

Steffen Braun | Frederic Schubert | Mike Letzgun

Zukünftige Potenziale urbaner Anbausysteme auf Quartiersebene

**Kurzstudie des Innovationsverbunds
»Morgenstadt: Future District Alliance«**

Hrsg: Oliver Riedel, Katharina Hölzle, Wilhelm Bauer, Steffen Braun

Ein Veröffentlichung
im Rahmen der



Inhalt

1 Zusammenfassung	4
2 Ausgangssituation und Motivation	5
2.1 Vorarbeiten am Fraunhofer IAO	6
2.2 Einordnung in die »Future District Alliance«	8
2.3 Stand von Forschung und Praxis	9
3 Methodik	13
3.1 Einführung CEA-Basistypologien	13
3.1.1 Typ 1: RTGH – Rooftop Greenhouse	13
3.1.2 Typ 2: VIF – Vertical Indoor Farming	13
3.1.3 Typ 3: UFC – Urban Farming Container ..	13
3.1.4 Vergleich und konstruktive Annahmen ..	14
3.2 PCT-Konfigurator zur Potenzialbewertung	15
3.3 Betrachtung beispiel-hafter Quartiers- entwicklungen	16
3.4 Verwendete Basisszenarien im Lebenszyklus bis 2050	17
4 Exemplarische Fallstudien	18
4.1 Fallstudie 1 – IBM-Areal Ehningen	18
4.2 Fallstudie 2 – Werksviertel-Mitte München	19
4.3 Fallstudie 3 – Fraunhofer IZS-Campus Stuttgart	20
4.4 Fallstudie 4 – Stadtmacherei Eimsbüttel	21
4.5 Fallstudie 5 – Der Neue Stöckach Stuttgart	22
4.6 Fallstudie 6 – Licht-Luftbad-Quartier Worms	23
4.7 Fallstudie 7 – Frankfurt Westside	24
4.8 Vergleichsübersicht im Jahr 2050	25
5 Diskussion	26
5.1 Implikationen für Forschung, Politik und Praxis	26
5.2 Kritische Reflektion und Ausblick	27
6 Anhang	28
6.1 Literatur- und Quellenverzeichnis	28
Impressum	31

1 Zusammenfassung

Welche Potenziale urbaner Anbausysteme lassen sich im Lebenszyklus ausgewählter Quartiersentwicklungen quantifizieren?

Diese Forschungsfrage wird aus Sicht der Wissenschaft immer relevanter, nachdem zahlreiche externe Einflussfaktoren einen Paradigmenwechsel in der urbanen Lebensmittelversorgung erwarten lassen.

Für die durchgeführten Fallbetrachtungen ausgewählter Quartiersentwicklungen mit einer Gesamtfläche von 54 Hektar in fünf Städten (Stuttgart, München, Hamburg, Frankfurt, Worms) zeigt sich ein interessantes Potenzial. Die Wachstums-szenarien gehen auf Basis wissenschaftlicher Prognosen davon aus, dass in diesen Quartieren bis zum Jahr 2050 beispielsweise 75 Prozent der Stellflächen für modulare Anbausysteme, 64 Prozent der Brutto-Dachflächen für Dachgewächshäuser und zwei Geschosse für »Vertical Indoor Farming« (VIF) zur Verfügung stehen.

Das folgende Schaubild belegt dieses Potenzial von zusammen fast 23 000 Tonnen Gemüse/Jahr im Zielszenario 2050 in den betrachteten Quartieren, wenn frühzeitig eine strategische Berücksichtigung erfolgt und Flächenpotenziale geschickt aktiviert, werden:

Überträgt man diesen Ertrag auf den durchschnittlichen Pro-Kopf-Bedarf und die jeweilige Einwohnerzahl einer umliegenden Stadt (für Stuttgart werden z. B. drei Quartiere betrachtet), zeigt sich das Potenzial, dass eine einzelne Quartiersentwicklung auf einer 2,8 Hektar Brachfläche bereits bei entsprechender Umsetzung fast ein Viertel einer 83 000 Einwohner-Stadt wie Worms ganzjährig mit Gemüse versorgen kann:

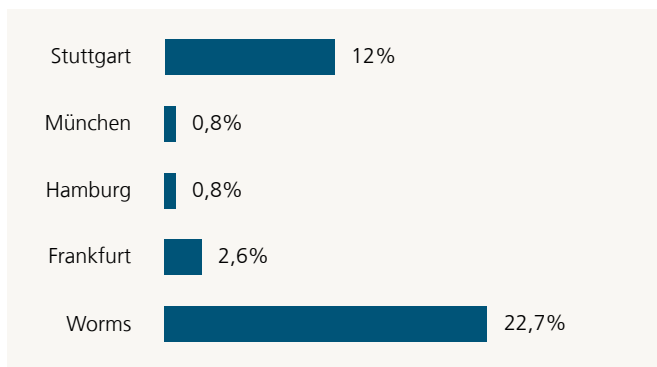


Abb. 2: Schaubild: Anteil der Bedarfsdeckung aus sieben betrachteten Quartieren in fünf Städten (bei 111,2 kg/cap*a Gemüsebedarf; statista, 2023a).

In Millionenstädten ist der Effekt bzw. das Potenzial einer einzelnen Quartiersentwicklung dementsprechend geringer – dennoch lassen sich hieraus weitreichende Implikationen und Chancen für aktuelle Liegenschaftsentwicklungen in Deutschland ableiten.

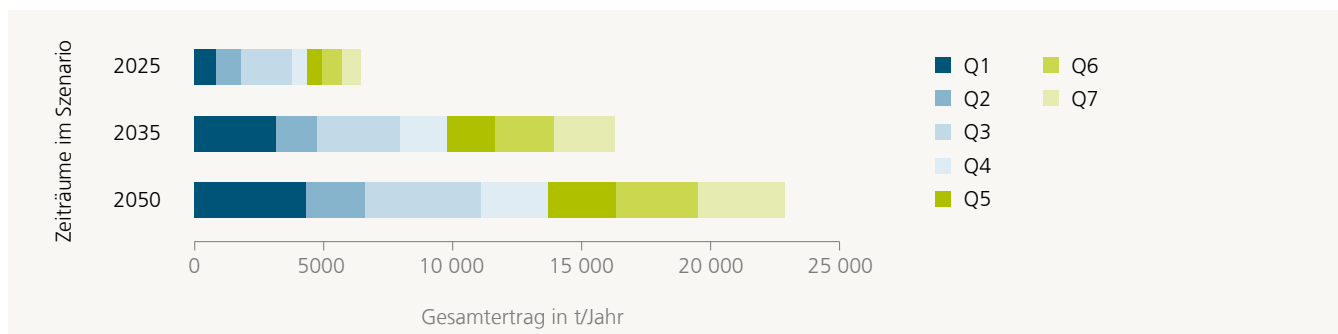


Abb. 1: Möglicher Gesamtertrag aller Quartiere für Zeithorizont bis 2050.

2 Ausgangssituation und Motivation

Es gab eine lange Zeit, in der Städte sich unmittelbar von den landwirtschaftlichen Erzeugnissen im Stadtgebiet oder ihrem regionalen Umfeld versorgten. Beispielsweise bauten geschätzte 8500 selbständige Gärtner Mitte des 19. Jahrhunderts auf etwa 1400 Hektar, einem Sechstel der Stadtfläche von Paris, Obst und Gemüse an [Cockrall-King, 2012].

Durch technische Innovationen im Bereich der Nahrungsmittelkonservierung (Linde-Verfahren), des Transportwesens (Eisenbahn, LKW, Containerschiff) und der Agrarproduktivität (Grüne Revolution, Massentierhaltung) werden mittlerweile auf einer Gesamtfläche von über fünf Milliarden Hektar (37 Prozent der Landfläche unserer Erde) weltweit Land- und Viehwirtschaft betrieben [Jering, 2019], was sich somit als eigenes globales Versorgungssystem weit weg von den Endkonsumenten im urbanen Millennium darstellt. Hierbei wird die Eingangshypothese formuliert, dass ein Paradigmenwechsel für die Zukunft unserer Ernährung im urbanen Zeitalter unvermeidbar ist.

Die vorliegende Studie soll hierzu beitragen, eine Reintegration einer urbanen Lebensmittelversorgung im Kontext ausgewählter Quartiersentwicklungen in Erwägung zu ziehen und zukünftige Potenziale im Lebenszyklus bis zum Jahr 2050 aufzuzeigen. Der Handlungsdruck für die Zukunft einer klimaneutralen und urban reintegrierten Lebensmittelversorgung ist aus folgenden Gründen hoch, auch wenn bisher wenig Fachliteratur im Kontext von Quartiersentwicklungen besteht:

1. **Klimawandel:** Die klimatische Erwärmung und zunehmende Extremwetterereignisse verstärken den Druck auf bestehende Monokulturen und großindustrielle Landwirtschaftsformen.
2. **Urbanisierung:** Die anhaltende Urbanisierung und globale Bevölkerungsentwicklung bedeuten bis zum Jahr 2050 sowohl eine Verdopplung des Stadtraums als auch des städtischen Lebensmittelbedarfs, also eine Intensivierung und zunehmende Distanz zwischen Lebensmittelerzeugung und -konsum.
3. **Globale Transportwege:** Die Reduktion von CO₂-Emissionen erfordert im Transportwesen eine Verringerung von nicht-nachhaltigen Transportwegen, vor allem im LKW-Verkehr über lange Strecken.
4. **Verschwendung:** In der bisherigen Wertschöpfungskette von Lebensmitteln kommt ein Drittel nicht bei Endkonsumentin und Endkonsument an, sondern wird für die »Tonne« verschwendet. Dennoch werden umfangreiche Ressourcen dafür verbraucht.
5. **Ernährungssektor:** Der Ernährungssektor spielt eine nicht zu unterschätzende Rolle in der Klimabilanz unserer Gesellschaft: Pro Europäer und »Europäerin« entstehen bei ganzheitlicher Betrachtung jährlich rund neun Tonnen CO₂-Äquivalente [Quarks, 2019].
6. **Wiederaufforstung von Anbauflächen:** Würden alle landwirtschaftlichen Nutzflächen weltweit wieder bewaldet werden, könnten etwa 460 Gigatonnen CO₂ aus der Atmosphäre gespeichert werden. Dies wäre möglich, wenn der Flächenbedarf gesenkt werden kann.
7. **Neues Konsumentenbewusstsein:** Angesichts veränderter Nutzerbedarfe (»Now-Economy«) und klimabewusster Kundenpräferenzen steigt die Nachfrage nach hyperlokalen Anbaumethoden und online-gestütztem Direktvertrieb.
8. **Rückgang Flächenbedarfe:** Strukturwandel und Digitalisierung erzeugen eine neue Ära klassischer Immobilienutzungen – mittel- bis langfristig werden strukturell weniger Büroflächen oder auch Parkplätze für MIV in Städten benötigt.
9. **Sichere Lieferketten:** Die Ukraine-Krise im Jahr 2022 und deren Rolle als »Kornkammer« Europas hat gezeigt, wie fragil und störanfällig die globalen Lieferketten unserer Lebensmittel sind. Deutschland importierte zuletzt mehr als 60 Prozent seines Gemüses [Statista, 2023b].

10. **Wasser als knappe Ressource:** Laut UN wird die Zahl der Menschen, die mit teilweise extremem Wassermangel zu kämpfen haben in Europa bis 2050 um rund 50 Prozent zunehmen. Davon ist die konventionelle Landwirtschaft massiv betroffen [WWF, 2022].
11. **Technologische Fortschritte:** Durch neue LED- und Effizienztechnologien wie Robotik, Sensoren, KI und Nährstoffzufuhrsysteme können Produktionseffizienz und Betriebskosten von kontrollierten Anbausystemen optimiert werden.
12. **Intensivierungspraktiken:** Die Intensivierungspraktiken der industriellen Landwirtschaft haben zur Folge, dass Kompromisse wie Biodiversitätsverlust und Bodendegradation in Kauf genommen werden, um die vorherrschenden Konsumbedürfnisse nach Lebensmitteln zu befriedigen. Laut dem Weltbodenbericht der Vereinten Nationen sind weltweit bereits 33 Prozent der Böden degradiert, bis 2050 werden bis zu 90 Prozent prognostiziert, was zu einem Verlust von bis zu 50 Prozent der Ernteerträge führen könnte [Sax, 2023].
13. **Steigende Lebensmittelpreise:** Der Klimawandel, das anhaltende Bevölkerungswachstum sowie die ressourcenbedingte Zunahme internationaler Konflikte bergen das Risiko, dass die Lebensmittelpreise in Zukunft deutlich steigen werden. Beispielsweise wird bis 2050 ein durch den Klimawandel bedingter Anstieg der Getreidepreise um bis zu 29 Prozent erwartet [Mbow et al., 2019].

Angesicht dieser eingeführten Trends und Prognosen stellt sich somit die Ausgangsfrage, wie und in welchem Umfang urbane Anbausysteme für Lebensmittel in Städte – vor allem auf Ebene neu entstehender Quartiere, Stadtteile, Gewerbegebiete oder Campusse in deutschen Metropolen – helfen können diese systemischen Herausforderungen zu adressieren. Somit lässt sich die Forschungsfrage wie folgt formulieren:

Welche Potenziale urbaner Anbausysteme lassen sich im Lebenszyklus beispielhafter Quartiersentwicklungen quantifizieren?

2.1 Vorarbeiten am Fraunhofer IAO

Die vorliegende Potenzialstudie resultiert auf einem mehrstufigen Forschungsansatz und baut auf folgenden Vorarbeiten im Forschungsbereich »Urban Systems Engineering« am Fraunhofer IAO auf:

Studie »Urban Farming in the city of tomorrow«, 2018 englisch)

<https://s.fhg.de/urban-farming>

Ziel der Studie war es, die Potenziale solcher urbanen Anbaumethoden aufzuzeigen und wichtige Planungsgrundsätze hervorzuheben. Dafür wurde eine umfassende Literaturrecherche durchgeführt und mit dem Fachwissen und den Erfahrungen bestehender Urban Farming Initiativen ergänzt. Fokusthemen waren dabei

- der Technologieeinsatz, der sich hauptsächlich auf künstliche Beleuchtung, den Einsatz von Sensorik und Automatisierungsprozessen konzentriert;
- ökologische Auswirkungen, wie etwa die Einbindung erneuerbarer Energien, Pestizideinsatz und Flächenverbrauch;
- wirtschaftliche Faktoren einschließlich Investitions- und Betriebskosten sowie derzeit verwendete Finanzierungsmodelle; und
- sozioökonomische Aspekte wie das Schaffen neuer Arbeitsplätze und berufliche Weiterbildung.

Insgesamt wird dabei die Wichtigkeit lokal angepasster und integrierter Systemlösungen betont. Die Analyse zeigt ebenfalls, dass sowohl Pflanzen- als auch Mikroalgenproduktion durch hohe jährliche Wachstumsraten gekennzeichnet sind und vor ähnlichen Herausforderungen stehen (hohe Investitions- und Betriebskosten, hoher Stromverbrauch, strenge Rechtsvorschriften, schwankende Kundenakzeptanz und niedrige Preise konventionell hergestellter Lebensmittel). Die Studie bietet somit einen ganzheitlichen Überblick über aktuelle Entwicklungen und Trends in diesem neu entstehenden Stadtsystem.



Abb. 3: Vorarbeiten des Fraunhofer IAO im Bereich urbaner Lebensmittelproduktion und Stadtentwicklung.

Projekt »Immersive Urban Food Landscapes«, 2023 (deutsch)

<https://werksviertel-kunst.de/futopia/>

Fast ein Drittel unseres ökologischen Fußabdrucks basiert auf der Ernährung aufgrund von langen Transportketten, hohem Ressourceneinsatz und Verpackungsaufwand – ein wichtiges Handlungsfeld für kommunale Strategien in Richtung Klimaneutralität. In Kooperation mit dem Programm »Werksviertel Mitte Kunst« beforschte und realisierte das Fraunhofer IAO hierzu innovative Konzepte für stadtintegrierte Lebensmittel-erzeugung am Beispiel des Kreativquartier Werksviertel-Mitte in München.

Basierend auf einer wissenschaftlichen Status-quo-Analyse wurden zukunftsorientierte Versorgungs- und Ernährungsszenarien für das Quartier entwickelt, die zur Wissenschaftskommunikation und gesellschaftlichen Sensibilisierung für die Thematik herangezogen werden können. Die Entwicklung dieser Szenarien erfolgte unter Berücksichtigung der politischen Nachhaltigkeitsziele sowie derzeitiger Trends und technischer Entwicklungen. Durch die Kooperation mit dem Programm »Werksviertel-Mitte Kunst« sowie mehreren Künstlerinnen und Künstlern wurden die wissenschaftlichen Erkenntnisse durch visuelle, immersive Kunst-Applikationen (u. a. durch Augmented Reality, kurz AR) vor Ort für die breite Öffentlichkeit in einer temporären Ausstellung von Juli bis September 2023 zugänglich gemacht.

Projekt »A KPI-based model for the quantitative assessment of economic and environmental potentials of urban farming systems«, 2023 (englisch)

?????????

Die Abschlussarbeit von Jan Haberzettl im Masterstudiengang Bioökonomie an der Universität Hohenheim wurde fachlich von Steffen Braun am Fraunhofer IAO (Erstprüferin: Prof. Dr. Katharina Hölzle) betreut. Bislang ist als Ausgangssituation unklar, inwieweit urbane Anbausysteme zur Selbstversorgung von Städten mit Nahrungsmitteln beitragen können und die Lebensmittelproduktion nachhaltiger und effizienter im Vergleich zu traditionellen landwirtschaftlichen Systemen ist. Das übergeordnete Ziel dieser Forschungsarbeit war es, ein auf »Key Performance Indicators« (KPI) basiertes Modell zur Quantifizierung der ökologischen und wirtschaftlichen Potenziale sowie Grenzwerte der Integration von Hydrokulturen in städtischen Gebieten zu entwickeln.

Auf der Grundlage bestehender Ansätze wurde ein neuartiges, dreiteiliges Potenzialberechnungs-Tool (PCT) entwickelt. Das transparent gestaltete Instrument umfasst standortspezifische und standortabhängige Kennzahlen und ist ohne geografische Einschränkungen anwendbar. Es können betriebsspezifische und stadtweite Produktionspotenziale, Einnahmen, Kosten, Potenziale zur Schaffung von Arbeitsplätzen, Ressourcennutzung (Wasser, Land, Energie), Treibhausgasemissionen und Potenziale zur Einsparung von Ackerland berechnet werden. Der PCT ist vollständig operationalisiert und enthält standort- und betriebsspezifische Standardwerte für:

- Dachgewächshäuser (RTGH),
- Urban Farming Container (UFC) und
- vertikale Indoor-Farmen (VIF).

2.2 Einordnung in die »Future District Alliance«

Mit der »Future District Alliance« hat das Fraunhofer IAO mit mehr als 20 Partnern im Jahr 2022 eine länderübergreifende Open-Innovation-Plattform für die Quartiersentwicklung der Zukunft initiiert, um aktuelles Praxis-Know-how und Erkenntnisse der angewandten Forschung für eine zirkuläre Wertschöpfung von und in Quartieren von morgen zu bündeln. Durch die Beteiligung renommierter Unternehmenspartner, Landesgesellschaften, Start-ups und Städte werden die interdisziplinären Erkenntnisse direkt in laufende Quartiers- und Gebietsentwicklungen integriert.

Bei dem Verbund handelt es sich um eine strategische Innovationsoffensive der Fraunhofer-Initiative Morgenstadt, die seit inzwischen zehn Jahren entscheidendes Zukunftswissen für die Städte und Quartiere von morgen aufgebaut und in zahlreichen Modellprojekten beforscht und pilotiert hat. Damit Quartiers-, Campus- und Arealsentwicklungen einen nachhaltigen Beitrag zur Klimaneutralität leisten kann, ist es essenziell, Quartiere in neuen Lebenszyklen und vernetzter Wertschöpfung zu denken – von der Planung über den Bau bis hin zum Umbau: Wie können verlustfreie Kreislaufprozesse geschaffen werden, die sich in neuen Kooperationsmodellen der Immobilienbranche und mit weiteren Schlüsselbranchen von morgen widerspiegeln? Dies betrifft sowohl digitale Quartiersplattformen über dezentrale Versorgungslösungen bis hin zu beispielsweise klimaaktiven Außenfassaden oder urbanen Oberflächen.

Die Schwerpunkte des Innovationsverbunds liegen in der aktuellen Forschungsphase (November 2022 – Mai 2025) im Kern bei Umsetzungsinnovationen für neue Quartiersinfrastrukturen, dezentrale Energieversorgung, Attraktivität von Quartieren, vernetzte Wertschöpfungsketten sowie Technologien der Zukunft. Durch die Projektbeteiligung von Partnern mit eigenen Leuchtturmquartieren in Städten, wie Hamburg, Stuttgart, München oder Frankfurt, werden die gemeinsam entwickelten Erkenntnisse und Lösungen des Verbunds in laufende Quartiers- und Gebietsentwicklungen integriert.



Abb. 4: Partner der »Morgenstadt: Future District Alliance« (Projektphase 2022-2025).

2.3 Stand von Forschung und Praxis

Der Ursprung von vertikaler Lebensmittelerzeugung (vertical farming) oder Landwirtschaft in kontrollierten Umgebungen (controlled environment agriculture) ist mit der Entwicklung von Hydroponik und des Bengalischen Systems verbunden. Eines der frühen dokumentierten Beispiele besteht mit dem ersten vertikalen Gewächshaus des österreichischen Ingenieurs Othmar Ruthner in Wien 1964. Der 42 Meter hohe Glasturm mit einer Anbaufläche von 1000 Quadratmeter ermöglichte die Kultivierung von Blumen und Gemüse unter geschützten Anbaubedingungen. Insgesamt 35000 Töpfe hingen an 282 Hängevorrichtungen an einem Paternoster, der ständig im Umlauf war. Am tiefsten Punkt befand sich ein Tauchbecken, das mit Wasser und einer Nährlösung gefüllt war [Hlavac, 2021].

Weitere Beispiele davon gingen in Österreich, Polen, der Schweiz, Deutschland, Schweden und im Iran in Betrieb. Bei den meisten Türmen machten die kostspielige Wartung und die steigenden Stromkosten im Zuge der Energiekrisen in den 1970er Jahren eine effiziente Produktion unmöglich. Die ersten Strukturen, die modernen urbanen Anbausystemen (UAS) ähneln, entstanden erst wieder in den 1990er in den USA, Japan und den Niederlanden.

Vertikale Farmen für das 21. Jahrhundert

Fortschritte in der LED-Technologie haben die weltweite Ausbreitung dieser Systeme erleichtert, während die Popularisierung des Konzepts in der breiten Öffentlichkeit zunahm. Ein Meilenstein in der Entwicklung der VIF-Industrie war die Vorstellung eines visionären Konzepts im Jahr 1999 durch Dickson Despommier von der Abteilung für Umwelt- und Gesundheitsstudien an der Columbia University. Das Konzept entstand aus einer herausfordernden Aufgabe, die Despommier seinen Studierenden stellte: Sie sollten untersuchen, wie das Prinzip des lokalen Rooftop Gardening genutzt werden könnte, um 50000 Bewohnerinnen und Bewohner Manhattans zu versorgen. Die Studierenden berechneten, dass auf den zur Verfügung stehenden Dachflächen von 5,26 Hektar nur ausreichend Nahrung für 2 Prozent der Zielbevölkerung produziert werden könnte. Vor dem Hintergrund dieser ernüchternden Erkenntnis entwickelte Despommier die Idee eines 30-stöckigen Wolkenkratzers, in dessen Innerem vertikal angebaute Pflanzen nicht nur 50000 Menschen ernähren könnten, sondern dies auch mit Netto-Null-Emissionen und einer 100-prozentigen Wasserrecyclingrate erreichen [Cooper, 2017].

Eines der weltweit bekanntesten realisierten Beispiele sind die Lufa Farms in Montreal, Kanada: das erste kommerzielle Dachgewächshaus entstand dort 2011 auf 2880 Quadratmeter Fläche und bis 2024 werden im Stadtgebiet Montreals mehr als 50000 Quadratmeter Anbaufläche stadtintegriert in Betrieb sein mit saisonunabhängiger Produktion, erneuerbarer Energie, Kreislaufprozessen und minimalen Transportwegen [Lufa Farms, o.D.].

Ein weiteres Beispiel ist die 2010 in ein neunstöckiges Bürogebäude integrierte Pasona Urban Farm in Tokio, die es den Mitarbeitenden vor Ort ermöglicht, Lebensmittel direkt am Arbeitsplatz anzubauen und zu ernten. Auf einer Fläche von 3.995 Quadratmetern werden über 200 Pflanzenarten angebaut. Im Foyer des Gebäudes befinden sich ein Reisfeld und Brokkolibeeete, über den Konferenztischen hängen Tomatenranken, Zitronen- und Passionsfruchtbäume dienen als Raumteiler. Die Pflanzen werden über ein automatisches Bewässerungssystem versorgt, ein intelligentes Klimakontrollsystem regelt Luftfeuchtigkeit, Temperatur und Luftstrom, um den Komfort der Mitarbeitenden während der Bürozeiten und optimale Wachstumsbedingungen für die Pflanzen außerhalb der Bürozeiten zu gewährleisten [Andrews, 2013].

Das britische Unternehmen Grow Up Farms betrieb von 2014 bis 2017 ein Aquaponik-System in einem umfunktionierten Schiffscontainer im Zentrum Londons, die sogenannte GrowUp Box. Aquaponik kombiniert die Konzepte des Pflanzenanbaus im Wasser (Hydroponik) und der kontrollierten Aufzucht von Wassertieren (Aquakultur). Ein solches System ist äußerst effizient und umweltfreundlich, da es nur mit Fischfutter und minimaler Energie für Wasserpumpen auskommt und weder Erde noch Pestizide benötigt. In der GrowUp Box wurden Buntbarsche in speziell konstruierten Becken gezüchtet, deren Wasser durch vertikale Säulen zirkulierte und etwa 400 Pflanzen ernährte. Auf einer Grundfläche von nur 14 Quadratmeter konnten so etwa 100 Kilogramm Fisch und 400 Kilogramm Salat pro Jahr produziert werden, die dann direkt an Verbraucherinnen und Verbraucher sowie an lokale Restaurants und Geschäfte geliefert wurden. Der Erfolg des Projekts ermöglichte es Grow Up Farms, zwei um ein Vielfaches größere Produktionsstätten in England zu errichten [Grow Up Group, o.D.].

Vertikale Farmen in urbanen Räumen

Vertikale Farmen sind städtebaulich flexibel einsetzbar und tragen durch die Freisetzung von Flächen und Ressourcen im Außenbereich zum Erhalt und zur Schaffung bereichernder öffentlicher Grünflächen bei. Innenentwicklungspotenziale bieten sich in Form von Mischnutzungen, Umnutzungen von Brachflächen und Altbaubeständen sowie anderweitig kaum nutzbaren Flächen wie stillgelegten Luftschutzbunkern und Tunneln und nicht zuletzt durch die Digitalisierung freierwerdende Flächen. Eine Mischnutzung, die vertikalen Farmen mit

Wohnen und Arbeiten in einem Gebäude kombiniert, kann nicht nur gebäudeinterne Synergieeffekte (z. B. Energieeffizienz, Wasserrecycling, Raumklima) erzielen, sondern auch das Verkehrsaufkommen reduzieren, da Fahrten zur externen Lebensmittelbeschaffung eingespart werden. Aufgrund des zu erwartenden anhaltend hohen Flächendrucks und quantitativ begrenzter Integrationsmöglichkeiten in urbanen Räumen werden langfristig neben innerstädtischen Flächen verstärkt auch Flächen in suburbanen Lagen für die Errichtung vertikaler Farmen in Betracht zu ziehen sein. Damit die vertikale Landwirtschaft nicht zu einem zusätzlichen Großverbraucher städtischer Energie wird, ist der Einsatz erneuerbarer Energien von zentraler Bedeutung [Buscher et al., 2023].

Anbaupotenzial vertikaler Farmen

Eine Meta-Analyse der urbanen Landwirtschaft in 53 Ländern hat ergeben, dass sich Salat, Grünkohl und Brokkoli besonders gut für den Anbau in vertikalen Farmen eignen. Gründe dafür sind kurze Wachstumszyklen, geringer Platzbedarf, geringe Lichtenforderungen, geringe Anfälligkeit für Krankheiten und Schädlinge sowie eine hohe Marktnachfrage [Payen et al., 2022]. Außerdem sind Salat, Grünkohl und Brokkoli im Gegensatz zu vielen anderen Gemüse- und Obstsorten nicht auf Bestäubung angewiesen, was derzeit einen elementaren Vorteil für die Produktion in vertikalen Farmen darstellt. Bei Pflanzen, die natürlicherweise von Bienen bestäubt werden, besteht das Problem, dass das künstliche Licht in vertikalen Farmen Bienen die Orientierung nimmt. Mögliche Lösungen wie der Einsatz von bienenfreundlichem UV-Licht oder die manuelle Bestäubung sind mit hohen Energie- bzw. Personalkosten verbunden. Roboterbienen könnten hier in Zukunft Abhilfe schaffen [Glick, 2023]. Die Bestäubung von Feldfrüchten wie Getreide, die nicht auf Bienen, sondern auf Wind angewiesen sind, kann in vertikalen Farmen durch die Erzeugung eines künstlichen Luftstroms nachgeahmt werden, solche Ansätze befinden sich jedoch noch im Versuchsstadium [Agritechfuture, 2023]. Nach Ansicht von Ernährungswissenschaftlern können vertikale Farmen ein wirksames Mittel zur Bekämpfung des Welthungers sein, sobald sie das technische und agronomische Niveau erreichen, das den effizienten Anbau von sättigenden, kalorienreichen Getreidepflanzen wie Mais und Weizen ermöglicht [Franke, 2020].

Verschiedene Projekte verfolgen derzeit den Ansatz, die (Wieder-)Aufforstung durch die Anzucht von Baumsetzlingen in vertikalen Farmen zu unterstützen, indem das Wachstum vor der Auspflanzung beschleunigt und damit die Überlebensrate erhöht wird. Bei ersten Versuchen in einer vertikalen Farm in Schottland gelang es, Baumsetzlinge sechsmal schneller zu züchten als bei der herkömmlichen Aussaat im Freien. Aus botanischer Sicht gibt es keinen Grund, warum Bäume und damit ganze Obstgärten in Zukunft nicht auch dauerhaft in vertikalen Farmen gepflanzt werden könnten. Voraussetzung dafür sind innovative Stabilisierungsvorrichtungen sowie

Fortschritte bei der Verzweigung von Bäumen und bei Indoor-Sterilisationsverfahren. Denn der Schutz der Bäume vor Krankheiten und Schädlingen wäre wie in der freien Natur auch bei der Indoor-Aufzucht sehr aufwendig. Wenn es eines Tages gelingt, Bäume unter idealen Bedingungen in Innenräumen zu kultivieren, könnten sie mehr in ihre Früchte investieren als in der freien Natur, da keine Ressourcen für riesige, meterlange Wurzelsysteme aufgewendet werden müssen [Agritechfuture, 2023].

Qualitätssicherung durch kontrollierte Anbausysteme

Die Qualitätssicherung in der Lebensmittelproduktion kann durch kontrollierte Anbausysteme wesentlich gefördert werden. Dies liegt vor allem daran, dass die Wachstumsbedingungen wie Temperatur, Licht, Feuchtigkeit und Nährstoffversorgung genau gesteuert werden können, was zu einer konstant optimalen Behandlung der Pflanzen führt. Darüber hinaus reduziert die kontrollierte Steuerung in Kombination mit anderen Faktoren (z. B. physische Barriere und einfache hygienische Bedingungen in Innenräumen) die Wahrscheinlichkeit von Pflanzenkrankheiten und den Bedarf an chemischen Schädlingsbekämpfungsmitteln. Auch die Belastung durch Schadstoffe und Kontaminanten ist geringer, da die Pflanzen besser vor Luft- und Bodenverschmutzung geschützt sind. Schließlich verbessert die Rückverfolgbarkeit in kontrollierten Anbausystemen die Transparenz des gesamten Produktionsprozesses, was für Qualitätskontrollen und bei Problemen mit der Lebensmittelsicherheit von entscheidender Bedeutung ist [Petrovics & Giezen, 2021].

Herausforderungen der vertikalen Landwirtschaft

Das Zukunftspotenzial von vertikalen Farmen ist unbestritten, dennoch stehen die in diesem Bereich tätigen Unternehmen derzeit noch vor großen Herausforderungen. Diese haben bereits zum Scheitern mehrerer ehemals großer Marktteilnehmer geführt. In diesem Jahr musste beispielsweise das Unternehmen AeroFarms, 2021 noch mit 1,2 Milliarden Euro bewertet und kurz vor dem Börsengang, Insolvenz anmelden [Tan, 2021].

Einer der Gründe für das Scheitern vertikaler Farmen ist der fehlende Produkt-Markt-Fit. Zwar bieten vertikale Farmen klare Vorteile wie ganzjährige Produktion, reduzierter Wasserverbrauch und Verzicht auf Pestizide, dennoch ist es für nachhaltige Betriebskonzepte ausschlaggebend, die Auswahl der angebauten Kulturen genau auf die Nachfrage der Verbraucher abzustimmen. Risiken bei der Abstimmung bestehen insbesondere für Betriebe, die sich auf Nischen- oder exotische Kulturen mit begrenztem Marktpotenzial konzentrieren. Andererseits stehen Betriebe, die sich auf populäre Produkte (wie Blattgemüse und Salatmischungen) konzentrieren, am ehesten im Wettbewerb mit billigeren Optionen der industriellen Landwirtschaft, die bereits leicht verfügbar sind [van Delden et al., 2021].

Beim derzeitigen Stand der Technik und den damit verbundenen hohen Produktionskosten sind Anbausysteme für vertikale Farmen sowohl in der Erstinstallation als auch in der Wartung und im Austausch sehr teuer. Darüber hinaus können die variablen Energiekosten für künstliche Beleuchtung, Temperaturregelung und Belüftung erheblich sein und die Rentabilität einschränken. Volatile Energiepreise führen zu Unsicherheit [van Gerrewey et al., 2022]. Das Berliner Start-up Infarm, das 2021 noch mit rund einer Milliarde US-Dollar bewertet wurde und mehr als 1000 Indoor-Farmen betrieb, entließ 2023 die Hälfte seiner Belegschaft und gab das gesamte Europageschäft auf. Als zentraler Grund wurden die hohen europäischen Energiepreise genannt, als Zielmarkt rückt nun der Mittlere Osten mit seinen niedrigeren Energiepreisen in den Fokus [Franke, 2020; Hüfner, 2023]. Die Kopplung von vertikalen Farmen mit erneuerbaren Energiequellen ist daher in Bezug auf die finanzielle Rentabilität zukunftsweisend. Zudem emittieren vertikale Farmen, die keine erneuerbaren Energiequellen nutzen, deutlich mehr CO₂ als ihre Pendanten auf dem Acker.

Hype-Marketing und Greenwashing sind zwei branchentypische Phänomene, bei denen sich Unternehmen, Investoren und Interessengruppen selbst und gegenseitig täuschen. Übertreibungen und Irreführungen, die dazu führen, dass Erwartungen nicht erfüllt werden können und dadurch beispielsweise Unternehmen am Kapitalmarkt abstürzen, schaden der Reputation der vertikalen Landwirtschaft und gefährden damit die Entfaltung ihrer Potenziale [Agritecture, 2023].

Einige Betreiber von vertikalen Farmen haben keine erfahrenen Agronomen oder Landwirte in Führungspositionen. Dies kann ein Problem darstellen, wenn dadurch agronomisches Wissen zur Ausrichtung der Anbaubedingungen, der Nährstoffversorgung und der Schädlingsbekämpfung zur Erzielung optimaler Erträge und Qualitäten nicht berücksichtigt wird [Kalantari et al., 2018].

Ernährung als Sicherheits- und Klimafaktor

Heute weisen Forscher darauf hin, dass urbane Anbausysteme von großer Bedeutung für die Klimabilanz städtischer Gebiete und deren Bewohner sind, aber die Aufmerksamkeit dafür in der Stadtplanung gerade beginnt und erst seit kurzem auf der Planungsagenda von Industrie- und Entwicklungsländern steht. Dieses zunehmende Bewusstsein führt dazu, dass auch kommunale und immobilienwirtschaftliche Planungen hierzu in städtischen Gebieten weltweit zunehmen.

Der Stadtstaat Singapur mit seinen mehr als fünf Millionen Einwohnern war weltweit der erste, der das Ziel »30 by 30« politisch verankert hat, d. h. bis 2030 mindestens 30 Prozent des gesamten Lebensmittelbedarfs im Stadtgebiet zu produzieren – dies bei einer hohen Bevölkerungsdichte von 8.592 Einwohner pro Quadratkilometer, was mehr ist als die meisten europäischen Großstädte. Es gibt jedoch bereits weltweite Vorreiter wie die Stadt Havanna, die aufgrund des anhaltenden politischen Embargos bereits mehr als 50 Prozent ihres Bedarfs an frischem Gemüse aus städtischer Produktion deckt [FAO, o.D.].

Im Kontext von Klimaschutzziele und resilienten Lieferketten steigt in mehr und mehr Industrieländern somit die Nachfrage nach urbaner Lebensmittelproduktion. Der technologische Fortschritt kann dazu beitragen urbane Anbausysteme von einfachen Kleingartenparzellen zu produktiven, effizienten und skalierbaren UF zu entwickeln.



Abb. 5: Evolution des urbanen Lebensmittelsystems vom 19. bis 21. Jahrhundert (entlang der Industrie 4.0-Analogie).

Bis zu 100-mal flächeneffizienter: Potenziale für deutsche Städte

Aus Immobilieninvestorensicht ist Vertical Indoor Farming als Nischenprodukt einzustufen. Für langfristige und innovativ denkende Investoren, die Mut zu einer stärkeren Durchmischung ihrer Portfolien zeigen, sind diese Immobilien eine interessante Alternative abseits der traditionellen Assetklassen [JLL, 2022]. Die Ernteeffizienz des Vertical Indoor Farmings ist dabei um ein Vielfaches höher als in der traditionellen Landwirtschaft oder in Gewächshäusern. Bei einigen Produkten sogar um das 100-fache: Das bedeutet, dass ein Quadratmeter Grundfläche in einer Vertical Indoor Farm (VIF) die gleichen Ernteerträge erzielt wie auf 100 Quadratmeter konventioneller landwirtschaftlicher Fläche.

Versorgungstechnisch steht man heute an dem Punkt, dass bereits vier Quadratmeter eines urbanen Anbausystems auf Basis von Hydroponik oder Aeroponik und LED-Technologien ausreichen, um den jährlichen Kalorienbedarf eines Stadtbewohners komplett zu decken [Fraunhofer IAO, 2023]. Diese Flächen können in Innenräumen, z. B. Parkhäusern oder ungenutzten Bürogeschossen, sowie auf verfügbaren Dachflächen, z. B. Einkaufszentren oder Produktionsstätten, entstehen. Weitere Fortschritte bei Flächeneffizienz und Ertrag sind in naher Zukunft zu erwarten.

Daraus ergeben sich für ausgewählte Städte in Deutschland folgende theoretische Flächenbedarfe im Stadtgebiet und gleichzeitige positive Auswirkungen auf die Klimabilanz durch den Umstieg auf pflanzliche Ernährung und Verkürzung von Transportwegen:

Beispiel: Stuttgart – nur 1,65 Prozent der Siedlungsfläche benötigt

Die benötigte Fläche für einen solchen Paradigmenwechsel scheint überschaubar – allein in Stuttgart könnten ungenutzte Büroflächen im Stadtgebiet bereits über 30 Prozent des VIF-Bedarfs decken [Colliers, 2023]. Ein weiteres Drittel bietet beispielhaft ein Teil des Festgeländes des Stuttgarter Wasens (37 Hektar) und den Rest vorhandene Dachflächen großflächiger Handels- oder Logistiktutzungen. Zusammen ergibt sich so rechnerisch ein Flächenbedarf von nur 177 Fußballplätzen im Stadtgebiet. Dies entspricht nur 1,65 Prozent der heutigen Siedlungsfläche – quasi als intelligentes und stadtintegriertes »Upgrade« vorhandener Nutzungen. Gleichzeitig könnten sich jährlich über 283 000 Tonnen CO₂ einsparen lassen und hunderte Milliarden Transport-Kilometer für bisherige Lebensmittelimporte reduzieren.

Standorte	stadtweit			
	Einwohner 2023 (1) EW ¹	Theoretischer VIF-Bedarf (2) 2m ² /EW	CO ₂ -Reduktion (3) in t/a	Verkürzung Transportwege (4) in 1.000km
Stuttgart	630.305	1.260.610	283.637	230.321.285
München	1.488.202	2.976.404	669.691	550.063.474
Hamburg	1.852.478	3.704.956	833.615	680.541.686
Frankfurt	764.104	1.528.208	343.847	280.271.848
Berlin	3.664.088	7.328.176	1.648.840	1.355.712.560
Σ	8.399.177	16.798.354	3.779.630	3.107.695.490

(1) aktuelle Einwohnerzahl der Stadt

(2) Flächenbedarf für »Vertical Indoor Farming« in Gebäuden (Raumhöhe ~3m)

(3) bei Umstieg von tierischer auf vegetarische Ernährung (-0,45t CO₂/p*a)²

(4) beispielhafte Annahme: bei 3.700km durchschnittlichem Transportweg/ Salatkopf [JLL, 2022]

¹ Knupp & Schafiyha, 2023

² Janson, 2020

3 Methodik

3.1 Einführung CEA-Basistypologien

Für die quantitativen Modellierungen werden im weiteren Verlauf drei Typologien für urbane Anbausysteme eingeführt, die sich am heutigen State-of-the-Art und marktgängigen Lösungen hinsichtlich ihrer Kennwerte und Eckdaten orientieren. Sie unterscheiden sich im Wesentlichen durch ihre unterschiedlichen Einsatzbereiche im Kontext gebauter Umgebung im Innen- und Außenraum.

3.1.1 Typ 1: RTGH – Rooftop Greenhouse

Städtische Dachgewächshäuser werden meist noch für pädagogische oder soziale Zwecke und weniger für die kommerzielle nachhaltige Lebensmittelproduktion in städtischen Gebieten eingesetzt. Sie haben den Vorteil, dass sie das Sonnenlicht als Licht- und Wärmequelle nutzen und nur teilweise künstliches Licht in lichtarmen Zeiten, z. B. in den Wintermonaten oder in bewölkten Phasen, benötigen.

Kommerzielle Anlagen zeichnen sich durch hohe Einrichtungskosten und hochautomatisierte Gebäudetechnik aus, die eine (halb)kontrollierte Wachstums Umgebung schaffen. Die ganzjährige Produktion zur Maximierung der Erträge ist eine übliche Strategie in kommerziellen hydroponischen Dachgewächshäusern und wird für diese Fallstudie angenommen.

Städtische Dachgewächshäuser eignen sich für eine breitere Palette von Kulturen, einschließlich Tomaten, Paprika und Gurken, die einen größeren Platzbedarf haben und viel natürliches Sonnenlicht benötigen.

3.1.2 Typ 2: VIF – Vertical Indoor Farming

Vertikales Indoor-Farming kann als Praxis von übereinander gestapelten Anbausystemen in einer geschlossenen und kontrollierten Umgebung definiert werden. Durch die Verwendung von vertikal montierten Anbauregalen wird der Flächenbedarf für den Anbau von Pflanzen im Vergleich zu herkömmlichen Anbaumethoden erheblich reduziert.

Je nach Technologiefokus und Industrialisierungsgrad bestehen hierbei Varianten von zimmerhohen (zwei bis drei Meter) bis hallenhohen (mehr als vier Meter) Systemen. Es wird davon ausgegangen, dass dieser Typ als »Upgrade« in leerstehenden bzw. ungenutzten Innenräumen zum Einsatz kommt und je nach Grundriss entsprechend modular geplant wird.

Vertikales Indoor-Farming ist ideal für Pflanzen, die wenig Platz benötigen und übereinandergestapelt werden können, wie verschiedene Blattgemüse und Erdbeeren, wobei die vertikale Anordnung eine maximale Raumausnutzung und einen maximalen Ertrag pro Flächeneinheit ermöglicht.

3.1.3 Typ 3: UFC – Urban Farming Container

UFC sind in sich geschlossene, transportable Anbaueinheiten, die vertikale hydroponische Techniken in kontrollierten Umgebungen anwenden. Sie zeichnen sich durch ein hohes Maß an Standardisierung aus. Zu den Vorteilen der UFC gehören ihre Modularität, Kompaktheit, Benutzerfreundlichkeit und leichte Transportfähigkeit.

Dabei ist zu beachten, dass UFC erhebliche Einschränkungen in Bezug auf die Umweltkontrolle einer sehr dichten Wachstums Umgebung (Wärme- und Gasakkumulation, Feuchtigkeit, Schädlinge) und Arbeitsablaufprobleme aufgrund des begrenzten Platzes haben können. Zusätzlich sollten UFC zielgerichtet mit angemessenen HLK-Einheiten und Kontrollsystemen konzipiert werden, um eine hohe Produktivität und Zuverlässigkeit zu erreichen.

UFC eignen sich für den Anbau von Kräutern und kleinwüchsigen Gemüsesorten wie Radieschen, die in kompakten, modularen Systemen unter kontrollierten Bedingungen effizient angebaut werden können.

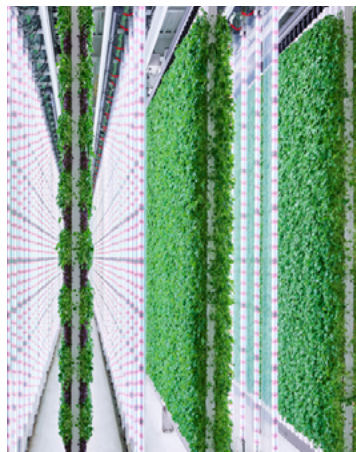
3.1.4 Vergleich und konstruktive Annahmen

	Modul A: Dachgewächshaus	Modul B: Vertical Indoor Farming	Modul C: Urban Farming Container
Primärer Einsatz:	Dachflächen (großflächig)	Innenräume (Wohnen, Büro, Lagerräume, ...)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Im Außenraum (ebenerdig) ■ Parkhäuser, Tiefgaragen
Eigenschaften:	<ul style="list-style-type: none"> ■ Von Anfang an vorzusehen oder nachträglich »aufzurüsten« ■ Skaleneffekte je nach Größe ■ Gebäudeunabhängiger Betrieb ■ Isolierende Funktion als Aufbau 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Situationsabhängige Nachrüstung / Umnutzung in Innenräumen ■ Kontrollierte Umgebung (z. B. thermisch) vorhanden ■ Betrieb je Stockwerk möglich 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Modulare Einheiten im Außenraum ■ Technische Kombination möglich ■ Einfache Erweiterbarkeit ■ Komplett geschlossenes System
Konstruktive Annahmen:	<ul style="list-style-type: none"> ■ 80% einer Brutto-Dach-/ Innenraumfläche prinzipiell nutzbar ■ 80% der nutzbaren Fläche für Anbau geeignet (Rest Verkehrswege, Technik) = 64% von BGF (bei Berechnungen) 		<ul style="list-style-type: none"> ■ PKW-Stellflächen 1:1 durch 20«-Container zu nutzen ■ Verkehrswege / Zugang vorhanden
Anforderungen von außen:	<ul style="list-style-type: none"> ■ Wasserversorgung (einmal / Monat bzw. Zyklus) ■ Stromversorgung (LED-Beleuchtung, Klimatisierung) ■ Nährstoffe (nach Bedarf) ■ Zugang (für Pflege, Ernte, Kontrolle) 		

Beispiel (exemplarisch):



Altmarktgarten, Oberhausen
© Kuehn Malvezzi



Beispiel Vertikalanlage
© Walmart



Urban-Farming-Demonstrator
© Fraunhofer IAO

3.2 PCT-Konfigurator zur Potenzialbewertung

Das Potenzialberechnungs-Tool (PCT) wurde auf der Grundlage bestehender Bewertungsinstrumente in der Literatur entwickelt [Haberzettl, 2023]. Es zielt auf die Quantifizierung des Potenzials von Urban Farming Systemen ab und berücksichtigt verschiedene Software und Modelle, die hauptsächlich in den letzten fünf Jahren entwickelt wurden. Diese konzentrieren sich auf die Planung von landwirtschaftlichen Betrieben, Entscheidungen über Anbaustrategien, Effizienzsteigerungen und das allgemeine Farmmanagement. Der Schwerpunkt liegt auf Software, die optimale Wachstumsbedingungen auf der Grundlage von Umweltfaktoren, phänotypischen Merkmalen und wirtschaftlichen Zielen ableitet.

Der als Excel-Tool entwickelte Konfigurator bietet eine einfache Benutzeroberfläche und mehrere Informationsebenen, die eine multikriterielle Analyse und Entscheidungsfindung auf Basis einfacher Orts- und Flächenangaben unterstützen. Es enthält Formeln zur Berechnung der verschiedenen definierten KPI sowie Metriken und ist offen für die zukünftige Integration weiterer Leistungskennzahlen. Die Bereitstellung von Standardwerten für die meisten standort- und systemspezifischen Leistungskennzahlen ermöglicht die Anwendung des Tools mit wenigen ortsspezifischen Informationen.

Das PCT bietet die drei Szenarien worst, medium und best. Es bezieht sich hinsichtlich der betrachteten Potenziale auf die in Kapitel 3.1 vorgestellten Typologien (I) Dachgewächshäuser, (II) Urban Farming Container und (III) vertikale Indoor Farmen. Die Standardwerte für die drei Szenarien stellen Branchendurchschnitte entlang realistischer Annahmen dar. Spezifische Daten für die drei Typologien werden detailliert erläutert, einschließlich der Kosten für die Anschaffung und Installation des Systems, des Arbeitsaufwands, des Wasserverbrauchs und des Energieverbrauchs.

Category	Metric	Level	Range	Standard	Data input	Unit	Source	
Site-specific metrics	Water cost	high	4.1-6.7	5,00	5,67	€/m ³	Statista	
		medium	3.3-4.0	3,00				
		low	0.0-3.2	0,15				
	Electricity cost	high	0.37-0.43	0,39	0,43	€/kWh	Global Petrol Prices	
		medium	0.22-0.36	0,21				
		low	0.00-0.21	0,01				
	Labor cost (PPP)	high	30-45,6	37,80	43,68	€/h	ILO	
		medium	17-29,9	23,45				
		low	0.52-15,9	8,71				
	Emission factor electricity	high	518-800	659,00	345,00	g CO ₂ e/kWh	Global Change Data Lab	
		medium	268-518	393,00				
		low	0-267,9	133,95				
		Photovoltaic power output				1137,80	kWh/kWp	Global Solar Atlas
		Solar panel area requirements				7,00	m ² /kWp	
		Currency exchange USD				0,94	USD = 1 €	European Central Bank
	Currency exchange GBP				0,89	GBP = 1€	European Central Bank	
	Sales revenue lettuce (excl. VAT)				10,00	€/kg		
	Net profit margin				25,00	%		
	Land rate UFC				100,00	€/m ² p.a.		
	Land rate RTGH				100,00	€/m ² p.a.		
	Land rate VIF				100,00	€/m ² p.a.		
	Lettuce yields (traditional farming)	high	35,56-78,00	40,29	31,42	t/ha	FAOSTAT	
medium		18,33-35,35	27,21					
low		0,32-18,32	15,70					
UFC-specific metrics	Delivery distance (UFC set-up)				2000,00	km		
	Installation cost (UFC set-up)				1175,13	€	See tab 'UFC' for ranges	
RTGH-specific metrics	System energy consumption				3,90	kWh/kg	See list 1 for values	
VIF-specific metrics	System energy consumption				16,30	kWh/kg	See list 1 for values	
Space availability	Space availability UFC				500,00	m ²		
	Space availability VIF				500,00	m ²		
	Space availability RTGH				500,00	m ²		
List 1: Energy consumption of OGH, CGH and VIF in different climatic regions in kWh/kg								
	Av. day °C	Av. night °C	Av. sunshine hours/day	kWh/kg CGH	kWh/kg OGH	kWh/kg VIF		
Reykjavic region	7,5	2,8	3,4	7,9	8,4	15,6		
Stockholm region	9,6	3,7	5,4	7,3	7,2	16		
Massachusetts	14,2	5,3	7,2	5,6	3,9	16,3		
Tasmania (Australia)	17,0	8,7	6,0	4,5	2,8	16		
Tokyo region	18,9	10,0	5,5	5,3	1,9	17,2		
Santiago region (Chile)	22,3	7,2	6,4	6,2	2,5	17,3		
Gauteng (South Africa)	21,8	10,6	8,5	5,8	1,0	17,5		
Maricopa county (Phoenix, USA)	29,3	11,9	10,2	8,2	4,3	18,9		
Singapore	31,0	23,7	5,6	9,4	6,0	20,4		
IAF	32,7	20,0	9,2	10,5	7,7	20,3		

Climate data from: <https://www.klimatabelle.de/>

Abb. 6: Auszug des Potenzialberechnungs-Tool (Haberzettl, 2023).

3.3 Betrachtung beispielhafter Quartiersentwicklungen

Bei den vorliegenden Beispielen handelt es sich um rein hypothetische Szenarien, die lediglich der Veranschaulichung der Berechnungen von Kubaturen und Nutzflächen dienen. Diese Beispiele stehen in keinem direkten Zusammenhang mit den geplanten Projekten und sind ausschließlich als theoretische Darstellungen zur Verwendung der berechneten Daten zu verstehen.

Als Fallstudien für die Erhebung zukünftiger Potenziale stadtintegrierter Anbausysteme für pflanzliche Lebensmittel wurden insgesamt sieben Quartiersentwicklungen in unterschiedlichen Phasen (von Brachflächenkonversion bis laufenden Betrieb) herangezogen. Wo möglich wurden die vorhandenen öffentlichen Informationen und Plangrundlagen der Projekte herangezogen.

No.	Standort	Typ	Fläche	Kurzbeschreibung
#1	Ehningen (b. Stuttgart)	Wohn-Tech-Campus	9 ha	Neu entstehender Ortsteil auf ehemaligem Konzerngelände als qualitativ hochwertiges, nachhaltiges, zukunftsorientiertes, offenes und klimagerechtes Quartier
#2	München	Kreativquartier, Mischnutzung	10 ha	In Transformation befindliches Stadtquartier zwischen Bestand und Neubau – mit Raum für Kreativität, Kunst, Soziales, Sport, Unterhaltung, Essen, Trinken und nachhaltige Zukunftsprojekte
#3	Stuttgart	Forschungscampus	6,6 ha	Zweitgrößtes Institutszentrum der Fraunhofer-Gesellschaft mit fünf Einrichtungen und ca. 1800 Beschäftigten (Büro, Labore, Technikum, Infrastruktur)
#4	Hamburg	Wohnquartier (mit sozialen Angeboten)	3,4 ha	Innerstädtisches Konversionsareal als lebendiges Stadtquartier für 700 bis 900 Mietwohnungen, kleinteilige Nahversorgung und öffentlich nutzbare Freiräume.
#5	Stuttgart	Wohnquartier (mit sozialen Angeboten)	4,2 ha	Bis zu 800 Wohnungen und mindestens 60 000 m ² Wohnfläche, davon bis zu 40 % gefördert; Angebote für soziales Miteinander, Freizeit, Nahversorgung, Gesundheit, Energie und Mobilität
#6	Worms	Wohnquartier (mit sozialen Angeboten)	2,8 ha	Lebendiges Stadtquartier in Zentrumsnähe mit über 400 Wohnungen, wohnwirtschaftlich geprägtes Umfeld soll optimal ergänzt und nachhaltig aufgewertet werden
#7	Frankfurt	Gewerbe-/ Innovationscampus	73 ha (davon 18 ha)	Frankfurts größtes gemischtes Gewerbe-/Industriequartier für Kreativität, Innovation, Fortschritt, Produktivität im Herzen der Metropolregion
Σ	=		54 ha	Gesamtfläche untersucht

Tabella: Übersicht der betrachteten Fallstudien (Quartiersentwicklungen) in fünf deutschen Metropolregionen.

3.4 Verwendete Basisszenarien im Lebenszyklus bis 2050

Den nachfolgenden Fallbetrachtungen liegt eine gemeinsame Entwicklungslogik zugrunde, die veränderte Bedarfe und Potenziale im Lebenszyklus der Quartiere umfasst und sich signifikant von der heutigen Situation unterscheidet. Dieser »Zukunfts-Roadmap« über die drei gewählten Zeiträume von 2025, 2035 bis 2050 berücksichtigt zum Beispiel die Prognose, dass im Rahmen der Verkehrswende ein massiver Rückgang von motorisiertem Individualverkehr (MIV) in urbanen Gebieten entsteht. Hierdurch werden für viele der heute geplanten bzw. zugeordneten Stellplätze andere Nutzungen möglich (à Typ 3: UFC). Zudem ermöglicht eine zunehmende Automatisierung in Bauwesen und Betrieb einfacher als heute die Errichtung leichter Dachaufbauten (à Typ 1: RTHG). KI und Robotik senken Betriebskosten und erhöhen Effizienz von urbanen Anbausystemen.

Weiterhin wird davon ausgegangen, dass der Bedarf von Büronutzungen in den nächsten 25 Jahren weiter zurückgehen wird und Chancen für Umnutzungen entstehen (à Typ 2: VIF). Und wie in Kapitel 2 eingeführt, wird zusätzlich in den nächsten Jahren unter Klimaschutz- und Sicherheitsaspekten der Druck auf den konventionellen Ernährungssektor zunehmen und Stadtverwaltungen mehr und mehr Resilienzstrategien für urbane Lebensmittelversorgung umsetzen. Für die betrachteten Fallstudien werden diese Basisszenarien in den drei Zeiträumen – für Bestandsquartiere wie für Konversions- und Neubauvorhaben – wie folgt angenommen und einheitlich angewendet:

Szenario 1 – 2025: Basisinfrastruktur urbaner Anbausysteme

- Erste Nutzungen bei Neubauten von Dachgewächshäusern (64 Prozent aller Brutto-Dachflächen) und im Bestand
- Innenraum-Nutzungen höchstens auf 0,5 Vollgeschoss bei bestehenden Campusstrukturen bzw. Pilotnutzung in Bestandsgebäude
- 25 Prozent vorhandener Stellflächen/Parkplätze in Umnutzung (nicht genutztes Delta seit Corona-Pandemie und Home-Office)

Szenario 2 – 2035: Ausbaustufe I mit erster Innenraum-Nutzung

- Volle Nutzung bei Neubauten von Dachgewächshäusern (64 Prozent aller Brutto-Dachflächen)
- 1 Vollgeschoss je Gebäude in Benutzung für Vertical Indoor Farming (VIF)
- 50 Prozent vorhandener Stellflächen/Parkplätze in Umnutzung (Annahme: bei Festlegung klassischer Stellplatzschlüssel in der B-Planung)

Szenario 3 – 2050: Ausbaustufe II als leistungsfähiges Gesamtökosystem

- Volle Nutzung bei Neubauten von Dachgewächshäusern (64 Prozent aller Brutto-Dachflächen)
- Bis zu 1,5 Vollgeschosse/Gebäude in Benutzung für VIF
- 75 Prozent vorhandener Stellflächen/Parkplätze in Umnutzung (Annahme: bei Festlegung klassischer Stellplatzschlüssel in der B-Planung)

4 Exemplarische Fallstudien

4.1 Fallstudie 1 – IBM-Areal Ehningen

In unmittelbarer Nachbarschaft zum neuen IBM-Campus, Sportzentrum, Bildungseinrichtungen, historischem Ortskern und prägenden Landschaftsräumen entsteht in Ehningen bei Stuttgart eine verwobene Nutzungs- und Raumstruktur. Geplant ist ein urbanes Gebiet mit ca. 55 500 Quadratmetern BGF (+ 17 000 Quadratmeter Bestandsgebäude) für Gewerbe, 30 700 Quadratmeter BGF für flexible Nutzungen und ca. 47 000 Quadratmeter BGF für Wohnen. Das Rückgrat dieses ganzheitlichen Ansatzes bildet eine attraktive Raumfolge aus differenzierten Platz- und Grünräumen. Nutzungssynergien, Verbindungen und die Fokussierung auf wichtige Schnittstellen prägen das neue Quartier. In Nord-Süd-Richtung entwickelt sich ein belebter öffentlicher Raum, der durch differenziert gestaltete »Science-Oasen« thematisch und räumlich geprägt wird. Die Nachbarschaft zum Quantencomputer wird genutzt, um einen Wissensstandort für die Quantenforschung zu etablieren. Die zentrale, grüne Agora des neuen Stadtteils verankert das Quartier in der übergeordneten Vernetzungsstruktur.

Eckdaten zum Projekt

- Nachbarschaft zum IBM-Quantencomputer ermöglicht Quartier als Wissensstandort für Quantenforschung
- Lage zwischen neuem IBM-Campus, Sportzentrum, Bildungseinrichtungen, historischem Ortskern und prägenden Landschaftsräumen in Ehningen
- 15 Hektar Fläche Gesamtentwicklung (9 Hektar bei Kalkulation berücksichtigt)

Flächenannahmen in den Szenarien

Die folgende Tabelle zeigt die angenommenen Potenziale für Quartier 1 für die Jahre 2025, 2035 und 2050:

Jahr	2025	2035	2050	Einheit
Urban Farming				
Container	1.350	3.180	4.770	m ²
Vertical Indoor				
Farming	2.400	19.716	39.432	m ²
Rooftop				
Greenhouse	2.700	19.716	19.716	m ²

Potenzialbetrachtung

Die folgende Tabelle zeigt das erwartete Potenzial für Quartier 1 anhand ausgewählter Leistungskennzahlen für die Referenzzeiträume bis 2025, 2035 und 2050:

Gesamtpotenzial	Ø	Ø	Ø	Einheit
Gesamte				
Bruttoproduktion	884	3.189	4.445	t
Gesamte				
Arbeitsplatz-				
schaffung	31.140	696.204	1.226.336	h
Gesamtenergie-				
verbrauch	2.450.985	45.344.685	90.603.955	kWh
Gesamtwasser-				
verbrauch	267.355	14.973.548	30.107.799	l
Gesamte				
Einsparungen				
Ackerland	68.670	1.014.915	1.414.598	m ²
Gesamte				
Landnutzung SEP	15.079	278.971	557.416	m ²
Gesamtumfang				
THG-Emissionen				kg
(Scope 2)	846	15.644	31.258	CO ₂ e

4.2 Fallstudie 2 – Werksviertel-Mitte München

Das Werksviertel-Mitte in München ist ein Kreativquartier, das im Münchner Osten mit dem Ziel entwickelt wird, die Klimaschutzziele der Stadt München bis 2030, um mindestens 40 Prozent zu unterschreiten. Auf einer Fläche von zehn Hektar entsteht eine neuartige Labor-, Forschungs- und Skalierungs-umgebung für vielfältige strategische Forschungsfelder der Stadt- und Quartiersentwicklung von morgen. Seit 2020 gibt es ein eigenes Innovations- und Forschungsprogramm mit den Säulen Ressourcen, Bildung und Soziales, Mobilität, Digitalisierung, Startups und Zukunftsforschung. Der Anspruch, das Quartier lebenswert, klimaneutral und zukunftssicher zu gestalten, soll durch ein vertieftes Verständnis der Aktivitäten und Ressourcenflüsse im Quartier hin zu kreislaufbasierten Prozessen und Ökosystemen umgesetzt werden. Ideen zur Circular Economy oder Green Innovation werden nicht nur diskutiert, sondern auch erprobt, umgesetzt und wissenschaftlich begleitet. Eine quartierseigene Siedler-Karte bildet die Architektur für ein digitales Ökosystem und weitreichende Anwendungen, Anreizmechanismen und kollaborative Nutzungen für alle Nutzer/Siedler im Alltag.

Eckdaten zum Projekt

- Einzigartige Umgebung für angewandte Forschung und Innovation im Kontext der Stadt- und Quartiersentwicklung von morgen
- Lage am Münchner Ostbahnhof als ehemaliges Produktionsareal
- 10 Hektar Fläche Gesamtentwicklung

Flächenannahmen in den Szenarien

Die folgende Tabelle zeigt die angenommenen Flächengrößen für Quartier 2 für die Jahre 2025, 2035 und 2050:

Jahr	2025	2035	2050	Einheit
Urban Farming				
Container	2.665	5.330	7.107	m ²
Vertical Indoor Farming	5.214	8.370	12.555	m ²
Rooftop Greenhouse	5.214	5.214	5.214	m ²

Potenzialbetrachtung

Die folgende Tabelle zeigt das erwartete Potenzial für Quartier 2 anhand ausgewählter Leistungskennzahlen für die Referenzzeiträume bis 2025, 2035 und 2050:

Gesamtpotenzial	Ø	Ø	Ø	Einheit
Gesamte Bruttoproduktion	1.018	1.608	2.239	t
Gesamte Arbeitsplatz-schaffung	264.285	509.445	736.246	h
Gesamtenergie-verbrauch	17.874.254	42.927.719	62.648.624	kWh
Gesamtwasser-verbrauch	6.220.830	13.338.478	19.823.547	l
Gesamte Einsparungen Ackerland	323.874	511.663	712.568	m ²
Gesamte Landnutzung SEP	109.966	264.101	385.428	m ²
Gesamtumfang THG-Emissionen (Scope 2)	6.167	14.810	21.614	kg CO ₂ e

4.3 Fallstudie 3 – Fraunhofer IZS-Campus Stuttgart

Der Fraunhofer-Campus Stuttgart ist mit fünf Instituten und über 1.700 Mitarbeitenden auf einer Fläche von 6,6 Hektar das zweitgrößte Forschungszentrum der Fraunhofer-Gesellschaft. Durch die komplementären Kompetenzen der Institute besteht eine einzigartige Ausgangsposition, um Klimaneutralität in seiner ganzen Themenvielfalt auf einem Forschungscampus in Baden-Württemberg zu erforschen und zu demonstrieren. Neue ganzheitliche, sozio-technische und sozio-ökonomische Ansätze, die die Bereiche Technologie, Organisation und Geschäftsmodelle sowie die Bedürfnisse und das Verhalten der beteiligten Akteurinnen und Akteure berücksichtigen, werden in diesem Kontext betrachtet und in die Breite von Wirtschaft und Gesellschaft getragen. Es besteht eine sehr gute Vernetzung mit Unternehmen und Hochschulen als Basis für eine Systemtransformation und den Transfer zukunftsweisender Erkenntnisse. Unmittelbar an das Fraunhofer-Institutszentrum Stuttgart grenzt der Campus der Universität Stuttgart, die bereits erste Aktivitäten in Richtung eines klimaneutralen Standorts kommuniziert und umgesetzt hat (Vision eines autofreien Campus und Reallabor für klimaneutrale Gebäude).

Eckdaten zum Projekt

- Forschungscampus mit 5 verschiedenen Instituten der Fraunhofer-Gesellschaft
- Lage im Forschungscampus Stuttgart-Vaihingen, der neben dem Fraunhofer-Campus auch die Universität Stuttgart, die Hochschule der Medien und Teile der Hochschule für Technik beherbergt
- 6,6 Hektar Fläche Gesamtentwicklung

Flächenannahmen in den Szenarien

Die folgende Tabelle zeigt die angenommenen Flächengrößen für Quartier 3 für die Referenzzeiträume bis 2025, 2035 und 2050:

Jahr	2025	2035	2050	Einheit
Urban Farming				
Container	2.400	4.800	7.200	m ²
Vertical Indoor Farming	9.180	18.360	27.540	m ²
Rooftop Greenhouse	18.360	18.360	18.360	m ²

Potenzialbetrachtung

Die folgende Tabelle zeigt das erwartete Potenzial für Quartier 3 anhand ausgewählter Leistungskennzahlen für die Jahre 2025, 2035 und 2050:

Gesamtpotenzial	Ø	Ø	Ø	Einheit
Gesamte Bruttoproduktion	1.933	3.189	4.445	t
Gesamte Arbeitsplatz-schaffung	654.082	1.143.843	1.633.603	h
Gesamtenergie-verbrauch	43.899.359	84.909.925	125.920.492	kWh
Gesamtwasser-verbrauch	14.142.218	28.100.836	42.059.455	l
Gesamte Einsparungen Ackerland	615.241	1.014.915	1.414.589	m ²
Gesamte Landnutzung SEP	270.079	522.385	774.691	m ²
Gesamtumfang THG-Emissionen (Scope 2)	15.145	29.294	43.443	kg CO ₂ e

4.4 Fallstudie 4 – Stadtmacherei Eimsbüttel

Mit dem geplanten Umzug der Hamburger Beiersdorf-Konzernzentrale bis 2024 entsteht auf einer Fläche von 3,4 Hektar mit der Stadtmacherei Eimsbüttel ein neues Quartier in Hamburg mit bis zu 900 Mietwohnungen, einer Kita, Büros, Gastronomie und kleinteiligem Einzelhandel. Die vorhandenen, für Wohnzwecke ungeeigneten Gebäudestrukturen werden teilweise durch den Erhalt von Fassaden und eine maßvolle, intelligente Erhöhung der Bebauungsdichte ersetzt. Besonders Augenmerk wird auf die Schaffung vielfältiger öffentlich nutzbarer Freiräume und einer Durchgrünung gelegt, die den Bedürfnissen der Bewohner und der Nachbarschaft Rechnung trägt. Dazu gehören auch sinnvolle Dachnutzungen und die Entwicklung eines zukunftsweisenden Energiekonzepts, um einen klimafreundlichen neuen Stadtteil zu schaffen. Durch innovative Mobilitätslösungen soll oberirdischer Autoverkehr vermieden werden.

Eckdaten zum Projekt

- Fokus auf räumliche Dichte und Flexibilität, kürzere Wege, ein attraktiveres Arbeitsumfeld, bessere Gebäudestandards und Platz für Wohnraum
- Lage auf dem ehemaligen Gelände der Hamburger Beiersdorf-Konzernzentrale in Eimsbüttel
- 3,4 Hektar Fläche Gesamtentwicklung

Flächenannahmen in den Szenarien

Die folgende Tabelle zeigt die angenommenen Flächengrößen für Quartier 4 für die Jahre 2025, 2035 und 2050:

Jahr	2025	2035	2050	Einheit
Urban Farming				
Container	2.370	4.740	7.110	m ²
Vertical Indoor Farming	0	9.480	14.220	m ²
Rooftop Greenhouse	9.480	9.480	9.480	m ²

Potenzialbetrachtung

Die folgende Tabelle zeigt das erwartete Potenzial für Quartier 4 anhand ausgewählter Leistungskennzahlen für die Referenzzeiträume bis 2025, 2035 und 2050:

Gesamtpotenzial	Ø	Ø	Ø	Einheit
Gesamte Bruttoproduktion	554	1.841	2.587	t
Gesamte Arbeitsplatz-schaffung	343.571	602.297	861.022	h
Gesamtennergie-verbrauch	24.364.139	47.236.680	70.109.221	kWh
Gesamtwasser-verbrauch	7.503.517	14.912.234	22.320.951	l
Gesamte Einsparungen Ackerland	176.207	585.973	823.307	m ²
Gesamte Landnutzung SEP	149.894	290.611	431.328	m ²
Gesamtumfang THG-Emissionen (Scope 2)	8.406	16.297	24.188	kg CO ₂ e

4.5 Fallstudie 5 – Der Neue Stöckach Stuttgart

Auf dem ehemaligen Stuttgarter Werksgelände Stöckach hat die EnBW unter dem Namen Der Neue Stöckach ein visionäres Quartier mit bis zu 800 Wohnungen auf mindestens 60 000 Quadratmetern Wohnfläche initiiert, davon ein erheblicher Anteil im geförderten Wohnungsbau. Daneben sind Flächen für soziales Miteinander, Freizeit, Nahversorgung, Gesundheit, Energieversorgung und Mobilität vorgesehen, kombiniert mit modernsten technologischen Lösungen. Ein Realisierungswettbewerb im Jahr 2019, angereichert mit Bürgerideen, legte den Grundstein für dieses innovative und nachhaltige Projekt. Die intensive Bürgerbeteiligung, ein wesentlicher Bestandteil des Projekts, mündete in einen Rahmenplan, der 2022 vom Ausschuss für Stadtentwicklung und Technik des Stuttgarter Gemeinderats beschlossen wurde. Besonderes Augenmerk liegt auf der Schaffung eines neuen Bewusstseins für den öffentlichen Raum, innovativen Mobilitätskonzepten und dem sorgsamem Umgang mit Bestandsgebäuden, um ein integriertes Quartier zu schaffen, das ökonomische, soziale und ökologische Aspekte in Einklang bringt und Antworten auf die Herausforderungen des Klimawandels und des ressourceneffizienten Bauens gibt.

Eckdaten zum Projekt

- Auszeichnung als IBA'27-Projekt, Fokus auf neues Bewusstsein für öffentlichen Raum, innovative Mobilitätskonzepte und behutsamen Umgang mit Bestandsgebäuden.
- Lage im Osten Stuttgarts
- 6 Hektar Fläche Gesamtentwicklung (4,2 Hektar bei Kalkulationen berücksichtigt)

Flächenannahmen in den Szenarien

Die folgende Tabelle zeigt die angenommenen Flächengrößen für Quartier 5 für die Jahre 2025, 2035 und 2050:

Jahr	2025	2035	2050	Einheit
Urban Farming				
Container	3.300	6.600	9.900	m ²
Vertical Indoor Farming	0	8.580	12.870	m ²
Rooftop Greenhouse	8.580	8.580	8.580	m ²

Potenzialbetrachtung

Die folgende Tabelle zeigt das erwartete Potenzial für Quartier 5 anhand ausgewählter Leistungskennzahlen für die Referenzzeiträume bis 2025, 2035 und 2050:

Gesamtpotenzial	Ø	Ø	Ø	Einheit
Gesamte Bruttoproduktion	600	1.865	2.639	t
Gesamte Arbeitsplatz-schaffung	316.922	557.052	797.183	h
Gesamtenergieverbrauch	23.784.583	46.219.174	68.653.766	kWh
Gesamtwasserverbrauch	6.996.795	13.907.790	20.818.785	l
Gesamte Einsparungen Ackerland	191.108	593.602	840.033	m ²
Gesamte Landnutzung SEP	146.328	284.351	422.373	m ²
Gesamtumfang THG-Emissionen (Scope 2)	8.206	15.946	23.686	kg CO ₂ e

4.6 Fallstudie 6 – Licht-Luftbad-Quartier Worms

In Worms entsteht auf einer Fläche von ca. 63 000 Quadratmetern BGF das Licht-Luftbad Quartier mit einer Mischnutzung aus Wohnen, Gewerbe, Gastronomie, Pflege und Kita. Damit reagiert das Quartier auf den steigenden Bedarf an betreutem Wohnen und Gewerbeflächen aufgrund des Einwohnerzuwachses und der Wirtschaftsentwicklung in der Region. Ein integriertes Mobilitätskonzept setzt auf eine Sammelgarage am Quartiersrand, die ein autofreies Siedlungsgebiet ermöglicht, ein dynamisches Parkraummanagement sowie stationsbasiertes E-Carsharing und Micro-Mobility-Sharing. Ein intelligentes Energiekonzept sichert die zuverlässige Energieversorgung aller Gebäude und Fahrzeuge im Quartier. Die Betriebsführung erfolgt dabei durch einen einzigen Dienstleister, die EWR Netz GmbH, die ein transparentes Preismodell bereitstellt. Emissionsarme Bauweisen, darunter die in der Herstellung besonders umweltfreundlichen Holz- und Leimbauweisen, zielen auf Ressourcenschonung, CO₂-Reduktion und ein gesundes Raumklima während des Bauprozesses.

Eckdaten zum Projekt

- Integriertes Mobilitäts- und Smart-Energy-Konzept, emissionsarmes Bauen
- Lage auf dem ehemaligen Rheinmöve-Gelände in Worms, fußläufig zum UNESCO-Weltkulturerbe Heiliger Sand, Dom und Hauptbahnhof
- 6,3 Hektar Fläche Gesamtentwicklung (2,8 Hektar bei Kalkulationen berücksichtigt)

Flächenannahmen in den Szenarien

Die folgende Tabelle zeigt die angenommenen Flächengrößen für Quartier 6 für die Jahre 2025, 2035 und 2050:

Jahr	2025	2035	2050	Einheit
Urban Farming				
Container	4.800	9.600	14.400	m ²
Vertical Indoor Farming	0	9.360	14.040	m ²
Roof-top Greenhouse	9.360	9.360	9.360	m ²

Potenzialbetrachtung

Die folgende Tabelle zeigt das erwartete Potenzial für Quartier 6 anhand ausgewählter Leistungskennzahlen für die Referenzzeiträume bis 2025, 2035 und 2050:

Gesamtpotenzial	Ø	Ø	Ø	Einheit
Gesamte Bruttoproduktion	758	2.241	3.189	t
Gesamte Arbeitsplatz-schaffung	351.933	620.094	888.255	h
Gesamtenergieverbrauch	27.747.851	54.022.984	80.298.118	kWh
Gesamtwasserverbrauch	7.846.516	15.599.433	23.352.349	l
Gesamte Einsparungen Ackerland	241.343	713.288	1.014.984	m ²
Gesamte Landnutzung SEP	170.711	332.261	494.012	m ²
Gesamtumfang THG-Emissionen (Scope 2)	9.573	18.638	27.703	kg CO ₂ e

4.7 Fallstudie 7 – Frankfurt Westside

Unter dem Dach der Swiss Life Asset Managers Deutschland entwickelt die BEOS AG mit Frankfurt Westside den größten gemischt genutzten Gewerbe- und Industriepark Frankfurts. Auf dem 73 Hektar großen Areal des ehemaligen Industrieparks Griesheim sollen künftig Unternehmen – ob mittelständisches Traditionsunternehmen, großer internationaler Wachstumskonzern oder modernes Start-up – passgenaue Flächen, Räume und Lösungen finden. Frankfurt Westside ist optimal erschlossen und mit verschiedenen Verkehrsmitteln gut zu erreichen. Die Lage am Fluss und ein durchdachtes Freiraumkonzept schaffen eine einzigartige Atmosphäre, in der Erholung, Freizeit, Kultur und Begegnung im Mittelpunkt stehen. Mit den Schwerpunkten Kreativität, Innovation, Technologie und Produktion gliedert sich Frankfurt Westside in vier Achsen. Jede Achse bietet unterschiedlich große Flächen und Räume, die auf die individuellen Bedürfnisse der ansässigen Unternehmen zugeschnitten sind. Begrünung, Mobilitätshubs und vielfältige Nutzungsprogramme verbinden die Achsen auf natürliche Weise.

Eckdaten zum Projekt

- 4 Entwicklungsachsen: Erholung, Freizeit, Kultur und Begegnung
- Zentrale Lage auf dem Gelände des ehemaligen Industrieparks Griesheim, eine S-Bahn-Station vom Hauptbahnhof entfernt, am Fluss
- 73 Hektar Fläche Gesamtentwicklung (18 Hektar davon in Kalkulation berücksichtigt)

Flächenannahmen in den Szenarien

Die folgende Tabelle zeigt die angenommenen Flächengrößen für Quartier 7 für die Jahre 2025, 2035 und 2050:

Jahr	2025	2035	2050	Einheit
Urban Farming				
Container	3.098	6.195	9.293	m ²
Vertical Indoor Farming	0	12.000	18.000	m ²
Rooftop Greenhouse	12.000	12.000	12.000	m ²

Potenzialbetrachtung

Die folgende Tabelle zeigt das erwartete Potenzial für Quartier 7 anhand ausgewählter Leistungskennzahlen für die Referenzzeiträume bis 2025, 2035 und 2050:

Gesamtpotenzial	Ø	Ø	Ø	Einheit
Gesamte Bruttoproduktion	709	2.347	3.300	t
Gesamte Arbeitsplatz-schaffung	435.407	763.409	1.091.416	h
Gesamtenergie-verbrauch	30.987.767	60.085.934	89.185.602	kWh
Gesamtwasser-verbrauch	9.515.571	18.910.963	28.306.534	l
Gesamte Einsparungen Ackerland	225.731	747.078	1.050.185	m ²
Gesamte Landnutzung SEP	190.644	369.662	548.690	m ²
Gesamtumfang THG-Emissionen (Scope 2)	10.691	20.730	30.769	kg CO ₂ e

4.8 Vergleichsübersicht im Jahr 2050

Die folgende Tabelle zeigt im Vergleich die jeweiligen Grundflächen im Stadtgebiet sowie die theoretischen Potenziale für Bruttoproduktion, eingesparte Ackerfläche, THG-Emissionen und geschaffene Arbeitsplätze in den Quartieren für das Jahr 2050:

	Grundfläche Quartier	Brutto- produktion³	Eingesparte Ackerfläche	THG- Emissionen	Schaffung Arbeitsstunden
Einheit	ha	t	m ²	kg CO ₂ e	h
Q1	9	4.445	1.414.598	31.258	1.226.336
Q2	10	2.239	712.568	21.614	736.246
Q3	6,6	4.445	1.414.589	43.443	1.633.603
Q4	3,4	2.587	823.307	24.188	861.022
Q5	4,2	2.639	840.033	23.686	797.183
Q6	2,8	3.189	1.014.984	27.703	888.255
Q7	18	3.300	1.050.185	30.769	1.091.416

Der Vergleich zeigt deutliche Unterschiede in der Leistungsfähigkeit. Besonders interessant erscheint, dass Quartier 3 trotz einer wesentlich kleineren Fläche als die Quartiere 1, 2 und 7 Höchstwerte in Bezug auf Bruttoproduktion und geschaffene Arbeitsplätze aufweist. Dies zeigt, wie viel wichtiger als die zur Verfügung stehende Fläche die Intensität ist, mit der RGTH, VIF und UFC jeweils integriert werden können. Diese hängt von der Art und Nutzung der Gebäude auf der Fläche ab. Im Kontrast dazu weist Quartier 2, obwohl es die zweitgrößte Fläche hat, die niedrigsten Werte für alle verglichenen Kennzahlen auf, was auf seine im Verhältnis geringen baulich-räumlichen Integrationsmöglichkeiten für RGTH, VIF und UFC zurückzuführen ist.



Abb. 7: Grundfläche der Quartiere (x-Achse) und Ertragswerte/Jahr (y-Achse).

³ Das verwendete Potenzialberechnungs-Tool bezieht sich hinsichtlich des Produktionspotenzials vergleichend auf den exemplarischen Anbau von Salat. Salat ist aufgrund seiner kurzen Wachstumszeit, des geringen Platzbedarfs und der hohen Nachfrage ein besonders attraktives Anbauprodukt für Urban Farming. Alternativ sind viele weitere Gemüsearten, Microgreens etc. möglich, wie die Praxisanalyse zeigt.

5 Diskussion

5.1 Implikationen für Forschung, Politik und Praxis

Politik und Stadtentwicklung

Um die Potenziale kontrollierter Anbausysteme in urbanen Räumen zu fördern, ist ein fundiertes Verständnis städtischer Ernährungssysteme in Politik und Stadtplanung von entscheidender Bedeutung. Ein wichtiger Schritt in diese Richtung ist die Schärfung des gesellschaftlichen und institutionellen Bewusstseins für die vielfältigen Herausforderungen, denen sich die Lebensmittelversorgung in Zukunft stellen muss, sowie für die zahlreichen Chancen, die sich aus der intelligenten Vernetzung von urbanen Landwirtschaftssystemen mit anderen städtischen Systemen ergeben. Es ist davon auszugehen, dass eine stärkere Anerkennung von Ernährung als öffentliches Anliegen die systematische Integration kontrollierter Anbausysteme in nachhaltige urbane Transformationsprozesse und ihre Berücksichtigung in der Flächennutzungsplanung fördern wird.

Stadtentwicklungspolitik in Deutschland verfügt derzeit nicht über die rechtlichen Befugnisse und Ressourcen, um eine integrierte Ernährungspolitik auf Kommunal- und Quartiers-ebene zu etablieren. Es wäre Aufgabe der Klimapolitik, dafür die Weichen zu stellen, um eine Transformation hin zum vermehrten Einsatz von kontrollierten Anbausystemen für eine klimaneutrale urbane Lebensmittelversorgung zu erleichtern. So könnte z. B. die rechnerische Flächensparnis von kontrollierten Anbausystemen gegenüber der konventionellen Landwirtschaft durch eine Anpassung der Vorschriften in Form eines finanziellen Ausgleichs berücksichtigt werden. Auch die Einrichtung und Beschleunigung von Ausschreibungs- und Genehmigungsverfahren für vertikale Farmen auf Brachflächen, Baulücken und anderen geeigneten ungenutzten

Flächen wie stillgelegten Luftschutzbunkern kann eine wichtige Stellschraube sein, wie andere Länder zeigen. Ebenso kann Politik dazu beitragen, dass Kommunen die notwendigen zeitlichen Ressourcen erhalten, um eine wertvolle beratende Rolle bei der Umsetzung von urbanen Landwirtschaftssystemen zu spielen – sofern fehlende Ressourcen und unklare Verwaltungszuständigkeiten in diesem Zusammenhang überwunden werden.

Unternehmen und Forschung

Für Unternehmen eröffnen sich im Kontext einer urbanen Landwirtschaft vielfältige Perspektiven. Zum einen kann durch die Integration von kontrollierten Anbausystemen in Liegenschaften die Lebensmittelversorgung von Bewohnern oder Mitarbeitenden durch externe Lebensmittellieferanten unterstützt und langfristig vollständig ersetzt werden. Kosteneinsparungen durch die Umgehung von Handels- und Transportmargen bei gleichzeitiger Reduzierung des CO₂-Fußabdrucks sind dabei möglich. Je ernsthafter sich Unternehmen in diese Richtung engagieren, desto mehr wird sich das bestehende Machtgefüge zwischen Konsumenten und Lebensmittelindustrie verändern.

Ebenso eröffnet die Integration von kontrollierten Anbausystemen in Unternehmen neue Wertschöpfung, die mit der Installation, dem Betrieb und der Wartung dieser Systeme verbunden sind. Ein weiterer Vorteil ist die hohe Flexibilität, mit der die Lebensmittelproduktion in kontrollierten Anbausystemen gestaltet werden kann. Dazu kommt die Möglichkeit der hyperlokalen Just-in-time-Produktion in kontrollierten Anbausystemen, die den Energieverbrauch langer Lagerhaltung in der Lieferkette vermeidet und gleichzeitig besonders frische Lebensmittel garantiert.

Pflanzliche und pescetarische Ernährungsweisen, die durch kontrollierte Anbausysteme abgedeckt werden können, sind grundlegend für die Eindämmung des Klimawandels und können die psychische und physische Gesundheit der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter deutlich verbessern. Dazu trägt auch

die hohe Qualitätssicherung in kontrollierten Anbausystemen bei, die zudem die Wahrscheinlichkeit der Entstehung von Abfällen reduziert und ein wertvolles Instrument ist, um Mitarbeitende im Unternehmen zu halten bzw. zurückzugewinnen und ihnen Wertschätzung zu zeigen. Darüber hinaus kann die Integration von kontrollierten Anbausystemen auf einem Betriebsgelände dazu beitragen, das Bewusstsein der Mitarbeitenden für nachhaltige Verhaltensweisen zu schärfen. Vor diesem Hintergrund bieten kontrollierte Anbausysteme auch die Möglichkeit, sich als innovative und nachhaltige Arbeitsorte zu etablieren, sowohl gegenüber Kunden als auch im Sinne des Employer Branding.

Allgemein

Da kontrollierte Anbausysteme bereits Lösungen für kleinste Flächen in den Städten von morgen bieten, finden sich Integrationsmöglichkeiten für jeden Wohn- oder Unternehmensstandort, wie die untersuchten Quartiere und Campusse belegen: Dort, wo hybrides Arbeiten immer mehr ehemals volle Büroräume leert, besteht das größte Potenzial, teuer realisierte oder gemietete Flächen (vgl. Tiefgaragen) effizienter zu nutzen. Die Wirtschaftlichkeit von kontrollierten Anbausystemen für Unternehmen hängt einerseits stark von den Möglichkeiten ab, erneuerbare Energiesysteme vor Ort zu etablieren. Je günstiger diese in Anschaffung und Unterhalt sind, desto schneller ist die Amortisation im Vergleich zu extern bezogener Energie und desto attraktiver werden Investitionen in vertikale Farmen.

Entscheidend sind hierzu weniger hohe Anfangsinvestitionen in einzelnen Projekten, sondern eine zukunftsgerichtete strategische Vorrüstung über entsprechende Nutzungsszenarien, das Experimentieren und Pilotieren mit Partnern über Branchengrenzen hinweg und das Hinarbeiten zu innovationsförderlichen Regulierungen und Anreizen seitens Politik (z. B. durch Richtlinien, Experimentierklauseln, Pilotprojekte).

5.2 Kritische Reflektion und Ausblick

Die vorliegende Potenzialanalyse sollte anhand von beispielhaften Quartiersentwicklungen aufzeigen, welche theoretischen Potenziale in der gezielten Anwendung unterschiedlicher Anbausysteme in den gebauten Strukturen und deren ungenutzten Flächen liegen können (Dächer, Tiefgaragen, leerstehende Innenräume). Viele aktuelle Trends deuten darauf hin, dass einerseits zunehmender Handlungsdruck von außen in der laufenden Transformation unserer Lieferketten, Städte, Konsummuster und vielem mehr entsteht, und andererseits Quartiere selbst hinreichend Chancen bieten über Veränderungen im Lebenszyklus bis 2050 nachzudenken. Politische Missionen wie der Wandel hin zu zirkulären Wirtschaftsformen können diese Entwicklung beschleunigen.

Vor allem mit Blick auf innovative Entwicklungen in anderen Ländern (vgl. Kanada, Niederlande, Schweden, Singapur, ...) ist es für Stadt- und Quartiersentwicklung empfehlenswert sich mit der Thematik heute schon intensiver zu befassen. Idealerweise entstehen in den nächsten Jahren erste Pilot- und Innovationsprojekte in Quartieren, die Aufwand und Nutzen in der Praxis untersuchen können und als Referenzen für mehr und mehr Folgeprojekte dienen. Nachdem mit dem Einzug der Industrialisierung in die Städte die damalige Landwirtschaft im 19. Jahrhundert sukzessive verdrängt wurde, scheint sich eine Trendwende mit ganz neuen Potenzialen und Technologien für hyperlokale urbane Lebensmittelerzeugung für die Städte und Quartiere von morgen anzukündigen.

Abschließend ist es wichtig darauf hinzuweisen, dass in der vorliegenden Studie empirische und explorative Methoden kombiniert angewendet wurden. Es wurden aufgrund fehlender Erkenntnisse und zur Vergleichbarkeit einzelner Objekte heuristische Annahmen getroffen (z. B. Salat als Primärerzeugnis). Dennoch sollten die Ergebnisse hinreichend sein, um weiterführende Aussagen und Maßnahmen daraus ableiten zu können.

6 Anhang

6.1 Literatur- und Quellenverzeichnis

Fachliteratur

- Buscher, J., Bakunowitsch, J., Specht, K. (2023). Transformative Potential of Vertical Farming—An Urban Planning Investigation using Multi-Level Perspective. *Sustainability*, 15(22), 15861. <https://doi.org/10.3390/su152215861>
- Cockrall-King, J. (2012). Food and the City: Urban Agriculture and the New Food Revolution. *Choice Reviews Online*, 49(12), 49–6846. <https://doi.org/10.5860/choice.49-6846>
- Haberzettl, J. (2022). A KPI-based model for the quantitative assessment of economic and environmental potentials of urban farming systems. Masterthesis im Studiengang Bioeconomy, Universität Hohenheim.
- Jering, A., Klatt, A., Seven, J., Ehlers, K., Günther, J., Ostermeier, A., Mönch, L. (2019): Globale Landflächen und Biomasse - nachhaltig und ressourcenschonend nutzen. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. S. 12.
- Kalantari, F., Tahir, O. M., Joni, R. A., Fatemi, E. (2018). Opportunities and Challenges in Sustainability of Vertical Farming: A review. *Journal of Landscape Ecology*, 11(1), 35–60. <https://doi.org/10.1515/jlecol-2017-0016>
- Mbow, C., Rosenzweig, C., Barioni, L.G., Benton, T.G., Herrero, M., Krishnapillai, M., Liwenga, E., Pradhan, P., Rivera-Ferre, M.G., Sapkota, T., Tubiello, F.N., Xu, Y. 2019. Food security. *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate*, 437–550. <https://www.ipcc.ch/srcccl/ chapter/chapter-5/>
- Payen, F. T., Evans, D., Falagán, N., Hardman, C. A., Kourmpetli, S., Liu, L., Marshall, R., Mead, B. R. & Davies, J. (2022). How much food can we grow in urban areas? Food production and Crop Yields of Urban Agriculture: A Meta-Analysis. *Earth's Future*, 10(8). <https://doi.org/10.1029/2022ef002748>
- Petrovics, D., Giezen, M. (2021). Planning for Sustainable Urban Food Systems: An analysis of the up-scaling potential of vertical farming. *Journal of Environmental Planning and Management*, 65(5), 785–808. <https://doi.org/10.1080/09640568.2021.1903404>
- Van Delden, S., SharathKumar, M., Butturini, M., Graamans, L., Heuvelink, E., Kaçira, M., Kaiser, E., Klamer, R. S., Klerkx, L., Kootstra, G., Loeber, A., Schouten, R., Stanghellini, C., Van Ieperen, W., Verdonk, J. C., Violet-Chabrand, S., Woltering, E., Van De Zedde, R., Zhang, Y. & Marcelis, L. (2021). Current status and future challenges in implementing and upscaling vertical farming systems. *Nature Food*, 2(12), 944–956. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00402-w>
- Van Gerrewey, T., Boon, N., Geelen, D. (2021). Vertical farming: the only way is up? *Agronomy*, 12(1), 2. <https://doi.org/10.3390/agronomy12010002>

Internetquellen

- Agritechfuture. (2023). How far can vertical farming go? <https://www.agritechfuture.com/vertical-farming/how-far-can-vertical-farming-go/>
- Agriitecture. (2023). 4 NEW TRENDS SHAPING THE FUTURE OF URBAN AGRICULTURE IN 2022. <https://www.agriitecture.com/blog/2022/2/1/4-new-trends-shaping-the-future-of-urban-agriculture-in-2022>
- Andrews, K. (2013). Pasona Urban Farm by Kono Designs. Dezeen. <https://www.dezeen.com/2013/09/12/pasona-urban-farm-by-kono-designs/>
- Colliers. (2023). Bürovermietung, Investment. https://www.colliers.de/wp-content/uploads/2023/07/Colliers_Stuttgart_Buerovermietung_Investment_2023-q2_de.pdf
- Cooper, A. (2017). GOING UP? VERTICAL FARMING IN HIGH-RISES RAISES HOPES. Pacific Standard. <https://psmag.com/environment/farming-in-high-rises-raises-hopes-3705>
- FAO. (o.D.). The urban, peri-urban and family agriculture program in Cuba and municipal self-sufficiency in food supply. <https://www.fao.org/platforms/family-farming/recursos/experiencias/projects-detail/the-urban-peri-urban-and-family-agriculture-program-in-cuba-and-municipal-self-sufficiency-in-food-supply/>
- Franke, S. (2020). Warum "Vertical Farming" lebenswichtig für die Weltbevölkerung werden könnte. RND. <https://www.rnd.de/wirtschaft/warum-vertical-farming-lebenswichtig-fur-die-weltbevölkerung-werden-konnte-KDIOIA7Q6BGLF-BZSYWNXZJYDCQ.html>
- Fraunhofer IAO. (2023). Eigene Analysen auf Basis von Fallstudien (reine Anbaufläche).
- Glick, M. (2023). Robotic Bees Could Support Vertical Farms Today and Astronauts Tomorrow. Scientific American. www.scientificamerican.com/article/robotic-bees-could-support-vertical-farms-today-and-astronauts-tomorrow/
- Grow Up Group. (o.D.). Website. <https://growupfarms.co.uk/>
- Hlavac, C. (2021). Die Turmglashäuser des Othmar Ruthner - Vertical farming 1.0. Stadt+Gruen. <https://stadtundgruen.de/artikel/gewaechshauskultur-sollte-in-1960er-jahren-ernaehrung-revolutionieren-die-turmglashaeuser-des-othmar-ruthner-vertical-farming-10-5829>
- Hüfner, D. (2023). Infarm flüchtet offenbar vor hohen Energiepreisen aus Europa. Business Insider. <https://www.businessinsider.de/gruenderszene/food/infarm-fluechtet-vor-hohen-energiepreisen-aus-europa/>
- Janson, M. (2020). Fleischesser belasten das Klima stärker. Statista. <https://de.statista.com/infografik/20492/co2-ausstoss-verschiedener-ernaehrungsweisen/>
- JLL. (2022). Urban Evolution. <https://www.jll.de/de/trends-and-insights/research/urban-evolution>
- Knupp, A., Schafiyha, L. (2023). Das sind die größten Städte Deutschlands nach Einwohnerzahl. Wirtschaftswoche. <https://www.wiwo.de/erfolg/trends/ranking-2023-das-sind-die-groessten-staedte-deutschlands-nach-einwohnerzahl/27461152.html>
- Lufa Farms. (o.D.) Website. <https://montreal.lufa.com/en/farms>
- Quarks. (2019). So groß ist der Anteil unserer Ernährung an den Treibhausgas-Emissionen. www.quarks.de/umwelt/klimawandel/so-gross-ist-der-anteil-unserer-ernaehrung-an-den-treibhausgasen/
- Sax, M. (2023). Artikel Kopfzeile: Urban Farming Urban Farming: So sinnvoll sind Gemüse und Obst vom Dach. Quarks. <https://www.quarks.de/umwelt/landwirtschaft/so-sinnvoll-ist-gemuese-und-obst-vom-dach/>
- Statista. (2023a). Pro-Kopf-Konsum von Gemüse in Deutschland in den Jahren 1950/51 bis 2021/22. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/176731/umfrage/pro-kopf-verbrauch-von-gemuese-in-deutschland/>
- Statista. (2023b). Selbstversorgungsgrad bei Gemüse in Deutschland in den Jahren 2002/03 bis 2021/22. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/76634/umfrage/selbstversorgungsgrad-mit-gemuese-in-deutschland/>
- Tan, G. (2021). AeroFarms to Go Public in \$1.2 Billion Spring Valley SPAC Deal. <https://www.bloomberg.com/news/articles/2021-03-26/aerofarms-to-go-public-in-1-2-billion-spring-valley-spac-deal>
- WWF. (2022). Der große Durst. <https://www.wwf.de/2022/august/der-grosse-durst>

**Internetauftritte der betrachteten
Quartiersentwicklungen:**

Werksviertel-Mitte München:
<https://werksviertel-mitte.de/>

Fraunhofer IZS-Campus Stuttgart:
<https://www.stuttgart.fraunhofer.de/>

Stadtmacherei Eimsbüttel:
<https://stadtmacherei-eimsbuettel.de/>

Der Neue Stöckach Stuttgart:
<https://www.enbw.com/stoekach/>

Licht-Luftbad-Quartier Worms:
<https://www.licht-luftbad-quartier.de/>

Frankfurt Westside:
<https://www.frankfurt-westside.de/>

Impressum

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO

Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart
www.iao.fraunhofer.de

Kontakt

Frederic Schubert
Tel. +49 711 970-5174
frederic.schubert@iao.fraunhofer.de

Steffen Braun
Tel. +49 711 970-2022
steffen.braun@iao.fraunhofer.de

Fraunhofer-Publica

<http://dx.doi.org/10.24406/publica-3248>

Titelbild

© Fraunhofer IAO, generiert mit DALL-E 3

Satz und Gestaltung

Franz Schneider, Fraunhofer IAO

