

Björn Risch¹
 Isabel Zachert¹
 Alexander Engl¹
 Tobias Przywarra¹
 Dorina Strieth²

¹Universität Koblenz-Landau
²TU Kaiserslautern

Circular Economy Begreifen – Algen im Schülerlabor Erforschen (CEASEless)

Circular Economy – bisher ein weißer Fleck auf der Angebotskarte formaler und non-formaler Bildungsangebote, jedoch ein hochaktuelles Thema mit Lösungsansätzen für eine nachhaltige Welt. Im Projekt CEASEless (dt. ständig/unaufhörlich/endlos) lernen Schüler:innen der Jahrgangsstufe 10 im Schulunterricht sowie an einem außerschulischen Lernort über fünf Termine hinweg das Potenzial von Mikroalgen für eine Circular Economy (CE) kennen. Inhaltlich setzen sie sich experimentell-forschend und kritisch-analytisch mit Mikroalgen als alternative Rohstoffquellen zur Optimierung der Stickstoffbilanz in der Landwirtschaft auseinander.

Circular Economy – ein Thema mit Lösungsansätzen für eine nachhaltige Welt

Jahrelang stand der Begriff „Kreislaufwirtschaft“ vor allem für eine gut funktionierende Abfallwirtschaft. Mit Einführung des Aktionsplans „Den Kreislauf schließen“ durch die Europäische Kommission wurden jedoch neue Fragen zu Geltungsbereich und Zielen einer Kreislaufwirtschaft aufgeworfen und der Übergang in die „Circular Economy (CE)“ als Systemwandel der Wirtschaft initiiert (Eur-Lex, 2015). Der Aufbau einer nachhaltigen CE bedarf eines grundsätzlichen Paradigmenwechsels, weg vom klassischen Abfallmanagement hin zu einer naturverträglichen Gestaltung von Wirtschaftssystemen im Sinne der Prämissen: Reuse, Reduce, Recycle, Refuse, Repair und Rethink.

Überdüngung in der Landwirtschaft

Der Kerngedanke der CE folgt dem Prinzip der inbegriffenen Zirkularität von Ökosystemen, oder anders formuliert: die wirtschaftlichen Prozesse orientieren sich an den Stoffkreisläufen der Natur (Jaeger-Erben & Hofmann, 2019). Besonders im Bereich der „Biogeochemischen Kreisläufe“ (Phosphor- und Stickstoffkreislauf) sind die planetaren Belastbarkeitsgrenzen jedoch bereits deutlich überschritten worden (Rockström et al., 2009). Dazu trägt insbesondere die industrielle Landwirtschaft mit hohen Stickstoffeinträgen durch Überdüngung bei. Düngemittel werden verstärkt ausgebracht, um die Nährstoffverarmung der Böden auszugleichen und den maximalen Ernteertrag gewährleisten zu können. Durch Überdüngung werden unter anderem die Böden versauert sowie das Trinkwasser belastet. Zudem kann durch Abbauprozesse Lachgas entstehen – ein Treibhausgas, das rund 300-mal klimaschädlicher als Kohlenstoffdioxid ist.

Mikroalgen als Schlüsselfaktoren

Mikroalgen sind einer der zukünftigen Schlüsselfaktoren für die Abschwächung des Klimawandels, da sie phototroph aktive Mikroorganismen sind, die auf verschiedene Weise genutzt werden können (Kholssi et al., 2021). Im Bereich der Umweltbiotechnologie werden

Mikroalgen bei der Behandlung von agroindustriellen Abwässern und bei der Bekämpfung zahlreicher Schadstoffe wie Schwermetalle oder Pestizide eingesetzt. Forschungsergebnisse legen nahe, dass Mikroalgen auch eine entscheidende Rolle bei der erfolgreichen Wiederverwendung von landwirtschaftlichen Abfällen im industriellen Maßstab spielen könnten (Stiles et al., 2018). Sie passen hervorragend zu der Idee einer CE, da sie in der Lage sind, Nährstoffabfälle biologisch zu sanieren und als Quelle für Biomasse für verschiedene kommerzielle Anwendungen zu dienen (Fuentens-Grünewald et al., 2021). Studien im Labormaßstab zeigen bereits, dass Mikroalgen perspektivisch als natürliche und vor allem lebende Düngemittel eingesetzt werden könnten und dadurch der Einsatz künstlicher Düngemittel reduziert werden kann (Kollmen & Strieth, 2022).

Das Projekt CEASEless

Im Projekt CEASEless erarbeiten sich Schüler:innen der Jahrgangsstufe 10 im Rahmen von fünf Terminen das Thema „Circular Economy“ (T1-T5). Inhaltlich setzen sie sich mit der Fragestellung auseinander, wie bei limitierter agrarwirtschaftlicher Nutzfläche gleichzeitig die Grundversorgung der Weltbevölkerung gedeckt und der Eintrag von stickstoffbasierten Kunstdüngern minimiert werden könnte. Dabei stehen Mikroalgen als alternative Rohstoffquellen zur Optimierung der Stickstoffbilanz in der Landwirtschaft im Fokus (vgl. Abb. 1).

























Termin & Ort	Thema	CE-Bezug	Methode	SDG-Bezug
(1) Schulunterricht <i>Begegnungsphase</i>	Der Stickstoffkreislauf als virtuelles Labor - Einführung in den Stickstoffkreislauf			 
(2) Schülerlabor <i>Neugierphase</i>	CE als nachhaltiges Wirtschaftssystem - Mystery zu CE & Agrarwirtschaft - Kultivierung von Mikroalgen - VR-Reise „Photobioreaktor“			 
(3) Schülerlabor <i>Erarbeitungsphase</i>	Agrarwirtschaft mit Mikroalgen - Modellexperimente zu den erarbeiteten „Red Flags“	   		  
(4) Schülerlabor <i>Vernetzungsphase</i>	CE-Lösungsansätze bei ökologisch-sozialen Dilemmata - Podiumsdiskussion			 
(5) Schulunterricht <i>Vertiefungsphase</i>	Ökosystemleistungen des nachhaltigen Stickstoffkreislaufs - Erstellung „Concept Maps“ und Präsentation (Gallery Walk)			   

Abb. 1: Übersicht über Termine, Inhalte und Methoden im Projekt CEASEless

Die konstruktive Auseinandersetzung mit komplexen gesellschaftlichen Herausforderungen erfordert von den Schüler:innen, neben einer den naturwissenschaftlichen Fächern inhärenten

analytisch-reduktionistischen Betrachtung, auch eine systemische Betrachtungsweise. Dafür müssen die dynamischen Zusammenhänge zwischen Systemelementen analysiert, modelliert und Prognosen für die Entwicklung des Systems abgeleitet werden (Dörner, 2011). Die Einheiten basieren auf den Vorgaben des rheinland-pfälzischen Lehrplans (Chemie, Sek I, Themenfeld 11 „Stoffe im Fokus von Umwelt und Klima“) und stellen darüber hinaus eine Vertiefung und Erweiterung zum schulischen Unterricht dar.

Zu Beginn werden die Lerneinheiten rund um die Besuche des Schülerlabors Freilandmobil im Dialog mit CE-Expert:innen entwickelt und mit Kooperationschulen pilotiert (*Entwicklung*). Im zweiten Schritt erfolgt die Erprobung der Lerneinheiten mit Schulklassen im Schülerlabor (*Erprobung*). Über die gesamte Projektlaufzeit werden kontinuierlich Forschungsdaten erhoben und ausgewertet, um CEASEless hinsichtlich seiner Wirkung auf „Circular Literacy“ und „Systemisches Denken“ zu überprüfen (*Evaluation*). Abschließend werden die Lerneinheiten sowie zugehörige Handreichungen über eine digitale Plattform als Open Educational Resources (OER) öffentlich zur Verfügung gestellt (*Dissemination*).

Der Schwerpunkt im Schülerlabor liegt in der Möglichkeit, neu entwickelte Modellexperimente mit Mikroalgen durchzuführen. Die Schülerexperimente orientieren sich an vier zu bearbeitenden Problemen (A-D) des Stickstoffkreislaufs und deuten auf Potenziale einer Agrarwirtschaft mit Mikroalgen hin:

- A) Durch Überdüngung entstehen gesundheitsschädliche Gase wie Ammoniak und Stickstoffoxide. Geplantes *Modellexperiment*: Mikroalgen wandeln Ammoniak und Stickstoffoxide in einem Photobioreaktor („Luftwaschanlage“) in Sauerstoff um.
- B) Durch Überdüngung gelangen Ammonium und Nitrat ins Grundwasser und belasten so unter anderem die Trinkwasservorräte. Geplantes *Modellexperiment*: Mikroalgen minimieren in Trinkwasseraufbereitungsanlagen Belastungen in Form von Ammonium und Nitrat.
- C) Durch Überdüngung wird Nitrat im Boden zu Lachgas abgebaut, das 300-fach klimaschädlicher ist als Kohlenstoffdioxid. Geplantes *Modellexperiment*: Mikroalgen ersetzen Kunst- und Wirtschaftsdünger. Durch sie lässt sich bioverfügbarer Stickstoff ausbringen und eine Umwandlung zu Lachgas bleibt aus.
- D) Überdüngung schädigt das Mikrobiom des Bodens nachhaltig. Geplantes *Modellexperiment*: Durch Einbringen lebender Mikroalgen regeneriert sich das Mikrobiom. Die Algen stabilisieren die Bodenaggregate und sorgen für bessere Wachstumsbedingungen.

Forschungsinteresse

Im naturwissenschaftlichen Unterricht sollten mit Bezug zum CE-Konzept zwei Kompetenzen gefördert und beforscht werden: (1) Circular Literacy – die Fähigkeit natürliche Kreisläufe und Stoffströme zu verstehen und zu respektieren (Zwiers, Jaeger-Erben & Hofmann, 2020) sowie (2) Systemisches Denken – das Vermögen, Komplexität zu durchdringen und damit umzugehen (Bräutigam, 2014). Zur Beantwortung der Forschungsfragen werden die Teilnehmenden zu (1) im Unterricht (T5) Concept Maps mit dem Fokus auf Ökosystemleistungen im Kontext Agrarwirtschaft mit Mikroalgen erstellen. Zu (2) wird mittels Fragebögen die Systemkompetenz der Teilnehmenden erhoben (Prä-Post-Design). Die

Konstruktion der Items erfolgt in Anlehnung an Roczen et al. (2021). Das Projekt wird bis 2025 von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) gefördert.

Literatur

- Bräutigam, J. (2014). *Systemisches Denken im Kontext einer Bildung für nachhaltige Entwicklung. Konstruktion und Validierung eines Messinstruments zur Evaluation einer Unterrichtseinheit* (Doctoral dissertation, Pädagogische Hochschule Freiburg).
- Dörner, D. (2011). *Die Logik des Mißlingens. Strategisches Denken in komplexen Situationen*. Rowohlt Verlag.
- Eur-Lex (2015). Den Kreislauf schließen – Ein Aktionsplan der EU für die Kreislaufwirtschaft. <https://eurlex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A52015DC0614> (26.09.2022)
- Fuentes-Grünewald, C., Gayo-Peláez, J. I., Ndovela, V., Wood, E., Kapoore, R. V., & Llewellyn, C. A. (2021). Towards a circular economy: A novel microalgal two-step growth approach to treat excess nutrients from digestate and to produce biomass for animal feed. *Bioresource Technology*, 320, 124349.
- Jaeger-Erben, M., & Hofmann, F. (2019). Kreislaufwirtschaft – Ein Ausweg aus der sozial-ökologischen Krise? Schriftenreihe Nachhaltigkeit. Wiesbaden: Hessische Landeszentrale für politische Bildung.
- Kholssi, R., Ramos, P. V., Marks, E. A., Montero, O., & Rad, C. (2021). Biotechnological uses of microalgae: a review on the state of the art and challenges for the circular economy. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 36, 102114.
- Kollmen, J., & Strieth, D. (2022). The Beneficial Effects of Cyanobacterial Co-Culture on Plant Growth. *Life*, 12(2), 223.
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin III, F. S., Lambin, E., ... & Foley, J. (2009). Planetary boundaries: exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and society*, 14(2).
- Roczen, N., Fischer, F., Fögele, J., Hartig, J., & Mehren, R. (2021). Measuring system competence in education for sustainable development. *Sustainability*, 13(9), 4932.
- Stiles, W. A., Styles, D., Chapman, S. P., Esteves, S., Bywater, A., Melville, L., ... & Llewellyn, C. A. (2018). Using microalgae in the circular economy to valorise anaerobic digestate: challenges and opportunities. *Bioresource technology*, 267, 732-742.
- Zwiers, J., Jaeger-Erben, M., & Hofmann, F. (2020). Circular literacy. A knowledge-based approach to the circular economy. *Culture and Organization*, 26(2), 121-141.