

Vertikale Landwirtschaft in der Schule

Bauanleitung für einfache hydroponische Systeme zum Experimentieren im Kontext aktueller globaler Herausforderungen

H. Hardt^{1,2,3}, I. Heil^{2,3}, J. T. van Dongen¹, J. Bohrmann², R. Schmidt¹

RWTH Aachen, ¹Institut für Biologie I, Botanik/Molekulare Genetik, ²Institut für Biologie II, Zoologie und Humanbiologie, ³Didaktik der Biologie und Chemie

Vertikale Landwirtschaft ist angesichts der Problematik von Klimawandel und Welternährung ein hochaktueller Kontext für den Biologieunterricht. Die Kultivierung von Pflanzen erfolgt hier auf kleiner Fläche und unter kontrollierten Bedingungen in sogenannten hydroponischen Systemen, die optimierte Nährlösungen enthalten. Für die Schule können einfache hydroponische Systeme für Mais und Kresse hergestellt werden. So können modellhaft das Prinzip und die Bedeutung der vertikalen Landwirtschaft aufgezeigt sowie Experimente zum Wachstum und zum Trocken- und Salzstress bei Pflanzen durchgeführt werden.

Stichwörter: Vertikale Landwirtschaft, hydroponisches System, Wachstum, Keimung, Kultivierung, Erde, Trockenstress, Salzstress, Kresse, Mais

1 Einleitung

Vor dem Hintergrund des Klimawandels und der Welternährungsproblematik ist die vertikale Landwirtschaft ein zukunftsweisender Ansatz [6], [17], [19]. Die Thematik ist auch für den Biologieunterricht bedeutsam und geeignet: Fachlich relevante Inhalte können in einen Kontext eingebettet werden, der sich durch Gesellschafts- und Schülerrelevanz auszeichnet. Zugleich lässt sich obligatorisches Fachwissen sehr gut mit Aspekten der prozessbezogenen Kompetenzbereiche Erkenntnisgewinnung, Kommunikation und Bewertung verknüpfen, indem es auch anhand von Experimenten erarbeitet wird.

Bei der vertikalen Landwirtschaft werden große Mengen Pflanzen in den Städten in mehrstöckigen Gebäuden unter Gewächshausbedingungen platzsparend zumeist in sogenannten hydroponischen Systemen kultiviert ([4]; [10], S. 1; [12], S. 1; s. Abschnitt 2). Solche Systeme können für den Einsatz in der Schule mit einfachen Mitteln nachgebaut, mit Kresse oder Mais bepflanzt und für verschiedene Experimente genutzt werden (s. Abschnitt 3 und 4). Ein Kultivierungsversuch mit Mais für die Jahrgangsstufen 5/6 wird in dieser Ausgabe von BU praktisch vorgestellt (BU praktisch 2(3):2, <http://www.bu-praktisch.de/index.php/bupraktisch/issue/archive>), Experimente

zu Trockenstress und Salzstress, die sich für die Mittel- bzw. Oberstufe eignen, folgen demnächst in diesem Online-Journal.

Die Schulversuche wurden im Rahmen einer Masterarbeit entwickelt [8]. Die Thematik ist Gegenstand aktueller Forschung der Aachener Biologie und Biotechnologie (ABBT) und wurde zunächst anhand von Experimenten im Forschungslabor erarbeitet und fachlich geklärt. Auf dieser Grundlage wurden sodann im Hinblick auf den schulischen Einsatz geeignete Ansätze, Pflanzen und Fragestellungen ausgewählt. Es wurden Arbeits- und Zusatzmaterialien entwickelt, die Experimente wurden vereinfacht, angepasst und erprobt (vgl. hierzu [9]).

2 Vergleich der vertikalen Landwirtschaft mit der herkömmlichen Kultivierung von Pflanzen

Bei der vertikalen Landwirtschaft werden Pflanzen abweichend zur herkömmlichen Landwirtschaft nicht in Erde auf Äckern kultiviert, sondern in Gewächshäusern oder Hochhäusern (sogenannte ‚Farmscraper‘) auf mehreren Etagen in Regalen mit mehreren Ebenen (Abb. 1). Man spricht synonym auch von *vertical farming*, *indoor farming*, *urban farming* oder *controlled environment agriculture* (CEA). Aufgrund der vertikalen Schichtung können vergleichbare Erntemengen auf deutlich geringeren Grundflächen als bei der herkömmlichen Landwirtschaft erzielt werden ([5]; [6], S. 4, 27; [7], S. 388). In den einzelnen Etagen der Farmscraper werden die Bedingungen an die Präferenzen der jeweiligen Pflanzen angepasst, sodass eine ganzjährige Kultivierung unter optimalen Bedingungen möglich ist. Vielfach wird die Kultivierung bei der vertikalen Landwirtschaft mittels hydroponischer Systeme (*Hydroponics*) vorgenommen, bei denen sich die Wurzeln der Pflanzen nicht wie bei der herkömmlichen Landwirtschaft in Erde, sondern in speziellen Nährlösungen befinden ([6], S. 25; [15], S. 299). Der Begriff *Hydroponics* leitet sich aus dem Griechischen ab, wobei *hydro* für Wasser und *ponos* für Arbeit oder Labor steht. Es gibt zirkulierende und nicht-zirkulierende hydroponische Systeme. In beiden Fällen wird die Medienzusammensetzung regelmäßig überprüft; in den zirkulierenden Systemen sind die im Wasser enthaltenen Nährsalze und Mineralien kontinuierlich gleichmäßiger verteilt ([15], S. 299).

Hydroponische Systeme, in denen Pflanzen ohne Erde kultiviert werden, sind bereits für das 17. Jahrhundert eindeutig nachgewiesen. In den 1620er Jahren betrieb beispielsweise der Wissenschaftler, Philosoph und Politiker Francis Bacon Forschungen zu diesen Systemen [16]. Der kommerzielle Einsatz nimmt seit den 1930er Jahren immer weiter zu. Die Optimierung der Nutzungskreisläufe sowie der Ressourceneffizienz bilden Forschungsthemen des 21. Jahrhunderts [16]. Verwendet wurden hydroponische Systeme in den letzten Jahrzehnten vor allem für den Anbau von Tomaten und Erdbeeren ([5], S. 25; [6], S. 388). Hydroponisch angebaut werden zudem Salat, Pfeffer und Kräuter, aber auch Getreide wie Mais und Weizen [2]. Heute findet das Prinzip der vertikalen Landwirtschaft zum Anbau von Pflanzen beispielsweise in Großbritannien, den USA, der Schweiz oder in Japan, aber auch in Deutschland (z. B. Berlin) Anwendung [4].



Abb. 1: Hydroponische Systeme (oben) und Farm Scraper (unten). Oben links (a): Kultivierung von Salat, Zwiebeln und Radieschen bei der NASA; oben rechts (b): Vertikal kultivierter Salat; unten: 3D-Modelle für Farmscraper. Fotos/Bilder: a) NASA, public domain, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hydroponic_onions_nasa.jpg; b) Valcenteu, [CC BY-SA 3.0](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:VertiCrop.jpg), <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:VertiCrop.jpg>; c) Cjacobs627 at English Wikipedia, [CC BY-SA 3.0](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Vertical_farm2.jpg), https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Vertical_farm2.jpg.

Neben der enormen Platzersparnis verspricht die vertikale Landwirtschaft gegenüber der herkömmlichen Kultivierung von Pflanzen viele wichtige Vorteile. Die oberirdischen Pflanzenteile wachsen bei gleichzeitiger Ausbildung kleinerer Wurzeln in hydroponischen Systemen schneller als im herkömmlichen System mit Erde. Außerdem ist es möglich, die Pflanzen enger nebeneinander zu kultivieren. Weiterhin wird über die Nährlösungen eine gleichmäßigere Versorgung der Pflanzen mit Nährsalzen und Mineralien gewährleistet. Nicht nur biotischer Stress

in Form von Insektenplagen spielt nahezu keine Rolle, auch witterungsbedingte Ernteauffälle, welche etwa durch Starkregen oder Trocken- und Hitzeperioden bedingt sind, entfallen ([11]; [15], S. 303; [5]; [7], S. 388). So bietet die vertikale Landwirtschaft die Möglichkeit, dass sie auch in klimatisch für den Anbau von Kulturpflanzen ungeeigneten Gebieten wie Wüsten eingesetzt werden kann [18]. In Städten kann die Nahrungsproduktion in Farmscrapern direkt beim Verbraucher stattfinden und entsprechend mit einer Reduktion der Transportwege und -kosten einhergehen [5]. Der Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln kann bei der vertikalen Landwirtschaft im Gegensatz zur herkömmlichen Landwirtschaft auf einen sehr geringfügigen Anteil beschränkt werden ([7], S. 388). Überdies finden sich Angaben, dass bei der vertikalen Landwirtschaft etwa 70 Prozent des Wasserverbrauchs gegenüber der herkömmlichen Landwirtschaft eingespart werden können [18].

Bei einem hydroponischen System ist der Aufwand für die Herstellung und für die Suche nach geeigneten Kultivierungsbedingungen für die jeweilige Pflanzenart größer als bei einem herkömmlichen System mit Erde ([15], S. 303). Eine aktuelle Herausforderung bei der vertikalen Landwirtschaft besteht in der Optimierung der Nutzungskreisläufe und somit letztlich der Ressourceneffizienz in den vertikalen Farmen [5]. Sogenannte aquaponische Systeme sind ein vielversprechender Ansatz: Sie bestehen aus Becken, in denen Fische gezüchtet bzw. Pflanzen kultiviert werden; anhand regelmäßigen Wasseraustausches zwischen den Becken wird eine natürliche Düngung des Wassers erreicht [18].

Bei einer Internet-Recherche zur vertikalen Landwirtschaft fällt auf - und Schülerinnen und Schülern sollte dies daher auch bewusst werden -, dass viele Darstellungen von Firmen stammen oder wohl unter deren Beteiligung entstanden sind. Sie sind somit nicht unbedingt neutral, sondern eher (auch) als Werbung zu verstehen - der englischsprachige Wikipedia-Artikel weist sogar ausdrücklich darauf hin: "This article contains content that is written like an advertisement. Please help improve it by removing promotional content and inappropriate external links, and by adding encyclopedic content written from a neutral point of view. (September 2015)" (https://en.wikipedia.org/wiki/Vertical_farming, Stand vom 25.07.2019; vgl. hierzu auch den deutschsprachigen Wikipedia-Artikel: https://de.wikipedia.org/wiki/Vertical_Farming). Es empfiehlt sich somit ein Vergleich unterschiedlicher Quellen, solchen, die offenbar "Werbung in eigener Sache" machen und solchen, die objektiv(er) erscheinen. Als Beispiel sei hierzu ein "Infothek"-Artikel des österreichischen Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie genannt (<https://infothek.bmvit.gv.at/vertical-farming-gemueseanbau-in-wolkenkratzern/>). Hier findet sich ein Interview, das exemplarisch zeigt, wie Forscher denken und arbeiten, hier z.B. wie sie auf das Problem einer nicht ausreichenden Nahrungsmittelproduktion für eine große Anzahl von Menschen, z.B. in einer Stadt wie New York, aufmerksam werden, nach Lösungen suchen und Ideen zur vertikalen Landwirtschaft entwickeln. Auf der gleichen Seite ist auch ein etwa zwanzigminütiger Film eines Vortrags des interviewten amerikanischen Forschers Despommier (vgl. [6], [7]) eingestellt - über Youtube kann der Film auch mit englischsprachigen Untertiteln angeschaut werden.

3 Hydroponische Systeme in der Schule

Der Aufbau eines hydroponischen Systems für den Einsatz im Unterricht ist in Abbildung 2 schematisch dargestellt. Im schulischen Kontext genügen nicht-zirkulierende hydroponische Systeme, die in der Handhabung sehr einfach sind. Es empfiehlt sich die Anfertigung eines Klassensatzes von beispielsweise 12 hydroponischen Systemen (s. Bauanleitung im Arbeitsmaterial), so dass die Schülerinnen und Schüler zu zweit oder zu dritt mit einem System arbeiten können. Sind die erforderlichen Boxen und Adapter einmal beschafft bzw. hergestellt, können diese über Jahre verwendet werden.

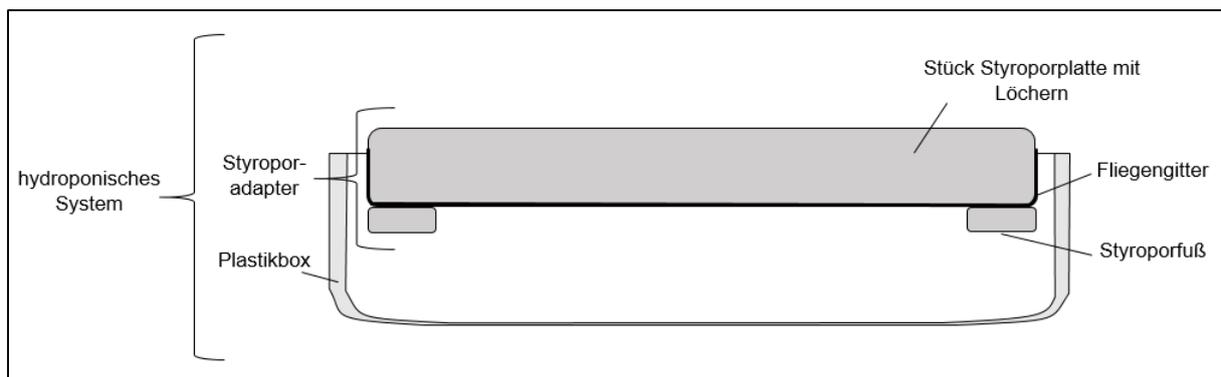


Abb. 2: Schema eines hydroponischen Systems für die Kultivierung von Mais in der Schule ("Maissystem"). Das hydroponische System besteht aus einer Plastikbox und einem Styroporadapter, der passend angefertigt und in die Box eingesetzt wird. Für den Adapter wird eine Styroporplatte zugeschnitten und mit Löchern, einem Fliegengitter und zwei Styroporfüßen versehen. In die Box wird eine wässrige Lösung eingefüllt, auf der der Adapter aufschwimmt. Im Experiment wird in jedes Loch des Adapters ein Samen bzw. ein Keimling gesetzt.

Für den schulischen Einsatz haben sich die Kresse (*Lepidium sativum*) und der Mais (*Zea mays*) als die am besten geeigneten Pflanzen erwiesen [8], da diese in einem angemessenen Zeitraum keimen und wachsen und deutliche physiologische Antworten auf die in Testversuchen applizierten Stressformen (Trocken- und Salzstress) zeigen. In diesem Artikel werden zwei etwas unterschiedliche Bauanleitungen für hydroponische Systeme für diese beiden Pflanzenarten vorgestellt (große "Maissysteme" und kleine "Kressesysteme"). Als weniger geeignet konnten folgende Pflanzen identifiziert werden: Petersilie (*Petroselinum crispum*), Gerste (*Hordeum vulgare*), Erbse (*Pisum sativum*) und Europäischer Queller (*Salicornia europaea*) [8].

Maispflanzen eignen sich besonders bei wöchentlichen Biologiestunden, und die Aussaat der Samen geht schneller als bei Kressesamen. Kresspflanzen wachsen besonders schnell und sind somit für sehr kurze Versuche geeignet; zudem ist die Anschaffung der Materialien für die Kressesysteme günstiger. Die Kultivierung der Pflanzen in hydroponischen Systemen ermöglicht es den Schülerinnen und Schülern - besser als die Anzucht in Erde -, neben dem oberirdischen Pflanzenkörper auch die Wurzeln zu betrachten.

Der Einsatz hydroponischer Systeme im Biologieunterricht empfiehlt sich zunächst, um das Prinzip der vertikalen Landwirtschaft nachzuvollziehen und im Kontext ihre zunehmende gesellschaftliche

Relevanz aufzuzeigen. In der Erprobungsstufe können sie verwendet werden, um nicht nur die Kultivierung von Pflanzen in Erde, sondern auch die in einem hydroponischen System experimentell zu erforschen. Weiterführende Stressexperimente können in allen Jahrgangsstufen im Hinblick auf Vorteile wie leichtere Stressinduzierbarkeit mittels hydroponischer Systeme durchgeführt werden [8].

4 Bauanleitung für hydroponische Systeme für Mais und Kresse

Die Bauanleitung (s. Arbeitsmaterial) bezieht sich auf die Herstellung von hydroponischen Systemen für Mais- bzw. Kressepflanzen ("Maissysteme" bzw. "Kressesysteme"). Die benötigten Gerätschaften, Werkzeuge und Materialien stehen normalerweise im Haushalt und in einer Schulwerkstatt zur Verfügung bzw. können zum Beispiel im Baumarkt oder über das Internet einfach und kostengünstig beschafft werden.

Aus einer Styroporplatte (s. Bauanleitung) können jeweils 12 hydroponische Systeme für Mais bzw. Kresse hergestellt werden. Die angegebene Menge der übrigen Materialien (Plastikboxen, Fliegengitter, Bausilikon) richtet sich nach diesem Wert.

Für die Maissysteme werden große Plastikboxen benötigt, die Styroporplatten für die Adapter werden mit großen Löchern versehen; für die kleinen Kressesysteme sind es kleine Plastikboxen und kleine Löcher in den Adaptern. Entsprechend erfolgt das Durchbohren der Adapter mit Bohrern unterschiedlichen Durchmessers (Topfbohrer 20 mm bzw. Fräsbohrer 10 mm). Das Zuschneiden des Fliegengitters erfolgt mithilfe von Papier unterschiedlicher Größe (DIN A3 bzw. DIN A4). Die Größe der Adapter muss an die Größe der beschaffbaren Plastikboxen angepasst werden. Die in der Bauanleitung genannten Größenangaben können als Richtwerte verstanden werden.

Für die kleinen Kressesysteme werden zusätzlich zu den Adaptern kleine dünne Styroporplatten (aus der gekauften Styroporplatte oder aus Verpackungsresten, s. Bauanleitung) hergestellt; diese werden während der Keimungsphase der Kresse unter die Adapter gelegt und sorgen dafür, dass ein feuchtes Kosmetiktuch an das Fliegengitter gedrückt wird; bei den Maissystemen sind diese zusätzlichen Styroporplatten nicht erforderlich.

Das Kultivierungsexperiment mit Mais, welches ebenfalls in dieser Ausgabe vorgestellt wird, (BU praktisch 2(3):2, <http://www.bu-praktisch.de/index.php/bupraktisch/issue/archive>) erfordert sechs große hydroponische Systeme (bei sechs Schülergruppen, s. ebd.). Die Stressexperimente zum Trocken- und Salzstress, die künftig in dieser Zeitschrift vorgestellt werden, erfordern pro Klasse zwölf große Maissysteme (Experiment zum Trockenstress) bzw. 12 kleine Kressesysteme (Experiment zum Salzstress). Für Kontrollansätze werden beim Kultivierungsexperiment und beim Experiment zum Salzstress außerdem noch je zwölf kleine Plastikboxen benötigt; dies sind die gleichen kleinen Boxen wie bei den Kressesystemen, nur ohne Adapter. (Das Experiment zum Trockenstress erfordert keine zusätzlichen Boxen.)

Anschrift der Autoren

Hannah Hardt, M. Ed.^{1,2,3}, Prof.-Vertr. Dr. Ingeborg Heil, OStR' i.H.^{2,3}, Prof. Dr. Joost T. van Dongen¹, Prof. Dr. Johannes Bohrmann², Dr. Romy Schmidt¹

RWTH Aachen, ¹Institut für Biologie I, Botanik/Molekulare Genetik, Worringerweg 1, 52074 Aachen sowie ²Institut für Biologie II, Zoologie und Humanbiologie, ³Didaktik der Biologie und Chemie, Worringerweg 3, 52074 Aachen; Kontakt (für die Autoren): heil@bio2.rwth-aachen.de und roschmidt@bio1.rwth-aachen.de

Literaturverzeichnis

- [1] Abenthum-Glaser, I., Frankenberg, T., Hausfeld, R., Höxter, H., Klaßen, D., Lisbach, I., Nußwald, T., Peters, J., Pütz, N., Ratermann, M. Schröder, E., Schulenber, W., Stoppel, F., Teschner, H. und Vorwerk, B. (2016): Bioskop 5./ 6. Gymnasium Nordrhein-Westfalen. Westermann, Braunschweig.
- [2] Agrilyst (2016): State of Indoor Farming; online: <http://stateofindoorfarming.agrilyst.com/> (02.04.2019).
- [3] Baer, H.-W. (2006): Biologische Versuche im Unterricht. 5. Aufl., Aulis-Verlag: Köln.
- [4] Börnecke, S. (2016): Vertikale Landwirtschaft ist der neue Hype; online: <http://www.fr.de/wirtschaft/landwirtschaft-vertikale-landwirtschaft-ist-der-neue-hype-a-293224> (06.12.2018).
- [5] Bundesministerium für Bildung und Forschung (2018): Vertical Farming; online: <https://www.pflanzenforschung.de/de/themen/lexikon/vertical-farming-10036> (06.12.2018).
- [6] Despommier, D. (2010): The Vertical Farm. Feeding the World in the 21st Century. St. Martin's Press: New York.
- [7] Despommier, D. (2013): Farming up the city. The rise of urban vertical farms. Trends in Biology 31 (7): 388f.
- [8] Hardt, H. (2019). Entwicklung von Schulexperimenten zur Kultivierung und zum Einfluss von abiotischem Stress auf verschiedene Pflanzenarten. Masterarbeit. RWTH. Aachen.
- [9] Heil, I., Wüller, M., Bohrmann, J. (2009): Hochschule macht Schule – vom Forschungsexperiment zum Schulexperiment. In: Harms, U. et al. (Hrsg.) „Heterogenität erfassen - individuell fördern im Biologieunterricht“. IPN - Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften, Kiel, 206-207; online: <http://www.humanbiologie.rwth-aachen.de/images/stories/downloads/HeW%C3%BCBo09.pdf> (26.07.2019)
- [10] Heilemann, J., Jungbauer, W., Konopka, H.-P., Menke, K., Reck, M., Schäfer, H., Starke, A. S. und Wasmann, A. (2016): Linder 1. Biologie. Nordrhein-Westfalen. Schroedel: Braunschweig.

- [11] Jarvis, D. und Hodgkin, T. (2006): Introduction (Art.) In: Jarvis, D., Mar, I. und Sears, L. (Hrsg.). Enhancing the use of crop genetic diversity to manage abiotic stress in agricultural production systems. Proceedings of a workshop: 23-27; online: http://www.unscn.org/layout/modules/resources/files/Enhancing_the_use_of_crop_genetic_diversity_to_manage_abiotic_stress_in_agricultural_production_systems.pdf (12.08.2018).
- [12] Kozai, T. und Niu, G. (2016): Introduction (Art.). In: Kozai, T., Niu, G. und Takagaki, M. (Hrsg.). An indoor vertical farming system for efficient quality food production; online: <https://www.sciencedirect.com/science/book/9780128017753> (06.12.2018).
- [13] Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen (2019): Kernlehrplan für das Gymnasium. Sekundarstufe I in Nordrhein-Westfalen. Biologie. (Online-Fassung Inkraftsetzung 23.06.2019); online: <https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/lehrplan/197/KLP%20GY%20SI%20Biologie.pdf> (19.07.2019)
- [14] Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen (2013): Kernlehrplan für die Gesamtschule. Sekundarstufe I in Nordrhein-Westfalen. Naturwissenschaften. Biologie, Chemie, Physik. Heft 3108. 2. Aufl.; online: <https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/lehrplannavigator-s-i/gesamtschule/naturwissenschaften/index.html> (19.08.2018).
- [15] Sardare, M. D. und Admane, S. V. (2013): A review on plant without soil. Hydroponics. IJRET 2 (3): 299-304.
- [16] Turner, B. (2019): How hydroponics works; online: <https://home.howstuffworks.com/lawn-garden/professional-landscaping/hydroponics1.htm> (02.04.2019).
- [17] UN DESA (United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division) (2017): World Population Prospects. The 2017 Revision. Key Findings and Advance Tables. Working Paper Nr. ESA/P/WP/248; online: https://esa.un.org/unpd/wpp/Publications/Files/WPP2017_KeyFindings.pdf (11.08.2018).
- [18] Vyas, K. (2018): 13 Vertical Farming Innovations That Could Revolutionize Agriculture. Interesting Engineering; online: <https://interestingengineering.com/13-vertical-farming-innovations-that-could-revolutionize-agriculture> (06.12.2018).
- [19] WHES (2018): 2018 World Hunger and Poverty Facts and Statistics. Number of hungry people in the world; online: <https://www.worldhunger.org/world-hunger-and-poverty-facts-and-statistics/> (11.08.2018).
- [20] Wüller, M., Gawlik, S., Conrath, U. und Bohrmann, J. (2011): Können Pflanzen „lernen“, Trockenheit zu ertragen? UB 362: 6-10.

Bauanleitung für hydroponische Systeme für Mais und Kresse

Material zur Herstellung

Neben den in Tab. 1 genannten Geräten und Materialien, mit denen jeweils 12 hydroponische Systeme für Mais bzw. Kresse hergestellt werden können (vgl. Artikeltext), wird folgende Grundausrüstung für die Herstellung beider Systeme benötigt:

Akkuboehrschrauber

Bleistift

Heißluftpistole (optional, vgl. Teil 1 der Anleitung im nächsten Abschnitt)

Kreissäge

Lineal, ggf. Zollstock

Standbohrmaschine

Zeitungspapier

	Große Systeme für Maispflanzen ("Maissysteme")	Kleine Systeme für Kressepflanzen ("Kressesysteme")
Plastikboxen	12 große Plastikboxen, 5,1 L (26,7 x 16,8 x 11,9 cm)	12 kleine Plastikboxen, 1 L (17 x 12 x 7 cm)
Styroporplatte, (125 x 60 x 40 cm, Artikelbezeichnung: Hartschaumplatte)	1 x zur Anfertigung von 12 großen Adaptern	1 x zur Anfertigung von 12 kleinen Adaptern und zusätzlich 12 kleinen dünnen Styroporplatten
Bohrer	Topfbohrer (20 mm)	Fräsbohrer (10 mm)
Papier	DIN A3	DIN A4
Fliegengitter für Fenster (130 x 150 cm)	2 x	1 x
Bausilikon, Tube 310 mL (Farbe z. B. grau)	2 x	1 x

Tab. 1: Material für die Herstellung von 12 hydroponischen Systemen (Mais- bzw. Kressesysteme). Weitere Geräte, Werkzeug und Verbrauchsmaterialien für beide Systeme sind in obigem Text genannt.

Anleitung zur Herstellung

Eine Kennzeichnung des jeweiligen Schrittes mit L bedeutet, dass der Schritt von der Lehrkraft durchgeführt werden sollte, während mit L/S gekennzeichnete Schritte wahlweise von der Lehrkraft bzw. den Schülerinnen und Schülern vollzogen werden können.

Teil 1: Ausschneiden der Styroporadapter aus der Styroporplatte und Bohren der Löcher

Außenmaße für den jeweiligen Styroporadapter auf Styroporplatte anzeichnen (vgl.Tab. 2). (L)

Adapter	Außenmaße in cm (L x B x H)	Anzahl der Löcher	Lochdurchmesser c in cm	Abstand zwischen den Löchern d und e in cm	Abstand Loch zu Außenrand des Adapters in der Länge a und in der Breite b in cm	Maße pro Fuß in cm (L x B x H)
Mais-system	24,7 x 15 x 4	24 (6 x 4)	c = 2	d = 1,5	a = 2; b = 2,6	24 x 2 x 1
Kresse-system	11 x 7,5 x 1,8	24 (6 x 4)	c = 1	d = 0,5, e = 1	a = 1; b = 0,7	7,5 x 2 x 1

Tab. 2: Maße für die Herstellung der Styroporadapter (vgl. Abb. 2).

Angezeichnete Adapter möglichst mit einer Kreissäge aussägen. (L)

Auf erstem Adapter Lochpositionen mittels Tab. 2 und Abb. 1 einzeichnen. (L/S) (Tipp: An Außenseiten des ersten Adapters gewünschte Abstände markieren und Markierungen danach mit Lineal verbinden. Zur Beschleunigung der Anzeichnungsphase alle weiteren Adapter nacheinander an bereits vermessenen und markierten Adapter legen, gewünschte Abstände ohne erneutes Messen mit kleinen Strichen auf die vier Außenseiten übertragen und anschließend wiederum mit Lineal verbinden. Für die Schülerinnen und Schüler zur Reduktion von Fehlern und zur Beschleunigung ggf. Adapter vorbereiten, von denen Maße auf weitere Adapter übertragen werden können.)

Gemäß Abb. 1 Lochpositionen mit „X“ markieren. (L/S)

Lochposition per Hand mit Bohrer durch Drehen einritzen, um das Ausfransen des Loches sowie die Gefahr des Abrutschens beim Bohrvorgang zu verringern. (L/S)

Löcher mit Standbohrmaschine oder Akkuschauber bohren. (L/S) (Tipp: Für Löcher mit einem Durchmesser von 2 cm Topfbohrer und für Löcher mit einem Durchmesser von 1 cm Fräsbohrer verwenden.)

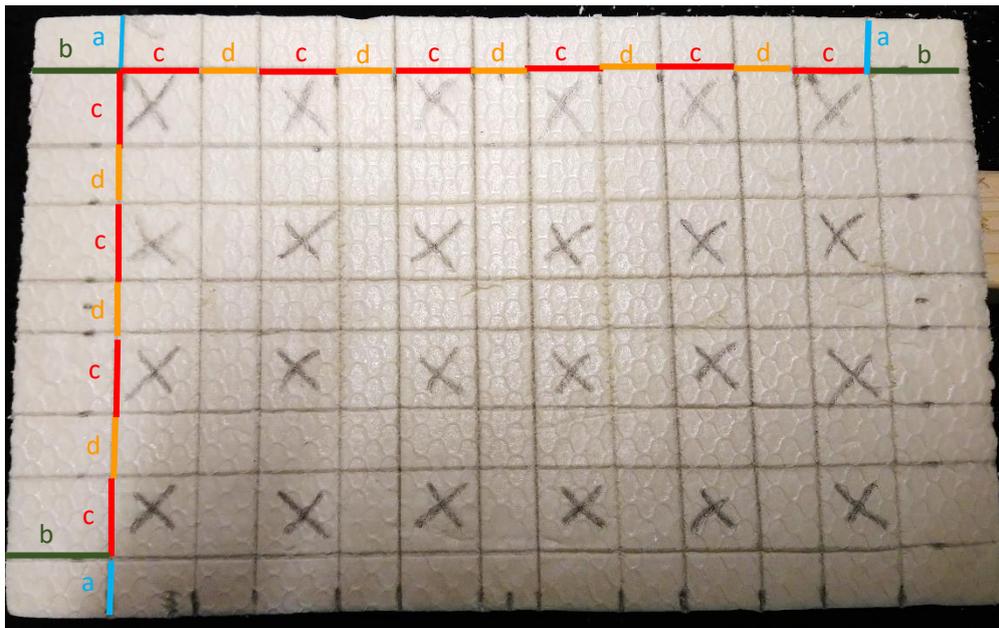


Abb. 1: Einzeichnung der Lochpositionen am Beispiel des Adapters für das Maissystem. An den mit X markierten Stellen werden Löcher gebohrt. $a \triangleq$ Abstand Loch zu Außenrand des Adapters in der Länge und $b \triangleq$ Abstand Loch zu Außenrand des Adapters in der Breite, $c \triangleq$ Lochdurchmesser; $d \triangleq$ Abstände zwischen den Löchern. Für die Maße vgl. Tab. 2.

Löcher können auf Wunsch mit einer Heißluftpistole geglättet werden: Heißluftpistole kurz auf Adapter halten und anschließend an Lochwänden mit Fingern entlangreiben, um Unebenheiten an Lochrändern zu minimieren. (L/S)

Teil 2: Ausschneiden und Befestigen des Fliegengitters

DIN A3-Blatt auf das Fliegengitter legen und mit Büroklammern am Fliegengitter fixieren. Fliegengitterstück in der Größe eines DIN A3-Blattes ausschneiden. (Tipp: Blatt jeweils am Rand des Fliegengitters anlegen, um den Verschnitt zu minimieren. Für großen Adapter (Maissystem) DIN A3- und für kleinen Adapter (Kressesystem) DIN A4-Blätter verwenden. Ab hier zu zweit arbeiten). (L/S)

Unterlage, die anschließend entsorgt werden kann (z. B. alte Zeitung), auf dem Boden oder Tisch ausbreiten. (L/S)

Adapter auf Unterlage legen, festhalten und Silikon auf zukünftige Adapterunterseite gemäß Abb. 2 verteilen. (L/S)

Zurechtgeschnittenes Fliegengitter auf Unterlage ausbreiten und stramm ziehen. Adapter mit der Silikonseite mittig auf das Fliegengitter drücken. (Achtung: Klebt der Adapter einmal am Netz, kann er nicht mehr verschoben werden. Der Adapter muss so platziert werden, dass das Fliegengitter anschließend auch an den Seiten des Adapters festgeklebt werden kann, s. Abb. 2, links). (L/S)

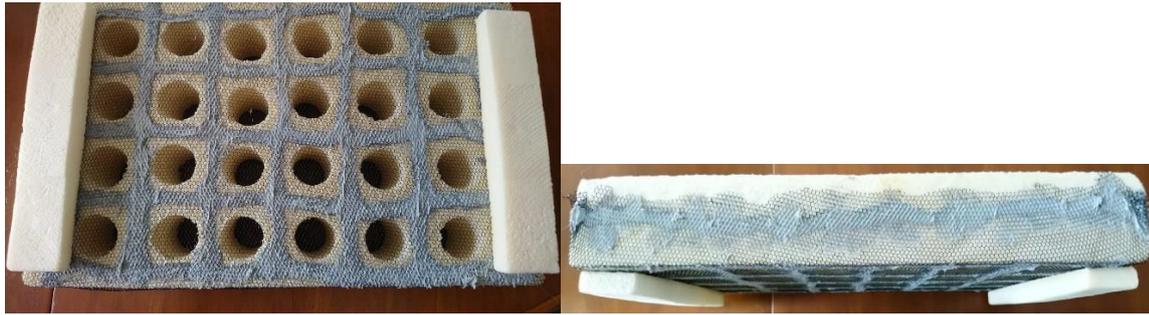


Abb. 2: Positionierung des Silikons und der StyroporfüÙe. Auch unter den StyroporfüÙen wurde vor dem Ankleben des Fliegengitters Silikon verteilt. Das an den Seiten überstehende Fliegengitter wurde abgeschnitten.

Silikon auf Seitenflächen des Adapters auftragen. (L/S)

Fliegengitter unter strammem Hochziehen in das Silikon auf den Seiten drücken und mit dem Daumen an allen vier Seiten durch Entlangstreichen festdrücken. (L/S)

Adapter vorsichtig von der Unterlage abziehen und mit den Fingern von innen nach außen feststreichen, sodass das Fliegengitter anschließend stramm über der Adapterunterseite gespannt ist. (L/S)

Adapter für mindestens einen Tag mit Oberseite (ohne Silikon) nach unten trocknen lassen. (L/S)

Abstehende Fliegengitterstücke an den Seiten abschneiden, s. Abb. 2, rechts. (L/S).

Teil 3: Herstellen und Befestigen der StyroporfüÙe

StyroporfüÙe gemäß Tab. 2 auf Styroporplattenresten anzeichnen und möglichst mit einer Kreissäge aussägen. (L)

An den kurzen Seiten bei allen Adaptern StyroporfüÙe mit Silikon festkleben (dabei Löcher nicht verdecken, s. Abb. 3), um Auftrieb der Adapter zu steigern und zu gewährleisten, dass das Netz auch nach einer mehrtägigen Kultivierungsperiode nicht unter die Wasseroberfläche absinkt. (L/S)

Adapter für mindestens einen Tag mit Oberseite (ohne Silikon) nach unten trocknen lassen. (L/S).

Teil 4: Herstellung der Styroporplatten zum Unterlegen unter die kleinen Adapter der Kressesysteme

Aus Styroporplatte oder alternativ aus Verpackungsmüll 12 kleine dünne Styroporplatten aussägen (7,5 x 7,5 x 1 cm). (Dieser Schritt ist nur für die Kressesysteme erforderlich, s. Artikeltext. Bei den Maissystemen entfällt er unabhängig vom beabsichtigten Experiment.)