Kapital zum Aufbau einer VF aufzutreiben können. Durch die Größe von VFs wie *Nordic Harvest* und *Bustanica* ist es jedoch nicht möglich, sich in schon bestehenden Gebäuden anzusiedeln und diese ggf. umzunutzen. So können auch positive Synergien mit schon existierenden Strukturen hergestellt werden, zudem ist es ressourcenschonender (vgl. Weidner et al. 2022: 212). Diese Möglichkeit scheint eher kleinen VFs zuteil zu werden, konnte durch die spezifische Fallauswahl in dieser Untersuchung jedoch nicht abgebildet werden²⁴.

9.3 Vereinbar mit den Werten der Ernährungssouveränität?

In Kapitel 3 wurde die Ernährungssouveränität, das zurzeit weitverbreitetste Konzept abseits des zentralen Narrativs der Ernährungssicherheit, vorgestellt. Da es den Anspruch stellt, das Ernährungs- und Agrarsystem grundlegend zu transformieren, wird es als vielversprechend und zukunftsweisend eingeschätzt. Denn angesichts der tiefgreifenden, strukturellen Probleme des Agrar- und Ernährungssystems wird dieser Wandel als erstrebenswert angesehen. Die Ernährungssouveränität, die zugleich Bewegung, Theorie, Praxis und ein rechtebasiertes, normatives Konzept ist, stellt dafür die Menschen in den Mittelpunkt des Ernährungssystems. Der sozial-ökologische, normative Kern ist in globaler Gerechtigkeit verwurzelt und übt Kritik an der Kommodifizierung von Nahrungsmitteln und Rohstoffen. Konkret werden eine Relokalisierung und Dezentralisierung des Ernährungssystems mit einer gleichzeitig naturverträglichen Produktion gefordert. Um gesunde, kulturell passende Lebensmittel selbstbestimmt und unter fairen Bedingungen anzubauen, wird zudem die lokale, autonome Kontrolle über Land und Rohstoffe verlangt.

²⁴ Ein VF-Projekt, der Verein *aachen.eden e.V.*, der ein möglicher Fall für die Fallstudie war, wegen einer erschwerten Datenlage jedoch nicht ausgewählt werden konnte, setzt dieses Konzept um. Momentan bauen die Verantwortlichen in einem ehemaligen Blumenladen in Aachen ein Aquaponik-System auf. Ist dies erfolgreich, soll ein *Upscaling* des Konzepts in einer stillgelegten Unterführung stattfinden. Es eröffnen sich also vielfältige Möglichkeiten (vgl. Aachen.eden e.V. 2023).

Für diese Arbeit wird als vielversprechend eingestuft, mit der Ernährungssouveränität und dem VF zwei momentan in Forschung und Gesellschaft stark diskutierte Themen, ein normatives Konzept und ein konkreter Anwendungsgegenstand, miteinander zu kombinieren. So können die bisher erlangten Erkenntnisse zusammengeführt und diskutiert werden. Dies eröffnet auch Möglichkeiten zum Weiterdenken und Handeln. Obwohl VF und die Ernährungssouveränität beide das Agrar- und Ernährungssystem zukunftsweisend transformieren möchten, ist eine ernährungssouveräne Perspektive auf VF bisher (noch) unterrepräsentiert. Dennoch wird die gemeinsame Perspektive als zentral eingeschätzt, gerade weil die Ernährungssouveränität einen starken Fokus auf soziale Dimensionen legt, die in Theorie und Praxis von VF unterrepräsentiert sind. Die Autorin verspricht sich davon auch, die zukünftige Entwicklung von VF sowie die wissenschaftliche Debatte positiv zu beeinflussen.

Im Folgenden wird diskutiert, inwiefern es sich – Stand heute – bei VF um eine sozial-ökologisch gerechte Anbauweise im Einklang mit den Werten der Ernährungssouveränität handelt. Dafür wird argumentiert, welche Kerncharakteristika der Ernährungssouveränität das VF bereits erfüllt, welche jedoch auch nicht. Im zweiten Schritt wird erörtert, wo Veränderungspotenzial besteht, um den Werten der Ernährungssouveränität näherzukommen – sofern dies im Rahmen des VF möglich ist.

Bei der folgenden Diskussion muss beachtet werden, dass sie vor allem auf Erkenntnissen basiert, die in der Analyse von *Bustanica* und *Nordic Harvest* gewonnen wurden. Kleinere, womöglich gemeinschaftliche VFs konnten in dieser Arbeit in der Tiefe nicht berücksichtigt werden. Da ebenso die Erkenntnisse der SLR einfließen, kann dieser Bereich dennoch, zumindest grundlegend, abgedeckt werden. Zum anderen handelt es sich hierbei um eine normative Bewertung des VF. Schließlich wird VF im Folgenden aus der Perspektive der Ernährungssouveränität betrachtet, die ihrerseits ein normatives Konzept ist.

9.3.1 Bereits zu vereinbarende Elemente

Ein zentraler Wert der Ernährungssouveränität, der heute bereits in real produzierenden VFs Berücksichtigung findet, ist die Produktion von gesunden, frischen, nur gering verarbeiteten Lebensmitteln. Außerdem handeln die in der Fallstudie analysierten VFs auch aus einem Bewusstsein um die vielfältigen Probleme unserer Zeit heraus. Dahingehend verfolgen sie das Ziel, im Sinne der nächsten Generation zu handeln und deren Interessen zu verteidigen. Ein zentraler Baustein ist die Relokalisierung von Produktion und Vertrieb, indem lokale Wertschöpfungsketten erhalten oder wiederbelebt werden sollen. Auch regionale Stoffkreisläufe werden durch die Motivation, Ressourcenkreisläufe innerhalb der VFs zu etablieren, gefördert. Bisher ist diese Entwicklung noch nicht finalisiert, da sich die Betriebsabläufe und Ressourcenkreisläufe noch in der Forschung und Etablierung befinden. Zum jetzigen Zeitpunkt sind die Kreisläufe noch nicht vollständig geschlossen.

9.3.2 Bisher noch nicht zu vereinbarende Elemente

Viele, oder die meisten, der Kernelemente und -forderungen von Ernährungssouveränität werden bisher jedoch noch nicht umgesetzt, insbesondere von großen, profitorientierten VFs wie *Bustanica* und *Nordic Harvest*.

Im Großen und Ganzen muss konstatiert werden, dass es sich bei VF um keine ökologisch nachhaltige Methode, was ein ernährungssouveränes Kerncharakteristikum ist, handelt – zumindest zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht. Zu groß ist gerade der Energiebedarf, der, abgesehen von einigen Positivbeispielen, noch überwiegend durch fossile Quellen gedeckt wird (vgl. Cowan et al. 2022: 3). Auch werden vor- und nachgelagerte Emissionen von und Ressourcennutzungen durch VFs, die von regionalen Stoffkreisläufen und lokalen Wertschöpfungsketten entkoppelt sind, bisher nicht ausreichend erkannt und zu verbessern versucht. Insbesondere in landwirtschaftlichen Gunstregionen wie Dänemark ergibt VF aus ökologischer Perspektive heutzutage keinen Sinn. Und auch in landwirtschaftlich-klimatisch ungünstigen Regionen stellt VF, zumindest aus ökologischer Perspektive, keinen großen Vorteil dar. Dies kommt jedoch sehr auf die Energiequelle an, die der größte Hebel für die ökologische Nachhaltigkeit von VF-Anlagen ist (vgl. Rivera et al. 2023: 13). Die Nahrungsmittel, die in VFs produziert werden, können nicht als kulturell angemessen bezeichnet werden, da es der momentane Stand der Technik nur erlaubt, weltweit die gleichen, sich ähnelnden Salate, Kräuter, Microgreens und Blattkohlsorten anzubauen (vgl. Bomford 2023: 889; Mitchell 2022: 253). Auf kulturelle Unterschiede und Ernährungsgewohnheiten einzugehen, ist insofern kaum möglich.

Ein grundlegender Kritikpunkt an den kapitalstärksten VFs, welche die gesellschaftliche und wissenschaftliche Debatte zurzeit bestimmen, ist, dass sie das Ernährungssystem nicht als politisch begreifen. Statt das Ernährungssystem als ein zusammenhängendes Ganzes zu erkennen, das auch als solches transformiert werden müsste, wird sich nur auf die Anbauweise fokussiert. Auf viele vor- und nachgelagerte Schritte haben sie zwar keinen direkten Einfluss, aber auch unmittelbar außerhalb der VF stattfindende Zusammenhänge, die sie tatsächlich neu denken könnten, verändern sie nicht. Dies hängt wohl auch damit zusammen, dass beide Konzepte ihr Verständnis von Transformation unterschiedlich weit denken. Während die zurzeit am weitesten verbreitete Form realer VFs reformistisch und systemkonform agiert und die Kräfteverhältnisse nicht per se in Frage stellt, stellt Ernährungssouveränität deutlich radikaler Forderungen auf, wie das Ernährungssystem grundlegend transformiert werden kann. So adressieren VFs fundamentale Ungleichheiten nicht, sondern reproduzieren sie vielmehr. Die meisten der kommerziell agierenden VFs befinden sich im hegemonialen Handels- und Ernährungsregime und kommodifizieren selbst Nahrungsmittel und Rohstoffe, statt diesen Vorgang zu kritisieren. Als große, in multinationale Geschäftsbeziehungen eingebundene Unternehmen²⁵, sind sie vielmehr selbst Teil der

²⁵ Häufig kooperieren die VFs mit Firmen aus anderen Ländern, die die nötige Technik produzieren – *Nordic Harvest* etwa mit *YesHealth* aus Taiwan und *Bustanica* zu Anfang mit *CropOne* aus den USA (vgl. Nachhaltig leben o.D.; Bustanica o.D.).

Dynamiken, welche die Ernährungssouveränität kritisiert. Auch die starke Abhängigkeit der VF-Systeme von modernen Technologien, die von *Hightech*-Unternehmen entwickelt werden und vor allem einer Ertrags- und damit Profitsteigerung dienen, entsprechen der Art von Techniknutzung, die die Ernährungssouveränität ablehnt. Diejenigen, die produzieren, verteilen und konsumieren, stehen nicht im Zentrum der VFs. Stattdessen sind es die Interessen der Unternehmen und ihrer Investor*innen. So mag es in Anklängen zu einer Relokalisierung der Nahrungsmittelproduktion und -konsumtion kommen. Es folgt jedoch keine Dezentralisierung, da die Verteilung der Erzeugnisse, im Falle von *Bustanica* und *Nordic Harvest*, über die etablierten Supermärkte geschieht. Diese Tendenz lässt sich, anknüpfend an die SLR, auch auf andere VFs übertragen. Aufgrund der marktbasierteren Verteilungslogik der produzierten Lebensmittel bleibt es so bei dem Privileg einiger, die Lebensmittel zu konsumieren, statt dass dieses zu einem Recht aller Menschen wird. Zwar verfügen beide VFs über gute Marketingabteilungen, die die produzierten Nahrungsmittel als niedrigschwellig verfügbar bewerben. Tatsächlich sind sich die Betreiber*innen der intersektionalen Zugangsschranken zu ihren Lebensmitteln jedoch kaum bewusst oder versuchen zumindest nicht aktiv, diese abzubauen. Diese Schranken bestehen, weil es sich bei der dominanten VF-Konzeption nicht um ein *bottom-up*, emanzipatorisches Projekt handelt, in dem die Bedingungen selbstbestimmt und -wirksam verhandelt werden könnten. Dies liegt auch daran, dass die lokale, autonome Kontrolle über Land und Rohstoffe kaum gegeben ist. Dabei handelt es sich um eine der Kernvoraussetzungen der Ernährungssouveränität. Gerade im Kontext von VF ist der Zugang zu nötigem Land, Infrastruktur und Ressourcen jedoch extrem kapitalintensiv (vgl. u.a. Benis et al. 2017: 600; Carolan 2020: 49). So können auch keine neuen sozialen Beziehungen, frei von Unterdrückung und Ungleichheit, aufgebaut werden.

Abschließend lässt sich festhalten, dass VF in seinem jetzigen Entwicklungsstand und der dominierenden Ausrichtung kaum mit den Werten der Ernährungssouveränität vereinbar ist. Gleichzeitig muss als erschwerender Faktor anerkannt werden, dass viele der für Ernährungssouveränität nötigen Voraussetzungen, wie eine solidarische Ökonomie, in unserem momentan noch vorherrschenden Ernährungssystem lediglich in Nischen etabliert werden können. Dies erschwert die Erfüllung der Kriterien für große VFs zusätzlich – unabhängig davon, ob der nötige Wille hierfür vorhanden ist.

9.3.3 Gegenwärtig nicht zukunftsfähig

VF gelingt es, auf verschiedene ökologische Problemlagen der industrialisierten Landwirtschaft (s. Kapitel 2.2) zu reagieren. So kann etwa die eingesetzte Düngemittel- und Pestizidmenge und damit einhergehende schädliche Umweltauswirkungen, wie eine verringerte Artenvielfalt und die Belastung des Bodens mit Schadstoffen, deutlich reduziert werden (vgl. Germer et al. 2011: 242; Stein 2021: 5; Romeo et al. 2018: 543). Auch der Wasserbedarf ist geringer, was ein in Zukunft immer bedeutsamerer Vorteil sein wird. Die Entkopplung der aero- oder hydroponischen Systeme von der Erde als Nährmedium erlaubt, Fläche platzsparend zu nutzen (vgl. u.a. Orsini 2020b: 304; Kalantari 2018: 44). Dadurch bleiben

unmittelbare, mit der Landwirtschaft assoziierte Folgen für den Boden, wie Bodendegradation und Versalzung, aus. Dennoch versiegelt der Bau des Gebäudes Fläche. Zudem kann das Versprechen, dass durch VFs insgesamt Flächen eingespart oder sogar renaturiert werden, als nicht haltbar charakterisiert werden (vgl. Bomford 2023: 889-891). Eine Chance des VF besteht jedoch in der Möglichkeit, Nahrungsmittel auch unter erschwerten klimatischen Bedingungen, etwa aufgrund des Klimawandels, anzubauen (vgl. u.a. Muller et al. 2017:103; Kalantari et al. 2018: 46; Beacham et al. 2019: 280). Gleichzeitig sind VF-Systeme, ebenso wie die industrialisierte Landwirtschaft, mitverantwortlich für eine sich verstärkende Klimakrise – zu groß sind der Energie- und Ressourcenbedarf dieser Anbaumethode. Dies ist insbesondere der Fall, wenn die genutzten Energiequellen fossilen Ursprungs sind. Insgesamt kann VF, insbesondere in seinen dominierenden Ausgestaltungen, als zurzeit nicht sozial-ökologisch gerecht und damit nicht zukunftsfähig charakterisiert werden.

Zwar existieren neben den stark professionalisierten, großen VFs viele kleinere VFs, die auf politische und gemeinschaftliche Dimensionen einen anderen Wert legen, sogar auch gemeinschaftlich, mit öffentlichen Fördergeldern etabliert wurden und so zumindest ein größeres Potenzial für soziale Nutzen bergen. Letztlich bestimmen die größten VFs jedoch den öffentlichen Diskurs über und die Wahrnehmung von VF als Ganzes, wobei ein Großteil der Forschung dieses Narrativ teilt. Die wissenschaftliche Auseinandersetzung fördert den momentanen Kurs des VF und steuert diesen auch mit, da sie den Weg für Weiterentwicklungen des VF-Konzeptes weist.

Auf diese Weise lässt sich VF zum jetzigen Zeitpunkt statt der Ernährungssouveränität mehr dem Konzept der Ernährungssicherheit zuordnen. Dies proklamiert *Bustanica* auch explizit für sich. Die Verantwortlichen schreiben auf ihrer Website: “[We] strengthen food security by growing locally in a safe and controlled environment” (*Bustanica* 2024d). Die Merkmale der Ernährungssicherheit erfüllen große, profitorientierte VF-Unternehmen sehr viel besser als die der Ernährungssouveränität. Aber auch die grundsätzliche Herangehensweise des VF ist in Mechanismen der Ernährungssicherheit verwurzelt, sodass sich Elemente der Ernährungssicherheit auch in kleinen VF-Projekten finden. Der Ernährungssicherheit folgend, sollen die heutigen Probleme des Ernährungs- und Agrarsystems primär durch Effizienz- und Produktivitätssteigerungen gelöst werden (vgl. Prause 2022: 159). Dafür werden technisch-wissenschaftliche Innovationen als notwendig erachtet (vgl. Laschewski 2017: 283 f.). Das bildet VF, in dem die innovative, vertikale Anbauweise in einem kontrollierten System zu erhöhter Effizienz und damit Produktivität führen soll, par excellence ab. Zudem beschränkt sich die Ernährungssicherheit auf die technische Bereitstellung der notwendigen individuellen Kalorien- und Nährstoffversorgung und sieht Menschen damit zuallererst als passive Konsument*innen von Lebensmitteln (vgl. Luig 2019: 59; La Via Campesina 2021). *Bustanica* und *Nordic Harvest* ist dies ebenso zu bescheinigen. Dazu kommt, dass es sich sowohl bei VF als auch bei Ernährungssicherheit um kapitalintensive Konzepte handelt, die nur schwerlich *bottom-up* organisiert werden können.

Es bleibt die Frage, inwiefern die Problemlagen der industrialisierten Landwirtschaft, die durch einen enormen Einsatz von Technik und fossilen Brennstoffen mitgeprägt wurden, durch eine ganz ähnliche Logik, basierend auf technischen Innovationen und Effizienzsteigerungen, gelöst werden können. Die vorliegende Arbeit hat gezeigt, dass diese Probleme nicht mit einem erhöhten Technikeinsatz zu lösen sind, da ihre Ursachen vielmehr sozialer, ökonomischer und politischer Natur sind (vgl. Rundgren 2018: 43). Von Lösungen für diese Herausforderungen, die den Werten der Ernährungssouveränität entsprechen, wird durch innovative, futuristische Großprojekte wie VF jedoch abgelenkt. VF ist weder in der Lage, wirklich ökologisch nachhaltig zu handeln, noch sozial gerecht und emanzipatorisch im Sinne der Ernährungssouveränität zu agieren – zumindest zum jetzigen Zeitpunkt, denn das Konzept entwickelt sich sowohl technisch als auch ideell beständig weiter.

9.3.4 Vorhandenes Potenzial

Trotz der Bescheinigung als nicht-zukunftsähige Art der Lebensmittelerzeugung, sollte VF nicht per se aufgegeben werden. Denn auch heute schon birgt das VF das Potenzial, in vielen Kernpunkten in einer Linie mit den Werten der Ernährungssouveränität zu agieren. Dabei kommt es wieder auf den Kontext an. Denn kleinere, gemeinwohlorientiertere VFs entsprechen den Kernelementen der Ernährungssouveränität mehr. Dementsprechend ist der folgende Abschnitt nicht nur theoretischer Natur. Zugleich müssen die folgenden Punkte auch erfüllt sein, damit es sich bei VF wirklich um eine sozial-ökologisch gerechte und damit zukunftsähige Art der Nahrungsmittelproduktion handeln kann.

Grundlegend bedarf es einer Abwendung von profitorientierten, primär wirtschaftlich denkend und handelnden VF-Unternehmen, die die notwendigen Rohstoffe und daraus entstehenden Nahrungsmittel kommodifizieren und innerhalb des aktuellen Handels- und Ernährungsregime agieren²⁶. Stattdessen braucht es eine Umorientierung hin zu *bottom-up*, Graswurzel-geführten VF-Projekten. Da diese ihre VFs entsprechend der eigenen Bedürfnissen gestalten, kann sichergestellt werden, dass der Bedarf für die in einem geschlossenen System angebauten Nahrungsmittel auch wirklich gegeben ist. Dies kann bspw. der Fall sein, wenn die Möglichkeiten der herkömmlichen Landwirtschaft aufgrund klimatischer Bedingungen oder einer dichten, urbanen Bebauung stark eingeschränkt sind oder in einem sozial benachteiligten Quartier die Versorgung mit frischen Lebensmitteln anderweitig erschwert ist. So kann vermieden werden, dass eine VF eine prestigeträchtige, aber nicht notwendige Ergänzung zum sonstigen Nahrungsangebot darstellt.

Der Ernährungssouveränität folgend, sollte auch die für die VF-Systeme benötigte Technik zunächst *bottom-up*, gemeinschaftlich evaluiert werden. Daraufhin kann entschieden werden, ob die bereits

²⁶ Der Autorin ist bewusst, dass es systemimmanente Zwänge gibt, von denen es sehr schwer ist, sich zu lösen. Es wird jedoch an dieser Stelle dafür plädiert, die Grundlogik unseres Wirtschafts- bzw. Ernährungssystem zumindest nicht unhinterfragt auch zur eigenen Maxime machen, sondern zu versuchen, die problembehafteten Logiken, so gut es geht, abzufedern.

existierende Technik so weiterverwendet, oder ob sie umfunktioniert und gemeinschaftlich kontrolliert wird. Eine andere Möglichkeit lautet, die nötige Technik alternativ zu entwickeln und öffentlich zu finanzieren. So dient sie statt Profitsteigerungen stärker der Selbstbestimmung, Kooperation und solidarischen Ökonomie und ist dadurch sowohl sozial als auch ökologisch verträglicher (vgl. Vetter/Schmelzer 2022: 336; Santarius 2022: 258; Eurovia 2022: 2).

Auf diese Weise können Nahrungsmittel aus der Gemeinschaft für die Gemeinschaft produziert und dabei solidarische Prinzipien angewendet werden, um den Zugang zu den Produkten möglichst niedrigschwellig zu gestalten. Dazu gehört auch die Dezentralisierung, die vorsieht, Produkte abseits von, oder zumindest nicht nur, über etablierte Absatzwege wie Supermarktketten zu vertreiben. Dieser gesamte Prozess sollte absolut transparent gestaltet sein, um Vertrauen zu schaffen. Auch ein gerechtes Einkommen ist elementar, um den häufig prekären Beschäftigungsverhältnissen in der Landwirtschaft entgegenzuwirken. Bei VFs ist es besonders wichtig, *alle* Beschäftigten der VF statt nur diejenigen, die an den Technik-Schnittstellen sitzen, fair zu entlohen. Wird eine gemeinschaftliche VF aufgebaut, können durch die Relokalisierung der Nahrungsproduktion, das erneute Näherrücken von Produktion, Weiterverarbeitung, Verteilung und Konsum, aber auch durch die aktive Einbindung unterschiedlichster Stakeholder*innen, neue soziale Beziehungen geknüpft und das Gemeinschaftsgefühl wiederbelebt werden (vgl. Mina et al. 2023: 9; C. Blom et al. 2022:10). Dafür wäre es ideal, lokale Stakeholder*innen nicht nur einzubinden, sondern eine dezentralisierte Struktur aufzubauen, die von diesen Akteur*innen ausgeht und autonome Entscheidungen ermöglicht. Dies kann auch Gentrifizierungstendenzen vorbeugen (vgl. Mina et al. 2023: 9; Glaros et al. 2024: 8). Um weitere Interessierte einzubinden, die jedoch keine Kapazitäten für ein regelmäßiges Engagement haben, sollten zudem Bildungsangebote und weitere Veranstaltungen, wie Tage der offenen Tür, veranstaltet werden. Dies kann sich insbesondere entfalten, wenn die VF in schon bestehenden Strukturen aufgebaut wird, also z.B. leerstehende Geschäftsräume umnutzt. Idealerweise ist die VF so direkt besser eingebunden. Dies ist bei *Nordic Harvest* und *Bustanica* nicht der Fall, da sich diese in Gewerbegebieten befinden, wo kein historisch gewachsenes Sozialgefüge besteht. Diese zentrale Lage hat auch ökologische Vorteile. Zum einen werden weniger Baumaterialien für die Räumlichkeiten benötigt und keine oder kaum neue Fläche versiegelt. Zum anderen können Synergien mit benachbarten Gebäuden bzw. Unternehmen gebildet werden, z.B. indem Abwärme aus der VF zum Heizen von Gebäuden genutzt werden kann (vgl. Weidner et al. 2022: 212). Weitere Optionen sind, Abwasser aus der Umgebung in den Wasserkreislauf der VF zuzuführen oder biologische Nebenprodukte aus einer benachbarten Brauerei als Dünger weiterzuverwenden. An diesen Möglichkeiten wird bereits geforscht – es wäre an der Zeit, sie mehr in den Vordergrund zu stellen. Denn so können wirklich regionale Stoffkreisläufe aufgebaut und geschlossen werden.

Eine zentrale Voraussetzung für zukunftsfähige VFs, die auch eine Grundforderung der Ernährungssouveränität ist, ist die lokale, autonome Kontrolle über Land und Rohstoffe. Wie in der Forschung diskutiert, gestaltet sich das für VF, insbesondere in urbanen Kontexten, schwer: Zum einen benötigen VF-

Systeme diverse Rohstoffe, die häufig nicht regionalen Ursprungs sind. Zum anderen sind sowohl geeignete Grundstücke in der Stadt, als auch die nötige Technik extrem teuer. Dies erschwert es einer kleinen VF-Initiative enorm, die eben vorgestellten Charakteristika einer sozial gerechten VF in die Tat umzusetzen. Eine Möglichkeit bieten in diesem Fall entweder öffentlich-private Partnerschaften, in denen der private Partner einen Großteil der Kosten übernimmt, oder direkt die Zusammenarbeit mit öffentlichen Stellen, wie der Stadt oder dem Land. Gleichzeitig stellt sich in diesem Falle die Frage, wie autonom die Kontrolle des Lands und der Rohstoffe sein kann. Zudem ist unklar, inwiefern sich die VFs, gerade in Zusammenarbeit mit privaten Akteur*innen, nach profitorientiertem Denken und Handeln ausrichten müssen. Auch dieser Punkt macht deutlich, dass die Ernährungssouveränität ein radikales, grundlegend anders denkendes Konzept ist. Dies ist für grundsätzliche Veränderungen zwar wichtig, gleichzeitig stoßen damit zusammenhängende Handlungsweisen schnell an Grenzen und Schwierigkeiten.

9.3.5 Unvereinbare Elemente

In anderen Punkten ist jedoch fraglich, inwiefern VF überhaupt eine wirklich nennenswerte, sozial-ökologisch gerechte Alternative zur traditionellen Landwirtschaft im Einklang mit den Werten der Ernährungssouveränität sein kann.

Zuerst einmal ist nicht klar, wann (und ob überhaupt) Grundnahrungsmittel in VF-Systemen angebaut werden können. Diese umfassen kulturell angemessene Erzeugnisse, die ausreichend Kalorien und komplexe Nährstoffe enthalten. Der Anbau der entsprechenden Kulturen (wie Getreide und Hülsenfrüchte) in einer zumindest ansatzweise relevanten Menge ist eine Grundvoraussetzung dafür, dass VF überhaupt eine Alternative zu traditionellen Anbausystemen werden kann. Gelingt dies nicht, wird VF für immer eine, je nach Standort mehr oder weniger sinnvolle bis notwendige, Ergänzung mit gesundem, aber insgesamt unbedeutendem Gemüse bleiben. Mit Bezug auf die aktuellen Entwicklungen sieht es nicht so aus, als könnte zeitnah mit einer Diversifizierung des Angebots gerechnet werden. Zwar wird in Versuchslaboren mit Nachdruck daran geforscht, doch die Forschung und Entwicklung ist noch nicht so weit, als dass sie in einem größeren Maßstab umgesetzt werden könnte. So haben *Bustanica* und *Nordic Harvest* zwar beide kommuniziert, die Produktpalette perspektivisch erweitern zu wollen und zukünftig beispielsweise auch Tomaten und Erdbeeren anbauen zu wollen. Doch einerseits stellen auch diese Kulturen keine relevanten Grundnahrungsmittel dar. Andererseits wurde die Ankündigung in *Bustanicas* Fall bewusst offengelassen, oder wie bei *Nordic Harvest* immer weiter nach hinten verschoben, da die Versuche bisher nicht die gewünschten Resultate erzielen (vgl. *Nordic Harvest* 2023b; vgl. *Bustanica* o.D.).

Darüber hinaus kann in Frage gestellt werden, ob VF jemals wirklich ökologisch nachhaltig sein wird: Zum einen ist fraglich, ob es die notwendigen Bemühungen dafür geben wird. Zum anderen, ob VF aufgrund seiner technischen Voraussetzungen grundsätzlich dazu überhaupt in der Lage ist. Alternativ

wird VF immer ein Abwagen zwischen sozial-ökologischen Kosten und Nutzen sein, an dessen Ende entschieden wird, welcher ökologischer Schaden für eine verbesserte Lebensmittelversorgung unter Berücksichtigung aller Kontextfaktoren vertretbar ist. Entscheidend ist, wie weit die CO₂-Bilanz und der Ressourcenverbrauch durch Maßnahmen der Effizienz und Konsistenz nach unten korrigiert werden können. So weit, dass nur noch ein minimaler Energiebedarf besteht, der vollständig von erneuerbaren Energien gedeckt werden kann? Dieser Zustand wäre erstrebenswert. Gleichzeitig ist auch der Einsatz von erneuerbaren Energien ressourcenintensiv und kann, wird der gesamte Zyklus betrachtet, nicht als klimaneutral bezeichnet werden. Außerdem führen Maßnahmen, die nur auf Effizienz und Konsistenz setzen, mittels *Rebound*-Effekt häufig doch zu einem erhöhten Materialumsatz. Auf diese Weise werden die erhofften Ressourceneinsparungen – teilweise oder vollständig – zunichte gemacht (vgl. Santarius 2022: 256). Die Befürchtung, dass es in diesem Fall ähnlich sein wird, liegt nahe. Für ein zukunftsfähiges VF-System müssen die Betreiber*innen auch an wirklicher ökologischer Nachhaltigkeit interessiert sein. Die ökologischen Bemühungen spielen sich jedoch bisher, mit Blick auf die Forschung und die Fallstudie, mehr zwischen ökonomischen Effizienzüberlegungen und *Greenwashing* ab. Sowohl *Bustanica* als auch *Nordic Harvest* erwecken den Eindruck, mit ihren Bemühungen, ihre VFs ökologischer zu gestalten, zufrieden zu sein, auch wenn bei beiden Nachbesserungspotenzial gegeben wäre.

Grundsätzlich gehen Ernährungssouveränität und VF von unterschiedlichen Konzeptionen von Landwirtschaft aus. Das heißt jedoch nicht, dass beide nicht doch zusammenfinden können, wie im Folgenden diskutiert wird. Das Konzept der Ernährungssouveränität ist in traditionellen, kleinbäuerlichen, agrarökologischen Methoden der Landwirtschaft fest verwurzelt. Dies ist aus ernährungssouveräner Perspektive, die von kleinbäuerlichen Bäuer*innen und Aktivist*innen, insbesondere aus dem globalen Süden, geprägt wurde, absolut nachvollziehbar. Auch in den Forderungen, Landwirtschaft nach agrarökologischen Prinzipien zu betreiben und dabei Bäuer*innen und Familienbetriebe zu stärken, schlägt sich dies nieder. Diese Ziele sind in diesem Kontext stimmig. Schließlich sind sowohl die globale Gerechtigkeit, als auch ökologische Nachhaltigkeit in Zeiten von prekären Beschäftigungen, mächtigen Konzernen und einer drastischen Abnahme der Biodiversität die größten Knackpunkte. Gleichzeitig wird VF diese Forderungen nicht erfüllen können, da es innerhalb anderer Logiken agiert. VF beruht auf neuester Technik und modernen Innovationen, statt sich auf alte Kulturtechniken zurückzubeziehen. So kann VF auch weder Bäuer*innen *empowern*, da in einer VF keine Bäuer*innen im traditionellen Sinne arbeiten, noch Familienbetriebe unterstützen, da VF viel zu kapitalintensiv ist, um nur von einer Familie realisiert zu werden. Dies bringt diverse Nachteile mit sich, die auch in dieser Arbeit bereits breit dargelegt wurden. Auch entspringt ein Großteil des Unbehagens, das Menschen VF hinsichtlich seiner „Künstlichkeit“ entgegenbringen, dieser anderen Konzeption von Landwirtschaft (vgl. Glaros et al. 2024: 10).

Bei aller berechtigter Kritik ist gleichzeitig angebracht, anzuerkennen, dass Landwirtschaft seit jeher ein auf Innovationen beruhender menschlicher Eingriff in die Natur ist. Spätestens heutzutage kann im

Angesicht der industrialisierten Landwirtschaft konstatiert werden, dass es sich dabei ebenso um eine künstliche, nur durch den Einsatz von Technik aufrechtgehaltene Art der Nahrungsmittelproduktion handelt. Wird VF nur aus Prinzip abgelehnt, wird dies den komplexen Zusammenhängen und Notwendigkeiten nicht gerecht. Wird VF, oder allgemeiner CEA, in Zeiten des immer stärker um sich greifenden Klimawandels in einigen Regionen nicht in Zukunft vielmehr eine der einzigen Möglichkeiten sein, regional frische Lebensmittel anzubauen?

9.3.6 Eine Weiterentwicklung der Ernährungssouveränität

Deshalb plädiert die vorliegende Arbeit dafür, dass sich auch das Prinzip der Ernährungssouveränität weiterentwickelt. Viele Punkte innerhalb der vorherrschenden Konzeption von VF, etwa die Wahrnehmung als Investitionsobjekt, das mit der Einbindung in große Konzerne und einer Reproduktion des Ernährungssystems einhergeht, dürfen und müssen zu Recht kritisiert werden. Eine zentrale Aufgabe wird es bleiben, die Interessen von VF-Unternehmen öffentlich zu hinterfragen und, wo nötig, zu entlarven. Angesichts des großen Stellenwerts, den Technologien in unserer Gesellschaft und speziell in der Landwirtschaft einnehmen, sollte Technik möglichst gut für die Zwecke der Ernährungssouveränität genutzt werden. In Anlehnung an die Debatte rund um konviviale Technik (vgl. Vetter 2023) sollte dafür geworben werden, Technik als ein Werkzeug anzusehen, das zentrale Werte der Ernährungssouveränität fördern kann. Dafür sollte „eine andere Vorstellung von Technik (...) jenseits des dominanten Leitbilds beschleuniger technischer ‚Innovation‘“ (Vetter 2023: 22) entwickelt werden. In Anfängen wird dieser Prozess bereits in der Ernährungssouveränitäts-Bewegung begonnen. Denn VFs besitzen das Potenzial, losgelöst von den Logiken des jetzigen Ernährungssystems, gemeinschaftlich, sozial gerecht Lebensmittel anzubauen. Im Falle der VFs wird dies auch durch den Einsatz von Technik ermöglicht. Und statt traditioneller Bäuer*innen können marginalisierte urbane Bewohner*innen *empowert* werden.

Dieses Plädoyer meint nicht, einen unhinterfragten Technikoptimismus zu kultivieren, der über system-immanente Problemlagen hinwegtäuscht. Stattdessen wird es als gewinnbringend eingeschätzt, die Vorteile der Technik in Kontexten, in denen traditionelle Landwirtschaft nach agrarökologischen Methoden nicht möglich ist, in sozial gerechten, gemeinschaftlichen Organisationsstrukturen für sich zu nutzen.

Solche Anpassungen des Konzeptes Ernährungssouveränität eröffnen auch breitere Möglichkeiten, dieses auf bereits existierende Projekte anzuwenden. Denn wie bereits dargelegt wurde, handelt es sich bei der Ernährungssouveränität um ein zukunftsgerichtetes, utopisches Ideal, das so fundamentale, radikale Änderungen des Agrar- und Ernährungssystems umsetzen möchte, dass es einer Revolution und Umwälzung der kapitalistischen Logik gleichkäme. Dies führt jedoch auch dazu, dass Projekte, die bereits heutzutage strikt nach Prinzipien der Ernährungssouveränität agieren, nur in gesellschaftlichen Nischen entstehen können. Andere Projekte, die sich außerhalb dieser Nischen etabliert haben, werden an diesen hohen Maßstäben entsprechend scheitern. So verhält es sich auch bei dem VF. Lediglich experimentelle,

gemeinschaftlich getragene VFs, die in einer Nische entstehen, lassen sich am ehesten der Ernährungssouveränität zuordnen.

An dieser Stelle stellen sich grundlegende Fragen über die Nützlichkeit utopischer Ideen. Denn so schwer (und ernüchternd) es sein kann, solche Konzepte auf reale Phänomene anzuwenden, so wichtig ist es doch, gerade diese Phänomene mit sozial-ökologisch gerechten Idealvorstellungen abzugleichen, statt technikoptimistischen Ideen zu verfallen. So kann einer gerechteren Welt zumindest in kleinen Schritten nähergekommen werden.

10. Fazit: Transformatives Potenzial nur in Nischen

Die vorliegende Arbeit hat sich mit dem VF als eine potenziell sozial-ökologische, transformative Methode der Nahrungsmittelproduktion auseinandergesetzt. Dafür wurde zunächst in die sozial-ökologischen Problemlagen des vorherrschenden Ernährungssystems eingeführt, um aufzuzeigen, weswegen die Notwendigkeit von Alternativen dazu besteht. Als ein alternatives Konzept, das zudem den analytischen Rahmen der Arbeit bildet, wurde daraufhin die Ernährungssouveränität vorgestellt. Es folgten grundlegende Zusammenhänge des VF, die als Basis für die nachfolgenden Analysen gedient haben. Als erstes wurde mittels einer SLR analysiert, welche sozial-ökologischen Kosten und Nutzen des VFs in der Forschung debattiert werden, aber auch, wie das Forschungsfeld grundsätzlich ausgerichtet ist. Um die Erkenntnisse der SLR anzuwenden, zu überprüfen und der Kontextabhängigkeit der Kosten und Nutzen von VF gerecht zu werden, wurde daraufhin die Fallstudie mit *Nordic Harvest* und *Bustanica* getätigt. Abschließend wurden in der Diskussion die Ergebnisse von SLR und Fallstudie zusammengeführt und in Bezug auf die Werte der Ernährungssouveränität evaluiert. So wurde beantwortet, welche sozial-ökologischen Kosten und Nutzen das VF aufweist und ob es sich um eine sozial-ökologisch gerechte Anbaumethode im Einklang mit den Werten der Ernährungssouveränität handelt. Ferner wurden das Potenzial, aber auch die Hürden für eine stärkere Erfüllung ernährungssouveräner Werte aufgezeigt.

In der Forschung werden diverse sozial-ökologische Kosten und Nutzen von VF debattiert. Um zu aussagekräftigen, differenzierten Ergebnissen zu kommen, muss gleichwohl eine Gewichtung der Kosten und Nutzen vorgenommen werden, da manche stärkere Auswirkungen als andere haben. Wie viel Gewicht ein Kosten oder Nutzen in einem bestimmten Fall hat, hängt auch vom jeweiligen Kontext ab. Die Benennung drei dafür ausschlaggebender Faktoren – die spezifische technische Ausgestaltung, der Standort und klimatische Bedingungen und die Organisationsform einer VF – haben diesem Umstand Rechnung getragen.

Positiv hervorzuheben ist, dass VFs im Vergleich zu herkömmlichen landwirtschaftlichen Systemen weniger Wasser verbrauchen, was in einigen Gegenden der Welt schon heute von enormer Relevanz ist und dies zukünftig auch in anderen Regionen sein wird. Ebenso können Dünger und Pestizide reduziert werden, was den unmittelbaren Ressourcenbedarf, aber auch Umweltbelastungen verringert, da das VF

in einem geschlossenen System betrieben wird. Hier sind Ansätze eines Ressourcenkreislaufs erkennbar. Das geschlossene System, in dem ideale Wachstumsbedingungen künstlich erzeugt werden können, ermöglicht zudem, VFs ortsunabhängig aufzubauen, was gerade für landwirtschaftlich ungünstige Standorte relevant ist. Zudem wird so die Produktivität des Systems erhöht. Gleichzeitig kann diese kontrollierte, abgeschlossene Umgebung nur durch einen hohen Einsatz von Technik, wie beispielsweise der Beleuchtung oder Belüftungssystemen, hergestellt werden. Damit gehen ein hoher Energiebedarf und CO₂-Ausstoß einher. Diese sind der größte ökologische Kritikpunkt von VF-Systemen – sofern die Energiezufuhr mittels fossiler Energiequellen gesichert wird. Werden stattdessen erneuerbare Energien verwendet (die aber noch die Ausnahme darstellen), können die CO₂-Emissionen an konventionelle Anbaumethoden angeglichen werden. Gleichzeitig fallen, ebenso wie bei den fossilen Energieträgern, auch bei erneuerbaren Energien, vor- und nachgelagerte Emissionen und Umweltbelastungen an, die jedoch sowohl in der Forschung als auch von real operierenden VFs nicht ausreichend berücksichtigt werden. Zwar wird versucht, die CO₂-Emissionen durch Effizienzsteigerungen, z.B. den Einsatz von KI, zu reduzieren. Jedoch kann der Erfolg solcher Maßnahmen erst zukünftig beurteilt werden. Außerdem ist dafür erneut zunächst ein hoher Ressourceneinsatz nötig.

Die hohe Flächenproduktivität, durch die vertikale Stapelung potenziert, sorgt dafür, dass unmittelbar weniger Fläche als bei herkömmlichen landwirtschaftlichen Systemen benötigt wird. Jedoch kann das Versprechen, dass aufgrund dieser Flächenproduktivität weniger neue Fläche für landwirtschaftliche Zwecke verbraucht werden muss und Flächen renaturiert werden können, als unrealistisch eingestuft werden. Die Faktenlage dazu wird als nicht ausreichend gewertet.

Der größte soziale Nutzen von VFs besteht darin, dass Menschen auch an Standorten, die einen ansonsten erschwerten Zugang zu Lebensmitteln haben, versorgt werden können. Es hat sich jedoch gezeigt, dass VF ein sehr exklusives Projekt sein kann, das die Vorteile, wie eine (re-)lokalierte Lebensmittelversorgung, nur bestimmten Gruppen zugänglich macht, während andere keinen Zugang erhalten – allen voran über den erhöhten Preis. Zum jetzigen Zeitpunkt lässt sich hierbei eine Linie zwischen gemeinwohlorientierten und privatwirtschaftlich organisierten VFs ziehen. Während sich erstere heute schon aktiv dafür einzusetzen, die sozialen Nutzen zu erhöhen, haben letztere diese weniger im Blick. Zugleich haben es gerade gemeinwohlorientierte VFs wegen des großen benötigten Kapitals schwerer, sich zu etablieren. Insgesamt weist das VF also neben sozialen und ökologischen Nutzen auch diverse Kosten auf.

Einige Elemente der Ernährungssouveränität erfüllt das VF bereits heute, etwa die Bemühungen um einen Ressourcenkreislauf und die Relokalisierung der Nahrungsmittelproduktion. Viele Eigenschaften des VF stehen der Ernährungssouveränität jedoch auch entgegen, wie die Tatsache, dass die mittels VF produzierten Lebensmittel häufig ein Privileg einiger sind, statt zum Recht aller zu werden. Zudem können unterschiedliche kulturelle Essgewohnheiten aufgrund der beschränkten Anzahl angebauter

Kulturen kaum berücksichtigt werden. Auch kommodifizieren die analysierten Fallbeispiele selbst Nahrungsmittel und Rohstoffe. Die starke Abhängigkeit von Technologien und den assoziierten Unternehmen entspricht ebenso wenig den Werten der Ernährungssouveränität, um nur einige der Punkte zu nennen. Zusammenfassend lässt sich konstatieren, dass VF zum jetzigen Zeitpunkt in nur wenigen Zusammenhängen mit den Werten der Ernährungssouveränität vereinbar ist. Vielmehr lässt sich VF zum aktuellen Zeitpunkt der Ernährungssicherheit zuordnen.

Insgesamt kann das VF so nicht als sozial-ökologisch zukunftsfähige Methode zur Lebensmittelerzeugung bezeichnet werden. Die benötigten materiellen und finanziellen Ressourcen und der hohe Energiebedarf stehen in keinem gerechtfertigten Verhältnis zum Output, dem geernteten Blattgemüse. Außerdem kann das VF soziale Nutzen, die allen im lokalen Umfeld der Produktionsanlagen, ungeachtet der Einkommensverteilung, zuteilwerden, nur unter bestimmten Bedingungen herstellen. Insgesamt kann das VF einige Probleme der industrialisierten Landwirtschaft lösen, schafft aber zugleich neue Herausforderungen, allen voran den hohen Ressourcen- und Energiebedarf und die Abhängigkeit von *Hightech*-Systemen. Nichtsdestotrotz kann VF in bestimmten Kontexten den Umständen entsprechend sinnvoll sein. Diese umfassen vor allem Orte, an denen aufgrund dichter Bebauung oder klimatischer Bedingungen keine herkömmliche Landwirtschaft betrieben, gleichzeitig jedoch erneuerbare Energie für den umweltfreundlicheren Betrieb der VF gewonnen werden kann. Etwa in Dubai wären diese Bedingungen (zumindest theoretisch) gegeben. In allen anderen Kontexten stehen herkömmliche Methoden der Landwirtschaft in einem besseren Kosten-Nutzen-Verhältnis, insbesondere wenn diese ökologisch betrieben werden. Dazu kann auch der naturräumlich-klimatische Kontext Dänemarks gezählt werden.

Gleichwohl hat die Anbaumethode das Potenzial, den Werten der Ernährungssouveränität näherzukommen und damit auch seine sozial-ökologische Zukunftsfähigkeit zu erhöhen. Dafür müssen folgende Voraussetzungen erfüllt sein: Es bedarf mehr *bottom-up*, also gemeinschaftlich geführter VF-Projekte, die mittels solidarischer Prinzipien den Zugang zu den angebauten Lebensmitteln möglichst niedrigschwellig gestalten. Um die finanziellen Hürden für solch ein Projekt abzubauen, muss der Zugang zu Land und Rohstoffen verbessert werden. Zudem ist elementar, zukünftig auch Grundnahrungsmittel im großen Stil in der Vertikalen anzubauen, um vielfältige, kulturell angepasste Nahrungsmittel zur Verfügung stellen zu können. Es ist jedoch in Frage zu stellen, ob VFs dazu jemals technisch in der Lage sein werden. Ebenso verhält es sich mit der ökologischen Nachhaltigkeit, die für eine Umsetzung im Einklang mit der Ernährungssouveränität sichergestellt sein muss. Es wird möglich sein, schädliche Umweltauswirkungen und hohe Ressourcen- und Energiebedarfe des VF zu reduzieren, eine Überwindung dieser ist jedoch auszuschließen.

Auch wenn das VF in vielen Punkten das Potenzial aufweist, den Werten der Ernährungssouveränität zu entsprechen und in einigen Regionen und Kontexten unter bestimmten Bedingungen eine sinnvolle Ergänzung darstellen kann, sollte das Potenzial von VF nicht überschätzt werden. Insgesamt wird VF

immer nur eine Ergänzung zu herkömmlichen landwirtschaftlichen Anbaumethoden sein – allein schon, da letztere zur Produktion von Grundnahrungsmitteln benötigt werden, die in VF-Systemen zum jetzigen Zeitpunkt nicht bereitgestellt werden können. Auch aufgrund der Ressourcenintensität ist es als unrealistisch einzuschätzen, dass sich VF in einem größeren Maßstab etablieren wird. Die große Aufmerksamkeit, die heute dem VF dennoch zuteilwird, lenkt derweil von anderen, sozial-ökologischen Lösungsansätzen ab, die bereits jetzt, mit weniger Aufwand und schädlichen Umweltauswirkungen, umgesetzt werden könnten. Solch eine Lösung ist z.B. die Reduktion des Fleischkonsums. Sie stellt einen viel größeren Hebel in Bezug auf reduzierte Landnutzung und Umweltschäden dar, als es dem VF möglich ist.

Die Analyse des VFs vor dem Hintergrund der Ernährungssouveränität ist noch nicht im breiten Forschungsdiskurs angekommen. Genauso hat es sich bisher nicht durchgesetzt, sozialen Indikationen des VF den gleichen Stellenwert wie den ökologischen Auswirkungen dieser Anbaumethode einzuräumen. Insofern weicht das Ergebnis der vorliegenden Arbeit vom dominanten Strang des wissenschaftlichen Diskurses ab. Dieser entspringt insbesondere naturwissenschaftlichen Disziplinen und vertritt eine stärker technikoptimistische Perspektive auf VF. Dennoch gewinnt eine sozialwissenschaftliche Betrachtung des Gegenstandes an Zuwachs. Zu dieser Strömung lassen sich die Autor*innen zählen, die in der vorliegenden Arbeit als „kritische Perspektive“ in der SLR vertieft wurden. Die in dieser Arbeit erlangten Ergebnisse sind damit größtenteils kongruent und wurden auch maßgeblich von dieser Perspektive beeinflusst.

Diese sozialwissenschaftliche Perspektive auf das VF kann als eine Stärke der Arbeit angesehen werden, denn nur die Kombination von sozialen und ökologischen Zusammenhängen wird den komplexen, multidimensionalen Herausforderungen des Agrar- und Ernährungssystems gerecht. Gleichwohl weist die Arbeit auch Herausforderungen und Grenzen auf. So kann in Bezug auf die SLR davon ausgegangen werden, dass nicht alle relevanten Publikationen gefunden wurden. Dafür hätten weitere Literaturdatenbanken einbezogen und die *Search Strings* verfeinert werden müssen. Dies hätte gleichwohl den Umfang der Masterarbeit überschritten. Darüber hinaus ist suboptimal, dass in der Fallstudie aufgrund der Datenlage keine als Verein oder auf Basis von solidarischen Prinzipien organisierte VF analysiert werden konnte. Schließlich nimmt diese Form einer VF im weiteren Verlauf der Arbeit eine zentrale Rolle ein. Aber auch in Bezug auf die analysierten VFs hätte die Datenlage noch fundierter und breiter aufgestellt sein können. So standen bspw. für die Analyse von *Bustanica* weniger Informationen zur Verfügung als für *Nordic Harvest*. Zudem waren einige der analysierten Quellen von einem *Bias* betroffen. Abschließend hat es sich als eine Herausforderung erwiesen, ein abstraktes, in vielen Punkten utopisches Konzept wie die Ernährungssouveränität mit einem sehr konkreten Anwendungsgegenstand wie dem VF zu kombinieren.

Mit Blick auf die zukünftige wissenschaftliche Beschäftigung mit VF lässt sich konstatieren, dass die sozialwissenschaftliche Auseinandersetzung mit der Thematik weiter vertieft werden sollte. Durch eine stärkere Verzahnung mit sozialwissenschaftlichen Disziplinen ist zu hoffen, dass die Perspektive auf VF eine nötige Diversifizierung erfährt. Von dieser Arbeit ausgehend können mehrere Möglichkeiten für weiterführende Beschäftigungen mit dem Themenkomplex formuliert werden. So liegt eine Aufgabe darin, das Prinzip der Ernährungssouveränität inhaltlich weiterzuentwickeln und explizite Positionen zu neuen Anbaumethoden wie dem VF zu entwickeln, wie bereits in der Diskussion aufgegriffen wurde. Auch kann der Standpunkt der Ernährungssouveränitäts-Bewegung bezüglich einer Konzeption einer solidarischen Ökonomie geschärfst werden. Des Weiteren können die in dieser Arbeit erlangten Ergebnisse von Praktiker*innen oder Wissenschaftler*innen genutzt werden, die den Aufbau von VFs unter sozial-ökologischen Gesichtspunkten unterstützen möchten. Dafür und darüber hinaus ist es relevant, die Datenlage zu alternativ organisierten VFs, bspw. mittels einer qualitativen Untersuchung, zu verbessern und so die Basis für tiefergehende Beschäftigungen mit diesen zu legen. Außerdem ist damit zu rechnen, dass sich insbesondere die sozialen Auswirkungen von VFs zukünftig stärker herausbilden werden. Diese können wissenschaftlich analysiert werden, um die bisher auch auf Prognosen beruhenden Untersuchungen hierzu fundiert zu ergänzen. Bedeutend wird zudem sein, weitere Entwicklungen des VFs und einzelner Vertical Farms, wie die zu erwartenden Effizienzsteigerungen und ihre Folgen, wissenschaftlich zu begleiten. Denn abschließend kann prognostiziert werden: Einerseits werden sich VF-Systeme weiterentwickeln, andererseits aber auch die sozial-ökologischen Problemlagen der industrialisierten Landwirtschaft weiter zunehmen. Die Auseinandersetzung mit dem Ernährungssystem und unterschiedlichen Lösungsansätzen wird also nicht an Relevanz verlieren, sondern immer dringlicher werden.

Literaturverzeichnis

- Aachen.eden e.V. (2023). aachen.eden: Urbane Landwirtschaft mitten in Aachen, abgerufen am 08.07.2024: <https://aachen-eden.de/>
- Agrilyst (2017). *State of Indoor Farming 2017*, abrufbar auf: <https://www.bayer.com/sites/default/files/stateofindoorfarming-report-2017.pdf>.
- Ahamed, Md S./Sultan, M./Monfet, D./Rahman, Md S./Zhang, Y./Zahid, A./Bilal, M./Ahsan, T.M. A./Achour, Y. (2023). A critical review on efficient thermal environment controls in indoor vertical farming, in: *Journal of Cleaner Production*, Art.-Nr. 138923, 425. Jg., S. 1-20.
- Albrecht, S. (2021). Agrartechnik, in: Grunwald, Armin/Hillerbrand, Rafaela (Hrsg.): *Handbuch Technikethik*, Berlin: J. B. Metzler, S. 305-309.
- Al-Chalabi, M. (2015). Vertical farming: Skyscraper sustainability?, in: *Sustainable Cities and Society*, 18. Jg, S. 74-77.
- Alonso-Fradejas, A./Borras Jr., S. M./Holmes, T./Holt-Giménez, E./Robbins, M. J. (2015). Food sovereignty: convergence and contradictions, conditions and challenges, in: *Third World Quarterly*, Nr. 3, 36. Jg., S. 431-448.
- Akram-Lodhi, A. H. (2019). Kleinbäuerliche Landwirtschaft, in: Brunner, J./Dobelmann, A./Kirst, S./Prause, L. (Hrsg.): *Wörterbuch Land- und Rohstoffkonflikte*, Bielefeld: transcript Verlag, S. 180-188.
- Azzaretti, C./Schimelpfenig, G. (2022). Perspective: Benchmarking opportunities can contribute to circular food systems in controlled environment agriculture, in: *Applied Engineering in Agriculture*, Nr. 3, 38. Jg., S. 535-538.
- Babar, Z./Mirkani, S. (2014). *Food Security in the Middle East*, New York: Oxford University Press.
- Bartels, T. (2022). *Bustanica – so sieht die weltgrößte Hydrokultur-Farm von innen aus*, Stern, abgerufen am 16.04.2024: https://www.stern.de/wirtschaft/bustanica-vertical-farm_32887514-32887496.html
- Beacham, A. M./Vickers, L. H./Monaghan, J. M. (2019). Vertical farming: a summary of approaches to growing skywards, in: *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, Nr. 3, 94. Jg., S. 277-283.
- Benis, K./Reinhart, C./Ferrao, P. (2017). Development of a simulation-based decision support workflow for the implementation of Building-Integrated Agriculture (BIA) in urban contexts, in: *Journal of Cleaner Production*, 147. Jg., S. 589-602.
- Besthorn, F. H. (2013). Vertical Farming: Social Work and Sustainable Urban Agriculture in an Age of Global Food Crises, in: *Australian Social Work*, Nr. 2, 66. Jg., S. 187-203.
- Bilka Togo (2024). Salat- & kålblandinger, abgerufen am 01.05.2024: <https://www.bilkatogo.dk/kategori/frugt-og-groent/salat-og-kaalblandinger/>
- Blom, C. D. B./Steegemann, P./Voss, C./Sonneveld, B. G. J. S. (2022). Food in the cold: exploring food security and sovereignty in Whitehorse, Yukon, in: *International Journal of Circumpolar Health*, Nr 1, 81. Jg., S. 1-15.

- Blom, T./Jenkins, A./Pulselli, R. M./van den Doppelsteen, A. A. J. F. (2022). The embodied carbon emissions of lettuce production in vertical farming, greenhouse horticulture, and open-field farming in the Netherlands, in: *Journal of Cleaner Production*, Art.-Nr. 134443, 377. Jg., S. 1-19.
- Bomford, M. (2023). More bytes per acre: do vertical farming's land sparing promises stand on solid ground?, in: *Agriculture and Human Values*, o. Nr., 40. Jg., S. 879-895.
- Bryman, A. (2016). *Social research methods*, Oxford: Oxford University Press.
- Bustanica (2024a). Beyond Organic, abgerufen am 16.04.2024: <https://bustanica.ae/beyond-organic/>
- Bustanica (2024b). Home, abgerufen am 16.04.2024: <https://bustanica.ae/>
- Bustanica (2024c). Shop, abgerufen am 16.04.2024: <https://bustanica.ae/shop/>
- Bustanica (2024d). Our Impact, abgerufen am 16.04.2024: <https://bustanica.ae/our-impact/>
- Bustanica (2024e). Our Produce, abgerufen am 16.04.2024: <https://bustanica.ae/our-produce-2/>
- Bustanica (2024f). Our Technology, abgerufen am 16.04.2024: <https://bustanica.ae/our-technology/>
- Bustanica (o.D.). Fact Sheet, Dubai: Emirates Media Centre, abrufbar unter: <https://www.emirates.com/media-centre/download/1216756/bustanicafactsheet-2.pdf>
- Carolan, M. (2020). Urban Farming Is Going High Tech Digital Urban Agriculture's Links to Gentrification and Land Use, in: *Journal of the American Planning Association*, Nr. 1, 86. Jg., S. 47-59.
- Carrefour UAE (2024). Salads, abgerufen am 03.05.2024: <https://www.carrefouruae.com/mafuae/en/c/F11660503>
- Casey, L./Freeman, B./Francis, K./Brychkova, G./McKeown, P./Spillane, C./Bezrukov, A./Zaworotko, M./Styles, D. (2022). Comparative environmental footprints of lettuce supplied by hydroponic controlled-environment agriculture and field-based supply chains, in: *Journal of Cleaner Production*, Art.-Nr. 133214, 369. Jg., S. 1-13.
- Cifuentes-Torres, L./Mendoza-Espinosa, L. G./Correa-Reyes, G./Daessle, L. W. (2021). Hydroponics with wastewater: a review of trends and opportunities, in: *Water and Environment Journal*, Nr. 1, 35. Jg., S. 166-180.
- Cooper, H./Hedges, L. V. (2009). Research Synthesis as a scientific process, in: Cooper, H./Hedges, L. V./Valentine, J. C. (Hrsg.): *The Handbook of Research Synthesis and Meta-Analysis*, New York: Russell Sage Foundations, S. 3-16.
- Cowan, N./Ferrier, L./Spears, B./Drewer, J./Reay, D./Skiba, U. (2022). CEA Systems: the Means to Achieve Future Food Security and Environmental Sustainability?, in: *Frontiers in Sustainable Food Systems*, Art.-Nr. 891256, 6. Jg., S. 1-10.
- Despommier, D. (2010). *The Vertical Farm. Feeding the World in the 21st Century*, New York: St. Martin's Press.
- Dohrn, S. (2018). *Das Ende der Natur: die Landwirtschaft und das stille Sterben vor unserer Haustür*, Bonn: Bundeszentrale für Politische Bildung.
- Dyring, F. (2024). E-Mail-Korrespondenz. 05.03.2024, Taastrup.
- Eigenbrod, C./Gruda, N. (2015). Urban vegetable for food security in cities. A review, in: *Agronomy for Sustainable Development*, Nr. 2, 35. Jg., S. 483-498.
- Elsen, S. (2018). Solidarische Ökonomie, in: *Blätter der Wohlfahrtspflege*, Nr. 6, Jg. 165, S. 206-213.

- Emirates (2024). Emirates Flight Catering fully acquires Bustanica, the world's largest indoor vertical farm, abgerufen am 02.05.2024: <https://www.emirates.com/media-centre/emirates-flight-catering-fully-acquires-bustanica-the-worlds-largest-indoor-vertical-farm/>
- Epting, S. (2018). Advancing Food Sovereignty Through Interrogating the Question: What is Food Sovereignty?, in: *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, o. Nr., 31. Jg., S. 593-604.
- Eurovia = European Coordination Via Campesina (2022). *Future Technologies and Food Sovereignty*, abrufbar auf: <https://www.eurovia.org/wp-content/uploads/2023/06/PACE-Future-technologies-and-FS.pdf>
- FAO = Food and Agriculture Organization of the United Nations (2019). *The State of the World's Biodiversity for Food and Agriculture*, Rom: FAO Comission on Genetic Resources for Food and Agriculture Assessments, abrufbar unter: <http://www.fao.org/3/CA3129EN/CA3129EN.pdf>
- Farooq, M. S./Riaz, S./Abu Helou, M./Khan, F. S./Abid, A./Alvi, A. (2022). Internet of Things in Greenhouse Agriculture: A Survey on Enabling Technologies, Applications, and Protocols, in: *IEEE ACCESS*, o. Nr., 10. Jg., S. 53374-53397.
- Feulner, G. R. (2024). Geography and Geology of the United Arab Emirates: A Naturalist's Introduction, in: Burt, J. A. (Hrsg.): *A Natural History of the Emirates*, Cham: Springer, S. 13-64.
- Fink, A. (2005). *Conducting Research Literature Reviews. From the Internet to Paper*, Thousand Oaks (u.a.): Sage Publications.
- Fladvad, B. (2017). Die Food Movements und ihre Forderungen: zur politischen Dimension alternativer Ernährungsgeographien, in: *Zeitschrift für Wirtschaftsgeographie*, Nr. 3-4, 62. Jg., S. 201-216.
- Gentry, M. (2019). Local heat, local food: Integrating vertical hydroponic farming with district heating in Sweden, in: *Energy*, o. Nr., 174. Jg., S. 191-197.
- Germer, J./Sauerborn, J./Asch, F./de Boer, J./Schreiber, J./Weber, G./Müller, J. (2011). Skyfarming: an ecological innovation to enhance global food security, in: *Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit*, Nr. 2., 6. Jahrgang, S. 237-251.
- Gerring, J. (2017). *Case Study Research: Principles and Practices*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Glaros, A./Marquis, S./Major, C./Quarshie, P./Ashton, L./Green, A. G./Kc, K. B./Newman, L. /Newell, R./Yada, R. Y./Fraser, E. D. G. (2022). Horizon scanning and review of the impact of five food and food production models for the global food system in 2050, in: *Trends in Food Science & Technology*, o. Nr., 119. Jg., S. 550-564.
- Glaros, A./Newell, R./Benyamin, A./Pizzirani, S./Newman, L. L. (2024). Vertical agriculture's potential implications for food system resilience: outcomes of focus groups in the Fraser Valley, British Columbia, in: *Ecology and Society*, Nr. 1, 29. Jg., S. 1-13.
- Gläßer, E./Lindemann, R./Venzke, J.-F. (2003). *Nordeuropa*, Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- Gliessman, S. (2022). Changing the food system narrative, in: *Agroecology and Sustainable Food Systems*, Nr. 6, 46. Jg., S. 789-790.
- Gottschlich, D./Hackfort, S./Schmitt, T./von Winterfeld, U. (2022). Was sind das für Zeiten...? Eine Einleitung, in: Gottschlich, D./Hackfort, S./Schmitt, T./von Winterfeld, U. (Hrsg.): *Handbuch Politische Ökologie. Theorien, Konflikte, Begriffe, Methoden*, Bielefeld: transcript Verlag, S. 11-20.

- Grossarth, J. (2019). *Future Food. Die Zukunft der Welternährung*, Darmstadt: wbg Theiss.
- Grünewald, A. (2019). Industrialisierte Landwirtschaft, in: Brunner, J./Dobelmann, A./Kirst, S./Prause, L. (Hrsg.): *Wörterbuch Land- und Rohstoffkonflikte*, Bielefeld: transcript Verlag, S. 147-153.
- Gwynn-Jones, D./Dunne, H./Donnison, I./Robson, P./Sanfratello, G. M./Schlarb-Ridley, B./Hughes, K./Convey, P. (2018). Can the optimisation of pop-up agriculture in remote communities help feed the world?, in: *Global Food Security – Agriculture Policy Economics and Environment*, o. Nr., 18. Jg., S. 35-43.
- Heil, E. A. (2021). *Methode der Systematischen Literaturrecherche für Haus- und Abschlussarbeiten*, Giessen: Justus-Liebig-Universität Giessen, abrufbar auf: <https://www.uni-giesen.de/de/fbz/fb09/institute/VKE/nutr-ecol/lehre/SystematischeLiteraturrecherche.pdf>
- Heinrich-Böll-Stiftung, Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland, Le Monde Diplomatique (Hrsg.) (2020). *Insektenatlas: Daten und Fakten über Nütz- und Schädlinge in der Landwirtschaft*, Berlin: Eigenverlag.
- Heinrich-Böll-Stiftung, Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland, PAN Germany, Le Monde Diplomatique (Hrsg.) (2022). *Pestizidatlas: Daten und Fakten zu Giften in der Landwirtschaft*, Berlin: Eigenverlag.
- Heinrich-Böll-Stiftung, Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V., Think Tank for Sustainability, TMG Research gGmbH (Hrsg.) (2024). *Bodenatlas 2024: Daten und Fakten über eine lebenswichtige Ressource*, Berlin: Eigenverlag.
- Herzog, S. (2023). *Das Gewächshaus der Zukunft? In Dubai steht die grösste Hors-sol-Farm der Welt*, Neue Zürcher Zeitung, abgerufen am 16.04.2024: <https://www.nzz.ch/reisen/voellig-losgelöst-am-rande-von-dubais-wueste-steht-die-groesste-farm-mit-gruenzeug-ohne-bodenhaftung-ld.1724511>
- International Energy Agency (2024a). Denmark, abgerufen am 05.07.2024: <https://www.iea.org/countries/denmark/energy-mix>
- International Energy Agency (2024b). United Arab Emirates, abgerufen am 05.07.2024: <https://www.iea.org/countries/united-arab-emirates/energy-mix>
- IUCN (2024). The IUCN Red List of Threatened Species, abgerufen am 04.03.2024: <https://www.iucnredlist.org/>
- IPBES = Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (2019). *Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger des globalen Assessments der biologischen Vielfalt und Ökosystemleistungen der Zwischenstaatlichen Plattform für Biodiversität und Ökosystemleistungen*, Bonn: IPBES-Sekretariat. Abrufbar unter: <https://www.de-ipbes.de/de/Globales-IPBES-Assessment-Deutschsprachige-Zusammenfassung-für-politische-2122.html>
- John, J. (2019). Agrarökologie, in: Brunner, J./Dobelmann, A./Kirst, S./Prause, L. (Hrsg.): *Wörterbuch Land- und Rohstoffkonflikte*, Bielefeld: transcript Verlag, S. 37-43.
- Kalantari, F./Mohd Tahir, O./Akbari Joni, R./Fatemi, E. (2018). Opportunities and challenges in sustainability of vertical farming: A review, in: *Journal of Landscape Ecology*, Nr. 1, 11. Jg., S. 35-60.
- Kellermann, K. (2020). *Die Zukunft der Landwirtschaft: Konventioneller, gentechnikbasierter und ökologischer Landbau im umfassenden Vergleich*, Wiesbaden: Springer Spektrum.

- Khalaf, K. A./Gamil, A./Attiya, B./Cuello, J. (2023). Exploring the potential of concentrating solar power technologies for vertical farming in arid regions: The case of Western Iraq, in: *Energy for Sustainable Development*, Art.-Nr. 101310, 77. Jg., S. 1-19.
- Klerkx, L./Rose, D. (2020). Dealing with the game-changing technologies of Agriculture 4.0: How do we manage diversity and responsibility in food system transition pathways?, in: *Global Food Security – Agriculture Policy Economics and Environment*, Art.-Nr. 100347., 24. Jg., S. 1-7.
- Krausmann, F./Fischer-Kowalski, M. (2010). Gesellschaftliche Naturverhältnisse. Globale Transformationen der Energie- und Materialflüsse, in: Sieder, R./Langthaler, E. (Hrsg.): *Globalgeschichte 1800 – 2010*, Wien: Böhlau Verlag, S. 39-68.
- Langthaler, E. (2022). Landwirtschaft und Ernährung, in: Fischer, K./Hauck, G./Boatcă, M. (Hrsg.): *Handbuch Entwicklungsforschung*, Wiesbaden: Springer VS, S. 197-208.
- Laschewski, L. (2017). Landwirtschaft: Auf dem Weg zu einem nachhaltigen Ernährungssystem?, in: Brand, K.-W. (Hrsg.): *Die sozial-ökologische Transformation der Welt: ein Handbuch*, Frankfurt/New York: Campus Verlag, S. 267-296.
- La Via Campesina (2021). Food Sovereignty, A Manifesto For The Future Of Our Planet, abgerufen am 25.02.2024: <https://viacampesina.org/en/food-sovereignty-a-manifesto-for-the-future-of-our-planet-la-via-campesina/>
- Li, LY/Li, X/Chong, C/Wang, CH/Wang, XN (2020). A decision support framework for the design and operation of sustainable urban farming systems, in: *Journal of Cleaner Production*, Art.-Nr. 121928, 268. Jg., S. 1-15.
- Lin, A. H.-M./Gomez-Maqueo, A. (2023). Strengthening food security through alternative carbohydrates in the city-state of Singapore, in: *Frontiers in Sustainable Food Systems*, Art.-Nr. 987402, 7. Jg., S. 1-11.
- Lingenhöhl, D. (2022). Deutschland verarmt auch an Pflanzen, in: Gottfried, E. (Hrsg.): *Landwirtschaft – Wege aus der Krise, von Artenvielfalt bis Klimawandel*, Berlin: Springer, S. 9-11.
- Linkedin (2024). Nordic Harvest, abgerufen am 29.04.2024: <https://www.linkedin.com/company/nordicharvest>
- Luig, B. (2019). Ernährungssouveränität, in: Brunner, J./Dobelmann, A./Kirst, S./Prause, L. (Hrsg.): *Wörterbuch Land- und Rohstoffkonflikte*, Bielefeld: transcript Verlag, S. 58-64.
- Martin, M./Weidner, T./Gullstrom, C. (2022). Estimating the Potential of Building Integration and Regional Synergies to Improve the Environmental Performance of Urban Vertical Farming, in: *Frontiers in Sustainable Food Systems*, Art.-Nr. 849304, 6. Jg., S. 1-18.
- Miedaner, T. (2022). Bedrohte Ernte, in: Gottfried, E. (Hrsg.): *Landwirtschaft – Wege aus der Krise, von Artenvielfalt bis Klimawandel*, Berlin: Springer, S. 17-33.
- McCartney, L./Lefsrud, M. G. (2018). Protected agriculture in extreme environments: A review of controlled environment agriculture in tropical, arid, polar, and urban locations, in: *Applied Engineering in Agriculture*, Nr. 2, 34. Jg., S. 455-473.
- Mina, G./Peira, G./Bonadonna, A. (2023). Public perception and social sustainability of indoor farming technologies: A systematic review, in: *Technology in Society*, Art.-Nr. 102363, 75. Jg., S. 1-13.
- Mitchell, C. A. (2022). History of Controlled Environment Horticulture: Indoor Farming and Its Key Technologies, in: *Hortscience*, Nr. 2, 57. Jg., S. 247-256.

- Mok, W. K./Tan, Y. X./Chen, W. N. (2020). Technology innovations for food security in Singapore: A case study of future food systems for an increasingly natural resource-scarce world, in: *Trends in Food Science & Technology*, o. Nr., 102. Jg., S. 155-168.
- Muller, A./Ferre, M./Engel, S./Gattinger, A./Holzkamper, A./Huber, R./Mueller, M./Six, J. (2017). Can soil-less crop production be a sustainable option for soil conservation and future agriculture?, in: *Land Use Policy*, o. Nr., 69. Jg., S. 102-105.
- Nachhaltig leben (o.D.). *Gemüse auf 14 Etagen: Das ist die grösste vertikale Farm Europas*, Nachhaltig leben, abgerufen am 15.04.2024: <https://www.nachhaltig leben.ch/news/kopenhagen-hat-groesste-vertikale-farm-europas-5246>
- Nicola, S./Pignata, G./Ferrante, A./Bulgari, R./Cocetta, G./Ertani, A. (2020): Water use efficiency in greenhouse systems and its application in horticulture, in: *Agrolife Scientific Journal*, Nr. 1, 9. Jg., S. 248-262.
- Nyéléni (2007). Declaration of Nyéléni, abgerufen am 26.02.2024: <https://nyeleni.org/en/declaration-of-nyeleni/>
- Nordic Harvest (2020a). BC Hospitality Group indgår aftale med Nordic Harvest, abgerufen am 17.04.2024: <https://www.nordicharvest.com/nyt/bc-hospitality-group-indgar-aftale-med-nordic-harvest>
- Nordic Harvest (2020b). Danske Nordic Harvest rejser 62 mio. kr. til en af Europas største vertikale farme, abgerufen am 17.04.2024: <https://www.nordicharvest.com/nyt/danske-nordic-harvest-rejser-62-mio-kr-til-en-af-europas-største-vertikale-farme>
- Nordic Harvest (2020c). Nordic Harvest er klar til at leve bæredygtigt grønt til forbrugerne, abgerufen am 17.04.2023: <https://www.nordicharvest.com/nyt/nordic-harvest-er-klar-til-at-levere-baeredygtigt-gront-til-forbrugerne>
- Nordic Harvest (2022a). Data og robotter skal give grønnere finger, abgerufen am 18.04.2024: <https://www.nordicharvest.com/nyt/data-og-robotter-skal-give-gronnere-fingre>
- Nordic Harvest (2022b). Er planteekstrakter fremtiden for vertical farming?, abgerufen am 18.04.2024: <https://www.nordicharvest.com/nyt/er-planteekstrakter-fremtiden-for-vertical-farming>
- Nordic Harvest (2022c). Genbrug og madspild: Er plastic fantastisk?, abgerufen am 18.04.2024: <https://www.nordicharvest.com/nyt/genbrug-og-madspild-er-plastik-fantastisk>
- Nordic Harvest (2022d). Med jord er det hele bare mere kompliceret, abgerufen am 18.04.2024: <https://www.nordicharvest.com/nyt/med-jord-er-det-hele-bare-mere-kompliceret>
- Nordic Harvest (2022e). På den vertikale farm går vandet i ring, abgerufen am 18.04.2024: <https://www.nordicharvest.com/nyt/pa-den-vertikale-farm-gar-vandet-i-ring>
- Nordic Harvest (2022f). Planterne synger når fytkromerne får det rigtige lys, abgerufen am 18.04.2024: <https://www.nordicharvest.com/nyt/planterne-synger-nar-fytkromerne-far-det-rigtige-lys>
- Nordic Harvest (2022g). Vi kan dyrke alt på den vertikale farm – så hvorfor gør vi det ikke?, abgerufen am 18.04.2024: <https://www.nordicharvest.com/nyt/vi-kan-dyrke-alt-pa-den-vertikale-farm-sa-hvorfor-gor-vi-det-ikke>

- Nordic Harvest (2023a). Der er investeringsfornuft i at tænke i sol og vind sammen med vertical farming, abgerufen am 19.04.2024: <https://www.nordicharvest.com/nyt/der-er-investeringsfornuft-i-at-taenke-i-sol-og-vind-sammen-med-vertical-farming>
- Nordic Harvest (2023b). Derfor tester vi jordbær, abgerufen am 19.04.2024: <https://www.nordicharvest.com/nyt/derfor-tester-vi-jordbaer>
- Nordic Harvest (2023c). Mikroklimaer skal øge kvaliteten på den vertikale farm, abgerufen am 19.04.2024: <https://www.nordicharvest.com/nyt/mikroklimaer-skal-oge-kvaliteten-pa-den-vertikale-farm>
- Nordic Harvest (2023d). Status på udvidelsen: Mere kvalitet og flere afgrøder, abgerufen am 19.04.2024: <https://www.nordicharvest.com/nyt/status-pa-udvidelsen-mere-kvalitet-og-flere-afgroder>
- Nordic Harvest (2024a). Home, abgerufen am 15.04.2024: <https://www.nordicharvest.com/>
- Nordic Harvest (2024b). Om os, abgerufen am 15.04.2024: <https://www.nordicharvest.com/om/omos>
- Nordic Harvest (2024c). Produkter, abgerufen am 15.04.2024: <https://www.nordicharvest.com/produkter/alle>
- Nordic Harvest (2024d). Sådan gør vi, abgerufen am 15.04.2024: <https://www.nordicharvest.com/saadangoervi/sadan-gor-vi>
- Nordic Harvest (2024e). Visionen, abgerufen am 15.04.2024: <https://www.nordicharvest.com/om/visionen>
- Nordic Harvest (o.D.). Bæredygtigt fra Nordic Harvest grønt, Taastrup: Nordic Harvest, abrufbar unter: https://assets.website-files.com/5f4cc8f5f40a6418fab4b108/60757e5ef88583b066c16ff5_NordicHarvestPixelBogOpslag.pdf
- Oh, S./Lu, C. (2023). Vertical farming-smart urban agriculture for enhancing resilience and sustainability in food security, in: *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, Nr. 2, 98. Jg., S. 133-140.
- Orsini, F./Pennisi, G./Michelon, N./Minelli, A./Bazzocchi, G./Sanye-Mengual, E./Gianquinto, G. (2020a). Features and Functions of Multifunctional Urban Agriculture in the Global North: A Review, in: *Frontiers in Sustainable Food Systems*, Art.-Nr. 562513, 4. Jg., S. 1-27.
- Orsini, F./Pennisi, G./Zulfiqar, F./Gianquinto, G. (2020b). Sustainable use of resources in plant factories with artificial lighting (PFALs), in: *European Journal of Horticultural Science*, Nr. 5, 85. Jg., S. 297-309.
- Page, M. J./McKenzie, J. E./Bossuyt, P. M./Boutron, I./Hoffmann, T. C./Mulrow, C. D./Shamseer, L./Tetzlaff, J. M./Akl, E. A./Brennan, S. E./Chou, R./Glanville, J./Grimshaw, J. M./Hróbjartsson, A./Lalu, M. M./Li, T./Loder, E. W./Mayo-Wilson, E./McDonald, S./Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews, in: *Systematic Reviews*, Nr. 1, 10. Jg., o. S.
- Paparella, F./Burt, J. A. (2024). Climate of the United Arab Emirates: Present, Past and Impacts on Life, in: Burt, J. A. (Hrsg.): *A Natural History of the Emirates*, Cham: Springer, S. 65-94.
- Patel, R. (2009). Food Sovereignty, in: *The Journal of Peasant Studies*, Nr. 3, 36. Jg., S. 663-706.
- Pinstrup-Andersen, P. (2018). Is it time to take vertical indoor farming seriously?, in: *Global Food Security*, o. Nr., 17. Jg., S. 233-235.

- Prause, L. (2019). Agrarbewegung, in: Brunner, J./Dobelmann, A./Kirst, S./Prause, L. (Hrsg.): *Wörterbuch Land- und Rohstoffkonflikte*, Bielefeld: transcript Verlag, S. 19-24.
- Prause, L. (2022). Ernährungssouveränität, in: Gottschlich, D./Hackforth, S./Schmitt, T./von Winterfeld, U. (Hrsg.): *Handbuch politische Ökologie. Theorien, Konflikte, Begriffe, Methoden*, Bielefeld: transcript Verlag, S. 155-164.
- Predatory Journals (2022). Is MDPI a predatory publisher? (Updated), abgerufen am 19.07.2024: <https://predatory-publishing.com/is-mdpi-a-predatory-publisher/>
- Radtke, J. (2021). *Die Nachhaltigkeitstransformation in Deutschland. Ein Überblick zentraler Handlungsfelder*, Wiesbaden: Springer VS.
- Rechid, D. (2022). Landwirtschaft: Leidtragende und Mitverursacherin, in: Gottfried, E. (Hrsg.): *Landwirtschaft – Wege aus der Krise, von Artenvielfalt bis Klimawandel*, Berlin: Springer, S. 3-7.
- Reuters (2023). Danish vertical farm looks to grow business, abgerufen am 15.04.2024: <https://www.youtube.com/watch?v=pQ4Z6nQGhkc>
- Rivera, X./Rodgers, B./Odanye, T./Jalil-Vega, F./Farmer, J. (2023). The role of aeroponic container farms in sustainable food systems - The environmental credentials, in: *Science of the Total Environment*, Art.-Nr. 160420, 860. Jg., S. 1-16.
- Romeo, D./Vea, E. B./Thomsen, M. (2018). Environmental impacts of urban hydroponics in Europe: a case study in Lyon, in: *Procedia CIRP*, o. Nr., 69. Jg., S. 540-545.
- Ronge, B. (2016). Solidarische Ökonomie als Lebensform. Eine theoretische Skizze, in: Ronge, Bastian (Hrsg.): *Solidarische Ökonomie als Lebensform. Berliner Akteure des alternativen Wirtschaftens im Porträt*, Bielefeld: transcript Verlag, S. 7-26.
- Rundgren, G. (2018). Commentary: The dream of food without dirt, in: *Agricultural Transformation Review*, o. Nr., 1. Jg., S. 37-45.
- Santarius, T. (2022). Politische Ökologie der Digitalisierung, in: Gottschlich, Daniela/Hackforth, Sarah/Schmitt, Tobias/von Winterfeld, Uta (Hrsg.): *Handbuch politische Ökologie. Theorien, Konflikte, Begriffe, Methoden*, Bielefeld: transcript Verlag, S. 255-264.
- Sashika, M. A. N./Gammanpila, H. W./Priyadarshani, S. V. G. N. (2024). Exploring the evolving landscape: Urban horticulture cropping systems - trends and challenges, in: *Scientia Horticulturae*, Art.-Nr. 112870, 327. Jg., S. 1-12.
- Scholz, F. (1999). *Die kleinen Golfstaaten: 62 Karten und Abbildungen sowie 15 Übersichten und 52 Tabellen*, Gotha/ Stuttgart: Klett-Perthes.
- Shamshiri, R. R./Kalantari, F./Ting, K. C./Thorp, K. R./Hameed, I. A./Weltzien, C./Ahmad, D./Shad, Z. M. (2018). Advances in greenhouse automation and controlled environment agriculture: A transition to plant factories and urban agriculture, in: *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, Nr. 1, 11. Jg., S. 1-22.
- Stein, E. W. (2021). The Transformative Environmental Effects Large-Scale Indoor Farming May Have On Air, Water, and Soil, in: *Air, Soil and Water Research*, o. Nr., 14. Jg., S. 1-8.
- United Arab Emirates (2024). National Food Security Strategy 2051, abgerufen am 16.07.2024: <https://u.ae/en/about-the-uae/strategies-initiatives-and-awards/strategies-plans-and-visions/environment-and-energy/national-food-security-strategy-2051>

- Van Delden, S. H./Sharath Kumar, M./Butturini, M./Graamans, L. J. A./Heuvelink, E./Kacira, M./Kai-ser, E./Klamer, R. S./Klerkx, L./Kootstra, G./Loeber, A./Schouten, R. E./Stanghellini, C./van Ie-peren, W./Verdonk, J. C./Vlaet-Chabrand, S./Woltering, E. J./van de Zedde, R./Zhang, Y./Marcelis, L. F. M. (2021). Current status and future challenges in implementing and upscaling vertical farming systems, in: *Nature Food*, Nr. 12, 2. Jg., S. 944-956.
- Vetter, A./Schmelzer, M. (2022). Degrowth, in: Gottschlich, D./Hackforth, S./Schmitt, T./von Winterfeld, U. (Hrsg.): *Handbuch politische Ökologie. Theorien, Konflikte, Begriffe, Methoden*, Bielefeld: transcript Verlag, S. 331-340.
- Vetter, A. (2023). *Konviviale Technik: Empirische Technikethik für eine Postwachstumsgesellschaft*, Bielefeld: transcript Verlag.
- Weidner, T./Yang, A./Forster, F./Hamm, M. W. (2022). Regional conditions shape the food-energy-land nexus of low-carbon indoor farming, in: *Nature Food*, Nr. 3, 3. Jg., S. 206-216.
- Wetterich, C./Plänitz, E. (2021). *Systematische Literaturanalysen in den Sozialwissenschaften: Eine praxisorientierte Einführung*, Opladen (u.a.): Verlag Barbara Budrich.
- Winiwarter, W./Leip, A./Tuomisto, H. L./Haastrup, P. (2014). A European perspective of innovations towards mitigation of nitrogen-related greenhouse gases, in: *Current Opinion in Environmental Sustainability*, o. Nr., 9.-10. Jg., S. 37-45.
- Woertz, E. (2013). *Oil for Food: The Global Food Crisis and the Middle East*, New York: Oxford University Press.
- World Bank Group (2024). United Arab Emirates, abgerufen am 02.06.2024:
<https://data.worldbank.org/country/united-arab-emirates>
- Yesil, V./Tatar, O. (2020). An innovative approach to produce forage crops: Barley fodder in vertical farming system, in: *Scientific Papers, Series A. Agronomy*, Nr. 1, 63. Jg., S. 723-728.
- Yin, R. K. (2018). *Case Study Research and Applications: Design and Methods*, Los Angeles u.a.: SAGE.
- Ylikoski, P./Zahle, J. (2019). Case study research in the social sciences, in: *Studies in History and Philosophy*, o. Nr., 78. Jg., S. 1-4.
- Yuan, G. Ning/Marquez, G. P. B./Deng, H./Iu, A./Fabella, M./Salonga, R. B./Ashardiono, F./Cartagena, J. A. (2022). A review on urban agriculture: technology, socio-economy, and policy, in: *Heliyon*, Nr. 11, 8. Jg., S. 1-16.

Anhang

Anhang 1: Verwendete *Search Strings* und Ein- und Ausschlusskriterien

Anhang 2: *WoS*- und informelles Sample

Anhang 3: Charakteristika der in der SLR genutzten Publikationen

Anhang 4: Fragenkatalog

Anhang 5: Beantwortung des Fragenkatalogs

Anhang 1: Verwendete *Search Strings* und Ein- und Ausschlusskriterien

Die Suche wurde am 12.03.2024 in der *Core Collection* des *Web of Science* durchgeführt.

Set	<i>Search Strings</i>	Grund	Treffer in WoS
#1	“vertical farm*“ OR “vertical agri*”	Bezug zu Vertical Farming	536
#2	Opportunit* OR advant* OR benefit* OR challenge* OR disadvant* OR problem* OR deficit* OR barrier*	Kosten und Nutzen	6,454,362
#3	Socio* OR ecol* OR social* OR environment* OR sustainab*	Sozial-ökologische Ausrichtung	6,527,920
#4	#1 AND #2 AND #3	Kombination, um Forschungsfrage zu beantworten	190
#5	#1 AND #2 AND #3 exklusive Publisher MDPI	Nur gute wissenschaftliche Praxis	134
#6	#1 AND #2 AND #3 exklusive <i>Editorial Material</i> und <i>Proceeding Paper</i>	Exklusion von nicht-erwünschten Publikationsformen	130

Operationalisierung der Frage „Welche sozial-ökologischen Kosten und Nutzen hat das Vertical Farming?“

Ein- und Ausschlusskriterien:

- Sprachen: Englisch und Deutsch
- Publikationsarten: Article, Review Article, Early Access, Book Chapter
- Publikation behandelt soziale und/oder ökologische Kosten und/oder Nutzen des Vertical Farmings
- Ist von wissenschaftlich hoher Qualität (Unbefangenheit der Autor*innen und Argumente, die auf einer klaren Datenlage beruhen. Durch Ausschluss von MDPI stärker gewahrt.)
- Disziplinen werden vorher nicht eingeschränkt
- Thematische Breite der Artikel wird vorher nicht eingeschränkt

Anhang 2: WoS- und informelles Sample**WoS-Sample**

Autor*innen	Jahr der Veröf-fentli-chung	Titel	Quelle
Ahamed, Sultan, Mon-fet, Rahman, Zhang, Zahid, Bilal, Ahsan, A-chour	2023	A critical review on efficient thermal environment controls in indoor vertical farming	Journal of Cleaner Production
Al-Chalabi	2015	Vertical farming: Skyscraper sustainability?	Sustainable Cities and Society
Azzaretti, Schimelpfenig	2022	Perspective: Benchmarking opportunities can contribute to circular food systems in controlled environment agriculture	Applied Engineering in Agriculture
Benis, Reinhart, Fer-rao	2017	Development of a simulation-based decision support workflow for the implementation of Building-Integrated Agriculture (BIA) in urban contexts	Journal of Cleaner Production
Besthorn	2013	Vertical Farming: Social Work and Sustainable Urban Agriculture in an Age of Global Food Crises	Australian Social Work
Blom, Steegemann, Voss, Sonneveld,	2022	Food in the cold: exploring food security and sovereignty in Whitehorse, Yukon	International Journal of Circumpolar Health
Blom, Jenkins, Pul-selli, van den Dobbels-ten	2022	The embodied carbon emissions of lettuce production in vertical farming, greenhouse horticulture, and open-field farming in the Netherlands	Journal of Cleaner Production
Bomford	2023	More bytes per acre: do vertical farming's land sparing promises stand on solid ground?	Agriculture and Human Values
Carolan	2020	Urban Farming Is Going High Tech Digital Urban Agriculture's Links to Gentrification and Land Use	Journal of the American Planning Association

Casey, Freeman, Francis, Brychkova, McKeown, Spillane, Bezrukov, Zaworotko, Styles	2022	Comparative environmental footprints of lettuce supplied by hydroponic controlled-environment agriculture and field-based supply chains	Journal of Cleaner Production
Cifuentes-Torres, Mendoza-Espinosa, Correa-Reyes, Daessle	2021	Hydroponics with wastewater: a review of trends and opportunities	Water and Environment Journal
Cowan, Ferrier, Spears, Dreher, Reay, Skiba	2022	CEA Systems: the Means to Achieve Future Food Security and Environmental Sustainability?	Frontiers in Sustainable Food Systems
Eigenbrod, Gruda	2015	Urban vegetable for food security in cities	Agronomy for Sustainable Development
Gentry	2019	Local heat, local food: Integrating vertical hydroponic farming with district heating in Sweden	Energy
Germer, Sauerborn, Asch, de Boer, Schreiber, Weber, Müller	2011	Skyfarming: an ecological innovation to enhance global food security	Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit
Glaros, Newell, Benyam, Pizzirani, Newman	2024	Vertical agriculture's potential implications for food system resilience: outcomes of focus groups in the Fraser Valley, British Columbia	Ecology and Society
Gwynn-Jones, Dunne, Donnison, Robson, Sanfratello, Schlarb-Ridley, Hughes, Convey	2018	Can the optimisation of pop-up agriculture in remote communities help feed the world?	Global Food Security – Agriculture Policy Economics and Environment
Khalaf, Gamil, Attiya, Cuello	2023	Exploring the potential of concentrating solar power technologies for vertical farming in arid regions: The case of Western Iraq	Energy for Sustainable Development
Klerkx, Rose	2020	Dealing with the game-changing technologies of Agriculture 4.0: How do we manage diversity and responsibility in food system transition pathways?	Global Food Security – Agriculture Policy Economics and Environment

Li, Li, Chong, Wang, Wang	2020	A decision support framework for the design and operation of sustainable urban farming systems	Journal of Cleaner Production
Lin, Gomez-Maqueo	2023	Strengthening food security through alternative carbohydrates in the city-state of Singapore	Frontiers in Sustainable Food Systems
Martin, Weidner, Gullstrom	2022	Estimating the Potential of Building Integration and Regional Synergies to Improve the Environmental Performance of Urban Vertical Farming	Frontiers in Sustainable Food Systems
McCartney, Lefsrud	2018	Protected agriculture in extreme environments: A review of controlled environment agriculture in tropical, arid, polar, and urban locations	Applied Engineering in Agriculture
Mina, Peira, Bonadonna	2023	Public perception and social sustainability of indoor farming technologies	Technology in Society
Mok, Tan, Chen	2020	Technology innovations for food security in Singapore: A case study of future food systems for an increasingly natural resource-scarce world	Trends in Food Science & Technology
Muller, Ferre, Engel, Gattlinger, Holzkamper, Huber, Mueller, Six	2017	Can soil-less crop production be a sustainable option for soil conservation and future agriculture?	Land Use Policy
Nicola, Pignata, Ferrante, Bulgari, Coccetta, Ertani	2020	Water use efficiency in greenhouse systems and its application in horticulture	Agrolife Scientific Journal
Oh, Lu	2023	Vertical farming-smart urban agriculture for enhancing resilience and sustainability in food security	Journal of Horticultural Science & Biotechnology
Orsini, Pennisi, Michelon, Minelli, Bazzocchi, Sanye-Mengual, Gianquinto	2020	Features and Functions of Multifunctional Urban Agriculture in the Global North	Frontiers in Sustainable Food Systems
Orsini, Pennisi, Zulfiquar, Gianquinto	2020	Sustainable use of resources in plant factories with artificial lighting (PFALs)	European Journal of Horticultural Science

Rivera, Rodgers, Odanye, Jalil-Vega, Farmer	2023	The role of aeroponic container farms in sustainable food systems - The environmental credentials	Science of the Total Environment
Sashika, Gammanpila, Priyadarshani	2024	Exploring the evolving landscape: Urban horticulture cropping systems - trends and challenges	Scientia Horticulturae
Shamshiri, Kalantari, Ting, Thorp, Hameed, Weltzien, Ahmad, Shad	2018	Advances in greenhouse automation and controlled environment agriculture: A transition to plant factories and urban agriculture	International Journal of Agricultural and Biological Engineering
Stein	2021	The Transformative Environmental Effects Large-Scale Indoor Farming May Have On Air, Water, and Soil	Air, Soil and Water Research
van Delden, Sharath Kumar, Butturini, Graamans, Heuvelink, Kacira, Kaiser, Klamer, Klerkx, Loeber, Schouten, Stanghellini, van Ieperen, Verdonk, Viallet-Chabrand, Woltering, van de Zedde, Zhang, Marcelis	2021	Current status and future challenges in implementing and upscaling vertical farming systems	Nature Food
Weidner, Yang, Foster, Hamm	2022	Regional conditions shape the food-energy-land nexus of low-carbon indoor farming	Nature Food
Winiwarter, Leip, Tuomisto, Haastrup	2014	A European perspective of innovations towards mitigation of nitrogen-related greenhouse gases	Current Opinion in Environmental Sustainability
Yesil, Tatar	2024	An innovative approach to produce forage crops: Barley fodder in vertical farming system	Scientific Papers, Series A. Agronomy
Yuan, Marquez, Deng, Iu, Fabella, Salonga, Ashardiono, Cartagena	2022	A review on urban agriculture: technology, socio-economy, and policy	Heliyon

Informelles Sample

Autor*innen	Jahr der Veröffentlichung	Titel	Quelle
Beacham, Vickers, Monaghan	2019	Vertical farming: a summary of approaches to growing skywards	The Journal of Horticultural Science and Biotechnology
Glaros, Marquis, Major, Quarshie, Ashton, Green, Kc, Newman, Newell, Yada, Fraser	2022	Horizon scanning and review of the impact of five food and food production models for the global food system in 2050	Trends in Food Science and Technology
Kalantari, Mohd Tahir, Akbari Joni, Fatemi	2018	Opportunities and challenges in sustainability of vertical farming: A review	Journal of Landscape Ecology
Romeo, Vea, Thomsen	2018	Environmental impacts of urban hydroponics in Europe: a case study in Lyon	Procedia CIRP
Rundgren	2018	Commentary: The dream of food without dirt	Agricultural Transformation Review

Anhang 3: Charakteristika der in der SLR genutzten Publikationen

Publikation	Länder, in denen die Autor*innen forschen	Research Areas (aus WoS)	Thematischer Schwerpunkt	Bewertung des VF
Ahamed et al. (2023)	USA, Pakistan, Marokko	Science & Technology - Other Topics; Engineering; Environmental Sciences & Ecology	Ausgeglichen	Eher positiv
Al-Chalabi (2015)	Großbritannien	Construction & Building Technology; Science & Technology - Other Topics; Energy & Fuels	Ökologisch	Eher positiv
Azzaretti/Schimelpfenig (2022)	USA	Agriculture	Ausgeglichen	Eher positiv
Beacham et al. (2019)	Großbritannien	-	Ausgeglichen	Ausgeglichen
Benis et al. (2017)	Portugal, USA	Science & Technology - Other Topics; Engineering; Environmental Sciences & Ecology	Ökologisch	Eher positiv
Besthorn (2013)	USA	Social Work	Eher sozial	Eher positiv
C. Blom et al. (2022)	Niederlande, Kanada	Public, Environmental & Occupational Health	Eher sozial	Positiv
T. Blom et al. (2022)	Niederlande, Italien	Science & Technology - Other Topics; Engineering; Environmental Sciences & Ecology	Ökologisch	Eher positiv
Bomford (2023)	USA	Agriculture; History & Philosophy	Eher ökologisch	Negativ

		of Science; Sociology		
Carolan (2020)	USA	Public Administration; Urban Studies	Sozial	Eher negativ
Casey et al. (2022)	Irland, Großbritannien, Japan	Science & Technology - Other Topics; Engineering; Environmental Sciences & Ecology	Ökologisch	Ausgeglichen
Cifuentes-Torres et al. (2021)	Mexiko	Environmental Sciences & Ecology; Marine & Freshwater Biology; Water Resources	Ökologisch	Positiv
Cowan et al. (2022)	Großbritannien	Food Science & Technology	Ausgeglichen	Ausgeglichen
Eigenbrod/Gruda (2015)	Deutschland	Agriculture; Science & Technology - Other Topics	Ausgeglichen	Ausgeglichen
Gentry (2019)	Schweden	Thermodynamics; Energy & Fuels	Eher ökologisch	Positiv
Germer et al. (2011)	Deutschland	Food Science & Technology	Eher ökologisch	Eher positiv
Glaros et al. (2022)	Kanada	-	Ausgeglichen	Ausgeglichen
Glaros et al. (2024)	Kanada	Environmental Sciences & Ecology	Sozial	Ausgeglichen
Gwynn-Jones (2018)	Großbritannien	Food Science & Technology	Ökologisch	Eher sozial
Kalantari et al. (2018)	Malaysia	-	Ausgeglichen	Eher positiv
Khalaf et al. (2023)	USA, Iran	Science & Technology - Other Topics; Energy & Fuels	Eher ökologisch	Eher positive

Klerkx/Rose (2020)	Niederlande, Großbritannien	Food Science & Technology	Sozial	Eher negativ
Li et al. (2020)	Singapur	Science & Technology - Other Topics; Engineering; Environmental Sciences & Ecology	Eher ökologisch	Ausgeglichen
Lin/Gomez-Maqueo (2023)	Singapur	Food Science & Technology	Ausgeglichen	Positiv
Martin et al. (2022)	Schweden, Schweiz, Großbritannien	Food Science & Technology	Ökologisch	Eher positiv
McCartney/Lefsrud (2018)	Kanada	Agriculture	Ausgeglichen	Ausgeglichen
Mina et al. (2023)	Italien	Social Issues; Social Sciences - Other Topics	Eher sozial	Ausgeglichen
Mok et al. (2020)	Singapur	Food Science & Technology	Ausgeglichen	Eher positiv
Muller et al. (2017)	Schweiz, Deutschland	Environmental Sciences & Ecology	Ausgeglichen	Ausgeglichen
Nicola et al. (2020)	Italien	Agriculture	Ausgeglichen	Positiv
Oh/Lu (2023)	Großbritannien	Agriculture	Ausgeglichen	Eher positiv
Orsini et al. (2020a)	Italien	Food Science & Technology	Ausgeglichen	Ausgeglichen
Orsini et al. (2020b)	Italien, Pakistan	Agriculture	Eher ökologisch	Eher positiv
Rivera et al. (2023)	Großbritannien, Chile	Environmental Sciences & Ecology	Ausgeglichen	Eher positiv
Romeo et al. (2018)	Dänemark	-	Eher ökologisch	Eher positiv
Rundgren (2018)	Schweden	-	Ausgeglichen	Negativ
Sashika et al. (2024)	Sri Lanka	Agriculture	Ausgeglichen	Eher positiv

Shamshiri et al. (2018)	Malaysia, Norwegen, USA, Deutschland	Agriculture	Ausgeglichen	Positiv
Stein (2021)	USA	Environmental Sciences & Ecology	Ausgeglichen	Eher positiv
van Delden et al. (2021)	Niederlande, USA	Food Science & Technology	Ausgeglichen	Ausgeglichen
Weidner et al. (2022)	Großbritannien, Schweiz, USA	Food Science & Technology	Ökologisch	Ausgeglichen
Winiwarter et al. (2014)	Österreich, Italien	Science & Technology - Other Topics; Environmental Sciences & Ecology	Ökologisch	Ausgeglichen
Yesil/Tatar (2020)	Türkei	Agriculture	Eher ökologisch	Eher positiv
Yuan et al. (2022)	Japan	Science & Technology - Other Topics	Ausgeglichen	Ausgeglichen

Anhang 4: Fragenkatalog

Folgende Fragen wurden an *Bustanica* und *Nordic Harvest* per E-Mail versendet:

1. How much land was sealed in total for the construction of Bustanica/Nordic Harvest and the surrounding area?
2. What's your marketing strategy? Does direct marketing play a role? Do you cooperate with retail companies and/or processing industries?
3. How long are transport routes of your goods?
4. What kind of fertilizer and how much of it is used?
5. Do you not use any form of pesticide at all?
6. How much water is used?

Angepasst an die Gegebenheiten der jeweiligen VF und die Informationen, welche der Autorin bereits vorlagen, wurden darüber hinaus eine bzw. zwei spezielle Fragen an *Nordic Harvest* und *Bustanica* gerichtet:

Frage für *Bustanica*:

1. What energy source is used to power Bustanica? How high is the overall energy consumption?

Fragen für *Nordic Harvest*:

1. Do you solely rely on wind energy? How high is the overall energy consumption?
2. What's the overall yearly output?

Anhang 5: Beantwortung des Fragenkatalogs

Der Fragenkatalog wurden am 05.03.2024 von dem *Nordic Harvest*-Mitarbeiter Flemming Dyring beantwortet. Dies geschah per E-Mail.

Hi Nina,

Thank you for your mail and interest in Nordic Harvest.

I have tried to answer your questions in yellow below although some of them are nearly impossible to answer as we are doing a lot of experiments. Just for your knowledge we are spending around 1.000 hours of R&D every month.

All those experiments are being done as we have to be ready with a consistent production and new products after our big expansion which is hopefully finish in Q12025. The new facility is expected to deliver apx. 1.000 Tons of herbes/salads/kale each year.

Best regards,

Flemming

1. How much land was sealed in total for the construction of Nordic Harvest and the surrounding area?

The area is called Copenhagen Markets. And it is difficult to say as we are sharing the building with other companies and all surroundings are build to cover several large companies with a lot of traffic. The current footprint for our production including support areas is about 3,500m². The surroundings necessary for us would be a parking space and a small road around the factory for trucks to pick up our products.

2. What's your marketing strategy? Does direct marketing play a role? Do you cooperate with retail companies and/or processing industries? We don't spend much time on marketing as we have one big customer (Salling Group). They are owners of Foetex and Bilka where we have been in the stores for the past three years. Salling is taking care of the marketing in their own stores and doing the storytelling.

3. How long are transport routes of your goods? Our products are being picked up twice a week and transported to two big storage facilities. One is apx 10 km away covering east of Denmark and the other 250-300 km covering west of Denmark. From those storages Salling is doing the distribution to 120 supermarkets placed in whole Denmark.

4. What kind of fertilizer and how much of it is used? I can not go deeper into specific fertilizers and kg's. But overall we are making our own fertilizer out of parameters as Na, Zn, Cl, S, Mg, B, Ca, Si, NO₃, Cu, Mo, K, Fe, Mn and a couple of others I don't remember.

5. *Do you not use any form of pesticide at all?* Pesticides are covering a lot of different parameters so we are not allowed to call us 100% free of pesticides. But we are not using the “dangerous” ones. The ones we are using are totally harmless compared to the pesticides you talk about when looking at conventional farming.

6. *Do you solely rely on wind energy?* How high is the overall energy consumption? Yes (off shore). It varies a lot as we are doing many experiments. I think it is a bit under 2mkWh the last 12mth.

7. *How much water is used?* Apx. 300.000l and changed every 40 days. Again not consistent due a lot of experiments.

8. *What's the overall yearly output?* Super huge difference from week to week because of experiments. And weight difference between salads and herbs varies a lot.