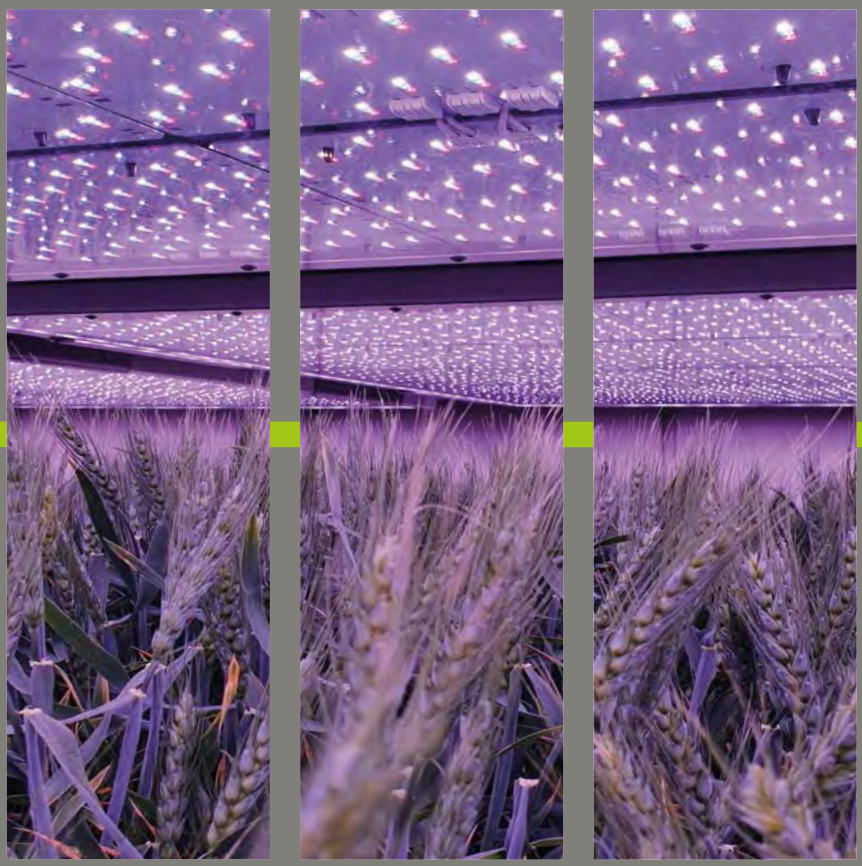


dafa

Deutsche Agrarforschungsallianz

**Fachforum Controlled Environment Agriculture**

# Agrarwirtschaft in kontrollierten Produktionssystemen – Ernährungssicherung und Exportchancen

Forschungsstrategie der Deutschen Agrarforschungsallianz

## Impressum

**Fachforum**
**Controlled Environment Agriculture**
**Agrarwirtschaft in kontrollierten Produktionssystemen – Ernährungs-sicherung und Exportchancen**

Forschungsstrategie der
Deutschen Agrarforschungsallianz

**Herausgeber**
Deutsche Agrarforschungsallianz (DAFA)
c/o Thünen-Institut
Bundesallee 50
38116 Braunschweig

**Ansprechpartner**
Martin Köchy, Martin Erbs
Telefon: +49 (0) 531 596-1017/-1019
E-Mail: info@dafa.de

**Redaktion, Inhalt, Konzept**
Verantwortliche Autoren siehe Seite 38

**Layout und Gestaltung**
ANT – Agentur für Nachhaltigkeit
und Transformation UG

**Nutzungsrechte**
© 2026 bei den Autoren. Text und Abbildungen (außer Fotos) dürfen gemäß der Creative-Commons-Lizenz CC-BY-4.0 mit Quellenangabe verwendet werden (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

**Bildnachweis**
Alle Rechte vorbehalten: Senthold Asseng/Technische Universität München (Titel, S. 17, 22, Rückseite); Heike Mempel/Hochschule Weihenstephan-Triesdorf (S. 11, 13, 14, 34); Sebastian Deck/Hochschule Osnabrück (S. 4, 9, 15, 18, 26, 27); Andreas Vilcinskas/Justus-Liebig-Universität Gießen (S. 5, 29); Dietmar Prucker/Hochschule Weihenstephan-Triesdorf (S. 24, 34); Martin Köchy/Thünen-Institut (S. 28, 37, 39, 42); Frauenhofer IME (S. 31); Tom Wilke/Frauenhofer IME (S. 23); ifarm.fi/Wikimedia CC BY-SA-4.0 (S. 14, 16); Ilnar A. Salakhiev/Wikimedia CC BY-3.0 (S. 6); Philipp Aiglstorfer/Hochschule Weihenstephan-Triesdorf (S. 8, 12); Valcenteu/ Wikipedia CC BY-SA-3.0 (S. 30); Johannes Graupner/Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (S. 32)

**Stand** 07/2026

Die Forschungsstrategie ist als Volltext abrufbar unter www.dafa.de

ISBN 978-3-86576-314-3

Senthold Asseng, Hildegard Garming, Claudia Luksch, Werner Kloas, Oliver Körner, Heike Susanne Mempel, Stefan Streif, Andreas Ulbrich, Christian Ulrichs, Andreas Vilcinskas, Ute Katharina Vogler, Martin Erbs, Martin Köchy. Fachforum Controlled Environment Agriculture : Agrarwirtschaft in kontrollierten Produktionssystemen — Ernährungssicherung und Exportchancen : Forschungsstrategie der Deutschen Agrarforschungsallianz", Braunschweig, 2026. DOI: 10.3220/253-2026-182.

**Fachforum Controlled Environment Agriculture**

# Agrarwirtschaft in kontrollierten Produktionssystemen – Ernährungssicherung und Exportchancen

Forschungsstrategie der Deutschen Agrarforschungsallianz

## Inhaltsverzeichnis


Das Wichtigste in Kürze ... 2

1 Motivation ... 6

2 Die Möglichkeiten von CEA ... 8

3 Stand der Technik, global ... 12

4 Technologieexport als Beitrag zum Bruttoinlandsprodukt ... 14

5 Forschung für CEA ... 16

6 Marktführerschaft bei CEA-Technologie ... 18

6.1 Höhere Produktionseffizienz ... 19

6.2 Wirtschaftlichkeit ... 20

6.3 Höhere Systemeffizienz, verringerte Umwelt- und Gesundheitsbelastungen ... 20

6.4 Höhere Produktqualität und Verbrauchervertrauen ... 22

6.5 Etablierung von CEA-Anlagen: Bau, Modularisierung, Skalierung ... 24

6.6 Anforderungen an Forschung und Innovation ... 25

7 Deutschland als Pilotmarkt ... 26

8 Rahmenbedingungen ... 30

9 Strategische Priorisierung der Maßnahmen ... 34

10 Zusammenfassung ... 36

Beiträge zum Inhalt ... 38

Entstehung der Strategie ... 40

Mitglieder der DAFA ... 42

# Das Wichtigste in Kürze

### *Forschungsstrategien der DAFA*

*Eine DAFA-Forschungsstrategie zielt auf eine grundlegende Verbesserung des Strategiethemas ab. Um die Kern-Herausforderungen des Agrarsektors adressieren zu können, muss dabei die traditionell naturwissenschaftlich-technisch ausgerichtete Forschung Allianzen mit anderen Forschungsrichtungen bilden (z.B. Ökonomie, Umweltrecht). Die Strategie soll politischen Entscheidungsträgern auf Bundes- und Landesebene eine Orientierungshilfe in Bezug auf die Kern-Herausforderungen bieten. Hierbei geht es ausdrücklich nicht darum, eine komplette wissenschaftliche Übersicht (Review) zu erstellen oder alle möglichen Forschungsthemen mit Bezug zum Strategiethema aufzulisten; insofern erhebt die Strategie auch nicht den Anspruch, künftige Bekanntmachungen von Forschungsförderern einzugrenzen.*

*Für eine erfolgversprechende Strategie ist es unabdingbar, (a) ein Ziel in den Mittelpunkt zu stellen, das gesellschaftlich konsensfähig und hinreichend klar formuliert ist, und (b) einen Maßnahmenkatalog abzuleiten, der die knappen Ressourcen konsequent auf dieses Kernziel ausrichtet. Der Text der vorliegenden Forschungsstrategie ist entsprechend aufgebaut.*

*Der Inhalt wurde von einem Gremium von Fachleuten aus dem Kreis der Mitgliedseinrichtungen der DAFA erstellt. Entwürfe der Strategie wurden öffentlich vorgestellt und diskutiert. Die Strategie wurde von den Mitgliedseinrichtungen der DAFA als Strategie der DAFA verabschiedet.*

**Ziel**
CEA leistet in Deutschland einen relevanten Anteil der agrarischen Wertschöpfung, indem CEA-Produktionssysteme an Standorten, wo dies sinnvoll und wirtschaftlich und ökologisch vertretbar ist, etabliert werden.

| | | |
|---|---|---|
| CEA lohnt sich betriebswirtschaftlich | CEA-Produktion ist energetisch günstig | CEA-Produktion ist ressourcenschonend |
| Kultivierung und Ernte sind effizient | CEA-Produkte sind standardisierbar und haben hohe Qualität | Beitrag zur globalen Ernährungssicherung durch Technikexport ist hoch |

***Die nachfolgende Strategie zeigt auf, wie die Lebensmittelproduktion in Systemen mit kontrollierter Umgebung (Controlled Environment Agriculture, CEA) einen zentralen Beitrag zur globalen Ernährungssicherung innerhalb der planetaren Grenzen leisten kann.*** *Die Strategie wurde von führenden Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern erarbeitet und öffentlich intensiv diskutiert.*

Die Ernährung einer wachsenden Weltbevölkerung mit bestehenden agrarwirtschaftlichen Produktionssystemen stößt an ökologische Belastungsgrenzen, besonders bei Klima, Biodiversität, Nährstoffausträgen und Flächenverbrauch. CEA kann diesen Druck erheblich reduzieren, indem Pflanzen, Pilze, Insekten, Krebstiere (z.B. Garnelen) und Fische in weitgehend geschlossener Kreislaufwirtschaft produziert werden.

*Aeroponische Anzucht von Moringa*

## CEA-Technologie als Exportgut und Beitrag zu den globalen Nachhaltigkeitszielen

Deutschland verfügt über exzellente agrar- und naturwissenschaftliche Forschung, Ingenieurkompetenz sowie herausragende Expertise in Regelungs-, Automatisierungs- und KI-Anwendungen, die bereits in experimentellen und kommerziellen CEA-Anlagen angewendet werden. Diese Voraussetzungen ermöglichen es, CEA-Technologie international wettbewerbsfähig zu entwickeln und erfolgreich zu exportieren.

Um dafür eine starke Position im globalen Markt aufzubauen, sind Standardisierung für einen weltweiten Einsatz, Normung und Patente ebenso entscheidend wie eine koordinierte Weiterentwicklung der Technologie und der Aufbau eines Pilotmarktes in Deutschland. Politik und Verwaltung können diese Entwicklung durch gezielte Forschungs-, Wirtschafts- und Innovationsförderung maßgeblich unterstützen.

CEA kann damit entscheidend zur Umsetzung mehrerer UN-Nachhaltigkeitsziele (Sustainable Development Goals, SDGs) beitragen – darunter SDG 2 „Kein Hunger“, SDG 3 „Gesundheit und Wohlergehen“, SDG 9 „Industrie, Innovation und Infrastruktur“ sowie SDG 12 „Nachhaltiger Konsum und Produktion“.

## Stand der CEA-Technologie und weitere Entwicklung

CEA erlaubt die Erzeugung gleichbleibend hochwertiger Lebensmittel, nah am Verbraucher und unabhängig von Standortfaktoren, wie

Klima, Wetter oder Bodenqualität. Zusätzlich erhöhen gestapelte CEA-Produktionsflächen bei Pflanzen, Pilzen, Insekten, Krebstieren und Fischen die Flächeneffizienz massiv. Dadurch ermöglicht CEA auf der gleichen Fläche wesentlich höhere Erträge als die „klassische“ feldgebundene Landwirtschaft, die heute über 60 % der globalen Kalorien und Proteine für die menschliche Ernährung zur Verfügung stellt.

Die derzeit noch hohen Energiekosten von CEA können durch gezielte Forschung und Entwicklung deutlich reduziert werden, vor allem durch Fortschritte in den Produktionsverfahren, in der Lichttechnik und Regelung der zeitlich variablen Nutzung erneuerbarer Energien. Um CEA als leistungsfähige Ergänzung für die Agrarwirtschaft zu etablieren, müssen robuste, automatisierte und skalierbare Systeme entwickelt werden, die ökologisch wie ökonomisch überzeugen.

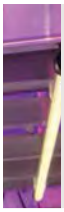
## Zentrale Herausforderungen und strategische Hebel

Für den Export bestimmte CEA-Technologie muss vor allem durch Qualität und Kosteneffizienz überzeugen. Da sowohl der Klimawandel als auch technologische Entwicklungen – insbesondere in der künstlichen Intelligenz – eher exponentiell als linear verlaufen, ist schnelles und koordiniertes Handeln wichtig.

Die Forschungsstrategie konzentriert sich daher auf die Felder Produktionseffizienz, Systemeffizienz, Produktqualität, Sicherheit und Anlagenbau sowie die notwendigen Bedingungen (rechtliche Anpassungen, gesellschaftliche Akzeptanz, Nachfrage, Ausbildung). Binnen- und Exportmarkt bauen aufeinander auf und sollten gemeinsam gedacht werden. Daher sind geeignete Absprachen zur **Förderung und zur Politikgestaltung** zwischen den zuständigen Ressorts angeraten.

## Dringendste Maßnahmen für Technologievorsprung und Marktchancen

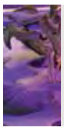
Zum Erreichen der Ziele Qualitätsführerschaft und Marktfähigkeit empfiehlt die vorliegende Strategie, vorrangig folgende Maßnahmen in der Forschungsförderung zu unterstützen und in Forschungsprojekten eng zu koppeln:



- **Produktionseffizienz** durch optimierte Wachstumsbedingungen, automatisierte Regelungssysteme und züchterische Anpassungen steigern.

- **Systemeffizienz** durch gekoppelte Produktion mehrerer Kulturarten, Kreislaufwirtschaft und Rückgewinnung von Ressourcen verbessern.

- **Höchste Produktqualität und -sicherheit** gewährleisten.



- **Robustheit, Zuverlässigkeit und Automatisierungsgrad** der Anlagen stärken.

- **Standardisierung, Normung und Skalierbarkeit** fördern.

- **Gesellschaftliche Akzeptanz, Marktentwicklung und Ausbildungsstrukturen** stärken.

- **Pilotanlagen mit Forschungszugang im industriellen Maßstab** aufbauen.

# 1 Motivation

[1] Mombo, Vhiny-Guilley; Duvallet, Mathilde; Schaeffer, Michiel; Baarsch, Florent (2025): Have crops already reached peak suitability: assessing global climatic suitability decreases for crop cultivation. In: Environmental Research Letters 20 (3), S. 34009. DOI: 10.1088/1748-9326/adacfe.

[2] Hou, Deyi; Jia, Xiyue; Wang, Liuwei; McGrath, Steve P.; Zhu, Yong-Guan; Hu, Qing et al. (2025): Global soil pollution by toxic metals threatens agriculture and human health. In: Science (New York, N.Y.) 388 (6744), S. 316–321. DOI: 10.1126/science.adr5214.

Die Weltbevölkerung umfasst bereits mehr als acht Milliarden Menschen und wächst weiter. Gleichzeitig führt der Klimawandel schon heute zu einem Rückgang der Anbauflächen und Ernteerträge[1] sowie zu immer häufigeren Extremwetterereignissen. Es besteht dringender Handlungsbedarf, um die globale Lebensmittelversorgung zu sichern.

Eine weitere Intensivierung der feldgebundenen Agrarwirtschaft (Feldwirtschaft, siehe Glossar), ohne die Nachhaltigkeit der Produktion zu berücksichtigen, kann diese Herausforderungen nicht bewältigen. Der Einsatz von mineralischem Dünger, chemischen Pflanzenschutzmitteln und Frischwasser überschreitet bereits jetzt vielerorts ökologische Grenzen. Dies destabilisiert Ökosysteme, reduziert deren Leistungen und beeinträchtigt langfristig die Anbau- und Erntesicherheit. Darüber hinaus kann die Ausweitung intensiver Anbaumethoden im Feld den Verlust der biologischen Vielfalt beschleunigen und höhere Treibhausgasemissionen je Hektar verursachen.

Hinzu kommt, dass Produkte aus Feldwirtschaft auch aufgrund lokaler Standortfaktoren bedenklich sein können: etwa durch die Nutzung von ehemaligen Industrieflächen oder durch die Belastung von Böden mit Schwermetallen, Umweltkontaminanten oder Mikroplastik. So sind weltweit 14 % der feldwirtschaftlich genutzten Böden mit Schwermetallen wie Arsen oder Kadmium belastet, die von Nutzpflanzen aufgenommen und in die Nahrungskette eingeschleust werden[2].

Weiter verschärft werden die Herausforderungen für die Feldwirtschaft durch wirtschaftliche und geopolitische Umwälzungen, die ganze Regionen vorübergehend vom Import wichtiger Nahrungsmittel abschneiden können.

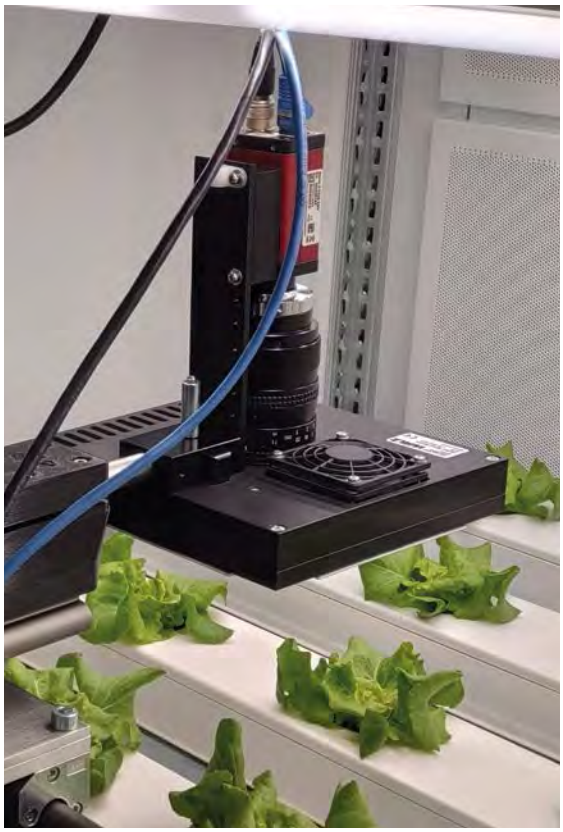
Vor diesem Hintergrund entsteht ein dringender Bedarf an Produktionssystemen, die robust gegenüber externen ökonomischen Schocks, ökologisch tragfähig und relativ unabhängig von natürlichen Standortfaktoren ganzjährig betrieben werden können. Controlled Environment Agriculture (CEA) bietet hier eine zukunftsweisende Ergänzung: Sie entkoppelt Lebensmittelproduktion von Klima, Wetter, Jahreszeiten und Bodenbeschaffenheit und ermöglicht damit die Produktion von Nahrungs- und auch Futtermitteln in gleichbleibend hoher Qualität. Durch weitgehend geschlossene Kreisläufe werden Umwelt- und Gesundheitsbelastungen verringert. Die durch CEA „eingesparten“ Freilandflächen können für Lebensmittelproduktion oder Biodiversität verwendet werden. Die Abhängigkeit von importierten Lebens- und Futtermitteln wird so verringert.

**Glossar**

| | |
|---|---|
| Agrarwirtschaft | hier: klassische Landwirtschaft, Gartenbau und Aquakultur im weitesten Sinne, einschließlich CEA |
| Feldwirtschaft | Landwirtschaft und Gartenbau im Freiland |
| CEA | Controlled Environment Agriculture umfasst die Produktion von Pflanzen – einschließlich Algen –, Pilzen, Insekten, Krebstieren und Fischen in weitgehend geschlossener Kreislaufwirtschaft und unter umfassender Kontrolle der Umweltbedingungen (insbesondere Licht, Temperatur, Wasser und Nährstoffe) |
| CEA-Anlage | Gebäude mit technischer Installation, in der die Produktion stattfindet |
| CEA-System | technisch-biologisches Produktionssystem, von Aufzucht bis Ernte |
| CEA-Produkte | Erzeugnisse eines CEA-Systems |
| Produktorganismus | kultivierte Art, die in einem CEA-System verwendet wird |

# 2 Die Möglichkeiten von CEA

Die Agrarproduktion unter kontrollierten Bedingungen – ohne direkten Einfluss von Jahreszeiten, Klima und Standort – hat das Potenzial, ein tragender Baustein zur resilienten, regionalen Versorgung mit Lebens- und Futtermitteln zu werden. CEA erlaubt die Produktion von Pflanzen – einschließlich Algen –, Pilzen, Insekten, Krebstieren und Fischen in weitgehend geschlossenen Kreisläufen. Die Pflanzen wachsen substratlos oder in Substraten unter optimierten Bedingungen. Die Insekten-, Krebstier- und Fischproduktion nutzt vor allem Arten, die sich aufgrund ihrer Ansprüche eignen, in kontrollierten und begrenzten Umgebungen heranzuwachsen. Die benötigte Energie stammt idealerweise aus erneuerbaren Quellen. Die weitgehend geschlossenen Kreisläufe für Nährstoffe und Wasser **verringern die Umweltbelastung** deutlich. Regional verteilte CEA-Anlagen können Transportwege und damit indirekt ebenfalls die Umweltbelastung verringern. Reststoffe aus der Nahrungsmittelproduktion können von Insekten und Pilzen in CEA-Anlagen verwertet werden.



*Messung der Fluoreszenz zur Zustandserfassung der Pflanzen*

CEA erfordert aufgrund der geschlossenen Umgebung einen **geringeren Einsatz** von Pflanzenschutzmitteln und Antibiotika und vermindert so die Gesundheitsbelastung. Durch die kontrollierte Umgebung ist CEA besonders geeignet für Produkte, die hohen Ansprüchen an Qualität und Gleichmäßigkeit genügen müssen, wie hochwertige Nahrungsmittel oder auch Arzneipflanzen, oder geringe Kontaminationen aus der Umwelt aufweisen sollen (z.B. Mikroplastik, polychlorierte Biphenyle „PCBs“, Schwermetalle).

Die kontrollierte Umwelt ermöglicht eine sehr viel **höhere Produktivität bei beständig hoher Produktqualität**. Das Potential der Produktionssteigerung durch Einsatz von CEA ist um ein Vielfaches größer als etwa durch neue Züchtungen oder Anbaumethoden in der Feldwirtschaft (Tabelle 1). Auch gegenüber traditionellen Gewächshauslösungen hat CEA durch größere Flächeneffizienz Vorteile, wenn Produktionsflächen knapp sind. Des Weiteren ermöglicht CEA durch die Kopplung von Einzel- zu multitrophischen Systemen die Erweiterung von Wertschöpfungsketten und Erhöhung der Nachhaltigkeit der Produktion. CEA ist unerlässlich an Extremstandorten, an denen Menschen längere Zeit ohne Warenaustausch leben: Forschungsstationen in der Antarktis oder extraterrestrischen Stationen.

*Tabelle 1. Globaler Vergleich des theoretischen Potentials verschiedener Einzel-CEA-Systeme mit repräsentativen Leistungsindikatoren (RPIs) der Feldwirtschaft. Positive Unterschiede von CEA zur Feldwirtschaft sind grün, negative Unterschiede orange hinterlegt. Das theoretische Potential von CEA bezieht sich auf Einheiten mit 10 gestapelten Produktionsschichten (Vertical Farming) auf einer Grundfläche von 1 ha. Für Pilze wurde von einem Bioreaktor mit 10 m Höhe und 1 ha Grundfläche ausgegangen. Alle Werte für Feldwirtschaft beruhen auf veröffentlichten Daten. Emissionen und Energienutzung beziehen sich auf die laufende Produktion im Feld oder in CEA-Anlagen. Herstellung von Maschinen, Hofgebäude zur Unterstellung, Lagerung von Material oder Bau von CEA-Anlagen sind nicht berücksichtigt, sondern erfordern detaillierte Life-Cycle-Assessments (s. Abschnitt 8)[3].*

| **RPIs** – bezogen auf 10 gestapelte Produktionsflächen von 1 ha | **Feldfrüchte, global** | **CEA mit Kultur-pflanzen** | **CEA mit Algen** | **CEA mit Pilzen** | **CEA mit Insekten** | **CEA mit Fischen** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Mittlere Jahresproduktion** [t $ha^{-1}$] | 4,5 | 1.900 | 1.900 | 23.040 | 32.140 | 12.410 |
| **Proteingehalt** [kg $ha^{-1}$ $Jahr^{-1}$] | 767 | 228.000 | 330.000 | 4.800.000 | 13.500.000 | 2.500.000 |
| **Landfläche** [Millionen ha] | 697 | 2 | 2 | 0,1 | 0,1 | 0,3 |
| **Wassernutzung** [ℓ $kg^{-1}$ Lebensmittel] | 1.785 | 0,14 | 33 | 50 | 0,01 | 2.500 |
| **Energienutzung** [kWh $kg^{-1}$ Lebensmittel] | 2,3 | 650 | 12 | 4 | 17 | 42 |
| **Treibhausgas-emissionen** [$CO_2$e $kg^{-1}$ Lebensmittel] | 3,3 | ~0 | ~0 | ~0 | 8 | 3 |
| **Pflanzenschutzmittel und Antibiotika** [kg $ha^{-1}$ $Jahr^{-1}$] | 1,6 | ~0 | ~0 | ~0 | ~0 | ~0 |
| **Stickstoffabfluss und -versickerung** [kg $ha^{-1}$] | 5,4 | ~0 | ~0 | ~0 | ~0 | nicht erfasst |
| **Phosphorabfluss und -versickerung** [kg $ha^{-1}$] | 0,1 | ~0 | ~0 | ~0 | ~0 | nicht erfasst |

| **Änderung [%]** | **0 bis 10** | **10 bis 100** | **100 bis 10.000** | **10.000 bis 100.000** |
|---|---|---|---|---|
| **positiv** | | | | |
| **negativ** | | | | |

[3] Calvo-Baltanás, Vanesa; Vilcinskas, Andreas; Brück, Thomas; Kloas, Werner; Wilke, Thomas; Rufino, Mariana; Henkel, Marius; Zorn, Holger; Monje, Oscar; Asseng, Senthold 2025, The future potential of controlled environment agriculture, PNAS NEXUS 4:4 pgaf078, DOI: 10.1093/pnasnexus/pgaf078, angepasst.

*CEA-Anlage mit Erdbeerproduktion*

Die Vorteile von CEA treten besonders deutlich in Regionen zutage, in denen feldwirtschaftliche Flächen knapp sind, klimatische oder standörtliche Bedingungen feldgebundene Produktionssysteme einschränken und zugleich ein hoher Anteil nachhaltig erzeugter Energie verfügbar ist. Die Entwicklung der CEA-Technologie ist deshalb für die Erreichung der Nachhaltigkeitsziele sowohl für bevölkerungsreiche Länder in wärmeren Regionen als auch für Industrienationen der gemäßigten Breiten sehr relevant[5]. CEA ist Bestandteil der Roadmap „Zirkuläre Bioökonomie für Deutschland“ der Fraunhofer-Gesellschaft.[4]

Insgesamt betrachtet schafft CEA stabile Produktionsmöglichkeiten innerhalb der planetaren Grenzen[5] – resilient und ressourceneffizient – und damit eine zukunftstaugliche Form der Agrarwirtschaft, um gesellschaftlichen und ökologischen Herausforderungen erfolgreich zu begegnen. Aufgrund ihrer hohen Flächeneffizienz und der möglichen Produktionssteigerung (Tabelle 1) eignet sich CEA-Technologie zudem als exportfähiges Wirtschaftsgut.

[4] Buller, Jens; Daschner, Robert; Grimm, Lena; Hofer, Michael; Hüsing, Bärbel; Krayer, Julia et al. (2022): Zirkuläre Bioökonomie für Deutschland. Eine Roadmap der Fraunhofer-Gesellschaft zur Umsetzung der Bioökonomie in Deutschland. Hg. v. Fraunhofer-Gesellschaft. Berlin. Online verfügbar unter https://www.fraunhofer.de/content/dam/zv/de/forschung/FSF/biooekonomie/Fraunhofer_Roadmap_Biooekonomie.pdf.

[5] United Nations Development Program (Hg.) (2025): Controlled Environment Agriculture for Sustainable Development. Singapur. Online verfügbar unter https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2025-01/controlled_environment_agriculture_for_sustainable_development.pdf.

# 3 Stand der Technik, global

Einfache CEA-Systeme werden bereits weltweit produktiv angewendet, in kleinem Maßstab in Europa, in größerem Maßstab im Nahen Osten, Singapur, Indonesien, China und den USA. Der Anwendungsbereich bei Pflanzen reicht von kleinen Kästen für den Hausgebrauch über schrankgroße Container für Supermärkte bis zu fußballfeldgroßen Produktionsstätten in Wüstenregionen. Aquatische Produktionsanlagen für Fische, Krebstiere oder Algen werden selten gestapelt, sondern überzeugen durch ihre Produktionsdichte gegenüber Freilandanlagen. Die Produktion ist bei fast allen Anlagen auf einen Produktorganismus begrenzt (Einzelsystem); gekoppelte Systeme (z.B. Aquaponik mit Fischen und Pflanzen) sind vergleichsweise selten.

Die in der CEA-Pflanzenproduktion eingesetzte Technik stammt im Allgemeinen aus dem Gartenbau und wird entsprechend erweitert, um die Beleuchtung zu optimieren, sowie Wasser und Nährstoffe im Kreislauf zu führen. Bei landgebundenen Aquakultur- und Aquaponikanlagen mit kontrollierter Produktionsumgebung wird das Wasser idealerweise im Kreislauf geführt. CEA-Systeme können zeitweise oder dauerhaft miteinander gekoppelt werden. Geschieht die Kopplung nach Bedarf, kann sich die Systemeffizienz weiter erhöhen. Deutschland und Europa verfügen in diesen Grundlagentechnologien über relevante Expertise und Erfahrungen mit industriell skalierten Systemen.

Nach anfänglich guten Wirtschaftsaussichten für CEA[6] und dem Bau auch größerer Anlagen in Nordamerika und Ostasien in den 2010er Jahren haben stark gestiegene Energiekosten bei geringer Energienutzungseffizienz und hohe Arbeitskräftekosten bei geringer Automatisierung viele CEA-Unternehmungen unwirtschaftlich gemacht. Gleichwohl sehen Wirtschaftsberater[7] für die Zukunft ein großes wirtschaftliches Potential für CEA aufgrund (1) steigender ganzjähriger Nachfrage nach frischeren, nachhaltig und lokal produzierten Nahrungsmitteln, (2) dem Wunsch, Lebensmittelverluste zu verringern und (3) der Möglichkeit, durch Automatisierung dem Arbeitskräftemangel zu begegnen. Aktuell bestehen daher die zentralen Herausforderungen für die Nutzung von CEA-Anlagen darin, deren Energiebedarf deutlich zu senken, Prozesse und Anlagen zu standardisieren und zu automatisieren sowie vielversprechende Versuchsanlagen zu ökonomisch relevanten Größen zu skalieren.

Die angestrebte Weiterentwicklung der Technik geht weit über den Einsatz als flächenschonende Produktionsalternative in Deutschland hinaus. Sie dient insbesondere der Entwicklung einer Exporttechnologie und damit der Stärkung Deutschlands als innovative Exportnation.

*Anzuchtanlage für Erdbeeren*

[6] Banerjee, Chirantan; Adenaeuer, Lucie (2014): Up, Up and Away! The Economics of Vertical Farming. In: Journal of Agricultural Studies 2 (1), S. 40–60. DOI: 10.5296/jas.v2i1.4526.
[7] Aulbur, Wilfried; Schelfi, Giovanni; Barbier, Eva (2023): Controlled Environment Agriculture: Opportunities and challenges. Hg. v. Roland Berger. Online verfügbar unter https://www.rolandberger.com/publications/publication_pdf/CEA-Roland-Berger-Publication.pdf, zuletzt geprüft am 16.03.2026.

# 4 Technologieexport als Beitrag zum Bruttoinlandsprodukt

Deutschland exportiert und importiert Waren abhängig davon, wo sie besser oder preiswerter hergestellt werden können. Als rohstoffarmes Land ist Deutschland auf den Export technologischer Produkte angewiesen, um die finanziellen Mittel für den Import anderer Güter zu erwirtschaften. Fast jeder vierte Arbeitsplatz hängt vom Export ab und 42 % der deutschen Wirtschaftsleistung (BIP) beruhen auf Exporten (2024). Damit tragen Ausfuhren erheblich zum Steueraufkommen und zur gesamtwirtschaftlichen Wohlfahrt bei.

Von besonderem strategischem Interesse ist die Weiterentwicklung einer wissens- und innovationsbasierten Wirtschaft, die hohe Wertschöpfung und hochqualifizierte Beschäftigung schafft. Der Anteil von Hochtechnologie an deutschen Exporten liegt bei 14 % (2022). Forschung, Lehre und praktische Erfahrung bei der Entwicklung von Hochtechnologien[8] greifen dabei eng ineinander und stärken nicht nur die Exporte, sondern auch Deutschlands internationales Ansehen und geopolitisches Gewicht, wie auch in der Hightech Agenda Deutschlands[9] hervorgehoben wird.

CEA kann die wachsende globale Nachfrage nach hochwertigen, nachhaltig produzierten Lebensmitteln bedienen (vgl. Tabelle 1). Der gezielte Aufbau eines Exportsegments für CEA-Technologie bietet Deutschland damit die Chance, ein zusätzliches, wachsendes Marktfeld zu erschließen und seine technologische Wettbewerbsfähigkeit weiter auszubauen. Es liegt daher im Interesse Deutschlands, die Entwicklung dieser Technologie zu fördern, auch wenn im globalen Vergleich CEA in Deutschland aufgrund relativ fruchtbarer Böden und weiterhin vergleichsweise günstiger klimatischer Bedingungen voraussichtlich nicht denselben Stellenwert erreichen wird wie in anderen Ländern und Regionen.

*CEA-Anlage für Süßkartoffeln mit Steuer- und Regelungseinheiten*

[8] Hochtechnologie-Produkte sind definiert als „Waren, deren Herstellung eine hohe Forschungs- und Entwicklungsintensität aufweist" – Loschky, Alexander; Triebskorn, Elena (2011): Globalisierung des Fortschritts – Außenhandel mit Hochtechnologieprodukten und technologischen Dienstleistungen. In: Wirtschaft und Statistik. Wiesbaden, S. 920–931. Online verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/Methoden/WISTA-Wirtschaft-und-Statistik/2011/09/globalisierung-92011.pdf.

[9] Bundesministerium für Forschung; Technologie und Raumfahrt (Hg.) (2025): Hightech Agenda Deutschland. Berlin. Online verfügbar unter https://www.bmftr.bund.de/SharedDocs/Publikationen/DE/L/31881_Hightech_Agenda_Deutschland.pdf, zuletzt geprüft am 16.03.2026. – S. 36: Forschungs-, Technologie- und Innovationsförderung im Leitmarkt Kreislaufwirtschaft

# 5 Forschung für CEA

Damit die CEA-Produktion von Unternehmen erfolgreich eingesetzt werden kann, sollte öffentliche Forschung die Weiterentwicklung der CEA-Technologie unterstützen: etwa bei der Erhöhung der Energieeffizienz, der Ausnutzung der Produktionsflächen, der präzisen Regelung der Wachstumsbedingungen, der Automatisierung der Produktionsschritte, der Erhöhung der Robustheit und Effizienz von Anlagen und Produktionsabläufen sowie bei Maßnahmen zum Schutz der Gesundheit von Tieren und Pflanzen. Die hiermit verbundene Verbesserung der Nahrungsmittelproduktion und deren Resilienz sowie Erhöhung des technologischen Standortvorteils ist sowohl von gesellschaftlichem als auch wirtschaftlichem Interesse. Förderprogramme sollten sich dabei an den angestrebten Technologiereifegraden (Technology Readiness Levels, TRL) orientieren, also von der Grundlagenforschung, beispielsweise zum Mikrobiom, bis hin zum Bau und Betrieb von Pilotanlagen.

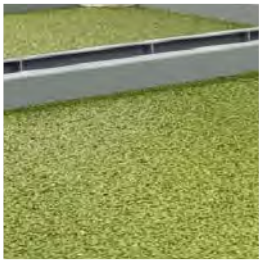
Da die Nachfrage nach CEA aufgrund des Klimawandels, des globalen Bevölkerungswachstums und der zunehmenden Bedrohung der Biodiversität eher exponentiell als linear steigen wird, muss die Forschungsförderung die dringendsten Probleme bei der Entwicklung von CEA zuerst angehen. Die vorliegende Forschungsstrategie gibt hierfür Empfehlungen. Sie berücksichtigt auch, dass die gesellschaftliche Akzeptanz für CEA-Produkte ein wichtiger Erfolgsfaktor ist.

Für die kontinuierliche Weiterentwicklung der CEA-Technologie, den Aufbau und Erhalt der Expertise sowie die Demonstration der erfolgreichen Anwendung ist der Forschungs- und Entwicklungsstandort Deutschland von grundlegender Bedeutung. Fände die Skalierung und Marktdurchdringung ausschließlich in den Zielländern statt, gingen Deutschland praktische Erfahrung sowie Experimentier- und Ausbildungsmöglichkeiten verloren. Die Argumentation der hier ausgearbeiteten Forschungsstrategie geht daher davon aus, dass die deutsche Politik zwei Ziele verfolgen wird: erstens die Marktführerschaft bei CEA-Anlagen für den Export und zweitens die Etablierung von CEA in Deutschland als Pilotmarkt und Standort für Entwicklungen sowie als Baustein zur Verbesserung der Selbstversorgung.

Die folgenden Abschnitte beschreiben, wie sich diese beiden Ziele erreichen lassen. Ein weiterer Abschnitt erläutert unterstützende Maßnahmen zu den Aspekten Nachhaltigkeit, Betriebssicherheit, Lebensmittelsicherheit, Ausbildung und strategische Zielverfolgung. Da die vorgeschlagenen Maßnahmen ineinandergreifen und unterschiedliche Entwicklungsdauern haben, folgt abschließend ein Überblick, in welcher Reihenfolge sie bearbeitet werden sollten, um das Ziel eines entscheidenden Beitrags von CEA-Produkten zur Ernährungssicherung zu erreichen.

*Weizen in Hydrokultur*

# 6 Marktführerschaft bei CEA-Technologie



CEA-Technologie aus Deutschland muss im internationalen Wettbewerb überzeugen, um eine Marktführerschaft zu erlangen. Dies gelingt grundsätzlich durch höhere Produktionseffizienz, höhere Wirtschaftlichkeit, höhere Systemeffizienz, verringerte Umwelt- und Gesundheitsbelastungen oder höhere Produktqualität. Auch die gelungene Integration von CEA-Anlagen in den urbanen Raum oder in vorhandene Infrastruktur stellen wichtige Verkaufsargumente dar.

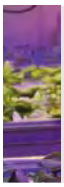
## 6.1. Höhere Produktionseffizienz

Die Produktionseffizienz beschreibt das Verhältnis zwischen erzieltem Ertrag und eingesetzten Ressourcen. Besonders hoch ist der Bedarf an effizienterer Lebensmittelproduktion in Weltregionen mit Wassermangel, häufigen Extremwetterereignissen und gleichzeitig wachsender Bevölkerung. Der Bedarf wird aufgrund des Klimawandels weiter steigen. Entsprechend besteht in diesen Regionen auch das größte kurzfristige Potential für CEA-Technologien und -Produkte. Gerade in den heißen, trockenen Regionen könnte aber auch ausreichend klimaneutrale Energie bereitgestellt werden, um die energieintensiven CEA-Anlagen zu betreiben. Regionen und Orte, wo geothermale Energie oder industrielle Abwärme vorhanden sind, bieten sich ebenfalls als CEA-Standorte an.

Eine höhere Effizienz der Produktion lässt sich prinzipiell über zwei Hebel erreichen:

- **Optimierung des Verhältnisses von Ressourcen zu Ertrag:** a) Ein geringerer Bedarf an Energie, Wasser, Nährstoffen und Grundfläche bei gleichbleibenden Erträgen und gleicher Qualität steigert die Ressourceneffizienz. b) Höhere Erträge durch günstigere Wachstumsbedingungen, Schutz der Gesundheit der kultivierten Organismen, Züchtung angepasster Sorten oder Rassen sowie bessere Erntemethoden bei gleichem Ressourceneinsatz erhöhen die Produktionseffizienz. c) Eine verbesserte Prozesssteuerung durch ausgeklügelte Regelungsstrategien und frühzeitige Anomalieerkennung, bspw. durch den Einsatz künstlicher Intelligenz, erhöht ebenfalls den Ertrag und die Ressourceneffizienz. d) Gekoppelte Systeme erhöhen die Nutzung interner Ressourcen und tragen so zur Ressourceneffizienz bei.
- **Verminderung von Ressourcenverlusten und Abfällen:** Geschlossene Kreisläufe und die Nutzung von Stoffnebenströmen, beispielsweise durch Rückgewinnung von Betriebsstoffen aus Abfällen, erhöhen die Gesamteffizienz.

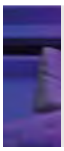
Um das Potenzial aktueller CEA-Systeme mit nur einem Produktorganismus optimal auszuschöpfen, müssen diese durch Forschung und Innovation deutlich weiterentwickelt werden. Nach unserer Einschätzung gilt es in dieser Rangfolge:



**1.** für CEA besonders geeignete, nachhaltige und energieeffiziente Anbau- und Haltungsmethoden zu entwickeln,

**2.** besser geeignete Arten, Sorten und Rassen auszuwählen und zu züchten,

**3.** Kosten für den Einsatz von Produktionsmitteln zu verringern und



**4.** Verfahren zu entwickeln, die Verluste aufgrund von Schadorganismen und Kontaminationen minimieren.

## 6.2. Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeit der CEA-Produktion hängt vor allem von den Energiekosten, den Investitionskosten, den erzielbaren Produktpreisen, der Akzeptanz und den verfügbaren Alternativen zur CEA-Erzeugung ab (Tabelle 2).

Da Kosten und Preise je nach Standort und Land erheblich variieren können, müssen CEA-Anlagen saisonal oder dauerhaft anpassbar sein – insbesondere hinsichtlich der Regelung der Wachstumsbedingungen sowie der Automatisierung von Aufzucht und Ernte. Deshalb sollte bei der Ausgestaltung der Förderbedingungen berücksichtigt werden, dass sich für verschiedene Standortbedingungen nicht alle Produktkategorien wirtschaftlich gleich gut eignen, sondern bestimmte Produktkategorien wirtschaftlich vorteilhafter sind.

Weitere wirtschaftliche Vorteile können entstehen, wenn CEA-Anlagen ihre Energienutzung flexibel an schwankende Energiepreise anpassen können. Die Forschung sollte daher theoretisch und experimentell untersuchen, wie sich eine zeitlich variable Energiezufuhr durch Regelung anderer Wachstumsparameter anpassen lässt und ab welchem Punkt eine wirtschaftlich relevante Verringerung der Produktion eintritt.

## 6.3. Höhere Systemeffizienz, verringerte Umwelt- und Gesundheitsbelastungen

Die vier wichtigsten Bausteine für eine höhere Systemeffizienz sind aus unserer Sicht die Verbesserung der Anbauverfahren, Kopplung von CEA-Systemen, die Verbesserung der Regelungs- und Automatisierungstechnik so-

*Tabelle 2. Wirtschaftliche Eignung von CEA-Produkten in Abhängigkeit von (klimatischer) Umgebung und Situation.*

| Umgebung, Situation | Begünstigte Produkte aus CEA |
|---|---|
| arides Klima (hoher Wasserbedarf) | Gemüse (z.B. Salat, Tomaten, Gurken), Getreide |
| gemäßigtes Klima (konkurrierender Freilandanbau möglich) | Produkte mit hohem Qualitätsanspruch: Gewürze, Kräuter, Arzneipflanzen, Inhaltsstoffe (Öle, Proteine, Antikörper) |
| Proteinbedarf (in allen Klimazonen) | Pilze, Insekten, Fische, Leguminosen, Krebstiere |
| gemäßigtes oder kaltes Klima | Beerenobst, Gemüse, Südfrüchte |
| allgemein | Anzucht von Vermehrungsmaterial und Jungpflanzen von Kräutern bis Gehölzen |
| allgemein | Wurzelgemüse (z.B. Kartoffeln, Rettich, Wasabi, Maniok), Medizinalwurzeln |
| lokale Märkte | Sprossen („microgreens“) |
| wenig agrarwirtschaftliche Fläche, hohe Unabhängigkeit gewünscht | Getreide |

wie die Verbesserung der Robustheit und Zuverlässigkeit von CEA-Anlagen.

Die Verknüpfung zwischen tierischen und pflanzlichen Produktionssystemen sowie die kaskadische Nutzung von Reststoffen bieten großes Potenzial, die Produktion bezogen auf den Ressourceneinsatz deutlich zu steigern. **Fortschrittliche, produktionseffiziente CEA-Anlagen bestehen daher aus mehreren gekoppelten Systemen**, etwa Tier-Pflanze-Pilz. Gekoppelte CEA-Systeme sind aber auch technisch komplexer, mit höheren Kosten bei der Wartung verbunden und erfordern zumeist Kompromisse. Ein wichtiges Forschungsanliegen muss deshalb sein, die wirtschaftliche Tragfähigkeit dieser Lösungen durch Einbindung der Ökonomie im Blick zu haben.

Eine hohe Gesamtproduktivität entsteht, wenn die Kosten für den Schutz der kultivierten Arten gesenkt werden – etwa durch vorbeugende Maßnahmen wie **integrierten Pflanzenschutz** oder **Sicherstellung von Tiergesundheit und Tierwohl**. Etwaige Schutzaspekte müssen daher bereits bei Maßnahmen zur Erhöhung der Produktivität durch physiologische, technische und züchterische Verfahren, Kulturführung, Pathogenkontrolle, verbesserte Infrastruktur und Regelung berücksichtigt werden („protection by design“), soweit dies wirtschaftlich vertretbar ist.

Da jedoch vorbeugende Maßnahmen allein voraussichtlich nicht ausreichen, ist zunächst zu analysieren, welches Risiko von unzureichendem Schutz ausgeht – also unter welchen Umständen ein inakzeptables Risiko entsteht und wie groß der zu erwartende Schaden wäre. Für solche Fälle sollten in Projekten zur Produktionseffizienz auch Verfahren zur Erkennung von Abweichungen sowie ergänzende Schutz- und Gegenmaßnahmen entwickelt werden. Die Forschung muss dementsprechend **systemisch** angelegt sein und sollte dafür ausreichend lange Projektzeiten eingeräumt bekommen.

Zur wirtschaftlichen Systemeffizienz trägt eine weitgehende Automatisierung von Anzucht und Aufzucht, Wachstumsüberwachung, Ernte und Reststoffbehandlung bei (zusammengefasst als Prozesssteuerung bezeichnet). **Robotik** verbunden mit **künstlicher Intelligenz** kann schneller und gezielter auf Wachstumsabweichungen reagieren als Menschen. Gleichzeitig verringert Robotik den Platzbedarf, was die Flächeneffizienz einer CEA-Anlage erhöht.

Mess- und Sensorsysteme erfassen den Zustand der CEA-Kulturen und optimieren ihn mittels **Steuer- und Regelungstechnik**. Daher kommt der Mess- und Regeltechnik eine besondere Bedeutung zu. Schon Einzelsysteme benötigen eine ausgefeilte Steuer- und Regelungstechnik; bei gekoppelten Systemen steigt die Komplexität aufgrund der Vielzahl an Steuerungsgrößen und potenziellen Rückkopplungen erheblich. Da die Verknüpfung solcher Einzelsysteme bisher nur wenig entwickelt ist, erfordert sie eine Optimierung auf Einzel- und Gesamtsystemebene, um CEA als kosteneffiziente Ergänzung zur herkömmlichen Agrarwirtschaft zu etablieren. Modellbasierte Algorithmen und künstliche Intelligenz können die Regelung, Überwachung und Automatisierung von CEA-Anlagen weiter verbessern und dadurch Kosten senken.

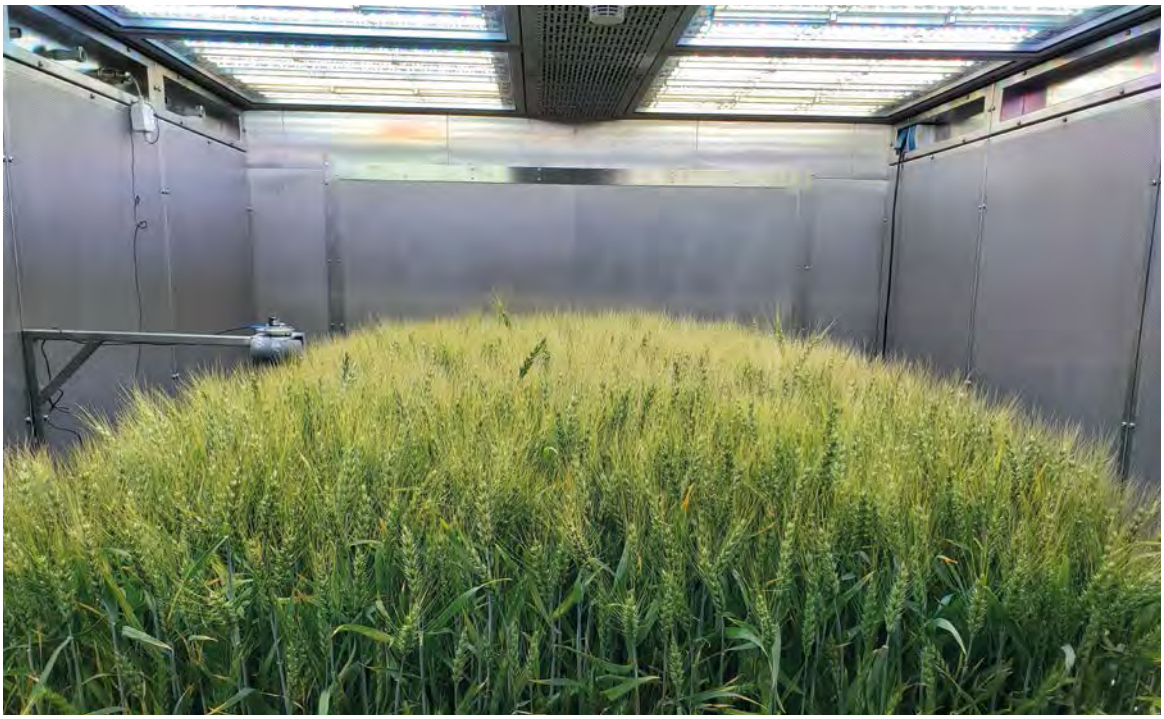
Robustheit – hier verstanden als Toleranz gegenüber Fehlern – sowie Effizienz, Anpassbarkeit und Zuverlässigkeit der eingesetzten

Infrastruktur einschließlich Mess- und Regeltechnik sind entscheidende Qualitäts- und Sicherheitsstandards, auch für den internationalen Export. Forschung zur Erhöhung der **Robustheit und Zuverlässigkeit** von CEA-Anlagen sowie ihrer Steuerung und Regelung muss sowohl einzelne Teilkreisläufe betrachten als auch die Robustheit und Effizienz des Gesamtsystems im Blick behalten. Besonders relevant ist dabei die komplexe Regelung verknüpfter Mehrfachsysteme wie Tier-Pflanze-Pilz. Das Ausmaß der Innovationsförderung sollte sich hierbei an dem erwarteten Beitrag zur Wertschöpfung orientieren.

## 6.4. Höhere Produktqualität und Verbrauchervertrauen

CEA-Anlagen ermöglichen eine gleichbleibend hohe Qualität von Lebens- und Futtermitteln. Die Qualitätsstandards für sichere Lebensmittel für den frischen Verzehr und für die Weiterverarbeitung lassen sich dadurch leichter einhalten. Die kontrollierte Produktion in einer geschlossenen Umgebung ermöglicht zudem die gezielte Beeinflussung bestimmter **Qualitätseigenschaften**, wie etwa gesundheitsfördernde Inhaltsstoffe. Allerdings besteht noch erheblicher Forschungsbedarf, um zu verstehen, wie Umweltreize die Entstehung der Inhaltsstoffe beeinflussen und wie dies produktspezifisch gesteuert werden kann.

Nicht nur die Zusammensetzung der Lebensmittel beeinflusst die menschliche Gesundheit, sondern auch die auf und in ihnen vorkommenden Mikroorganismen, das **Mikrobiom**. Menschen, die vor allem in der Kindheit mit einem vielfältigen Mikrobiom in Berührung gekommen sind, sind weniger anfällig für Infektionen.



*CEA-Anlage mit Weizen*

*Holzfässer zur Garnelenproduktion als Bestandteil einer CEA-Anlage*

Zudem gibt es Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen einem eingeschränkten Mikrobiom und der Gesundheit von Menschen in Raumstationen. Daher sind Untersuchungen des Mikrobioms von CEA-Produkten, der Vergleich mit Erzeugnissen aus unkontrollierten oder teilkontrollierten Umgebungen sowie die Bewertung möglicher Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit essenziell. Weitergehende Forschung sollte zudem klären, wie sich das Mikrobiom unter den kontrollierten Bedingungen von CEA-Anlagen gezielt beeinflussen lässt.

Die **Sicherheit** der erzeugten Futter- und Lebensmittel ist ein unverzichtbares Qualitätsmerkmal. Da CEA-Anlagen nicht vollständig geschlossen sind – Ressourcen und biologisches Ausgangsmaterial werden eingebracht, reife Produkte werden entnommen – kann es zur Einschleppung von Keimen und Stoffen kommen, die die Endprodukte belasten. Zur Vermeidung oder Eingrenzung einer solchen Einschleppung gelten die gleichen Maßnahmen wie oben für den Schutz der Kulturen beschrieben. Zusätzlich sollte untersucht werden, ob sich auch Humanpathogene langfristig in CEA-Anlagen anreichern und mit den Produkten in die Nahrungskette gelangen können.

Obwohl CEA-Erzeugnisse somit **hohe Qualitäts und Sicherheitsstandards** erfüllen können, kann das neuartige Produktionsverfahren Bedenken und Skepsis bei Verbraucherinnen und Verbrauchern auslösen. Für eine **erfolgreiche Markteinführung** ist es daher wichtig, die Qualität von CEA-Erzeugnissen zu erfassen und mit Erzeugnissen aus anderen Produktions-

methoden zu vergleichen, um einen konstruktiven Verbraucherdialog führen zu können. Dafür sind wissenschaftlich fundierte Konzepte und Methoden zu erarbeiten, die auch Wissensvermittlung beinhalten.

## 6.5. Etablierung von CEA-Anlagen: Bau, Modularisierung, Skalierung

Grundsätzlich stehen zwei bauliche Wege zur **Etablierung neuer CEA-Anlagen** offen: Anpassung vorhandener Gebäude an die Anforderungen von CEA-Anlagen oder Neubau. Ein Neubau sollte im Sinne der Nachhaltigkeit nur dann in Betracht gezogen werden, wenn vorhandene Gebäude (z.B. Bürogebäude, Wohngebäude, Fabriken, Tiefgaragen, Tierställe) nicht wirtschaftlich umgebaut werden können. Neubauten sollten bevorzugt aus nachhaltig produzierten Materialien wie beispielsweise Holz gebaut werden. Neu produzierter Beton oder Stahl sollten nur zum Einsatz kommen, wenn belastbare Ökobilanzen (Life Cycle Assessments) klare Vorteile belegen.

Neue wie bestehende Gebäude müssen im Sinne der Nachhaltigkeit so gestaltet werden, dass Stoff- und Energieflüsse geschlossen werden können. Die Forschungsförderung sollte deshalb in Ideenwettbewerben und späteren Umsetzungsprojekten nachhaltige Rohbaukonstruktionen unterstützen. Zusätzlich erscheinen Ideenwettbewerbe für Umbaumaßnahmen von Bestandsgebäuden sinnvoll.

Die **Standardisierung** von Verfahren, Infrastrukturen und Maßen kann weitere wirtschaftliche Vorteile schaffen. Daher gilt es, abgestimmt zwischen Forschung und Industrie, frühzeitig internationale Normen und Standards zu entwickeln. Deutschland sollte im Sinne dieser Strategie eine aktive Rolle übernehmen und entsprechende Standardisierungsprozesse anstoßen.

*Modularer CEA-Anbauschrank*

**Standardisierte Anlagenmodule** könnten dabei Konstruktion und Betrieb vereinfachen, indem weltweit kompatible Module genutzt und an betriebliche Anforderungen angepasst werden. Eine solche Modularisierung reduziert zudem den Aufwand, für jede Anlage individuelle Steuer- und Regelungssysteme zu entwickeln und stärkt damit die nationale und internationale Wettbewerbsfähigkeit der CEA Technologien.

Eine bedeutende Herausforderung besteht darin, kleine experimentelle Forschungsanlagen in großtechnische Produktionsanlagen zu überführen, die als Vorbild für exportierbare Anlagen dienen können. Wie und unter welchen Bedingungen eine solche **Skalierung** am günstigsten gelingt, ist eine wichtige Innovationsaufgabe, die eine enge Zusammenarbeit von Unternehmen und Forschungseinrichtungen erfordert. Dabei müssen auch vor- und nachgelagerte Bereiche entlang der Wertschöpfungskette berücksichtigt werden – von Zuchtmaterial und Jungstadien, über die Einbindung in vorhandene Versorgungsinfrastruktur, bis hin zu Transport und Verwertung.

## 6.6. Anforderungen an Forschung und Innovation

Die **Förderung** von Forschung und Entwicklung im Bereich der CEA-Produktion muss langfristig angelegt sein und zugleich kurzfristig auf spezifische Forschungsfragen reagieren können. Dazu sollte sie zwei Stränge parallel verfolgen: erstens die langfristige Erforschung und Entwicklung zwei- oder dreifach gekoppelter Systeme, die höchstwahrscheinlich mehrere Iterationsstufen benötigt und zweitens die gezielte Optimierung bestehender CEA-Einfachsysteme im Rahmen von Innovationsvorhaben. Antragsteller sollten darlegen, in welchem Umfang ihr Forschungsbeitrag zur Erhöhung der CEA-Produktion in Deutschland oder global beiträgt.

Die **agrartechnische Forschung** für CEA-Exportmärkte sollte sich vor allem auf die Systemoptimierung konzentrieren, indem Erträge gesteigert (Produkteffizienz) und insbesondere Energie- und Wasserverbrauch verringert werden (Ressourceneffizienz). An dieser Entwicklung müssen vor allem der Anlagenbau und die Steuer- und Regelungstechnik beteiligt werden, damit die Investitions- und Betriebskosten bei den wirtschaftlichen Gesamtzielen berücksichtigt bleiben.

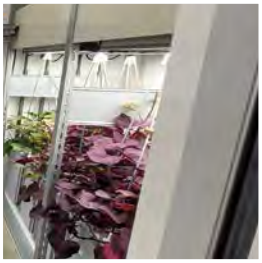
Ergänzend zur technologischen Weiterentwicklung der Anlagen sollte **agrarökonomische und agrarpolitische Forschung** die volkswirtschaftlichen Potenziale des CEA-Exports analysieren und politische Handlungsoptionen erarbeiten, die die internationale Wettbewerbsfähigkeit von CEA-Anlagen aus deutscher Produktion stärken.

Bei allen Forschungs- und Entwicklungsvorhaben ist Folgendes zu beachten:

- Die Qualität und Sicherheit der in CEA erzeugten Produkte muss gleich oder höher sein als in Erzeugnissen aus unkontrollierter oder teilkontrollierter Umgebung.
- Stoffe, die in Futter- oder Lebensmitteln bedenklich sind, dürfen sich nicht im CEA-System anreichern (etwa durch Austritt aus der CEA-Infrastruktur oder Migration innerhalb der CEA-Anlage).
- Das Wohl von in CEA-Anlagen eingesetzten Tieren muss gewährleistet sein. Die Entwicklung von Haltungsumgebungen, Installationen und Regelungen muss dies berücksichtigen.

Die Auswahl von Zuchtmaterial sowie die Züchtung angepasster Rassen und Sorten erfordert lange Entwicklungszeiten und sollte daher frühzeitig und langfristig gefördert werden.

# 7 Deutschland als Pilotmarkt



Neue Produktionsverfahren setzen sich nur durch, wenn sie im praktischen Einsatz ihre Qualität, Eignung, Leistung und Wirtschaftlichkeit unter Beweis stellen und am Markt erfolgreich sind. Eine reine Forschungsförderung der CEA-Technologie reicht dafür nicht aus.

Durch direkte Förderung oder wirtschaftliche Anreize könnte die Politik zwar Unternehmen dazu bewegen, Lebensmittel mittels CEA zu erzeugen, volkswirtschaftlich effizienter ist jedoch ein Ansatz, bei dem sich CEA weitgehend aufgrund eigener Vorteile etabliert und die Politik **vor allem den Marktzugang erleichtert**. Die Agrarforschung kann hierfür geeignete Optionen entwickeln. Eine Vorstudie sollte analysieren, warum CEA-Startups in den vergangenen Jahren weltweit gescheitert sind oder sich etablieren konnten, um daraus fundierte Entscheidungsgrundlagen für zukünftige Förderschwerpunkte abzuleiten.

Ein zentraler Vorteil von CEA ist die Unabhängigkeit von Umweltfaktoren. Dadurch gewinnen andere Standortfaktoren an Bedeutung, etwa die Verfügbarkeit von Energie und Wasser, die Nähe zu den Absatzmärkten und günstige bauliche Voraussetzungen. Die politische Steuerung der **Raumentwicklung** benötigt wissenschaftlich fundierte Vorschläge, wie CEA nicht nur im urbanen Raum aufgebaut werden kann, sondern auch bestehende Agrarsysteme

*Versuchsanlage für Vanille-Produktion*

in ländlichen Regionen sinnvoll ergänzt. Zudem sollte untersucht werden, welche gesellschaftlichen Vor- und Nachteile eine zentralisierte oder dezentrale Verteilung von CEA-Anlagen bietet, um politische Entscheidungen entsprechend auszurichten.

Für die Ressourceneffizienz und Wirtschaftlichkeit von CEA-Systemen unter deutschen Bedingungen ist die Beachtung weiterer bioökonomischer Zusammenhänge erforderlich. Nebenströme aus Agrarwirtschaft und Lebensmittelverarbeitung können in CEA-Anlagen für die Futtermittelherstellung verwendet werden und damit die Abhängigkeit von Futtermittelimporten und die Konkurrenz mit der Nahrungsmittelproduktion verringern.

Eine wichtige Grundlage für unternehmerische und behördliche Entscheidungen kann ein Kataster geeigneter und priorisierter Flächen sein, auf denen CEA-Produktion erwünscht ist. Dafür müssen zunächst wissenschaftlich fundierte und gesellschaftlich akzeptierte Kriterien entwickelt werden – etwa zu Energie- und Logistikinfrastruktur, Boden-, Klima-, Natur- und Landschaftsschutz sowie zur Stärkung des ländlichen Raumes. Darüber hinaus müssen günstige rechtliche Rahmenbedingungen und Genehmigungsverfahren gegeben sein.

Eine CEA-Pilotanlage im industriellen Maßstab ermöglicht es, Skalierungseffekte experimentell zu erforschen, gezielt Marktforschung zu betreiben und CEA-Produkte auf dem deutschen Lebensmittelmarkt zu etablieren. Dafür sind Standorte zu identifizieren, die gut erreichbar sind, die über erforderliche Infrastruktur verfügen, Zugang zu günstiger Energie (bei CEA mit Fischen oder Krebstieren auch Zugang zu günstigem Wasser) bieten und wo bereits versiegelte Flächen weiter genutzt werden können. Da diese Pilotanlagen sowohl wirtschaftlich arbeiten als auch wissenschaft-

*Arapaima gigas in Aquakultur*

*Ernte der Larven der Schwarzen Soldatenfliege (Hermetia illucens)*

liche Erkenntnisse liefern sollen, eignen sich insbesondere Public-Private-Partnerships für ihren Aufbau.

Gleichzeitig ist es notwendig, **geeignete rechtliche Rahmenbedingungen** zu schaffen: Da mehrere Formen der CEA-Produktion derzeit rechtlich nicht als Agrarwirtschaft eingestuft werden, müssen alle Formen der CEA-Produktion der herkömmlichen Agrarwirtschaft rechtlich gleichgestellt werden. Entsprechend geänderte Regelungen sollten im Rahmen von Forschungsaufträgen und unter Beteiligung relevanter Industriefachverbände vorbereitet werden. Weiterhin sollten die rechtlichen Bedingungen für die Verwendung von Reststoffen für die Fütterung von Insekten zur Proteinerzeugung angepasst werden.

CEA-Produkte werden von Endverbrauchern oder von der verarbeitenden Lebensmittelindustrie nur dann **nachgefragt** werden, wenn sie preiswerter, qualitativ höherwertiger oder in anderer Form attraktiver sind als Feldprodukte. Die Forschung sollte daher gezielt untersuchen:

- welche Eigenschaften von CEA-Produkten im Vergleich zu Erzeugnissen aus bestehenden Produktionssystemen – etwa aus Freilandproduktion oder geschütztem Anbau in Gewächshäusern oder offener Aquakultur – die Akzeptanz von CEA-Produkten erhöhen oder verringern,

- welche Maßnahmen von Politik, Förderung und Wissenschaftskommunikation geeignet sind, gesellschaftliche Bedenken gegenüber CEA zu adressieren und so die Marktintegration zu stärken und

- wie die ökonomische Nachhaltigkeit und die Wettbewerbsfähigkeit von CEA-Produkten gegenüber etablierten agrarischen Produktionssystemen verbessert beziehungsweise langfristig gesichert werden können.

Diese Untersuchungen sollten in regelmäßigen Abständen durchgeführt werden (z.B. alle fünf Jahre), um die Politik und die Forschungsförderung entsprechend anzupassen.

# 8 Rahmenbedingungen

Sowohl der Aufbau eines Exportmarkts als auch die Etablierung eines Pilotmarkts in Deutschland erfordern verlässliche und objektive Vergleichsmöglichkeiten für unterschiedliche Entwicklungs- und Nutzungspfade von CEA. Dafür eignen sich **Life Cycle Assessments (LCAs)**, die CEA systemisch betrachten: Gebäude, Energie- und Wasserbedarf, Lebensmittelproduktion, Kreislauf- und Abfallwirtschaft, Grundflächennutzung, Bodenversiegelung und Klimawirkung. Verfahren für die Erstellung von LCAs in dieser Komplexität müssen jedoch erst noch entsprechend den ISO- Normen ausgearbeitet und etabliert werden.

Da sich biologische Kulturen und technische Systeme kontinuierlich weiterentwickeln, müssen auch die Methoden und Datengrundlagen der LCAs fortlaufend aktualisiert werden. Es ist daher sinnvoll, dass Forschungseinrichtungen und Unternehmen die notwendigen Daten für die Fortentwicklung der LCAs standardisiert bereitstellen und ein langfristiger Forschungsauftrag die kontinuierliche Weiterentwicklung der LCAs sicherstellt.

CEA-Systeme in Gebäuden unterliegen völlig anderen Störungen als die Produktion im Freiland. Die Forschung muss daher klären, wie die **Betriebssicherheit** der Anlagen gegen zufällige, unabsichtliche oder mutwillige Störungen festgestellt, gewährleistet, dokumentiert und gegebenenfalls wiederhergestellt werden kann. Aus den Ergebnissen müssen Änderungen der eingesetzten Technik, Verfahren oder einschlägigen Rechtsnormen abgeleitet werden können.

Ebenso ist die Gewährleistung der Lebensmittelsicherheit eine unabdingbare Voraussetzung für die Nutzung von CEA-Produkten. Entsprechend sind kontinuierliche Untersuchungen zur Lebensmittelsicherheit von CEA-Erzeug-

*OrbiPlant-Anlage des Fraunhofer-Instituts für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie*

*Aquaponik-System zur Tomaten- und Fisch-Produktion*

nissen erforderlich, die möglichst personen-, kosten- und ressourceneffizient gestaltet werden müssen.

Die Komplexität von CEA-Anlagen und der Anspruch an ihre Robustheit erfordern speziell ausgebildetes Personal für Kulturführung, Technik, Architektur und Regelung. Die Anforderungen an die Expertise für gekoppelte CEA-Systeme sind noch einmal höher. Daher sind entsprechende **Aus- und Fortbildungsangebote** erforderlich, die sich sowohl an inländische als auch an internationale Fachkräfterichten sollten, um den Export von CEA-Anlagen zu unterstützen.

Da die Forschungsförderung für CEA über mehrere Ministerialressorts auf Bundes- und Länderebene verteilt ist (Ressorts für Agrarwirtschaft, Ernährung, Wirtschaft, Energie, Raumfahrt, Forschung, internationale Zusammenarbeit), ist es umso wichtiger, dass die **Ergebnisse der Forschung durch die entsprechenden Ministerien des Bundes und der Länder regelmäßig** zusammengeführt und beurteilt werden, um daraus notwendige, weitere forschungs- und wirtschaftspolitische Maßnahmen abzuleiten und sie effizient in den Forschungsablauf zu integrieren (Abbildung 2).

Die Forschungscommunity sieht den Bedarf für ein Kompetenz- und Koordinationszentrum, das Ergebnisse und Daten zusammenführt und den fachlichen Austausch unterstützt. Für die Etablierung eines solchen Zentrums kommen verschiedene Modelle infrage – von Angliederung an eine Fachgesellschaft bis zum Aufbau eines „virtuellen Knotens“ (Plattform zum Datenaustausch). Sie sind jedoch nicht Teil dieser Forschungsstrategie, sondern sollten im Dialog von Bund, Ländern, Forschung und Wirtschaft diskutiert werden.

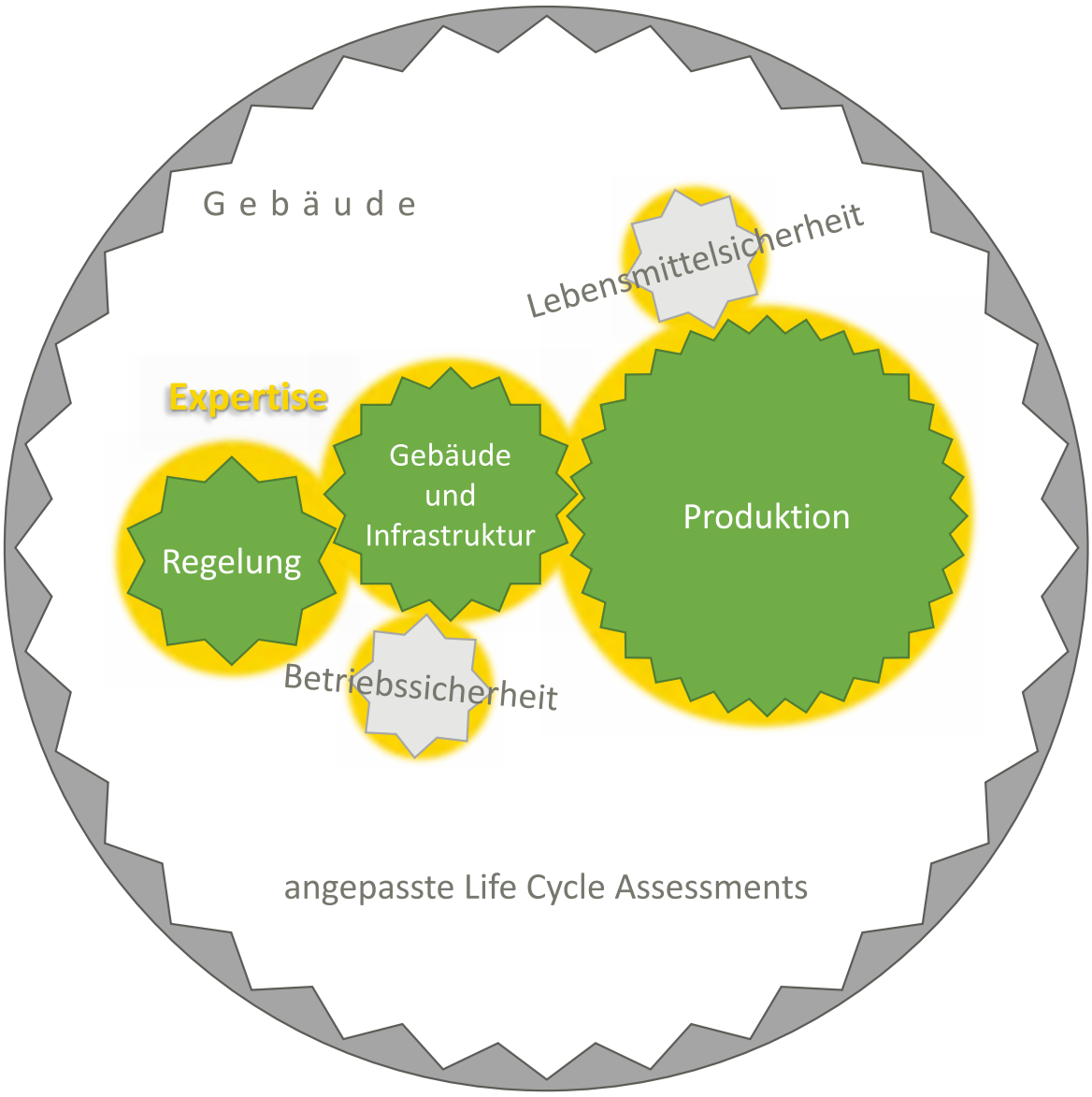



*Abbildung 1. Die Aufgaben für die Lebensmittelproduktion in CEA-Anlagen greifen wie Zahnräder ineinander. Die Forschung dazu muss ähnlich verzahnt sein.*

# 9 Strategische Priorisierung der Maßnahmen

Die unterschiedlichen Entwicklungszeiträume und ihre Bedeutung für den Ausbau von CEA erfordern eine klare Priorisierung der Forschungs- und Entwicklungsmaßnahmen. Wir empfehlen die folgende Priorisierung:

1. Energieeffizienz steigern und Betriebskosten senken; wirtschaftlich geeignete Produkte und Produktionsverfahren auswählen sowie Arten und Sorten züchterisch anpassen,

2. rechtliche Rahmenbedingungen in Deutschland und der EU für die CEA-Produktion an Regeln zur agrarwirtschaftlichen Produktion angleichen,

3. Akzeptanz bei Verbrauchern untersuchen,

4, Automatisierungsgrad erhöhen,

5. Pilotanlage mit Forschungsmöglichkeit aufbauen,

6. LCA-Standards für Vergleiche und Modellierung entwickeln,

7. Pflanzenproduktion mit Proteinproduktion durch Insekten, Fische, Krebstiere, Pilze koppeln,

8. Mess- und Regelungstechnik der Anlagen robuster gestalten,

9. Reststoffe verwerten und dadurch Lebensmittelverluste vermeiden,

10. Qualität und Sicherheit der Produkte gewährleisten.

Der Forschungsprozess sollte zeitlich so koordiniert werden, dass eine enge Abstimmung zwischen den einzelnen Forschungsbereichen sichergestellt ist (Abbildung 2).

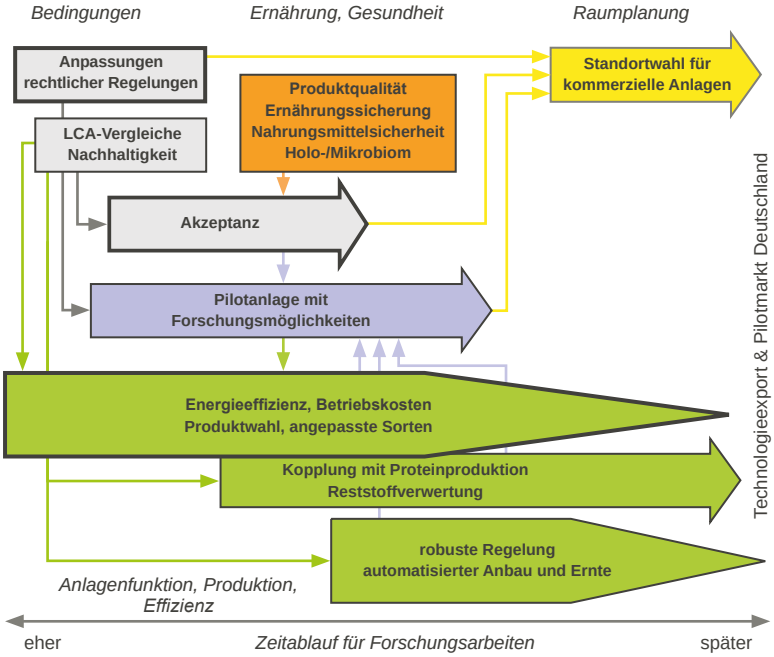



*Abbildung 2. Idealisierter Ablauf der wichtigsten Forschungsaufgaben für CEA. Verbindungen (Strichpfeile) zeigen notwendige Informationsflüsse an. Auslaufende Flächenpfeile (➡) zeigen, dass die Wichtigkeit der Aufgabe mit der Zeit abnimmt. Flächenpfeile mit ausgezogenen Flügeln (➡) zeigen an, dass die Aufgabe kontinuierlich oder längerfristig besteht.*

# 10 Zusammenfassung

Die größte volkswirtschaftliche Bedeutung von CEA liegt aus deutscher Sicht im Export der Technologie, aber auch in der einheimischen Produktion hochwertiger Lebens- und Futtermittel. Die Basis dafür sind Forschung, Entwicklung und Demonstration der Technologie in Deutschland. CEA ergänzt die herkömmliche Agrarwirtschaft überall dort, wo feldwirtschaftliche Fläche knapp und nachhaltig bereitgestellte Energie preiswert verfügbar ist.

Angesichts begrenzter finanzieller Ressourcen sollte sich die Forschungsförderung auf jene Aufgaben konzentrieren, die am stärksten zur späteren Produktion von Lebens- und Futtermitteln in CEA-Anlagen beitragen. Nach unserer Ansicht gehören dazu:

1. die Wechselwirkungen zwischen der Umgebung und dem Produkt zu verstehen und darauf aufbauend Regelung, Messtechnik und Überwachung von Mehrkomponenten-CEA-Anlagen zu entwickeln, um sowohl Produktivität (insbesondere die Energieeffizienz) als auch Produktqualität zu erhöhen,

2. Gebäude- und Energietechnik weiterzuentwickeln, um Kosten zu senken,

3. Stoffkreisläufe soweit wie möglich zu schließen, um Ressourcen zu sparen und

4. die Robustheit und Zuverlässigkeit der Anlagen, der Produktion und die Lebensmittelsicherheit der Produkte sicherzustellen.

Die Förderung der Forschung und Innovation muss politisch von Maßnahmen flankiert werden, die die Akzeptanz von CEA-Produkten und -Anlagen in Deutschland als Pilotmarkt erhöhen. Sozialwissenschaftliche Forschung unterstützt die Politik dabei, geeignete Wege zu identifizieren und gesellschaftliche Bedenken gezielt zu adressieren.

CEA baut auf wissenschaftlicher Exzellenz in der Agrarforschung und jahrzehntelanger Erfahrung im Ingenieurwesen auf. Sie bietet Deutschland die Chance, eine Schlüsseltechnologie zu entwickeln, die Ernährungssicherung, Ressourceneffizienz und wirtschaftliche Resilienz gleichermaßen stärkt.

In einer Welt, die zunehmend von Klimarisiken, geopolitischen Unsicherheiten und wachsender Nachfrage geprägt ist, wird CEA zu einem strategischen Instrument, um Versorgungssysteme unabhängiger, stabiler und nachhaltiger zu gestalten.

Die Investition in CEA schafft nicht nur die Grundlage für die eigene technologische Souveränität, sondern erschließt auch global einen wachsenden Markt mit erheblichem Wertschöpfungspotenzial, der zur Ernährungssicherung und Krisenresilienz beiträgt. Durch entschlossene Förderung kann Deutschland hier eine führende Position einnehmen – wissenschaftlich, wirtschaftlich und gesellschaftlich.

*Bewässerung von Tomatenjungpflanzen*

## Beiträge zum Inhalt

**Verantwortlich für den Inhalt**

Prof. Dr. Senthold Asseng,
Technische Universität München,
Sprecher des Fachforums

Dr. Hildegard Garming,
Thünen-Institut

Claudia Luksch,
Technische Universität München

Prof. Dr. Werner Kloas,
Leibniz-Institut für Gewässerökologie
und Binnenfischerei

Dr. Oliver Körner,
Leibniz-Institut für
Gartenbauwissenschaften

Prof. Dr. Heike Susanne Mempel,
Universität Hohenheim
(bis August 2026: Hochschule
Weihenstephan-Triesdorf)

Prof. Dr. Stefan Streif,
Technische Universität Chemnitz
und Fraunhofer-Institut für
Molekularbiologie und Angewandte
Oekologie IME

Prof. Dr. Andreas Ulbrich,
Hochschule Osnabrück

Prof. Dr. Dr. Christian Ulrichs,
Humboldt-Universität zu Berlin

Prof. Dr. Andreas Vilcinskas,
Justus-Liebig-Universität Gießen
und Fraunhofer-Institut
für Molekularbiologie und
Angewandte Oekologie IME

Dr. Ute Katharina Vogler,
Julius Kühn-Institut

Dr. Martin Erbs,
Geschäftsstelle der Deutschen
Agrarforschungsallianz

Dr. Martin Köchy,
Geschäftsstelle der
Deutschen Agrarforschungsallianz

**Danke!**

Die DAFA dankt besonders den folgenden Personen und Einrichtungen für die Kommentierung der Entwürfe:

Prof. Dr. Marc Boelhauve (Fachhochschule Südwestfalen), Linda Homann (Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung), Dr. Andreas Müller-Belecke (Institut für Binnenfischerei e.V. Potsdam-Sacrow), Prof. Dr. Stephan Schneider (Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen), Friedrich-Loeffler-Institut, Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, Max-Rubner-Institut

Wir danken ebenso allen, die am Workshop im November 2025 teilgenommen haben, für deren Beiträge und die lebendigen Diskussionen.

*CEA-Workshop 2025, Diskussion des Strategieentwurfs*

## Entstehung der Strategie

Die Mitgliederversammlung der DAFA beschloss im November 2021 eine DAFA-Plattform zum Zweck des fachlichen Austauschs und der Vernetzung zu „Controlled Environment Agriculture“ einzurichten. Die personelle und somit auch thematische Besetzung der Steuerungsgruppe der Plattform erfolgte Anfang 2022. Bei einer ersten Veranstaltung im Herbst 2022 in Freising trafen sich Akteurinnen und Akteure aus dem Bereich CEA, um ihre Forschung vorzustellen. Bei weiteren Treffen der Steuerungsgruppe wurde erörtert, wie die Forschung der einzelnen Institute besser aufeinander abgestimmt und im Sinne der Gesellschaft entwickelt werden könnte.

Im März 2024 befürworteten die Mitglieder der DAFA die Erstellung einer Forschungsstrategie zum Thema CEA. Der Strategieentwurf der Steuerungsgruppe wurde bei einem Workshop im November 2025 einem Fachpublikum vorgestellt und diskutiert. Neben der Wissenschaft waren hierzu auch Forschungsförderer, Wirtschaft, Verbände, Praktiker und Behörden eingeladen. Die Vielzahl an Rückmeldungen bildete die Basis für eine Weiterentwicklung der Strategie.

Nach Vorlage der Strategie und formeller Verabschiedung durch die Mitglieder der DAFA wurde die fertige Strategie im Herbst 2026 veröffentlicht und dient als Anregung für die Forschungsförderung.

*CEA-Strategie-Workshop, Herbst 2025, Thünen-Institut Braunschweig*

# Mitglieder der DAFA

## Universitäten

Freie Universität Berlin, Veterinärmedizinische Fakultät

Humboldt-Universität zu Berlin, Albrecht Daniel Thaer-Institut für Agrar- und Gartenbau-wissenschaften

Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Landwirtschaftliche Fakultät

Technische Universität Braun-schweig, Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge

Technische Universität Chemnitz, Professur für Regelungstechnik und Systemdynamik

Justus-Liebig Universität Gießen, Fachbereich Agrarwissenschaften, Ökotrophologie und Umwelt-management

Georg-August-Universität Göttingen, Fakultät für Agrarwissenschaften

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften

Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover

Universität Hohenheim, Fakultät Agrarwissenschaften

Universität Kassel, Fachbereich Ökologische Agrarwissenschaften

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Agrar- und Ernährungs-wissenschaftliche Fakultät

Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät

Technische Universität München, Hans-Eisenmann-Forum für Agrarwissenschaften

## Hochschulen

Hochschule Anhalt, Fachbereich Landwirtschaft, Ökotrophologie und Landschaftsentwicklung

Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde, Department Landschaft – Gesellschaft – Wirtschaft

Hochschule Geisenheim University

Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen, Institut für Angewandte Agrarforschung

Hochschule Osnabrück, Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur

Fachhochschule Südwestfalen, Fachbereich Agrarwirtschaft

Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, landwirtschaftliche Fakultäten

## Außeruniversitäre Institute

Deutsches Institut für Tropische und Subtropische Landwirtschaft (DITSL)

Deutsche Zentralbibliothek für Medizin, Informationszentrum Lebenswissenschaften (ZB-Med)

FiBL Deutschland e. V. – Forschungsinstitut für biologischen Landbau

Forschungsinstitut für Nutztierbiologie (FBN)

Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik (FhG-IGB)

Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung (FhG-IVV)

Institut für ländliche Strukturforschung (IfLS)

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL)

Leibniz-Institut für Agrarentwicklung in Transformationsökonomien (IAMO)

Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie (ATB)

Leibniz-Institut für Gartenbauwissenschaften (IGZ)

Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB)

Leibniz-Institut für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung (IPK)

Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF)

Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK)

## Bundesressortforschung

Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR)

Deutscher Wetterdienst, Zentrum für Agrarmeteorologische Forschung (ZAMF)

Friedrich-Loeffler-Institut (FLI), Bundesforschungsinstitut für Tiergesundheit

Johann Heinrich von Thünen-Institut (TI), Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei

Julius Kühn-Institut (JKI), Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen

Max Rubner-Institut (MRI), Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel

Umweltbundesamt (UBA)

## Einrichtungen der Länder

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)

Bildungs- und Wissenzentrum Boxberg (LSZ) – Schweinehaltung, Schweinezucht, Baden-Württemberg

Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandschaften (Brandenburg)

IFN Schönow e.V. – Reproduktion, Tierhaltung, Lebensmittel, Umwelt

Institut für Binnenfischerei (IFB)

Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung, Abt. Landwirtschaft, Brandenburg

Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau Sachsen-Anhalt (LLFG)

Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen (LLH)

Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei (LFA), Mecklenburg-Vorpommern

Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ), Baden-Württemberg

Landwirtschaftliches Zentrum für Rinderhaltung, Grünlandwirtschaft, Milchwirtschaft, Wild und Fischerei Baden-Württemberg (LAZBW)

Landwirtschaftskammer Niedersachsen

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen

Lehr- und Versuchsanstalt für Viehhaltung Hofgut Neumühle

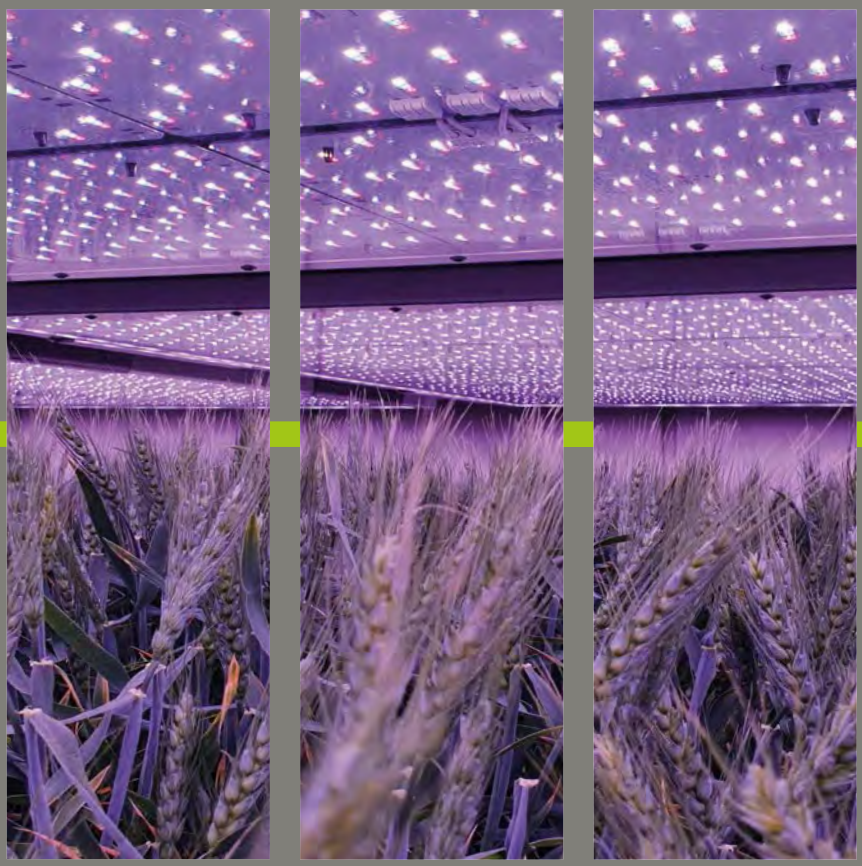
Niedersächsisches Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, Institut für Bienenkunde Celle

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)

Staatliche Lehr- und Versuchsanstalt für Gartenbau (LVG) Heidelberg, Baden-Württemberg

Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), Bayern

Thüringer Landesamt für Landwirtschaft und Ländlichen Raum (TLLLR)



**Deutsche Agrarforschungsallianz (DAFA)**
c/o Thünen-Institut
Bundesallee 50
38116 Braunschweig
Telefon: +49 (0) 531 596-1017/-1019
E-Mail: info@dafa.de
Web: www.dafa.de

9 783865 763143