

VERTICAL FARMING

EIN LÖSUNGSANSATZ FÜR DIE NACHHALTIGE STADT VON MORGEN?



Bild 1: Vertikale Farm Konzepte

Im Jahr 2011 lebten nach Angaben der Vereinten Nationen 7 Milliarden Menschen auf der Erde und bis zum Jahr 2080 wird sich dieser Wert voraussichtlich nahezu verdoppeln. Dabei kann ein Trend ausgemacht werden: Immer mehr Menschen ziehen in die Stadt! Analysten gehen davon aus, dass bis zum Jahr 2025 über 5 Milliarden Menschen in Städten oder urbanen Gebieten leben werden. Die Ausbreitung von Städten durch die Verschmelzung mit Vororten und Trabantenstädten zu riesigen Metropolen mit mehr als 10 Millionen Einwohnern, den sogenannten Mega-Cities, schreitet immer mehr voran. Beispiele hierfür sind Tokio, New York und Peking. Dabei konsumiert die Stadt von heute Unmengen an Ressourcen wie z.B. Energie, aber auch Nahrung. Diese Nahrung wird meist über weite Strecken in die Stadt transportiert, wobei viele Nahrungsmittel (z.B. Gemüse/Obst) verderben. Hinzu kommt, dass das für die globale Landwirtschaft verwendete Land begrenzt ist und extreme Naturphänomene wie Überschwemmungen, Waldbrände/ Dürreperioden oder Stürme hohe Ernteausfälle zur Folge haben.

Diese Herausforderungen können nicht nur durch die ausschließliche Erweiterung des bereits genutzten Agrarlandes gelöst werden. Zukünftiges Ziel muss es deshalb sein, den Nahrungoutput pro Anbaufläche zu erhöhen und Pflanzen unabhängig von Naturphänomenen in Nähe zum Konsumenten anzubauen.

Eine der Ideen, die momentan in wissenschaftlichen Kreisen diskutiert wird, ist das Konzept des Vertical Farmings. Hier sollen Nahrungsmittel direkt in der Stadt angebaut werden. Der Anbau von Nutzpflanzen erfolgt dabei auf vertikal gestapelten Ebenen in (meist hohen) Gebäuden, den Vertikalen Farmen (Bild 1).

Entkoppelt von ihrer natürlichen Umgebung werden die Nutzpflanzen unter exakt kontrollierten Umgebungsbedingungen mit Hilfe von sogenannten Controlled Environment Agriculture (CEA) Technologien angebaut.

Eine Gruppe von Wissenschaftlern am Institut für Raumfahrtssysteme des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Bremen beschäftigt sich seit dem Jahr 2011 mit dieser Thematik. Die Forschungsgruppe namens EDEN (Evolution & Design of Environmentally-closed Nutrition-Sources) entwickelt normalerweise bioregenerative Lebenserhaltungssysteme für die bemannte Raumfahrt. Die

Forscher konzipieren dabei spezielle Gewächshausmodule für planetare Habitate für Mond und Mars. Diese Gewächshausmodule produzieren dann die Nahrung für die Astronauten während zukünftiger Langzeitmissionen auf dem anderen Himmelsgestirn.

Die CEA-Technologien, die in der EDEN-Gruppe entwickelt werden, können aber auch auf der Erde Anwendung finden und zwar zur Nahrungsmittelproduktion in Mega-Cities. Zu diesem Zweck wurde im Rahmen einer Designstudie am DLR eine erste technische- sowie ökonomische Bewertung einer Vertikalen Farm durchgeführt. In der Designstudie wurden alle wichtigen CEA-Technologien in die Vertikale Farm implementiert.

Licht

Einerstes Beispiel für CEA-Technologien sind die Hochleistungs-LED-Systeme. Die Verwendung von Hochleistungs-LEDs ermöglicht es, die Beleuchtungsverhältnisse für die Kulturpflanzen in der Vertikalen Farm optimal zu steuern. Diese LEDs besitzen ein auf die Photosynthese und die einzelnen Wachstumsphasen der Pflanze abgestimmtes Lichtspektrum (z.B. rot,

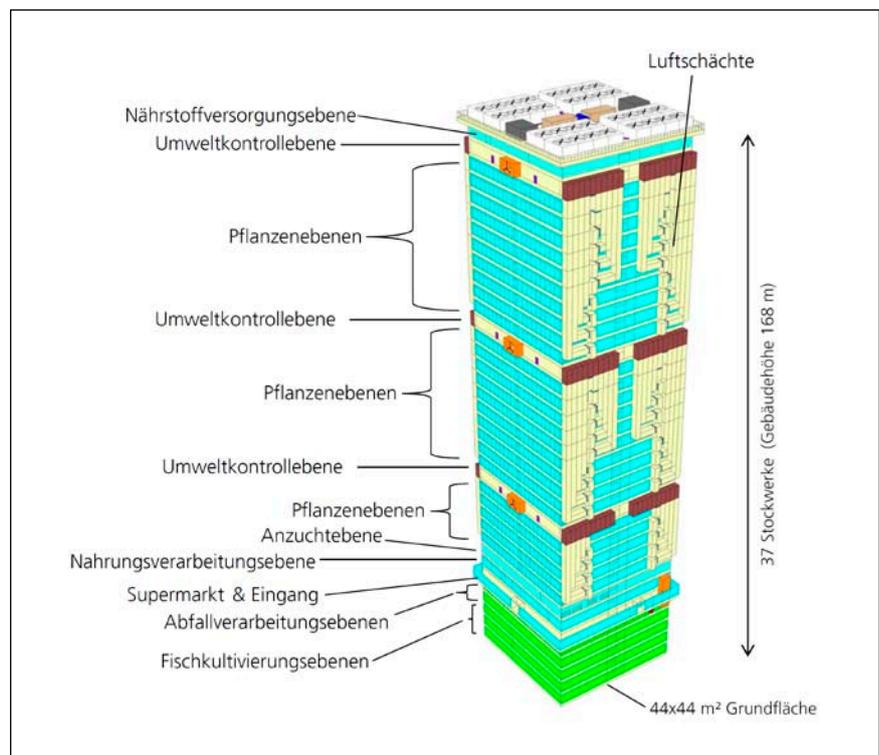


Bild 2: Innere Struktur der Vertikalen Farm

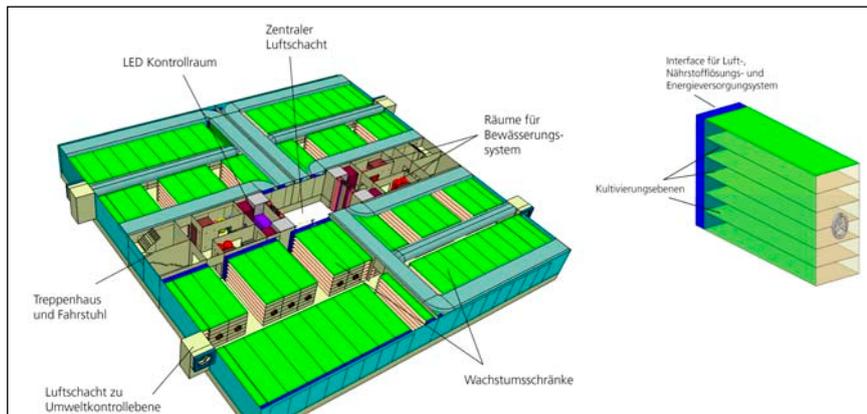


Bild 3: Links: Aufbau der Pflanzenebenen der Vertikalen Farm; Recht: Design der beweglichen Wachstumsschranke

blau und ultraviolett). So ist es möglich, die Pflanzenqualität bis zur Ernte (Geschmack) zu verbessern sowie die Anreicherung mit positiven Inhaltsstoffen wie Vitaminen zu erhöhen. Hinzu kommen die durch die LEDs möglichen längeren Beleuchtungsperioden der Pflanzen, die in schnellerem Pflanzenwachstum und somit kürzeren Wachstumszyklen resultieren. Somit kann schneller und folglich mehr Ertrag pro Jahr generiert werden.

Durch die geringe Größe der LEDs und eine niedrige Wärmeentwicklung in Richtung der Pflanzen, können die LED-Systeme auch innerhalb der Pflanzenstruktur platziert werden, um Blätter in unteren Bereichen der Pflanze mit Licht zu versorgen. Diese Technik wird Intra Canopy Lighting genannt und erhöht den Ertrag noch weiter.

Erdlose Anzucht

Eine weitere CEA-Technologie die Verwendung findet, ist die Aeroponik. Das Grundprinzip dieser Anbaumethode ist es, die Pflanzen ohne ein Wachstumsmedium wie zum Beispiel Erde zu kultivieren. Dabei hängen die Wurzeln frei in der Luft und werden in regelmäßigen Abständen mit einer Wasser-Nährstofflösung besprüht. Auf diese Art erhöht sich der Sauerstoffgehalt im Wurzelsystem, welcher sich positiv auf das Pflanzenwachstum auswirkt (→ verbesserte Nährstoffaufnahme) und höheren Ernteertrag zur Folge hat.

Neben niedrigem Wasserverbrauch ergeben sich aber auch weitere Vorteile für dieses Verfahren. Durch den Verzicht auf ein Wachstumsmedium kommt es zu einem geringeren Kontakt der Pflanzen

untereinander. Dies hat zur Folge, dass die Möglichkeit zur Übertragung von Krankheiten reduziert wird und so die Pflanzdichte erhöht werden kann.

Atmosphäre

Die Bereitstellung einer optimalen Luftzusammensetzung für die Anzucht der Pflanzen gehört ebenfalls zu der Gruppe von CEA-Technologien. Hierbei wird der Pflanzraum aktiv mit Kohlenstoffdioxid (CO₂) begast. Durch den Prozess der Photosynthese wird innerhalb der Pflanze Wasser zusammen mit Nährstoffen und CO₂ mit der Hilfe von Licht in Sauerstoff (O₂), Wasser und Biomasse umgewandelt. Studien haben gezeigt, dass das Pflanzenwachstum durch ein erhöhtes CO₂-Level um bis zu 30–40 % beschleunigt und der Ertrag um bis zu 40 % erhöht werden kann.

Die Vertikale Farm erlaubt es mit Hilfe dieser CEA-Technologien mehr und schneller Nahrung auf einer bestimmten Grundfläche zu produzieren als mit herkömmlichen Verfahren (wie zum Beispiel auf dem offenen Feld oder in herkömmlichen Gewächshäusern). Eine Vertikale Farm zeichnet sich dabei durch folgende Vorteile aus:

- Ganzjährige Ernte (selbst während Winter- und trockener Sommerperioden)
- Weltweite Anwendbarkeit – sogar in Gebieten, in denen traditionelle Landwirtschaft nicht oder nur partiell möglich ist
- Schnellere Produktion von Kulturpflanzen bei gleichzeitig höheren Erträgen durch Nutzung von CEA-Technologien
- Keine Ernteauffälle aufgrund von Wettererscheinungen wie Hagel oder heftigen Stürmen
- Senkung von Transportzeiten und somit Kosten durch den Anbau von Pflanzen direkt beim Konsumenten
- Starke Reduzierung des Gebrauchs von Pestiziden/Insektiziden (Schonung des Bodens und somit des Grundwassers)
- Konsument von CO₂ bei gleichzeitiger Abgabe von O₂

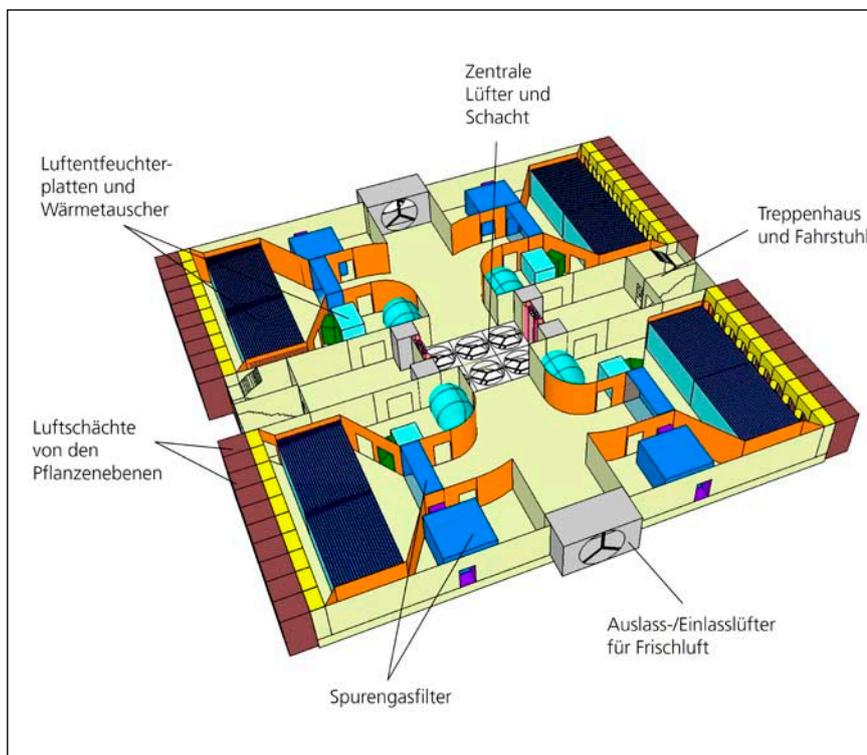


Bild 4: Aufbau der Umweltkontrolllebenen der Vertikalen Farm

Das Ergebnis der DLR Designstudie ist ein Produktionsgebäude, wie Bild 2 veranschaulicht, bestehend aus 37 Stockwerken mit einer Gesamthöhe von 168 m, wobei sich fünf Etagen unter der Erdoberfläche befinden. Das Gebäude besitzt eine quadratische Grundfläche mit den äußeren Abmaßen 44 x 44 m². In der Vertikalen Farm des DLRs werden insgesamt zehn verschiedene Kulturpflanzen produziert (z.B. Salat, Kohl, Radieschen,

Tomaten, Erdbeeren) mit einem jährlichen Gesamternteertrag von ca. 4.900 t. Dies entspricht über 13 t Gemüse/ Obst pro Tag.

Der Produktionsprozess beginnt auf der Anzuchtebene, wo die Samen der Kulturpflanzen zur Keimung gebracht werden. Hiernach werden sie auf die zentralen Produktionsflächen der Vertikalen Farm, die sogenannten Pflanzenebenen, transportiert.

Die Vertikale Farm besitzt insgesamt 25 solcher Pflanzenebenen (Bild 3) mit rein künstlicher LED-Beleuchtung. Durch die Verwendung von beweglichen Wachstumsschranken wird eine optimierte Gesamtanbaufläche von ca. 93.000 m² im Gebäude erreicht.

Mit Hilfe der drei Umweltkontrollenebenen (Bild 4) wird das Anbauklima d.h. Lufttemperatur, relative Luftfeuchtigkeit sowie benötigtes CO₂-Level gezielt reguliert, um einen maximalen Ertrag zu erreichen. Ein Luftschacht in der Mitte des Gebäudes ist für die Frischluftzufuhr verantwortlich. Dabei wird die CO₂-angereicherte Luft von den Umweltkontrollenebenen zu den einzelnen darunterliegenden Pflanzenebenen transportiert. Nachdem die Luft durch die Pflanzenebenen geströmt ist, wird sie durch seitlich am Gebäude angebrachte Luftschächte wieder zu den Umweltkontrollenebenen transportiert. Hier werden Verunreinigungen und Spurengase wie zum Beispiel Ethylen (ein Pflanzenhormon) aus der Luft herausgefiltert. Der Wasserdampf in der Luft wird durch Luftentfeuchter zurückgewonnen und in den Wasserkreislauf der Vertikalen Farm zurückgeführt. „Wasser verlässt die Vertikale Farm nur in Form von Obst und Gemüse. Abzüglich der gewonnenen Produkte handelt es sich daher um ein geschlossenes Kreislaufsystem“, erklärt Conrad Zeidler, Wissenschaftlicher Mitarbeiter des DLRs und Hauptverantwortlicher des Vertical Farming Projekts.

Neben dem Anbau von Pflanzen werden in der Vertikalen Farm auch Fische kultiviert (100 t Filet/Jahr). Dafür existieren drei Fischkultivierungsebenen mit insgesamt über 30 Fischponds im Untergeschoss des Gebäudes. Die Sorte Tilapia, eine Gattung afrikanischer Buntbarsche, wird hier herangezüchtet. Die Buntbarsche bekommen, neben einer Zufütterung von speziellem Fischfutter, einen Teil der Pflanzenreste (z.B. Blätter, Wurzeln) aus den Pflanzenebenen.

Sowohl das frische Obst und Gemüse als auch die Fische werden auf der Nahrungsverarbeitungsebene gesäubert, verarbeitet und für den Verkauf im hausinternen Supermarkt (im Erdgeschoss) verpackt.

Der Hauptteil der Pflanzenreste wird nicht an die Fische verfüttert, sondern gelangt zusammen mit den Fischresten (z.B. Kopf und Gräten) durch einen Abfallschacht zu den zwei Abfallverarbeitungsebenen im Keller der Vertikalen Farm. Hier wird der Abfall in insgesamt zehn kleinen Biogasdomen zu Biogas verarbeitet. Das aus dem Biogas gewonnene Methan wird in einer Turbine zur Energiegewinnung genutzt und in das interne Hausnetz zurückgespeist. Das gewonnene CO₂ (ein Nebenprodukt der Methangewinnung) wird zur Anreicherung der Luft auf den Pflanzenebenen verwendet und von den Pflanzen aufgenommen. Ein weiterer Stoffkreislauf ist geschlossen.

„Natürlich besitzt ein solches Konzept auch einige Herausforderungen, die im Laufe der folgenden Jahre gelöst werden müssen“, sagt Conrad Zeidler. „Neben den hohen Investitionskosten für die Errichtung einer Vertikalen Farm ist der Energiebedarf momentan noch zu hoch. Die Vertikale Farm benötigt insgesamt 150.800 MWh Strom pro Jahr. Hier müssen wir in den nächsten Jahren noch weitere Forschung betreiben, um den Energiebedarf zu senken.“

Um die wirtschaftliche Umsetzbarkeit zu untersuchen, wurde am DLR auch eine ökonomische Betrachtung durchgeführt. Dazu wurden die Gebäudekosten, die innere Ausstattung (z.B. LED-Systeme) sowie die jährlichen Betriebskosten (z.B. Stromverbrauch, Personal, Dünger, Wasser) kalkuliert. Um die Vertikale Farm betreiben zu können, ergeben sich jährliche Gesamtkosten in Höhe von ca. 62 Millionen Euro. Die Hauptkostentreiber sind dabei:

- der Energieverbrauch mit einem Anteil von 45 %,
- die auf 30 Jahren verteilten jährlichen Kosten für die initiale Gebäudeerrichtung und Ausstattung mit 23 % sowie
- die Wartungs- und Instandhaltungskosten mit 23 %.

Um diese Ausgaben decken zu können, ist ein minimaler durchschnittlicher Verkaufspreis für das Obst/ Gemüse sowie Fisch von 12,54 €/kg erforderlich. Dieser Preis erscheint recht hoch. DLR interne Analysen haben aber gezeigt, dass der Preis durch verschiedene Maßnahmen gesenkt werden kann – allerdings momentan nur bis zu einem Preis von ca. 3–5 €/kg.

Vergleicht man jedoch den Output der Vertikalen Farm mit dem der traditionellen Landwirtschaft ergibt sich ein starker Flächenvorteil, der gerade in Mega-Cities

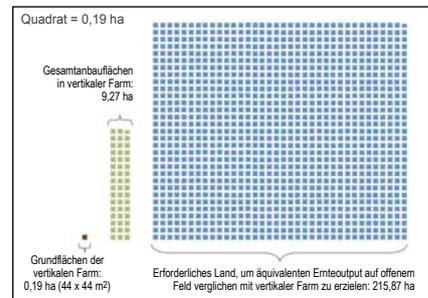


Bild 5: Vergleich des Ertrags einer Vertikalen Farm mit dem der traditionellen Landwirtschaft

besonders wertvoll ist. Um einen äquivalenten Ernteoutput auf offenem Feld zu erzielen, wird ein um den Faktor 1.115 größeres Areal an Fläche benötigt (0,19 ha vs. 215,87 ha). Bild 5 verdeutlicht diesen enormen Unterschied. Durch den Anbau von Pflanzen in einer Vertikalen Farm in Zusammenspiel mit den gesteigerten Erträgen durch den gezielten Einsatz von CEA-Technologien, kann das begrenzte Land effizienter genutzt werden.

Die DLR Studie hat gezeigt, dass Technologien zur Kreislaufschließung, wie sie in zukünftigen Habitaten auf Mond und Mars zum Einsatz kommen werden, auch auf der Erde Lösungsansätze bieten, um die innerstädtischen Probleme von Mega-Cities zu lösen. „Wir werden weiter an den Herausforderungen dieser Idee arbeiten und sind zuversichtlich, in den nächsten Jahren geeignete Lösungs- und Optimierungsansätze zu finden“, ergänzt Conrad Zeidler.

Weiterführende Links:

Forschergruppe EDEN Website:

■ http://www.dlr.de/irs/en/desktopdefault.aspx/tabid-9327/14668_read-39524

Präsentation des DLR Vertical Farming Projektes in Washington, 2012:

■ www.youtube.com/watch?v=MqEU7-9jdDs

Association for Vertical Farming Website:

■ www.vertical-farming.net

ZU DEN AUTOREN:

► *Dipl. Wi.-Ing. Conrad Zeidler*
Institut für Raumfahrtsysteme des Deutschen Zentrums für Luft und Raumfahrt

► *Dipl. Wi.-Ing. Daniel Schubert*
Institut für Raumfahrtsysteme des Deutschen Zentrums für Luft und Raumfahrt