



FORSCHUNGSPROJEKTE (/forschungsprojekte)

Closed urban modular energy- and resource-efficient agricultural systems (CUBES) | Teilprojekt 2: PlantCube

Zu den größten Herausforderungen des 21. Jh. gehört neben Bevölkerungswachstum und Klimawandel die Verdichtung urbanen Lebens. Räumliche und infrastrukturelle Grenzen zwischen Stadtzentrum und periurbanem Raum verwischen. Gleichzeitig können die zunehmende Verknappung der Anbauflächen und das prognostizierte Wachstum der Weltbevölkerung weder durch den laufenden Fortschritt in der Tier- und Pflanzenzüchtung noch durch eine maximale Effizienzsteigerung in der großflächigen Agrarproduktion kompensiert werden.

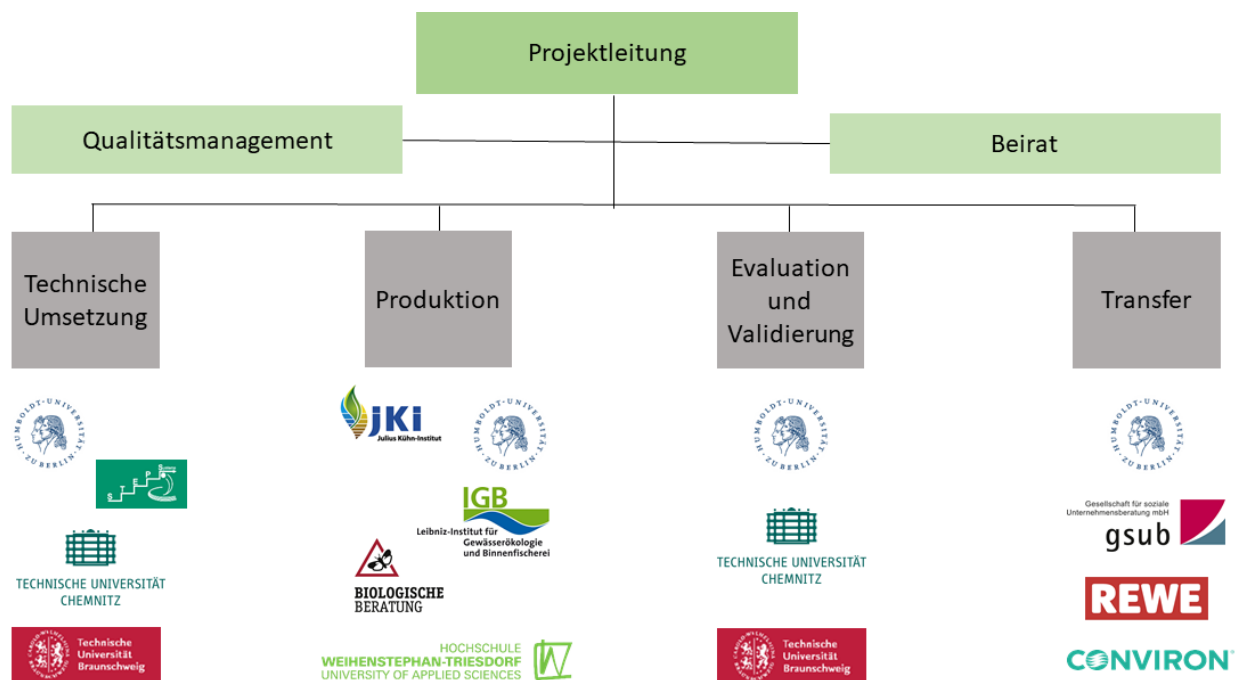


Abb.: Organigramm des CUBES Verbundes

(/files/1108/bilder/bild1.png?1557478453)

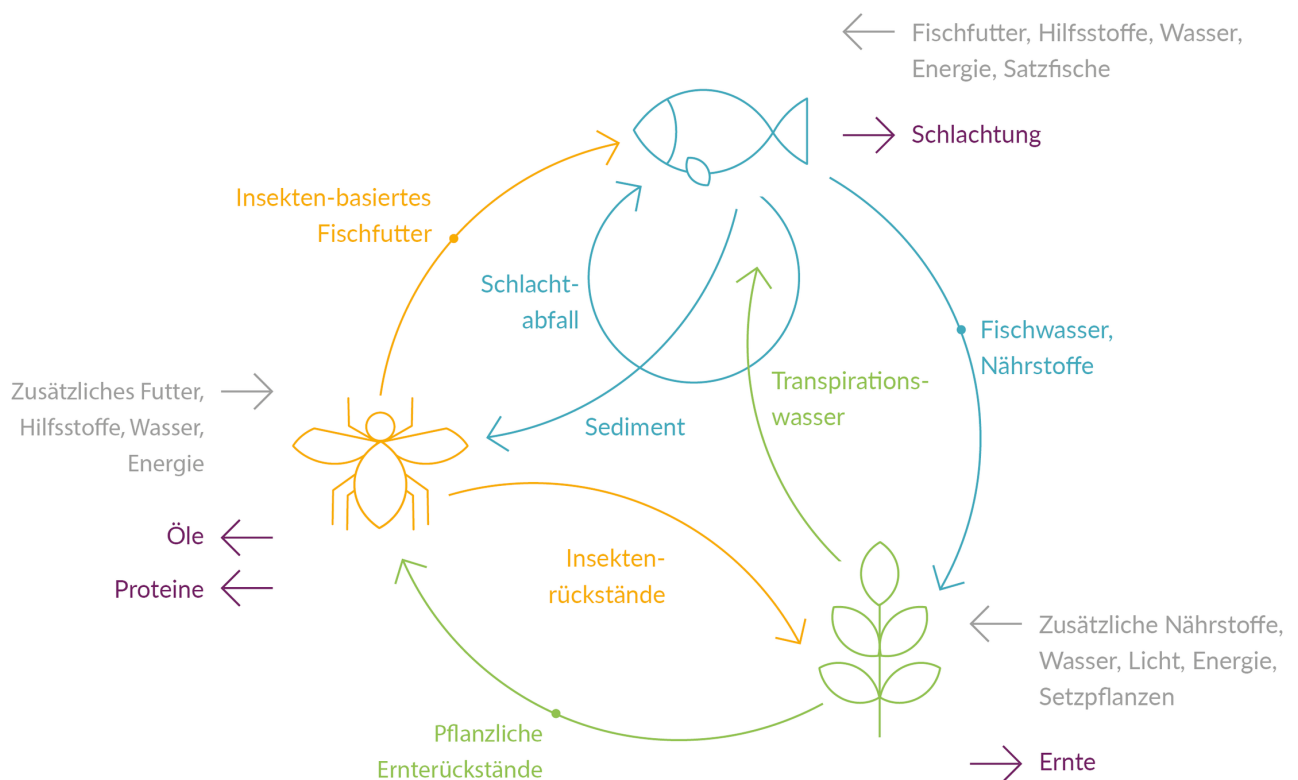
Organigramm CUBES Verband (Quelle: <https://www.cubescircle.de>)

Vision

Unsere Vision von Agrarsystemen der Zukunft basiert deshalb auf der Grundidee einer Nahrungsmittelproduktion in miteinander verbundenen, kommunizierenden und standardisierten Produktionsmodulen, den sogenannten CUBES. Diese CUBES sind die Basis eines geschlossenen Lebensmittel-Produktionssystems, das aufgrund seiner ISO-genormten, stapelbaren Grundform und seines biokybernetischen Regelungsansatzes die Schwächen vergangener Agrarproduktionssysteme überwindet und sich integrativ in eine urbane Zukunft einfügt. Aufgrund seiner mobilen Natur, der einfachen Anpassbarkeit an die sich schnell wandelnde urbane Umgebung und der systeminhärenten Skalierbarkeit

können die CUBES gleichermaßen auf ruralen, urbanen und sogar desertifizierten Standorten eingesetzt werden. Wir wollen Grundsätze verschiedener geschlossener Kulturverfahren in eine neue Prozesskette integrieren. Dabei ist von entscheidender Bedeutung, dass die einzelnen Glieder der Kette intelligent miteinander vernetzt und geregelt werden. Dadurch lassen sich Synergien ausnutzen und in Anlehnung an das „Triple Zero®“-Konzept eine Produktion ohne Zusatzstoffe, ohne Emissionen und ohne Abfallstoffe erreichen.

Diese „smart food evolution“ soll nicht auf räumlich benachbarte Teile der Prozesskette beschränkt, sondern vernetzt auch entfernte Teile der Prozesskette miteinander. Neben der Ortsungebundenheit steht insbesondere die Resilienz im Fokus, welche durch die Geschlossenheit des Anbausystems bereits per se gegeben ist. Wir gehen jedoch noch einen Schritt weiter. Unser System soll tatsächlich an potenziell jedem Ort aufgestellt und genutzt werden können, um z. B. die Zwischennutzung urbaner Flächen problemlos zu ermöglichen. Nach dem Baukastenprinzip besteht das System aus einzelnen Modulen, die alle im Prinzip mobil sind und mit theoretisch unbegrenzt vielen anderen Teilen der Prozesskette verbunden werden können. Kombiniert mit entsprechenden Regelungs- und Steuerungsverfahren können die Produktionsprozesse hochgradig flexibel an regional- und standortspezifische Bedingungen sowie an zeitlich veränderliche Bedarfs- und Produktionsanforderungen angepasst werden. Im Jahr 2050 werden entsprechende Produktionseinheiten weltweit zur Verfügung stehen und regionale Bedürfnisse durch die Lebensmittelproduktion abdecken. Durch die Einbindung der CUBES in urbane Prozesse wird eine hohe gesellschaftliche Akzeptanz angestrebt. Die Innovationen des angedachten Produktionssystems erfolgen damit auf Produkt- und Systemebene.



(/files/1108/bilder/bild3.png)

Die Stoffflüsse im CUBES Circle (Quelle: <https://www.cubescircle.de>)

Vorgehen

Für die Umsetzung unserer Vision planen wir die Konzipierung eines Kreislaufsystems basierend auf dem Vorbild natürlicher Stoff- und Energiekreisläufe. Das System wird exemplarisch für drei Trophiestufen aufgebaut, wobei auf jeder Stufe sowohl Nahrungsmittel für den menschlichen Verzehr als auch Nährstoffe für die nächsthöhere Trophiestufe erzeugt werden. Die drei Komponenten der Prozesskette sind die Produktion von Pflanzen, Insekten und Fischen.

In Pflanzen-CUBES werden „High-Value“-Nahrungsmittel kultiviert. Bei diesem Prozess erfolgt eine Anreicherung von gesundheitsfördernden Inhaltsstoffen durch Ausnutzung spezieller pflanzenphysiologischer Stressoren und Nährlösungen. Das ZINEG-Projekt hat gezeigt, dass mit geschlossenen und gekühlten Produktionsgewächshäusern mehr thermische Solarenergie gewonnen werden kann, als für die Eigenversorgung benötigt wird. Diese kann mit der entwickelten Technologie (patentierete ZINEG Wärmetechnikkomponenten) so umgesetzt werden. Zur Steuerung der Nährlösungsqualität werden selbstkalibrierende ionensensitive Sensoren (SISS) eingesetzt. Reststoffe in der Gemüse- und Zierpflanzenproduktion sind Pflanzenabfälle. Es sollen Produktionssysteme zum Einsatz kommen, die substratlos produzieren (NFT, Aeroponik). Es soll geprüft werden, ob sich Reststoffe aus anderen Produktionen als Substrate nutzen lassen. Reststoffe aus dem Pflanzenbau sollen als Insektenfutter aufgeschlossen werden. Durch Prozessmonitoring soll eine lückenlose Überwachung und Dokumentation erfolgen. Es sollen Datenbanken für diverse Footprint-Rechnungen entwickelt werden.

Ein gewisser Anteil der pflanzlichen Biomasse stellt die Basis für die Kultur im Insekten-CUBES dar. Hier werden Insekten produziert, die sowohl wichtige Proteinlieferanten für die menschliche Ernährung sein können, als auch Basis für die Produktion im Fisch-CUBES sind. Insekten sind protein- und nährstoffreich, weisen selbst eine hohe Futtermittelverwertungseffizienz auf und können mit geringem Flächen- und Wasserbedarf unter Nutzung von organischen Reststoffen gezüchtet werden. In einem Kreislaufsystem können organische Reststoffe der anderen Module als Futtermittel für omnivore Insekteneingesetzt werden, die in Biomasse und wertvolles Protein umgewandelt werden. Die Reststoffe der Insektenzucht wiederum eignen sich als hochwertiger Dünger im Pflanzenbau.

Die Produktion im Fisch-CUBES repräsentiert die oberste trophische Stufe in dem vorgeschlagenen Agrarsystem und versorgt über im Projektverlauf zu definierende Schnittstellen den photoautotrophen Pflanzen-CUBES. Der Fisch-CUBES arbeitet heterotroph, produziert Fischbiomasse und ist auf externe Energiequellen angewiesen. Die Energiezufuhr betrifft zwei Bereiche, die Zufuhr von stoffwechselbarer Energie in Form von Futter und die Zufuhr von Prozessenergie für den Betrieb. Die Problematik der Kopplung heterotropher und autotropher Prozesse liegt in den zuführenden und abführenden Schnittstellen, über die Stoff- und Energieströme zwischen den Reaktoren geführt werden müssen. Durch die Kopplung der CUBES werden die Stoffströme im Kreislauf fast ausschließlich in verwertbare Biomassen umgesetzt. Die durch die Ausscheidungen der Fische gebildeten Stickstoffverbindungen sowie weitere Makro- und Mikronährstoffe verbleiben im Prozesswasser und werden über Schnittstellen zusammen mit den gelösten Phosphorverbindungen als Düngelösung zum Pflanzen-CUBES geführt. Dort erfolgt über den Nährstoffentzug durch die Pflanzen eine Reinigung des Wassers, welches dann wieder zurück in den Fisch-CUBES geleitet wird.

Innovation

Die Innovation ist die intelligente und dynamische Vernetzung der Stoff- und Energieströme der einzelnen Produktions-CUBES sowie deren Kopplung an die urbane Infrastruktur kann z. B. eine geregelte Prozesswasserführung zwischen den Fisch- und Pflanzen-CUBES der Ressourcenverbrauch (Wasser, Nährstoffe) optimiert werden. Ebenso können die CO₂-Emissionen der Fisch- und Insekten-CUBES in den Pflanzen-CUBES zur Verbesserung des Pflanzenwachstums genutzt werden. Durch einen Wärmeaustausch zwischen den Produktions-CUBES kann die Energieeffizienz weiter erhöht werden. Die Kopplung an die urbane Infrastruktur macht die Produktions-CUBES zu einem Teil des im Rahmen der Energiewende angestrebten, dezentralen Energieversorgungsnetzes (Smart Grid). Durch diese wechselseitige Kopplung kann z. B. überschüssige Elektroenergie aus volatiler regenerativer Energieerzeugung genutzt oder Prozesswärme aus der Industrie durch Power-to-Heat-Technologien zwischengespeichert oder durch ZINEG-Technologien in das urbane Netz rückgespeist werden. Auch kann Grauwasser aus Stadtbezirken in den Produktions-CUBES als Ressourcenlieferant genutzt werden.

Grundsätzlich besitzt jeder der Produktions-CUBES verschiedene Sensoren und Einstellmechanismen für die verschiedenen Prozessgrößen (z. B. Gaskonzentrationen, Temperatur, pH-Wert, Zusatzstoffe) sowie digitale Schnittstellen für den Informationsaustausch. Ebenso kommen spezielle smarte Kombinationen aus

einfachen Sensoren und mathematischen Modellen (z. B. Phytomonitoring in den Pflanzen-CUBES zur Bestimmung der photosynthetischen Lichtnutzungseffizienz und Transpiration) zum Einsatz. Offene Schnittstellen und eine modulare, hierarchisch-gestaltete Regelungs- und Monitoring-Lösung erlaubt die einfache Integration unterlagerter oder ggf. bestehender

Regelungsverfahren (z. B. Phytocontrol zur Integration pflanzlicher Signale für die Prozessregelung) und Prozessmonitoring. Mittels fortschrittlicher, optimierungsbasierter Ansätze werden verschiedene und teilweise konkurrierende Kriterien sowie diverse Anforderungen von vor- und nachgelagerten Prozessen systematisch in der Regelung und Vernetzung berücksichtigt. Nur durch die Vernetzung und die intelligente Regelung können die oben beschriebenen Synergien ausgenutzt und schlussendlich ein effizientes und nachhaltiges Agrarsystem erhalten werden. Dies wird in den Smart-Technology-CUBES realisiert.

Smart-Technology-CUBES verwenden Experten- und Überwachungssysteme, welche es erlauben die Prozesse in den einzelnen Produktions-CUBES lückenlos zu überwachen und zu dokumentieren, wodurch eine gläserne Produktion gewährleistet wird. Eine cloudbasierte Lösung zur Vernetzung der Produktions-CUBES über verschiedene Standorte ermöglicht die Sammlung und Auswertung von Daten zur Kulturführung in Verbindung mit einer standardisierten Erfassung der Energie-, Ressourcen- und Produktflüsse. Die erfassten Daten bilden die Grundlage für eine Modellierung der biokybernetischen Interaktionen der Teilkomponenten sowie für Bewertungen von Nachhaltigkeitsaspekten, Ressourceneffizienz und Produktqualität. Die systemtheoretische Analyse und Simulation dieser dynamischen und prädiktiven Modelle werden zu einer Verbesserung der Messtechnik beitragen (z. B. Sensoreinsparungen oder smarte Softsensoren) sowie eine Optimierung der Kultur- und Prozessstrategien erlauben.

Akzeptanz

Die Akzeptanz der Nahrungsmittelproduktion in CUBES wird bereits in der Konzeptionsphase, während der Entwicklung und Umsetzung sowie anhand der installierten Pilotanlage auf dem Campus der Humboldt-Universität zu Berlin mit Stakeholdern (sowohl Bürger, Konsumenten und Anwohner als auch Vertreter des Senats, politischer Parteien, von Interessenverbänden und sonstige Multiplikatoren und Meinungsbildner) diskutiert und evaluiert. Bei der Beteiligung der Stakeholder geht es um Anforderungen an das CUBES-Modell in Bezug auf die Quantität und die Nachhaltigkeit der Produktion, die Qualität und die Preise der produzierten Lebensmittel, die Integration des Produktionssystems in die Stadtlandschaft sowie das Betreibermodell (z. B. kommerziell, öffentlich, public-private-partnership). Methodisch sollen Stakeholder-Interviews und –Workshops, Open-Space-Formate, anonymisierte Befragungen, Choice-Experimente und Fuzzy-set Qualitative Comparative Analysis (FsQCA)² durchgeführt sowie unmittelbare Zufriedenheits- und Bewertungs-Feedbacks von Besuchern der Pilotanlage eingeholt werden.

Ökonomie und Ökologie

Die Untersuchung der Wirtschaftlichkeit des CUBES-Modells umfasst die betriebswirtschaftliche Analyse der Investitions- und Einrichtungs- sowie der Unterhaltskosten, den Vergleich unterschiedlicher Betreibermodelle, die Einbeziehung von Umwelt- und Transaktionskosten, die Ermittlung der zu erwartenden Preise der produzierten Lebensmittel und der Zahlungsbereitschaft (Zielgruppe bzw. Zielmarkt) sowie Aussagen zum Verarbeitungsgrad der produzierten Lebensmittel (Wertschöpfungs- und Dienstleistungsketten).

Im Ergebnis sollen hier Risiken identifiziert und Empfehlungen für eine wirtschaftliche, ökologisch nachhaltige und gesellschaftlich akzeptierte Betreuung des CUBES-Modells erarbeitet werden.

Die Hochschule Weihenstephan-Triesdorf ist am Teilprojekt 2 (PlantCube) beteiligt

Anbauverfahren in Containersystemen gibt es seit wenigen Jahren in mehreren Ländern. Auch wenn einige dieser Systeme bisher reine Studien darstellen, gibt es auch Anbieter, die bereits auf dem Markt sind. Die größten Unterschiede zum in diesem Vorhaben geplanten PlantCUBE liegen in der Kombination der zuvor genannten Innovationen. Alle bereits bestehenden Systeme arbeiten mittels Kunstlicht in geschlossenen Containern. Der PlantCUBE hingegen wird das natürliche Sonnenlicht nutzen und dieses energieeffizient im Raum verteilen. LED-basiertes Licht wird als Zusatzlicht nur dort eingesetzt, wo es notwendig ist bzw. zur Anregung der Produktion bioaktiver Komponenten zur Qualitätssteigerung vor der Ernte. Durch die Verwendung eines Pop-Up-Systems ist der PlantCUBE skalierbar und sehr einfach zu transportieren. Weiterhin kommen neueste Produktionstechnologien zur Anwendung: ein Hybridanbausystem aus Aeroponik- und Nährfilmtechnologie für den intensiven Anbau von Kulturpflanzen (TASPO Wissenschaftspreis 2017), ein vertikales Anbausystem zur volumenoptimierten Produktion von Pflanzen (TASPO Wissenschaftspreis 2017), automatisierte Ernteverfahren, wellenlängenoptimierte Beleuchtung etc. Weitere Technologien zur Energieeinsparung entstammen dem ZINEG-Projekt bzw. dem 2017 an der HU Berlin begonnenen Vorhaben LED4Plants.

Rein containerbasierte Produktionssysteme werden derzeit in mehreren Ländern angeboten. Hier zu nennen sind vorrangig „EkoFarmer“ (Finnland), „Leafy Green Machine“ (USA Freightfarms), „Growtainer“ (USA), „GrowUp Urban Farms“ (UK) und „Hive-Inn City Farm“ (USA). Der zahlenmäßig erfolgreichste Hersteller ist Freightfarms, der vertikale Produktionssysteme von Bright Agrotech bezieht. Bright Agrotech bietet Lichtvorhänge für Anbausysteme an, diese werden aber nicht intelligent (Assimilationslicht) geregelt. Weiterhin sind die Systeme unflexibel in Bezug auf die zu kultivierenden Pflanzen. Die Düngung erfolgt sensorbasiert, hier kommen aber noch keine ionensensitiven Sensoren zur Anwendung, wie sie im CUBES Circle vorgesehen werden. Ein „Growtainer“ wird parallel zu den Eigenentwicklungen des Projekt-Konsortiums am Standort Freising an der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf als sogenannter RemoteCUBE betrieben. Dieses bereits bestehende System arbeitet mit einem Regalsystem in welches verschiedene Kulturführungssysteme integriert und verglichen werden und verwendet zur Kulturführung ausschließlich Kunstlicht. Die physiologischen und ökonomischen Rahmenbedingungen der Systeme werden vergleichend erfasst.

Verbundprojektleitung

Prof. Dr. Christian Ulrichs (Koordination)

Humboldt-Universität zu Berlin [↗](https://www.agrar.hu-berlin.de/de) (https://www.agrar.hu-berlin.de/de)

Teilprojektleitung

Prof. Dr. Heike Mempel (<http://www.hswt.de/person/heike-mempel.html>)

T +49 8161 71-5853

heike.mempel [at] hswt.de [✉](mailto:heike.mempel@hswt.de)

(mailto:%68%65%69%6b%65.%6d%65%6d%70%65%6c@%68%73%77%74.%64%65)

Projektdauer

01.03.2019 - 29.02.2024

Projektpartner

Humboldt-Universität zu Berlin - Albrecht Daniel Thaer-Institut für Agrar- und Gartenbauwissenschaften

[↗](https://www.agrar.hu-berlin.de/de) (https://www.agrar.hu-berlin.de/de)

Technischer Universität Chemnitz [↗](https://www.tu-chemnitz.de/) (https://www.tu-chemnitz.de/)

Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei - Abteilung 6, Chemische Analytik und Biogeochemie [↗](http://www.igb-berlin.de/startseite.html) (<http://www.igb-berlin.de/startseite.html>)

Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen - Julius Kühn-Institut [↗](http://www.jki.bund.de/) (<http://www.jki.bund.de/>)

Technische Universität Carolo Wilhelmina zu Braunschweig - Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik IWF [↗](https://www.tu-braunschweig.de/iwf) (<https://www.tu-braunschweig.de/iwf>)

Hermetia Baruth GmbH [↗](http://www.katzbiotech.de/hermetia/) (<http://www.katzbiotech.de/hermetia/>)

Projektträger

Projektträger Jülich - Forschungszentrum Jülich GmbH [↗](http://www.ptj.de/) (<http://www.ptj.de/>)

Projektförderung

Bundesministerium für Bildung und Forschung [↗](http://www.bmbf.de) (<http://www.bmbf.de>)

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung [↗](http://www.bmbf.de) (<http://www.bmbf.de>)

Weblinks

CUBES Circle - Offizielle Homepage [↗](https://www.cubescircle.de/) (<https://www.cubescircle.de/>)

[Startseite \(https://www.hswt.de\)](https://www.hswt.de) | [Impressum \(https://www.hswt.de/impressum\)](https://www.hswt.de/impressum) | [Datenschutz \(https://www.hswt.de/datenschutz\)](https://www.hswt.de/datenschutz)