

Abschlussbericht
**Schülerinnen und Schüler farmen unter Nutzung neuester
technischer Möglichkeiten**
„fanutec“
Aktenzeichen 37288

Waldschule Hagen-Beverstedt gGmbH

Projektbeginn 27.11.2022

Projektlaufzeit 36 Monate

Hagen im Bremischen

Januar 2026

Kontaktadresse:

Dr. Uli B. Seemann
Waldschule Hagen-Beverstedt gGmbH
Amtsplatz 11
27628 Hagen im Bremischen

gefördert durch



Deutsche
Bundesstiftung Umwelt

www.dbu.de

Einleitung / Vorwort

Im Projekt wurde ein autonomer FarmBot an einem Gymnasium eingesetzt, um biologische Unterrichtsinhalte praxisnah und technologiegestützt zu vermitteln und damit den Realbezug zu den zu vermittelnden Lerninhalten zu erhöhen. Die technische Betreuung, Wartung und Weiterentwicklung übernahm eine begleitende Robotics-AG, die die notwendige Infrastruktur aufbaute, sowie technische Anpassungen und Sensorik entwickelte.

Parallel dazu wurden durch eine Fachlehrkraft curriculare Anknüpfungspunkte erarbeitet und der FarmBot zur Durchführung von Wachstumsversuchen und zur Bereitstellung von Realobjekten im Biologieunterricht integriert. In einer Community of Practice mit Vertreter:innen der Biologiedidaktik der Universität Bremen, der Schulleitung, Fachlehrkräften und der Robotics-AG sollte ein Leitfaden entwickelt werden, der den Transfer auf weitere Schulen und Schülerlabore erleichtert. Das Projekt sowie die Ergebnisse wurden unter anderem auf Fachveranstaltungen, Printmedien und Schulbesuchen vorgestellt.

Insgesamt ist das Projekt trotz personeller Schwierigkeiten und Verzögerungen erfolgreich verlaufen und zum Abschluss gebracht worden. Dabei hat sich vor allem die Projektverlängerung mit der damit einhergehenden zweiten Wachstumsperiode als sinnvolle Entscheidung erwiesen. Somit kann der Leitfaden nicht nur über Kosten und Inbetriebnahme informieren, sondern auch einen Einblick in gut und, aufgrund technischer Schwierigkeiten, weniger gut laufende Jahre geben und wie mit diesen im Sinne einer Unterrichtseinbettung umgegangen werden kann. Eine Zusammenfassung des Projektes gibt das Kapitel „Fazit“.

Bericht

Anlass und Zielsetzung des Projektes

Ein autonom arbeitender Roboter sollte ein Beet an einer Schule bewirtschaften und so den stetig technikaffiner werdenden Schüler:innen einen direkten Bezug zu im Fach Biologie relevanten Unterrichtsthemen herstellen. Die technische Betreuung dieses FarmBots übernahm eine ihn begleitende AG. Die Integration des FarmBots gliederte sich in drei Schritte: für die Herstellung und Inbetriebnahme der nötigen Infrastruktur zum Betrieb des FarmBots im Rahmen der AG wurden zwei Schuljahre eingeplant. Die AG übernahm dabei die Gerätewartung sowie Anpassung von technischer Seite sowie die Umsetzung von Ideen und Anpassungen an nötigen Werkzeugaufsätzen oder optischen Sensoren. Eine Fachlehrkraft der Biologie arbeitete die thematischen und curricular-relevante Schnittmengen und Inhalte für den zweiten Schritt heraus. Dieser hatte auf Basis der kerncurricularen Vorgaben die Integration des FarmBots in den Fachbereich und den Lehrplan zum Ziel, z.B. zur Durchführung von Wachstumsversuchen oder zur Bereitstellung von Realobjekten im Biologieunterricht. In einer Community of Practice mit Mitarbeiter:innen der Biologiedidaktik

unter der Leitung von Frau Prof. Elster sowie der Schulleitung, den Fachlehrer:innen und der Robotics AG sollte die Verankerung in einem niedersächsischen Schulcurriculums erfolgen, mit welchem der Transfer in andere Landesschulen als auch Schülerlabore möglichst unkompliziert erfolgen kann. Dafür sollte abschließend als dritter Schritt ein Modellcurriculum als Leitfaden zur Verfügung gestellt werden. Eingeplant waren dafür Projektvorstellungen auf Veranstaltungen wie z.B. der MNU-Tagung.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Im Rahmen des Projekts wurde ein FarmBot als autonomes Bewirtschaftungssystem für ein Schulbeet eingeführt, um den Biologieunterricht durch praxisnahe und digital gestützte Lerngelegenheiten zu bereichern. Zu Beginn standen die grundlegende Projektabstimmung zwischen Schule und Universität Bremen sowie die gemeinsame Festlegung von Zielsetzung, Aufgabenverteilung und Zeitplanung. Darauf aufbauend erfolgte eine umfassende Recherche zu verfügbaren FarmBot-Modellen und deren Eignung für den schulischen Einsatz. Die Analyse umfasste Funktionsumfang, Zuverlässigkeit, Erweiterbarkeit und Kosten. Auf dieser Basis wurden das passende Modell ausgewählt, die benötigten Zusatzkomponenten zusammengestellt und das gesamte System beschafft.

Parallel dazu wurde der spätere Standort auf dem Schulgelände vermessen und hinsichtlich Bodenqualität, Lichtverhältnissen, Strom- und Wasseranschlüssen sowie Zugänglichkeit bewertet. Anschließend erfolgte die bauliche Vorbereitung des Beetes, einschließlich der Anpassung der Unterkonstruktion in Form eines massiven Hochbeetes für das Schienensystem und der Sicherstellung einer stabilen und witterungsbeständigen Installation. Nach Lieferung des Systems wurden alle Bauteile geprüft und im Anschluss der mechanische Aufbau des FarmBots vorgenommen. Dieser umfasste den Zusammenbau der Schienenkonstruktion, die Montage des Portals, der Antriebseinheiten und Werkzeugmodule sowie die Installation der Bewässerungstechnik.

Es folgte die elektrische Installation, einschließlich der Verkabelung aller Motoren, Sensoren und Peripheriegeräte mit der Steuerplatine. Anschließend wurde die Firmware eingerichtet und das Webinterface konfiguriert. In mehreren Testphasen wurden Achsbewegungen kalibriert, Werkzeugwechsel überprüft und die Bewässerungssteuerung getestet, bis ein stabiler und zuverlässiger Betrieb gewährleistet war. Während der Inbetriebnahme wurden zahlreiche technische Herausforderungen identifiziert und schrittweise gelöst. Dazu zählten mechanische Anpassungen zur Verbesserung der Bewegungsgenauigkeit, die Optimierung der WLAN-Verbindung und der spätere Umstieg auf eine stabile LAN-Verbindung sowie Fehlerkorrekturen in der Softwarekonfiguration. Durch iterative Tests wurden die Abläufe für Säen, Bewässern und Pflegen der Pflanzen an die Anforderungen des Schulalltags, auch im Hinblick auf Sichtbarkeit während des Schulalltags, angepasst.

Die Universität Bremen begleitete den gesamten Prozess durch eine systematische Evaluation. Dabei wurden sowohl alle beteiligten Parteien regelmäßig interviewt, vor allem aber der schulische Mehrwert des FarmBots auf das Lernverhalten und den Wissenszuwachs untersucht. Neben Beobachtungen im laufenden Betrieb wurden Rückmeldungen von Lehrkräften und Schüler*innen ausgewertet und die vom FarmBot erzeugten Daten zur Bewässerung und Bewegungssteuerung analysiert. Die gewonnenen Erkenntnisse bildeten eine wichtige Grundlage für die Fehlerbeseitigung und Optimierung des Systems sowie für die pädagogische Weiterentwicklung des Projekts. Die Postdatenerhebung konnte im Dezember 2024 abgeschlossen werden, nachdem im dritten Zwischenbericht noch nicht alle Ergebnisse des ersten Evaluationszyklus präsentiert werden konnten, da aufgrund eines hohen Krankenstandes einige Schüler*innen noch nicht an der Postevaluation teilgenommen hatten. Es wurden zehn Pre- und acht Postinterviews geführt. Anschließend erfolgte die Datenauswertung. Die Ergebnisse wurden im September 2025 auf der 25. Internationalen Tagung der Fachsektion Didaktik der Biologie in Innsbruck präsentiert. Im März 2025 ist der Pre-Fragebogen in der Projektklasse für den zweiten Evaluationszyklus zum Einsatz gekommen. Im Mai und Juni wurden dann Pre-Interviews mit den Schüler*innen geführt. Im September 2025 konnte die Datenerhebung in der sechsten Klasse abgeschlossen werden, indem sowohl die Post-Fragebögen als auch die Post-Interviews geführt wurden. Es wurden 13 Pre- und zehn Post-Interviews geführt. Im November folgten Interviews mit der Community of Practice sowie die Durchführung der Datenauswertung. Die Datenauswertung der qualitativen Daten erfolgte mithilfe der Qualitativen Inhaltsanalyse nach Kuckartz & Rädiker (2022).

Abschließend wurden alle Erfahrungen, Vorgehensweisen und Problemlösungen in einem praxisorientierten Leitfaden gebündelt, der anderen Schulen den Einstieg in die Installation und Nutzung eines FarmBots erleichtern soll. Dieser Leitfaden enthält konkrete Hinweise zur Standortwahl, zum Aufbau, zur Inbetriebnahme, zur Fehlerbehebung und zur didaktischen Einbindung in den Unterricht. Damit schafft das Projekt eine nachhaltige Grundlage für die Verbreitung des Konzepts und unterstützt Schulen dabei, digitale Technologien sinnvoll in naturwissenschaftliche Lernumgebungen zu integrieren.

Ergebnisse

Die Ergebnisse werden hinsichtlich technischer, pädagogisch/ didaktischer und evaluierender Gesichtspunkte getrennt voneinander und auf die wesentlichen Punkte reduziert vorgestellt. Eine ausführliche Beschreibung inklusive zu erwartender Kosten findet sich im Leitfaden, der kostenneutral über die Schule bezogen werden kann.

Organisatorischer und technischer Part

Der FarmBot konnte erfolgreich aufgebaut, in Betrieb genommen und optimiert werden. Wichtige Erkenntnisse beim FarmBot selbst betreffen die hohe Bedeutung exakter Montage, zusätzlicher Beleuchtung an schattigen Standorten sowie Schutzmaßnahmen gegen Witterung, Korrosion und Frost. Durch LAN-Anbindung, automatisierte Neustarts und mechanische Sicherungen wurde die Systemstabilität deutlich verbessert. Die Ersatzteilversorgung bleibt bei Bezug aus den USA herausfordernd und sollte von Beginn an eingeplant werden. Insgesamt zeigt der FarmBot bei geeigneten Standortbedingungen und regelmäßiger Wartung basierend auf dem letzten Projektjahr eine hohe Funktionalität und Autonomie, was insbesondere im Hinblick auf die Ferienzeiten essentiell ist. Am kritischsten war bei diesem Projekt die personelle Betreuung.

Als Fazit scheint eine dauerhafte Betreuung über eine AG angesichts der personellen und auch finanziellen Limitierungen an Schulen und betreuenden Firmen die zurzeit machbarste und damit beste Möglichkeit. Eine stärkere Einbindung in den Informatikunterricht könnte sinnvoll sein, da die Bereitschaft von Schüler:innen höherer Jahrgänge zur Mitarbeit in einer AG nach Schulschluss, abhängig von der Schulform, kaum mehr vorhanden ist. Als Folge ist die Schüler*innenzahl stark begrenzt und muss bei den Überlegungen zur Anschaffung eines FarmBots als wesentliches Kriterium mit einbezogen werden.

Biologischer Part

Der FarmBot wurde im Biologieunterricht der Jahrgangsstufe 6 eingesetzt, um naturwissenschaftliche und digitale Kompetenzen handlungsorientiert und in Abstimmung mit dem niedersächsischen Kerncurriculum für das Fach Biologie zu fördern. Ziel war dabei die Vermittlung von Fachwissen zu Pflanzenwachstum sowie die Steigerung und Förderung von Erkenntnisgewinn, Dokumentationsfähigkeit, Teamarbeit und Verantwortungsübernahme.

Der Bot wurde dafür in zwei aufeinanderfolgenden Durchgängen im regulären Unterricht genutzt. Während im ersten Durchgang ein arbeitsteiliges Gruppenkonzept mit funktionalen Rollen erprobt wurde, zeigten sich Defizite in der Aufgabenverteilung, im Verantwortungsbewusstsein sowie in der kontinuierlichen Beschäftigung aller Lernenden. Zudem führten ungünstige Standortbedingungen, technische Einschränkungen und eine geringe Ernte zu begrenzten Ergebnissen. Auf Basis dieser Erfahrungen wurde das didaktische Konzept im zweiten Durchgang angepasst. Die Organisation in pflanzenbezogenen Gruppen erhöhte Motivation, Verbindlichkeit und Lernerfolg und ermöglichte eine erfolgreiche Kultivierung verschiedener Gemüsearten. Geplante Experimente zur Bodenbeschaffenheit konnten aufgrund baulicher Gegebenheiten nicht umgesetzt werden; realisiert wurde ein Experiment zur Bewässerung. Der Einsatz im Außenbereich erwies sich als lernförderlich, war jedoch durch fehlende Infrastruktur,

Witterungseinflüsse, Ferienzeiten sowie technischen Wartungsbedarf eingeschränkt. Weitere Herausforderungen ergaben sich durch ökologische Faktoren wie Pflanzdichte und Schädlingsbefall.

Insgesamt zeigt das Projekt, dass der Einsatz eines FarmBots im schulischen Kontext einen Mehrwert für die praxisnahe Vermittlung biologischer und digitaler Kompetenzen bietet, sofern klare organisatorische Strukturen, kleine Lerngruppen, geeignete räumliche Rahmenbedingungen und eine kontinuierliche technische Betreuung gewährleistet sind. Unter diesen Voraussetzungen stellt der FarmBot einen nachhaltigen, motivierenden Lernort mit hohem Transferpotenzial dar.

Evaluierender Part

Ergebnisse des ersten Zyklus

Für die Berechnung des Plant Awareness Disparity Indizes (PAD-I) kann im ersten Zyklus auf 22 Proband*innen zurückgegriffen werden, die sowohl den Pre- als auch den Post-Fragebogen auswertbar ausgefüllt haben. Wie die Abbildung 1 zeigt, ist sowohl bei den Pre- als auch bei den Post-Indizes eine große Varianz festzustellen. Im Pre-Fragebogen liegt der kleinste PAD-I bei 52, der größte bei 84. Im Post-Fragebogen liegt der kleinste PAD-I bei 48, der größte bei 83. Acht Proband*innen erzielen im Post-Fragebogen einen höheren PAD-I, 13 erzielen einen niedrigeren und in einem Fall ist keine Veränderung festzustellen. Der größte Zuwachs im PAD-I ist bei SA04RE mit 18 Punkten festzustellen, gefolgt von BI2AN und KA07EN mit jeweils einem Zuwachs von 10 Punkten. Der Mittelwert des PAD-I sinkt von Pre- zu Post-Fragebogen von 65,45 auf 61,95 (s. Tabelle 1). Diese Veränderung ist jedoch nicht signifikant. Aufgrund der Normalverteilung der Daten wird für die Mittelwertvergleiche der t-Test für abhängige Stichproben genutzt, auch wenn die Stichprobe relativ klein ist.

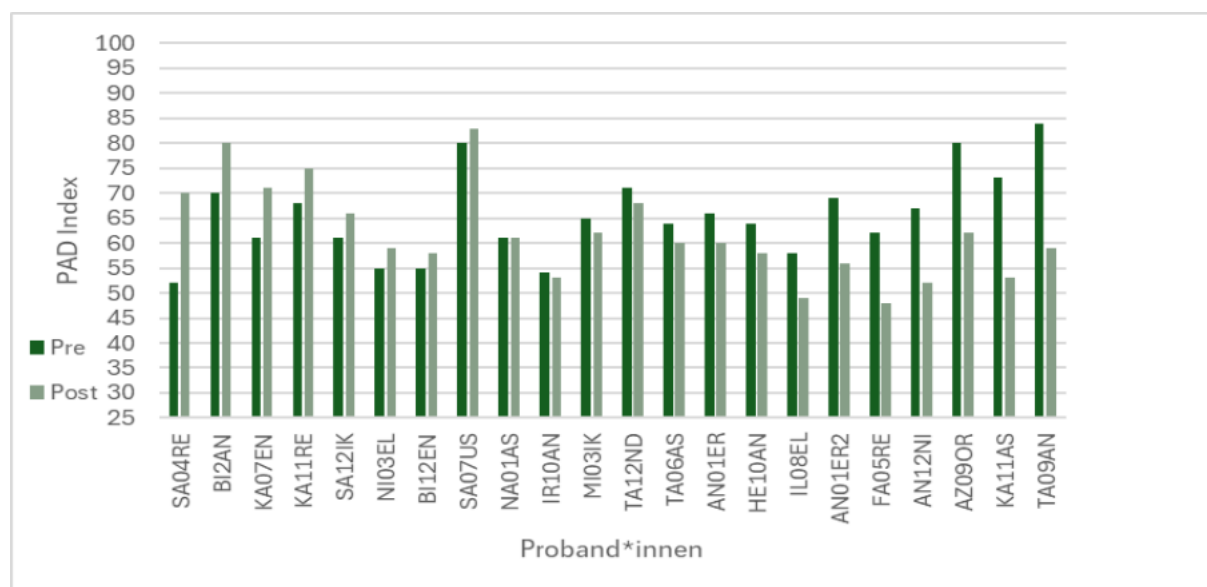


Abbildung 1: PAD-Indizes der Proband*innen des ersten Zyklus im Pre-Post-Vergleich (N = 22).

Tabelle 1: t-Test für abhängige Stichproben im ersten Zyklus für den PAD-I (min. Score: 25, max. Score: 100) sowie für die vier Komponenten Attitude, Knowledge, Interest und Attention (min. Score: 1, max. Score: 4).

	Pre	Post	Differenz	SD	p	df	t	dz
PAD-I	65,45	61,95	-3,5	10,88	0,147	21	1,508	0,32
Attitude	2,5	2,26	-0,24	0,67	0,101	21	1,717	0,37
Knowledge	3,71	3,62	0,09	0,4	0,27	21	1,133	0,24
Interest	1,82	1,72	0,1	0,59	0,422	21	-0,226	-0,05
Attention	2,6	2,55	0,05	0,67	0,698	21	0,349	0,08

In den Interviews können keine Ursachen identifiziert werden, die die unterschiedlichen Ausprägungen und Entwicklungen der Indizes erklären könnten. So vermuten Parsley et al. (2022) beispielsweise, dass der Zugang zu einem eigenen Garten oder ein*e Pflanzenmentor*in, also eine Person außerhalb der Schule, die etwas über botanische Inhalte vermittelt, einen Einfluss auf den PAD-I haben könnten. Alle Schüler*innen, die im ersten Zyklus an den Interviews teilgenommen haben, geben jedoch an, dass sie im außerschulischen Umfeld Personen haben, die ihnen etwas über Pflanzen vermitteln und alle geben an, dass sie Zugang zu einem eigenen Garten haben.

Die Tabelle 1 zeigt, dass die Items der Komponente Knowledge die höchsten Zustimmungswerte erhalten. Diese Komponente beschreibt nicht das botanische Fachwissen, sondern das Wissen über die Bedeutung von Pflanzen für die Biosphäre. Im Mittel liegt der Wert der Zustimmung dieser Komponente im Pre-Fragebogen bei 3,71, im Postfragebogen bei 3,62 und fällt damit höher aus als in der Pilotstudie des Plant Awareness Disparity Indizes mit 3,42, obwohl diese Studie unter Biologiestudierenden durchgeführt wurde (Parsley et al., 2022). Auch in den Interviews wird deutlich, dass den Proband*innen die Bedeutung von Pflanzen für die Biosphäre bewusst ist.

Die Items der Komponente Interest erhalten die geringste Zustimmung. Auch in den Interviews verweisen die Proband*innen immer wieder darauf, dass sie Tiere deutlich interessanter finden als Pflanzen. Dies begründen die Schüler*innen damit, dass sich Tiere mehr und schneller bewegen und mehr Interaktion mit ihnen möglich sei. Pflanzen werden dagegen von den meisten Schüler*innen eher als langweilig und nicht einmal als lebendig wahrgenommen, obwohl die Schüler*innen es besser wissen. Gleich zwei Proband*innen nennen in den Interviews Zeitraffervideos als Möglichkeit, um die Bewegung von Pflanzen sichtbar zu machen. Dies ist eine mögliche technische Optimierung des Roboters für die Zukunft. Allerdings zeigt die Auswertung der Interviews und Fragebögen, dass das Interesse je nach Pflanze bzw. Kontext variiert. Wie die Abbildung 2 zeigt, werden vor allem Pflanzen mit einer

besonderen Funktion (Venusfliegenfallen), und Rausch-, Gift- bzw. medizinisch genutzte Pflanzen als besonders interessant wahrgenommen.

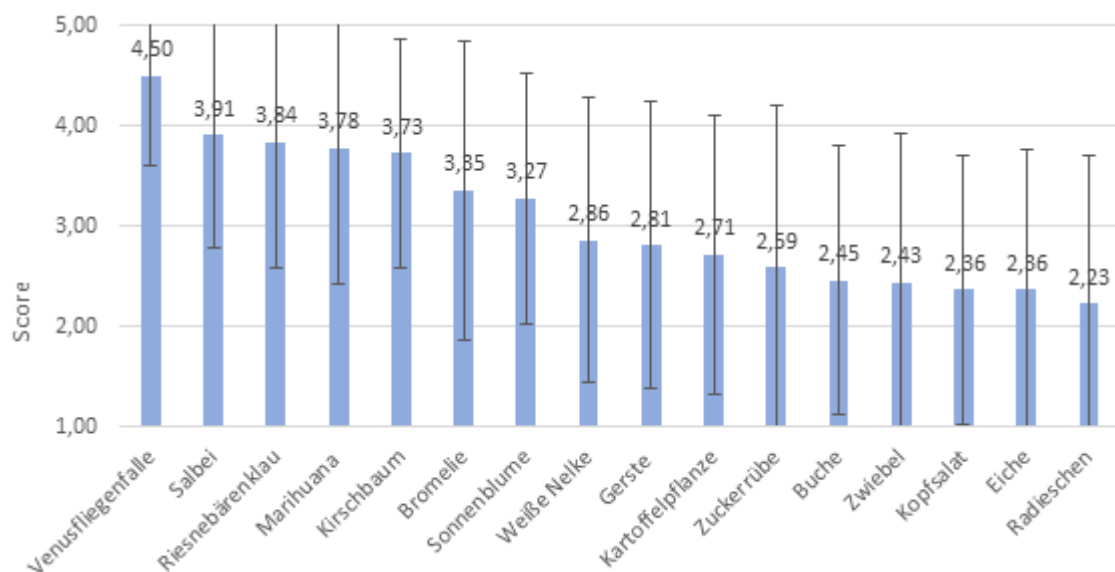


Abbildung 2: Die Abbildung zeigt die Scoremittelwerte zu dem Item „Bitte gib an, wie interessant du folgende Pflanzen findest.“. (Merkmalsausprägung: 1 = nicht interessant, 2 = weniger interessant, 3 = neutral, 4 = interessant, 5 = Sehr interessant)

Die Aussage *Das Projekt hat mein Interesse an Pflanzen gesteigert* erhält auf einer vierstufigen Likert-Skala im Schnitt eine Zustimmung von 2,27 (SD = 0,75). Dass das Interesse an Pflanzen und auch der PAD-I im ersten Zyklus nicht stärker gefördert werden konnte, könnte unter anderem auf folgende Tatsachen zurückzuführen sein. Zum einen wurde für diese Altersstufe bereits mehrfach eine allgemeine Verringerung des Interesses an und Wertschätzung von Pflanzen beschrieben (Finke, 1999; Langfeldt, 2022; Löwe, 1992, Tessartz, 2022). Zum anderen haben technische Probleme die Integration des Roboters in den regulären Schulunterricht immer wieder erschwert. Dabei stellt die Community of Practice fest, dass vor allem eine nicht ausreichende und unzuverlässige technische Betreuung der externen IT-Firma zu den Problemen geführt hat. Auch die Schüler*innen berichten davon, dass sie die Probleme als störend empfunden haben und gerne mehr Zeit am Roboter verbracht hätten. Auch die Lehrkraft bestätigt, dass sich die technischen Probleme auf die Motivation der Schüler*innen aber auch auf die eigene ausgewirkt hat. Die Schüler*innen geben in den Fragebögen an, dass Sie gerne mehr Zeit an dem Roboter verbracht hätten. Auch in den Freitextfeldern der Fragebögen bzw. den Interviews wird dies zahlreich erwähnt. Die Aussage *Das Projekt hat mein Interesse an technischen Geräten gesteigert* erhält auf einer vierstufigen Likert-Skala im Schnitt eine Zustimmung von 2,32. Die Standardabweichung ist mit 1,01 aber relativ groß. Somit kann für einige Schüler*innen festgehalten werden, dass das Projektziel erreicht wurde. Dies kann auch mit Freitextantworten aus den Fragebögen bzw. den Post-Interviews bestätigt werden. Auch wenn mehrere Schüler*innen von einem

erhöhten Interesse an technischen Geräten berichten und auch die zum Projekt dazugehörige Roboter-AG, welche sich um die Instandsetzung kümmert, als interessant bezeichnen, möchte sich kein*e Proband*in aktiv an der AG beteiligen. Als Grund dafür wird der Zeitaufwand genannt. An der Projektschule sind die AGs freiwillig und ergänzen den regulären Unterricht. Auch die Community of Practice sieht das als Ursache für die relativ niedrige Beteiligung an der AG.

Insgesamt bewerten die Schüler*innen des ersten Zyklus das Projekt als Schulnote im Durchschnitt mit einer 2,3. Die Community of Practice berichtet, dass sich das Projekt positiv auf die Motivation der Schüler*innen auswirkt. Auch die Schüler*innen heben stellen in den Interviews fest, dass sie viel Freude an dem Projekt hatten. Dabei wird immer wieder betont, dass die Arbeit mit dem Roboter und das Lernen außerhalb des Klassenzimmers besonders Spaß gemacht hat.

Ergebnisse des zweiten Zyklus

Im zweiten Zyklus haben 21 Proband*innen den Pre- und Post-Fragebogen auswertbar ausgefüllt. Wie im ersten Zyklus ergibt sich bezogen auf den PAD-I eine große Varianz. Im Pre-Fragebogen liegt der kleinste PAD-I bei 52, der größte bei 87. Im Post-Fragebogen liegt der kleinste PAD-I bei 55, der größte bei 85 (s. Abbildung 3). Elf Schüler*innen erzielen im Post-Fragebogen einen teils deutlich höheren PAD-I mit in Spitze 26 Punkten. Zwei Proband*innen erzielen im Post-Fragebogen denselben Index und acht Schüler*innen erzielen einen geringeren Index. Die größte negative Veränderung wurde mit -12 festgestellt. Im Schnitt steigt der PAD-I vom Pre- zum Post-Fragebogen von 66,76 auf 68,57. Diese Veränderung ist jedoch nicht signifikant (s. Tabelle 2). Wie im ersten Zyklus können auch im zweiten Zyklus in den Interviews keine Ursachen für einen hoch bzw. niedrig ausgeprägten PAD-I identifiziert werden. Die in der Literatur angegebenen möglichen Ursachen für einen hohen PAD-I, wie ein Zugang zu einem eigenen Garten oder Pflanzenmentor*innen, treffen wieder auf alle Proband*innen zu. Auch für die unterschiedlichen Entwicklungen der Indizes kann in den Interviews keine Erklärung gefunden werden. Wie Tabelle 2 zeigt, erhalten die Items der Komponente *Knowledge* wie im ersten Zyklus die größte Zustimmung (Pre: $M = 3,44$). Zum Post-Fragebogen hin steigen die Zustimmungswerte sogar signifikant im Mittelwert auf 3,81. Auch die Antworten aus Interviews lassen erkennen, dass die Schüler*innen bereits im Pre-Interview von der Bedeutung von Pflanzen für die Biosphäre überzeugt waren. Wie im ersten Zyklus ist das Interesse an Pflanzen aber eher gering. Die Items der Komponente *Interest* erhalten im Schnitt die geringste Zustimmung ($M = 2,24$) aller Komponenten. Wie die Tabelle 2 zeigt, sinken die Zustimmungswerte zum Post-Fragebogen hin sogar noch signifikant ($M = 2,04$). Auch in den Interviews des zweiten Zyklus wird deutlich, dass Tiere als wesentlich interessanter wahrgenommen werden.

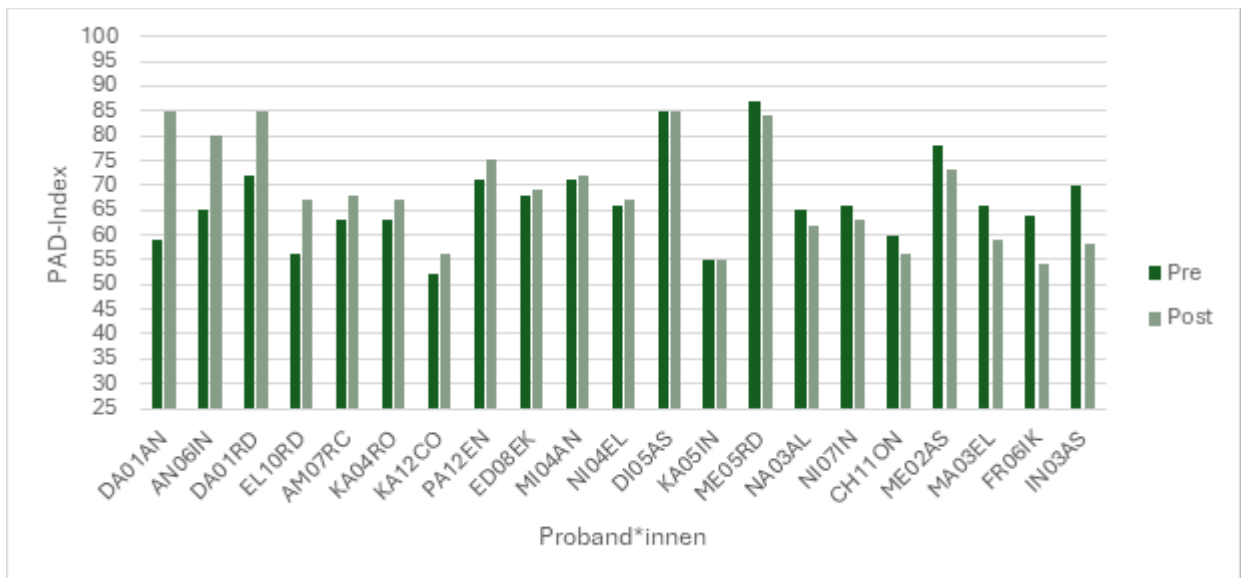


Abbildung 3: PAD-Indizes der Proband*innen des zweiten Zyklus im Pre-Post-Vergleich (N = 21).

Tabelle 2: t-Test für abhängige Stichproben im zweiten Zyklus für den PAD-I (min. Score: 25, max. Score: 100) sowie für die vier Komponenten Attitude, Knowledge, Interest und Attention (min. Score: 1, max. Score: 4).

	Pre	Post	Differenz	SD	p	df	t	dz
PAD-I	66,76	68,57	1,81	8,83	0,36	20	-0,94	0,20
Attitude	2,69	2,74	0,05	0,52	0,60	20	0,528	0,12
Knowledge	3,44	3,81	0,37	0,32	< .001	20	5,32	1,17
Interest	2,24	2,04	-0,20	0,42	0,037*	20	2,24	-0,49
Attention	2,25	2,37	0,12	0,71	0,454	20	0,76	0,17

Die Schüler*innen bewerten das Projekt als Schulnote im Durchschnitt mit einer 2,1 und betonen in den Interviews und den Fragebogen, dass sie Spaß an dem Projekt hatten. Wie im ersten Zyklus wird dabei das Lernen außerhalb des Klassenraums hervorgehoben. Die Schüler*innen berichten mehrfach, dass Ihnen besonders die Steuerung des Roboters über das Tablet Freude bereitet hat. Es wurde aber auch mehrfach darauf hingewiesen, dass sie gerne noch mehr über die Technik gelernt hätten. Beschwerden der Schüler*innen über eine nicht funktionierende Technik konnten im zweiten Zyklus nicht festgestellt werden. Auch die Community of Practice weist explizit auf die optimierte Wartung und Instandhaltung der Technik hin. Diesen Erfolg wird zurückgeführt auf eine Umstrukturierung der Technik-AG. Zeitgleich wurde die Kooperation mit der externen IT-Firma Stück für Stück heruntergefahren. Die verantwortliche Lehrkraft bestätigt, dass die Umstrukturierung zu weniger technischen Komplikationen geführt hat und der FarmBot zuverlässig lief. Gleichzeitig wird auch angemerkt, dass im Schulalltag bei weitem noch nicht das gesamte Potenzial des Roboters

ausgenutzt werde, da eine entsprechende technische Expertise fehle bzw. die personelle Betreuung hier limitierend sei.

Diskussion

Die Ergebnisse des Projekts zeigen, dass der Einsatz eines FarmBots im schulischen Kontext grundsätzlich geeignet ist, um biologische und technische Lernprozesse praxisnah miteinander zu verknüpfen. Die gewählte Vorgehensweise hat sich insgesamt bewährt, erforderte jedoch sowohl auf technischer als auch auf didaktischer Ebene iterative Anpassungen. Insbesondere die technische Implementierung verdeutlichte, dass der erfolgreiche Betrieb eines autonomen Systems im Schulumfeld nur bei sehr sorgfältiger Planung, exakter Montage und einer stabilen technischen Infrastruktur möglich ist. Zusätzliche Beleuchtung an schattigen Standorten sowie umfassende Schutzmaßnahmen gegen Witterung, Korrosion und Frost erwiesen sich als zwingende Voraussetzungen. Durch gezielte mechanische und technische Optimierungen konnte die Systemstabilität deutlich erhöht werden, was sich vor allem im Hinblick auf unterrichtsfreie Zeiten und Ferien als essenziell erwies.

Gleichzeitig wurden strukturelle Grenzen sichtbar. Wohingegen die Ersatzteilbeschaffung insbesondere aus dem Ausland planbar ist, stellt der hohe Bedarf an kontinuierlicher, fachlich versierter Betreuung ein relevantes Hemmnis für eine breite schulische Implementierung dar. Die Erfahrungen zeigen deutlich, dass eine verlässliche und dauerhaft eingearbeitete Betreuung zwingend erforderlich ist, um auf technische Störungen zeitnah reagieren zu können, um einen Verlust des Pflanzguts und damit Unterrichtsmaterials zu vermeiden. Die Betreuung über einen IT-Dienstleister erwies sich aufgrund von Personalmangel, mehrfacher Mitarbeiterwechsel und hohen Kosten als wenig praktikabel und wird für den schulischen Regelbetrieb nicht empfohlen. Demgegenüber hat sich eine kontinuierliche Betreuung über eine schulische AG als deutlich tragfähiger erwiesen. Perspektivisch erscheint zudem eine stärkere curriculare Anbindung an den Informatikunterricht sinnvoll, um technische Kompetenzen systematisch aufzubauen und personelle Abhängigkeiten zu reduzieren. Die Zusammenarbeit mit der wissenschaftlichen Begleitung verlief hingegen durchgehend professionell und konstruktiv und trug wesentlich zur Reflexion und Weiterentwicklung des Projekts bei.

Auch im pädagogisch-didaktischen Bereich verdeutlichen die Ergebnisse die Bedeutung adaptiver Konzepte. Der geringe Ertrag im ersten Projektjahr machte didaktische Anpassungen erforderlich, insbesondere in Bezug auf Gruppengröße, Aufgabenverteilung und Verantwortungsübernahme. Das zunächst erprobte arbeitsteilige Modell mit funktionalen Rollen hatte Ungleichgewichte in der Aktivität der Lernenden zur Folge und erwies sich als nur eingeschränkt geeignet. Die Umstellung auf pflanzenbezogene Lerngruppen im zweiten

Durchgang führte hingegen zu einer deutlich höheren Motivation, größerem Verantwortungsbewusstsein sowie stabileren Wachstumsbedingungen und Erträgen. Darüber hinaus wurde deutlich, dass Faktoren wie Hochbeetart, Bodentiefe und Beleuchtung nicht nur technische, sondern auch didaktisch relevante Variablen darstellen und gezielt in Unterrichtskonzepten und Lehrpläne integriert werden können.

Eine grundlegende Anpassung der Projektzielsetzung erwies sich nicht als notwendig. Die angestrebte praxisnahe Verbindung biologischer und technischer Lernprozesse konnte erreicht und bestätigt werden. Allerdings zeigte sich, dass der experimentelle Anspruch realistisch an die schulischen Rahmenbedingungen angepasst werden muss. Umfangreiche Bodenexperimente waren aufgrund baulicher Gegebenheiten nur eingeschränkt umsetzbar, sodass sich der Fokus sinnvollerweise auf kontinuierliche Beobachtung, Pflege, Dokumentation sowie auf einzelne, praktikable Experimente (z. B. zur Bewässerung) verlagerte. Der hohe Einsatz insbesondere jüngerer Schüler:innen legt nahe, zukünftig von einer rein sequenziellen Einbindung abzusehen und stattdessen langfristige Pflanzenprojekte in die Verantwortung der Lernenden zu übergeben, um biologische und technische Lernprozesse noch enger miteinander zu verzahnen. Die Teilnahme an dem Projekt wurde insgesamt von fast allen Beteiligten als motivationsfördernd und interessant beschrieben. Sowohl die Schüler*innen als auch die Community of Practice weisen jedoch einen guten technischen Support als grundlegend für eine gelungene Integration des Roboters in Schulalltag aus.

Anhand der wissenschaftlichen, begleitenden Evaluierung lässt sich sagen, dass kein signifikanter Anstieg des Plant Awareness Disparity Index nachgewiesen werden konnte. In den Interviews konnten keine Ursachen für einen hoch bzw. niedrig ausgeprägten Index gefunden werden. Bei einzelnen Proband*innen wurde jedoch ein zum Teil sehr deutlicher Anstieg des PAD-I nachgewiesen und auch die Interviews belegen, dass das Projekt zumindest bei einigen Teilnehmer*innen das Interesse an Pflanzen und technischen Geräten stark gefördert hat. Ursachen für diesen individuellen Anstieg des Interesses konnten in den Interviews jedoch nicht aufgefunden werden. Anzumerken ist auch, dass Pflanzen in der heutigen Zeit aufgrund ihrer relativen Unbeweglichkeit im Vergleich zu z.B. Tieren aber auch im Hinblick auf schnelle, digitale Einflüsse langweiliger wirken als die bewegte natürliche und digitale (Um-)Welt. Die Nutzung von z.B. Zeitrafferaufnahmen könnte hierbei ein sinnvolles Tool sein und der Wahrnehmung von Schüler*innen entgegenkommen.

Vor dem Hintergrund aktueller bildungspolitischer Entwicklungen unterstreichen die Projektergebnisse insgesamt die Relevanz robotikgestützter Lernumgebungen. Die wachsende Bedeutung von Technik und KI in schulischen Kontexten wird unter anderem dadurch bestätigt, dass Robotik im jüngst erschienenen Trendmonitor der Telekom-Stiftung als neue übergreifende Technologiegruppe im Bildungsbereich ausgewiesen wird. In diesem

Kontext zeigt das Projekt, dass der FarmBot – unter geeigneten technischen, organisatorischen und personellen Voraussetzungen – einen nachhaltigen, motivierenden Lernort mit hohem Transferpotenzial für den Biologie- und Technikunterricht für mindestens einen Teil einer Kohorte darstellen kann.

Öffentlichkeitsarbeit

Veröffentlichung der Ergebnisse

Das Projekt und vom Projektpartner erhobene und evaluierte Daten wurden auf Tagungen, Schulbesuchen und in Printmedien präsentiert (vgl. Anhang). Der Leitfaden wird über die Homepage der Waldschule Hagen-Beverstedt zum Download bereitgestellt. Dieser enthält neben einem Kostenüberblick die wesentlichen Punkte, die vor Anschaffung eines FarmBots beachtet und geklärt oder evtl. sichergestellt werden sollten, um eine langfristige Nutzung zu gewährleisten. Der pädagogisch-didaktische Part gibt einen Einblick in die mögliche Integration eines FarmBots in den Biologieunterricht an einem Gymnasium sowohl inhaltlicher als auch sozialer Art. Die Einschränkungen eines Gymnasiums und damit mögliche Potentiale anderer Schulformen werden ebenfalls diskutiert. Ein Bildband fasst zusätzlich die Entwicklung des Projektfortschrittes zusammen und verschafft zusätzliche Eindrücke. Somit soll es anderen Schulen und Schulformen möglich sein, eine gute Einschätzung darüber zu bekommen, einen FarmBot anzuschaffen, in Betrieb zu nehmen und über lange Jahre nutzen zu können.

Projektfortführung

Der FarmBot wurde mit Verfassen dieses Abschlussberichts winterfest gemacht und wird in der kommenden Saison wieder eingesetzt; ausgestattet mit dann optimierten Werkzeugen, die in diese Ruhepause, von der den FarmBot betreuende AG mittels 3D-Druck hergestellt werden. Zudem wird eine Integrierung des FarmBots in den Informatikunterricht der 9. Klasse erörtert, um die Betreuung breiter aufzustellen und somit langfristig zu gewährleisten.

Die Dokumentation des Projektes in Form der Leitlinie mit ergänzendem Bildmaterial steht über die Homepage der Waldschule zum Download zur Verfügung.

Fazit

Im Projekt konnte die für den FarmBot nötige Infrastruktur erfolgreich hergestellt und der FarmBot technisch erfolgreich installiert, in Betrieb genommen und im Projektverlauf gezielt optimiert werden. Die gewählte Vorgehensweise hat sich grundsätzlich bewährt, erforderte jedoch in mehreren Bereichen Anpassungen. Zentrale technische Erkenntnisse betreffen die hohe Bedeutung einer exakten Montage, einer stabilen technischen Infrastruktur, zusätzlicher Beleuchtung an schattigen Standorten sowie wirksamer Schutzmaßnahmen gegen Witterung,

Korrosion und Frost. Durch mechanische und technische Anpassungen konnte die Systemstabilität deutlich erhöht werden, was insbesondere im Hinblick auf unterrichtsfreie Zeiten und Ferien essenziell ist. Vor allem der hohe personelle und fachlich versierte Betreuungsbedarf stellt weiterhin eine relevante Einschränkung dar. Als tragfähig hat sich eine kontinuierliche Betreuung über eine schulische AG erwiesen; perspektivisch erscheint eine stärkere curriculare Anbindung an den Informatikunterricht sinnvoll. Zudem zeigte sich, dass bei üblichen Klassengrößen von über 20 Schüler:innen sowohl ein ausreichend großer FarmBot als auch genügend Platz für paralleles Arbeiten zwingend einzuplanen sind.

Auch im pädagogisch-didaktischen Bereich hat sich die Vorgehensweise nach gezielten Anpassungen bewährt. Der anfänglich geringe Ertrag im ersten Projektjahr machte didaktische Veränderungen notwendig, insbesondere in der Organisation der Lerngruppen und der Aufgabenverteilung. Während ein arbeitsteiliges Gruppenkonzept mit funktionalen Rollen zu Ungleichgewichten in Verantwortung und Aktivität führte, erwies sich die im zweiten Durchgang eingeführte Organisation in pflanzenbezogenen Gruppen als deutlich effektiver. Diese Anpassung führte zu höherer Motivation, größerem Verantwortungsbewusstsein sowie zu stabileren Wachstumsbedingungen und Erträgen. Die erfolgreiche Kultivierung im zweiten Jahr verdeutlichte zugleich, dass die Pflanzenauswahl an die jeweilige Hochbeetart, Bodentiefe und Beleuchtung angepasst werden muss und dabei didaktisch aufbereitet auch Teil eines Lehrplans werden kann.

Eine grundlegende Änderung der Zielsetzung wurde nicht notwendig. Die angestrebte praxisnahe Verknüpfung biologischer und technischer Lernprozesse konnte erreicht und bestätigt werden. Allerdings zeigte sich, dass der experimentelle Anspruch realistisch angepasst werden muss: Umfangreiche Bodenexperimente waren aufgrund baulicher Gegebenheiten teils nicht umsetzbar, sodass der Schwerpunkt stärker auf kontinuierlicher Betreuung, Beobachtung, Pflege und Dokumentation sowie auf einzelne, praktikable Experimente (z. B. zur Bewässerung) gelegt wurde. Aufgrund des hohen Engagements insbesondere jüngerer Schüler:innen ist zukünftig eine Abkehr von einer rein sequenziellen Einbindung geplant. Stattdessen sollen die Lernenden Pflanzenprojekte vollständig und über längere Zeiträume betreuen, um biologische und technische Lernprozesse noch enger miteinander zu verzahnen.

Insgesamt bestätigt das Projekt das Potenzial des FarmBots für den Biologie- und Technikunterricht, auch wenn nicht aller Schüler*innen gleichermaßen von dessen Einsatz profitieren. Die möglichen Gründe dafür sind vielfältig, konnten aber in diesem Projektumfang nicht weiter eingegrenzt werden. Unter den Voraussetzungen einer stabilen technischen Infrastruktur, klarer organisatorischer Strukturen, ausreichender räumlicher Kapazitäten und kontinuierlicher Betreuung stellt der FarmBot somit einen nachhaltigen, motivierenden Lernort mit Transferpotenzial dar.

Literaturangaben

- Finke, E. (1999). Faktoren der Entwicklung von Biologieinteressen in der Sekundarstufe I. In R. Duit (Hrsg.), *IPN: Bd. 165. Studien zur naturwissenschaftsdidaktischen Lern- und Interessenforschung* (S. 103–117). IPN.
- Kuckartz, U. & S. Rädiker (2022). *Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung: Grundlagentexte Methoden*. 5. Auflage. Beltz Juventa.
- Langfeldt, C. (2022). Das Interesse von Schülerinnen und Schülern am Thema „Ökosystem Wald“ sowie an themenbezogenen Arbeitsweisen. Vorab-Onlinepublikation.
<https://doi.org/10.11576/ZDB-5119> (75-96 Seiten / Zeitschrift für Didaktik der Biologie (ZDB) - Biologie Lehren und Lernen, Bd. 26 (2022)).
- Löwe, B. (1992). *Biologieunterricht und Schülerinteresse an Biologie* (Dr. nach Typoskr). *Schriftenreihe der Pädagogischen Hochschule Heidelberg: Bd. 9*. Dt. Studien-Verl.
- Müller, N. & Elster, D. (2024). Promotion of Plant Awareness within the Project faNuteC. In *14th International Conference "The Future of Education" (20-21 June 2024 in Florence, Italy)* (1. Aufl., S. 723–729). Filodiritto Editore - Pixel Associazione.
- Parsley, K. M., Daigle, B. J. & Sabel, J. L. (2022). Initial Development and Validation of the Plant Awareness Disparity Index. *CBE life sciences education*, 21(4), ar64.
<https://doi.org/10.1187/cbe.20-12-0275>
- Tessartz, A. (2022). Interesse an Pflanzen fördern. Eine Design Based Research-Studie mit Kindern und Jugendlichen. (Dissertation). Bonn.

Anlagen/ Anhang

Projektvorstellungen

- 2023, Projektvorstellung auf der Schulhomepage – Bericht
- 2023, Nordseezeitung „Roboter kümmert sich um neues Beet“ – Bericht
- 2024, Max-Eyth-Schule und Austauschgruppe aus Irland, Hagen – Besuch
- 2024, Gut Karlshof, Hamburg, Fortbildung für Lehrkräfte – Besuch
- 2024, MNU, Bremerhaven, Tagung – Vortrag
- 2025, Fachsektion Didaktik der Biologie, Innsbruck, Tagung – Poster
- 2025, New Perspectives in Science Education, Florenz, Konferenz – Poster

Bildergalerie



Bild 1: Beet im Überblick (August 2024)



Bild 2: Beet mit Beleuchtung (August 2025)



Bild 3: Messen des Längenwachstums der Kartoffel (August 2024)



Bild 4: Gemüsegrößenbestimmung (August 2024)



Bild 5: Dokumentation des Gemüsewachstums und Ernte (August 2025)



Bild 6: Dokumentation des Chiliewachstums (August 2025)



Bild 7: Zucchini wird vermessen (August 2025)