

# *Vertical Farming*

*Technologische Innovation zur  
Umgestaltung des globalen  
Ernährungssystems*

*„So, over the next 40 years you might have three more billion people to feed. And you look around for the land where that’s going to come from in terms of traditional farms and you don’t find it. It isn’t there.“*

Dickson Despommier, Professor für Public Health an der *Columbia University*,  
zitiert nach: Sabry (2022, Vertical Farming)

*„Investments in agriculture are the best weapons against hunger and poverty, and they have made life better for billions of people.“*

Bill Gates, *Microsoft* Gründer,  
zitiert nach: Gates Foundation (2012, Changes Needed)

*„Even though we all want fresh produce 365 days a year, it does not grow where most of us live. Most of our fruits and vegetables come from California or Florida, and they have to come all the way across the country. The issue is that with all the droughts and all the expensive land and just lack of available land, we have to import more and more produce from other countries. That’s a few more food miles [...]. So, food companies have invented a way to make our produce more durable so that they can handle thousands of miles of transport.“*

Mike Zelkind, CEO & Co-Founder *80 Acres Farms*,  
zitiert nach: Bold Business (2019, Next Frontier)

*Die im Vorwort erwähnten Publikationen  
haben Ihr Interesse geweckt?  
Diese QR-Codes führen Sie zu den Analysen.*



Bad Homburg, Januar 2023

## Vorwort

Liebe Leserinnen und Leser,

geopolitische Spannungen, steigende Preise für Grundnahrungsmittel und die Fragmentierung der globalen Lieferketten stellen die Welt derzeit vor ernste Herausforderungen. Der Krieg in der Ukraine, mit all seinen schmerzhaften Folgen für viele Menschen, hat schlaglichtartig ein Grundproblem der globalen Nahrungssysteme verdeutlicht: Die hohe Abhängigkeit der Welternährung von großen landwirtschaftlichen Produktions- und Exportländern sowie deren laufender Lieferfähigkeit.

Die Ukraine und Russland gehören zu den weltweit wichtigsten Getreideproduzenten. Fast 50 Länder sind mit mindestens 30 % ihres Getreidebedarfs von Russland und der Ukraine abhängig. Die beiden Länder produzieren ein Drittel des weltweiten Weizens und andere wichtige Bestandteile der Welternährung wie Sonnenblumenöl und Düngemittel. Ein partieller Ausfall russischer Dünge- und Nahrungsmittelsexporte, verstärkt durch massive Einschränkungen ukrainischer Getreidelieferungen, bedroht viele Entwicklungs- und Schwellenländer mit Hunger, Wut und politischer Destabilisierung.

Als zentraler Risikofaktor für die Welternährung rückt aber vor allem der **weltweite Klimawandel** in den Fokus: Zunehmende Dürrephasen, Unwetter und andere extreme Klimaereignisse bedrohen künftig große Teile der traditionellen Landwirtschaft. Diese Verschärfungen werden die kommenden Jahrzehnte entscheidend prägen.

Somit ist klar absehbar, dass **alternative Wege der Nahrungsmittelproduktion** immer wichtiger werden, um die ausreichende Versorgung einer wachsenden Weltbevölkerung garantieren zu können. Neuartige Verfahren und innovative Technologien spielen dabei eine wesentliche Rolle:

- ▶ Die Kombination moderner Ansätze wie Robotik, Sensorik, künstlicher Intelligenz und digitaler Bildverarbeitung ermöglicht in Zukunft eine nachhaltigere und ressourcenschonendere Produktion von Lebensmitteln, die auch im Einklang mit den *Pariser Klimazielen* steht.

Ein übergreifendes Stichwort dazu ist „**Vertical Farming**“ – eine Sonderform der urbanen Landwirtschaft, die eine hochgradig automatisierte, ganzjährige Produktion von Nahrungsmitteln in Innenräumen unter vollständig kontrollierten Umweltbedingungen ermöglicht. Ein solcher Ansatz zeigt einen innovativen Lösungsweg auf, der Teile der Agrarwirtschaft deutlich autonomer und digitaler gestalten wird.

Der vorliegende *Cognitive Comment* betont die Notwendigkeit einer Transformation traditioneller Nahrungsmittelproduktion hin zu alternativen „*Food Systems*“. Die Publikation baut auf der im Jahr 2020 veröffentlichten Studie „*Zukunftstrend Alternative Food*“ des FERI Cognitive Finance Institute auf und berücksichtigt darüber hinaus Ideen aus der im letzten Jahr veröffentlichten Studie „*Sustainable Blue Economy*“. Konkrete Zielsetzung der Analyse ist ein Überblick, welche Möglichkeiten das Konzept „*Vertical Farming*“ bereits heute für das Agrar- und Lebensmittelsystem bietet und welches Potential sich daraus in Zukunft ergeben kann.

Wir wünschen eine erkenntnisreiche Lektüre!



Dr. Heinz-Werner Rapp  
Gründer & Leiter Steering Board  
FERI Cognitive Finance Institute



Julia Bahlmann  
Projektmanagerin  
FERI Cognitive Finance Institute

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Executive Summary .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Ausgangslage: Warum muss das Agrarsystem revolutioniert werden? .....</b>	<b>3</b>
2.1	Bevölkerungsdynamik, Verstädterung, Klimawandel .....	3
2.2	Nahrungsmittelkrise – Abhängigkeiten im Agrarsystem und Resilienz .....	5
<b>3</b>	<b>Lösungsansatz: Vertical Farming – die autonome und digitale Agrarwirtschaft der Zukunft? ...</b>	<b>7</b>
3.1	Definition, Anbaumethode/-systeme, Produktpalette .....	7
3.2	Vor- und Nachteile .....	12
3.3	Bestehende Projekte und Anbieter .....	15
<b>4</b>	<b>Fazit und Ausblick: Strategisches Potential für das Agrar- und Lebensmittelökosystem .....</b>	<b>17</b>
	Erläuterungen .....	20
	Literaturverzeichnis .....	22

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Vertical Farming – Die wichtigsten Treiber .....	2
Abb. 2:	Anteil von Methan an globalen, anthropogenen Treibhausgas-Emissionen (2017) und Herkunft der Methan-Emissionen .....	4
Abb. 3:	Weltweiter Rückgang der Ackerflächen von 1961-2013 .....	4
Abb. 4:	Die größten weltweiten Weizenexporteure .....	5
Abb. 5:	Hauptkomponenten von Vertical Farming .....	8
Abb. 6:	Unterschiedliche Typen und Konfigurationen von Vertical Farming .....	10
Abb. 7:	Durchschnittliche Produktionskosten im Vergleich der Anbaumethoden am Beispiel für den Anbau von Salat .....	13
Abb. 8:	Wesentliche Unterscheide zwischen den Kulturverfahren: Indoor Farm, Gewächshaus und Freiland anhand wichtiger Kenngrößen .....	13

# 1 Executive Summary

- Schwindende landwirtschaftliche Anbauflächen bei zunehmendem Bevölkerungswachstum, knapper werdende Ressourcen sowie die absehbaren Folgen des globalen Klimawandels verstärken die Notwendigkeit für innovative Lösungen zur Lebensmittelsicherung.
- Traditionelle Landwirtschaft beinhaltet die Nutzung vieler Pestizide und GMOs (genetisch modifizierte Organismen), die nicht nur einen erheblichen Einfluss auf Nährwert, Frische, Geschmack und Gesundheit haben, sondern auch mit Auswirkungen auf Klima und Umwelt verbunden sind, u.a. durch klimawirksame Treibhausgase. Hinzu kommen lange und fragmentierte Lieferketten, die eine effiziente Verteilung der Nahrungsmittel erschweren.
- Insgesamt stehen traditionelle Ernährungs- und Agrarsysteme (gesamthaft: „*Food Systems*“) vor tiefgreifenden Problemen und wachsender Fragilität; sie müssen mit resilienten und diversifizierten Nahrungsmittelketten sowie innovativen technologischen Lösungen ergänzt und erweitert werden, um eine nachhaltigere, ressourcenschonendere und effizientere Produktion von Lebensmitteln zu ermöglichen.<sup>1</sup>
- Unterstützt werden diese Veränderungsprozesse in der Agrarwirtschaft auch auf politischer Ebene. Regulatorische Initiativen nehmen zunehmend Einfluss auf die weitere Entwicklung innovativer Umsetzungsmöglichkeiten und leiten bereits aktiv globale Kapitalströme.<sup>2</sup>

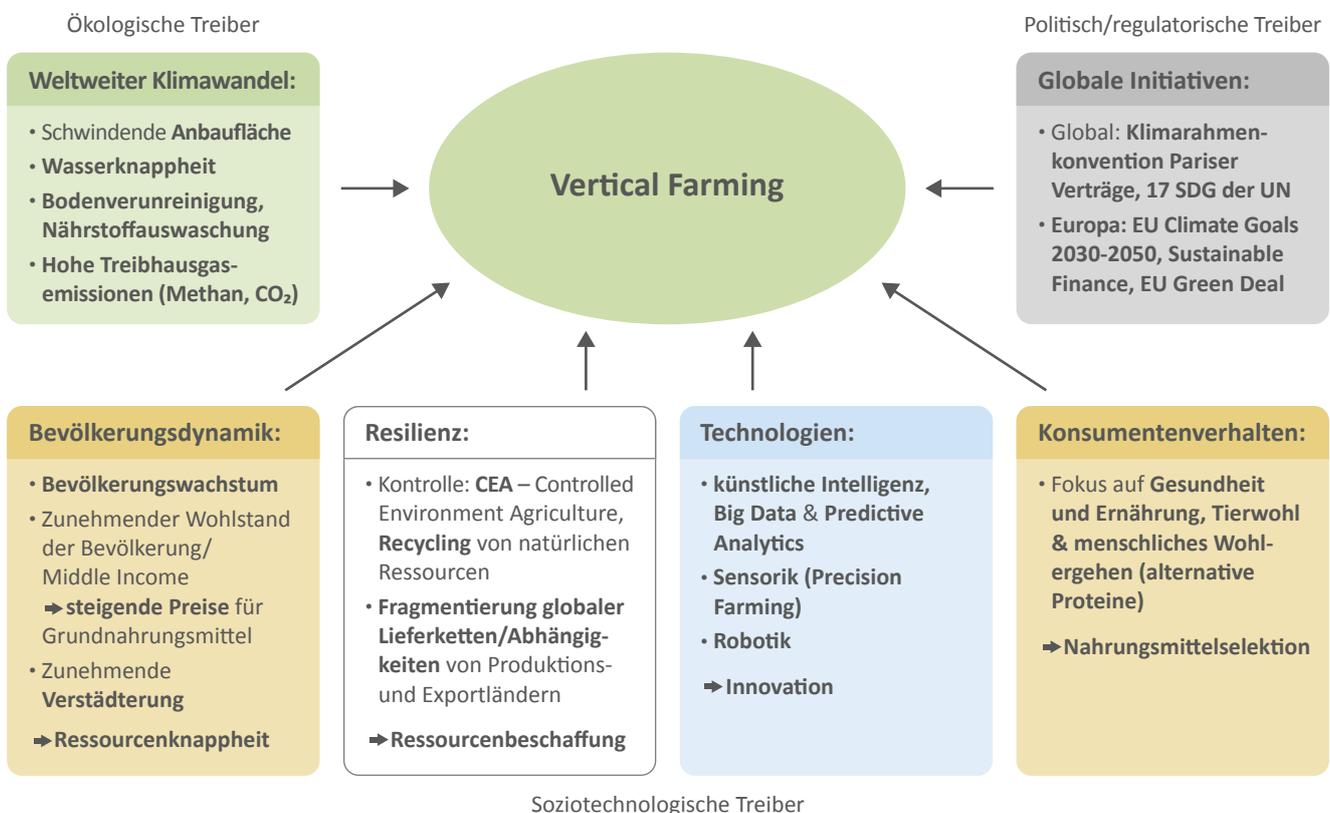
Der Begriff **Food Systems** umfasst alle Prozesse und Infrastrukturen, die an der Ernährung beteiligt sind: Anbau, Ernte, Verarbeitung, Verpackung, Transport, Vermarktung, Verbrauch und Entsorgung von Nahrungsmitteln und nahrungsbezogenen Gütern. *Food Systems* werden darüber hinaus stark von einem sozialen, politischen, wirtschaftlichen und ökologischen Kontext beeinflusst.

- **Unter *Vertical Farming* versteht man eine Sonderform der urbanen Landwirtschaft, die mit Hilfe neuer Technologien und unter kontrollierten Bedingungen eine effiziente Produktion pflanzlicher und tierischer Nahrungsmittel ermöglicht. Diese kann in mehrstöckigen Gebäuden im Ballungsraum großer Städte stattfinden – und somit sehr nahe am Endverbraucher.**

- Visionär und Begründer des *Vertical Farming* ist der US-amerikanische Biologe Prof. Dr. Dickson Despommier (Autor: *The Vertical Farm: Feeding the World in the 21st Century*), der bereits 1999 den Grundstein für die Idee der Produktionsverlagerung vom Boden in die Höhe gelegt hat, um eine Produktionssteigerung auf kleinster Fläche zu gewährleisten.
- *Vertical Farming* weist sowohl ökologische als auch ökonomische Vorteile auf: Für den Anbau von Pflanzen werden beim *Vertical Farming*-Technologien wie Hydroponik, Aquaponik und Aeroponik genutzt, um den Bedarf an Erde oder Sonnenlicht zu eliminieren, während KI-Parameter die Luftfeuchtigkeit und Temperatur anpassen, um die klimatischen Bedingungen für Pflanzen zu optimieren. Somit können Ressourcenverbrauch (Energie, Wärme, Wasser, Nährstoffe, Pflanzenschutzmittel), Qualität (Just in Time (JIT), Homogenität), Erträge (Ertragsmaximierung und ganzjährige Produktion) und Umweltfaktoren (Oberflächenversiegelung, Carbon Footprint, Bodenverunreinigung) nachhaltig beeinflusst werden.
- Man spricht aufgrund der kontrollierten Rahmenbedingungen von *Controlled Environment Agriculture (CEA)*, einer Produktion von Nutzpflanzen unter der Kontrolle spezifischer Umweltaspekte, die automatisiert gesteuert werden.
- Im Vergleich zum traditionellen Anbau kann durch *Vertical Farming* ein höherer und kalkulierbarer Ernteertrag bei geringerem Platzbedarf erzielt werden. Gleichzeitig stehen den Vorteilen erhebliche Investitionskosten gegenüber (Material-, Energie- und Technikaufwand).

- Unternehmen und Start-ups arbeiten zusammen, um Konsumenten ein breites Produktportfolio anzubieten. Dieses reicht aktuell von Obst und Gemüse (u.a. Beeren, Frucht- und Blattgemüse) bis hin zu zahlreichen Kräutersorten und kosmetischen/medizinischen Produkten. Darüber hinaus können auch mit Fisch und Shrimps (sowie mit Pilzen) wertvolle Proteine erzeugt werden.
- Berechnungen zufolge wird der Markt für vertikale Landwirtschaft in den nächsten Jahren rasant wachsen: von 4,16 Mrd. USD im Jahr 2022 auf 20,91 Mrd. USD im Jahr 2029. Bis 2029 wird für die Branche eine Compound Annual Growth Rate (CAGR: jährliche Wachstumsrate) von knapp 26 % prognostiziert.<sup>3</sup>
- Soziotechnologische, ökologische und politisch/regulatorische Treiber des Marktes sind neben einer veränderten Bevölkerungsdynamik, Anpassungsprozessen (Resilienz), einem bewussteren Konsumentenverhalten, dem weltweiten Klimawandel, globalen regulatorischen Initiativen, insbesondere die zunehmende Automatisierung in der Landwirtschaft, der technologische Einsatz von künstlicher Intelligenz (KI), Big Data und Predictive Analytics zur Maximierung der Erträge sowie die gezielte Verwendung von Sensoren und Robotik (vgl. Abb. 1).
- Ein enges Zusammenspiel von Politik, Wirtschaft und Ökologie ist erforderlich, um das Konzept langfristig erfolgreich zu etablieren und zur Ergänzung der Nahrungsmittelproduktion beizutragen.
- Für Investoren und Vermögensinhaber bietet das Thema *Vertical Farming* vielfältige Chancen. Eine intensive Begutachtung des Trends scheint somit sinnvoll und empfehlenswert.

Abb. 1: Vertical Farming – Die wichtigsten Treiber



Quelle: FERI Cognitive Finance Institute, 2023

## 2 Ausgangslage: Warum muss das Agrarsystem revolutioniert werden?

### 2.1 Bevölkerungswachstum, Verstädterung, Klimawandel

Durch eine stetig **wachsende Weltbevölkerung** sowie den Anspruch der Konsumenten auf eine gesunde, nachhaltige, regionale und transparente Lebensmittelherstellung wird die herkömmliche Agrarwirtschaft zunehmend überfordert. Prognosen zufolge wird sich die Weltbevölkerung bis zum Jahr 2050 um 2,5 Mrd. auf knapp 9,7 Mrd. erhöhen. Das bedeutet eine zusätzliche Ernährung von zwei Milliarden Menschen und damit eine Steigerung der Nahrungsmittelproduktion um 70 %.<sup>4</sup> Bis 2050 bräuchte man demnach eine Landfläche der Größe Brasiliens, um die gesamte Bevölkerung ernähren zu können.<sup>5</sup>

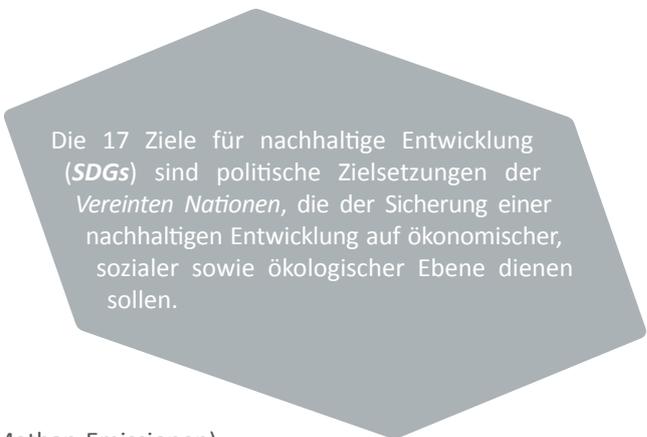
Zudem wird das Weltbevölkerungswachstum in den nächsten Jahren räumlich konzentrierter und geballter stattfinden, da die Anzahl der Menschen, die in **urbanen Regionen** leben, signifikant ansteigen wird: von derzeit etwa 4,2 Mrd. Menschen oder 55 % der Weltbevölkerung auf knapp 6,7 Mrd. und damit rund zwei Drittel der globalen Population.<sup>6</sup>

Parallel zu der Herausforderung, ausreichend Nahrung zur Versorgung einer wachsenden Weltbevölkerung zur Verfügung zu stellen, ist die Landwirtschaft von den Auswirkungen des **Klimawandels** betroffen, die zu einer erhöhten Volatilität von Ernteerträgen aufgrund extremerer klimatischer Bedingungen führen.<sup>7</sup>

- ▶ Gegenwärtig sind 80 % der für die Landwirtschaft geeigneten Flächen bereits genutzt. Aufgrund schlechter Bewirtschaftungspraktiken sind jedoch 15 % dieser Flächen in einem schlechten Zustand, u.a. durch Überdüngung und Pestizide.<sup>8,9</sup>

In der Landwirtschaft ist der Anbau, die Verarbeitung und der Transport von Lebensmitteln nicht nur mit einem **hohen Ressourcenverbrauch** verbunden (z.B. von Wasser), sondern auch mit hohen Emissionen. Als einer der größten Treibhausgasemittenten trägt die Agrarwirtschaft eine maßgebliche Verantwortung für die Bekämpfung des Klimawandels (Sustainable Development Goal (SDG) 13).

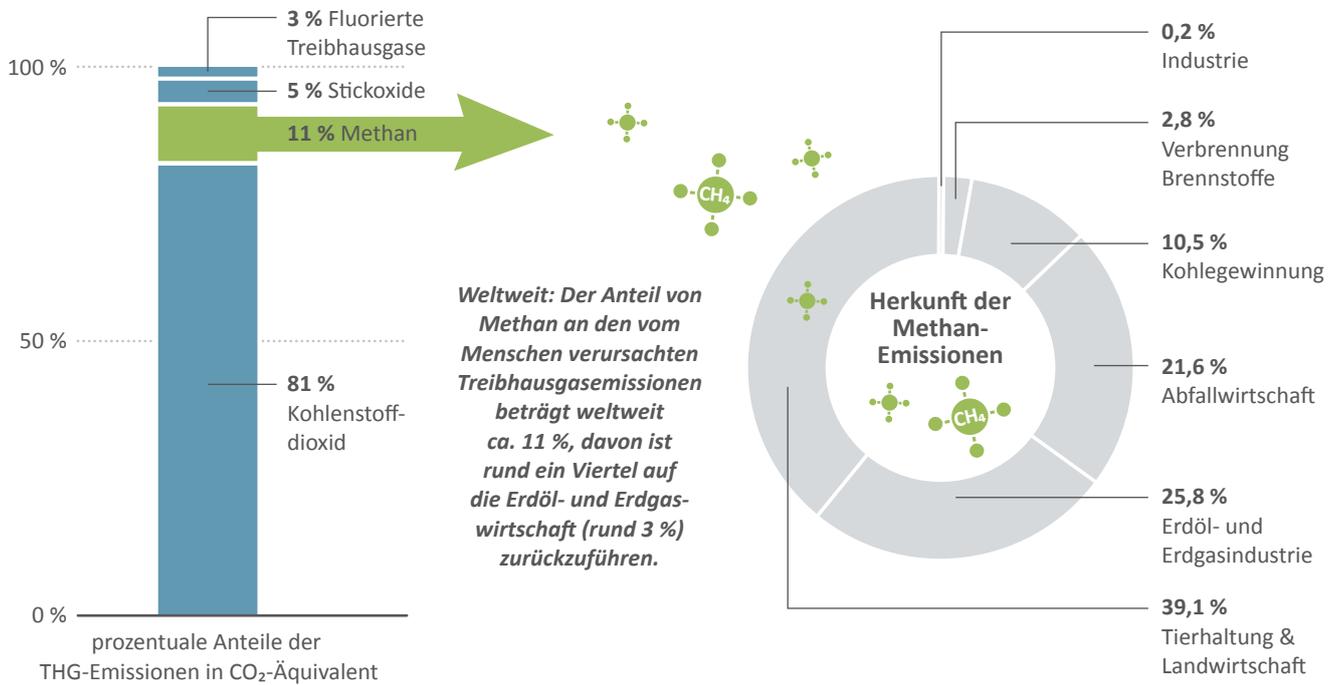
- ▶ Die Weltwirtschaft setzt jährlich etwa 380 Mio. Tonnen Methan frei,<sup>10</sup> die fast ausschließlich aus den folgenden vier Branchen stammen (vgl. Abb. 2):<sup>11</sup>
  - Tierhaltung und Landwirtschaft (39,1 % der weltweiten Methan-Emissionen),
  - Erdöl- und Erdgasindustrie (25,8 %),
  - Abfallwirtschaft (21,6 %) und
  - Kohlegewinnung (10,5 %).



Die 17 Ziele für nachhaltige Entwicklung (**SDGs**) sind politische Zielsetzungen der *Vereinten Nationen*, die der Sicherung einer nachhaltigen Entwicklung auf ökonomischer, sozialer sowie ökologischer Ebene dienen sollen.

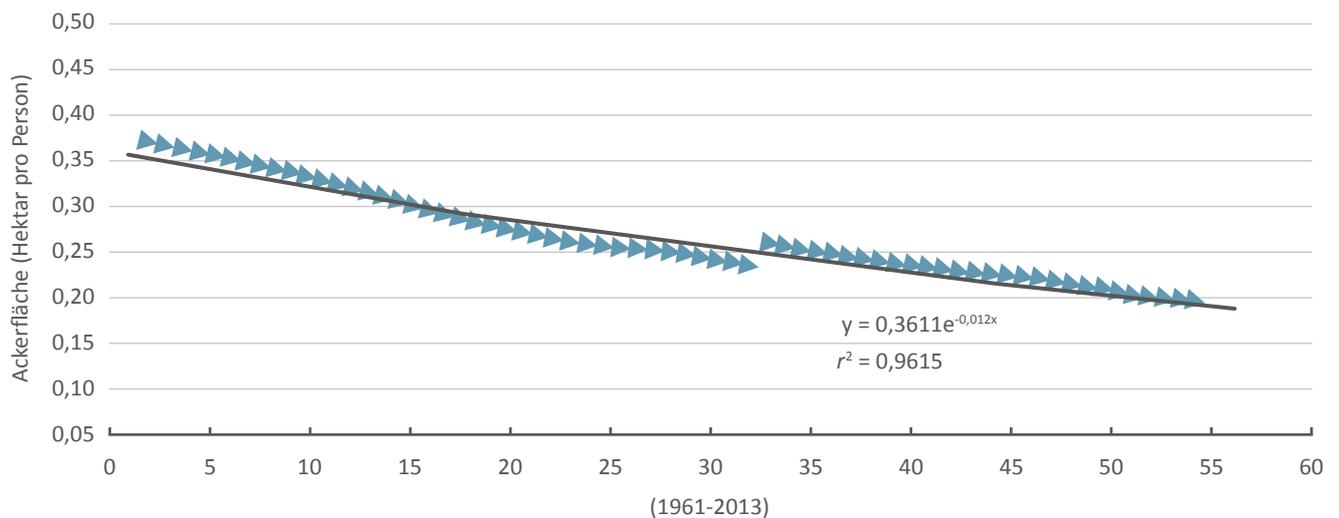
Die unaufhaltsamen Trends von **Bevölkerungswachstum, Verstädterung, abnehmender Wasserversorgung sowie der fortschreitende Klimawandel** haben dazu beigetragen, dass fruchtbare Anbaufläche zur Nahrungsmittelsicherung knapp wird (vgl. Abb. 3).<sup>12</sup>

Abb. 2: Anteil von Methan an globalen, anthropogenen Treibhausgas-Emissionen (2017) und Herkunft der Methan-Emissionen



Quelle: UN FCCC, zitiert nach: DVGW (2022, Methan-Emissionen)

Abb. 3: Weltweiter Rückgang der Ackerflächen von 1961-2013



Rückgang der weltweiten Bestände an Ackerland (1961-2013). Vorläufige Trendlinie berechnet anhand von Daten der Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen Organisation (FAO 2016). Die Diskontinuität fällt zusammen mit der globalen Rezession in den frühen 1990er Jahren.

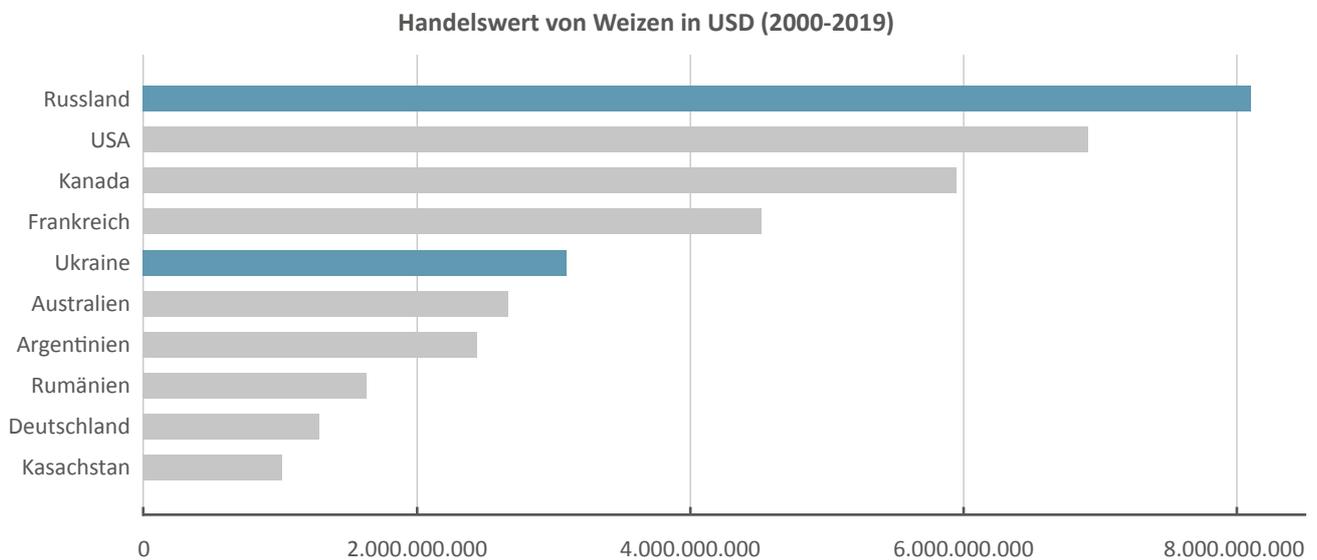
Quelle: Benke, K. / Tomkins, B. (2017, Food Production Systems), eigene Übersetzung

Statistiken über das zukünftige Wachstum der Weltbevölkerung zeigen, dass die landwirtschaftliche Nutzfläche pro Person bis zum Jahr 2050 auf ein Drittel der 1970 verfügbaren Fläche sinken wird.<sup>13</sup> Dieser Rückgang wird sich voraussichtlich fortsetzen, bedingt durch die Auswirkungen des Klimawandels, die zunehmende geografische Ausdehnung von Trockengebieten und das zunehmende Bevölkerungswachstum.<sup>14</sup>

## 2.2 Nahrungsmittelkrise – Abhängigkeiten im Agrarsystem und Resilienz

Der Handel mit Agrarprodukten ist stark politisch getrieben. Einerseits ist die EU der größte globale Exporteur von Agrar- und Ernährungsprodukten, andererseits ist die EU ebenfalls der drittgrößte Importeur dieser Waren, gefolgt von USA und China.<sup>15</sup> Abhängigkeitsverhältnisse sind dadurch unvermeidbar. Ukraine und Russland gehören zu den wichtigsten Getreideproduzenten und Exporteuren (u.a. von Weizen, siehe Abb. 4).<sup>16</sup>

Abb. 4: Die größten weltweiten Weizenexporteure



Quelle: OEC 2019, zitiert nach: Aljazeera (2022, Wheat Supply), eigene Übersetzung

Der Ukraine-Russland-Konflikt erschwert jedoch den Export und bedroht die globale Lebensmittelversorgung, vor allem in armen Ländern. Aktuell hat Ägypten mit massiven Problemen zu kämpfen, denn im Jahr 2019 kauften Ägypten, die Türkei und Bangladesch mehr als die Hälfte des russischen Weizens.



*Die Ukraine und Russland liefern 12 % aller weltweit erzeugten Kalorien, 25 % des Weizens und 20 % der weltweiten Maisproduktion. Die Hälfte des Sonnenblumenöls kommt aus der Ukraine.*

Erik Fyrwald, Chef des Saatgut-Konzerns Syngenta<sup>17</sup>



Die Weltmarktpreise für Getreide sind in den letzten Monaten massiv gestiegen, resultierend aus der Gefahr eines großflächigen Exportausfalls. Zusätzlich herrschen erschwerte Bedingungen, Saatgut und Pflanzenschutzmittel in die Ukraine zu liefern.<sup>18</sup> Logistikprobleme und Extremwetter in Zusammenhang mit dem Klimawandel, gepaart mit Abhängigkeiten beim Nahrungsmittelimport aus der Ukraine, erschweren die Lebensmittelversorgung und erhöhen die Notwendigkeit, sich anzupassen.



*Das größte Problem, vor dem wir als globale Spezies stehen, ist die Frage, woher die Nahrung für die nächsten drei Milliarden Menschen kommen soll. Die Frage ist, ob vertikale Landwirtschaft und Indoor-Landwirtschaft dieses Problem lösen können.*

Prof. Dr. Dickson Despommier, der „Vater der vertikalen Landwirtschaft“<sup>19</sup>



*Wie kann man Ökosysteme erhalten und eine wachsende Weltbevölkerung gesund ernähren? Können moderne Technologien eine Trendumkehr bewirken?*

Um einen Beitrag zur globalen Ernährungssicherung, zur Diversifikation von Nahrungsmittelketten sowie zu einer gesünderen Nahrungsmittelversorgung zu leisten, werden bereits verschiedene Konzepte diskutiert, die eine nachhaltigere Versorgung der wachsenden Weltbevölkerung ermöglichen können.<sup>20</sup> Die Herausforderungen der letzten Monate haben gezeigt, dass Ernährungssysteme, die weniger von großen Flächen, manueller Arbeit und Wetterbedingungen abhängen, nicht nur nachhaltiger, sondern auch widerstandsfähiger sind. **Neueste Technologien können die Effizienz der Landwirtschaft steigern und Ressourcenverbrauch und Emissionen reduzieren.**<sup>21</sup>

Neben der Ressourcenknappheit und den Herausforderungen in der Ressourcenbeschaffung, ist auch die Ernährungsqualität ein wichtiger Faktor. Schätzungen gehen davon aus, dass unausgewogene Ernährungsweisen mit viel rotem Fleisch derzeit für mehr als jeden fünften vorzeitigen Todesfall weltweit verantwortlich sind.<sup>22</sup> Eine Entwicklung, die Konsumenten auf gesündere Ernährungsgewohnheiten achten lässt.

Für die Etablierung transformativer Lösungen im globalen *Food System* ist es wesentlich, **die miteinander verbundenen Auswirkungen auf Umwelt, Gesundheit und Wirtschaft im Gesamtzusammenhang zu betrachten** und kollaborative Bewältigungsstrategien daraus abzuleiten. Denn wenn die traditionelle Landwirtschaft so weitergeführt wird wie bisher, wird eine weltweite Nahrungsmittelsicherung langfristig nicht möglich sein.

## 3 Lösungsansatz: Vertical Farming – die autonome und digitale Agrarwirtschaft der Zukunft?

### 3.1 Definition, Anbaumethode/-systeme, Produktpalette

Die Landwirtschaft, die nach dem Jagen wohl älteste Profession des Menschen, befindet sich im Wandel. Sie könnte zukünftig nicht mehr nur klassisch auf dem Acker stattfinden, sondern auch „Indoor“ – unterstützt durch den Einfluss zunehmender Digitalisierung und Automatisierung. Eine Methode, die vermehrt Aufmerksamkeit genießt, um das Problem der Nachhaltigkeit anzugehen und den wachsenden Nahrungsmittelbedarf zu decken, ist die Entwicklung und Umsetzung vertikaler Landwirtschaft bzw. vertikaler Farmen und Indoor-Landwirtschaft.<sup>23</sup>

- ▶ Vertical Farming wird dem landwirtschaftlichen Bereich des **Urban Farming** zugeordnet, dessen Ziel ein Anbau im Stadtgebiet ist.<sup>24</sup>

Die vertikale Landwirtschaft ist ein Konzept, das den hocheffizienten Anbau von Pflanzen, Pilzen, Fischen und Spezialkulturen unter streng kontrollierten Umweltbedingungen auf vertikal geneigten Flächen unterstützt. Der am weitesten verbreitete Anbau findet in Wolkenkratzern in städtischen Gebieten statt, aber mittlerweile gibt es darüber hinaus Farmen in Containern oder auch Unterwasser.

**Indoor Farming** ist eine neue Form der Pflanzenkultivierung, die in einem geschlossenen System – also einer Halle, einem Container oder einem Gewächshaus, stattfindet. Die Pflanzen bekommen dabei weder Sonnenlicht noch Wind oder Niederschlag ab. Um die Sonne zu ersetzen, kommt LED-Licht zum Einsatz. Gleichzeitig werden Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Bewässerung von automatisierten Systemen geregelt.

**Vertical Farming**, eine Sonderform der urbanen Landwirtschaft, ist ein Begriff der Zukunftstechnologie, die eine tragfähige Landwirtschaft und Massenproduktion pflanzlicher und tierischer Erzeugnisse im Ballungsgebiet der Städte in mehrstöckigen Gebäuden (sogenannten *Farmscrapers*) ermöglichen soll.

**Urbane Landwirtschaft, Urban Farming** oder **Urban Gardening** ist die Praxis des Anbaus, der Verarbeitung und des Vertriebs von Lebensmitteln in oder um städtische Gebiete. Sie umfasst eine komplexe und vielfältige Mischung von Aktivitäten zur Lebensmittelproduktion.

- ▶ Bei der Sonderform unter Wasser spricht man vom sogenannten „Vertical Ocean Farming“. Dabei werden an horizontalen Seilen an der Wasseroberfläche, hängende Netze für die Zucht bspw. von Jakobsmuschel, Muscheln und Austern befestigt. Neben essbaren Produkten dienen diese Farmen auch dem Schutz vor Sturmfluten und als Lebensraum für die Meeresfauna.<sup>25</sup>

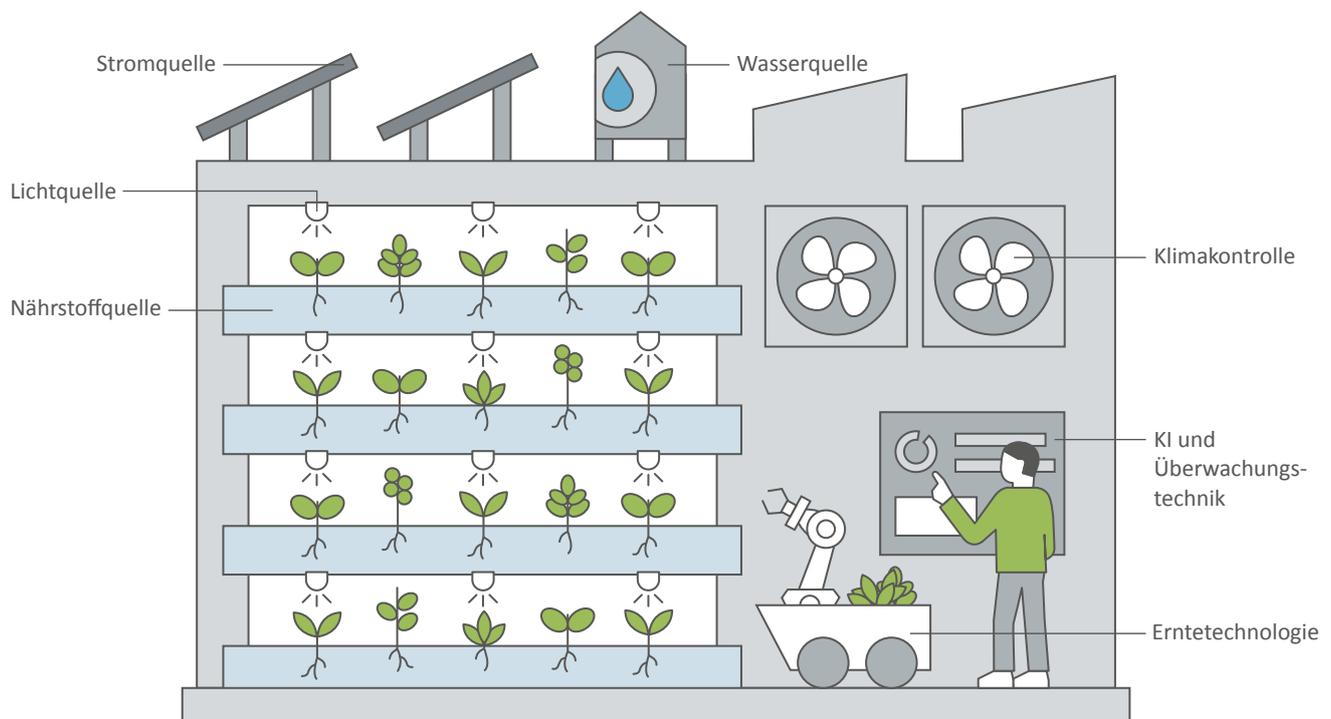
Der Ansatz des Indoor Vertical Farming ist gekennzeichnet durch eine überdachte, hoch gelegene klimatisierte Fabrik, die mit erneuerbarer Energie betrieben wird und auf das Recycling von Abfällen achtet. Die Beete sind dabei übereinander angeordnet und die Pflanzen wachsen unter Metallreflektoren und künstlicher LED-Beleuchtung<sup>26</sup> auf einem speziellen Hydrokultursystem, einem Substrat ohne Erde (siehe Abb.5).<sup>27</sup>

Der Einsatz von Sensorik ist für die Kontrolle von Licht, Wasser (Modulated Watering) und Nährstoffzufuhr verantwortlich. Durch diese Umgebungskontrolle können einzelne Faktoren spezifisch angepasst und somit förderliche Wachstumsbedingungen für die jeweiligen Anbauprodukte gewährleistet werden. Aufgrund dieser kontrollierten Anpassung wird auch von **Controlled Environment Agriculture (CEA)** gesprochen.<sup>28</sup>



Zugriff auf ein Video zu „Vertical Farming-Projekten“ über **diesen LINK** oder den nebenstehenden QR-Code.

Abb. 5: Hauptkomponenten von Vertical Farming



Quelle: CB Insights (2022, Vertical Farming), eigene Übersetzung

### Schlüsseltechnologien in der Landwirtschaft

Die Agrarindustrie setzt zunehmend auf **Robotik und KI-Technologien**, um die Ernteerträge zu steigern, den Bodenzustand zu überwachen, Schädlinge zu bekämpfen, Betriebsdaten zu organisieren und landwirtschaftliche Aufgaben zu verbessern. **Big Data-Analysen, das IoT, Robotik, intelligente und vernetzte Geräte** liefern den landwirtschaftlichen Erzeugern Informationen in Echtzeit. Die zunehmenden technologischen Fortschritte, einschließlich Analytik und Automatisierung, ermöglichen ein effektives Management der Pflanzenproduktion in den Betrieben. Mit der Integration von KI in landwirtschaftliche Betriebe wird ermöglicht, dass die Entwicklung der Pflanzen von der Bewässerung bis zur Ernte minutiös verfolgt werden kann. Roboter, KI-gestützte Tools und Anwendungen helfen bei der Verwaltung der für die Pflanzen erforderlichen Temperatur, des Lichts und des Wassers. Die Temperatur- und Klimaveränderungen in der gesamten Anlage werden ständig durch Big Data-Analysen und IoT-Technologie analysiert.

Drohnen sind eine dieser Schlüsseltechnologien, die in der Branche an Bedeutung gewinnt. Die Landkartierung (Treiber der Präzisionslandschaft) und das Sprühen von Agrochemikalien (hohes Einsparpotential der Betriebsmittelkosten) sind die wichtigsten Anwendungsfälle für Drohnen in der Landwirtschaft. Andere Anwendungen wie Aussaat, Ernteertragsmessung, Ernteertragsbewertung und drohnengestützte Analytik haben ebenfalls erhebliches Potential (vgl. WEF (2022, Technology).

Man unterscheidet beim Vertical Farming zwischen den folgenden Anbaumethoden:

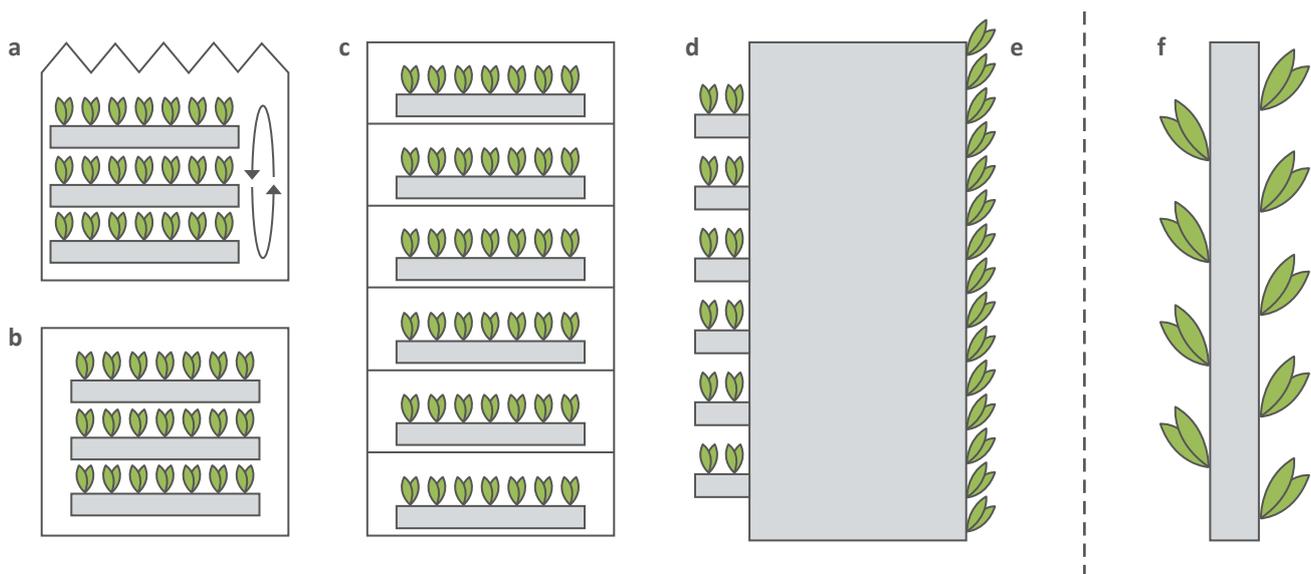
- **Hydroponik:** Die Pflanzen werden in einer nährstoffreichen Wasserlösung kultiviert, ohne oder nur mit sehr wenig Erde – lediglich die Wurzeln sind der Lösung ausgesetzt.<sup>29</sup>
- **Aquaponik:** Eine Kombination aus Hydroponik und Aquakultur, bei der Pflanzen in einem Ökosystem kultiviert werden, in dem auch Fische leben. Fischabfälle liefern nährstoffreiche Nahrung für die Pflanzen und filtern das Wasser für die Fische.<sup>30</sup>
- **Aeroponik:** Pflanzen werden in einem geschlossenen Kreislaufsystem angebaut und dabei in die Luft gehängt und mit nährstoffreichen Lösungsmitteln besprüht – es wird kein Boden verwendet.<sup>31</sup>



Je nach Anwendungsbereich gibt es verschiedene Arten von Anlagen, die sich in Bezug auf Skalierbarkeit, Effizienz, Platzbedarf und Art der anbaubaren Pflanzen unterscheiden. Grundlegend werden zwei Arten an vertikalen Anbausystemen unterschieden (vgl. Abb. 6).<sup>32</sup>

- 1) Der Anbau auf mehreren Ebenen (traditioneller horizontaler Anbau), wie in Gewächshäusern, siehe (a) und (b). Je nach Ausführung sind die Anbauplattformen mit einem Förderbandkreislauf verbunden, der die einzelnen Ebenen kontinuierlich rotieren lässt (a). Die Pflanzen werden dabei über eine Sprühanlage mit Nährstoffen und Wasser versorgt.
- 2) Kultivierung auf vertikalen Flächen (weitere Unterteilung möglich). Ein weiterer Ansatz ist der Bau von mehrstöckigen Türmen nach dem Prinzip von gestapelten horizontalen Anbauplattformen, bei denen jede Ebene von den umliegenden Ebenen isoliert ist (c). Die Verwendung von Balkonen (d) stellt eine weitere Möglichkeit für die Pflanzenproduktion dar. Vertical Farming-Projekte können auch in bestehende Gebäude integriert sein, die an der Seite von Gebäuden oder anderen vertikalen Flächen angebracht werden (e), oder, wie in (f) beschrieben, können die Wachstumseinheiten auch vertikal auf zylindrischen Anbauplattformen angeordnet werden.

Abb. 6: Unterschiedliche Typen und Konfigurationen von Vertical Farming



Quelle: Beacham et al. (2019, Vertical Farming)

Kleinere Anbaukulturen erlauben eine höhere Anzahl von Ebenen und damit potentiell einen höheren Ertrag pro Höheneinheit. Aus diesem Grund werden **kleinere**, sowie **hochwertigere Kulturen**, die einen hohen Preis pro Gewicht erzielen und möglichst dicht angebaut werden, bevorzugt.<sup>33</sup> Viele Anbieter konzentrierten sich daher auf Blattgemüse wie Salat, Spinat oder Basilikum. Die gesamte Produktpalette ist vielschichtiger und lässt sich in die folgenden Bereiche gliedern, während zukünftig weitere Projekte in Getreide und Spezialkulturen geplant sind.<sup>34</sup>

### Essbare Produkte:

#### ► (Blatt-/Frucht-/Kohl-/Mikro-)Gemüse, Kräuter und Beeren

**Blattgemüse** (Salat, Spinat) und Kräuter sind in der Regel kleinwüchsig, pflegeleicht und gut für Hydroponik geeignet. Etwas aufwändiger sind **Fruchtgemüsearten** wie Tomaten, Chili, Paprika oder Gurken, da Fruchtgemüse mehr Wasser und Nährstoffe benötigt als reines Blattgemüse. **Kohlgemüse** wird mittlerweile ebenfalls vermehrt in der Hydroponik angebaut, darunter fallen bspw. Grünkohl oder Pak Choi. Für den Anbau von **Wurzel- und Knollengemüse** (u.a. Kartoffeln, Karotten, Radieschen, Lauchzwiebeln) ist der Anbau anspruchsvoller. Unter **Mikrogemüse/Microgreens** versteht man Keimlinge, die reich an Nährstoffen sind und für die Anzucht eine einfache, feuchte Anzuchtmatte ausreicht – bspw. Blattkohl, Radieschen, Brokkoli oder Minze.<sup>35</sup> Eine Bandbreite an **Kräutern** wird bereits angebaut – von Basilikum, Salbei, Rosmarin, Schnittlauch, Minze, Kresse bis hin zu Koriander. In der Kategorie **Beeren** eignen sich für einen hydroponischen Anbau vor allem Erdbeeren, Blaubeeren oder Heidelbeeren.

#### ► Pilze

- Da immer mehr Menschen auf Fleisch verzichten, werden Ersatzprodukte interessanter. Einige dieser Produkte werden auf Pilzbasis hergestellt.<sup>36</sup>
- In der sogenannten Pilzhauptstadt der Welt, *Kennett Square* im Südosten von Pennsylvania, werden in fensterlosen Gebäuden im großen Stil auf übereinander gestapelten Beeten Pilze gezüchtet. Das Gebiet ist für seinen ältesten und größten vertikalen Zuchtbetrieb der Welt bekannt.<sup>37</sup>



Zugriff auf ein Video zu einer „Indoor Vertical Mushroom Farm“ über **diesen LINK** oder den nebenstehenden QR-Code

#### ► Fische und Meeresfrüchte (Aquaponik verbindet Fischzucht mit Pflanzenanbau)<sup>38</sup>

- Neben Pflanzen, Gemüse und Pilzen können auch mit Fischen, Shrimps und Muscheln wertvolle Proteine erzeugt werden. Durch den Bedarf an einer innovativen, skalierbaren neuen marinen Lebensmittelversorgung für die Menschheit, rückt nachhaltiges Eiweiß aus der Meeresumwelt stärker in den Vordergrund.

Indoor: In Singapur ist *Apollo Aquaculture*, eine der größten vertikalen Fischfarmen der Welt, beheimatet. Die Hightech-Anlage soll jährlich bis zu 3.000 Tonnen Zackenbarsche, Korallenforellen und Garnelen produzieren. Hohe Betriebskosten sind allerdings nach wie vor einer der Hauptgründe dafür, dass kommerzielle vertikale Fischfarmen mit geschlossenem Kreislauf weltweit begrenzt bleiben.<sup>39</sup>

Outdoor: Die vertikalen Meeresfarmssysteme von *GreenWave* unterstützen die Meeresfarmer bei der Erzeugung gesunder und lokaler Lebensmittel, während sie gleichzeitig Kohlenstoff binden und Biomasse für die Erzeugung von Biokraftstoff liefern. Im Jahr 2021 hat *GreenWave* den renommierten *Food Planet Preis* gewonnen.



Zugriff auf das Video „Farming the Sea“ über **diesen LINK** oder den nebenstehenden QR-Code.

### Kosmetikprodukte sowie medizinische Produkte/Arzneipflanzen:

- Neben Nahrungsmitteln kann auch der Anbau von Pflanzen, die zur weiteren kosmetischen und medizinischen Verwendung eingesetzt werden, mit einem Vertical Farming-Ansatz angebaut werden. Aloe Vera, CBD, Baldrian und Calendula sind dafür erste Umsetzungsbeispiele.

### 3.2 Vor- und Nachteile

**Maximaler Ertrag<sup>40</sup> auf minimalem Platz: Vertical Farming kann bei der Steigerung der Lebensmittelproduktion potentiell von Vorteil sein.**

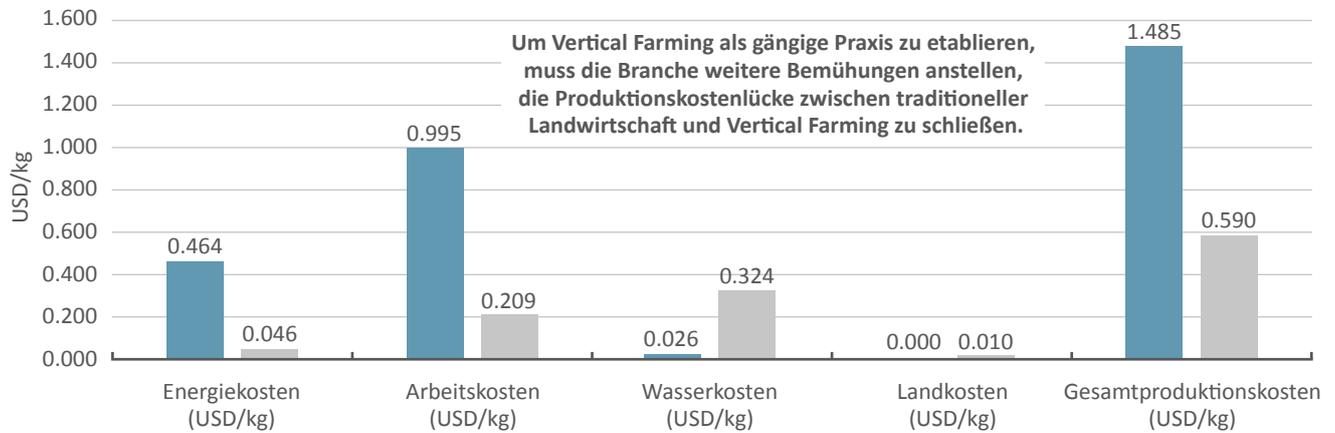
- ▶ Die Pflanzenproduktion kann das ganze Jahr über in einer regulierten Räumlichkeit durchgeführt werden und ermöglicht ein permanentes Monitoring. Dadurch können **optimale** Versorgungs- und **Wachstumsbedingungen** (weniger Wasser, höhere Nährstofflösungen, Verzicht auf Pestizide) generiert werden.<sup>41</sup> Insgesamt soll durch Vertical Farming bis zu 95 % weniger Wasser und 75 % weniger Dünger benötigt werden als beim Anbau durch konventionelle Landwirtschaft.<sup>42</sup> Zudem können durch die präzise Steuerung des Wachstumsumfelds die Produkte 13 bis 14 Tage haltbar gemacht werden, gegenüber drei bis vier Tagen für die entsprechenden Produkte aus der konventionellen Landwirtschaft.<sup>43</sup>
- ▶ Aufgrund der Möglichkeit, trotz eingeschränkter Grundfläche, die Anbaufläche und damit den potentiellen Ertrag zu multiplizieren, bietet sich die Methodik vor allem **in oder nahe urbanen Gebieten** an, wo vergleichsweise **wenig Grundfläche** verfügbar ist. Wenn die traditionelle Landwirtschaft in Innenräume verlagert wird, verringert sich der Flächenverbrauch um das 20-fache, es ergibt sich 1/20 der Verbesserung des Flächenverbrauchs oder 95 % der Einsparungen. Das Verhältnis von 1/20 gilt für die Salaterzeugung, hier ergeben sich die Vorteile vor allem aus dem Abstand zwischen den Pflanzen, die in konventionellen Betrieben nicht möglich sind.<sup>44</sup>
- ▶ Die Produktion am Ort des Konsums **minimiert zusätzlich die Lebensmitteltransportwege, spart Transportkosten und verringert den CO<sub>2</sub> Ausstoß**. Während Fabrikfarmen („Building-based Vertical Farms“) in Ballungszentren von Großstädten und regionalen Städten vorgesehen sind, bieten „Shipping Container Vertical Farms“ den Vorteil, mobil und durch die Modularität der Container einfach transportierbar zu sein.<sup>45</sup> Die Methode der Shipping Container Farms ist weniger stark verbreitet, wird aber von einigen Unternehmen, wie *Freight Farms* vorangetrieben.

**Komplett nachhaltig ist die vertikale Landwirtschaft nicht.** Nachteile einer Vertical Farm sind, dass die Gebäude und künstliche Beleuchtung den Einsatz **zusätzlicher Ressourcen** erfordern, die die ökologischen und ökonomischen Vorteile reduzieren.<sup>46</sup>

- ▶ Der Erbau und Betrieb einer Vertical Farm ist verhältnismäßig teuer. Durch die hohe Komplexität des Aufbaus einer rentablen Anlage ist die **Vorabinvestition kostspielig**. Trotz zusätzlicher Erträge sind **Kosten oftmals zu hoch, um Gewinne erwirtschaften zu können**. Die **Betriebskosten** schlagen durch einen hohen Wartungsaufwand und hohe **Energiekosten**, je nach Standort und Art der Energieversorgung, zu Buche (vgl. Abb. 7).<sup>47</sup>
- ▶ Ein weiterer Nachteil ist die Beschränkung auf eine **kleine Auswahl von Produkten**, die für die hochautomatisierte und industrielle Produktion in einer Vertical Farming-Anlage geeignet sind. Besonders Mais, Weizen, Reis oder Kartoffeln sind für die Nahrungsversorgung sehr wichtig, benötigen aber viel Platz.
- ▶ Der Einsatz von Technik und die damit verbundene **digitale Abhängigkeit** stellt Ausfallrisiken dar. Obwohl die Verknüpfung von Digitalisierung und Automatisierung vielversprechend ist, ist die Technologie nicht gänzlich ausgereift. Aktuell fließt noch viel Zeit und Geld in den Aufbau und die Umsetzung der Projekte.
- ▶ In vielen ländlichen Regionen sind Menschen stark von der traditionellen Landwirtschaft abhängig. Der **Aufbau von Know-how, Umschulungen** und Umbauten sind deshalb notwendig, damit Landwirte ihre Lebensgrundlage nicht verlieren.

Im Vergleich zur Lebensmittelproduktion im Gewächshaus und auf dem Feld schneidet die vertikale Indoor Farm im Allgemeinen in Bezug auf Ressourcenverbrauch, Qualität, Ertrag, Umweltauswirkungen und Automatisierung besser ab (siehe Abb. 8). Allerdings hängt das Ergebnis stark von den **vorherrschenden Bedingungen und der Infrastruktur** ab, hinsichtlich der Verfügbarkeit von **Energie, Wärme und Platz** sowie der Möglichkeit der **Integration einer Kreislaufwirtschaft**. Es gibt keine Einheitslösung für diese Aspekte: Jede vertikale Indoor Farm muss genau und spezifisch an den gewählten Standort angepasst werden.

Abb. 7: Durchschnittliche Produktionskosten im Vergleich der Anbaumethoden am Beispiel für den Anbau von Salat



■ durchschnittliche Produktionskosten für Vertical Farming ■ durchschnittliche Produktionskosten für traditionelle Landwirtschaft  
 Diese Zahlen beinhalten die durchschnittlichen Kosten (USD) pro kg Produktion an sieben Standorten in den USA für eine jährliche Produktionskapazität von 90.000 kg. Einzelne Betriebe mit unterschiedlichen Technologien werden die Zahlen im Laufe der Zeit noch ändern.

Quelle: Quelle: Moghimi & Asuabanpou (2021, Economics), eigene Übersetzung

Abb. 8: Wesentliche Unterschiede zwischen den Kulturverfahren: Indoor Farm, Gewächshaus und Freiland anhand wichtiger Kenngrößen

		Indoor Farm	Gewächshaus* <sup>2</sup>	Freiland* <sup>1</sup>
<b>Klima/Wetter</b>	Unabhängigkeit	▲ ▲	▶	▼ ▼
	<b>Ressourcenverbrauch</b>			
	Elektrischer Energieverbrauch	▼ ▼	▶	▲
	Wärme	▲	▼	▲ ▲
	Wasser & Nährstoffe	▲ ▲	▶	▼
	Pflanzenschutzmittel	▲ ▲	▲	▼
<b>Qualität</b>	Gezielter Einfluss von Sekundärmetaboliten	▲	▶	▼
	Just in Time-Produktion	▲ ▲	▶	▼ ▼
	Homogenität (Qualität & Quantität)	▲ ▲	▶	▼ ▼
<b>Ertrag</b>	Ertragsmaximierung	▲	▶	▼
	Ganzjährige Produktion	▲ ▲	▲	▼ ▼
<b>Umweltbelastung</b>	Oberflächenversiegelung/Flächenverbrauch	▲	▼ ▼	▲ ▲
	Carbon Footprint	▼	▶	▲
	Bodenverunreinigung/Nährstoffauswaschung	▲ ▲	▲	▼
<b>Automatisierung</b>	Potential zur Prozessautomatisierung	▲ ▲	▶	▶

\*<sup>1</sup> Feldanbau Europa \*<sup>2</sup> Gewächshaus in Nordeuropa, ganzjährige Produktion

Quelle: Hochschule Weihenstephan-Triebtsdorf, zitiert nach: Energie-Klimaschutz (2022, Indoor Vertical Farming)

*Interview mit Mark Essam Zahran, Co-Founder YASAI\*, 8. Mai 2022*

**Welche Chancen und Risiken bietet Vertical Farming? Wie weit ist die Entwicklung vorangeschritten?**

Vertical Farming bietet die Chance, das Lebensmittelsystem zu dezentralisieren, zu digitalisieren und zu dekarbonisieren. Dabei können wir äußerst nachhaltig und effizient Lebensmittel anbauen. Bis zu 200-mal mehr Ernte pro m<sup>2</sup> verglichen mit traditionellen Methoden, mit 95 % weniger Frischwasser, komplett ohne Pestizide, lokal, nahe am Konsumenten. Durch eine verdichtete Indoor-Landwirtschaft kann das gesamte Jahr hinweg produziert werden, unabhängig von volatilen Klimaeinflüssen. Die lokale Lebensmittelproduktion erhöht die Resilienz der Städte und reduziert das Risiko von Lieferengpässen für die Retailer und Wholesaler. Ein Risiko besteht darin, dass Vertical Farms gebaut werden könnten, welche nicht durch erneuerbare Energie betrieben werden, sondern über fossile Energieträger.

**Was sind Ihre wichtigsten Aufgaben und Möglichkeiten im Zusammenhang mit der Transformation der Food Systems und der „Alternativen Ernährung“?**

4D Farming: Digitalisierung, Dezentralisierung, Dekarbonisierung und Demokratisierung der Landwirtschaft. YASAI setzt sich für eine Landwirtschaft ein, welche digitalisiert und hoch automatisiert wird, basierend auf erneuerbaren Energien. Dadurch, dass wir unsere Technologien langfristig allen zur Verfügung stellen möchten, demokratisieren und dezentralisieren wir das Food System. **Unser Ziel bei YASAI ist es, Vertical Farming als Infrastruktur der Smart Cities von morgen zu integrieren.**

**Welchen Einfluss hat die aktuelle geopolitische Lage?**

Die Abhängigkeiten von Importländern in Bezug auf landwirtschaftliche Güter von Exportländern wie der Ukraine ist immens. Krisen können dementsprechend schwere Folgen und Kettenreaktionen auslösen und die Nahrungsmittelsicherheit gefährden. Die Abhängigkeit von Computer-Chips aus dem asiatischen Raum ist zudem auch in einer sich neu erfindenden Agrikulturindustrie bedenklich, welche vermehrt auf Automatisierung, KI und Digitalisierung setzt.

**Welche Veränderungen werden zukünftig spürbar werden?**

Lebensmittel werden mehr kosten, aber auch mehr Nährstoffe und Vitamine pro Kilogramm liefern. Die Devise wird sein: **Pay the farmer, not the doctor**. Dabei verschieben sich die Ausgaben für Medizin hin zu Lebensmitteln. Ein gesunder Lebensstil mit gesunden Lebensmitteln, lokal produziert, führt zu mehr Resilienz und nachhaltiger Gesundheit – ob für Pflanze, Mensch oder den Planeten.

**Wo sehen Sie die größten Chancen für Investoren, Teil der Lösung zu sein?**

Investoren haben eine einmalige Möglichkeit, Teil der Lösung zu werden, indem sie in Food Start-ups investieren, welche die steigende Nachfrage nach nachhaltig produzierten und gesunden Lebensmitteln bedienen können. Es wird unzählige Start-ups in den Bereichen Plant-Based oder Lab-Based Meat geben, alternative Proteinquellen, alternative Käse und Milchprodukte, E-Commerce in Food, Smart Farming oder auch Controlled Environment Agriculture (CEA), wie Vertical Farming. Dabei können die Investoren Environmental, Social, Governance (ESG)-Kriterien mit Food verbinden.

\* Über YASAI: Das ETH Spin-Off YASAI will mit vertikalem Anbau die Landwirtschaft in die Stadt holen. Das Schweizer Unternehmen baut und verwaltet Vertical Farming-Anlagen auf der Grundlage einer Kreislaufwirtschaft, um die Lebensmittelsysteme zu verändern. Ziel ist es, einen Beitrag zur lokalen Lebensmittelproduktion zu leisten; unabhängig von den klimatischen Bedingungen. <https://www.yasai.earth/>

### 3.3 Bestehende Projekte und Anbieter

Die **grüne Revolution** ist in vollem Gange. Viele etablierte Unternehmen und Start-ups sind dabei, die Bewegung im Bereich Vertical Farming zu unterstützen. Während die Methodik bereits seit mehreren Jahrzehnten bekannt ist, lässt sich erst in den vergangenen Jahren eine **steigende Popularität des Geschäftsmodells** feststellen. Verschiedene Städte auf der ganzen Welt testen die Möglichkeiten der Hightech-Gewächshäuser.



Unter der **grünen Revolution** wird die Einführung neuer Technologien in der Landwirtschaft in Entwicklungsländern verstanden.

In den **USA** sind global die meisten Vertical Farming-Anlagen verortet. Mit ca. 6500 m<sup>2</sup> Anbaufläche betreibt *Aerofarms* in Newark, New Jersey, eine der größten *Plant factory with artificial lighting* (PFAL) weltweit. Im Juli 2022 wurde jüngst in Dubai, in Zusammenarbeit mit der Firma *Crop One* und *Emirates Flight Catering*, die nach eigenen Angaben größte Vertical Farm der Welt eröffnet, mit einer Produktionsmöglichkeit von bis zu 3000 kg Gemüse pro Tag, jährlich über 900 Tonnen Blattgemüse auf einer Fläche von 30.000 m<sup>2</sup>.<sup>48</sup> In Europa spielen die **Niederlande, Deutschland, Frankreich** und das **Vereinigte Königreich**<sup>49</sup> eine bedeutende Rolle. Die größte Vertical Farm in Europa wird derzeit in **Dänemark** vom Unternehmen *Nordic Harvest*, mithilfe von Windenergie, betrieben. Hier werden kohlenstoffneutrale Nutzpflanzen auf 14 Etagen das ganze Jahr über kultiviert.<sup>50</sup> **Japan, China, Südkorea, Singapur** und **Thailand** sowie **Taiwan** sind Branchenführer auf dem asiatischen Markt.<sup>51</sup>

- ▶ Eine besondere Rolle spielt Singapur.<sup>52</sup> Der Insel- und Stadtstaat importiert 90 % der Lebensmittel. Aufgrund der Importabhängigkeiten möchte die Regierung zukünftig bis zu 30 % des Ernährungsbedarfs lokal produzieren.<sup>53</sup> Konkrete Projekte sind bereits etabliert. Neben dem vertikalisierten Hightech-Gewächshaus *Sykgreens*, das erfolgreich frische Blattsalate für die Stadt produziert, wurden mit *Vertical Oceans* und *Apollo Aquaculture* vertikale Indoor-Zuchtunternehmen zur Herstellung von Meeresfrüchten aufgebaut.

Weitere Institutionen, wie die *NASA*, liefern Forschungsergebnisse, die für Vertical Farming von zentraler Bedeutung sind; darunter neueste Erkenntnisse für optimierte Materialkreisläufe, effizienten Wasser-/CO<sub>2</sub>-Verbrauch für optimale Wachstumsbedingungen.<sup>54</sup>

Auch im Handel haben einige Unternehmen den Trend aufgegriffen. In Deutschland sind darunter *Aldi*, *Edeka*, *Kaufland*, *Metro* und *Rewe*, die In Store-Farmen direkt am Ort des Konsums etablieren, sogenannte „**Appliance Farms**“ bzw. „**Smart Indoor Gardens**“, die ein Plug and Play-System für den Endverbraucher darstellen – ein smarterer vertikaler Indoor-Garten.<sup>55</sup>

- ▶ Der Discounter *Aldi* züchtet seit 2020 verschiedene Kräuter direkt in ausgewählten Filialen, unterstützt durch die Firma *Infarm*. Am Point of Sale können die Kundinnen und Kunden zusehen, wie das Produkt wächst. Die Kräuter und Gemüsepflanzen werden von *Infarm*-Mitarbeitern zweimal wöchentlich geerntet und samt Wurzeln an der Frischtheke verkauft.<sup>56</sup>

*Weitere Unternehmen, die den Weg für die vertikale Landwirtschaft langfristig beeinflussen könnten, sind u.a.:<sup>57</sup>*

**AeroFarms**, ein urbanes Landwirtschaftsunternehmen mit Sitz in New Jersey, das 2004 gegründet wurde. Das Unternehmen nutzt eine patentierte aeroponische Technologie für die Landwirtschaft in Innenräumen mit minimalen Umweltauswirkungen. *AeroFarms* hat, wie die deutsche Firma *Infarm*, Beteiligungen in dreistelliger Millionenhöhe von Investoren wie *LGT-Lightstone*, *Alliance-Bernstein* oder *IKEA* eingeworben.<sup>58</sup> <https://www.aerofarms.com/>

**Bowery Farming** kombiniert Software, Hightech-Beleuchtung und Robotertechnik, um den Anbau von landwirtschaftlichen Erzeugnissen zu steuern. Das Lagerhaus des Unternehmens, das zu einer vertikalen Indoor-Farm umfunktioniert wurde, liegt nur wenige Meilen außerhalb von New York City. <https://boweryfarming.com/>

**Infarm**, ein führendes deutsches vertikales Landwirtschaftsunternehmen, hat sich zum Ziel gesetzt, eine Zukunft zu schaffen, in der lokale und besonders frische Produkte für jedermann erhältlich sind. Die Farmen werden in Supermärkten, Restaurants und Vertriebszentren platziert, sodass das Gemüse nahe des Kauf- oder Verbrauchzeitpunkts wächst und geerntet werden kann. Bis zum Jahr 2025 wird *Infarms* Farming-Netzwerk voraussichtlich mehr als 500.000 m<sup>2</sup> Fläche erreichen und damit zum größten modular verteilten Farming-Netzwerk der Welt werden. <https://www.infarm.com/>

**GreenWave** hat ein System für vertikale Meeresfarmen entwickelt, bei dem Algen, Jakobsmuscheln und Muscheln an schwimmenden Seilen wachsen, die über Austern- und Muschelkäfigen gestapelt sind. Die Meeresfarmen sind vertikale Unterwassergärten, in denen jährlich 10 bis 30 Tonnen Meerest Gemüse und 250.000 Muscheln pro Hektar angebaut werden können. Aus diesen Pflanzen können Lebensmittel, Dünger, Tierfutter und Biokraftstoffe hergestellt werden. Nach Angaben des Unternehmens absorbiert der erzeugte Seetang fünfmal mehr Kohlenstoff als Landpflanzen und die Pflanzen benötigen weder Düngemittel noch Süßwasser, Antibiotika oder Pestizide. Anstelle von konventionellen und anfälligen Monokulturen schafft dieser Ansatz widerstandsfähige, biodiverse Ökosysteme, die die gesamte Wassersäule vom Meeresboden bis zur Oberfläche nutzen. <https://www.greenwave.org/>

**Kalera**, eins der führenden Unternehmen im Bereich Vertical Farming, ist auf die Produktion von „leafy greens“, wie z.B. Spinat, Rucola, Brunnenkresse und Koriander spezialisiert. Täglich wird von einer halben bis vier Tonnen Erntegut pro Anlage erzeugt. Bis zu 20 m hohe, voll automatisierte Produktionshallen stehen u.a. in Kuwait und Singapur. <https://kalera.com/>

**Plenty** ist ein Start-up Unternehmen im Silicon Valley, mit einem großen Vertical Farming Lager in Kent im US-Bundesstaat Washington, einer Indoor Farm in den Vereinigten Arabischen Emiraten und bald 300 weiteren Indoor-Farmen in China. Prominente Teilhaber sind dabei u.a. *SoftBank*, *Jeff Bezos* und der ehemalige CEO von *Google*, *Eric Schmidt*. <https://www.plenty.ag/>

**Vertical Oceans**, früher unter dem Namen *Akualogix* bekannt, hat Pionierarbeit bei der landgestützten Aquakultur von Garnelen geleistet, indem es modulare, in einem vertikalen System gestapelte Aufwuchseinheiten einsetzte. Das Unternehmen hat bereits sechs Ernten in seiner Pilotanlage durchgeführt und berichtet von großem Interesse an seinen Produkten. <https://shop.verticaloceans.blue/>

**Willo**, ein in San Jose ansässiges Unternehmen, das vertikal angebaute Produkte direkt an zahlende Abonnenten liefert, hat eine mobile App, mit der die Mitglieder die Pflanzen, die *Willo* auf ihrer Parzelle anbauen soll, selbst auswählen und überwachen können. <https://willo.farm/>

## 4 Fazit und Ausblick: Strategisches Potential für das Agrar- und Lebensmittelökosystem

Das gesamte Food System steht vor einem Transformationsprozess, um eine weltweite Ernährungssicherheit gewährleisten zu können.<sup>59</sup> Prof. Dr. Dickson Despommier, der als Vater der vertikalen Landwirtschaft bezeichnet wird, hat seinem Buch, *The Vertical Farm*, folgenden Untertitel gegeben: *Feeding the World in the 21st Century*. Damit stellt er die vertikale Landwirtschaft in den Mittelpunkt der Diskussion zur Ernährungssicherung.

Während die Machbarkeit von Vertical Farming in verschiedenen Projekten getestet wird, besteht noch keine klare Einigkeit darüber, inwieweit das Konzept das Potential hat, einen nennenswerten Beitrag zu einer ganzheitlich nachhaltigen Entwicklung zu leisten.<sup>60</sup> Es ist zu beobachten, dass die wissenschaftliche Gemeinschaft, welche sich mit Vertical Farming auseinandersetzt, in den letzten Jahren stark wächst, die Erkenntnisse aber noch am Anfang stehen.

Urban bzw. Vertical Farming wird die klassische Landwirtschaft nicht ersetzen können. Die Vertical **Indoor-/Ocean Farmen bieten eine kleine Teillösung, die die Nahrungsmittelproduktion sinnvoll ergänzen**, beim Umdenken helfen die Agrarwirtschaft zu verändern und die Vorteile der Anbaumethoden zur effizienten Nahrungsmittelproduktion optimal auszunutzen. Prognosen zufolge erfährt die Vertical Farming-Industrie ein starkes **Wachstum: von 4,16 Mrd. USD im Jahr 2022 auf 20,91 Mrd. USD im Jahr 2029, mit einer Compound Annual Growth Rate (CAGR: jährliche Wachstumsrate) von 25,9 %**.<sup>61</sup>

- ▶ *Forbes* klassifiziert die Vertical Farming Methode als eine der 20 Technologien mit dem größten Potential, die Welt während des kommenden Jahrzehnts zu verändern.<sup>62</sup>

Diese expansive Entwicklung manifestiert sich auch im zunehmenden Interesse renommierter Investoren an Unternehmen, die bereits heute Vertical Farming operativ umsetzen – trotz bestehender Profitabilitätsschwierigkeiten.<sup>63</sup> Im Zuge der durch das Vertical Farming ausgelösten Transformation wird es Gewinner wie auch Verlierer geben. Daher ist es wichtig, die Risiken und Chancen im Hinblick auf die weitere Entwicklung des Sektors zu verstehen.

### Für Unternehmer und Investoren enthält die vorliegende Analyse einige zentrale Botschaften:

- ▶ Vertikale Landwirtschaft ist **kein Allheilmittel**,<sup>64</sup> aber sie kann dazu beitragen, eine nachhaltigere Zukunft zu schaffen – insbesondere in Städten. Sie ermöglicht ein schnelleres und nachhaltigeres Wachstum **ausgewählter Produkte** durch optimierte Wachstumsbedingungen.
- ▶ Durch die Kombination von Lebensmittelproduktion und Architektur trägt Vertical Farming dazu bei, Gebäude zu entwickeln, die mehrere Funktionen erfüllen. Vertical Farming schafft so neue Möglichkeiten für **Architektur und Stadtplanung**: Stadtplaner haben bestätigt, wie wichtig es ist, Städte grün und gesund zu gestalten.

- ▶ Für Investoren ist nicht nur das Wissen über die **Entwicklungen zur Lebensmittelversorgung** von morgen (u.a. mithilfe von Vertical Farming, genetischer Modifikation/CRISPR,<sup>65</sup> Cultured Meat, 3D Druck) relevant, sondern auch die dahinterstehende Anwendung von (Querschnitts-) **Technologien** (Drohnen, IoT, Precision Farming, Data Analytics und KI). Vor allem die technologischen Entwicklungen in der **KI**, landwirtschaftlichen **Robotik** und der **industriellen Bildverarbeitung** werden zu einer tiefgreifenden und weitreichenden Veränderung in der Landwirtschaft führen. Autonome Roboter lockern u.a. bereits Böden und beseitigen Unkraut. Mithilfe von KI-unterstützter Bildverarbeitung kann Unkraut genau identifiziert und lokalisiert werden.
- ▶ Ein Aufrüsten der herkömmlichen Agrarwirtschaft zu Vertical Farming schafft einen **strategischen und geoökonomischen Wettbewerbsvorteil** in selektiven Märkten, insbesondere in Megstädten und Wüstenstaaten.<sup>66</sup> Besonders relevant ist dies für Gebiete mit schnellem Bevölkerungswachstum und hoher Kaufkraft, starker Urbanisierung, begrenzten/ressourcenarmen und vom Klimawandel betroffenen Landflächen. Länder wie Singapur, Saudi-Arabien und die Vereinigten Arabischen Emirate nehmen in der Etablierung eine Pionierrolle ein und beschleunigen die globale Dynamik.
- ▶ Vertikale Landwirtschaft ist ein spannender Sektor für Investoren. Noch gibt es nicht viele **börsennotierte Vertical Farming-Unternehmen**, die Liste jedoch wächst (siehe u.a. *AppHarvest* und *Kalera*).
- ▶ Einen Vertical Farming-**ETF** auf vertikale Landwirtschaft gibt es aktuell noch nicht. Aber einige ETFs fokussieren bereits auf die Kombination von **Lebensmittel/Technologie/Landwirtschaft**.

**CRISPR/Cas9** bezeichnet ein neuartiges Verfahren der Gentechnik, das als „Genschere“ fungiert und komplexe gentechnische Manipulation (Genom-Editierung) ermöglicht. Der Begriff **CRISPR** steht für sich wiederholende Abschnitte („Cluster“) in DNA-Strukturen.

Unter dem Begriff **Cultured Meat** wird biologisch kultiviertes Fleisch bzw. das sogenannte In-Vitro-Fleisch verstanden. In vitro, lateinisch für „im Glas“, bedeutet „außerhalb des Organismus unter künstlichen Bedingungen, im Reagenzglas“. Weitere Bezeichnungen für **Cultured Meat** sind auch: Fleisch aus der Petrischale; Kulturfleisch; safe meat; clean meat; victimless meat. **Cultured Meat** entspricht weitgehend der Struktur und den Eigenschaften des tierischen Fleisches.

**ETFs (Exchange Traded Funds)** sind Investmentfonds und andere börsennotierte Anlagevehikel, die in der Regel eine „passive“, also sehr nahe an marktgängigen Indizes orientierte Anlagestruktur aufweisen. Aufgrund ihrer Kostenvorteile werden **ETFs** sowohl von privaten als auch institutionellen Investoren verstärkt eingesetzt.

Der sogenannte **3D Druck** ist ein neues Verfahren zur dezentralen Produktion von Gegenständen und räumlichen Strukturen mit Hilfe eines druckerähnlichen Systems. Dieses Verfahren hat das Potential zur Umwälzung tradierter Produktionsprozesse in zahlreichen Bereichen der Wirtschaft und könnte globale Wertschöpfungsketten massiv verändern.

- ▶ Auch direkte Investments sind möglich. Die meisten Start-ups, die für Schlagzeilen sorgen und Millionen an Startkapital aufbringen, setzen dies mit Hilfe von **Venture Capital** um. Anleger könnten zudem für die vertikale Landwirtschaft genutzte Gebäude als **reale Vermögenswerte** erwerben.
- ▶ Die aktuell **steigenden Energiepreise** sowie die **hohen Investitions- und Betriebskosten** für Vertical Farming beeinflussen das Wachstum der Branche und lassen Start-ups besonders für Probleme bei der Beschaffung von Finanzmitteln anfällig werden. Eine **kritische Größe des Betriebs** ist ausschlaggebend, weitere **Konsolidierungen am Markt** werden daher noch zu sehen sein.
- ▶ Die Preise der Produkte aus dem vertikalen Anbau müssen langfristig mit denen der konventionellen Landwirtschaft mithalten können. Auch wenn die vertikale Landwirtschaft mit der Produktion bestimmter Kulturen Gewinne erzielen kann, ist die Anbaumethode im Wesentlichen teurer als die traditionelle Landwirtschaft. Ähnlich wie bei anderen „nachhaltigen Technologien“ (wie der Solarenergie in ihrer Anfangszeit), ist der Markt noch nicht bereit, die preislichen Auswirkungen der vertikalen Landwirtschaft allein zu akzeptieren. Prognosen zufolge wird Massenproduktion die Kosten senken und Forschung die Produktion billiger machen, sodass sich das Marktpotential auf Städte und Länder ausdehnen wird.<sup>67</sup>
- ▶ Von politischer und regulatorischer Seite sind deshalb Unterstützungsmaßnahmen ausschlaggebend, die Incentives schaffen, eine ökologische und ökonomische Nahrungsmittelproduktion zu fördern, damit die hohen Investitionskosten auf längerfristig ausgelegte Geschäftsmodelle angerechnet werden können. Aktive Firmen im Vertical Farming-Bereich wünschen sich zusätzliches Kapital für weitere **Investitionen und weniger Regulierung**.<sup>68</sup>
- ▶ Der Druck der endlichen Ressourcen scheint aktuell allerdings noch nicht so hoch, dass diese kostspieligen Unterstützungsmaßnahmen ergriffen werden.
- ▶ Damit Vertical Farming einen signifikanten Beitrag zum Agrarökosystem leisten kann, ist ein enges **Zusammen-spiel von Politik, Wirtschaft und Ökologie** unausweichlich.

Wie die vorliegenden Ausführungen verdeutlichen, bietet das Thema Vertical Farming für Investoren und Vermögensinhaber vielfältige Chancen und Investitionsmöglichkeiten. Eine intensive Analyse der aktuellen Trends, inklusive der Herausforderungen und Risiken, scheint somit sinnvoll und empfehlenswert.



*Indoor Hightech Vertical Farming-Unternehmen (IVFs) sind DIE Lösung für viele der in dieser Studie [Zukunftstrend „Alternative Food“, Wirsam et al. (2019)] skizzierten Trends – lokale Beschaffung, Lebensmittelsicherheit, Lebensmittelqualität, nachhaltige Landwirtschaft sowie Wassereinsparung.*

Mark Korzilius, Unternehmer und Investor sowie CEO bei &ever<sup>69</sup>



## Erläuterungen

- <sup>1</sup> Vgl. hierzu insbesondere Kapitel 2 ff. aus der Studie des FERI Cognitive Finance Institute „Zukunftstrend Alternative Food“, Wirsam et al. (2020, Food).
- <sup>2</sup> Ein Beispiel ist die „Farm to Fork“-Initiative der EU, die eine nachhaltigere und ökologischere Landwirtschaft unterstützt und so den Transformationsprozess der *Food Systems* in Europa entscheidend beschleunigen soll. Mit der „Farm to Fork“ Strategie will die EU-Kommission den Übergang zu einem nachhaltigen Lebensmittelsystem ermöglichen und verfolgt dabei drei Hauptziele: 1. Nachhaltigkeit, 2. Ökologischer Landbau, 3. Digitalisierung.
- <sup>3</sup> Vgl. Fortune Business Insights (2022, Market Size).
- <sup>4</sup> Die 70 % errechnet sich auf Basis der Kalorienzahl. Es wird davon ausgegangen, dass ein starkes Wirtschaftswachstum (jährlich durchschnittlich 2,7 %) und damit ein erhöhtes Grundeinkommen auch den Lebensmittelkonsum überproportional ansteigen lässt, vgl. dazu FAO (2022, World).
- <sup>5</sup> Vgl. UN, Department of Economics and Social Affairs (2019, World Population Prospects).
- <sup>6</sup> Vgl. UN, Department of Economics and Social Affairs (2019, World Urbanization Prospects).
- <sup>7</sup> Vgl. IPCC (2022, Climate Change).
- <sup>8</sup> Muller et al. (2017, Feeding the World).
- <sup>9</sup> Despommier (2010, Vertical Farm).
- <sup>10</sup> Vgl. McKinsey (2021, Methan).
- <sup>11</sup> DVGW (2022, Methan-Emissionen).
- <sup>12</sup> Benke & Tomkins (2018, Food Production Systems).
- <sup>13</sup> Vgl. FAO et al. (2022, Food Security).
- <sup>14</sup> Fedoroff (2015, Future of 10 Billion).
- <sup>15</sup> Vgl. WWF (2022, Europe Eats).
- <sup>16</sup> Aljazeera (2022, Wheat Supply).
- <sup>17</sup> zitiert nach: Business Insider (2022, Ernährungskrise).
- <sup>18</sup> Vgl. Business Insider (2022, Ernährungskrise), sowie Handelsblatt (2022, Dünger-Hersteller).
- <sup>19</sup> zitiert nach: Bold Business (2019, Next Frontier).
- <sup>20</sup> Auch bei der COP27 im November 2022, bei der sich die Mitgliedsstaaten der Klima-Rahmenkonvention zum 27. Mal trafen, wurden erstmalig UN-Klimakonferenz Pavillons etabliert, die die Bedeutung des Agrar- und Ernährungssektors für die Begrenzung der Klimakrise stärker in den Fokus gestellt haben. Vgl. Forbes (2022, First Food Pavilion).
- <sup>21</sup> Unter dem Stichwort „Landwirtschaft 4.0“ werden die nächsten großen Trends summiert, denen sich die Branche stellen muss. Dazu gehören eine stärkere Konzentration auf die Präzisionslandwirtschaft, das Internet der Dinge (IoT) und die Nutzung von Big Data. Vgl. dazu weiterführend: Kapitel 4.3 Digitalisierung und neue Technologien als Transformationsmotor aus der Studie des FERI Cognitive Finance Institute „Zukunftstrend Alternative Food“, Wirsam et al. (2020, Food).
- <sup>22</sup> Vgl. Global Nutrition Report (2022, Nutrition).
- <sup>23</sup> Gilbert Ellis Bailey prägte 1915 den Begriff „vertikale Landwirtschaft“. Im Jahr 1999 machte Despommier das Konzept weiter bekannt. In seinem Buch: *The Vertical Farm: Feeding the World in the 21st Century* hob Despommier das Potential der vertikalen Landwirtschaft und der Indoor-Landwirtschaft sowie ihre Auswirkungen auf den Planeten und künftige Generationen hervor. Das Interesse an Vertical Farming begann insbesondere nach der Veröffentlichung des Buches von Despommier (2010, Vertical Farm).
- <sup>24</sup> Vgl. Avgoustaki & Xydis (2020, Indoor), S.2f.
- <sup>25</sup> Start-ups wie *Vertical Ocean*, bzw. die in Singapur ansässigen Unternehmen *Universal Aquaculture* und *Apollo Aquaculture* sind in der vertikalen Aquakulturanlage beheimatet. Weitere Details zu Aquakulturen sind der Studie „Sustainable Blue Economy“ zu entnehmen, siehe Biber (2022, Blue Economy).
- <sup>26</sup> Aufgrund der LED-Beleuchtung werden große Produktionsstätten, bei denen Vertical Farming zum Einsatz kommt, auch als PFALS bezeichnet, so genannte *Plant-Factories-[with]-Artificial-Lighting*, vgl. Butturini & Marcelis (2015, Present Status), S.77f.; Weltweit wächst das Interesse an der Forschung und Entwicklung intelligenter PFALS, die in den kommenden Jahrzehnten eine wichtige Rolle in der städtischen Landwirtschaft spielen dürften, vgl. Kozai (2018, Smart Plant Factory).
- <sup>27</sup> Vgl. Benke & Tomkins (2018, Food Production Systems), S.14f.; sowie Debnath et al. (2020, Urban Agriculture) S.1.
- <sup>28</sup> Vgl. Nicholson et al. (2020, CEA).
- <sup>29</sup> Vgl. Barbosa et al. (2015, Hydroponic).
- <sup>30</sup> Vgl. Rakocy et al. (2006, Aquaponics).
- <sup>31</sup> Vgl. Weathers & Zobel (1992, Aeroponics).
- <sup>32</sup> Beacham et al. (2019, Vertical Farming).
- <sup>33</sup> Vgl. Artemis (2020, State).
- <sup>34</sup> Zukünftig sollen auch Grundnahrungsmittel (Reis, Weizen, Mais) mit dieser Methode angebaut werden können.

- <sup>35</sup> Vgl. Pflanzenfabrik (2022, Pflanzen).
- <sup>36</sup> Vgl. Agritecture (2018, Mushroom Farm).
- <sup>37</sup> Vgl. SingularityHub (2022, Bacon), sowie COE (2021, Mushroom).
- <sup>38</sup> Die Fische werden in großen Becken gehalten, ihre Ausscheidungen dienen den Pflanzen als nährstoffreicher Dünger. Auf diese Weise erzeugt z.B. die Firma *ECF Farm* Barsch und Basilikum in Berlin (vgl. Stiftung Warentest, (2017, Großstadt)). Im Jahr 2023 soll in Pennsylvania eine der größten Vertical Farming-Anlagen entstehen, die Gemüse- und Fischzucht miteinander kombiniert, vgl. FastCompany (2022, Fish).
- <sup>39</sup> Vgl. Smithsonian (2021, Singapore).
- <sup>40</sup> Laut *Nordic Harvest* können die Pflanzen 15-mal im Jahr geerntet werden, während auf einem konventionellen Feld zweimal im Jahr geerntet werden kann, vgl. WEF (2022, Dubai).
- <sup>41</sup> Vgl. Graamans et al. (2018, Resource Efficiency) S. 32; sowie Yalçın & Ertürk (2020, Improving) S. 25f.
- <sup>42</sup> Vgl. NatureFund (2019, Zukunft).
- <sup>43</sup> Vgl. WEF (2022, Dubai).
- <sup>44</sup> Perez (2014, Sustainability).
- <sup>45</sup> Die Idee, Frachtcontainer für die Landwirtschaft zu nutzen, wurde bereits von einflussreichen Unternehmen wie *IKEA* und Forschergruppen wie dem *MIT Media Lab* erforscht, vgl. MIT (2017, Food Server).
- <sup>46</sup> Kalantari et al. (2017, Guide).
- <sup>47</sup> Vertical Farming benötigt heutzutage noch sehr viel Energie, wodurch es bspw. für den klassischen Getreideanbau nicht rentabel ist. Im Vergleich zur traditionellen Landwirtschaft sind die Produktionskosten im Wesentlichen teurer. Für eine Etablierung am Markt ist entscheidend, dass die Kosten der Produktion langfristig mit denen der konventionellen Landwirtschaft mithalten können (vgl. Moghimi & Asiabanpou (2021, Economics)).
- <sup>48</sup> Vgl. Techcrunch (2022, Crop One) sowie WEF (2022, Dubai).
- <sup>49</sup> In London wächst Salat auch 33 m unter der Erde in einem ehemaligen Luftschutzbunker. Dafür benötigen die Pioniere von *Growing Underground* 70 % weniger Wasser als Landwirte, die Gemüse draußen auf dem Feld anbauen, vgl. RND (2020, Weltbevölkerung).
- <sup>50</sup> WirtschaftWoche (2021, Dänemark).
- <sup>51</sup> Vgl. Pflanzenfabrik (2022, Überblick).
- <sup>52</sup> Singapur hat im *Global Food Security Index* (veröffentlicht von *The Economist Intelligence Unit*) stets einen Spitzenplatz eingenommen; in den Jahren 2018 und 2019 sogar den ersten Platz. In dieser Rangliste werden die Länder mit der höchsten Ernährungssicherheit weltweit aufgeführt. Die Platzierung Singapurs ist eine Bestätigung seiner Arbeit und seines Engagements, die Lebensmittelpreise erschwinglich zu halten und hohe Standards für die Lebensmittelsicherheit einzuhalten, vgl. FuturArc (2020, Singapore), sowie Handelsblatt (2022, Singapur Lebensmittel).
- <sup>53</sup> Müller, zitiert nach NZZ (2022, Singapur).
- <sup>54</sup> Mit dem Projekt *Space Farming* forscht die *NASA* an Pflanzen im Weltraum und liefert Grundlagen für LED-Beleuchtungssysteme, Luftreiniger und andere landwirtschaftliche Innovationen, vgl. NASA (2015, Space Farming).
- <sup>55</sup> Vgl. Pflanzenfabrik (2022, Überblick), sowie Handelsblatt (2021, Einhorn).
- <sup>56</sup> Vgl. Handelsblatt (2020, Aldi).
- <sup>57</sup> Vgl. Edengreen (2022, Companies).
- <sup>58</sup> Vgl. Butturini & Marcelis (2015, Present Status); Fortado & Terazono (2019, AeroFarms).
- <sup>59</sup> Ernährungssicherheit wird definiert als ein Zustand, „in dem alle Menschen jederzeit physischen, sozialen und wirtschaftlichen Zugang zu ausreichender, sicherer und nahrhafter Nahrung haben, die ihren Ernährungsbedürfnissen und -präferenzen für ein aktives und gesundes Leben entspricht“ vgl. FAO (1996, Ernährungssicherheit).
- <sup>60</sup> Kalantari (2017, Guide).
- <sup>61</sup> Vgl. Fortune Business Insights (2022, Market Size).
- <sup>62</sup> Vgl. Forbes (2019, Technologies).
- <sup>63</sup> *Infarm* hat 2020 5,2 Mio. Euro umgesetzt und einen Verlust von 48 Mio. eingefahren. Ende 2021 betrug das Ebitda -67 Mio. Euro. Vgl. Handelsblatt (2022, Einhorn).
- <sup>64</sup> Neben Vertical Farming in den Städten hat auf dem Land auch das Thema *Agroforstwirtschaft* Zukunftspotential, eine Kombination von Gehölzen, Acker und/oder Tieren auf einer Fläche, vgl. Agroforst (2022, DeFAF).
- <sup>65</sup> Die Entdeckerinnen der Genschere *CRISPR/Cas9* bekommen den Chemie-Nobelpreis 2020. Das Werkzeug für Erbgut-Veränderungen hat die Biomedizin und die Züchtungsforschung revolutioniert. Zukunftsversprechende Einsatzmöglichkeiten ergeben sich hier auch bei der Züchtung von Pflanzen, vgl. Bioökonomie (2020, Genschere).
- <sup>66</sup> Vgl. Banerjee (2013, Up).
- <sup>67</sup> Vgl. Banerjee (2013, Up).
- <sup>68</sup> Handelsblatt (2021, Investoren und Politiker).
- <sup>69</sup> zitiert nach: Wirsam et al. (2020, Food), S. 35.

## Literaturverzeichnis

### Bücher und Publikationen

- Avgoustaki, D. D. / Xydis, G.** (2020, Indoor): Indoor Vertical Farming in the Urban Nexus Context: Business Growth and Resource Savings, Sustainability (Switzerland), 12(5), 1–18, veröffentlicht am 04.03.2020, doi: 10.3390/su12051965, zuletzt abgerufen am 15.11.2022.
- Banerjee, C. / Adenauer L.** (2021, Up): Up, Up and Away! The Economics of Vertical Farming, Journal of Agricultural Studies, veröffentlicht am 23.11.2013, doi:10.5296/jas.v2i1.4526, zuletzt abgerufen am 17.01.2023.
- Barbosa, G. L. / Almeida Gadelha, F. D. / Kublik, N. / Proctor, A. / Reichelm, L. / Weissinger, E. / Wohlleb, G. M./ Halden, R. U.** (2015, Hydroponic): Comparison of Land, Water and Energy Requirements of Lettuce Grown Using Hydroponic vs. Conventional Agricultural Methods, International Journal of Environmental Research and Public Health, 12, 6879–6891, veröffentlicht am 16.06.2015, doi:10.3390/ijerph120606879, zuletzt abgerufen am 15.11.2022.
- Beacham, A. M. / Vickers, L. / Monaghan, J.** (2019, Vertical Farming): Vertical Farming: A Summary of Approaches to Growing Skywards, The Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 94(3), 277–283, veröffentlicht am 14.02.2019, doi:10.1080/14620316.2019.1574214, zuletzt abgerufen am 15.11.2022.
- Benke, K. / Tomkins, B.** (2017, Food Production Systems): Future Food Production Systems: Vertical Farming and Controlled Environment Agriculture, Sustainability: Science, Practice and Policy, 13(1), 13–26, veröffentlicht am 20.11.2017, doi:10.1080/15487733.2017.1394054, zuletzt abgerufen am 15.11.2022.
- Biber, A. / Knodt, S. / Visbeck, M.** (2022, Blue Economy): Sustainable Blue Economy: Transformation, Wert und Potential der marinen Wirtschafts- und Ökosysteme, veröffentlicht bei FERI Cognitive Finance Institute, erschienen am 23.08.2022, Kurzversion unter: <https://www.feri-institut.de/content-center/2208231026>, zuletzt abgerufen am 07.12.2022.
- Butturini, M. / Marcelis, L. F. M.** (2015, Present Status): Vertical Farming in Europe: Present Status and Outlook 4, in: Kozai, T. (Ed.), Plant Factory: An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production, Academic Press – Elsevier, 77–92, veröffentlicht am 06.11.2019, doi:10.1016/B978-0-12-816691-8.00004-2, zuletzt abgerufen am 15.11.2022.
- Debnath, S. / Chatterwee, A. / Pal, H.** (2020, Urban Agriculture): Implication of Urban Agriculture and Vertical Farming for Future Sustainability, in: Solankey, S. (Ed.), Urban Horticulture - Necessity of the Future, IntechOpen, veröffentlicht am 25.02.2020, doi:10.5772/intechopen.91133, zuletzt abgerufen am 14.11.2022.
- Despommier, D.** (2010, Vertical Farm): The Vertical Farm – Feeding the World in the 21st Century, Thomas Dunne Books / St. Martin's Press, New York, 2010.
- DVGW** (2022, Methan-Emissionen): Methan-Emissionen der Erdgas-Infrastruktur. Daten, Fakten und Initiativen der Gasbranche, veröffentlicht o.A., <https://www.dvgw.de/medien/dvgw/leistungen/publikationen/methanemissionen-erdgas-zahlen-fakten-dvgw.pdf>, zuletzt abgerufen am 07.12.2022.
- FAO** (1996, Ernährungssicherheit): The Rome Declaration on World Food Security, Population and Development Review, 22(4), 807-809, veröffentlicht 12.1996, <https://www.jstor.org/stable/2137827>, zuletzt abgerufen am 15.11.2022.
- FAO** (2022, World): How to Feed the World in 2050, veröffentlicht o.A., [https://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert\\_paper/How\\_to\\_Feed\\_the\\_World\\_in\\_2050.pdf](https://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/How_to_Feed_the_World_in_2050.pdf), zuletzt abgerufen am 07.12.2022.
- FAO / IFAD / UNICEF / WFP / WHO** (2022, Food Security): The State of Food Security and Nutrition in the World 2022. Repurposing Food and Agricultural Policies to Make Healthy Diets More Affordable, veröffentlicht o.A., <https://www.fao.org/publications/sofi>, zuletzt abgerufen am 15.11.2022.
- Fedoroff, N.** (2015, Future of 10 Billion): Food in a Future of 10 Billion, Agriculture & Food Security, veröffentlicht am 21.08.2015, doi.org/10.1186/s40066-015-0031-7, zuletzt abgerufen am 14.11.2022.
- Nicholson, C.F. / Harbick, K. / Gómez, M.I. / Mattson, N.S.** (2020, CEA): An Economic and Environmental Comparison of Conventional and Controlled Environment Agriculture (CEA) Supply Chains for Leaf Lettuce to US Cities, in: Aktas, E. / Bourlakis, M. (Eds.), Food Supply Chains in Cities, Palgrave Macmillan, veröffentlicht am 24.05.2020, doi.org/10.1007/978-3-030-34065-0\_2, zuletzt abgerufen am 15.12.2022.
- Global Nutrition Report** (2021, Nutrition): 2021 Global Nutrition Report: The State of Global Nutrition, veröffentlichtes Update am 17.10.2022, [https://globalnutritionreport.org/documents/851/2021\\_Global\\_Nutrition\\_Report\\_aUfTRv0.pdf](https://globalnutritionreport.org/documents/851/2021_Global_Nutrition_Report_aUfTRv0.pdf), zuletzt abgerufen am 14.11.2022.
- Graamans, L. / Baeza, E. / van den Dobbelaer, A. / Tsafaras, I. / Stanghellini, C.** (2018, Resource Efficiency): Plant Factories versus Greenhouses: Comparison of Resource Use Efficiency, Agricultural Systems 160, 31–43, veröffentlicht am 01.02.2018, doi.10.1016/j.agry.2017.11.003, zuletzt abgerufen am 15.11.2022.
- IPCC** (2022, Climate Change): Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability, Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Pörtner, H.-O. / Roberts, D.C. / Tignor, M. / Poloczanska, E.S. / Mintenbeck, K. / Alegría, A. / Craig, M. / Langsdorf, S. / Löschke, S. / Möller, V. / Okem, A. / Rama (Eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, veröffentlicht am 28.02.2022, <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>, zuletzt abgerufen am 14.11.2022.

**Kalantari, F. / Mohd Tahir, O. / Mahmoudi Lahijani, A. / Kalantari, S.** (2017, Guide): A Review of Vertical Farming Technology: A Guide for Implementation of Building Integrated Agriculture in Cities, *Advanced Engineering Forum*, 24, 76 – 91, veröffentlicht am 11.10.2017, <https://www.scientific.net/AEF.24.76>, zuletzt abgerufen am 15.11.2022.

**Kozai, T.** (2018, Smart Plant Factory): *Smart Plant Factory – The Next Generation Indoor Vertical Farms*, Springer, Heidelberg, 2018.

**Muller, A. / Schader, C. / El-Hage Scialabba, N. / El-Hage Scialabba, N. / Brüggemann, J. / Isensee, A. / Erb, K.-H. / Smith, P. / Klocke, P. / Leiber, F. / Stolze, M. / Niggli, U.** (2017, Feeding the World): Strategies for Feeding the World More Sustainably with Organic Agriculture, *Nature Communication* 8, 1290, veröffentlicht am 14.11.2017, <https://www.nature.com/articles/s41467-017-01410-w>, zuletzt abgerufen am 15.11.2022.

**Moghimi, F. / Asiabanpour, B.** (2021, Economics): Economics of Vertical Farming: Quantitative Decision Model and a Case Study for Different Markets in the USA, *Research Square*, veröffentlicht am 29.09.2021, [doi.org/10.21203/rs.3.rs-943119/v1](https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-943119/v1), zuletzt abgerufen am 17.01.2023.

**Perez, V. M.** (2014, Sustainability): Study of the Sustainability Issue of Food Production Using Vertical Farm Methods in an Urban Environment within the State of Indiana, *Purdue E-Pubs*, veröffentlicht am 15.04.2014, [https://docs.lib.purdue.edu/open\\_access\\_theses](https://docs.lib.purdue.edu/open_access_theses), zuletzt abgerufen am 15.12.2022.

**Rakocy, J. E. / Masser, M. P. / Losordo, T. M.** (2006, Aquaponics): Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: Aquaponics – Integrating Fish and Plant Culture, SRAC Publication No. 454, veröffentlicht am 11.2006, <https://wkrec.ca.uky.edu/files/454fs.pdf>, zuletzt abgerufen am 15.12.2022.

**Sabry, F.** (2021, Vertical Farming): Vertical Farming: How Shall We Feed the Three More Billion People by 2050?, *Emerging Technologies in Agriculture, One billion Knowledgeable*, Ort o.A., 2021.

**UN, Department of Economics and Social Affairs** (2019, World Population Prospects): *World Population Prospects 2019, Volume II: Demographic Profiles (ST/ESA/SER.A/427)*, veröffentlicht am 31.12.2019, [https://books.google.de/books?id=bEvmDwAAQBAJ&printsec=frontcover&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.de/books?id=bEvmDwAAQBAJ&printsec=frontcover&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false), zuletzt abgerufen am 14.11.2022.

**UN, Department of Economics and Social Affairs** (2019, World Urbanization Prospects): *World Urbanization Prospects - The 2018 Revision (ST/ESA/SER.A/420)*, New York: United Nations, veröffentlicht am 18.10.2019, <https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-Report.pdf>, zuletzt abgerufen am 14.11.2022.

**Weathers, P. J. / Zobel, R. W.** (1992, Aeroponics): Aeroponics for the Culture of Organisms, Tissues and Cells, *Biotechnology Advances*, 10, 93–115, [doi:10.1016/0734-9750\(92\)91353-G](https://doi.org/10.1016/0734-9750(92)91353-G), zuletzt abgerufen am 14.11.2022.

**Wirsam, J. / Biber, A. / Bahlmann, J.** (2020, Food): Zukunftstrend „Alternative Food“ – Disruption und Transformation globaler „Food Systems“, veröffentlicht bei FERl Cognitive Finance Institute, erschienen am 06.10.2020, Kurzversion unter: <https://www.feri-institut.de/content-center/20201006>, zuletzt abgerufen am 14.11.2022.

**WWF** (2022, Europe Eats): *Europe Eats the World – How the EU’s Food Production and Consumption Impact the Planet*, veröffentlicht am 23.05.2022, [https://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/Landwirtschaft/Europe\\_Eats\\_the\\_World\\_Report\\_ws.pdf](https://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/Landwirtschaft/Europe_Eats_the_World_Report_ws.pdf), zuletzt abgerufen am 14.11.2022.

**Yalçın, R. A. / Ertürk, H.** (2020, Improving): Improving Crop Production in Solar Illuminated Vertical Farms Using Fluorescence Coatings, in: *Biosystems Engineering*, 193(2006), 25–36, veröffentlicht 05.2020, [doi: 10.1016/j.biosystemseng.2020.02.007](https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.02.007), zuletzt abgerufen am 14.11.2022.

## *Zeitungen und Internetquellen*

**Acatech** (2019, Agrargipfel): Pünktlich zum Agrargipfel: Neue Ausgabe der acatech HORIZONTE zum Thema Nachhaltige Landwirtschaft erschienen, veröffentlicht am 05.12.2019, <https://www.acatech.de/allgemein/puenktlich-zum-agrargipfel-neue-ausgabe-der-acatech-horizonte-zum-thema-nachhaltige-landwirtschaft-erschiene/>, zuletzt abgerufen am 10.11.2022.

**Agriitecture** (2018, Mushroom Farm): Canada’s First Vertical Mushroom Farm Grows on Artificial "Trees", veröffentlicht am 20.12.2022, <https://www.agriitecture.com/blog/2019/1/18/canadas-first-vertical-mushroom-farm>, zuletzt abgerufen am 07.12.2022.

**Agroforst** (2022, DeFAF): Was ist Agroforstwirtschaft?, veröffentlicht o. A., <https://agroforst-info.de/agroforstwirtschaft/>, zuletzt abgerufen am 23.11.2022.

**Aljazeera** (2022, Wheat Supply): Infographic: Russia, Ukraine and the Global Wheat Supply, veröffentlicht am 17.02.2022, <https://www.aljazeera.com/news/2022/2/17/infographic-russia-ukraine-and-the-global-wheat-supply-interactive>, zuletzt abgerufen am 14.11.2022.

**Artemis** (2020, State): State of Indoor Farming 2022, veröffentlicht am 07.06.2021, <https://artemisag.com/artemis-releases-2020-state-of-indoor-farming-report/>, zuletzt abgerufen am 15.11.2022.

**Bioökonomie** (2020, Genschere): Mit Genschere zum Chemie-Nobelpreis, veröffentlicht am 08.10.2020, <https://biooekonomie.de/nachrichten/neues-aus-der-biooekonomie/mit-genschere-zum-chemie-nobelpreis>, zuletzt abgerufen am 18.11.2022.

**Bold Business** (2019, Next Frontier): Vertical Farming: The Next Frontier in Food Production?, veröffentlicht am 22.03.2019, <https://www.boldbusiness.com/nutrition/vertical-farming-next-frontier-food-production/>, zuletzt abgerufen am 10.11.2022.

- Business Insider** (2022, Ernährungskrise): Preisschocks in Europa, Hungersnöte in Teilen der Welt: Experten warnen vor einer Ernährungskrise durch den Krieg in der Ukraine, veröffentlicht am 22.03.2022, <https://www.businessinsider.de/politik/ukraine-russland-krieg-ernaehrung-hungersnot-ernte-weizen-soja-mais-sonnenblumen/>, zuletzt abgerufen am 15.11.2022.
- CB Insights** (2021, Vertical Farming): How Vertical Farming Is Impacting the Food Supply Chain and Enabling Taste Innovation, veröffentlicht am 20.05.2021, <https://www.cbinsights.com/research/what-is-vertical-farming/>, zuletzt abgerufen am 07.12.2022.
- COE** (2021, Mushroom): What Indoor Agtech Can Learn from Mushroom Farming, veröffentlicht am 09.03.2021, <https://indooragcenter.org/agtech-learn-from-mushroom-farming/>, zuletzt abgerufen am 07.12.2022.
- Edengreen** (2022, Companies): 17 Biggest Companies in Vertical Farming Today, veröffentlicht am 16.03.2022, <https://www.edengreen.com/blog-collection/17-biggest-companies-in-vertical-farming>, zuletzt abgerufen am 15.11.2022.
- FastCompany** (2022, Fish): The World's Largest Vertical Farm Will Have a Secret Ingredient: Fish, veröffentlicht am 18.02.2022, <https://www.fastcompany.com/90713239/the-worlds-largest-vertical-farm-will-have-a-secret-ingredient-fish>, zuletzt abgerufen am 07.12.2022.
- Forbes** (2019, Technologies): These Are the Technologies that Will Transform the 2020s - From 5G to Vertical Farming, veröffentlicht 09.12.2022, <https://www.forbes.com/sites/mikescott/2019/12/09/these-are-the-technologies-that-will-transform-the-2020s-from-5g-to-vertical-farming/?sh=6edb829c4a05>, zuletzt abgerufen am 15.11.2022.
- Forbes** (2022, First Food Pavilion): COP27 Will Have Its First Food Pavilion to Address Food System Change, veröffentlicht am 17.08.2022, <https://www.forbes.com/sites/danieladelorenzo/2022/08/17/cop27-will-have-its-first-food-pavilion-to-address-food-system-change/?sh=6f0cabca4bfb>, zuletzt abgerufen am 15.11.2022.
- Fortado, L. / Terazono, E.**, zitiert nach Financial Times (2019, AeroFarms): AeroFarms Raises \$100m as Investors Rush to Indoor Farms, veröffentlicht am 08.07.2019, <https://www.ft.com/content/cac48190-9d8a-11e9-9c06-a4640c9feebb>, zuletzt abgerufen am 15.11.2022.
- Fortune Business Insights** (2022, Market Size): Vertical Farming Market Size & COVID19 Impact Analysis, by Type, by Structure, by Component, and Regional Forecast 2022-2029, veröffentlicht 04.2022, <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/vertical-farming-market-101958>, zuletzt abgerufen am 14.11.2022.
- FuturArc** (2020, Singapore): Singapore, veröffentlicht am 12.02.2020, <https://www.futurarc.com/commentary/singapore/>, zuletzt abgerufen am 12.11.2022.
- Gates Foundation** (2012, Changes Needed): Helping Poor Farmers, Changes Needed to Feed 1 Billion Hungry, veröffentlicht am 24.02.2012, <https://www.gatesfoundation.org/ideas/media-center/press-releases/2012/02/helping-poor-farmers-changes-needed-to-feed-1-billion-hungry>, zuletzt abgerufen am 15.11.2022.
- Handelsblatt** (2020, Aldi): Kräuter-Start-up Infarm gewinnt nach Aldi auch Kaufland als Kunden, veröffentlicht am 28.07.2020, <https://www.handelsblatt.com/unternehmen/handel-konsumgueter/vertical-farming-kraeuter-start-up-infarm-gewinnt-nach-aldi-auch-kaufland-als-kunden/26041852.html>, zuletzt abgerufen am 15.11.2022.
- Handelsblatt** (2021, Einhorn): Infarm wird zum Einhorn: Investoren sehen Foodtech als kommenden Megatrend, veröffentlicht am 16.12.2021, <https://www.handelsblatt.com/technik/it-internet/lebensmittel-technologie-infarm-wird-zum-einhorn-investoren-sehen-foodtech-als-kommenden-megatrend/27892126.html>, zuletzt abgerufen am 14.11.2022.
- Handelsblatt** (2021, Investoren und Politiker): Investoren und Politiker müssen für das Essen der Zukunft kämpfen, veröffentlicht am 16.12.2022, <https://www.handelsblatt.com/meinung/kommentare/kommentar-investoren-und-politiker-muessen-fuer-das-essen-der-zukunft-kaempfen/27900042.html>, zuletzt abgerufen am 18.11.2022.
- Handelsblatt** (2022, Dünger-Hersteller): Dünger-Hersteller in Europa geraten wegen hoher Gaspreise in Not, veröffentlicht am 09.09.2022, [https://nachrichten.handelsblatt.com/641954a3a1d39402c338b066b9c4fb867bcd3ef439374dc495b3e1f0e72437f-763c1e2e086a79baa6ea9d6344cc0797c028661654?product=hb&&utm\\_source=app](https://nachrichten.handelsblatt.com/641954a3a1d39402c338b066b9c4fb867bcd3ef439374dc495b3e1f0e72437f-763c1e2e086a79baa6ea9d6344cc0797c028661654?product=hb&&utm_source=app), zuletzt abgerufen am 15.11.2022.
- Handelsblatt** (2022, Einhorn): Einhörner im Check: Wie es wirklich um diese 36 deutschen Milliarden-Start-ups steht, veröffentlicht am 20.11.2022, <https://www.handelsblatt.com/unternehmen/management/gruenderszene-einhoerner-im-check-wie-es-wirklich-um-diese-36-deutschen-milliarden-start-ups-steht/28815804.html>, zuletzt abgerufen am 20.11.2022.
- Handelsblatt** (2022, Singapur Lebensmittel): Vertical Farming und Laborfleisch: So will Singapur Lebensmittel nachhaltig produzieren, veröffentlicht am 13.06.2022, <https://www.handelsblatt.com/unternehmen/handel-konsumgueter/landwirtschaft-vertical-farming-und-laborfleisch-so-will-singapur-lebensmittel-nachhaltig-produzieren/28410652.html>, zuletzt abgerufen am 15.11.2022.
- Lebensmittelpraxis** (2019, Infarm): Infarm treibt globale Expansion voran, veröffentlicht am 17.12.2021, <https://lebensmittelpraxis.de/handel-aktuell/32658-vertical-farming-infarm-treibt-globale-expansion-voran.html>, zuletzt abgerufen am 10.11.2022.
- McKinsey** (2021, Methan): Methan wird als Treiber des Klimawandels unterschätzt, veröffentlicht am 14.10.2021, <https://www.mckinsey.de/news/presse/21-10-14-curbing-methane-emissions>, zuletzt abgerufen am 14.11.2022.
- MIT** (2017, Food Server): Food Server, veröffentlicht o. A., <https://www.media.mit.edu/projects/food-server/overview/>, zuletzt abgerufen am 14.11.2022.
- NASA** (2015, Space Farming): Space Farming Yields a Crop of Benefits for Earth, veröffentlicht am 10.08.2015, <https://www.nasa.gov/image-feature/space-farming-yields-a-crop-of-benefits-for-earth>, zuletzt abgerufen am 14.11.2022.

- NatureFund** (2019, Zukunft): Vertical Farming – Die Zukunft der Landwirtschaft?, veröffentlicht am 07.02.2019, [https://www.naturefund.de/en/article/news/vertical\\_farming\\_die\\_zukunft\\_der\\_landwirtschaft?gclid=CjwKCAiAjs2bBhACEiwALTBWZeB5zGiNUmMrTHY-LO1ij3PuyqzdL0ju6BYHmEFn-1a7q4gV60ksY1hoCk10QAvD\\_BwE](https://www.naturefund.de/en/article/news/vertical_farming_die_zukunft_der_landwirtschaft?gclid=CjwKCAiAjs2bBhACEiwALTBWZeB5zGiNUmMrTHY-LO1ij3PuyqzdL0ju6BYHmEFn-1a7q4gV60ksY1hoCk10QAvD_BwE), zuletzt abgerufen am 13.11.2022.
- NZZ** (2022, Singapur): Singapur will mit Hightech und Vertical Farming die Abhängigkeit von Lebensmittelimporten verringern, veröffentlicht am 17.02.2022, <https://www.nzz.ch/wirtschaft/singapur-will-dank-hightech-weniger-lebensmittel-importieren-id.1665392>, zuletzt abgerufen am 15.11.2022.
- Pflanzenfabrik** (2022, Überblick): Vertical Farming | GUIDE | Vertikale Landwirtschaft im Überblick, veröffentlicht am 07.07.2022, <https://www.pflanzenfabrik.de/vertical-farming-ueberblick/>, zuletzt abgerufen am 15.11.2022.
- RND** (2020, Weltbevölkerung): Warum "Vertical Farming" lebenswichtig für die Weltbevölkerung werden könnte, veröffentlicht am 22.09.2020, <https://www.rnd.de/wirtschaft/warum-vertical-farming-lebenswichtig-fur-die-weltbevölkerung-werden-konnte-KDIOIA-7Q6BGLFBZSYWNXZJYDCQ.html>, zuletzt abgerufen am 14.11.2022.
- WEF** (2022, Dubai): Dubai Has the 'World's Largest' Vertical Farm - Is This the Future of Agriculture?, veröffentlicht am 13.05.2022, <https://www.weforum.org/agenda/2022/05/vertical-farming-future-of-agriculture/>, zuletzt abgerufen am 05.12.2022.
- WEF** (2022, Technology): Using Technology to Improve a Billion Livelihoods – Insight Report, veröffentlicht 10.2022, [https://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Using\\_Technology\\_to\\_Improve\\_a\\_Billion\\_Livelihoods\\_2022.pdf](https://www3.weforum.org/docs/WEF_Using_Technology_to_Improve_a_Billion_Livelihoods_2022.pdf), zuletzt angerufen am 14.11.2022.
- WirtschaftsWoche** (2020, Dänemark): Hier entsteht Europas größte Vertical Farm, veröffentlicht am 07.12.2020, <https://www.wiwo.de/technologie/umwelt/daenemark-hier-entsteht-europas-groesste-vertical-farm/26692980.html>, zuletzt abgerufen am 14.11.2022.
- SingularityHub** (2022, Bacon): A New Vertical Farm Will Grow 3 Million Pounds of Mycelium a Year for Fungi-Based Bacon, veröffentlicht am 17.08.2022, <https://singularityhub.com/2022/08/17/a-new-vertical-farm-will-grow-3-million-pounds-of-mycelium-a-year-for-fungi-based-bacon/>, zuletzt abgerufen am 07.12.2022.
- Smithsonian** (2021, Singapore): An Eight-Story Fish Farm Will Bring Locally Produced Food to Singapore, veröffentlicht am 09.02.2021, <https://www.smithsonianmag.com/innovation/eight-story-fish-farm-will-bring-locally-produced-food-to-singapore-180976956/>, zuletzt abgerufen am 07.12.2022.
- Stiftung Warentest** (2017, Großstadt): Gemüse und Fische aus der Großstadt, veröffentlicht am 12.12.2017, <https://www.test.de/Vertical-Farming-Aquaponik-Gemuese-und-Fische-aus-der-Grossstadt-5259466-0/>, zuletzt abgerufen am 07.12.2022.
- Techcrunch** (2022, Crop One): Crop One, Emirate Open 'World's Largest Vertical Farm' in Dubai, veröffentlicht am 19.07.2022, [https://techcrunch.com/2022/07/19/crop-one-emirate-worlds-largest-vertical-farm-in-dubai/?guccounter=1&guce\\_referrer=aHR0cHM6Ly93d-3cuZ29vZ2xlLmNvbS8&guce\\_referrer\\_sig=AQAAAawj8NdQZ2clmK1E292ZqysY3JS-LdHRakdIli\\_X-\\_UzAafX4YbZejFuAcY8Ip-1VMMx1H-ZlCqinYABir30tmgrOM3wTHW0gBsy-GxhhVRs6J2eYp0GjGYO4bUxeJZYktTLhVHe9AztN9tuk1krOO165lvAre8gXgJXLvhMVeI4S](https://techcrunch.com/2022/07/19/crop-one-emirate-worlds-largest-vertical-farm-in-dubai/?guccounter=1&guce_referrer=aHR0cHM6Ly93d-3cuZ29vZ2xlLmNvbS8&guce_referrer_sig=AQAAAawj8NdQZ2clmK1E292ZqysY3JS-LdHRakdIli_X-_UzAafX4YbZejFuAcY8Ip-1VMMx1H-ZlCqinYABir30tmgrOM3wTHW0gBsy-GxhhVRs6J2eYp0GjGYO4bUxeJZYktTLhVHe9AztN9tuk1krOO165lvAre8gXgJXLvhMVeI4S), zuletzt abgerufen am 14.11.2022.

## *Impressum*

**Herausgeber:** FERI Cognitive Finance Institute, Bad Homburg  
**Autor:** Julia Bahlmann, Projektmanagerin, FERI Cognitive Finance Institute  
**Veröffentlichung:** Januar 2023

# Bisherige Publikationen im FERI Cognitive Finance Institute:

## Studien:



1. Carbon Bubble und Dekarbonisierung (2017)
2. Overt Monetary Finance (OMF) (2017)
3. Die Rückkehr des Populismus (2017)
4. KI-Revolution in der Asset & Wealth Management Branche (2017)
5. Zukunftsrisiko „Euro Break Up“ (2018)
6. Die Transformation zu einer kohlenstoffarmen Wirtschaft, (2018)
7. Wird China zur Hightech-Supermacht? (2018)
8. Zukunftsrisiko „Euro Break Up“, 2. aktualisierte und erweiterte Auflage (2018)
9. Risikofaktor USA (2018)
10. Impact Investing: Konzept, Spannungsfelder und Zukunftsperspektiven (2019)
11. „Modern Monetary Theory“ und „OMF“ (2019)
12. Alternative Mobilität (2019)
13. Digitalisierung – Demographie – Disparität (2020)
14. „The Great Divide“ (2020)
15. Zukunftstrend „Alternative Food“ (2020)
16. Digitalisierung – Demographie – Disparität, 2. aktualisierte und erweiterte Auflage (2020)
17. „The Great Progression“ (2021)
18. „Blockchain und Tokenisierung“ (2021)
19. „The Monetary Supercycle“ (2021)
20. Wasserstoff als Energiequelle der Zukunft (2022)
21. Sustainable Blue Economy (2022)
22. Chinas globales Powerplay (2022)

## Cognitive Comments:



1. Network Based Financial Markets Analysis (2017)
2. Zwischen Populismus und Geopolitik (2017)
3. „Neue Weltordnung 2.0“ (2017)
4. Kryptowährung, Cybermoney, Blockchain (2018)
5. Dekarbonisierungsstrategien für Investoren (2018)
6. Innovation in blockchain-based business models and applications in the enterprise environment (2018)
7. Künstliche Intelligenz, Quanten-Computer und Internet of Things - Die kommende Disruption der Digitalisierung (2019)
8. Quantencomputer, Internet of Things und superschnelle Kommunikationsnetze (2019)
9. Was bedeutet die CoViD19-Krise für die Zukunft? (2020)
10. Trouble Spot Taiwan – ein gefährlich unterschätztes Problem (2021)
11. Urban Air Mobility – Flugdrohnen als Transportmittel der Zukunft (2021)
12. „Longevity“: Megatrend Langlebigkeit – Die komplexen Auswirkungen und Konsequenzen steigender Lebenserwartung (2022)
13. Hightech-Metalle und Seltene Erden – Akute Rohstoff-Risiken für Europas Zukunft (2022)
14. Amerika auf dem Weg zur Autokratie – Anatomie und Perspektiven einer gespaltenen Großmacht (2022)
15. Vertical Farming – Technologische Innovation zur Umgestaltung des globalen Ernährungssystems (2023)

## Cognitive Briefings:



1. Ressourcenverbrauch der Digital-Ökonomie (2020)
2. Globale Bifurkation oder „New Cold War“? (2020)
3. Digitaler Euro: Das Wettrennen zwischen Europäischer Zentralbank und Libra\* Association (2020)
4. Herausforderung „Deep Fake“ (2021)
5. Geoökonomische Zeitenwende (2022)

*„Von einer nachhaltigen Landwirtschaft, die allen gesellschaftlichen Gruppen annähernd gerecht wird, sind wir noch weit entfernt. Ein Weg dorthin ist möglich, er gelingt allerdings nur, wenn alle Akteure – also Verbraucher, Landwirte und Politiker – sich zu einem konstruktiven Dialog zusammenfinden.“*

Hans-Georg Frede, Leiter der Projektgruppe Acatech HORIZONTE: nachhaltige Landwirtschaft, zitiert nach Acatech (2019, Agrargipfel)

*„Das derzeitige Lebensmittelsystem ist nicht mehr tragfähig. [...] Die vertikale Landwirtschaft bietet eine nachhaltige Lösung, um eine wachsende Bevölkerung auf eine Art und Weise zu ernähren, die weitaus besser für den Planeten und angesichts klimatischer Unsicherheiten und Schwierigkeiten bei Lebensmittellieferketten deutlich widerstandsfähiger und flexibler ist.“*

Erez Galonska, CEO von Infarm, zitiert nach: Lebensmittelpraxis (2021, Infarm)



FERI AG | FERI Cognitive Finance Institute  
Das strategische Forschungszentrum der FERI Gruppe  
Haus am Park  
Rathausplatz 8 – 10  
61348 Bad Homburg v.d.H.  
Tel. +49 (0)6172 916-3631  
[info@feri-institut.de](mailto:info@feri-institut.de)  
[www.feri-institut.de](http://www.feri-institut.de)



Rechtliche Hinweise: Alle Angaben und Quellen werden sorgfältig recherchiert. Für Vollständigkeit und Richtigkeit der dargestellten Information wird keine Gewähr übernommen. Diese Publikation ist urheberrechtlich geschützt. Jede weitere Verwendung, insbesondere der gesamte oder auszugsweise Nachdruck oder die nicht nur private Weitergabe an Dritte, ist nur mit vorheriger schriftlicher Zustimmung von FERI gestattet. Die nicht autorisierte Einstellung auf öffentlichen Internetseiten, Portalen oder anderen sozialen Medien ist ebenfalls untersagt und kann rechtliche Konsequenzen nach sich ziehen. Die angeführten Meinungen sind aktuelle Meinungen, mit Stand des in diesen Unterlagen aufgeführten Datums. FERI AG, Stand 2023