



**TECHNOLOGIE
STIFTUNG
BERLIN**

Daten. Pflanzen. Stadt.

**Sensoren und Datenanalyse für Urban Farming
und Stadtgrün**

Anett Kuntosch



NACHODSTRASSE

NACHODSTRASSE

PRAGER STRASSE

LOTZSTRASSE

BAMBERGER STR.

LANDSHUTER STR.

HELLDORFER STR.

BARBAROSSASTR.

HELLDORFER STR.

PRAGER PLATZ

PRAGER PLATZ

BARBAROSSASTR.

TREUCHTLINGER STR.

LANDSHUTER STR.

ASCHAFFENBURGER STR.

BAMBERGER STR.

PRINZREGENTENSTR.

HELMSTEDTER STR.

JWAERSTRASSE

ASCHAFFENBURGER STR.

GÜNTZELSTRASSE

GÜNTZELSTRASSE

GÜNTZELSTRASSE

STÜRBNSTRASSE

BAMBERGER STR.

BUNDESALLEE

BUNDESALLEE

THARANDTER STR.

HELMSTEDTER STR.

JWAERSTRASSE

BUNDESALLEE

BUNDESALLEE

PRINZREGENTENSTR.

BUNDESALLEE

BUNDESALLEE

BERLINER STRASSE

BERLINER STRASSE

BUNDESALLEE

BUNDESALLEE

BERLINER STRASSE

BERLINER STRASSE

BABEISPRGER STR.

PRINZREGENTENSTR.

Vorwort

Digitalisierung und eine grünere Stadt sind kein Widerspruch, sondern Erfolgsrezept: Mit optischen Technologien und datenbasierten Applikationen können sowohl die urbane Lebensmittelproduktion ausgebaut als auch das Stadtgrün geschützt werden.

Unternehmen aus dem Bereich des Vertical Farmings erhalten schon jetzt in regelmäßigen Abständen große Mengen an Venture Capital, um ihre Methoden und Geschäftsmodelle weiterzuentwickeln und zu expandieren. Denn weltweite Herausforderungen, die uns alle angehen, wie der Rückgang landwirtschaftlicher Nutzfläche, erfordern es, dass wir zukünftig in der Lage sind, mehr Nahrungsmittel auf einer kleineren Fläche zu produzieren. Es ist auch ein aktiver Beitrag zum Klimaschutz: Durch die Reduzierung von Transportwegen werden Emissionen vermieden; mehr Grün in der Stadt reduziert die CO₂-Last.

Also ein spannendes Feld, in dem Berlin mit seinen Kompetenzen in den Bereichen Optik, Sensorik, aber auch mit den Schwerpunkten in den wissenschaftlichen Institutionen perspektivisch einen wichtigen Beitrag leisten kann.

Denn es gibt noch viel zu tun: Bis die Geschäftsmodelle wirtschaftlich tragfähig sind, sie die Anforderungen an Nachhaltigkeit erfüllen und auch andere Kulturen als Kräuter und Salate produziert werden können, wird noch einige Zeit vergehen.

Die Studie schaut sich das Innovationssystem in der Nische an und beschreibt die Herausforderungen und Chancen für Berlin an den weiteren Entwicklungen teilzuhaben.

Auch bei der Pflege, dem Monitoring und der Planung von Stadtgrün kann ähnliche Technik angewendet und in innovativer Weise ausgewertet und genutzt werden. Hier gibt es viele Ideen: darunter twitternde Bäume und Wälder, die sich selbst managen sollen, sind nur zwei Beispiele. Auch die Bevölkerung kann im Rahmen von Citizen Science mit dazu beitragen, dass Daten gesammelt und gezielt ausgewertet werden können.

Wir danken der Senatsverwaltung für Wirtschaft, Energie und Betriebe des Landes Berlin, deren Förderung diese Studie ermöglicht hat.



Nicolas Zimmer,
Vorstandsvorsitzender,
Technologiestiftung Berlin

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	1
Zusammenfassung	4
Summary	5
1. Einleitung	6
2. Untersuchungsmethoden	8
3. Teil I – Urban Farming	9
3.1 Techniknutzung und Geschäftsmodelle im Agrarsektor	9
3.2 Indoor-Produktion von Salaten und Kräutern im urbanen Raum	10
4. Ökosystem: Berlin, Deutschland und international	14
4.1 Akteure im Ökosystem	15
4.2 Etablierte Wirtschaft	19
4.3 Netzwerke	20
4.4 Universitäre und außeruniversitäre Forschung	21
4.5 Internationales Geschehen	22
5. Technologie und Technologiekomponenten	24
5.1 Sensoren	24
5.2 Beleuchtung	26
5.3 Daten und Digitalisierung	27
6. Ökonomische und politische Rahmenbedingungen	28
7. Teil II – Stadtgrün	31
7.1 Methoden der Fernerkundung	32
7.2 Einsatz von Sensoren und Nutzung von Daten	34
7.3 Forschung	36
8. Fazit und Empfehlungen	37
8.1. Fazit und Empfehlungen Teil I	37
8.2 Fazit und Empfehlungen Teil II	39
8.3 Ausblick	40
9. Anhang	42
I Quellen	42
II Unternehmensbeispiele	44
III Liste der Experten	46
IV Abkürzungsverzeichnis	47

Zusammenfassung

Technologie und Innovation wird im Hinblick auf derzeitige und zukünftige gesellschaftliche und ökologische Herausforderungen die Rolle zugeschrieben, geeignete Maßnahmen zu erarbeiten und bereitzustellen. Ein Beispiel ist die Entwicklung von alternativen Systemen zur Lebensmittelproduktion, begründet im Rückgang landwirtschaftlich nutzbarer Fläche bei gleichzeitigem Bevölkerungswachstum. Ein weiteres Beispiel ist die Rolle von Technik zur Unterstützung der Funktionen des Stadtgrüns, das durch die Urbanisierung bedeutend für das Wohl der Stadtbevölkerung ist.

Urban Farming: Neben der traditionellen Landwirtschaft wird zunehmend die Produktion von Gemüse und Kräutern im urbanen Raum in quasi-künstlichen, geschlossenen Systemen als Lösungsbeitrag in Betracht gezogen. Unabhängig von äußeren Einflüssen, finden Kulturen hier optimale Wachstumsbedingungen vor. Das Wissen und die Technologie, wie Pflanzen unter solch kontrollierten Bedingungen gedeihen, können größtenteils aus der Landwirtschaft und dem Gartenbau übernommen werden. Das sogenannte Indoor Farming hat insbesondere ökonomische Herausforderungen: Denn für den Betrieb müssen enorme Energiemengen für Beleuchtung, Heizung und Kühlung zur Verfügung gestellt werden. Trotzdem erfährt diese Technologie in den USA, Europa und Asien, derzeit enorme Aufmerksamkeit seitens Medien und VC-Kapitalgebern.

Auch in Berlin und Deutschland hat sich in den letzten Jahren ein sehr dynamisches Ökosystem von Akteuren aus Wissenschaft und Wirtschaft in diesem Bereich entwickelt. Die Start-ups haben ganz unterschiedliche Motivationen und sehen sich teilweise als Anlagenbauer, teilweise aber auch als Social Entrepreneurs. Für Berlin wichtige Sektoren wie Optik/Photonik, Cleantech oder IMK spielen eine Rolle. Berlin kann damit Beiträge zur Weiterentwicklung der Technologie leisten, limitierend, auch für die Frage, ob Berliner Unternehmen als Zulieferer davon profitieren können, ist jedoch die geringe Marktgröße.

Ein Aspekt, an dem weitergearbeitet wird, ist die Zusammenführung und Auswertung von Daten aus unterschiedlichen Sensoren hin zu Entscheidungstools für Anwender. Auch Nachhaltigkeitsaspekte spielen eine wichtige Rolle bei der weiteren Entwicklung des technologischen Pfades. Inwieweit die einzelnen Ansätze zur Nachhaltigkeit beitragen, ist jedoch noch umstritten. Auch Fragen der Skalierung und Wirtschaftlichkeit sind derzeit noch mit großer Unsicherheit behaftet.

Die Technologie wird sich generell weiter ausbreiten – in Europa jedoch voraussichtlich nicht so massiv wie in anderen Regionen. Auch, wenn sie also für Berlin keine übergeordnete Rolle spielt, sind die Akteure gut beraten, sich zum Austausch von Know-how aus so unterschiedlichen Gebieten wie Messtechnik, Gartenbau, Anlagenbau und Digitalisierung zu vernetzen.

Stadtgrün: Auch im Bereich Stadtgrün gibt es eine Reihe von Möglichkeiten, wie technische Komponenten und vor allem auch Daten die Arbeit der Akteure unterstützen können oder um Nachhaltigkeitsziele zu überprüfen und Erfolge zu dokumentieren. Welche Möglichkeiten es hierzu, auch unter den Rahmenbedingungen geringer Ressourcen öffentlicher Institutionen, gelingen kann, wird in der Studie beleuchtet.

Summary

Technology and innovation have been given the role of developing and providing suitable measures for mastering current and future social and ecological challenges. The development of alternative systems for food production, justified by the reduction in land available for agricultural use in the face of population growth, is one example. Another one is technology's role in supporting the functions of urban green spaces, which urbanisation has made essential for the well-being of the urban population.

Urban Farming: Alongside traditional farming, the production of vegetables and herbs in virtually artificial, closed systems within the urban space is increasingly being considered as part of the solution. As crops are independent from external influences there, they enjoy optimal conditions for growth. Most knowledge and technology related to how plants can thrive under controlled conditions can be adopted from agriculture and horticulture. The challenges of Indoor Farming include economic aspects, as huge amounts of energy must be provided to enterprises for lighting, heating and cooling. The relevant technology is currently receiving a great deal of attention from the media and venture capital investors in the U.S.A., Europe and Asia.

In Berlin and throughout Germany, a very dynamic ecosystem with players from science and the private sector has developed in recent years. Enterprises have started up for very different motives; some consider themselves systems engineers while others do business as social entrepreneurs. In Berlin, key sectors such as optics/photonics, cleantech and ICT play a role. Berlin can contribute to the further development of the technology through those sectors, but the small market size is a limiting factor – also for the question of whether or not Berlin companies can benefit in the role of supplier.

Work continues on the aspect of the compilation and evaluation of data from different sensors to be used as decision-making tools for users. Sustainability plays an important role in the further development of the technology path. However, various aspects of sustainability are controversial or have yet to be conclusively clarified. Questions around scale and economic efficiency are currently subject to great uncertainty.

In general, the technology will continue to spread; in Europe, however, it will in all likelihood not be as widespread as in other regions. Although it does not play a dominant role for Berlin, the players would be well advised to form a network focussed on exchanging know-how from different disciplines such as metrology, horticulture, systems engineering and digitalisation.

Urban Green Spaces: When it comes to urban green spaces as well, there is an array of options by which data and technical components can support the work of the players or be used to verify sustainability goals and document successes. The present study examines which of the available options can lead to success, in particular under the general conditions of public institutions and their low level of resources.

1. Einleitung

Die voranschreitende Urbanisierung und die wachsende Weltbevölkerung, im Zusammenhang mit dem Rückgang an verfügbarer landwirtschaftlicher Nutzfläche, tragen dazu bei, dass Unternehmen, aber auch Länder und Regionen, nach innovativen Ansätzen suchen, wie auch zukünftig ausreichend Nahrungsmittel zur Verfügung gestellt werden können. Denn von Innovatoren und Innovationssystemen wird zunehmend gefordert, dass sie – neben der wirtschaftlichen Machbarkeit – gesellschaftliche oder ökologische Herausforderungen bei der Produktentwicklung mitberücksichtigen und geeignete Maßnahmen vorschlagen und bereitstellen.¹ Der Anbau unter kontrollierten Bedingungen² in geschlossenen Systemen im urbanen Raum ist dabei nur *ein* Ansatz, der derzeit verfolgt wird. Der Anbau von Lebensmitteln in der Stadt wird im allgemeinen als ‚Urban Farming‘ bezeichnet. Dies umfasst eine ganze Reihe unterschiedlicher, kommerzieller und nicht-kommerzieller Aktivitäten: von gemeinwohlorientierten Initiativen bis hin zu schnell skalierenden Geschäftsmodellen.

Technologie, verstanden als Menge aller möglichen Methoden zur Lösung eines Problems in einem „abgegrenzten Anwendungsbereich“,³ spielt für einige Ansätze unter dem Überbegriff des sogenannten Urban Farming eine bedeutsame Rolle. Dabei soll für diese Studie nicht ausschließlich die technische Lösung, sondern das gesamte System inklusive wichtiger Aspekte wie wirtschaftliche Relevanz, rechtliche oder politische Rahmenbedingungen usw. Berücksichtigung finden (siehe Abb. 1). Der innovative Einsatz von Technik im Indoor Farming⁴ erfordert dabei die Expertise aus unterschiedlichen Bereichen. Einen Anteil haben beispielsweise der Garten- und Pflanzenbau, die Optik/Photonik, unter anderem bei der Komponente Pflanzenlicht; aber auch die Sensorik sowie der Anlagenbau. Die Digitalisierung und die

Auswertung großer Datenmengen mittels Methoden der KI kann die Entscheidungsfindung – auch für die vielen Akteure ohne vertiefte Kenntnisse im Pflanzenbau – ermöglichen. Die **Abbildung 1** stellt Aspekte des Innovationssystems überblicksartig dar, die in der Studie bei der Beantwortung folgender Ausgangsfragen berücksichtigt werden:

- Welche unterschiedlichen Innovationsansätze und Initiativen gibt es in Berlin und welche Technologien finden Anwendung?
- Ist das Feld relevant für die Entwicklung von Produkten oder Software die Berliner Cluster betreffend? Wie kann eine bessere Vernetzung der Akteure in diesem Feld erreicht werden?
- Lassen sich, aufgrund der Studienergebnisse, Empfehlungen ableiten?

Das Indoor Vertical Farming ist eine Technologie, die ein alternatives Produktionssystem bereitstellt und die sich unter den oben benannten Voraussetzungen vor allem in Ungunsträumen (Wüsten, abgelegenen Gegenden mit Möglichkeit autarker Energieerzeugung aus Wind oder Sonne) weiter etabliert. Auch für sehr dicht besiedelte Räume, ohne eigene landwirtschaftliche Flächen wie Singapur, kommen solche Lösungen in Frage. Für Deutschland ist eine baldige Diffusion jedoch nicht zu erwarten. Für den europäischen Markt haben Geschäftsmodelle, wie der Verkauf frischer Kräuter oder Salate, wie einige Unternehmen es anbieten, aber durchaus eine Chance als Ergänzungsprodukte bei der besser verdienenden, nachhaltigkeits-sensiblen, städtischen Bevölkerung. Neben vielen bekannten Faktoren gibt es derzeit noch Wissenslücken bei einzelnen technischen Komponenten, die zum Erfolg und zur Wirtschaftlichkeit von Indoor Farming beitragen könnten. Diese betreffen beispielsweise die Anlagensteuerung oder die Nutzung von Daten. Bei den Komponenten Licht und Sensorik konnte bereits sehr stark auf die Entwicklungen aus u. a.

1 Botthoff et al. (2020).

2 Im Folgenden: CEA (controlled environment agriculture).

3 Bullinger (1994).

4 Anbau unter kontrollierten Bedingungen im Innenraum auf mehreren Ebenen. Diese Studie beschäftigt sich mit Indoor Farming, da nur hier relevante Technik zum Einsatz kommt. Das ‚Urban Farming‘ (im Sinne von bodengebundener Landwirtschaft im urbanen Raum) wird nicht im Detail betrachtet und findet nur aus Gründen der Vollständigkeit Erwähnung.

dem Gartenbau zurückgegriffen werden. Hier besteht hauptsächlich die Frage, wie die Anlagen energieeffizienter werden können.

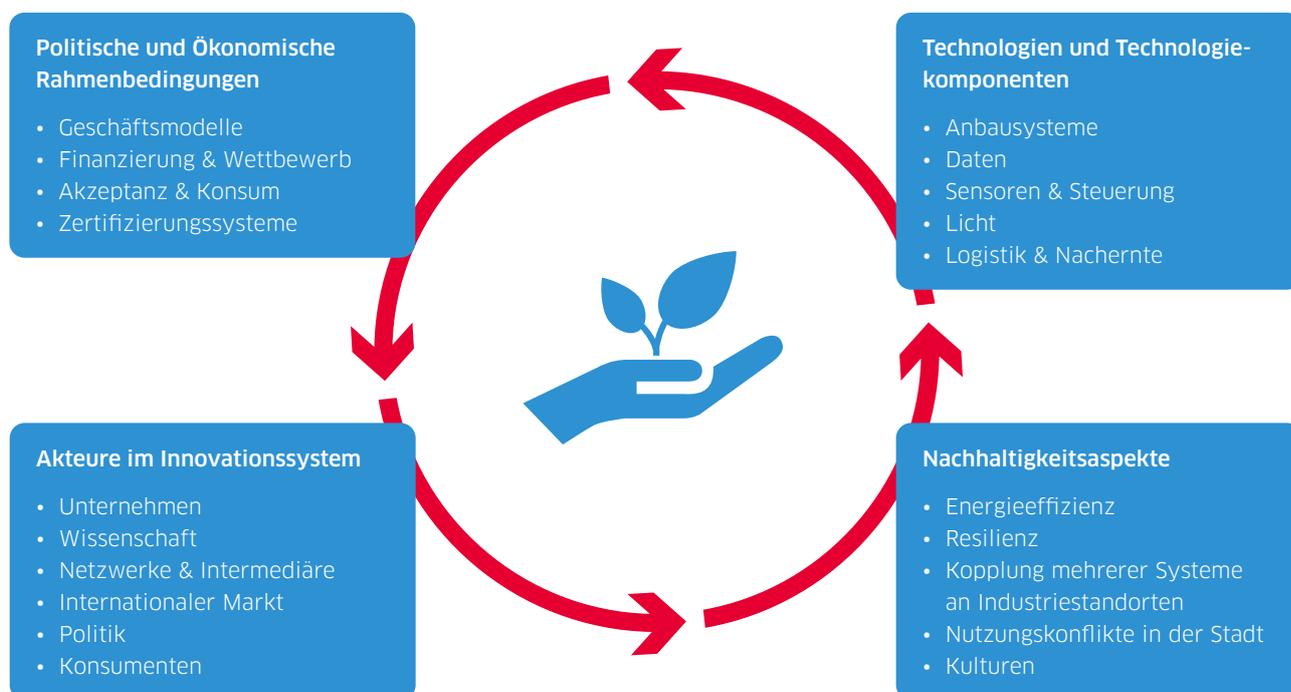
In einer **zweiten**, kleineren Fallstudie soll beleuchtet werden, ob Technik, die beispielsweise in der Landwirtschaft Anwendung findet, auch in die Grünpflege oder das Monitoring von Stadtgrün übertragen werden kann. Das Stadtgrün hat unterschiedliche Funktionen, neben der Erholungsfunktion beeinflusst es das Stadtklima positiv, reinigt die Luft oder trägt zur Biodiversität bei. Das Management der Grünflächen ist somit

eine wichtige, aber sehr aufwändige Aufgabe, bei der Sensoren oder Datenprojekte unterstützen können; bspw. bei der Bewässerung der Stadtbäume. Im Kapitel Stadtgrün wird daher versucht, bereits eingesetzte Technik zu identifizieren und über Ideen, wie Technik zukünftig eingesetzt werden könnte, zu informieren. Die Frage ist daher:

- Ist im Bereich des Monitorings, der Pflege oder der Planung von Stadtgrün derzeit ein Einsatz neuer Technologien sichtbar? Wie kann Technologie zukünftig das Management von Stadtgrün unterstützen?

Abbildung 1

Apekte im Innovationssystem Vertical Farming



2. Untersuchungsmethoden

Der vorliegende Bericht umfasst zwei Fallstudien, in denen Technologie zur Lösung von Problemen beitragen kann. Erstens der Anbau von Lebensmitteln im urbanen Raum, im Rahmen von Ansätzen zusammengefasst unter dem Oberbegriff Urban Farming. Hier kommen beispielsweise Sensoren zum Einsatz, deren Daten gesammelt und ausgewertet werden. Zweitens wird in einem kürzeren Teil der derzeitige Stand der Techniknutzung im Bereich Stadtgrün fokussiert. Im Stil einer Innovationssystemanalyse werden unterschiedliche Aspekte im System beleuchtet und – wo sinnvoll – Empfehlungen für weiteres Handeln abgeleitet.

Die Ergebnisse der Studie beruhen auf der Auswertung relevanter, frei zugänglicher wissenschaftlicher Texte. Zudem wurden Inhalte aus den (Fach-)Medien sowie Social-Media-Beiträge (bspw. LinkedIn) mitberücksichtigt, da sich in Frage kommende Unternehmen hier mit ihren Inhalten präsentieren. Wissenschaftliche Literatur wurde auf Google Scholar oder Science Direct recherchiert. Diese Anbieter bündeln wissenschaftliche Inhalte und erleichtern die Recherche durch die Möglichkeit der Schlagwortsuche oder Autorenabfrage. Des Weiteren wurden sektorspezifische Statistiken, bspw. aus Verbandsberichten, Statista oder der Statistik Berlin-Brandenburg, zur Bestimmung von Größenordnungen sowie Geschäftsberichte von Unternehmen herangezogen.

Des Weiteren wurden Experten über Literatur, durch Hinweise der SenWEB, aus dem eigenen Netzwerk oder per Internetrecherche identifiziert und für ein Interview angefragt. Insgesamt wurden 33 Personen mit einer Interviewanfrage kontaktiert. Hiervon haben sich 23⁵ für ein Gespräch bereitgefunden. Die Interviews dauerten zwischen 30 und 90 Minuten und wurden teilweise und nach Erlaubnis der Interviewten aufgenommen und im Nachgang ausgewertet. Zwei Experten waren bereit, schriftlich auf vorab formulierte Fragen zu antworten. Eine Expertin konnte am Ende des Untersuchungszeitraumes noch einmal befragt werden, um die Ergebnisse zu validieren und eventuelle neue Entwicklungen mit aufzunehmen. Die Experten decken unterschiedliche Funktionen im System ab: darunter Forschung, Unternehmen/Start-up, Cluster-/Netzwerkmanagement, Administration, Beratung oder Projektentwicklung. Das ermöglicht ein umfassenderes Bild der Berliner Akteure und ihrer Beziehungen untereinander. Der Status quo nach Kenntnis der Autorin in beiden Fallstudien wird aus unterschiedlichen Gesichtspunkten (siehe Abbildung 1) geschildert. An einigen Stellen im Text werden signifikante Aussagen der Interviewpartner wiedergegeben. Diese werden den Interviewpartnern nicht namentlich zugewiesen. Abschließend werden Hinweise gegeben, ob Verbesserungen zur Unterstützung des Systems aus Sicht der Akteure notwendig und angeraten sind. Der Erhebungszeitraum lag zwischen Januar und Oktober 2021, die Verschriftlichung der Ergebnisse fand zwischen Oktober und Dezember 2021 statt.

5 Eine Liste der Interviewten und ihrer institutionellen Zugehörigkeiten findet sich im Teil III Liste der Experten.

3. Teil I – Urban Farming

3.1 Techniknutzung und Geschäftsmodelle im Agrarsektor

Die Bedeutung des Agrarsektors⁶ in Deutschland, gemessen am BIP, geht immer weiter zurück: 2018 betrug dessen Beitrag noch 0,62 % (18,27 Mrd. €).⁷ Derzeit sind noch 580.000 Personen (1,6 %) in Deutschland und 900 Personen in Berlin (u. a. im Bereich Zierpflanze oder Baumschule, Tierhaltung) in diesem Sektor tätig.⁸ Währenddessen nehmen Automatisierung und Digitalisierung einen immer größeren Stellenwert ein – und sind daher eine Ursache für den Beschäftigungsrückgang.⁹ Die Produktion von Lebensmitteln fand in den letzten Jahrzehnten also fast ausschließlich im ländlichen Raum statt. Der Wunsch einiger Stadtbewohner, die landwirtschaftliche Produktion wieder enger an den urbanen Raum zu binden, drückt sich derzeit in unzähligen Initiativen zum ‚Urban Farming‘, aus. In den letzten Jahren sind hier – teilweise sehr erfolgreiche Start-ups – entstanden, die diese Ideen oft mit dem Hauptargument größerer Nachhaltigkeit weiterentwickelt und sie mit der Nutzung von Technologie verbunden haben. Das Nachhaltigkeitsargument ist jedoch nur teilweise zutreffend und kann, zumindest für das Indoor Farming, nicht belegt werden. Ob das in Zukunft anders sein kann, entscheidet sich letztendlich auch an den eingesetzten Technologien und vor allem an deren Energieeffizienz.¹⁰ Die Energiefrage ist derzeit bei der Umsetzung solcher Innovationen eine Schlüsselfrage: *Solange hier keine Lösung gefunden wird, wird es das in großem Stil (in Berlin) nicht geben.* Darin sind sich die Experten einig. Bisherige Berechnungen für Controlled-Environment Agriculture (im Folgenden: CEA) zeigen, dass geschlossene Systeme (Indoor Farming mit kompletter Beleuchtung) mehr Energie

verbrauchen als die Produktion von Gemüse im Unterglasanbau.¹¹ Dieser Mehrverbrauch entsteht hauptsächlich durch Beleuchtung, Kühlung und Heizung in der Anlage. Zu hohe Energiekosten sind bereits im Unterglasanbau eine Belastung für die Wirtschaftlichkeit der Unternehmer¹², rechnet man Flächenpreise und weitere Faktoren bei der Produktion im urbanen Raum ein, dürfte das Indoor Farming hier mittelfristig kaum wirtschaftlich werden. Andererseits sieht man auch im Agrarsektor die Entwicklungen von Klimaveränderungen in Europa mit Sorge und ist stärker als früher bereit, sich mit neuen technischen Lösungen auseinanderzusetzen.

Im Hinblick darauf zeigt der Begriff AgTech,¹³ dass Technologie im Agrarsektor bereits zur Normalität gehört. Speziell in der Landwirtschaft sind die Technologien der Präzisionslandwirtschaft (PF) seit langem etabliert. Die Möglichkeiten, Technologie einzusetzen und zu kombinieren sind, je nach Anwendungsfeld groß, wie die **Tabelle 1** zeigt. Die VC-Investments in diesen Markt haben daher in den vergangenen Jahren sehr stark zugenommen. In den Bereich des Indoor Farming im Speziellen wird aber aufgrund der noch immer recht langen Amortisationszeiten bisher nicht vorrangig investiert. Laut einer Untersuchung erhalten AgTechs besonders im Vereinigten Königreich viel VC-Kapital (seit 2015 ca. 3,4 Mrd. €), in der DACH-Region sind es 2,4 Mrd. € und in Frankreich immerhin noch 1,4 Mrd. €. Danach folgen die Niederlande, Schweden und Spanien. Schwerpunkte bilden dabei die Bereiche Food Delivery (Online-Bestellplattformen/Lieferdienste) mit insgesamt 6,4 Mrd. € sowie Innovative Food Brands (Marken mit innovativen Zutaten oder Vertriebswegen) mit ca. 2,9 Mrd. €. An letzter Stelle liegt der Bereich Farm & Production, in dem es um innovative und

6 Korrekte Bezeichnung: Land- & Forstwirtschaft und Fischerei.

7 <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/242847/umfrage/anteil-der-landwirtschaft-an-der-bruttowertschoepfung-in-deutschland/>.

8 Botthoff et al. (2020).

9 VDE Dialog (2018).

10 Tuomisto (2019).

11 Ebd., und Graamans et al. (2017).

12 Kuntosch und König (2020).

13 AgTech: Agricultural Technology.

ressourcenschonende Anbaumethoden geht (inkl. Indoor Farming) mit einem Investitionsvolumen von gerade noch 0,8 Mrd. €.¹⁴

Der Blick auf die VC-Investments bildet hier aber nicht das Gesamtgeschehen ab, denn große, etablierte und oft börsennotierte Agrarunternehmen, wie bspw. Yara, John Deere, Bayer oder

Osram, fragen üblicherweise kein Wagniskapital nach. Andere Möglichkeiten der Finanzierung von Innovationsvorhaben in der Landwirtschaft bestehen zudem in der Nutzung von Angeboten landwirtschaftlicher Banken (u. a. Rabobank als international größter Investor in der Agrarbranche oder in Deutschland die landwirtschaftliche Rentenbank).

Tabelle 1

AgTech¹⁵ Bereiche, Beschreibungen und Technische Lösungen

Bereich	Beschreibung	Technische Lösungen/Methoden
Farm Management, Entscheidungshilfen für Landwirte	Digitale Schlagkarteien, Boden-, Wetter-, Maschinen-datenplattformen	Sensorik (bspw. N-Sensor), Management Software, GNSS und andere Ortungstechnologien zur Erzeugung georeferenzierter Daten
Neue Agrarsysteme	Neue Produktionssysteme, zum Teil voll kontrolliert, oft im urbanen Raum, Kopplung mehrerer Systeme	u. a. Aquaponik, Hydroponik, Aeroponik
Agribusiness Marketplaces	Umsetzung des Plattformgedankens in der Wertschöpfungskette (bspw. bei Betriebsmitteln)	u. a. Maschinenleasing-Plattformen
Midstream Technologies	Wertschöpfungskettenunterstützende Technologien, vom Erzeuger bis zum Konsumenten: u. a. in der Lebensmittelsicherheit/-rückverfolgbarkeit oder Logistik	Apps u. a. digitale Nachschlagewerke, Benchmarkdaten, Bibliotheken, Community-Netzwerke oder Software
Mechanisierung und Automatisierung	Automatisierung, Digitalisierung und Vernetzung von Maschinen	Drohnen, IoT, Nacherntetechnik dabei u. a. Robotik, in der Lagerung

3.2 Indoor-Produktion von Salaten und Kräutern im urbanen Raum

Weltweit sind 37 % der Landfläche landwirtschaftlich nutzbar. Von dieser nutzbaren Fläche sind etwa 3,55 Mrd. ha Weideland und 1,45 Mrd. ha Ackerland.¹⁶ Städte nehmen lediglich 2 % der globalen Landfläche ein¹⁷ und die Frage, wie und ob diese auch im Hinblick auf Flächenkonkurrenzen genutzt werden sollten, um Nahrungsmittel zu produzieren, wird weiterhin diskutiert.¹⁸ Allerdings sind Bevölkerungswachstum, Übernutzung der Böden, aber auch die Abhängigkeit von globalen Lieferketten Gründe dafür, dass parallel andere Möglichkeiten der Nahrungsmittelproduktion entwickelt und – dort wo sie gebraucht werden – eingesetzt werden müssen.

Begriffe wie Vertical Farming, Indoor Farming, Urban Farming oder Urban Gardening werden häufig synonym verwendet. Prinzipiell meinen sie aber nicht das Gleiche; denn während es im Urban Farming darum geht, den bodengebundenen Anbau wieder in die Stadt zurückzubringen, hat man es beim Indoor Farming mit hocheffizienten, kontrollierten Systemen zu tun, die auf der technischen Umsetzung von wissenschaftlichen Erkenntnissen aus der Pflanzen- und Gartenbauforschung beruhen. Die Studie beschäftigt sich hauptsächlich mit dem vertikalen Anbau in geschlossenen Systemen, da in diesem Segment ein signifikanter Technikeinsatz notwendig ist. Als Vertical Farming „wird die Praxis bezeichnet, Pflanzen in vertikal angeordneten Systemen anzubauen. Diese Methode bedingt in der Regel die

¹⁴ Hungry Ventures und Dealroom.com (2020).

¹⁵ erweiterte Darstellung nach: f3.farm.food.future.de/topargar.de.

¹⁶ UBA (2013).

¹⁷ BMUB (2017).

¹⁸ Despommier (2010), Artmann et al. (2021).

*Nutzung vollständig kontrollierter Systeme (CEA¹⁹), welche die Produktion in bodenlosen Systemen wie Aquaponik, Hydroponik oder Aeroponik beinhaltet.*²⁰ Hier wird also Vertical Farming auch mit Indoor Farming gleichgesetzt. Der Begriff Vertical Farming ist dabei v. a. in Europa gebräuchlich, da er eine bessere Akzeptanz bei den Konsumenten findet als der in Asien oder Amerika genutzte Begriff plant factory. Weitere international synonym gebräuchliche Bezeichnungen sind z. B. City Farm, Skyfarm, Farmscraper, Zero-acreage Farming.²¹ Die vorrangig in Frage kommenden Anbausysteme für das Indoor Farming sind:

- Aeroponik: die Pflanze gedeiht ohne Medium und wird in regelmäßigen Abständen mit einer Wasser-Nährlösung besprüht. Bei dieser Methode ist der Sauerstoffgehalt in der Wurzel erhöht, was ggf. eine bessere Nährstoffaufnahme und einen höheren Ernteertrag zur Folge hat. Außerdem können nicht so leicht Keime von Pflanze zu Pflanze weitergegeben werden, sodass Krankheiten seltener vorkommen.²²
- Hydroponik: Pflanzen gedeihen in einer Nährlösung, die bspw. durch Röhrensysteme fließt (u. a. NTF-Systeme²³).
- Aquaponik: in der Aquaponik werden zwei Produktionssysteme gekoppelt (Pflanzen; üblicherweise Tomaten/Kräuter/Gurken und Fisch).

Eine wesentliche Voraussetzung hierfür ist die sogenannte *Controlled-Environment Agriculture (CEA)*: die Kultivierung der Pflanzen unter Kontrolle aller für das Pflanzenwachstum wichtigen Umweltfaktoren (siehe auch Tabelle 2). Hier muss eine Vollbeleuchtung per LED geplant werden und Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Leitfähigkeit oder Wassertemperatur (in hydroponischen Systemen) sowie CO₂-Gehalt werden mit Sensoren gemessen.

Über das Sammeln der Sensordatendaten in der Cloud können anfallende Daten über mehrere Anlagen eines Anbieters hinweg ausgewertet werden. Im Resultat dieser Anbaumethode finden Pflanzen hier, unabhängig von den äußeren Gegebenheiten, optimale Wachstumsbedingungen vor. Das System zeichnet sich durch eine hohe Produktionseffizienz und Pflanzenqualität aus.

Prinzipiell werden unterschiedliche Typen oder Geschäftsmodelle, hauptsächlich nach Größe und Einsatzgebiet der Anlagen, unterschieden²⁴:

- 1) werden PFALS (plant farms with artificial light) als ganze Gebäude konzipiert, die ausschließlich der Lebensmittel-/Nutzpflanzenproduktion dienen und keine andere Nutzungsform vorsehen.
- 2) Werden bei kleineren sogenannten ‚Container-Farmen‘ Container genutzt, um die Pflanzen unter kontrollierten Bedingungen zu kultivieren.
- 3) Bei In-Store-Farmen werden kleine Farmen im Lebensmitteleinzelhandel (LEH) oder in Restaurants aufgestellt. Die Konsumenten können so näher mit den Schränken in Kontakt kommen.
- 4) Letztendlich sind sogenannte ‚Appliance Farms‘ für den privaten Gebrauch gedacht.

Die eben benannten Geschäftsmodelle werden von den Betreibern oft kombiniert, bspw. hat Deutschlands größtes Urban und Vertical-Farming-Unternehmen Infarm²⁵ In-Store-Farmen, die aber mit Produkten aus einer größeren Anlage bestückt werden.

In Tabelle 2 zeigt die unterschiedlichen Ansätze, ihre Merkmale und dazugehörige Beispiele überblicksartig auf.

19 CEA: Controlled - environment Agriculture.

20 Birkby (2016).

21 Butturini und Marcellis (2020).

22 Zeidler und Schubert (2014).

23 NTF: Nährstoff-Film-Technik.

24 Nach: Butturini und Marcellis (2020). Es sind weitere Typen bekannt, die hier dargestellten sind jedoch am häufigsten vertreten und wirtschaftlich am interessantesten.

25 <https://www.infarm.com/> (Aufruf: 13.10.2021).

Tabelle 2

Unterscheidungsmerkmale einzelner Ansätze unter dem Überbegriff ‚Urban Farming‘ (eigene Darstellung auf Grundlage von: Rabobank 2018)

Ansatz	Urban Farming (UF)	Rooftop Farming (RF)	Vertical Farming (VF)	Indoor Farming (IF)	Aquaponik
Beschreibung	Bodengebundene Landwirtschaft in der Stadt	Dachgewächshäuser	Pflanzen werden in mehreren Ebenen vertikal übereinander angebaut	CEA, aeroponische oder hydroponische Systeme	Hydroponik/Aquakultur
Allgemeine Merkmale	Kein signifikanter Einsatz von Technik, oft gemeinwohlorientiert	ggf. Nutzung von Abwärme von Gebäuden, ggf. Flächensparnis	Unabhängig von klimatischen Bedingungen, Flächensparnis, mehrfache Ernte/Jahr, keine Pestizide, Aber: großer Energieverbrauch, hohe Grundstückspreise, hohe Investitionskosten		weiteres Schließen von Kreisläufen und Koppeln von Systemen
Bodenloser Anbau	Nein	Möglich	i. d. R. Ja	Ja	i. d. R. Ja
Nutzung von Sonnenlicht	Ja	Möglich	Möglich	Nein	Möglich
Beleuchtung (LED)	Nein	Möglich	Möglich	Ja	Möglich
Klimaregulierung/Sensorik	Nein	Nein	Möglich	Ja	Möglich
Vertikaler Anbau	Nein	Möglich (Forschung)	Ja	Möglich	Möglich
Kontrolle Pflanzenparameter²⁶	Nein	Möglich	Ja	Ja	Ja
Kombinierter Anbau Pflanze/Tier	Nein	Nein	Möglich (aber viele Initiativen in Europa gescheitert)	Nein	Ja (Fisch und Tomaten/Kräuter, Salat)
Beispiele	Urban-Gardening, Klein-/gemeinschaftsgärten	Stadtfarm (Berlin)	Infarm (Bln), FarmersCut&ever (HH), Chidos (Bln), Jones Factory (UK)		ECF, Stadtfarm (Berlin)

Die Indoor-Produktion in mehreren Ebenen kann durchaus Vorteile haben:

- mehrmalige Ernte pro Jahr möglich (abhängig von der Kultur), Unabhängigkeit von äußeren Faktoren (klimatische Bedingungen, Jahreszeiten),
- hohe Flächeneffizienz gegenüber Gewächshäusern oder Landwirtschaft,
- Regionalität kann als Zusatznutzen kommuniziert werden oder
- reduzierter Einsatz von Düngemitteln (ca. -70 Prozent).

Bei anderen, als positiv kommunizierten Effekten, wie:

- kürzere Lieferwege (bspw. Infarm -90 Prozent)²⁷,
- geringerer Einsatz von Wasser oder gar ganz geschlossene Systeme sowie
- hohe Nachhaltigkeit

muss beispielsweise darauf geachtet werden, auf welche Anbausysteme sich die Vergleiche beziehen. Eine Indoor Farm hat gegenüber der traditionellen Landwirtschaft (Acker) sicher eine hohe Wasserersparnis (hier werden oft -95 Prozent angegeben). Die in der Indoor Farm angebauten Produkte wie Basilikum und andere Kräuter werden aber eher im Gewächshaus angebaut.

²⁶ (u. a. Parameter: Temperatur, Luftfeuchtigkeit, CO₂ o. ä.).

²⁷ <https://www.vc-magazin.de/blog/2020/04/20/interview-martin-weber-infarm/> (Abruf: 26.11.2021).

Der Vergleich sollte daher sinnvollerweise auch mit dem Gewächshaus gezogen werden. Im Vergleich zum Gewächshaus fallen positive Effekte für die Indoor Farm dann nicht mehr so stark ins Gewicht. Trotzdem wird der Aspekt der Nachhaltigkeit oft als entscheidendes Argument angeführt, obwohl er keinesfalls als empirisch bewiesen gilt, das zeigen Literatur und Experten-gespräche auf.²⁸ Er trifft auf einige Teilaspekte, wie höhere Flächeneffizienz oder reduzierter Düngemiteleininsatz, aber sicherlich zu. Für die Aquaponik wird oft kommuniziert, dass es hier noch besser möglich sei, Kreisläufe zu schließen. Aber auch hier gibt es nach Aussage der Experten keine konkreten Zahlen, die dieses Argument pauschal und eindeutig stützen. Weiterhin erfordern die Komponenten Beleuchtung, Heizung/Kühlung enorme Mengen an elektrischer Energie.

Eine weitere, (groß)-stadtspezifische, Herausforderung sind hohe Grundstückspreise, die die Anfangsinvestitionen solcher Anlagen immens beeinflussen, auch Flächennutzungskonflikte sind möglich. Die Aspekte Skalierbarkeit, ökologische Nachhaltigkeit sowie Kosteneffizienz zeichnen sich somit nach wie vor durch große Unsicherheiten aus²⁹ und würden weitere Forschung im Bereich der LED-Technik, bei der Konstruktion der Gebäude, der Steuerung³⁰ oder in der Auswahl der Kulturen erfordern.

Infolge der Aussage von Experten stehen zudem Life-Cycle-Assessments der einzelnen Anbaumethoden und somit die Bestimmung von Nachhaltigkeitswirkungen noch aus, sodass bisher keine abschließenden Aussagen zu diesen Aspekten möglich sind.

28 Tuomisto (2019).

29 Butturini und Marcelis (2020).

30 VDE Dialog (2018).

4. Ökosystem: Berlin, Deutschland und international

In Deutschland hat das Konzept des Indoor- oder Vertical Farming bisher keine großflächige Verbreitung gefunden. Ein Grund ist sicher, dass die zwingende Notwendigkeit, neue Produktionssysteme jenseits der bestehenden zu entwickeln, hier nicht in gleicher Weise besteht wie bspw. in Teilen des asiatischen Raumes. Insbesondere Singapur, als Stadtstaat ohne signifikante agrarische Nutzfläche, muss hier genannt werden. Singapur hat ein extremes ökonomisches und politisches Interesse, innovative Ideen zu entwickeln, um die Abhängigkeit von Lebensmittelimporten zu verringern – dieser Trend wurde in Folge der Corona-Pandemie verstärkt. Denn der Selbstversorgungsgrad mit Lebensmitteln Singapurs ist sehr niedrig: 90 % müssen importiert werden. Deutschland hat im Vergleich einen Selbstversorgungsgrad von 89 %, ³¹ in einigen Bereichen ist es sogar ein Lebensmittelexporteur.

Allerdings motiviert der Nachhaltigkeitsdiskurs auch viele deutsche Gründer und Wissenschaftler, neue Geschäftsmodelle und Ideen zu entwickeln und daran zu forschen, wie Ressourcen – auch in der Landwirtschaft – effizienter genutzt werden können. Es gibt derzeit einige große Forschungskonsortien, die sich mit dem Thema der urbanen Lebensmittelproduktion systemisch auseinandersetzen, einige Start-ups, die sich als ‚Urban-Farming-Unternehmen‘ etabliert haben und Kapitalgeber überzeugen konnten. Außerdem junge Unternehmen, die gezielt an einzelnen Komponenten wie Pflanzenlicht oder Steuerung arbeiten. Die Interviews haben deutlich gemacht, dass deutsche Gründer, die sich mit dem Thema Urban Farming/ Indoor/Vertical Farming befassen, sich teilweise als Social-Entrepreneurs bezeichnen. Der Anspruch, dass Innovationen auch einen Zusatznutzen haben, indem sie Nachhaltigkeitsaspekte adressieren

(vgl. mission-based innovation systems) konsolidiert sich bei den Start-ups – und zeigt sich auch insbesondere bei Gründungen im Food-Bereich. Die Aufgabe, Nachhaltigkeit und Wirtschaftlichkeit dauerhaft zu verbinden ist aber komplex und kann Gründer auch überfordern. Die Interviews weisen in dem Zusammenhang darauf hin, dass einige Start-ups sehr idealistisch herangehen und teilweise nicht auf Fragen der Ökonomie und Administration vorbereitet sind.

Landwirtschaft in Berlin

Es gibt einerseits den ‚Trend‘ des Urban Farming, getrieben von einer jungen, nachhaltigkeits-sensiblen Bevölkerungsschicht, die Landwirtschaft wieder in die Stadt zurückzuholen. Gleichzeitig gibt es aber schon immer landwirtschaftliche Betriebe in Berlin, deren Zahl und Fläche jedes Jahr weiter abnimmt, da sich die Versorgung der städtischen Bevölkerung über die Jahre immer weiter zur ‚Randfunktion‘³² entwickelt hat. Berlin hat im Jahr 2020 noch 1.864 ha Ackerland (hauptsächlich Getreideanbau), 778 ha Dauergrünland und 13 ha Baumschulen³³ aufgeteilt auf 47³⁴ landwirtschaftliche Betriebe. Im Jahr 1991 waren es laut Statistik noch etwa 220, viele davon im Osten der Stadt. Die Zahl der Betriebe im Stadtgebiet nimmt – wie auch im Bundesgebiet – immer weiter ab. Grund dafür ist ein Strukturwandel, hin zu weniger aber größeren Betrieben, der seit Jahren andauert. Berlins landwirtschaftliche Nutzfläche fällt übrigens mit rund 4 % der Stadtfläche im deutschen Vergleich niedrig aus: Hamburg hatte bspw. 2005 knapp 18 % landwirtschaftlicher Nutzfläche innerhalb der Stadtgrenzen.

³¹ <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/659012/umfrage/selbstversorgungsgrad-mit-nahrungsmitteln-in-deutschland/> (Aufruf: 15.11.2021).

³² Statistik Berlin (2006).

³³ https://download.statistik-berlin-brandenburg.de/ef8e40c65c964a09/32bf401f0b3a/SB_C04-10-00_2020u00_BE.pdf (Aufruf: 19.11.2021).

³⁴ <https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/land-und-forstwirtschaft> (Aufruf: 19.11.2021).

4.1 Akteure im Ökosystem

In Berlin gibt es eine Reihe von Unternehmen, die sich mit dem Thema Urban Farming³⁵ beschäftigen. Das Bild, das sich bietet, ist heterogen in Bezug auf Hintergrund der Akteure, verfolgte Ansätze, Motivation zur Unternehmensgründung sowie Unternehmensziele. Die Gründer ordnen sich zumeist auch nicht einer konkreten Branche zu, sondern beschreiben sich bspw. als Cross Industry.³⁶ Dennoch: Ein Berliner Cluster, das zu Innovationen durch geeignete Sichtsysteme für Indoor Farmen beiträgt, ist das Cluster Optik/Photonik mit dem Kompetenzbereich Optik/Photonik für Landwirtschaft und Lebensmitteltechnologien. Hinzu kommen die Schwerpunkte Cleantech oder Smart City sowie die Cluster Gesundheit (Medizinalpflanzen) und IMK für die Unternehmen, die sich mit Software oder Datenauswertung beschäftigen. Die Stadtplanung ist oder wird ein wesentlicher Akteur bei der Suche nach geeigneten Flächen oder bei der Planung von gebäudeintegrierter Landwirtschaft sein.

Die Gründer sind zumeist fachfremd zum Garten- oder Pflanzenbau und kommen beispielsweise aus den Bereichen Kunst, IT, Architektur, BWL oder anderen Richtungen. Hier spiegelt sich das weit verbreitete Interesse an innerstädtischer Lebensmittelproduktion/Landwirtschaft wider, die eng mit Aspekten wie Nachhaltigkeit und sozialem Engagement verbunden wird. Experten aus dem Bereich des Garten- oder Pflanzenbaus gründen hingegen bisher nicht verstärkt im Indoor Farming, da sie oft keine konkreten Vorteile sehen, die Produktion in die Stadt zu verlegen; vor allem wenn sie als Unternehmer die Herausforderungen eines gartenbaulichen Betriebes bereits kennen. Andererseits wagen sich aber auch (Jung-)Unternehmer in dieses Feld, die etwas näher an Einzelaspekten interessiert sind, bspw. Akteure aus dem Bereich Optik/Photonik; wie das bei den Gründern des Start-ups Crocus Labs der Fall ist.

Gemein ist allen Gründern, dass sie für das Gelingen ihrer Innovationsidee auf die Expertise aus anderen Disziplinen angewiesen sind. Dies wird aber teilweise nicht hinreichend berücksichtigt. So haben einige Start-ups zu lange auf die Expertise aus dem Pflanzenbau/Gartenbau verzichtet und dadurch Chancen im Innovationsprozess vergeben. So kann es auch vorkommen, dass Fördergelder aufgrund unzureichender Recherche „verbrannt“ werden. Das Nutzen von Sensoren, die nicht zielgenau auf die Anwendung in geschlossenen Systemen zugeschnitten sind, resultiert beispielsweise aus fehlender Kooperation mit Experten.

Start-ups

Einige Berliner Start-ups bieten ganze Anlagen an und beschäftigen sich nicht nur mit einzelnen Komponenten. Infarm hat sich als größtes deutsches Start-up aus dem Bereich ‚Urban Farming/ Vertical Farming‘³⁷ etabliert. Das Unternehmen hat in mehreren Finanzierungsrunden nach Angaben der Presse³⁸ fast eine viertel Milliarde Dollar³⁹ erhalten, die hauptsächlich zur Expansion und für technische Entwicklung genutzt wird. Gewinn macht das Unternehmen nach Presseangaben bisher nicht mit seinen Produkten. Es bestehen inzwischen Kooperationen mit allen großen Unternehmen aus dem LEH, darunter Edeka, Metro, Aldi aber auch Amazon Fresh. Infarm ist u. a. in Dänemark, USA, der Schweiz, Frankreich oder Luxemburg aktiv. Die Kulturen (v. a. unterschiedliche Kräuter) wachsen in einem Zyklus von 3-4 Wochen und ermöglichen einen Quadratmeterertrag von 4.000 Pflanzen pro Jahr. Etwa 250.000 Pflanzen pro Monat können so an den LEH geliefert werden.⁴⁰ Um dies zu realisieren, hat Infarm sogenannte „Growing and Distribution Center“ (Modulare Einheiten, in denen die Pflanzen herangezogen werden) entwickelt, die aber außerhalb der Innenstädte aufgebaut werden. Ein Teil der Finanzmittel wird nach Medienberichten in Sensorsysteme investiert, um Pflanzenparameter zu kontrollieren und diese cloudbasiert

35 So benannt, da die meisten Unternehmen ihre Aktivitäten auch selbst unter dem Begriff Urban Farming einordnen.

36 Die Unternehmenstabelle im Anhang benennt ebenfalls die Branchen, denen sich die Unternehmen zugehörig fühlen.

37 Hier als ‚Urban-Farming-Unternehmen‘ benannt aufgrund von Selbstbeschreibung auf der Website, manchmal bezeichnen sie sich aber auch als Agri- und FoodTech.

38 U. a. <https://www.vc-magazin.de/blog/2020/04/20/interview-martin-weber-infarm/> (Aufruf: 26.11.2021).

39 Ernst&Young (2021).

40 <https://www.techandnature.com/das-deutsche-startup-infarm-baut-gemuse-direkt-im-supermarkt-an/> (Aufruf 15.10.2021).

Über mehrere Einheiten auszuwerten. Dazu hat Infarm auch eine eigene Forschungsabteilung am Standort Berlin-Spandau. Auch bei der Logistik sucht das Unternehmen neue Wege und arbeitet in Berlin in einem Pilotprojekt mit Onomotion zusammen, die einen Teil der Kräuter mit speziellen elektrischen Lastenrädern an den LEH liefern. Um ihre Produkte in den Schränken im LEH vertreiben zu dürfen, hat sich das Unternehmen 2017 von der SGS zertifizieren lassen.⁴¹ Einen anderen Ansatz hat ECF⁴² (Efficient City Farming) gewählt, indem sie Dachfarmen der Größenordnung 1.000–ca. 2.000 m² in Deutschland, der Schweiz oder Belgien, bauen. Hier werden zwei Produktionssysteme (Pflanze und Tier) gekoppelt, um die Kreisläufe noch besser schließen zu können. Letztendlich geht Stadtfarm⁴³ mit der Integration einer dritten Ebene (Regenwürmer) noch weiter in Richtung geschlossene Kreisläufe: Das Unternehmen produziert Kräuter, Fische und benutzt Regenwürmer, um Schadstoffe aus dem Wasserkreislauf zu lösen. So muss das Wasser aus den Fischtanks nicht komplett ausgetauscht werden (wie sonst bei Aquaponik der Fall). Die Gründer von Stadtfarm benutzen außerdem Erde als Medium für die Töpfe, im Gegensatz zu den Praktiken im Indoor Farming. Auch hier ist das Ziel, weitere Farmen in anderen Städten aufzubauen und das System so zu verbreiten. Bei ECF und Stadtfarm wird Sonnenlicht genutzt und auf Komplettbeleuchtungen verzichtet. Weitere Unternehmen, die ebenfalls Komplettlösungen anbieten, sind beispielsweise GND Solutions,⁴⁴ ein Unternehmen, das im Innovationspark Wuhlheide ansässig ist und sich auch besonders auf den Aspekt der Beleuchtung konzentriert, die der Internetpräsenz entnommen werden kann. Das Unternehmen bearbeitet die Themen Vertical Farming, pharmazeutische Produkte und Forschung.

Die Gründungsidee von PlattenBaum⁴⁵ ist es, Dienstleistungen für den Betrieb von Urban Agriculture anzubieten. Die Unternehmer möchten vertikale Einheiten in Plattenbauten integrieren und dadurch den Wert der Immobilien steigern und soziale Aspekte ansprechen. Den Bewohnern der Gebäude soll es möglich sein, mitzuwirken und etwas über die Anbaumethoden zu lernen. Derzeit sucht das Unternehmen nach eigenen Angaben nach Partnern. Bspw. für den Bau der Anlagen oder aus der Wohnungswirtschaft zur Umsetzung ihrer Idee.

Andere Unternehmen arbeiten an einzelnen Komponenten, bspw. an Pflanzenlicht. Das Berliner Start-up Crocus Labs⁴⁶ integrierter beispielsweise Sensorik und Beleuchtung. Das Unternehmen arbeitet dazu auch mit der Wissenschaft zusammen (bspw. mit dem ATB) und integrierte von Anfang an Experten aus unterschiedlichen Bereichen, u. a. aus dem Gartenbau. Bei Susteyn⁴⁷ werden kleinere Modulstationen für Büros angeboten, in denen Salate oder Kräuter für den täglichen Gebrauch gezüchtet werden können. Ein weiterer Anbieter im Bereich der Appliance Farms ist das Start-up Berlin Green.⁴⁸

Bei Lite + Fog⁴⁹ soll eine Methode namens Fogponics genutzt werden, bei der die Kulturen in Textil hängen. Die Parameter sollen per Sensorik überprüft und unterstützt durch AI ausgewertet werden. Der Gründer des Unternehmens nutzt Netzwerke wie das ZIM-Netzwerk AgriPhotonik,⁵⁰ um Akteure aus dem Feld kennenzulernen. Auch in der Forschung wird derzeit an Lösungen mit Textil gearbeitet, hier sind aber noch einige Forschungsfragen offen. Andere Unternehmen wie Watergenics⁵¹ die Hardware (u. a. Sensoren) entwickeln wollen, sehen potentielle Anwendungsgebiete sowohl im Indoor Farming als auch in der

41 <https://www.sgsgroup.de/de-de/news/2017/02/erste-indoor-farm-nach-globalgap-zertifiziert>.

42 <https://www.ecf-farm.de/>.

43 <https://www.stadtfarm.de/>.

44 <https://gnd.solutions/>.

45 <https://de.plattenbaum.de/>.

46 <https://crocuslabs.com/>.

47 <https://susteyn.io/imprint.html>.

48 https://berlingreen.com/?gclid=EAIaIQobChMIuGJ96XA9AIVy9vVCh0hMwBfEAAYASAAEgK6W_D_BwE; (Abruf: 01.12.2021).

49 <https://www.liteandfog.com/>.

50 Mehr zum ZIM-Netzwerk AgriPhotonik unter: Netzwerke.

51 <https://www.watergenics.tech/>.

Landwirtschaft o. a. Watergenics stellt die Untersuchung der Wasserqualität bei der Entwicklung von Sensorik in den Fokus.

Neben den benannten Indoor-Farming-Unternehmen haben andere sich auf das Urban Gardening spezialisiert. Ein Beispiel von vielen sind Tiny farms.⁵² Neben Produktion und Vermarktung von Bio-Gemüse unterstützt das Unternehmen auch andere, eigenes Bio-Gemüse anzubauen. Die Digitalisierung hilft u. a. dabei, Prozesse effizienter zu organisieren.

Start-ups in Deutschland und international

In Deutschland gibt es derzeit weitere Gründungsaktivitäten, bspw. hat sich der Gründer der Restaurantkette Vapiano mit seinem Unternehmen Farmers Cut (jetzt: &ever) im Hamburger Hafen niedergelassen und dort ein eigenes Verfahren (dryponics) für die Produktion von Salaten und Kräutern gewählt.⁵³ Das Konzept, das hier verfolgt wird, heißt ‚Harvest-on-Demand‘: denn durch die Verträge mit festen Abnehmern wie Restaurants, Kantinen u. a. können Absatzmengen gut geplant werden. Der gesamte Prozess wurde jetzt weitgehend, in Zusammenarbeit mit einer Beratungsfirma und Software von SAP automatisiert und das Unternehmen wurde zuletzt umbenannt.⁵⁴

Bei Steuerungssystemen und Daten sehen die Experten noch eine (Forschungs-)lücke. Das Münchener Unternehmen Cultinova entwickelt bspw. Lösungen für geschlossene Systeme, in denen Bewässerung, Belüftung, Belichtung, Nährstoffe über ein System gesteuert werden sollen.

Mit dem Thema Daten beschäftigt sich unter anderem das kanadische Unternehmen Motorleaf. Die Unternehmer wollen Algorithmen entwickeln, mit denen Erträge besser vorausgesagt werden können. Auch die Venture-Capital-Einheit von Osram, Fluxunit, hat in dieses Unternehmen investiert.

Insgesamt hat Motorleaf bisher 2,9 Mill. \$ erhalten. Im Segment Appliance Farms hatte das Münchner Unternehmen Agrilution ein Produkt für den Hausgebrauch auf den Markt gebracht. Nicht wie geplant ablaufende Finanzierungsrunden hatten das Unternehmen in die Insolvenz getrieben, daraufhin ist der Hersteller Miele eingestiegen, der nun den sogenannten Plantcube in seinem Küchensortiment anbietet. Auch große Unternehmen, wie die schwedische Plantagon oder die niederländische Growx sind nach finanzieller Schiefelage wieder vom Markt verschwunden. Plantagon hatte es sich zum Ziel gesetzt, das Ernährungssystem zu revolutionieren und sich dazu vor allem im arabischen Raum betätigt.

Laut Interviewpartnern ist die Rentabilität für viele Ideen (noch) nicht gegeben und da der Markt sehr klein ist, fehlen oftmals Anwendungsfälle. Andere Start-ups haben daher gleich zu Beginn umgedacht und ihre Ideen weiterentwickelt: weg vom Bereich des Vertical Farming. Darunter die Gründer von farmee: Während es mit farmee die Idee war, Softwarelösungen für das Vertical Farming anzubieten, haben die Gründer, die auch aus dem Agrarbereich kommen, nun mit Alphabeet eine Plattform für das Urban Farming entwickelt, auf der Informationen geteilt werden und es die Möglichkeit zur Vernetzung gibt. Bisher hat die Plattform nach Aussage des Gründers bereits ca. 100.000 Mitglieder und die Erweiterung des Geschäftsmodells für Firmenkunden ist geplant. 2021 erhielten die Gründer 1,5 Mio. € Wagniskapital.

Die Abbildung 2 versucht exemplarisch das Ökosystem nach Akteuren und Komponenten abzubilden. Die Berliner Unternehmen sind in Rot, andere in Schwarz dargestellt. Die Abbildung soll dazu dienen, einen Eindruck des heterogenen Feldes zu vermitteln und aufzeigen, wo derzeit die Schwerpunkte der unternehmerischen- und Forschungsaktivität liegen. Sie ist nicht vollständig.

52 <https://www.tinyfarms.de/>.

53 <https://www.hamburg-startups.net/farmers-cut/> (#31-53 aufgerufen am 15.10.2021).

54 <https://www.ibsolution.com/success-stories/farmers-cut-food-supply-chain-revolution> (Aufruf: 30.11.2021).

Abbildung 2

Mapping der Akteure nach Komponenten/Wertschöpfungsschritten; Akteure aus Berlin: rot, Andere: schwarz

Komponenten Akteure	Komplette Anlagen (VF/Dachgärten)	Optik Photonic/ Pflanzenlicht in VF	IKT (KI) Plattformen/ Community	Sensorik/Steuerung/ Heizung	Quartiere (System- Kopplung mit Industrie)	Akzeptanz/Konsum	Saatgut etc.
Intermediäre/ Netzwerke/Messen	Verband Vertikale Landwirtschaft	Photonics21					
	FarmTech Society Agri Food Society	OptecBB/ZIM Netzwerk – Agriphotonik					
Etablierte Wirtschaft	„VertiFarm“ (ab 2022)	Berliner Cluster Optik/Photonik				Edeka, Kaufland, Aldi, Stadtfarm, Amazon Fresh	
	Priva	Signify Osram/ Fluxunit (VC) Infineon	SAP	Viessmann			
	Jones Company		Motorleaf				Unfold (Bayer)
	Aerofarms		Farm Beats				
	FarmersCut/&ever	Crocus Labs			Plattenbaum		
	Infarm		SmartCloud Farming (RS)				
	Aerofarms						
	ECF (Efficient City Farming)	AgriLution (Miele)	Photonic Insights alphabet (PF)	Watergenics		GoodBank Restaurant	
	Lite+Fog	Susteyn	SANlight	Plantix			
	GND	Future LED			Cultinova		
Forschung	Stadtfarm						
	Frauenhofer UMSICHT	Optische Transmitter (OUT e. V.)					
	DLR EDEN	ATB	FZI				
Agarsysteme der Zukunft u. a. HU (CUBES, Food4 future), ZALF, IGZ oder FH Osnabrück (Susland)							

4.2 Etablierte Wirtschaft

Unternehmen der etablierten Wirtschaft erweitern ihre Geschäftsfelder und haben das Indoor Farming als Wachstumsmarkt identifiziert. Für Start-ups kann die Kooperation mit diesen größeren Unternehmen aus den Bereichen Optik, Daten oder Elektronik durchaus interessant sein, da die Anfangsinvestitionen für Indoor-/Vertical-Farming-Anlagen enorm hoch sind und der deutsche Markt im Vergleich recht klein ist. Allerdings erschließen sich etablierte Unternehmen auch eigenständig Teile der Wertschöpfungskette.

Am Beginn der Wertschöpfungskette steht das Saatgut. Hier wird bisher übliches Saatgut verwendet. Die Impact-Investment-Einheit von Bayer (Leaps by Bayer) hat daher zusammen mit Temasek, einer Investment-Firma aus Singapur, das Joint Venture *Unfold* gegründet. Hier soll speziell für den Anwendungsbereich angepasstes Saatgut entwickelt und genetisch erschlossen werden. Dieses soll dann mit Anbauempfehlungen an Unternehmen verkauft werden. Unfold bemüht sich bereits um Kooperationen mit Unternehmen, um in der Wertschöpfungskette weiter Fuß zu fassen.⁵⁵ Im Bereich des Pflanzenlichts, das für den Gartenbau bereits seit Jahren gut erforscht wird, sind große Unternehmen wie Osram und Signify seit Langem Vorreiter. Die etablierten Unternehmen investieren zunehmend in dem Sektor (bspw. Osram bei Moroleaf). Bei Osram kommt das Know-how aus Regensburg, wird aber nun im Feld Pflanzenlicht von Osram US weitergeführt. Das LED-Geschäft macht bereits über 60 % des Gewinns bei Osram aus⁵⁶ und das Unternehmen ist spezialisiert auf Lichtrezepte, die auf einzelne Kulturen abgestimmt sind und in spezifischen Wachstumsphasen optimale Entwicklung und Ertrag garantieren sollen. Osram ist momentan das einzige Unternehmen, das hierfür eine Gesamtlösung anbietet – denn hier steckt viel Forschungswissen drin. Das Unternehmen arbeitet in einer eigenen Einheit mit ca. 200 Personen an

den Themen Pflanzenlicht und IoT. Bei anderen Herstellern kann man die Lichtrezepte selbst aus unterschiedlichen LEDs kombinieren.

Auch im Anlagenbau sind derzeit einige große KMU wie Viessmann in den Markt eingetreten und bearbeiten bspw. das Thema Wärmemanagement. Viessmann arbeitet mit dem Gewächshausspezialisten Priva zusammen, um im Indoor Farming Fuß zu fassen. Hier sind vor allem niederländische und US-Firmen aktiv dabei, neue Lösungen zu entwickeln.

Die große Herausforderung ist nach Einschätzung der Experten aber derzeit noch das Zusammenspiel der Einzelkomponenten aufeinander. Einige Unternehmen haben bereits sehr gutes Licht, aber noch keine gute Steuerung. Diese Faktoren zusammenzubringen, kann die Produktqualität noch einmal enorm verbessern und zur weiteren Effizienz der Systeme beitragen.

Anwendungen im Gesundheits- oder Kosmetiksektor

Es gibt auch eine Nachfrage aus der Pharmazie nach pflanzlichen Inhaltsstoffen, die unter sterilen Bedingungen produziert werden müssen, bspw. zur Aromastoffgewinnung. Auch der weitere Umgang mit medizinischem Cannabis wird derzeit in der Politik diskutiert.⁵⁷ Eine mögliche Legalisierung hat bereits dazu geführt, dass auch auf dem deutschen Markt eine Reihe von Unternehmen entlang der Wertschöpfungskette entstanden sind. In den deutschen Markt für Medizinalcannabis wurden im Jahr 2020 bereits 55 Mio. €, in insgesamt sechs Finanzierungsrunden, investiert.⁵⁸ Lizenzen für den legalen Cannabisanbau bestehen bisher für insgesamt drei Unternehmen in Deutschland, die legal 2,6 Tonnen pro Jahr anbauen dürfen.⁵⁹ In Berlin gibt es weitere Unternehmen wie bspw. Cantourage,⁶⁰ die den Markt mit unterschiedlichen Produkten

55 Bioland News (2021): Vertical Farming ja, aber als Ergänzung. <https://www.bioland.de/bioland-blog/vertical-farming-ja-aber-als-ergaenzung>.

56 Osram GB (2019), Osram (2020).

57 <https://www.zdf.de/nachrichten/politik/cannabis-legalisierung-ampel-100.html>.

58 EY 2020, Start-up-Monitor-2021.

59 <https://www.bfarm.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2021/pm6-2021.html> (Aufruf 12.11.2021).

60 <https://www.cantourage.com/de/>.

beliefern, vor allem mit Cannabis aus dem Ausland. Diese Aktivitäten werden dem Cluster Gesundheit zugeordnet. Der Markt für medizinisches Cannabis wird für Europa auf ca. 180.000 Patienten und ca. 400 Mio. € pro Jahr geschätzt. Aber vor allem der illegale Markt ist groß. Es wird geschätzt, dass jedes Jahr 200-400 Tonnen Cannabis in Deutschland konsumiert werden: Marktwert zwischen 1,2 und 2,5 Milliarden €. ⁶¹ Im illegalen Anbau werden außerdem, wie beim Indoor Farming, LEDs zur Beleuchtung der sogenannten Growth-Schränke eingesetzt. Ob sich hier infolge einer geplanten Legalisierung die Möglichkeiten für verbreitetes Indoor Farming vor Ort realisieren lässt, bleibt offen – da auch hier hohe Energiepreise die Kosten in die Höhe treiben dürften.

4.3 Netzwerke

Netzwerke sind in dem heterogenen Umfeld extrem wichtig für das Gelingen von Innovationsprozessen. Auch, weil die Unternehmer oftmals fachfremd sind und auf die Expertise bspw. aus den Bereichen Optik/Photonik oder auch Pflanzen-/Gartenbau angewiesen sind. Das mit Bundesmitteln geförderte deutsch-israelische ZIM-Netzwerk AgriPhotonik, das zwischen Januar 2020 und Juni 2021 vom OptecBB koordiniert wurde, ermöglichte übergreifend den Austausch zwischen Akteuren aus dem Cluster mit Forschungsinstituten und Wirtschaft aus Israel und organisierte Veranstaltungen und Wissensaustausch. Im Netzwerk arbeiten Partner aus Wissenschaft und Industrie an gemeinsamen F&E-Projekten zur Schaffung von Werkzeugen für eine wissenschaftsbasierte, standortangepasste und nachhaltige Pflanzenproduktion mittels optischer Verfahren, um damit auf Fragen des Klimawandels, der Ernährungssicherung und Ressourcenschonung zu reagieren. ⁶² Im Netzwerk

ging es um Anwendungen entlang der Wertschöpfungskette vom Acker bis zum Indoor-Anbau entlang der gesamten Wertschöpfungskette (inkl. Ernte-/Nachernteprozessen, Qualitätssicherung bis zum Kunden). Eine zweite Phase wurde aber erstmal nicht beantragt, da ein persönlicher Austausch derzeit nur sehr schwer gestaltet werden kann. Das Thema ist aus Sicht der Experten immer noch sehr speziell und die Anwendungsbereiche nicht zahlreich. Trotzdem ist die Aufrechterhaltung der Kontakte eine wichtige Aufgabe. Daher betreut OptecBB weiterhin inoffiziell die Netzwerkpartner. Allerdings in einem größeren Kontext bspw. mit den Unternehmen aus dem Bereich Food: Denn insgesamt beschäftigt sich nur ein minimaler Anteil der über hundert im OptecBB organisierten Unternehmen mit der Agriphotonik. Die Initiative Photonics21, die für den Bereich Agriphotonik ⁶³ auch von Akteuren aus Berlin mit begleitet wird, wird weiterhin Ideen für weitere Forschung und Anwendungen in diesem Bereich mit einbringen und sich auch an Anträgen für EU-Calls beteiligen.

Intermediäre, die die Zusammenarbeit zwischen den Akteuren aus dem Bereich befördern sollen, sind bspw. die German AgriFood Society, ⁶⁴ die sich aus dem Start-up-Verband abgespalten hat, das Vertical Farming Institute ⁶⁵ oder die Association for Vertical Farming. ⁶⁶ Die Verbände wollen den internationalen Austausch stärken und politische Rahmenbedingungen verbessern. Ein Schwerpunkt kann dabei die Zertifizierung sein: Produkte aus bodenlosem Anbau können bisher nicht als Öko zertifiziert werden. Somit fehlt den Unternehmen der Zugang zu diesem sehr wichtigen Marktsegment. Um Aktivitäten noch besser zu bündeln und das Networking zu verbessern, bietet die Messe Dortmund ab 2022 eine eigene Veranstaltung für das Indoor Farming an: Die ‚VertiFarm‘ wird das Thema als Trendthema mit aufnehmen. ⁶⁷ Die B2B-Messe soll auf neue Anbaumethoden in den Bereichen Fisch-, Insekten

61 Schätzungen von Prohibition Partners 2021. Quelle: <https://taz.de/Cannabismarkt-in-Deutschland/!5805967/> (Aufruf 12.11.2021).

62 <https://optecbb.de/news/detail/internationales-zim-netzwerk-agriphotonik-zusammen-mit-partnern-aus-israel-gestartet-1885/>.

63 <https://www.optik-bb.de/news/artikel/die-photonik-im-fokus-europas/> (Aufruf: 01.12.2021).

64 <https://dgzle.de/>.

65 <https://verticalfarminstitute.org/de/>.

66 <https://vertical-farming.net/>.

67 <https://www.rundschau.de/artikel/neue-messe-fuer-indoor-farming-ab-2022-in-dortmund> (Zugriff am 12.10.2021).

und Pflanzenkreislaufsystemen fokussieren. Außerdem soll es um den CBD-Markt und weitere Medizinalpflanzen gehen.

In Berlin gab es im Jahr 2017 den Versuch, ein Kompetenzzentrum für die gebäudeintegrierte Farmwirtschaft aufzubauen. Dazu gab es mehrere Workshops mit Akteuren aus der Wertschöpfungskette. Die Heterogenität der Ansätze und die sehr unterschiedlichen Motivationen (beispielsweise kommerzielles Interesse vs. soziales Engagement) in diesem Feld führten dazu, dass das Projekt dann abgebrochen wurde.

4.4 Universitäre und außeruniversitäre Forschung

Die für wichtige Fragestellungen im Vertical- und Indoor Farming relevanten, Disziplinen sind in Berlin/Brandenburg in kritischer Masse vorhanden. Hier sollen einige wichtige Aktivitäten kurz dargestellt werden, um das Bild zum Ökosystem Vertical Farming weiter zu vervollständigen. Pflanzenbauliche Fragestellungen können bspw. am Thar-Institut der HU Berlin erforscht werden. In Berlin/Brandenburg gibt mit dem IGZ (hier vor allem Aquaponik), dem ATB (Aspekte der Sensorik im Gartenbau) und dem ZALF (bspw. Aspekte der Akzeptanz) – um nur einige zu nennen – weitere Forschungsinstitute, die sich aus unterschiedlichen Gesichtspunkten mit der urbanen Lebensmittelproduktion beschäftigen. Auch die für Berlin wichtigen Sektoren Optik/Photonik und Sensorik finden eine gute Basis. Die Forschung spielt in diesem jungen Innovationssystem noch eine extrem wichtige Rolle, um wissenschaftliche Entscheidungen treffen zu können und Lösungen zu erarbeiten. Wichtige Fragen, wie die nach dem Funktionieren von Kreislaufsystemen werden hier bearbeitet, denn: *Vor allem beim Thema geschlossene Kreisläufe haben wir Fragen, die uns noch mindestens die nächsten 20 Jahre in der Forschung beschäftigen werden.*

Im Bereich der universitären Forschung hat Berlin mit der HU eine der letzten gartenbaulich

forschenden Universitäten in Deutschland. Einige andere Standorte, die traditionell starke Agrarfakultäten hatten, gehen thematisch in andere Richtungen. Die Berliner Forschungsaktivitäten zum Indoor Farming werden außerdem auch im Ausland wahrgenommen. In Berlin arbeiten derzeit drei Konsortien aus dem BMBF-Vorhaben Agrarsysteme der Zukunft⁶⁸ an unterschiedlichen Aspekten des vertikalen Gartenbaus und neuer Agrarsysteme und bauen dabei auf Ergebnissen vorangegangener Forschung auf (bspw. Niedrigenergiegewächshäuser).⁶⁹ Derzeit wird bspw. erforscht, wie Wasser- und Wärmekreisläufe weiter geschlossen werden können. Denn hier besteht infolge der Experten derzeit noch ein Forschungslücke, wie dies effizienter umgesetzt.

Auch an anderen deutschen Universitäten und Fachhochschulen, wie Osnabrück, laufen größere Forschungsvorhaben mit dem Ziel, bessere Erkenntnisse über die Herausforderungen im Vertical Farming zu gewinnen. In Osnabrück werden bspw. derzeit indoor Farmen und Dachgewächshäuser konzipiert und aufgebaut, um einzelne technische Komponenten näher zu erforschen. Ein Hauptaugenmerk liegt hier auch darauf, wie weitere Kulturen und Trophieebenen eingebunden werden können, um Kreisläufe weiter zu schließen. Hier werden daher – wie auch beim Berliner Projekt CUBES Circle⁷⁰ – Würmer, Insekten, Fische neben den Pflanzen in die Kreisläufe eingebunden. Im Zusammenhang damit soll erforscht werden, wie die Anlagen noch besser in städtische oder auch sub-urbane Strukturen eingebunden werden können. Weitere Kulturen, an denen ebenso geforscht wird, sind bspw.: Wasserlinsen, die als proteinreiche Kultur als Ersatz für Soja in der Futtermittelproduktion genutzt werden könnten. Außerdem sind Pilze, Süßkartoffeln, Tomaten, Moringa, Zucchini, Paprika oder Gewürze wie Pfeffer. Auch wenn hier noch viel experimentell ist, haben die Experten betont, dass es auch für Start-ups eine lohnenswerte Überlegung wäre, das Sortiment über Baby-Leaf-Salate und Kräuter hinaus auszuweiten, bspw. mit Kulturen, die bei uns nicht vorkommen – aber trotzdem in größeren Mengen benötigt werden.

68 <https://www.agrarsysteme-der-zukunft.de/>.

69 <http://zineg.net/>.

70 <https://www.cubescircle.de/>.

Eine der wichtigen Fragestellungen, die auch forschungsseitig bisher noch interessante Aspekte bietet, betrifft das sogenannte Phänotyping. Diese Forschung kann nur in interdisziplinärer Zusammenarbeit der Pflanzenzüchter mit anderen Bereichen wie der Sensorik weiterbearbeitet werden. Phänotyping ist ein Zweig der Pflanzenforschung, bei der das „Erscheinungsbild der Pflanze“ (Phänotyp) quantitativ erfasst wird.⁷¹ Bspw. wird mit Hilfe von Sensoren die Anzahl der Blätter erfasst, dabei werden eine Reihe von Daten erhoben, die dann ausgewertet werden müssen. Das hilft dabei, vom Aussehen einer Pflanze auf ihre Eigenschaften zu schließen.

Insgesamt hat die Beschäftigung mit Themen wie urbane Landwirtschaft und Nachhaltigkeit und die Aufnahme dieser Bereiche in die Lehre – neben anderen Faktoren – mit dazu beigetragen, dass die Zahl an Studierenden in den landwirtschaftlichen Fakultäten letztlich wieder etwas zugenommen haben.

Ein außeruniversitäres Forschungsinstitut, das in diesem Bereich arbeitet, ist OUT e. V.⁷² Hier wurde in den letzten Jahren anwendungsnahe an Sensoren und LED-Pflanzenlicht in Zusammenarbeit mit KMU, aber auch mit größeren Unternehmen gearbeitet. In der außeruniversitären Forschung wird das Thema Pflanzenlicht derzeit aber auch nicht vorrangig beforscht, da hier infolge der Experten derzeit keine drängenden Forschungsfragen offen seien. Die Forschung zu Pflanzenlicht und Sensorik im Gartenbau, aber auch beim Indoor Farming hatte vor 10 bis 15 Jahren einen Höhepunkt. Die verbleibenden Feinheiten werden durch die Großunternehmen, die in diesem Bereich Umsatz machen, erforscht und anschließend in Produkte umgesetzt.

Auch die Fraunhofer-Institute beschäftigen sich mit neuen Produktionssystemen in der Ernährungswirtschaft und der Kommunikation der Ergebnisse in die Gesellschaft. Das Fraunhofer UMSICHT⁷³ hat beispielsweise auf dem Jobcenter in Oberhausen

ein Dachgewächshaus installiert, das neben der Wissenschaft auch als Informations- und Demonstrationsanlage für die lokale Bevölkerung dient. Beim sogenannten inFarming-Konzept des Fraunhofer-Institutes geht es aber letztendlich darum, bewährte Gewächshaustechnologie auf den Indoor-Bereich zu übertragen und urbane, gebäudeintegrierte Landwirtschaft weiter voran zu bringen – dazu werden vor allem Prozesstechnik und Materialforschung kombiniert.⁷⁴

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Möglichkeiten des Informationsaustausches mit fachlichen Experten durch die Vielzahl der relevanten Forschungsinstitutionen für sich neu gründende Unternehmen in der Region Berlin/Brandenburg in Deutschland fast einzigartig sind. Einige Unternehmen (Crocus Labs oder ECF) haben auch in wichtigen Fragen zum gegenseitigen Vorteil mit der Forschung zusammengearbeitet. Allerdings, so die Einschätzungen, gehen die Anfragen aus der Wirtschaft in der letzten Zeit etwas zurück.

4.5 Internationales Geschehen

Ob eine Nutzung von Indoor Farming sinnvoll ist, ist auch eine Frage der Geographie. Experten sehen für den sehr dicht besiedelten Raum von Städten bzw. Stadtstaaten ohne eigene landwirtschaftliche Flächen (bspw. Singapur) Potenziale. Hier sind unter dem Druck der Corona-Pandemie die Schwachstellen globaler Lieferketten offensichtlich geworden und haben Akteure und Investoren dazu veranlasst, sich intensiver mit alternativen Produktionssystemen zu beschäftigen. **Singapur** sticht in diesem Zusammenhang besonders heraus, da hier die Investitionen in Indoor Farming immens angestiegen sind. Das Land sieht eine Notwendigkeit, sich von Importen unabhängiger zu machen und so die Ernährungssicherheit und Resilienz der Stadt zu stärken.⁷⁵ Auch in den ländlichen Ungunsträumen Patagoniens oder Sibiriens wird durchaus Potenzial gesehen, große Projekte zu realisieren, da hier durch Aufbau von

71 <https://www.pflanzenforschung.de/de/pflanzenwissen/lexikon-a-z/phaenotypisierung-10020> (Aufruf: 14.11.2021).

72 Optotransmitter-Umweltschutz-Technologien (OUT e. V.).

73 Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik (UMSICHT).

74 <https://www.umsicht.fraunhofer.de/de/projekte/infarming.html>.

75 Tatum M. (2021).

Wind- oder Solarparks auch die benötigte Energie für den Betrieb der Anlagen sichergestellt werden könnte. Denn eine Voraussetzung für die Umsetzung ist immer auch eine stabile Energieversorgung um Beleuchtung, Kühlung und/oder Heizung aufrecht zu erhalten. Nur wenige Stunden ohne Strom können sonst ganze Kulturen vernichten. So sind beispielsweise Indoor-Farming-Projekte in Gegenden mit schlechten infrastrukturellen Voraussetzungen gescheitert. Hier sind dann oftmals auch eher lokale, kleine (Dach-)Gewächshäuser in familiären Strukturen erfolgreich, um die lokale Ernährungssicherheit weiter zu verbessern.

In den **Niederlanden**, in denen der Gartenbau einen wichtigen wirtschaftlichen Sektor darstellt, konnte man die Erkenntnisse aus dem Pflanzen- und Gartenbau und die vorhandenen Kompetenzen aus LED-Forschung und Anlagenbau für die Entwicklung von Indoor-Farming-Anlagen in den letzten Jahren nutzen und mit Akteuren aus dem Ökosystem kooperieren. Der Versuch, in den Niederlanden kommerzielle Geschäftsmodelle in diesem Bereich zu realisieren, ist aber für einige Unternehmen gescheitert. Ein Grund hierfür ist sicherlich der hochprofessionelle Gartenbausektor, mit dem das Indoor Farming oft nicht konkurrieren kann.

Israel muss aufgrund seiner klimatischen Bedingungen bereits seit Jahren Expertise im Gartenbau (v. a. Unterglas) und bei der Züchtung von Obst und Gemüse aufbauen. Das Land ist

im Gartenbau durchaus erfolgreich: Aus Gewächshäusern in der Arava-Wüste werden Paprika, Sharon oder anderes nach Europa exportiert. Nun werden auch Lösungen für den Indoor-Bereich erprobt. Die Technologie wird also hier nicht zwangsläufig als Lösung für die Stadt, sondern für die Wüste verstanden. Im ZIM-Netzwerk AgriPhotonik hat Israel in den letzten anderthalb Jahren einen bilateralen Austausch mit Deutschland zur Anwendung optischer Technologien geführt.

Die **USA** gelten als Gründungsland der Idee des Vertical Farming. Der Wissenschaftler Dickson Despommier stellte in seinem Buch ‚The Vertical Farm‘ die Idee erstmals vor und machte das Thema somit einer breiteren Öffentlichkeit zugänglich.⁷⁶ Aus den USA kommen auch die meisten Investitionen, die in den Bereich AgTech gehen – auch für Deutschland.

Auch für die Raumfahrt ist die Frage nach Systemen, die das Überleben auf langen Missionen sichern, seit jeher ein Knackpunkt. Das **DLR** (Forschungsgruppe EDEN) entwickelt daher bioregenerative Lebenserhaltungssysteme für die bemannte Raumfahrt,⁷⁷ wie auch andere Nationen zeitgleich an ähnlichen Projekten arbeiten. Man macht sich hierbei die Prinzipien der CEA zunutze. Für zukünftige bemannte Weltraummissionen ist die Forschung an Indoor-Farming-Systemen also eine Grundvoraussetzung.

76 Despommier (2010).

77 Zeidler und Schubert (2014).

5. Technologie und Technologiekomponenten

Vertikale Farmen werden oft in „Bastelarbeit“, im Zusammenfügen einzelner Komponenten angeboten, die nicht perfekt ineinanderpassen. Es fehlt an einer Gesamtlösung.

Landwirtschaftliche Betriebe, insbesondere solche, die große Flächen bewirtschaften, sind seit langem hochtechnisiert. Die Anforderungen an die verwendete Technik im Außenbereich sind dabei hoch: Beispielsweise sind die Anforderungen an die Robustheit der Systeme ähnlich denen im Militärbereich. Weitere, in der Literatur beschriebene Herausforderungen sind die Integrierbarkeit in landwirtschaftliche Arbeitsprozesse sowie eine einfache Handhabung und Wartung.⁷⁸ Auch beim Indoor Farming werden Anforderungen an die technischen Komponenten gestellt: Sensoren müssen bspw. robust gegen Feuchtigkeit sein, denn sie sind kontinuierlich einer hohen Luftfeuchtigkeit ausgesetzt oder haben über einen längeren Zeitraum direkten Kontakt zur Nährlösung. Da Anwendungen für den Agrarsektor nur selten für andere Bereiche adaptiert werden können, zögern Unternehmen Agraranwendungen zu entwickeln oder sich auf diese zu spezialisieren, da hier teilweise nur geringes Potenzial für große Absatzmengen gesehen wird. Daher wird Agrartechnik oft von großen, internationalen Herstellern angeboten.

5.1 Sensoren

Die spezielle Sensorik für einzelne Anwendungen im Indoor Farming ist kein großer Markt. Sensoren werden zur Überwachung und Steuerung unterschiedlicher Messgrößen eingesetzt.

Im Indoor Farming werden mit ihnen einerseits die Umgebungsparameter wie Luftfeuchte, CO₂-Gehalt, Temperatur (in der Luft/am Blatt) bestimmt. Andererseits kann bei Bedarf auch die Produktqualität überwacht werden (bspw. Reifegrad).⁷⁹ Der Einsatz von Sensoren spielt in der Landwirtschaft (sowohl in der Tier- und Pflanzenproduktion als auch im Gartenbau) seit Jahrzehnten eine große Rolle. Ein Beispiel ist der Verbrauch von Betriebsmitteln.⁸⁰ Eine bekannte Anwendung aus dem PF ist die sensorgesteuerte Ausbringung von Stickstoff – je nach Bedarf an der Pflanze. Durch diese Technologie kann die Menge an Stickstoffdünger bis zu 25 % reduziert und somit Ressourcen gespart werden. Über die Sensorik kann also teilflächenspezifisch gemessen werden, welche räumlichen Variabilitäten in den Vegetationsbeständen vorliegen und die Ausgabe von Düngern und Pestiziden kann auf die Flächen begrenzt werden, auf denen es ein Defizit bzw. Bedarfe gibt. Hier ist somit ein direkter Nachweis der Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit über einen verminderten Ressourceneinsatz möglich. Die Tabelle zeigt überblicksartig, welche Parameter im Indoor Farming gemessen werden⁸¹ und warum diese Parameter von Bedeutung für das optimale Wachstum der Pflanzen sein können. Die einzelnen durch die Sensorik aufgenommenen Parameter, können außerdem mit Methoden der KI ausgewertet werden, um beispielsweise den Erntezeitpunkt besser zu bestimmen, oder das System in anderer Hinsicht weiter zu optimieren.

⁷⁸ Link-Dolezal et al. (2012).

⁷⁹ Podmirseg et al. (2020).

⁸⁰ Lilienthal et al. (2014).

⁸¹ Stellt die üblicherweise gemessenen Parameter nach Kenntnis der Autorin dar.

Tabelle 3

Welche Parameter werden im Indoor Farming an der Pflanze und in der Anlage gemessen?⁸²

Parameter	Gemessen werden ...	Warum wird das gemessen?
Wellenlänge des Lichtes	Wellenlängen in nm	<ul style="list-style-type: none"> Wellenlängen zwischen 400-700 nm werden von der Pflanze aufgenommen und helfen bei Prozessen wie Photosynthese/Ausbildung bestimmter pflanzlicher Inhaltsstoffe, Blütenbildung, Blattgröße etc. Verschiedene Wellenlängen werden in verschiedenen Wachstumsphasen benötigt. Spektrum in den LED optimieren, um weniger Energie zu verbrauchen (Forschung).
In der Umgebung		
Temperatur	°C (Grad Celsius)	<ul style="list-style-type: none"> Erkennen von Hitzestress an der Pflanze Temperatur stabil halten Wärme so regulieren, dass man die LED möglichst dicht an die Pflanzen heranbringen kann, unter 65°C.
Luftfeuchtigkeit	% (Prozent)	<ul style="list-style-type: none"> Luftfeuchtigkeit beeinflusst die Möglichkeit der Pflanze Nährstoffe aufzunehmen. Öffnen/Schließen Spaltöffnungen Unterschiedliche Kulturen bevorzugen unterschiedliche Luftfeuchtigkeit. Steuerung der Luftfeuchtigkeit
CO₂-Gehalt	ppm (parts per million)	<ul style="list-style-type: none"> Benötigt für die Photosynthese der Pflanze (zusammen mit Licht). Wieviel CO₂ muss zugeführt werden?
Im Wasser/Nährlösung		
pH-Wert	Konzentration an H-Ionen	<ul style="list-style-type: none"> Bestimmt über Verfügbarkeit der Nährstoffe, die die Pflanze aus dem Wasser aufnimmt. Werte zwischen 5,5, und 6,5 sind in der Hydroponik üblich.
Temperatur	°C (Grad Celsius)	<ul style="list-style-type: none"> Luft kann mehr Wasser aufnehmen, wenn sie wärmer ist. Unterschiedliche Kulturen benötigen unterschiedliche Temperaturen, um optimal zu wachsen.
Elektr. Leitfähigkeit	mS/cm	<ul style="list-style-type: none"> Leitfähigkeit zur Bestimmung des Salzgehaltes in der Nährlösung. Bei zu hohen Werten nehmen bspw. Wachstum und Ertrag ab. Unterschiedliche Pflanzen bevorzugen unterschiedlichen Salzgehalt
Sonstige Messungen		
Reife Monitoring	Ggf. Reifegase	<ul style="list-style-type: none"> Reifezustand bei Früchten bspw. über Reifegase möglich.
Biomasse	kg (Kilogramm)	<ul style="list-style-type: none"> Bestimmung der produzierten Mengen
Energieverbrauch u. a. Parameter zur Bestimmung der Betriebskosten	Verbrauch elektrischer Strom usw.	<ul style="list-style-type: none"> Ermitteln der Betriebskosten der Anlage

Beim **Indoor Farming** erfolgt in der Regel keine bodengebundene Produktion, sondern es werden hydroponische oder aeroponische Systeme genutzt. Daher können hier Lösungen, die bereits im Unterglasanbau mit gleichen Systemen gut funktionieren, Anwendung finden. Besonders wichtig sind die beiden Parameter Klima und Licht in diesen künstlichen Systemen. Optische Sensoren sind prinzipiell besonders attraktiv, da zerstörungsfrei gemessen werden kann. Die Sensoren müssen infolge der Interviews robust sein, da sie in der Indoor-Anlage dauerhaft einer

großen Luftfeuchtigkeit (etwa 70–80 %, abhängig von Kultur) ausgesetzt sind oder über längere Zeit direkten Kontakt mit der Nährlösung haben. Das bedeutet, dass sie ggf. öfter ausgetauscht werden müssen und daher zu möglichst günstigen Preisen verfügbar sein sollten. Die entscheidenden Merkmale, nach der Sensoren ausgesucht werden, sind laut der Experten also ihre Größe, Robustheit, Energieeffizienz sowie ihre Kosten. Weil aber viele Sensoren diese Voraussetzungen nicht komplett erfüllen, wird versucht, möglichst wenig Sensoren einzusetzen. Die Förderschiene wäre hier laut

⁸² Einige fachliche Informationen in der Tabelle wurden der Quelle Hortipendium entnommen: http://www.hortipendium.de/Willkommen_bei_Hortipendium (Aufruf: 04.11.2021).

Experten ein gangbarer Weg, genau solche Sensoren zur Verfügung zu stellen, da Firmen selten das Risiko eingehen hier für einen relativ kleinen Markt zu entwickeln. Das wäre der Weg, das zum Anwender zu bekommen. Innovative Neuerungen bei Sensoren werden allerdings eher nicht erwartet. Im Gespräch mit der Wissenschaft wurde betont, dass die Sensorik vor etwa 15 Jahren noch ein recht spannendes Feld war. Die Qualität der Sensoren, die derzeit genutzt werden, sei aber bereits sehr gut und es kommen momentan keine neuen Funktionen dazu. Bei Neuentwicklungen steht vielmehr die Energieeffizienz (und gegebenenfalls noch die Handhabbarkeit) im Fokus.

Ein Feld, in dem noch Potenzial für Forschung und Produktentwicklung steckt, ist die Zusammenführung und Auswertung der Daten aus unterschiedlichen Sensoren und deren Ausgabe als Entscheidungshilfe für den Anwender. Hier wären nach Einschätzung der Experten einfache Modelle wie Ampeln oder ähnliches hilfreich. Forschungsseitig sei somit eventuell die bessere Einbindung der Sensordaten in agronomische Modelle wichtig. Hieran wird derzeit auch gearbeitet, bspw. am ATB. Es geht also vor allem darum, den Landwirten oder den Gärtnern im Gewächshaus oder der Indoor-Anlage in ihren Entscheidungen zu unterstützen: *Apps sind eine Möglichkeit, die müssen dann aber nicht nur in der Lage sein, die Daten darzustellen, sondern sie müssen auswerten und entscheidungsunterstützend sein. Da gibt es leider noch nicht so viel.*

5.2 Beleuchtung

Die Beleuchtung ist neben den Wärme- und Kühlprozessen die wichtigste Komponente im Indoor Farming, da sie für einen großen Teil des Stromverbrauchs verantwortlich ist. Standardmäßig werden hier heute LEDs eingesetzt, da diese sehr viel effektiver sind, als die bisher verwendeten Natriumhochdrucklampen: Das Verhältnis zwischen Wärme und Licht lag bei diesen Lampen ungefähr bei 70:30. Bei den LEDs liegt das Verhältnis bei 50:50; damit ist die LED die effizienteste künstliche Lichtquelle. Auch die Lebensdauer der LEDs ist gegenüber der alten Technik stark verbessert, jedoch sind diese Lampen auch teurer. Die Lebensdauer der LED kann bis zu 50.000 Stunden betragen. Allerdings hängt diese von der Umgebungstemperatur und anderen Faktoren, wie der täglichen Nutzungsdauer, ab. In der LED-Forschung wurden vor allem in den letzten 10–15 Jahren sehr viele Erfolge erzielt. Letztlich gab es – ähnlich wie bei den Sensoren – allerdings keine wirklich großen Innovationen mehr. Denn die in der CEA genutzten Hochleistungs-LED sind in ihrem Lichtspektrum bereits sehr gut auf die Bedürfnisse der Pflanze bspw. auf Prozesse wie Photosynthese, Ausbildung bestimmter Vitamine und anderer Pflanzeninhaltsstoffe abgestimmt.

Die Experten schätzen zudem ein, dass die Effizienz nicht sehr viel weiter verbessert werden kann, da die Grenzen des Machbaren fast ausgereizt sind. Hier wäre es nun Aufgabe der großen Unternehmen, noch einige Prozent mehr an Effizienz zu erreichen. Auch Forschungsinstitute, die sich mit Pflanzenlicht beschäftigt haben, verlagern die Interessenschwerpunkte auf andere Bereiche. Wichtige Themen in der Forschung waren hier in der Vergangenheit die spektrale Zusammensetzung, Aufhängeorte oder das sogenannte Interlighting.⁸³ Die LED wird nun überall Standard der Technik und sukzessive komplett eingeführt, wenn die Preise sich günstig entwickeln.

⁸³ Aufhängen zwischen den Pflanzen, um bestimmte Pflanzenbereiche noch besser beleuchten zu können.

Der Wirkungsgrad der LEDs hat sich zwar stark verbessert, aber in den Anlagen muss eine Vollbeleuchtung geplant werden. Das bedeutet, dass je nach Größe viele Kilometer an Leuchten benötigt werden, die den Großteil des Tages (18-24 h) eingeschaltet sind. Jedes Stockwerk benötigt eine eigene Beleuchtung, was den Stromverbrauch entsprechend beeinflusst. Würde man den Strom bspw. durch Photovoltaik (PV) bereitstellen wollen, bräuhete man infolge eines Experten nach heutigem Stand der Technik für 1 m² Farm etwa 5 m² PV. Wenn man auf die Sonne als kostenfreie Lichtquelle verzichten muss, ist die LED die beste und derzeit effizienteste Lösung, die aber kostenintensiv ist.

Mit LEDs kann das Sonnenlicht, auf das sich die Pflanzen evolutionär angepasst haben, nachempfunden werden. Denn auch Pflanzen haben ein Zeitgefühl, das aus den Wellenlängen des natürlichen Lichts im Tagesverlauf resultiert. Es gibt eine Vielzahl an LEDs mit den unterschiedlichen Wellenlängen, die sich für ein individuelles Horticulture-Board⁸⁴ kombinieren lassen. Auch die Nutzung ausgewählter Spektralbereiche (Rot und Blau für Photosynthese) bietet die prinzipiell die Möglichkeit, weitere Einsparungen beim Energieverbrauch vorzunehmen. Jedoch hätte die Forschung gezeigt, dass die Pflanze alle Bereiche des Spektrums nutzt, um andere Prozesse neben der Photosynthese durchzuführen. Die richtige Beleuchtung hat also einen großen Einfluss auf Erträge und Wachstum der Pflanze. Ähnlich wie bei den Sensoren liegt das Potenzial der Weiterentwicklung darin zu wissen, wo Energie gespart werden und wie LEDs stabiler und kostengünstiger angeboten werden können. Außerdem wird auch hier weiteres Potenzial für Steuerung per App und Endgerät (bspw. Handy) gesehen.

5.3 Daten und Digitalisierung

Der Umgang mit Daten aus unterschiedlichen Quellen bleibt auch in der Agrarwirtschaft und dem Gartenbau weiterhin eine Schlüsselfrage. Dabei stehen auch neue Wertschöpfungsmodelle im Vordergrund.⁸⁵ Die vertikalen Farmen werden bereits heute von den Möglichkeiten, die bspw. KI mit sich bringt bestimmt: „Cloud-enabled Farming“, wie Infarm es nennt, wird in der Zukunft wohl eine größere Rolle spielen.⁸⁶ Infarm sammelt nach Presseangaben für jede Pflanze etwa 50.000 Datenpunkte⁸⁷ und nutzt diese Informationen, um die Produktion noch effizienter zu gestalten. Außerdem wird die Cloud genutzt, um die einzelnen Farmen zentral zu steuern. Wie bereits erwähnt, muss hierzu die Einbindung der Daten aus den Anlagen in agronomische Modelle noch besser gelingen, um aus den Daten sinnvolle Entscheidungen abzuleiten. In den Interviews wurde betont, dass wir hier erst am Anfang sind, KI besser einzubinden – das wird eine Aufgabe für die zukünftige Entwicklung in diesem Bereich sein. Der Dreh- und Angelpunkt ist dabei also die Datenverarbeitung und Auswertung. Der Anwender sei bisher nicht ausreichend in der Lage, aus den vielen Daten, die er generiert, eigenständig Maßnahmen abzuleiten. Ziel sei es, anwenderfreundliche Auswertesysteme bereitzustellen.

Auch die Wissenschaft beschäftigt sich derzeit mit der Frage, wie Daten am besten genutzt werden können. Eine Lösung sind Datenbanken, die Daten transparent zur Verfügung stellen und sie unterschiedlichen Akteuren zugänglich machen (im Sinne von Bibliotheken, ohne Nutzung von KI). Beim Datenaustausch gibt es eine Tendenz, häufiger reine Datenpaper zu publizieren; denn die Datenerhebung bedeutet oftmals den Einsatz von speziellen Sensoren oder Methoden, zu denen nicht alle gleichermaßen Zugang haben. So werden sauber recherchierte und beschriebene Daten Open Access verfügbar gemacht.

84 Osram.de.

85 VDE Dialog (2018).

86 <https://www.infarm.com/infarm-heralds-the-next-generation-of-cloud-enabled-farming/> (Zugriff am 05.10.2021).

87 <https://www.rundschau.de/artikel/gruen-aus-der-cloud> (Zugriff am 12.10.2021).

6. Ökonomische und politische Rahmenbedingungen

Es gibt sehr, sehr wenig gut recherchierte Zahlen und Informationen über die Wirtschaftlichkeit von Vertical Farming.

Der **globale** Markt für Produkte aus Vertical Farming Anlagen wurde für 2018 auf 2,23 Mrd. € geschätzt⁸⁸ – im Vergleich: Der Markt für frisches Obst und Gemüse allein in Deutschland betrug 2018 etwa 14 Mrd. €. ⁸⁹ Momentan geht das größte Interesse zu investieren und diese neuen Technologien weiterzuentwickeln und nutzbar zu machen von Investoren aus USA, Asien und dem Mittleren Osten aus. So gab es 2020 weltweit 1,6 Mrd. \$ VC-Investments in Unternehmen aus dem Bereich AgTech, in Deutschland waren es 2020 144 Mio. €⁹⁰ (die wohl fast vollständig auf Infarm entfallen dürften). Die weltgrößten Vertical-Farming-Unternehmen Plenty und Aerofarms (USA) konnten in den letzten Jahren 200 bzw. 100 Mill. US\$ an Wagniskapital einsammeln. Das Unternehmen Revel Greens bekam 2020 bereits 204 Mio.\$, das wertvollste europäische Unternehmen Infarm erhielt 2021 noch einmal 100 Mill. US\$, nachdem es bereits 2020 Geld von Investoren eingesammelt hatte.

Kosten für Indoor-Farming-Anlagen

Den teilweise enormen VC-Investitionen in Vertical Farming Unternehmen steht die Frage gegenüber, ob mit dem Geschäftsmodell Umsätze generiert werden können. Infarm hat beispielsweise nie über Umsatzzahlen gesprochen.⁹¹ Für **Deutschland** gibt es sehr wenige Berechnungen und Beispiele, wie mit den derzeit genutzten Kulturen Ansätze schnell und problemlos skaliert werden können

und ab wann sie wirtschaftlich tragfähig sind, das zeigen Literatur⁹² und Interviews. Auf der Suche nach validen Zahlen zu Energieumsätzen, CO₂-Emissionen, zu Stromverbrauch für LED oder Wasser wird man also schwer fündig. Eine Publikation des DLR⁹³ beschäftigt sich mit diesen Fragen für den Bereich des Vertical Farming. Die Publikation zeigt in Berechnungen auf, dass Indoor Farms sehr viel mehr Energie verbrauchen als ein modernes Gewächshaus. Die Betriebskosten pro Quadratmeter wurden in den Interviews mit dem Faktor 2 bis 2,5 im Vergleich zu einem Gewächshaus geschätzt (insbesondere aufgrund hoher Energiekosten für die LED-Beleuchtung, Luftentfeuchter oder Heizung für die Anlage).⁹⁴ Zeidler und Schubert haben in einer Modellrechnung für eine vertikale Farm mit mehreren Produktionsebenen inklusive Aquaponik mit einer Anbaufläche von angenommenen 93.000 qm einen jährlichen Strombedarf von 150.800 MWh errechnet.⁹⁵ Die Kosten für eine solche Farm würden sich laut der Autoren auf 62 Mio. € pro Jahr belaufen (inkl. aller Kosten auch für Personal, Dünger, Wasser, LED usw.)⁹⁶. Außerdem erfordern solche Anlagen ein sehr hohes Anfangskapital (je nach Automatisierungsgrad), sodass Gründer in der Regel auf Kapital von außen zwingend angewiesen sind. Das benötigte Anfangsinvestment kann das 10-fache dessen für ein High-Tech-Gewächshaus betragen (ggf. abhängig von Grundstückspreisen im städtischen Umfeld).

88 Zeit 2019: https://www.zeit.de/2019/45/agrarindustrie-gewachshaeuser-start-up-technologie?utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F

89 <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/284659/umfrage/marktvolumen-fuer-frisches-obst-und-gemuese-in-deutschland/>.

90 Agriinvestor.com; EY-start-up-barometer-2021 und EY-start-up-barometer-eu- 2021.

91 <https://www.forbes.at/artikel/die-fruechte-des-erfolgs.html>.

92 Zeidler und Schubert (2014) versuchen belastbare Zahlen zur Verfügung zu stellen.

93 Zeidler und Schubert (2014), Forschungsgruppe EDEN.

94 Rabobank (2018).

95 1 MWh entsprechen 1000 kWh, Zum Vergleich: Ein 4 Personen Haushalt verbraucht etwa 4 MWh pro Jahr.

96 Zeidler und Schubert (2014).

Die Aspekte Skalierbarkeit, ökologische Nachhaltigkeit sowie Kosteneffizienz zeichnen sich also nach wie vor durch enorme Unsicherheiten aus⁹⁷ und erfordern weitere Forschung in der LED-Technik (Energieeffizienz), bei der Konstruktion der Gebäude, der Steuerung⁹⁸ oder in der Auswahl der Kulturen. Eine schnelle Diffusion der Technologie sehen die Experten daher, in begrenztem Ausmaß und auf bestimmte Regionen beschränkt, als möglich an – halten sie aber für Mitteleuropa für nicht wahrscheinlich.

Wir haben bereits gesehen, dass die Finanzierung für neue Produktionssysteme inklusive Vertical-/Indoor Farming im Vergleich zu anderen Innovationen bisher an letzter Stelle steht. Auch der Eindruck der Unternehmen in dem Bereich ist, dass Finanzierung ein Hauptproblem bei der Umsetzung ihrer Ideen darstellt. Das zeigen auch die Auswertungen des GreenStartupMonitors2021.⁹⁹ Auch in der Forschung wird eine Finanzierungslücke attestiert, die die Herstellung von anwendungsreifen Produkten für die Praxis betrifft. Gerade im relativ kleinen und sehr spezifischen Anwendungsbereich der Agriphotonik ist das momentan ein Problem. In der Entwicklung wichtiger Technologien für die vertikale Landwirtschaft hat die öffentliche Hand (europaweit) bisher recht wenig Anreize durch Forschungsgelder etc. gesetzt, während private Investoren bereits in – teilweise sehr frühen – Entwicklungsstadien eingestiegen sind.¹⁰⁰

(Geschätzte) Kosten für Produkte aus Indoor Farming

Die Idee auch Ölsaaten oder andere kalorienreichere Nahrungsmittel zu produzieren ist derzeit noch eine Herausforderung. Selbst google ist an dieser Aufgabe mit seiner moonshoot company vorerst gescheitert.¹⁰¹ Es ist zwar möglich, auch Getreide in Vertical-Farming-Verfahren anzubauen, allerdings sind diese in keiner Weise rentabel (geschätzt werden in der Literatur ca. +30 % des üblichen Preises). Rechnet man den Verkaufspreis von Obst und Gemüse entsprechend der realen Kosten für Technik, Energie, Mitarbeiter etc. ergeben sich ca. 12 €/kg Gemüse oder Obst.¹⁰²

Akzeptanz von Produkten aus Indoor Farming

Grundsätzlich ist bei den Verbrauchern eine Änderung im Konsumverhalten und in der Akzeptanz gegenüber einem gewissen Technologieeinsatz bei der Lebensmittelproduktion erkennbar, vor allem wenn damit Aspekte der Nachhaltigkeit verbunden sind.¹⁰³ Innovative, junge Unternehmen, die Nachhaltigkeitsaspekte in den Vordergrund ihrer Marketingaktivitäten stellen haben in den vergangenen Monaten daher stark aufgeholt. Hello Fresh (+270 %) oder Beyond Meat (+19 %) sind dafür nur zwei Beispiele. Eine geringere Akzeptanz hat die Nutzung von „High-Tech“ im Gemüse- und Obstanbau; hier stehen Konsumenten eher kritisch zu Anbaumethoden, die vom konventionellen Bild der Landwirtschaft stark abweichen.¹⁰⁴ Die folgende Abbildung zeigt, wie groß die Akzeptanz für den Einsatz von unterschiedlichen Zukunftstechnologien in der Landwirtschaft ist. Dabei wird eine größere Akzeptanz für regional produziertes Obst und Gemüse aus dem Urban Farming (62 %) erkennbar, während die Zustimmung für Produkte aus Indoor Farming/Vertical Farming bisher nur 32 % beträgt. Die Vermarktung von Gemüse aus Dachgewächshäusern wird von den Konsumenten aber generell besser angenommen.

97 Butturini und Marcellis (2020).

98 VDE Dialog (2018).

99 <https://deustestartups.org/wp-content/uploads/2021/03/GreenStartupMonitor2021.pdf> (Aufruf: 93.12.2021).

100 Tuomisto (2019).

101 <https://finance-commerce.com/2018/05/people-power-costs-keep-indoor-farming-down-to-earth/> (Aufruf: 29.11.2021).

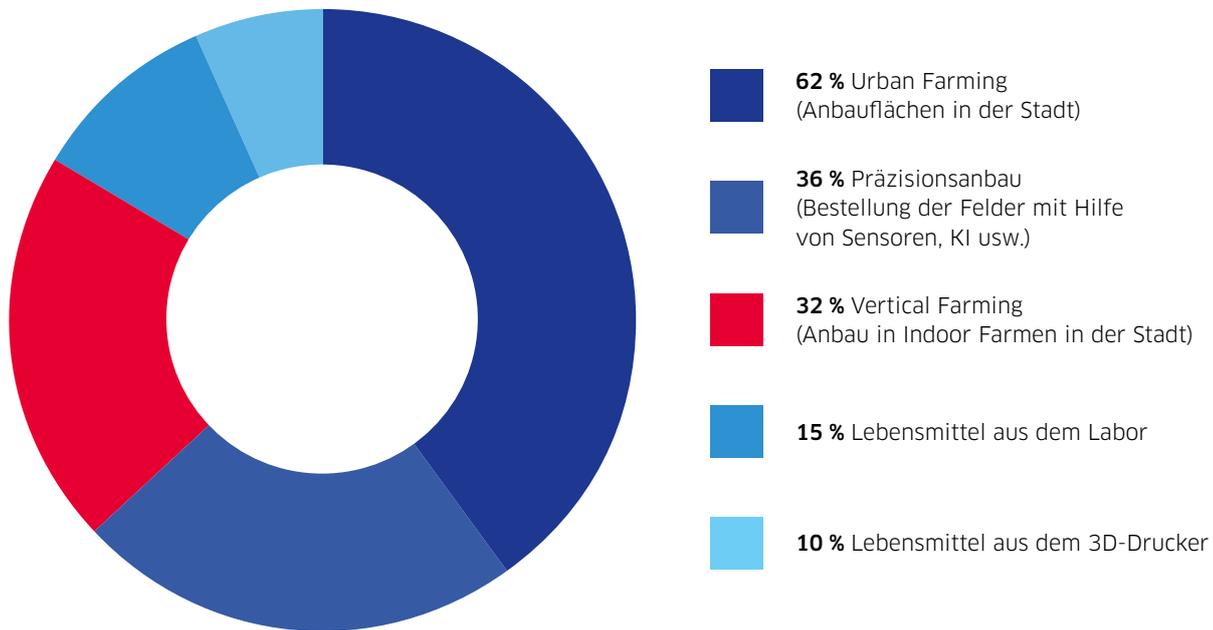
102 Zeidler und Schubert (2014).

103 Jürkenbeck et al. (2019).

104 Vgl. auch Butturini und Marcellis (2020).

Abbildung 3

Offenheit gegenüber Zukunftstechnologien in der Landwirtschaft (n= 500)¹⁰⁵



Zertifizierung

Ein, auf der politischen Ebene zu lösendes, Problem betrifft die Zertifizierung von Produkten aus bodenlosem Anbau als Bio. Das ist (und bleibt) in Deutschland bisher nur für Obst und Gemüse aus bodengebundener Herstellung möglich. Das heißt, dass die Kräuter und andere Kulturen, die aus hydroponischen oder aeroponischen Systemen stammen, nicht als Bio-zertifiziert werden können. Das wirkt sich auch auf die Preise im LEH aus. Die Branche wäre sehr daran interessiert, die Gespräche mit der Politik hier fortzusetzen. Anders als in Europa können in den USA Produkte aus bodenlosem Anbau als ökologisches Produkt verkauft werden. Auch einige nordische Länder haben sich gegenüber der EU Sonderrechte erstritten.

¹⁰⁵ Quelle: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1186817/umfrage/offenheit-fuer-zukunftstechnologien-in-der-lebensmittelproduktion-nach-art/> (Auszug aus dem KPMG Zukunftsbarometer 2/2020).

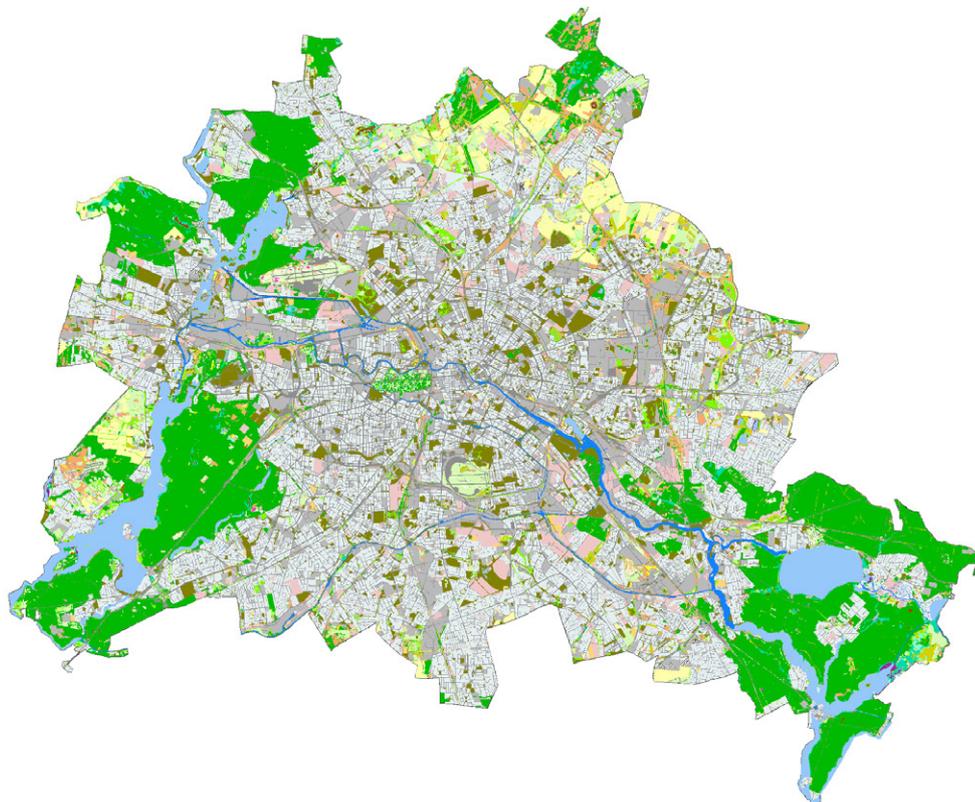
7. Teil II – Stadtgrün

Etwa 40 %¹⁰⁶ der Fläche Berlins sind Grünflächen und Gewässer;¹⁰⁷ wobei der grünste Bezirk, Trep-tow-Köpenick, 55 % Waldfläche besitzt. Damit kommen hier auf jeden Einwohner über 370 qm Grünfläche – in Friedrichshain-Kreuzberg sind es lediglich 7 qm/Einwohner. Der Begriff der ‚Urban Ecosystem Services‘¹⁰⁸ wird beispielsweise ge-nutzt, um zu zeigen, welche Funktionen das Grün

im urbanen Kontext erfüllen soll: Es dient als Erholungs-, Rückzugs- und Regenerationsraum für die Stadtbevölkerung, hat einen positiven Effekt auf das Stadtklima, reinigt die Luft, hat einen Anteil am innerstädtischen Wassermanagement, mindert die Geräusche, die durch den Verkehr entstehen oder trägt zur Biodiversität bei.

Abbildung 4

Biotopkarte Berlin¹⁰⁹



Um zu wissen, ob die zugeschriebenen Funktionen auch wirklich erfüllt werden können, ist die kontinuierliche Erhebung von Daten notwendig, um – möglicherweise negative – Veränderungen und Entwicklungen im Zeitverlauf sichtbar zu machen und gegebenenfalls Maßnahmen zu ergreifen.

Hierbei kommen unterschiedliche Methoden zum Einsatz. In der Literatur findet sich eine Aufstellung von durch Technologie unterstützten Methoden zur Erfassung von Stadtgrün, darunter: Amtliche Geobasisdaten, Geofachdaten (bspw. GRIS); freie Geodaten (bspw. OpenStreetMap)

¹⁰⁶ Die Zahlen in den unterschiedlichen Publikationen weichen ganz erheblich voneinander ab. Man findet Angaben zwischen 30 % und 59 % Grünfläche (inkl. Wasser) für Berlin.

¹⁰⁷ Amt für Statistik Berlin (2006).

¹⁰⁸ Breuste et al. (2013), Bolund und Hunhammar (1999), Haase et al. (2014).

¹⁰⁹ Quelle: FIS-Broker, <https://fbinter.stadt-berlin.de/fb/index.jsp>.

oder Fernerkundungsdaten (darunter Luftbilder; Laserscandaten (LiDAR) oder Satellitenbilder).¹¹⁰ Im Umweltmonitoring, das „die Erfassung, Beobachtung und Überwachung natürlicher Vorgänge oder anthropogen verursachte Prozesse in der Umwelt“¹¹¹ zum Inhalt hat, werden optische Verfahren oder Fernerkundung genutzt, um Daten zu gewinnen.

Ausgelöst von dem Diskurs über den Klimawandel, ist Stadtgrün derzeit ein relevantes Thema. Viele Städte entwickeln Konzepte, wie das urbane Grün weiter gestärkt werden kann, um negative Effekte wachsender Städte zu reduzieren.¹¹² In diesen Programmen ist bisher aber nicht explizit dargelegt, wie Technik bei Aufgaben wie Planung oder Pflege unterstützend eingesetzt werden kann. Das gleich Bild ergibt sich bei der Durchsicht aktuell geförderten Maßnahmen im Bereich Stadtgrün durch das Programm „Zukunft Stadtgrün“¹¹³: Hier sind keine Maßnahmen erkennbar, die Digitalisierung oder innovative Nutzung von Technik für Monitoring/Pflege von Grünflächen signifikant unterstützen. Gefördert wurden in erster Linie: Qualifizierung von Grün- und Freiflächen (66 %), Gebäude, Infrastruktur, Wege (48 %) und Konzepte (34 %). Die Fragen, die in Teil II in Kürze beleuchtet werden sollen, sind daher:

- Wo kommt bereits Technik im Bereich Stadtgrün zum Einsatz und was ist zukünftig geplant? Gibt es Möglichkeiten, Technik darüber hinaus innovativ einzusetzen (und können die Berliner Cluster oder andere Akteure hier einen Beitrag leisten)?
- Wo können Daten genutzt werden, um die Funktionen des Stadtgrüns weiter zu unterstützen?

7.1 Methoden der Fernerkundung

Laut Literatur fehlt es bundesweit noch immer an Daten zur Grünausstattung Deutschlands, um Ziele wie die des „Weißbuchs Stadtgrün“¹¹⁴ gezielt umsetzen zu können. Daher sollen beispielsweise durch Auswertung von Satellitenbildern/Satellitendaten zeitreihenfähige Daten erarbeitet und ein dauerhaftes Grünmonitoring etabliert werden. Eine Unterstützung auf Ebene Gesamtdeutschlands kann das Forschungsprojekt ‚Fernerkundliche Erfassung des Stadtgrüns‘ bieten, da es eine bundesweite Erfassung der Grünausstattung der Städte in Deutschland vornehmen soll. Dies ist notwendig, um Veränderungen im Zeitverlauf beschreiben zu können, um diese in weitere Planungen zu berücksichtigen. Die Methoden der Fernerkundung (bspw. Satelliten) haben durchaus Vorteile für das Grünmonitoring. Beispielsweise ist eine großflächige Beobachtung möglich, die Daten liegen sofort digital vor und können weiterverwendet werden, es besteht in der Regel eine gleichbleibende Qualität und die Datenerhebung ist in regelmäßigen Abständen möglich.¹¹⁵

Ein Beispiel für die Nutzung von Satelliten¹¹⁶ auf europäischer Ebene sind die Sentinel-Satelliten. Bei den Sentinel-Satelliten handelt es sich um eine Gruppe von Satelliten, die unterschiedliche Funktionen erfüllen: Sentinel-1 liefert lückenlose Daten über Land und Wasser, Sentinel-2 ist speziell für die Beobachtung der Vegetation konstruiert und Sentinel-5 widmet sich bspw. der Atmosphäre. Die Sentinel-2-Satelliten sind speziell für die Beobachtung der Landoberfläche und der Vegetation ausgerüstet. Sie liefern Aufnahmen im sichtbaren und infraroten Spektrum (443–2190 nm). Die Aufnahmen helfen Erntevoraussagen zu treffen, Waldbestände zu kartieren oder Veränderungen in der Vegetation aufzuzeigen.¹¹⁷

¹¹⁰ Dosch (2021): 4.

¹¹¹ Bullinger (Hrsg.) (2007): 501.

¹¹² für Berlin bspw.: Charta Berliner Stadtgrün (Stand 2020).

¹¹³ https://www.staedtebauforderung.info/DE/ProgrammeVor2020/ZukunftStadtgruen/Praxis/praxis_node.html;jsessionid=A80B17C5CFF-176D03DDFD1F5B169EFAC.live11291 (Aufruf: 29.11.2021).

¹¹⁴ https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/themen/bauen/wohnen/weissbuch-stadtgruen.pdf?__blob=publicationFile&v=3 (Aufruf: 29.11.2021).

¹¹⁵ Bullinger (2007): 500 f.

¹¹⁶ Ein anderes Beispiel sind die Landscape Satelliten der NASA, die ähnliche Ziele haben. <https://visibleearth.nasa.gov/topic/859/landscape> (Aufruf: 29.11.2021).

¹¹⁷ <https://www.d-copernicus.de/daten/satelliten/daten-sentinel/>.

Ein weiteres Beispiel war der BIRD-Satellit, der zwischen 2001 und 2006 genutzt wurde, um zu zeigen, dass das Erkennen von Waldbränden vom Orbit aus möglich ist. An diesem Projekt waren u. a. das DLR und die TU Berlin beteiligt.¹¹⁸ Das Münchener Unternehmen OroraTech nutzt ebenso Satelliten um Waldbrände zu erkennen und leitet die Informationen in die betroffenen Regionen weiter. Bisher bezieht das Unternehmen seine Daten aus dem Copernicus-Programm der ESA (Sentinel-Satelliten), will aber in zwei Jahren die ersten eigenen Satelliten entsenden. Das Start-up hat 2021 für die Entwicklung dieser Satelliten ca. 6 Mio. € an Kapital eingesammelt. Andere aktuelle Beispiele sind die Nutzung von Fernerkundung,

um Trockenstress bei Pflanzen über die Temperatur der Blätter zu identifizieren. Auch Berliner Start-ups wie SmartCloud Farming¹¹⁹ nutzen die Erdbeobachtungssatelliten, um bspw. 3D-Modelle von Böden darzustellen. Für die Nutzung von Satelliten sind also prinzipiell ähnliche Anwendungsszenarien für die Landwirtschaft und für das Stadtgrün denkbar.¹²⁰ Hier gibt es auch spezielle Förderungen für Start-ups oder KMU, die Satellitendaten nutzen möchten. Das Copernicus-Startup-Programm unterstützt Gründer, die Erdbeobachtungssatelliten für kommerzielle und gesellschaftliche Ziele nutzen wollen in unterschiedlichen Programmen.¹²¹

Abbildung 5

Sentinel-2-Satelliten¹²²



118 https://www.dlr.de/rd/desktopdefault.aspx/tabid-2440/3586_read-5329/.

119 <https://smartcloudfarming.com/>.

120 <https://constellr.space/>.

121 <https://www.d-copernicus.de/infothek/start-up-foerderung/>.

122 © ESA/ATG medialab. Quelle Bild: https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Germany/Sentinel-2_hat_die_Erdoberflaeche_im_Blick.

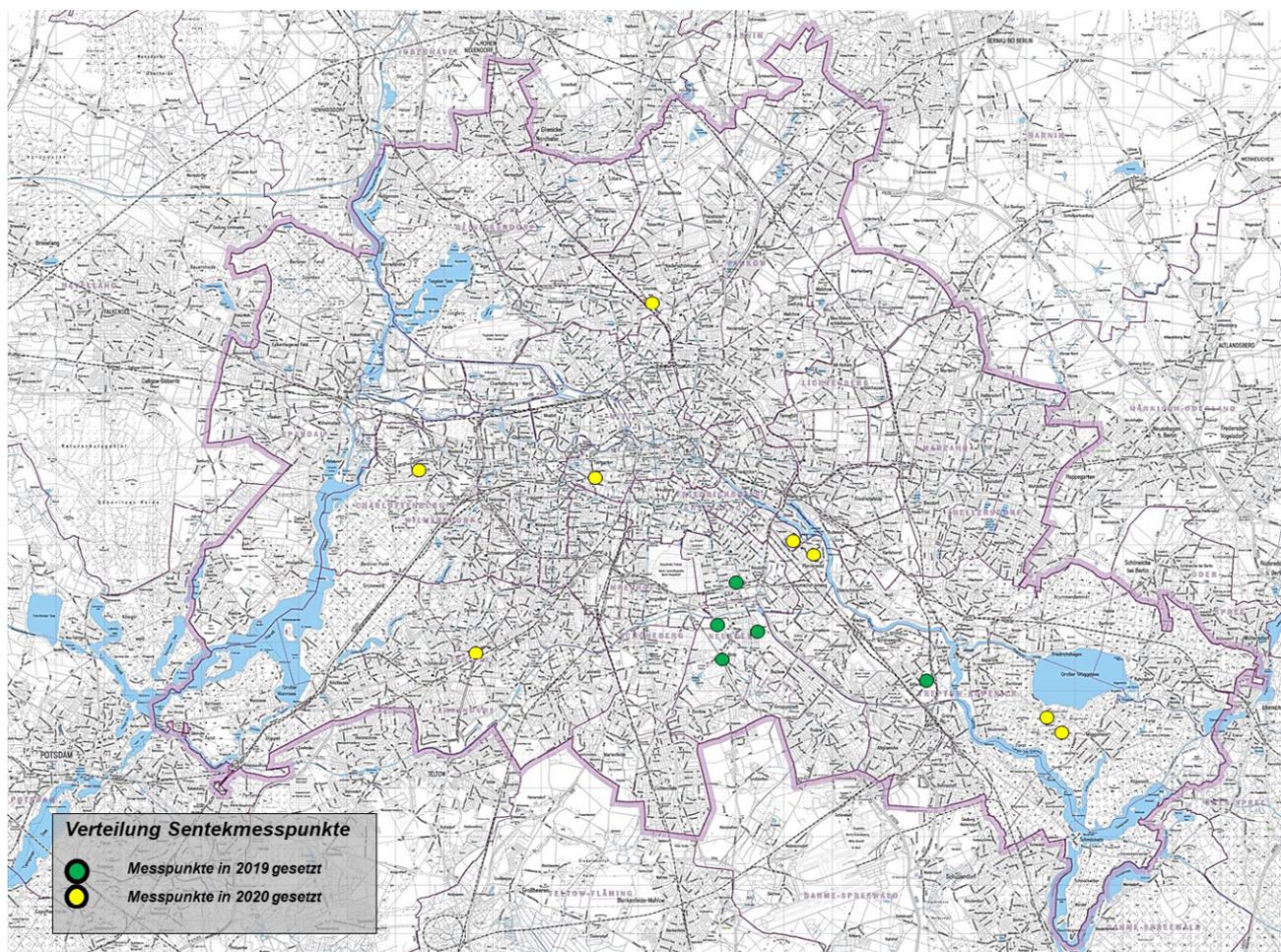
7.2 Einsatz von Sensoren und Nutzung von Daten

Die Bestimmung der Wasserkapazität des Bodens, Bodenfruchtbarkeit, Steuerung von Bewässerungsmaßnahmen, physikalische Eigenschaften des Bodens, Einschätzung von Pflanzenwachstum, der Wasserhaushalt können bspw. mit Hilfe von Sensoren ermittelt werden. In Berlin werden in kleinerem Umfang im Projekt „Wasserhaushaltsmodellierung zur Erhöhung der Resilienz der Straßenbäume in Berlin“¹²³ (im Rahmen des BEK) bereits Sensoren eingesetzt, um beispielweise die Bewässerung der Stadtbäume besser zu managen und der Bevölkerung Hinweise zu geben, wann Gießen notwendig wird. Das Pflanzenschutzamt misst dazu an bislang 13 Standorten in der Stadt die Bodenfeuchte bis 90 cm Tiefe (siehe Abbildung 7).

Anhand dieser Messpunkte und der Datenauswertung kann für einzelne Kulturen (bisher Winterlinde) eine Gießempfehlung ausgesprochen werden. Dieses Projekt befindet sich in der Testphase und soll ab 2022 für alle Berliner Grünverwaltungen zu Verfügung stehen und perspektivisch weiter ausgebaut werden. Die Ausgabe der Daten erfolgt als Ampel (siehe Abb. 7) in der leicht zu erkennen ist, ob der Boden am angegebenen Standort trocken ist und das Gießen empfohlen wird. Der Datenbestand zu den Stadtbäumen kann über das Berliner GRIS (Grünflächeninformationssystem) anhand von offenen Daten abgerufen werden. Die Ämter nutzen auch die Angebote der eigenen Station des DWD im Stadtgebiet.

Abbildung 6

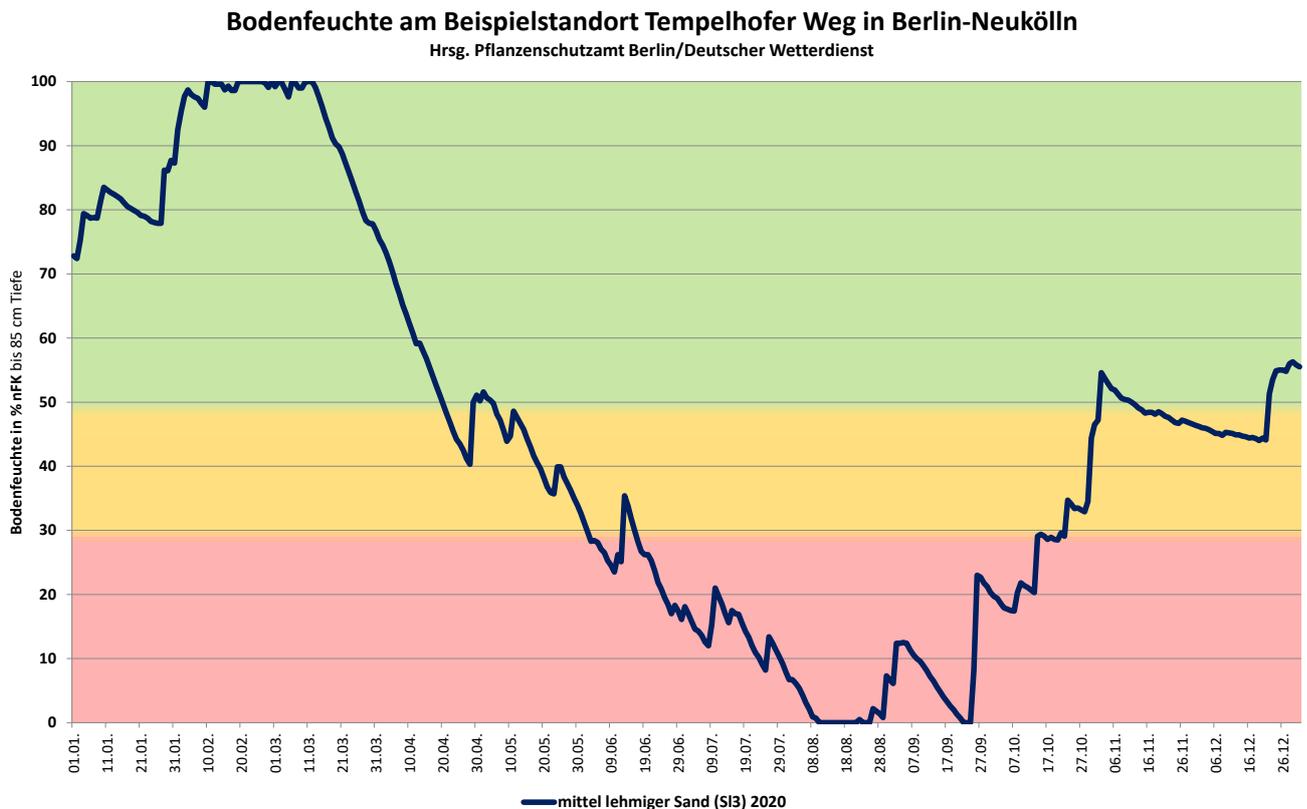
Messpunkte Sensoren Bodenfeuchte¹²⁴



123 <https://www.berlin.de/pflanzenschutzamt/stadtgruen/beratung/messungen-der-bodenfeuchte/>.

124 <https://www.berlin.de/pflanzenschutzamt/stadtgruen/beratung/messungen-der-bodenfeuchte/>.

Abbildung 7

Beispiel für die Bewässerungsempfehlung Stadtbäume¹²⁵

In Berlin verwendet auch das **CityLab** Daten, um die Bewässerung der Berliner Stadtbäume zu unterstützen. Im Rahmen des Projektes Gieß den Kiez¹²⁶ wurde eine Plattform entwickelt, auf der man sich einen Überblick zum Baumbestand und der Bewässerung verschaffen kann. Dazu werden die Niederschlagsdaten der letzten 30 Tage des DWD herangezogen. Im Projekt Quantified Trees (kurz: QTrees¹²⁷) des City Labs soll eine KI eingesetzt werden, um Vorhersagen zum Baumsterben in Berlin zu ermöglichen. Das Projekt wird mit Unterstützung des BMU und einem Berliner Startup realisiert und ist zunächst räumlich begrenzt.

Auch auf dem ehemaligen Gelände des Flughafens Tegel soll das Stadtgrün weiter in den Mittelpunkt rücken. Hier sollen drei übergeordnete Konzepte verfolgt werden, die auch die Erhebung und Auswertung von Daten aus Sensoren mit Bezug auf das Stadtgrün beinhalten: Erstens soll unter dem

Begriff Smart Nature urbanes Grün durch den Einsatz von Technik unterstützt und schon bei der Planung berücksichtigt werden können. Dazu können auch vereinzelt Sensoren eingesetzt werden. Des Weiteren soll ein Animal-Aided design¹²⁸ verfolgt werden. Die Biodiversität soll sich in Folge der Maßnahmen vor Ort erhöhen. Hier kann ggf. durch das Sammeln von Daten verfolgt werden, ob die Ziele erreicht werden konnten. Das Potenzial dieser Maßnahmen liegt einerseits in der Aufnahme des Bestandes, aber auch in der Aufnahme von Veränderungen über die Zeit und der Datenauswertung. Drittens soll ein Edutainment-Konzept zur Vermittlung von Zusammenhängen zwischen Mensch- Natur- Klimawandel und weiteren Aspekten angewendet werden. Die Daten, die aus unterschiedlichen Quellen (Sensoren, Wetterstation auf dem Gelände) gesammelt werden, sollten u. a. der Forschung, bzw. als Open-Data zur Verfügung gestellt werden und werden dazu perspektivisch

¹²⁵ Quelle: <https://www.berlin.de/pflanzenschutzamt/stadtgruen/beratung/bewaesserungsempfehlung-fuer-stadtbaeume/>.

¹²⁶ <https://giessdenkiez.de/>.

¹²⁷ <https://www.technologiestiftung-berlin.de/projekte/qtrees>.

¹²⁸ <http://www.bgmr.de/de/projekte/AADSchumacherQuartier>.

auf einer Datenplattform, dem Future-Hub,¹²⁹ gesammelt. Der monetäre Wert dieser Daten wird aber allgemein als eher gering eingeschätzt. Daher ist das Ziel, die Daten der Wissenschaft oder anderen Akteuren zur weiteren Verwendung zur Verfügung zu stellen. Dazu sind Dashboards und Abruf über Schnittstellen denkbar.

Kunstprojekt ‚Augmented Forests‘

Im Rahmen eines Projektes haben zwei Berliner Künstler vor einigen Jahren die Idee eines Waldes entwickelt, der sich auf Basis der Blockchain selbst managen kann, indem er über eine Kryptowährung Transaktionen, wie den Verkauf von Holz, organisiert.¹³⁰ Das FZI hat die Idee zusammen mit den Künstlern aufgenommen und versucht, die Bedingungen, unter denen diese Idee funktionieren könnte, aufzuzeigen. Untersucht wurden dabei sowohl die technische Machbarkeit als auch die Logik die den Entscheidungsprozessen zugrunde liegen müsste. Ein Test-Waldstück konnte leider nicht gefunden werden.¹³¹ Vorläufig konnte festgestellt werden, dass sowohl die technische, als auch die praktische Machbarkeit äußert komplexe Voraussetzungen hätte. Trotzdem ist die Idee, dass urbanes Grün sich nach vorgegeben Kriterien selbst managen kann, weiter spannend. Das Projekt wurde in Berlin wahrgenommen und unabhängig voneinander in Interviews erwähnt.

7.3 Forschung

In der Forschung werden bspw. im Gartenbau, aber auch im Precision Farming immer wieder interessante, technologische Anwendungen entwickelt, die potentiell auf das Stadtgrün angewendet werden könnten. Im Gartenbau werden bspw. derzeit Dendrometer (zum Messen von Höhe und Umfang von Bäumen) oder Psychrometer (Feststellen von Wasserpotenzial/Wasserspannung am Stamm) entwickelt. Hier sind Universitäten in den USA mit neuen Methoden zur Messung von Trockenstress bei Bäumen befasst und bringen die Geräte auch in die Praxis. Für solche Methoden könnten man sich eine Übertragung auf Stadtbäume prinzipiell vorstellen – Hindernis ist aber in der Regel eine Ressourcenknappheit der Städte. Derzeit wird auch an Lasertechnik geforscht (LiDAR), da diese Technologie unabhängig von wechselnden Lichtbedingungen im Freien zum Einsatz kommen kann (bspw. bei Obstbäumen). Allerdings sind diese Anwendungen eher in Bereichen wie Baumschulen oder der Forschung realistisch, da datensensible Bereiche – wie der öffentliche Raum – für den Einsatz von Drohnen oder ähnlicher Technik derzeit nicht in Frage kommen.

Das Thünen-Institut (Institut für Waldökosysteme) hat im Bereich Umweltmonitoring im Kooperationsnetzwerk STReESS¹³² Bäume so ausgestattet, dass diese die Wissenschaftler (und alle Interessierten) über unterschiedliche Prozesse (Verdunstung, Wasserfluss) per Twitter informieren können. Eine Brandenburger Buche ist ebenfalls im Netzwerk der twitternden Bäume.

129 <https://www.berlintxl.de/das-projekt/futr-hub>.

130 Seidler et al. (2016).

131 Terr0: <https://www.clotmag.com/interviews/terra0-enabling-the-forest-to-become-an-autonomous-economic-agent/>
Terra1 (FZI-Projekt) <https://www.fzi.de/de/forschung/projekt-details/biooekonomie-40/>.

132 <https://www.thuenen.de/de/thema/waelder/forstliches-umweltmonitoring-mehr-als-nur-daten/twitternde-baeume-im-netz/> (Aufruf: 29.11.2021).

8. Fazit und Empfehlungen

Im Folgenden werden für beide Teile separat Schlussfolgerungen aus den empirischen Ergebnissen gezogen und durch einige Vorschläge, wie die Bereiche weiterhin unterstützt werden können, ergänzt.

8.1. Fazit und Empfehlungen Teil I

Hinsichtlich der Ausgangsfrage, ob das für Berlin wichtige Cluster Optik/Photonik und inhaltliche Schwerpunkte wie Smart-City, Cleantech oder Datenökonomie von den derzeitigen Entwicklungen im sogenannten Urban Farming profitieren können, sind die Ergebnisse als differenziert zu betrachten. Die Analyse einzelner Aspekte im Innovations-system hat gezeigt, dass der Markt trotz großer medialer Aufmerksamkeit und Investoreninteresse weiterhin klein und sehr dynamisch bleibt und neue Akteure nur sehr schwer zu wirtschaftlichem Erfolg kommen können. Es handelt sich also nach wie vor um ein ausgesprochenes Nischenthema. Es gibt zwar einige Unternehmen, die in den letzten Jahren signifikante Summen an VC-Kapital erhalten haben, welches aber vor allem für die Expansion in andere Regionen verwendet wird. Die Rahmenbedingungen, die eine weitere Diffusion der eigentlichen Technologie am Standort Berlin voranbringen würden, sind nicht günstig: Die Entwicklungen am Energiemarkt, bei Grundstückspreisen im urbanen Raum oder der hohe Selbstversorgungsgrad Deutschlands bei Obst und Gemüse lassen ein Marktwachstum derzeit nicht erwarten. Das heterogene Ökosystem mit Akteuren, die sehr unterschiedliche Motivationen haben, zeigt keine gemeinsamen Ziele oder eine übergeordnete Strategie. Trotzdem können Potenziale durch die gezielte Zusammenarbeit von Wissenschaft und Wirtschaft gehoben werden – wenn auch in kleinem Maßstab. Dabei können unterschiedliche Aspekte noch weiter in den Fokus gerückt werden:

Berlin hat gute Chancen an den Entwicklungen Teil zu haben – aber keine guten Chancen für die verbreitete Nutzung der Technologie in der Stadt.

Im Mapping konnte gezeigt werden, dass Wirtschaft und Wissenschaft in Berlin Potenzial haben, sich gemeinsam an der Weiterentwicklung von Lösungsansätzen zu beteiligen. In Berlin werden konsequenterweise Forschungsfragen hinsichtlich standardisierter Lösungen für das Kreislaufproblem oder der Datenauswertung für digitale Entscheidungsunterstützung adressiert. Auch die Forschung an zusätzlichen Kulturen scheint – im Hinblick auf die Herausforderungen, für die diese Systeme zukünftig benötigt werden – äußerst sinnvoll. Im Ökosystem sind Akteure unterschiedlicher, relevanter Bereiche vertreten: die Optischen Technologien, der Bereich IMK, Smart City, Cleantech oder wissenschaftliche Institutionen. Im Hinblick auf Indoor Farming sollte Berlin allerdings nicht allein, sondern auch im Zusammenhang mit Brandenburg betrachtet werden – denn hier gibt es Flächen, auf denen Verfahren erprobt und realisiert werden könnten. Für den Stadtbereich sind (große) Indoor-Anlagen jedoch höchstens als Demonstrationsanlagen in Zusammenarbeit mit der Forschung und im Rahmen von Bildungsarbeit sinnvoll.

Digitale Entscheidungshilfen sind gefragt.

Eine Lücke stellt die Anwenderfreundlichkeit in der Zusammenführung der Daten aus unterschiedlichen Sensoren, hin zu einer Entscheidungshilfe für den Nutzer dar. Die Sensoren sind zwar in der Lage, große Datenmengen zu liefern, diese müssen aber auch in Handlungsempfehlungen übersetzt werden. Hier fehlt es an Anwendungen (bspw. Apps), die die Ergebnisse in für den Anwender schnell zu überblickende Entscheidungstools übersetzen.

Bessere Netzwerke notwendig?

Der Anteil von Berliner Unternehmen aus dem Bereich Optik/Photonik, der sich mit der Agriphotonik beschäftigt, ist zwar minimal, aber es finden sich immer wieder interessierte Unternehmen. Ein gutes Netzwerk – auch ins Ausland – gilt als besonders wichtig, um relevante Akteure entlang der Wertschöpfungskette kennenzulernen. Der OptecBB spielt auch nach dem offiziellen Ende des ZIM-Netzwerkes AgriPhotonik eine große Rolle, indem er die weitere Zusammenarbeit der Akteure ermöglicht und sich in der Initiative Photonics21 engagiert. Auch das Cluster Optik/Photonik ist daran interessiert, dass das Thema weiterhin in Berlin bearbeitet wird – wenn auch in kleinem Rahmen. Neue Netzwerke braucht es nach Ansicht der Experten jedoch nicht.

Kleiner Markt – hohe Investitions- & Betreiberkosten.

Vertical Farming wird derzeit „gehyped“. Viele Akteure zeigen Interesse, schätzen aber häufig ihre Möglichkeiten und das Marktvolumen falsch ein. In der Literatur wird die Zunahme an Investments und Innovationsaktivitäten in diesem Bereich teilweise den immer günstiger werdenden Preisen für LED zugeschrieben.¹³³ Aufgrund der geringen Marktgröße ist es aber sehr schwierig, Anwender für konkrete Produkte (bspw. Sensoren) zu finden.

Es kann also gesagt werden, dass die geringe Marktgröße auch das Potenzial für Zulieferer für LED, Sensoren und andere Komponenten aus den für Berlin wichtigen Bereichen wie Optik/Sensorik begrenzt. Hinzu kommt, dass Anfangsinvestitionen enorm sind und sich nur rechnen, sollte es einem Unternehmen gelingen, sein System erfolgreich weiterzuverkaufen. Der Verkauf der Produkte selbst (also Kräuter und Salate) aus den indoor-Anlagen ist bisher nicht rentabel.

Fazit: Die Zahlen sind nicht alles.

Auch, wenn die (wenigen) verfügbaren Zahlen bisher nicht darauf hindeuten, dass Technologie für oder Indoor Farming an sich, wirtschaftlich eine große Rolle für Berlin spielen; sind Ideen, wie wir die Nahrungsmittelproduktion auf kleinerer Fläche zukünftig realisieren können, perspektivisch zwingend notwendig. Eine Möglichkeit ist es, die Übertragbarkeit von Technologie aus anderen Bereichen regelmäßig auf seine Tauglichkeit für das Indoor Farming zu überprüfen. Daher ist es konsequent und richtig, Netzwerke für einen größeren Kreis zu öffnen und die Akteure bspw. aus der Agriphotonik auch stärker mit anderen Bereichen wie bspw. Food zusammen zu bringen und so Cross-Industry-Verbindungen zu stärken. Zusammenfassend können daher folgende Empfehlungen gemacht werden:

133 Butturini und Marcellis (2020).

Tabelle 4

Fazit Vertical Farming

I Technik & Forschung	
Kompetenzen in Wissenschaft und Wirtschaft für gezieltere Entwicklung in innovativen Bereichen nutzen	mit HU, IGZ, ATB, ZALF u. a. sind wichtige Institutionen am Standort vorhanden, die sich mit Vertical Farming aus unterschiedlichen Perspektiven beschäftigen. Innovationspotenzial liegt u. a. noch in der Frage, wie Vertical Farming effektiv mit anderen Systemen gekoppelt werden kann, um Kreisläufe weiter zu schließen und so Nachhaltigkeitsziele zu erreichen.
Lösungen und Forschung zu Entscheidungstools	Entscheidungstools, die Ergebnisse aus unterschiedlichen Sensordaten sammeln und auswerten, sind noch eine Lücke. Hier können bspw. Apps entwickelt werden.
Weitere Forschung an anderen Kulturen	Neben den Kräutern und Salaten sollten weitere Kulturen für Indoor Vertical Farming erforscht werden.
Wirtschaftlichkeit des Ansatzes	Belastbare Zahlen zur Wirtschaftlichkeit der einzelnen Ansätze, an denen sich Akteure orientieren können, fehlen fast gänzlich. Machbarkeitsstudien zu Skalierbarkeit und Nachhaltigkeit sind ein notwendiger Beitrag.
II Berliner Cluster & Netzwerke	
Netzwerkarbeit fortsetzen	OptecBB wird als kompetenter Partner wahrgenommen, der weiterhin das Thema Agriphotonik von der technischen Seite in Zusammenarbeit mit dem Cluster Optik/ Photonik betreuen und konkrete Entwicklungen unterstützen kann.
Cluster Optik/ Photonik: Wertschöpfungsketten übergreifende Cross-Cluster-Aktivitäten	Informationsveranstaltungen, die die gesamte Wertschöpfungskette abdecken, können hilfreich sein, um Akteure zu vernetzen. Dazu sollten Schwerpunkte wie Cleantech, IMK, Gesundheit oder industrielle Produktion, oder Datenökonomie, aber vor allem auch der Garten- oder Pflanzenbau mit einbezogen werden.
III Bildung	
Demonstrationsanlagen für Bildungsarbeit?	Wandel braucht Zeit und muss gut kommuniziert werden: Demonstrationsanlagen sind eine Methode, die Akzeptanz zu neuen Technologien beim Verbraucher zu stärken und Wissen zu neuen Technologien zu vermitteln.

8.2 Fazit und Empfehlungen Teil II

Die Ergebnisse aus dem Teil Stadtgrün zeigen, dass sich eine Reihe technischer Verfahren dazu eignen, die Pflege oder das Monitoring von Stadtgrün zu unterstützen. Da aber nur selten Anwendungen einzig für dieses Gebiet entwickelt werden, müssen Lösungen aus anderen Sektoren und Anwendungsgebieten adaptiert werden. Sensoren werden vereinzelt bereits eingesetzt, aus unterschiedlichen Gründen (u. a. finanziellen) jedoch nicht flächendeckend. Wo es möglich ist, wird versucht, den Einsatz von Sensoren weiter auszuweiten. Optische Verfahren werden selten eingesetzt – sieht man von Satelliten einmal ab. Eine Lücke wurde bei der Erhebung und Auswertung von Daten für das Grünmonitoring und das Überprüfen von Zielvorgaben (bspw. Nachhaltigkeitsziele) festgestellt. Hier können ggf. noch Konzepte oder Geschäftsmodelle erarbeitet werden. Zusammenfassend können drei Aspekte hervorgehoben werden:

Selektive Nutzung von Technik.

Die technischen Möglichkeiten werden, wie beschrieben, selektiv eingesetzt. Das geschieht beispielsweise aus finanziellen Erwägungen heraus. Des Weiteren wird Sensorik oft an geschützten Stellen verbaut, da öffentlich sichtbare Geräte von Vandalismus betroffen sein können. Die Nutzung optischer Sensoren innerhalb des öffentlichen Raumes wurde nicht speziell erwähnt und einige Methoden wie Drohnen können aufgrund von Datenschutzvorgaben ausgeschlossen werden. Für diese Anwendungen wurden eher Forschung oder Privatwirtschaft als potenzielle Nutzer benannt.

Lücke bei digitaler Unterstützung von Planungs- und Monitoring-Prozessen.

Es gibt bisher keine standardisierten Planungstools, in der die Effekte von Stadtgrün bereits bei der Stadtplanung berücksichtigt werden können. Hier war ein Hinweis, dass es sich hierbei um äußerst komplexe Zusammenhänge handelt und solche Tools daher in der Entwicklung dementsprechend kostenintensiv wären. Der FIS-Broker bietet allerdings eine große Auswahl offener

Daten aus unterschiedlichen Kategorien wie Planung, Umwelt, Umweltbeobachtung etc., die für das Management von Stadtgrün durchaus mit herangezogen werden können.¹³⁴ Inwieweit eine digitale Verarbeitung verfügbarer Satellitendaten als Unterstützungstool geeignet sein kann, ist weitgehend unerforscht.

Nachnutzung von offenen Daten wünschenswert.

Die Gewinnung und gezielte Auswertung und Nachnutzung von Daten ist infolge der Experten ein sehr interessanter Aspekt. Denn dadurch können Ziele besser überprüft und Entwicklungen

nachjustiert werden. Die Daten sollten also unbedingt auch anderen Akteuren, wie der Wissenschaft oder Start-ups, zur Verfügung gestellt werden. Im Prinzip wird die stärkere Förderung von konkreten Open-Data-Projekten im Bereich Stadtgrün als wünschenswert angesehen. Ein Punkt, der dabei benannt wurde, ist der reibungslose Austausch von Daten über Schnittstellen. Hier wird ein leichterer Austausch zwischen Institutionen gewünscht. Dennoch, die Nachnutzung von Daten wird bereits von einzelnen Stellen angestrebt und in unterschiedlichen Projekten (bspw. Stadtbäume) erfolgreich erprobt.

Tabelle 5

Fazit Stadtgrün

Nachnutzung von Daten und Übertragbarkeit von Technologie	
Nachnutzung der Daten und Verfügbarkeit als Open Data	Stärkere Förderung von gezielten Open-Data-Projekten im Bereich Stadtgrün. Nachnutzung von Daten für die Forschung und KMU und Start-ups gilt als wünschenswert.
Übertragbarkeit von Technologie überprüfen	Anwendungen aus der Forschung oder der Präzisionslandwirtschaft sollten regelmäßig auf ihre Übertragbarkeit für das Stadtgrün überprüft werden. Das gilt beispielsweise auch für die Satellitenbilder aus den Landscape und Sentinel-Missionen.
Umweltbildung	Für den Bereich der Umweltbildung kann auch immer die Bevölkerung in Citizen-Science-Projekten zur Erhebung von spezifischen Daten mit eingebunden werden.

8.3 Ausblick

Die Studie hat gezeigt, dass Technik zwar – neben einem genauen Verständnis für die Pflanze – eine Grundlage effektiv funktionierender Indoor-Farming-Anlagen bildet, die einzelnen Komponenten aber bereits sehr gut erforscht und in Produkte umgesetzt worden sind. Eine Herausforderung stellt noch das Zusammenspiel einzelner Komponenten dar. In einigen Bereichen, wie beim Zusammenführen der Daten aus Sensoren, deren Auswertung und Übersetzung in Entscheidungsunterstützung für den Anwender, fehlt es noch an Produkten (u. a. Apps). Hinsichtlich der Sensoren geht es darum, dass diese noch kleiner, robuster und energieeffizienter werden. Bezüglich der Funktionen werden allerdings keine einschneidenden Neuerungen erwartet. Das Gleiche gilt im Grunde für die Beleuchtung: Hier kommt es vor allem auf deren Energieeffizienz und Haltbarkeit an.

Die **größten Herausforderungen** bei der Umsetzung von Indoor Farming sind also keine technischen, sondern ökonomische: Erstens ist die geringe Größe des Marktes ein Grund dafür, dass auch Zulieferer in für Berlin wichtigen Sektoren, wie der Optik (bspw. für Sensoren, LED) nur begrenzte Möglichkeiten zum Absatz ihrer Produkte finden. Zweitens führen u. a. die hohen Kosten beim Betrieb der Anlagen dazu, dass diese Geschäftsmodelle derzeit nicht wirtschaftlich tragbar sind. Diese ökonomischen Herausforderungen führen dazu, dass der Markt sehr dynamisch ist: Viele Start-ups orientieren sich nach einiger Zeit neu oder arbeiten mit größeren Partnern zusammen. Letztendlich steht Berlin zwar nicht im Mittelpunkt der Entwicklungen im Indoor Farming, kann jedoch in den beschriebenen Bereichen wichtige Beiträge zur Weiterentwicklung der Technologie leisten.

¹³⁴ <https://fbinter.stadt-berlin.de/fb/index.jsp> (Aufruf: 29.11.2021).

Für das **Stadtgrün** kann zusammenfassend gesagt werden, dass hier zwar vereinzelt Sensoren genutzt und Projekte auch erfolgreich ausgeweitet werden, dass die Nachfrage aber begrenzt ist. Der Datenanalyse wird jedoch für Aufgaben wie dem Monitoring von spezifischen Zielen eine Rolle zugeschrieben.

Letztendlich hat sich im Verlauf der Studie gezeigt, dass eine Verbindung der beiden Bereiche eine durchaus sinnvolle Option für Berlin darstellen könnte. Denn hier gibt es, bspw. mit dem ehemaligen Flughafen Tegel, Orte, an denen Dinge ausprobiert und der Bevölkerung durch Konzepte wie Edutainment nahegebracht werden sollen. Dazu könnten die beiden Bereiche im Hinblick auf die Entwicklung von Resilienz-Strategien für Berlin in einen engeren konzeptionellen Zusammenhang gebracht werden.

9. Anhang

I Quellen

Amt für Statistik Berlin (2006). Landwirtschaft in Berlin, Monatsschrift 09/06. <https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/search-results?q=landwirtschaft+&pageNumber=1#results>.

Artmann, M., Specht, K. Vavra, J. und Rommel, M. (2021). Introduction to the Special Issue: „A systemic perspective on urban food supply: assessing different types of urban agriculture. In: Sustainability, 13, 3798 <https://doi.org/10.3390/su13073798>.

BMUB (Hrsg.) (2017). Grün in der Stadt – Für eine lebenswerte Zukunft. Grünbuch Stadtgrün. https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/themen/bauen/wohnen/gruenbuch-stadtgruen.pdf?__blob=publicationFile&v=3.

Birkby, J. (2016). Vertical Farming. NCAT Publication. Online: https://scholar.google.de/scholar?q=Birkby+2016+vertical+farming&hl=de&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholar.

Bolund, P. und Hunhammar, S. (1999). Ecosystem services in urban areas. *Ecological Economics*. 29 (1999) 293-301.

Botthoff, A., Edler, J., Hahn, K., Hirsch-Kreinsen, H., Weber, M. und Wessels, J. (2020). Transformation des Innovationssystems: Neue Anforderungen an die Innovationspolitik. Fraunhofer ISI Discussion Papers, Innovation Systems and Policy Analysis, Nr. 67, Karlsruhe ISSN: 1614-1430.

Breuste, J., Schnellinger, J., Qureshi, S. and Faggi, A. (2013). Urban Ecosystem Services in the local level: Urban Green Spaces as providers. *Ekologia*, Vol. 32, No.3, 290-304.

Bullinger, H.-J. (1994). Einführung in das Technologiemanagement. Modelle, Methoden, Praxisbeispiele. Teubner, Stuttgart.

Bullinger, H.-J. (Hrsg.) (2007). Technologieführer. Grundlagen. Anwendungen. Trends. Springer-Verlag. Berlin. Heidelberg.

Butturini, M. and Marcellis, L.F.M. (2020). Vertical Farming in Europe: present status and outlook. In: Plant Factory: An Indoor Vertical Farming System for efficient quality food production. 2nd Edition. Kozai, T., Niu, G, and Takagaki, M. (Eds.) 2020. Elsevier Academic Press.

Despommier, D. (2010). The vertical farm. Feeding the world in the 21st century. 10th Edition Picador. New York.

Dosch, F. (2021). Satellitengestützte Erfassung des Stadtgrüns. *Stadtforschung und Statistik: Zeitschrift des Verbandes deutscher Städtestatistiker*, 34 (2), 8-16. <https://www.ssoar.info/ssoar/handle/document/75073>.

Ernst & Young (2021). Start-up-barometer-2021. https://assets.ey.com/content/dam/ey-sites/ey-com/de_de/news/2021/01/ey-start-up-barometer-2021.pdf.

Graamans, L., Baeza, E., Dobbeltstein, A. v., Tsafaras, I. and Stanghellini, C. (2018). Plant factories versus greenhouses: Comparison of resource use efficiency. *Agricultural Systems*. 160 (2018), 31-43. Elsevier.

Haase, D., Larondell, N., Andersson, E., et al. (2014). A Quantitative Review of urban ecosystem service assessments: Concepts, models, and implementations. *AMBIO* 2014, 43: 413-433.

- Jürkenbeck, K., Heumann, A. und Spiller, A. (2019). Sustainability Matters: Consumer Acceptance of Different Vertical Farming Systems. In: Sustainability, 2019, 11, 4052.
- Kalantari, F., Tahir O.M., Lahijani, A.M. und Kalantari, S. (2017). A review of Vertical Farming technology: A guide for implementation of building integrated agriculture in cities. Advances Engineering Forum. Vol. 24, 76-91.
- Kuntosch, A. und König, B. (2020). Identifying system-related barriers for development and implementation of eco-innovation in the German horticultural sector. Horticulturae. 2020 6, 33.
- Lilienthal, H. (2014). Optische Sensoren in der Landwirtschaft: Grundlagen und Konzepte. Journal für Kulturpflanzen. 66(2). 34-41, ISSN 1867-0911.
- Link-Dolezal, J., Zecha, C., und Claupein, W. (2012). Sensoreinsatz und Datenanalyse in der Landwirtschaft. 16. GMA /ITG Fachtagung Sensoren und Messsysteme. 2012.
- Osram (2019). Geschäftsbericht des OSRAM Lichtkonzerns 2019.
- Osram (2020). Geschäftsbericht des OSRAM Lichtkonzerns 2020.
- Podmirseg, D., Sautter, S., Cody, B., Keutgen, A., Keutgen, N., Balasch, J und Diwold, K. (2020). Vertical Farming: Ermittlung der Anforderungsbedingungen zur Entwicklung eines Vertical Farm-Prototyps zur Kulturpflanzenproduktion. Berichte aus Energie- und Umweltforschung. 7/2020 Hrsg. Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie Mobilität, Innovation und Technologie (BMK), Wien.
- Rabobank (Hrsg.) (2018). Vertical Farms in the Netherlands. Is the only way up? van Horen und Rijswick, 2018.
- Seidler, P., Kolling, P. und Hampshire, M. (2016): terra0. Can an augmented forest own and utilise itself?
- Tatum, M. (2021). Singapur wettet auf die vertikale Landwirtschaft. In: Technology Review, Feb 2021, 36-40.
- Tuomisto, H. L. (2019). Vertical Farming and cultured meat: Immature technologies for urgent problems. Comment. One Earth, 2. November 2019, 275-277. Elsevier.
- UBA (2013). Globale Landflächen und Biomasse nachhaltig und ressourcenschonend nutzen.
- VDE Dialog (2018). Smart Farming – Die Zukunft der Landwirtschaft. 2018/3 VDEdialog. Das Technologie-Magazin.
- Zeidler, C. und Schubert, D. (2014): Vertical Farming: Ein Lösungsansatz für die nachhaltige Stadt von Morgen? Sonnenergie, 2/2014. April-Mai.

II Unternehmensbeispiele

Tabelle 6

Unternehmensbeispiele nach Geschäftsmodell, Ziel und Branche¹³⁵

Unternehmen	Unternehmensziel	Finanzierung	Gründungsjahr/Branche/ Zielgruppe
Deutschland			
Alphabeet	App: Informationen zu Urban Farming inkl. Beetplaner, Saisonkalender, Community, samenfeste Sorten etc.	1,5 Mio Seed/Pre-Seed Finanzierung Start-up BW	2020 Urban Farming, Zielgruppe: jeder, der am Urban Farming teilnehmen will
ECF Farmystems	Planung, Bau und Vertrieb von aquaponischen Farmsystemen	u. a. IBB	2012 Urban Tech/3d/Fertigung/ B2B-Markt
Crocus Labs	LED-Pflanzenlicht, die Technologie soll u. a. die Kosten für Energie bei der Beleuchtung reduzieren.	300.000 €	2020 AgTech, Optik
Susteyn	Appliance Farms, Büro mit Kräutern und Salaten	Start-up-Incubator Berlin	2020
Farmers Cut (&ever)	"Farming-on-Demand"-Konzept, Zusammenarbeit mit SAP für Steuerung und Automatisierung der Anlage		2015 Vertical Farming, Farming-on-Demand
Klim	Scale-up-Lösungen für die Landwirtschaft, App für Bodengesundheit	1 Million /Angel/Seed	2020 AgTech/Food B2B-Markt
Stenon	Bodenanalyse für die Landwirtschaft in Echtzeit	900 K	2018 Food/DeepTech/Robotics/IoT/ AI /B2B-Markt
Plattenbaum	Gebäudeintegrierte Farmwirtschaft mit Vertical Farming	Nein	Social Innovation/Vertical Farming/ Architecture
Watergenics	Sensorik Wasserqualität; Anwendungen für Grundwasserkörper, aber auch Indoor Farming	Nein	2020
Lite+Fog	Fogponics	Nein/Seed Stage	2019 AgTech /
SmartCloud Farming	Bodenanalyse mittels KI, 3D-Bodenmodelle aus Satellitendaten		2018 B2B/Remote Sensing /KI /AI
Klimazone	Vertical Farming, Next-Generation Landwirtschaft, off-grid, standortunabhängige Lösungen für alle		2017 AgTech. /Farming/Food/Datenauswertung
Photonics Insights	Sensortechnologie für u. a. den Agrarbereich	145.000 Seed	2018 SAAS/AgTech/Halbleiter/Apps/ 3d-technology/Sensoren/Nanotech/ Deep Tech /Hardware/Blockchain
Trecker.com	SAAS large farms and agricultural contractors	2,1 Mio.	2012 B2B/Fertigung/AgTech
Future Botanics	Appliance farms	Accelerator-based	2017 Staus: Closed.
Stadtfarm	Dachgewächshäuser in Berlin/Fisch, Kräuter	Crowdfunding Kampagne	2017 Urban Farming
Infarm	Größtes deutsches Vertical-Farming-Unternehmen	Ca. 250 Mill. \$	2013 Vertical Farming/AgTech/
Good Bank	Restaurant		
Cultinova	Steuerungssysteme für Indoor Farming, München		AgTech

¹³⁵ Die Tabelle der Unternehmen zeigt exemplarisch den Status quo des Ökosystems unter dem Überbegriff des Urban Farming. Sie erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Hier soll ein Überblick über unterschiedliche Unternehmen, deren Ziele und Branche zur besseren Übersicht bereitgestellt werden. Mehr Unternehmen aus dem europäischen Markt u. a. auf: <https://www.pflanzenfabrik.de/vertical-farming-ueberblick/> Unternehmen auf dem US-Markt listet bspw. die Quelle Birkby (2016) auf.

Urban Farmers AG	Systeme und Lösungen, die es Unternehmen ermöglichen, frisches Gemüse und Fisch in der Stadt zu erzeugen, Vision: Large Scale	2 Mill.	2011 B2B/Neue Agrarsysteme/AgTech/SDGs/,farm to table'
GND Solutions	Vertical Farming/Anlagenbau		2018 Vertical Farming/Hardware/Manufacturing
Ackerdemia	Landwirtschaftliche Bildung, Food-Waste etc.		2014 Social-Entrepreneurship/Food
365 Farm Net	Software für Landwirtschaftliche Unternehmen	Bootstrapped	2013 IoT/Agritech/Subscription&manufacturing/B2C
Plantix/PEAT GmbH	App für Community, Diagnose Erträge, Düngemittelkalkulator etc.	6,6 Mio \$	2015 App/AI-basierte Lösungen
International			
Plantagon (SE)	Ziel: VF in dicht besiedelten Räumen, large-scale mit einem Mix aus Technologie, Agriculture/Architecture in Bürogebäuden, Tiefgaragen oder Fassaden		2008 AgriTecture/Landwirtschaft, Status: war insolvent/jetzt: Plantagon Global mit angepasster Strategie
Osram Fluence (USA)	Osram mit eigener Smart-Farming-Unit mit 200 Mitarbeitern an Beleuchtung für Indoor Farming		2013 LED-Pflanzenlicht
Viessmann (NL)	Steigt bei Gewächshauspezialisten Priva ein, um im Vertical Farming aktiv zu werden		2020 Wärme/Heizung
Aerofarms (USA)	Vertical Farming, Börsengang erwartet: Bewertung 1,2 Mrd. \$	100 Mill. \$	2004 Indoor Farming/Vertical Farming/food/AgTech
Unfold (USA)	Saatgutentwicklung für Indoor Farming	Joint venture, Bayer Leaps/Temasek	2020 Saatgutentwicklung, Indoor Farming
Farm Beats (USA)	Azure für die Industrie zusammen mit Microsoft, AI und IoT Anwendungen für die Landwirtschaft		2015 AI/Edge und IoT
Jones Company (UK)	Vertical Farming/Hydroponik, mit der weltgrößten vertical-Farm im Jahr 2020	10,9 Mill. \$	2016 Urban Farming/Vertical Farming
Motorleaf (CAN)	Gewächshaus Automatisierung und Daten	100.000 CAN \$ Pre-Seed/insgesamt: 2,9 Mio. Can \$	2016 AgTech/AI/Lightning
Agricool (FR)	Containerfarmen in denen Erdbeeren, Kräuter und Blattgemüse produziert werden, 5 Produkte, 50 Geschäfte, 8.000 Bündel pro Woche verkauft	28 Mill. \$ (Series A)	2015 Horticulture/Vertical Farming/Container-Farming

III Liste der Experten

Adrian Mahlkow, Dr.	Optotransmitter-Umweltschutz-Technologie (OUT) e. V.
Christian Stigler	Berlin Partner für Wirtschaft und Technologie GmbH, Bereich, SmartCity
Christian Ulrichs, Prof. Dr. Dr.	Humboldt-Universität zu Berlin, Thaer-Institut
Dagmar Haase, Prof. Dr.	Humboldt-Universität zu Berlin, Geographisches Institut
Detmar Leitow, Dr.	Wirtschaftsförderung Land Brandenburg GmbH, WFBB, Cluster Ernährungswirtschaft, Brandenburg
Gerrit Rössler	Berlin Partner für Wirtschaft und Technologie GmbH, Cluster Optik/ Photonic
Hannes Lebert	Berlin Partner für Wirtschaft und Technologie GmbH, Cluster Cleantech/Elektronik
Janina Bolling, Dr.	OptecBB/ZIM-Netzwerk AgriPhotonik
Jens Schmelzle	Gründer, Alphabeet/farmee GmbH
Kerem Halbrecht	Gründer, Plattenbaum UG
Liviu Mantescu, Dr.	Gründer, Watergenics UG
Manuela Zude-Sasse, Prof. Dr.	Leibniz-Zentrum für Agrartechnik und Bioökonomie (ATB), Potsdam
Martin Geyer, Dr.	Leibniz-Zentrum für Agrartechnik und Bioökonomie (ATB), Potsdam
Martin Peter	Gründer, Lite + Fog GmbH
Mayaan Strauss	Gründerin, Plattenbaum UG
Moritz Mittelbach	SenUVK
Paul Seidler	Projekt terra0, UdK
Stefan Höffken, Dr.	Tegel Projekt GmbH
Susanne Schön, Dr.	inter3 Institut für Ressourcenmanagement
Suvrajit Saha	Gründer, SmartCloud Farming GmbH
Sven Willrich, Dr.	Forschungszentrum Informatik (FZI)
Torsten Schulz	FH Osnabrück
Uwe Schmidt, Prof. Dr.	Humboldt-Universität zu Berlin, Thaer-Institut

Wir bedanken uns bei allen Interviewpartnern und Informationsgebern ganz herzlich für die wertvollen Gespräche und Zuarbeiten!

IV Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erläuterung
AgTech	Agricultural Technology
AI	Artificial Intelligence
BEK	Berliner Energie- und Klimaschutzprogramm
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BWS	Bruttowertschöpfung
CEA	Controlled Environment Agriculture
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
DWD	Deutscher Wetterdienst
F&E	Forschung und Entwicklung
GNSS	Globales Navigationssatellitensystem
GRIS	Grünflächeninformationssystem
ha	Hektar
IMK	Cluster IKT, Medien und Kreativwirtschaft
IoT	Internet of Things
KI	Künstliche Intelligenz
LED	Light Emitting Diodes
LEH	Lebensmitteleinzelhandel
LiDAR	Light detection and ranging
Mwh	Megawattstunden
N	Stickstoff
NTF	Nährstoff-Film-Technik
PF	Precision Farming
PFAL	Plant Farm with Artificial Light
PV	Photovoltaik
RS	Remote Sensing
SenWEB	Senatsverwaltung für Wirtschaft, Energie und Betriebe
SenUVK	Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz

IMPRESSUM

Technologiestiftung Berlin 2022

Grunewaldstraße 61 – 62
10825 Berlin
Telefon +49 30 209 69 99 0
info@technologiestiftung-berlin.de
[technologiestiftung-berlin.de](https://www.technologiestiftung-berlin.de)

Autorin:

Dr. Anett Kuntosch

Satz und Layout:

Ann Christin Sievers, Berlin

Weitere Abbildungen:

Umschlag innen: Datawrapper

Inhaltsrechte:

Textinhalte und Tabellen dieses Werkes können genutzt und geteilt werden unter einer Creative Commons – Lizenz Namensnennung – Weitergabe unter gleichen Bedingungen 3.0 Deutschland



Nähere Informationen:

creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/de

Die Rechte an zitierten Abbildungen liegen bei den jeweiligen Urhebern, die jeweils genannt sind.

Publikation als PDF:

technologiestiftung-berlin.de/publikationen

Blieben Sie auf dem Laufenden:

Abonnieren Sie unseren Newsletter oder folgen Sie uns auf Twitter:  twitter.com/TSBBerlin

Gender Hinweis:

Die Autorin weiß um die Bedeutung einer geschlechtergerechten Sprache und befürwortet grundsätzlich den Gebrauch von Parallelformulierungen. Von einer durchgehenden Benennung beider Geschlechter bzw. der konsequenten Verwendung geschlechterneutraler Bezeichnungen wurde im vorliegenden Text dennoch abgesehen, weil die Lesbarkeit deutlich erschwert würde.

Förderungen:

Dieses Projekt wurde von der Senatsverwaltung für Wirtschaft, Energie und Betriebe und der Investitionsbank Berlin aus Mitteln des Landes Berlin gefördert.





**TECHNOLOGIE
STIFTUNG
BERLIN**

Die Technologiestiftung Berlin ist eine unabhängige und gemeinnützige Stiftung bürgerlichen Rechts. An der Schnittstelle von Zivilgesellschaft, Wissenschaft und öffentlicher Verwaltung engagieren wir uns für innovative Stadtentwicklung und fördern die Entwicklung Berlins zu einem bedeutenden Technologiestandort. Die Stiftung veröffentlicht regelmäßig Analysen und Reports, organisiert Workshops und Veranstaltungen und entwickelt Werkzeuge, um den digitalen Wandel der Hauptstadt zu gestalten.

Dr. Anett Kuntosch ist seit März 2020 bei der Technologiestiftung Berlin im Bereich Innovation Policies & Research als wissenschaftliche Mitarbeiterin für regionale Innovationen tätig. Zuvor forschte und promovierte sie an der Humboldt-Universität zu Nachhaltigkeitsinnovationen und landwirtschaftlichen Innovationssystemen. Auch in ihrem Studium zur Sozial- und Wirtschaftsgeographin setzte sie sich mit Innovationen auseinander, u. a. während eines Forschungssemesters in den USA. Nach Abschluss des Studiums war sie zudem drei Jahre in der Regionalberatung tätig.

Wir schaffen Offenheit

[technologiestiftung-berlin.de](https://www.technologiestiftung-berlin.de)