

Wie verteidigen sich Pflanzen vor Fressfeinden: Goldrandsegler Raupe (*Battus polydamas*) auf Blättern einer chilenischen Pfeifenwinde (*Aristolochia chilensis*).

Quelle: Marcia Gonzalez-Teuber



2 Die Arbeit des LeLa-Vorstandes

4 LeLa-Jahrestagung 2022 in Heilbronn

5 DBU-Ausschreibung

9 Wie verteidigen sich Pflanzen vor Fressfeinden?

12 Corona-Abstandsmessung mit Ultraschall-Sensoren

Schülerlabore

ZentrAL - Außerschulische Lernorte an der Universität Koblenz-Landau

Freilandmobil

Mathematik-Labor „Mathe ist mehr“

Liebe Mitglieder von LeLa,
 liebe Lehrerinnen und Lehrer,
 liebe Interessierte der Schülerlabor-Szene,

das Redaktionsteam freut sich, das neue und wieder sehr bunte LeLa *magazin* präsentieren zu können. Es enthält wie gewohnt eine Vielzahl von spannenden Artikeln.

Zunächst geht es los in eigener Sache: Petra Skiebe-Corrette gibt als Sprecherin unserer Vereinigung einen Einblick in die Arbeit des LeLa-Vorstandes.

Ein Schwerpunkt in dieser Ausgabe liegt in der Vorstellung von verschiedenen LeLa-Mitgliedern, etwas, das unter Corona ein wenig zu kurz gekommen ist. Es stellt sich das ZentrAl Netzwerk der außerschulischen Lernorte an der Universität Koblenz-Landau mit zwei verschiedenen Einrichtungen vor, dem Freilandmobil und dem Mathematik-Labor „Mathe ist mehr“.

Auch für die Kategorien „Wissenschaft aktuell“ und „Schülerbeitrag“ konnten wir sehr interessante Beiträge gewinnen: PD Dr. Axel Mithöfer vom MPI Jena gibt einen Einblick in die Kommunikationsmöglichkeiten von Pflanzen und Prof. Dr. Matthias Brinkmann vom MINT-Labor der Hochschule Darmstadt und sein Schülerteam des Gymnasiums Oberursel stellen ihre Forschung zum Thema Corona-Abstandsmessungen mit Ultraschall-Sensoren vor.

Genauso bunt wie unser Magazin wird hoffentlich die nächste LeLa-Jahrestagung in Heilbronn, die unter dem Motto *So bunt wie die Welt: Inklusion, Toleranz und Vielfalt im Schülerlabor* stehen wird. Dort wird auch der Startschuss für ein neues Projekt der DBU zur Circular Economy in Schülerlaboren gegeben, das auf Seite 5 dieser Ausgabe näher beschrieben wird.

Wir wünschen spannende Unterhaltung!
 Bleiben Sie gesund!

Herzliche Grüße im Namen des gesamten
 Redaktionsteams!

Knut Jahreis

Aus dem Nähkästchen: Die Arbeit des Vorstandes

Liebe Mitglieder von LeLa,

an dieser Stelle möchte ich über die Arbeit des Vorstandes informieren und Sie dazu ermuntern, sich auf der nächsten Mitgliederversammlung am 13. März 2022 in der Experimenta in Heilbronn zur Wahl zu stellen, denn leider verlassen uns drei Vorstandsmitglieder.

Zu Zeit gehören zum geschäftsführenden Vorstand:

- **Petra Skiebe-Corrette** (NatLab, Freie Universität Berlin, 1. Vorsitzende)
- **Andreas Kratzer** (TUM Science Labs, Technische Universität München;)
- **Martina Parrisius** (TheoPrax-Zentrum, Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT)

Zum erweiterten Vorstand gehören:

- **Richard Bräucker** (DLR_School_Lab, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V.)
- **Sebastian Hänsel** (Science on Tour – Mobiles Schülerlabor der BTU Cottbus-Senftenberg)
- **Beat Heinrich** (Schülerlabor des Paul-Scherrer-Institut, Schweiz)
- **Gilbert Heß** (YLAB - Geisteswissenschaftliches Schülerlabor der Georg-August-Universität Göttingen)
- **Andreas Töpfer** (solaris Förderzentrum für Jugend und Umwelt gGmbH)
- **Thomas Wendt** (experimenta gGmbH)

Verlassen werden uns aus dieser Runde Martina Parrisius und Richard Bräucker, die beide in den verdienten Ruhestand gehen sowie Sebastian Hänsel, der wegen einer beruflichen Weiterentwicklung leider nun kein Schülerlabor mehr leitet. Ich bedanke mich bei allen drei sehr herzlich für Ihre engagierte Vorstandsarbeit.

Die Diversität der Schülerlabore ist auch im Vorstand repräsentiert: Es sind Mitglieder von Schülerlaboren an Universitäten, an Forschungseinrichtungen, in Museen und von freien sowie privaten Trägern vertreten. Es finden sich ebenfalls Vertreter*innen von klassischen, mobilen und geisteswissenschaftlichen Schülerlaboren. Mit Theoprax findet sich eine Initiative wieder, die unternehmerische Aspekte vermittelt und dabei auch die Arbeit eines Schülerforschungszentrums widerspiegelt. Alle Vorstandsmitglieder kommen aus unterschiedlichen Bundesländern (Bayern, Baden-Württemberg, Berlin, Brandenburg, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Sachsen) in Deutschland, aber auch der internationale deutschsprachige Raum ist mit einem Vorstandsmitglied aus der Schweiz vertreten. Diese Diversität ist uns wichtig, damit wir im Vorstand die Gesamtheit der Schülerlaborszene verkörpern können.

Was tut der Vorstand?

Der Vorstand organisiert zusammen mit dem jeweiligen lokalen Gastgeber die LeLa-Jahrestagung, das Flaggschiff der Veranstaltungen des Bundesverbandes. Die nächste Tagung wird vom 13. bis 15. März 2022 in der Experimenta in Heilbronn stattfinden. Des Weiteren organisiert der Vorstand den LeLa-Stammtisch an jedem letzten Donnerstag eines Monats.

Eine weitere wichtige Aufgabe des Vorstandes ist es, Gelder für die Schülerlabore und die eigene Arbeit einzuwerben. Dazu gehören die Gelder für den neuen Schülerlabor-Atlas 2023 und den LeLa-Preis. Beide Vorhaben werden vom BMBF gefördert. Das bisher größte Projekt, das der Vorstand zu bewältigen hat, ist die Schülerlabor-Förderausschreibung im Rahmen des Aktionsprogramm Aufholen nach Corona für Kinder und Jugendliche. Der Vorstand ist vom BMBF angesprochen worden, ob die Schülerlabore helfen können, die durch die Covid-19-Pandemie entstandenen Defizite bei Kindern und Ju-

gendlichen zu reduzieren. Der gesamte Vorstand war sich einig, dass die Schülerlabore sehr gut zu dieser Aufgabe beitragen können. Das Vorhaben barg viele bürokratische Hindernisse und musste vor allem in kürzester Zeit umgesetzt werden. Der Vorstand ist nun sehr glücklich, mit der Universität Würzburg einen Partner gefunden zu haben, der die administrative Verwaltung der Gelder übernimmt und mit dem das Förderprogramm ease corona gemeinsam organisiert werden kann. Dieses ist nicht nur ein „Ritterschlag“ durch das BMBF, sondern in meiner Ansicht auch eine große Chance für die Schülerlabore, sich einer eventuell neuen Klientel zu öffnen und sich dahingehend weiterzuentwickeln. Ease corona wäre nicht möglich gewesen ohne das große Engagement und die unterschiedlichen Erfahrungen der Vorstandsmitglieder und war so etwas wie eine

Feuertaufe, die der Vorstand bestanden hat.

Geholfen haben aber auch viele weitere LeLa-Mitglieder, die wir nach Ihren Erfahrungen gefragt haben und die sich bereit erklärt haben, die Begutachtung der Anträge in der zweiten Runde zu übernehmen.

Für alle diese Aufgaben ist es auch wichtig im Gespräch mit der Politik, den Verbänden und Stiftungen zu bleiben. So plant der Vorstand mit der Deutschen Bundesstiftung Umwelt eine Ausschreibung zur Kreislaufwirtschaft; als Einstieg in dieses Thema wird es Ende Januar einen Stammtisch mit ersten Einblicken dazu geben. Gespräche mit Vertretern des Gesamtverbands der Arbeitgeberverbände der Metall- und Elektro-Industrie e.V. haben dazu geführt, dass im Rahmen der Initiative think ING. die LeLa-Preis-Rubrik Schülerlabor digital weitere drei Jahre gefördert wird. Mit der Stiftung

Jugend forscht e.V. wurde eine neue Preisrubrik entwickelt, der Innovationspreis für Schülerforschungszentren.

Eine weitere Aufgabe des Vorstandes ist es, mit dem Kuratorium von LeLa im intensiven Austausch zu sein. Aufgrund des Projekt ease corona und der Covid-19-Pandemie ist die Aufgabe etwas stiefmütterlich behandelt worden. Das soll in Zukunft geändert werden und wieder mehr in den Fokus rücken.

Wenn Sie die Schülerlaborszene aktiv mitgestalten möchten und Freude und Zeit haben, um sich im Bundesverband zu engagieren, dann schreiben Sie dem Vorstand (vorstand@lernortlabor.de). Sie werden zusammen mit anderen kreativen, erfahrenen und engagierten Menschen arbeiten und so dazu beitragen, dass die Schülerlabore ihre wichtige Arbeit noch ein bisschen besser weiterführen können.

Petra Skiebe-Corrette



Der Vorstand mit (v.l.n.r.):
Richard Bräucker, Petra Skiebe-Corrette, Sebastian Hänsel (verdeckt), Andreas Krätzer, Gilbert Heß, Martina Parrisius, Fred Engelbrecht

17. LeLa-Jahrestagung
So bunt wie die Welt
LeLa

Heilbronn
MAR 13–15
2 0 2 2



Registrierung unter www.lela-jahrestagung.de/registration



FlashGel-System

DNA - Auftrennung
in 5 Minuten !

Schauen Sie den Banden
beim Wandern zu.



Biozym
SCIENCE IS OUR BUSINESS
www.biozym.com

Biozym Scientific GmbH
Tel.: 05152 / 9020, Fax: 05152 / 2070
Mail: support@biozym.com



2022 startet DBU-Ausschreibung: Circular Economy in Schülerlaboren

Klimawandel, Umweltverschmutzung, Wasserknappheit – das sind nur einige Folgen, die auf eine nicht nachhaltige Wirtschaftsweise zurückzuführen sind. Natürliche Ressourcen und Rohstoffe werden vielfach als unendlich verfügbar angesehen und bisher meist in einem linearen „take - make - waste“-Verfahren verbraucht. Eine Alternative dazu stellt die Circular Economy (CE) dar. Dabei geht das Konzept der Circular Economy weit über die herkömmliche Kreislaufwirtschaft hinaus.

Anstelle eines Abfallrecyclings bedeutet die Circular Economy einen Paradigmenwechsel hin zu einer naturverträglichen Gestaltung von Wirtschaftssystemen im Sinne der Prämissen: Refuse, Rethink, Reduce, Reuse, Repair und Recycle. Dabei gilt es, Akzeptanz für erforderliche Maßnahmen in Hinblick auf die Kreislaufführung oder beim Produktdesign zu steigern und Verhaltensänderungen im Sinne einer ressourcenschonenden CE zu bewirken. Dem systemischen Denken und Handeln kommt dabei eine besondere Bedeutung zu. Schülerlabore können eine wichtige Brückenfunktion übernehmen, um zukunftsweisende Transformationsprozesse zu einer nachhaltigeren Gesellschaft durch Bildungsinitiativen zu befördern. Sie können aktuelles Wissen an die nächste Generation vermitteln und durch das Ansprechen weiterer Zielgruppen (z. B. Lehrkräfte und Lehramtsstudierende in Lehr-Lern-Laboren) in die Gesellschaft tragen. Gleichzeitig können Schülerlabore Jugendliche durch handlungsorientierte Angebote für Themen zur Nachhaltigkeit begeistern und für neue Formen nachhaltigen Wirtschaftens sensibilisieren. Sie dienen aber auch der interdisziplinären Kompetenzbildung, indem das Spektrum relevanter, aber unterschiedlicher Fachbereiche exemplarisch aufgezeigt wird. So können Fragen der Circular Economy im Schülerlabor anhand lebensnaher, an konkreten Beispielen ausgerichteter Projekte und Anwendungsversuche anschaulich vermittelt und erfahren werden. Nicht nur durch die Erprobung in Experimenten, sondern auch durch einen grundsätzlichen Diskurs über die Vielschichtigkeit und Komplexität von Circular Economy-Ansätzen kann dabei das zukunftsweisende Potenzial ausgelotet werden.

Die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) startet 2022 daher eine Ausschreibung für Schülerlabore mit den Zielen, die Circular Economy als ein wichtiges Element nachhaltigen Handelns in der jüngeren Generation zu verankern, die Themenvielfalt und die Anwendungsspektren sichtbar zu machen und die gesellschaftliche Akzeptanz von CE zu stärken. Circular Economy ist außerdem eine Thematik, die zur Vernetzung und interdisziplinärer Zusammenarbeit

einlädt. Daher stehen die Intensivierung bestehender sowie Schaffung neuer Kooperationen und die Zusammenarbeit zwischen Schülerlaboren, die im MINT-Bereich aktiv sind, und Schülerlaboren aus den geistes-, kultur- und sozialwissenschaftlichen Fächern im Fokus.

Die Ausschreibung ist für 2022 geplant und findet ihren Startpunkt auf der 17. LeLa-Jahrestagung vom 13. bis 15. März 2022 in Heilbronn. Hier können in einem gemeinsamen Workshop der DBU erste Ansätze und Ideen ausgelotet werden. Die DBU möchte in diesem Rahmen außerdem erfolgreiche Beispiele aus dem Bereich „Circular Economy in Schülerlaboren“ vorstellen. Die Einreichungsfrist für Anträge im Rahmen der Ausschreibung ist der 29.04.2022.

Förderfähig sind innovative, modellhafte Projekte, die sich von bestehenden Anwendungen abgrenzen. Im Rahmen der DBU-Ausschreibung können Projekte mit einer Dauer von bis zu drei Jahren gefördert werden. Die Vorhaben sollen auf Circular Economy in Schülerlaboren fokussieren und neue Experimente oder Konzepte zur Etablierung einer Circular Economy erarbeiten. Die Zielgruppen sind sowohl Kinder in der Primarstufe als auch Jugendliche im Sekundarbereich I und II, zudem können Projekte für Lehrkräfte, Studierende, Referendar:innen und Lehramtsanwärter:innen eingereicht werden.

Im Rahmen der DBU-Ausschreibung ist ab dem **13. März 2022** ein einstufiges Antragsverfahren vorgesehen. Zur Einreichung der begutachtungsfähigen Projektunterlagen nutzen Sie bitte die DBU Online-Antragstellung. Bitte kennzeichnen Sie Ihre Projektskizze zu dieser Ausschreibung im Titel mit DBU-CE in Schülerlaboren: Titel des beantragten Projekts« um die korrekte elektronische Zuordnung sicherzustellen. Projektunterlagen, die nicht auf diesem Wege eingereicht und entsprechend gekennzeichnet werden, können leider nicht berücksichtigt werden!



Refuse
Rethink
Reduce
Reuse
Repair
Recycle



Quelle: AdobeStock/Alexandra

ZentrAL – Außerschulische Lernorte an der Universität Koblenz-Landau

Lehrer:innenbildung und Schulbildung Hand in Hand

Guter Schulunterricht braucht gute Lehrerinnen und Lehrer. Lehrer:innenbildung und Schulbildung hängen also eng zusammen – wie sie sogar Hand in Hand gehen können, zeigen die außerschulischen Lernorte an der Universität Koblenz-Landau. Als Orte der Begegnung von Schule, Studium und Wissenschaft nehmen die Lehr-Lern-Labore in Landau und Koblenz eine besondere Rolle in der praxisnahen Lehrer:innenbildung ein.

MINT und mehr: Theorie-Praxis-Verzahnung durch außerschulische Lernorte

Die Begegnung von Schule, Studium und Wissenschaft in Form von Lehr-Lern-Laboren gibt es an der Universität Koblenz-Landau in vielen Bereichen – nicht nur in den MINT-Fächern, sondern auch im Rahmen der Sprachförderung. Die Vielfalt an außerschulischen Lernorten ist dabei ein unverzichtbares Element für die Lehrer:innenbildung in Koblenz und Landau: Als außerschulischer Lernort schaffen sie für Kinder und Jugendliche vielfältige Möglichkeiten zur Ergänzung des schulischen Unterrichts, als Lehr-Lern-Labore bieten sie Lehramtsstudierenden die Möglichkeit, Praxiserfahrung zu sammeln, für die Forschenden an der Universität bieten sie ein ideales Umfeld für fachdidaktische Forschung.

Die wissenschaftliche Einrichtung ZentrAL, das Zentrum für Bildung und Forschung an Außerschulischen Lernorten,

unterstützt und vernetzt dabei die Aktivitäten der außerschulischen Lernorte an der Universität. Ziel der Einrichtung ist es, die Theorie-Praxis-Verzahnung in der Lehrer:innenbildung zu fördern sowie bestehenden Lernorten die Möglichkeit zu geben, sie bei der Weiterentwicklung zu Lehr-Lern-Laboren zu unterstützen.

Vernetzung als Schlüssel eines erfolgreichen Transfers

Im Fokus der Tätigkeiten von ZentrAL stehen die Bereiche Bildung in Form von Angeboten für Kinder, Jugendliche und Erwachsene, die zumeist von Lehramtsstudierenden mit entwickelt und erprobt werden sowie Forschung in Form von drittmittelgeförderten Projekten und Publikationen in den Bereichen Bildungswissenschaft und Fachdidaktik.

Ziel von ZentrAL ist es, optimale Rahmenbedingungen für die außerschulischen Lernorte an der Universität Koblenz-Landau zu schaffen – von Hygieneplänen bis hin zu rechtlichen Grundlagen. Durch die strukturelle Vernetzung der Aktivitäten rund um die außerschulischen Lernorte können Synergieeffekte in Forschung und Lehre im Bereich der Lehrer:innenbildung geschaffen werden, die die Arbeit an den Lernorten selbst, aber auch im Rahmen lernortübergreifender Projekte unterstützt und so den Wissenstransfer in die Gesellschaft ermöglicht.

Von der Grundschule bis zur Erwachsenenbildung: Für alle ist etwas dabei

An der Universität Koblenz-Landau gibt es eine ganze Bandbreite von Lernorten, die Schüler:innen Unterricht außerhalb des Klassenzimmers bieten: ganz junge Initiativen wie das Nature Lab im Eußerthal und die PriMa-Lernwerkstatt oder Traditionseinrichtungen wie die Landauer Zooschule, die mehrfach preisgekrönt über die Landesgrenzen bekannt ist und seit über 25 Jahren Kindern und Jugendlichen aktives Erkunden und Lernen ermöglicht. Je nach Ausrichtung gibt es an den Lernorten Angebote entlang der gesamten Bildungskette, vom Kindergar-

ten bis zur Erwachsenenbildung. Unter dem Motto „Uni in der Gesellschaft“ bauen die außerschulischen Lernorte ihre Angebote kontinuierlich aus und öffnen ihre Türen für die gesamte Bevölkerung. Als Schülerlabore, Werkstätte oder Orte der Begegnung bieten die außerschulischen Lernorte Schüler:innen und interessierten Bürger:innen vielfältige Zugänge zu spannenden Themen. Als Lehr-Lern-Labore ermöglichen sie eine praxisnahe und zukunftsorientierte Lehrer:innenbildung. Zwei dieser Lehr-Lern-Labore stellen sich auf den nachfolgenden Seiten genauer vor.

Marie Schehl, Björn Risch, Jürgen Roth

Außerschulische Lernorte an der Universität Koblenz-Landau

Standort Landau

FoKuS – Forschendes Lernen in Kita und Schule¹
 Freilandmobil¹
 Mathematik-Labor „Mathe ist mehr“¹
 Mathematisches Umwelthalbor¹
 Nature Lab – Anlage Eußerthal¹
 Nawi-Werkstatt¹
 PriMa-Lernwerkstatt¹
 SciTec-Labor
 Zooschule Landau

Standort Koblenz

Ada-Lovelace-Projekt
 Biologisch-Ökologische Station „Mosenberg“
 Energielabor und Energieparcours
 FUNK
 GIS-Labor Koblenz¹
 Kinder Technik Ferien Camps¹
 1 Mitglied im Bundesverband



Abb. 1: Experimentieren im Lehr-Lern-Labor Nawi-Werkstatt.

Quelle: Alexandra Roth, Mülheim an der Ruhr



ZentrAL



<https://www.schuelerlabor-atlas.de/schuelerlabore/zentral>

Umweltprozesse verstehen im Freilandmobil

Ein mobiles Schülerlabor wird sesshaft und mobilisiert die Gesellschaft zu mehr Nachhaltigkeit

Umwelt- und naturbezogene Themen erfahren und experimentell erarbeiten, Nachhaltigkeitsziele begreifen und greifbar machen, real vor Ort oder auch virtuell zu Hause experimentieren und dabei – wenn immer möglich – Inklusion gemeinsam umsetzen. Das alles ist möglich ... im Schülerlabor Freilandmobil!

Lernen in einer authentischen Lernumgebung

Ein Holz-Zirkuswagen, aufwendig restauriert und zu einem mobilen und barrierefreien Umwelt-Schülerlabor umgebaut: das ist das Freilandmobil. Hier können in einer authentischen Lernumgebung umwelt- und naturbezogene Themen erfahren und experimentell erarbeitet werden. Dabei spielt der Aspekt der Nachhaltigkeit immer eine zentrale Rolle. Ein breites Angebot von einem interaktiven Lehrpfad über inklusive Experimentierangebote bis hin zu digital gestützten Lernmodulen, motiviert und befähigt die Teilnehmenden zu einer reflexiven Auseinandersetzung mit drängenden sozialen, ökonomischen und ökologischen Fragen zur zukünftigen Gestaltung ihrer Umwelt.



Abb. 1: Kinder-Uni Kurs im Freilandmobil zum Thema Gesteine und Mineralien der Südpfalz.

Ein Labor mitten in der Gesellschaft: das Reallabor Queichland

Das Freilandmobil ist die zentrale Anlaufstelle im Reallabor Queichland. Kooperation auf Augenhöhe steht im Reallabor ganz oben auf der Tagesordnung. Im Dialog zwischen Wissenschaft und Zivilgesellschaft partizipieren Bürger:innen an naturwissenschaftlichen

Mitmach-Angeboten, die darauf abzielen, die Gesellschaft hin zu mehr Nachhaltigkeit zu transformieren. Dabei bilden die Sustainable Development Goals den inhaltlichen Rahmen.

Experimentieren als Freizeitbeschäftigung

Rund um das Freilandmobil wurden viele kreative Angebotsformate entwickelt. Eines dieser eher ungewöhnlichen Formate ist das Experimentier-Café, welches an ausgewählten Nachmittagen angeboten wird. Das Experimentier-Café ist ein offenes Angebot und somit auch für Familien bestens geeignet. Die Teilnehmenden können selbständig aus einer Vielzahl an vorbereiteten Versuchen zu naturwissenschaftlichen Fragestellungen im Kontext der Nachhaltigkeit auswählen.



Abb. 2: Eine Familie führt den Versuch zur Schadstoffmobilisierung im Boden im Landauer Experimentier-Café durch.

Ausgangspunkt für virtuelle Exkursionen

Für diejenigen, die beispielsweise aufgrund von großer räumlicher Entfernung nicht an den Angeboten im Freilandmobil partizipieren können, werden gegenwärtig virtuelle Exkursionen entwickelt. Dabei werden die ortsspezifischen Besonderheiten (z. B. der renaturierte Fluss Queich) realistisch nachgebildet und als VR-Lernumgebung konzipiert. Inhaltlich kann so beispielsweise das Thema „Ausgasung von Kohlenstoffdioxid aus Fließgewässern“ virtuell bearbeitet werden.

Forschung im Freiland

Das Freilandmobil stellt die Plattform für

Forschungsprojekte mit naturnahen Kontexten dar. Im Rahmen eines Dissertationsprojekts wurde das Unterrichtskonzept CHEMIE PUR entwickelt und evaluiert. Ziel von CHEMIE PUR ist es, im Freiland, mit direkt vor Ort gewonnenen Naturstoffen, Umweltprozesse experimentell zu erarbeiten. Zur Klärung der Forschungsfrage „Wie wirkt sich das Unterrichtskonzept CHEMIE PUR auf das Fach- und Sachinteresse, auf die Naturverbundenheit sowie auf die Einstellung zu Chemie und Natur von Schüler:innen der Sekundarstufe II aus?“ wurde eine quasi-experimentelle Evaluationsstudie mit zwei Vergleichsgruppen durchgeführt.

Vernetzung über alle Bereiche hinweg

Das Freilandmobil stellt ein integrierendes und regulierendes Element innerhalb der MINT-Bildung in der Region dar. Gemeinsam mit Fachkolleg:innen aus den Umweltwissenschaften werden neue innovative Themen identifiziert. Diese werden mit Studierenden für Lerneinheiten aufbereitet, mit Schüler:innen erprobt und evaluiert. In Kooperation mit Schulen der Region und dem Pädagogischen Landesinstitut Rheinland-Pfalz werden Fortbildungen für Lehrpersonen angeboten. Die offenen Angebote vor Ort werden von den Bürger:innen der Region gern angenommen und sorgen schließlich dafür, dass eine Brücke zwischen Wissenschaft und Zivilgesellschaft geschlagen wird.

Alexander Engl, Björn Risch, Marie Schehl



<https://www.schuelerlabor-atlas.de/schuelerlabore/Freilandmobil>

Das Mathematik-Labor „Mathe ist mehr“ kann mehr

Schülerlabor in Symbiose mit Lehrerbildung, fachdidaktischer Forschung und Praxistransfer

Leere Klassenzimmer und Hörsäle – leere Schülerlabore? Lernen nur mit Arbeitsblättern? Studienintegrierte Unterrichtserfahrung auf Eis gelegt? Das Mathematik-Labor „Mathe ist mehr“ der Universität in Landau hat aus der Not eine Tugend gemacht und neue Potentiale aus digitalem Semester und Distanzunterricht erschlossen. Die enge Verzahnung des Schülerlabors mit Lehrerbildung und fachdidaktischer Forschung haben diesen Prozess getragen.

Vielfältig im Einsatz

Im Zentrum des Mathematik-Labors stehen Laborbesuche. Hier erforschen Lernende mathematische Konzepte eigenständig mit gegenständlichen und digitalen Materialien. Sie erleben so authentische mathematische Arbeitsweisen und werden dabei von Lehramtsstudierenden betreut, die diese Laborstationen im Rahmen eines Lehr-Lern-Labor-Seminars im Masterstudium entwickelt haben. Die inhaltliche Verortung im Lehrplan ermöglicht einen Theorie-Praxis-Transfer an die Schulen, der durch Fortbildungen unterstützt wird.

Umgekehrt bilden Laborbesuche eine empirische Basis für die fachdidaktische Forschung im fachdidaktischen Forschungsseminar des Lehramts-Masterstudiengangs, in Abschlussarbeiten und in Dissertationen.

Das Lehr-Lern-Labor konzentriert sich nicht nur auf die Endphase des Lehramtsstudiums, sondern ist konsequent mit allen Phasen des Studiums verzahnt. Aus Videomitschnitten der Laborbesuche werden

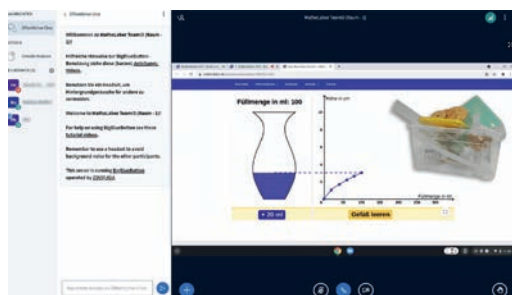


Abb. 1: Laborbesuche“ im Lockdown mit Videokonferenzen und Experimentierboxen für Zuhause.

Videovignetten extrahiert, die in der digitalen Lernumgebung ViviAn (<https://vivian.uni-landau.de>) zur Schulung der Diagnose- und Reflexionskompetenz der Lehramtsstudierenden begleitend zu allen fachdidaktischen Vorlesungen eingesetzt werden.

Komplexitätsreduzierte Unterrichtserfahrung

Im Lehr-Lern-Labor-Seminar (LLL-Seminar) konzipieren Studierende unter Anleitung von Dozierenden aus der fachdidaktischen Forschung theoriebasiert Laborstationen. Das LLL-Seminar bietet den Studierenden dabei Raum, eigene Ideen zu entwickeln, deren Erprobung fachdidaktisch zu analysieren und so reflektiertes Lehrerhandeln zu trainieren. Vor dem Hintergrund der Pandemie bekam diese Praxiserfahrung ein besonderes Gewicht. Hier konnten insbesondere im LLL-Seminar zwei Forschungsschwerpunkte des Instituts ihr Potential entfalten: die Förderung digitaler Unterrichtskompetenz und die Entwicklung digital-gestützter Unterrichtsszenarien. Stationen wurden als rein digitale Unterrichtssettings entwickelt. Die Laborbesuche fanden virtuell mit digitalem Lernmanagement und Videokonferenzen statt. Dadurch bot sich den angehenden Lehrkräften die Chance, sich in diesen digitalen Instrumentarien zu erproben und sie fachdidaktisch zu analysieren. Für die Schulen boten die virtuellen Laborbesuche auch in dieser Beziehung einen Praxistransfer.

Distanz schafft Reichweite

Durch die digitalen Umsetzungen konnte die Reichweite des Mathematik-Labors erweitert und das Konzept auch im Distanz- und Wechselunterricht eingesetzt werden. Über die Neukonzeptionen im LLL-Seminar hinaus wurden dazu auch die bereits vorhandenen Angebote des Mathematik-Labors adaptiert. Zum einen wurden gegenständliche Materialien durch Alltagsgegenstände, Simulationen oder andere interaktive Hilfsmittel ersetzt. Zum anderen wurden in verschiedenen Szenarien auch Experimentierboxen bereitgestellt und über die Schulen an die Lernenden ausgegeben. Insbesondere in

Lockdown und Quarantäne wirkten die Boxen sehr motivierend. Betreut wurden die Lernenden in Kleingruppen auch hier in Videokonferenzen von Studierenden.



Abb. 2: Videovignetten der digitalen Lernumgebung ViviAn als Praxiselemente für Lehramtsstudierende

Was von der Pandemie übrigbleibt

Das Mathematik-Labor „Mathe ist mehr“ bietet jetzt für alle Jahrgangsstufen auch rein digitale Lernpfade an und das Konzept der Experimentierboxen wird fest ins Repertoire aufgenommen. Für die fachdidaktische Forschung am Institut sind Digitalisierungsfragen in der Unterrichtskonzeption und Lehrerbildung noch weiter ins Zentrum gerückt. Das Konzept des Mathematik-Labors hat sich einmal mehr als adaptiv und tragfähig erwiesen. Trotz Einschränkungen konnte es seit Beginn der Pandemie mehr als 600 Lernende der Jahrgangsstufen 6 – 12 erreichen und seine Rolle als Lehr-Lern-Labor in der Lehrerbildung festigen.

Susanne Digel, Alex Engelhardt,
Henrik Ossadnik, Jürgen Roth

Mathe ist mehr

**Mathematik-Labor
"Mathe ist mehr"**

https://www.schuelerlabor-atlas.de/schuelerlabore/Mathematik_ist_mehr

Sprechen Sie Chemie? Wie Pflanzen kommunizieren

Pflanzen duften, das ist allgemein bekannt. Wir verbinden solchen Duft gemeinhin mit Blütenduft und der Anlockung von Insekten, die zur Bestäubung beitragen. Darüber hinaus gibt es aber weitere Funktionen von pflanzlichem Duft. Von pflanzenfressenden Insekten befallene Blätter emittieren ebenfalls Duftstoffe. Diese dienen zur Kommunikation und Verteidigung der Pflanze.

Nahezu jeder kennt aus Tolkiens „Der Herr der Ringe“ die Ents, Baum-ähnliche Wesen, die zu den ältesten Bewohnern in Mittelerde gehören. Die Ents benutzen eine einzigartige und uralte Sprache, um sich miteinander zu verständigen. Natürlich ist *Entisch* eine Fantasiesprache, aber die Idee einer „Sprache der Bäume“ berührt die reale Frage, ob Pflanzen tatsächlich kommunizieren. Ein Artikel in der Fachzeitschrift *Science* beantwortete diese Frage erstmals (Baldwin & Schulz 1983). In ihrem Artikel schlugen die Autoren vor, dass geschädigtes Pflanzengewebe chemische Signale abgibt; diese Signale werden über die Luft übertragen und können in benachbarten Pflanzen physiologische Veränderungen auslösen. Diese Veränderungen wirken sich wiederum auf pflanzenfressende Insekten aus oder schrecken diese ab. Die Veröffentlichung inspirierte die Presse zu zahlreichen Artikeln, Berichten und Kommentaren über „sprechende Bäume“; die Vorstellung, dass Pflanzen miteinander reden, faszinierte die Öffentlichkeit und tut es immer noch. Wenn auch nicht auf *Entisch*, so kommunizieren Pflanzen doch. Das soll im Folgenden anhand von pflanzlicher Verteidigung dargestellt werden.

Pflanzen reagieren auf ihre Umwelt

Pflanzen sind in der Lage, viele verschiedene Signale aus ihrer Umwelt zu erkennen und darauf zu reagieren. Dazu gehören physikalische Signale aus der nicht-lebenden, abiotischen Umwelt – wie Licht, Feuchtigkeit oder Temperatur – und Signale aus der lebenden, biotischen Umwelt (z.B. pathogene und symbiotische Mikroben oder pflanzenfressende Organismen); bei letzteren Signalen handelt es sich fast immer um chemische Verbindungen. Im Prinzip werden diese Verbindungen von einem sendenden Organismus bereitgestellt und von dem empfangenden Organismus spezifisch erkannt. Wenn ein bestimmter chemischer Hinweis in der empfangenden Pflanze Signalkaskaden auslöst, die letztlich zu entsprechenden physiologischen Reaktionen führen, sind die einfachsten Voraussetzungen für eine Kommunikation erfüllt. Nach einem einfachen Modell braucht Kommunikation nur einen Sender, ein Signal und einen Empfänger, der das Signal erkennen und entschlüsseln kann (Shannon & Weaver

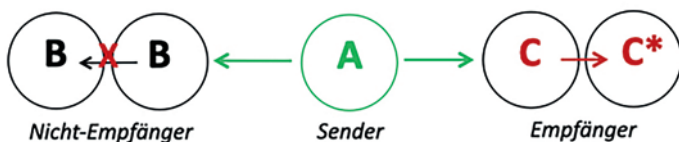


Abb. 1: Vereinfachtes Modell für eine Kommunikation zwischen zwei Organismen. Die Information (grüne Pfeile) wird vom *Sender* A abgegeben; sie kann vom *Nicht-Empfänger* B nicht verarbeitet werden, aber vom *Empfänger* C. Dieser dekodiert und verarbeitet die Information (roter Pfeil) und reagiert entsprechend (*).

Quelle aller Abbildungen: Dr. Axel Mithöfer

1963). Pflanzliche Kommunikation passt also in dieses Modell (Abb. 1).

Die Kommunikation zwischen lebenden Organismen ist jedoch viel älter als die 450 Millionen Jahre, die Landpflanzen an Land leben. Die ursprünglichste Form der Kommunikation beruht auf chemischen Wechselwirkungen und hat sich wahrscheinlich entwickelt, um die Fähigkeit von Mikroorganismen zu verbessern, Nährstoffe zu finden oder Umweltbedingungen zu erkennen und zu bewerten (Adler & Tso 1974). Nach den Bakterien und einfachen Eukaryonten entwickelten sich diese chemischen Wahrnehmungs- und Kommunikations-Systeme in höheren Organismen weiter, so auch bei Insekten und Pflanzen. Es handelt sich also um eine auf Chemie basierende Information und Kommunikation: eine chemische Sprache.

Pflanzen und ihre Verteidigungsmechanismen

Als Primärproduzenten stehen autotrophe Pflanzen am Anfang jeder Nahrungskette. Schon lange vor dem Auftreten von Blütenpflanzen wurden die frühesten Landpflanzen von mikrobiellen Krankheitserregern und später von pflanzenfressenden Tieren angegriffen. Hierbei spielen die pflanzenfressenden (herbivoren) Insekten eine bedeutende Rolle (Abb. 2).



Abb. 2: A, Massiver Befall einer tropischen Pflanze durch herbivore Insektenlarven im Amazonas Regenwald.

B, *Spodoptera littoralis* (Afrikanischer Baumwollwurm) Larve frisst auf einem Limabohne (*Phaseolus lunatus*) Blatt.

Insekten stellen die bei weitem größte Tiergruppe dar, sowohl was die Anzahl der Arten als auch der Individuen betrifft. Die ersten Insekten entwickelten sich vor etwa 480 Millionen Jahren und besiedelten wahrscheinlich zur gleichen Zeit wie die Pflanzen das Land (Misof et al. 2014). Es ist daher nicht allzu weit hergeholt, darüber zu spekulieren, dass Pflanzen und Insekten wahrscheinlich von Anfang an miteinander interagiert haben, auch wenn die frühesten fossilen Aufzeichnungen über pflanzenfressende Gliederfüßer auf dem Lande auf die Zeit vor etwa 420 Millionen Jahren zurückgehen. Also mussten die Pflanzen angesichts ihrer Unbeweglichkeit schon sehr früh ausgeklügelte Erkennungs- und Verteidigungsstrategien entwickeln, um die ständigen Angriffe abzuwehren (Mithöfer & Boland 2012). Im Laufe der Jahrmillionen haben die Pflanzen ein ganzes Spektrum von Abwehrstrategien entwickelt, um den Insektenfraß

drastisch zu reduzieren. Neben physischen Abwehrmechanismen – wie Dornen, Stacheln oder Trichome – synthetisieren Pflanzen eine Vielzahl von toxischen Verbindungen, die in ihrem Gewebe gespeichert werden. Dazu gehören unter anderem Glukosinolate, cyanogene Glukoside und Alkaloide, die alle Insekten und andere Tiere, die sich von der Pflanze ernähren, töten oder zumindest nachhaltig schädigen können. Interessanterweise ist der Mensch die einzige Spezies, die viele dieser Toxine – Atropin, Digitoxin, Nikotin, Morphin, Artemisinin usw. – bewusst zu medizinischen, kosmetischen oder Freizeitzwecken einsetzt.

Neben der konstitutiven, das heißt immer vorhandenen Produktion von chemischen Abwehrstoffen und physikalischen Waffen löst der Insektenbefall einer Pflanze auch verschiedenste induzierbare Abwehrreaktionen aus, von denen die meisten auf chemischen Stoffen beruhen (Maffei et al. 2012). Um die Sache noch komplizierter zu machen, können konstitutive und induzierbare Abwehrmechanismen weiter in direkte und indirekte Abwehrmodi unterteilt werden. Während die direkte Verteidigung durch Toxine oder Schreckstoffe darauf abzielt, das Überleben oder die Leistung des angreifenden Organismus zu beeinträchtigen, schützt die indirekte Verteidigung die Pflanze, indem sie andere Organismen anlockt. Dazu synthetisieren die befallenen Pflanzen flüchtige Verbindungen und geben sie an die Umgebung ab. Diese Duftstoffe locken dann spezifisch räuberische oder parasitische Feinde der Herbivoren an, die gezielt zu der befallenen Pflanze kommen und die dort fressenden Organismen dezimieren (Abb. 3A). Chemisch gesehen handelt es sich bei den emittierten Duftstoffen (VOCs, volatile organic compounds) hauptsächlich um Terpene, kurzkettige Alkohole und Aldehyde sowie phenolische Verbindungen (Mithöfer & Boland 2012; Maffei et al. 2012). Zusätzlich zu einer ersten trophischen Ebene, die durch die Pflanze repräsentiert wird, und einer zweiten trophischen Ebene, die durch den Pflanzenfresser repräsentiert wird, wird bei der indirekten Verteidigung also eine dritte trophische Ebene zur Verteidigung eingesetzt (Abb. 3B). Weitere Studien haben darüber hinaus gezeigt, dass auch Wurzeln Duftstoffe als Informationsträger nutzen, um Feinde von Wurzelfraß-verursachenden Herbivoren anzulocken. So produzieren Maispflanzen, deren Wurzeln zuvor von Insektlarven befallen wurden, das Sesquiterpen β Caryophyllen. Dieses dient der Anlockung von Fadenwürmern (Nematoden), welche dann die Wurzelherbivoren dezimieren (Rasmann et al. 2005). Allgemein

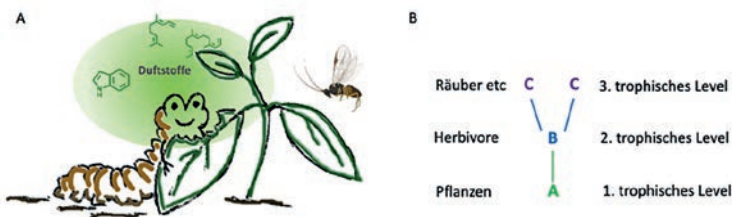


Abb. 3: Darstellung einer tritrophen Interaktion. A, Eine Raupe frisst an einer Pflanze, die emittiert Duftstoffe, diese werden von räuberischen Insekten erkannt, die zu der befallenen Pflanze fliegen und die Herbivoren attackieren. Eine typisches Beispiel für eine indirekte Verteidigung. B, Erläuternde Darstellung der verschiedenen trophischen Level.

wird diese Strategie der indirekten Verteidigung durch Anlocken von Feinden der Pflanzenfresser in einem weniger wissenschaftlichen Kontext oft als „Hilferuf der Pflanzen“ bezeichnet.

Kommunikation auf verschiedenen Ebenen

Die Freisetzung verschiedener VOC-Bouquets ist für viele verschiedene Pflanzenarten nachgewiesen worden. Grundsätzlich können VOC-Mischungen verschiedene Arten von Informationen transportieren: (i) Informationen für die Pflanzenfresser, um den Wirt zu lokalisieren; (ii) Informationen für die indirekte Verteidigung, indem die nächste trophische Ebene angelockt wird; (iii) Informationen für entfernte Teile derselben Pflanze; oder (iv) Informationen für benachbarte Pflanzen, um ihren Verteidigungsstatus anzupassen. Dabei können die beiden letztgenannten Aspekte oft überlappen, wie für die Süßkartoffel (*Ipomoea batatas*) unlängst gezeigt wurde (Meents et al. 2019) (Abb 4).

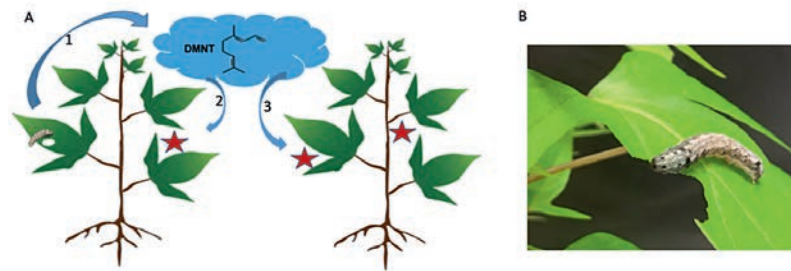


Abb. 4: Pflanze-Pflanze Kommunikation am Beispiel der Süßkartoffel (*Ipomoea batatas*). A, Befallene Süßkartoffeln geben ein Duftstoffgemisch ab (1), das unter anderem das Terpen (E)-4,8-dimethyl-1,3,7-nonatrien (DMNT) enthält. DMNT wird spezifisch von entfernten Teilen derselben Pflanze (2) wie auch benachbarten Süßkartoffelpflanzen (3) erkannt, die daraufhin ihre chemische Verteidigung aktivieren. B, *Spodoptera littoralis*, auf Süßkartoffel fressend.

Der Aspekt der Kommunikation zwischen Pflanzen verschiedener Spezies wurde unter anderem von Richard Karban und Kollegen in Feldstudien untersucht: Induzierte VOCs, die von Wüstenbeifuß-Büschen (*Artemisia tridentata*) freigesetzt werden, konnten bei benachbarten Artgenossen und wilden Tabakpflanzen (*Nicotiana attenuata*) eine höhere Resistenz gegen Herbivoren auslösen, nicht jedoch bei drei anderen Spezies, die in unmittelbarer Nähe von Wüstenbeifuß-Büschen wuchsen (Karbon et al. 2004). Dies bedeutet, dass die chemische Sprache der Pflanzen nicht universell ist und dass nicht alle Pflanzen im gleichen Lebensraum die gleichen Botschaften empfangen können. Sie können die übermittelten Signale entweder nicht wahrnehmen oder nicht entschlüsseln. Es ist jedoch nach wie vor umstritten – und auch eine philosophische Frage – ob die VOC-freisetzenden Pflanzen die Absicht haben, benachbarte Pflanzen zu alarmieren, damit sie sich gegen kommende Pflanzenfresser in der Nähe zu wappnen, oder ob die Pflanzen in der Umgebung der befallenen Pflanzen einfach die angegriffene Pflanze belauschen und die an die Umwelt abgegebenen Informationen nutzen.

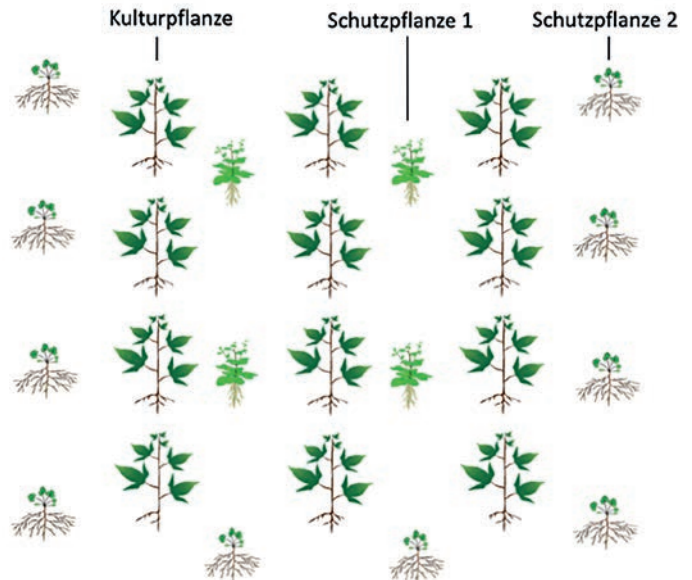


Abb. 5: Push-Pull-Strategie zur natürlichen Bekämpfung von Schadinsekten im Feld. Die Kulturpflanze wird durch die Schutzpflanze 1 geschützt, die Herbivore durch Schreckstoffe aus dem Feld drängt, durch Schutzpflanze 2 (push), die Herbivore durch attraktive Duftstoffe aus dem Feld zieht (pull).

Ausblick und Anwendung

Die chemischen Interaktionen zwischen Pflanzen und ihren Feinden unterliegen der allmählichen Koevolution der verteidigungsbezogenen Chemie – dem sogenannten „arms race“, einem Wettrüsten zwischen Beute und Räubern. Dieses Wettrüsten ist ein dynamischer Prozess, der zur adaptiven Evolution sowohl der Pflanzen als auch der Schädlinge beiträgt und zu einer großen Vielfalt an chemischen Abwehrstoffen der Pflanzen geführt hat, darunter unzählige Toxine und andere bioaktive Verbindungen. Dieses Füllhorn an chemischen Stoffen bietet enorme Möglichkeiten für die biomedizinische Forschung, die Arzneimittelentwicklung und die menschliche Gesundheit: Viele pharmazeutisch relevante Verbindungen aus Pflanzen – darunter Digitoxin, Morphin, Artemisinin oder Taxol – sind im Zusammenhang mit der pflanzlichen Abwehr entstanden. Das andauernde Wettrüsten zwischen Pflanzen und ihren Angreifern wird auch weiterhin die Entwicklung neuer Verbindungen vorantreiben, während auch assoziierte Mikroben ihrerseits zum chemischen Dialog bei der Interaktion zwischen Pflanzen und Insekten beitragen.

Darüber hinaus kann eine bessere Kenntnis der pflanzlichen Verteidigungsmechanismen und der entsprechenden chemischen Verbindungen wichtige Instrumente für die Landwirtschaft liefern. Durch herkömmliche Züchtung oder Bioengineering könnten Pflanzensorten geschaffen werden, die zusätzliche Abwehrstoffe, Toxine und andere schützende Verbindungen produzieren, so dass eine bestimmte Kulturpflanze Angriffen von Pflanzenfressern und Krankheitserregern besser widerstehen kann. Insbesondere die indirekte Verteidigung durch das Anlocken von Organismen auf der dritten trophischen Ebene könnte ein interessanter Ansatz sein, um den Einsatz von Insektiziden in der Landwirtschaft zu verringern. Ein Instrument für integrierte Schädlingsbekämpfungsprogramme ist die so genannte Push-Pull-Strategie, bestehend aus mindestens drei Pflanzenspezies: der zu schützenden Kulturpflanze und zwei Schutzvermittelnden Spezies (Abb. 5). Dabei wird eine Kombination aus chemischen Signalen eingesetzt, um sowohl die Verteilung und Häufigkeit von Schadinsekten als auch deren natürliche Feinde zu beeinflussen. Die Schadinsekten werden mit Hilfe von chemischen Stimuli, die entweder die Kulturpflanze maskieren oder abstoßend bzw. abschreckend wirken, aus der Hauptkultur gedrängt oder abgeschreckt (Push; Schutzpflanze 1). Gleichzeitig werden die Schädlinge durch für sie attraktive Signale angelockt und in anderen Gebieten konzentriert (Pull; Schutzpflanze 2). Pilotprojekte mit der Push-Pull-Strategie wurden insbesondere in Ostafrika bereits erfolgreich durchgeführt (Cook et al., 2007).

Bemerkenswert ist, dass diese Strategie nicht neu ist. Vor mehr als 500 Jahren schützten zum Beispiel die Inka in den südamerikanischen Anden ihre Kartoffelpflanzen vor Schädlingen, indem sie die Felder mit Mashua-Pflanzen (*Tropaeolum tuberosum*) umgaben, die starke antimikrobielle und insektizide Eigenschaften haben. Um solche Strategien jedoch effizient nutzen und verbessern zu können, müssen wir die chemischen Signale auf den verschiedenen trophischen Ebenen besser kennen. Mit anderen Worten, wir müssen die chemische Sprache, die von Pflanzen, Pflanzenfressern und deren Feinden verwendet wird, entschlüsseln. Wir müssen lernen, Chemie zu sprechen; wir müssen *Entisch* lernen.

Literatur

- Adler J. und Tso W.-W. (1974). Decision-making in bacteria: Chemotactic response of *Escherichia coli* to conflicting stimuli. *Science* 184, 1292–1294.
- Baldwin I.T. und Schultz J.C. (1983). Rapid changes in tree leaf chemistry induced by damage: Evidence for communication between plants. *Science* 221, 277–279.
- Cook S.M., Khan Z.R. und Pickett J.A. (2007). The use of push-pull strategies in integrated pest management. *Annual Review of Entomology* 52, 375–400.
- Karban R., Huntzinger M. und McCall AC (2004) The specificity of eavesdropping on sagebrush by other plants. *Ecology* 85: 1846–1852
- Maffei M.E., Arimura G.I. und Mithöfer A. (2012). Natural elicitors, effectors and modulators of plant responses. *Natural Product Reports* 29: 1288–1303.
- Meents, A.K., Chen, S.-P., Reichelt, M., Lu, H.-H., Bartram, S., Yeh, K.-W. und Mithöfer, A. (2019). Volatile DMNT systemically induces jasmonate-independent direct anti-herbivore defense in leaves of sweet potato (*Ipomoea batatas*) plants. *Scientific Reports*, 9, 17431.
- Misof B., Liu S., Meusemann K., Peters R.S., Donath A., Mayer C., Frandsen P.B., Ware J., Flouri T., Beutel R.G. et al. (2014) Phylogenomics resolves the timing and pattern of insect evolution. *Science* 364, 763–767.
- Mithöfer A. und Boland W. (2012). Plant defense against herbivores. Chemical aspects. *Annual Review of Plant Biology* 63, 431–450.
- S. Rasmann S., Köllner T.G., Degenhardt J., Hiltbold I., Toepfer S., Kuhlmann U., Gershenzon J. und Turlings T.C.J. (2005). *Nature* 434, 732–737.
- Weaver W. und Shannon C.E. (1963). *The mathematical theory of communication*. University of Illinois Press, Urbana-Champaign.



Priv. Doz. Dr. Axel Mithöfer,
Max-Planck-Institut für Chemische Ökologie,
Hans-Knöll-Str. 8, D-07745 Jena; amithoef@ice.mpg.de

Corona-Abstandsmessung mit Ultraschall-Sensoren

Eine der wichtigsten Hygienemaßnahmen zur Vermeidung der Ausbreitung von Covid19 ist das Mindestabstandsgebot (1,5 m). Wir haben ein tragbares Modul mit einem kommerziell erhältlichen Ultraschall-Sensor entwickelt, welches kontinuierlich den Abstand zwischen den Personen in einer Menschenansammlung misst und diese Daten mittels Bluetooth oder WLAN an ein PC-gestütztes Auswertesystem sendet. Hiermit können Veranstalter bereits während des Events die Einhaltung des Mindestabstandsgebots prüfen und ggf. geeignete Maßnahmen ergreifen.

Einleitung

In den Jahren 2020 und 2021 beeinflusst die Covid19-Pandemie das welt- und deutschlandweite Leben der Menschen und deren Miteinander. Mehrere Infektionswellen und LockDowns fordern von uns allen starke soziale Anpassungen und Veränderungen der Lebensweise. Inzwischen haben wir jedoch mit den Impfstoffen, optimierten Hygienemaßnahmen und -konzepten wirksame Werkzeuge gefunden, um das bisherige gesellschaftliche und wirtschaftliche Leben wieder aufnehmen zu können. Zwei der wichtigsten Verhaltensmaßnahmen bei Veranstaltungen mit vielen Teilnehmenden sind immer noch das Tragen eines Nasen-Mund-Schutzes und die Einhaltung des Mindestabstands (1,5 m). Während das Tragen einer Maske wegen seiner Auffälligkeit quasi „automatisch in der Personengruppe kontrolliert“ wird, wird die Einhaltung des Mindestabstands häufig vergessen bzw. vernachlässigt, insbesondere wenn man während einer Veranstaltung abgelenkt ist. Hierfür ist das im Folgenden vorgestellte Sensorsystem entwickelt worden.

Vorstellung des Sensorsystems

Abbildung 1 zeigt das Prinzip dieses Verfahrens. Eine gewisse Anzahl an Teilnehmenden einer Veranstaltung werden mit einem tragbaren Sensormodul ausgestattet. Während der Veranstaltung misst dieses

kontinuierlich und „still“ den Abstand zu anderen Personen (und Objekten) und sendet diese Daten via Bluetooth oder (alternativ) per WLAN an einen Auswerte-PC. Dieser bereitet die Daten auf und präsentiert sie dem Veranstalter in Form einer Abstandsverteilung. Die von uns verwendeten Ultraschall-Sensoren messen dabei den Abstand zu allen anderen Personen in der Umgebung, unabhängig davon, ob diese auch einen Sensor tragen oder nicht. Dies ist der große Vorteil gegenüber alternativen Messverfahren, z.B. rein Bluetooth basiertes Contact Tracing (Leith & Farrell 2020; Forschungsprojekt Restart-19 der Universität Halle (Saale). <https://restart19.de/>), denn bei unserem System braucht nur ein gewisser Anteil der Teilnehmenden (zwischen 1% und 10%) eine Sensoreinheit zu tragen, um damit bereits eine verlässliche statistische Abstandsverteilung zu erhalten.

Abbildung 2 zeigt die verwendeten Bauteile und Komponenten. Der Ultraschallsensor HC-SR04 (Datenblatt beispielsweise auf <https://www.alldatasheet.com/>) kann Abstände zwischen 3 cm und 4 m detektieren. Angesteuert und ausgelesen wird dieser durch einen Arduino-Mikrocontroller vom Typ „Nano RF“ (Vorstellung beispielsweise auf <https://www.fambach.net/rf-nano/>). Mit einer niedrigen Übertragungsrate von ca. 1 Messwert pro Sekunde werden die Daten aller Module zum Auswerte-PC gesendet. Die Komponenten inklusive der Stromversorgung werden in ein selbst designtes, 3D-gedrucktes Gehäuse eingebaut.

Die Software-Programmierung auf dem Arduino Nano RF erfolgte unter Arduino.cc (<https://www.arduino.cc/>). Für eine einfache und schnelle Auswertung aller Daten auf dem PC können diese direkt in MS-Excel unter Verwendung von Makros und der Datenstreamer-Funktion (<https://support.microsoft.com/de-de>) ausgelesen und dargestellt werden oder alternativ mithilfe eines eigenen Python-Programms (<https://www.python.org/>) unabhängig gespeichert und in MS-Excel mit der „Power Query“-Funktion abgerufen und visualisiert werden.

Im Schul-Labor haben wir einige Testmessungen mit diesem Modul durchgeführt. Abbildung 3 zeigt dazu die Ergebnisse:

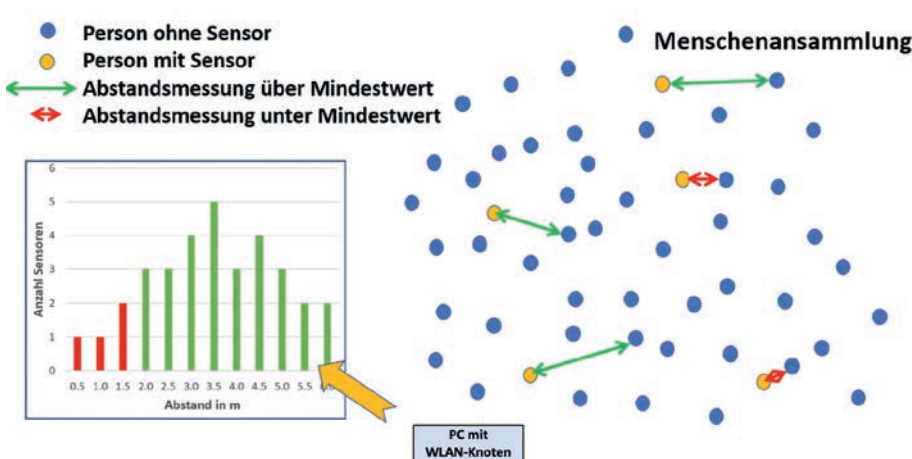


Abb. 1: Illustration zum Prinzip der Abstandsmessung in Menschenansammlungen mit dem hier vorgestellten Mess-System.

In einem ersten Experiment (Abb. 3a) haben wir den Ultraschall-Sensor im Abstand von ca. 120 cm vor eine ruhig stehende Person gehalten und während der Messwert-Aufzeichnung um die vertikale Achse gedreht. Zwischen den Drehwinkeln von -10° bis 10° hat der Sensor den korrekten Abstand zur Person gemessen. Bei höheren Winkeln (also im Bereich der Ärmel) werden Fehlmessungen angezeigt. Hier stehen die Ultraschall-reflektierenden Flächen so schräg zum Sensor, dass die Schallwellen nicht mehr zum Sensor zurückreflektiert werden.

In Abb. 3b zeigen wir Abstandsmessungen an einer Regenjacke, die unterschiedlich stark in Falten geworfen worden ist. Je stärker die Falten sind, desto mehr Fehlmessungen treten auf, erkennbar an Werten außerhalb des Messbereichs (3...400 cm).

Auch die Stoffart der Kleidungsstücke besitzt einen großen Einfluss auf die Abstandsmessung (Abb. 3c). Je rauer die Stoffoberfläche ist, desto stärker werden die Ultraschall-Pulse des Sensors absorbiert, so dass die Restreflexion nicht immer ausreicht, um eine korrekte Abstandsmessung durchzuführen.

Dennoch ist es mit diesem Prinzip sehr gut möglich, die Abstände zwischen zwei Personen bei deren Begegnung zu registrieren. In Abb. 3d sind zwei Personen jeweils mit einem Sensormodul ausgestattet worden, welche simultan die Abstände messen und aufzeichnen. Während des Zeitraums, in dem sich die Testpersonen zueinander wenden und dabei ihren Abstand „bewusst“ verändern, zeichnen beide Sensormodule in etwa die gleichen Abstandswerte auf. Wie aber auch hier zu erkennen ist, treten eine Reihe von Fehlmessungen auf, bei denen der Sensor keinen „sinnvollen“ Messwert ausgibt. Diese Daten werden durch den Auswertungsalgorithmus erkannt und separat dargestellt (siehe unten).

Untersuchungen auf dem Pausenhof

Um unser System in der Praxis zu testen, haben wir einige Experimente auf dem Schulhof während der großen Pause durchgeführt (Abbildung 4). Dabei wurden einige Schüle-

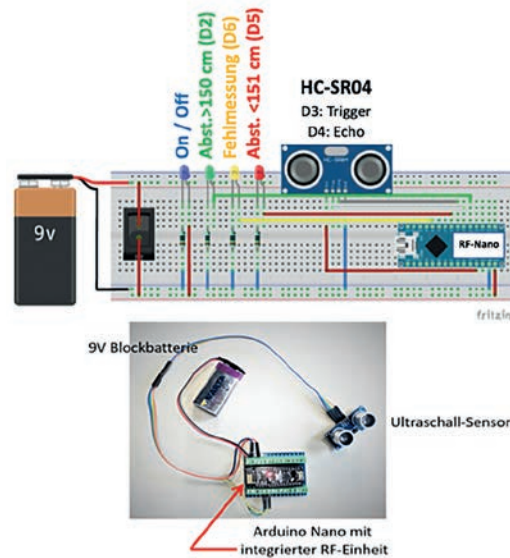


Abb. 2: Aufbau der Elektronik in der mobilen Sensoreinheit, links ist der prinzipielle Aufbau auf einer Steckplatine gezeigt und rechts ein Foto in kompakter Form im Sensor-Gehäuse.

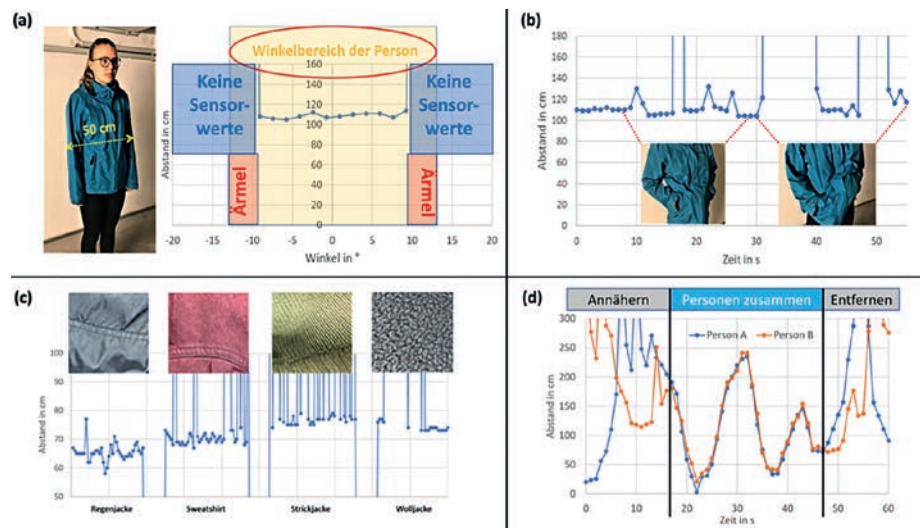


Abb. 3: Laborversuche (a) zur Detektion des Abstands zu einer stehenden Person bei Drehung des Sensors, (b) zum Sensorverhalten bei faltiger Kleidung (ohne Sensordrehung), (c) zur Ultraschall-Absorption verschiedener Stoffarten und (d) zur „gegenseitigen“ Abstandsdetektion zweier sich zueinander gewandter Personen.

rinnen und Schüler gebeten, sich während der Pause nur in einem markierten Bereich zu bewegen (diese Mitschüler haben auf dem Foto eine blaue Kappe auf). Einige dieser Personen sind mit unserer Sensoreinheit ausgerüstet worden, mit der während der Pause die jeweiligen Abstände aufgezeichnet worden sind.

Abbildung 5 zeigt hierzu einige Ergebnisse. In der Teilabbildung (a) spielen 7 Schüler während der Pause sitzend Karten. Drei von ihnen tragen ein Sensor-Modul. Die gemess-

Trotz eines gewissen Anteils an Fehlmessungen können die gesammelten Sensordaten sehr gut ausgewertet und vom Veranstalter bewertet werden, um ggf. sofortige Maßnahmen zur Einhaltung des Mindestabstands einzuleiten.



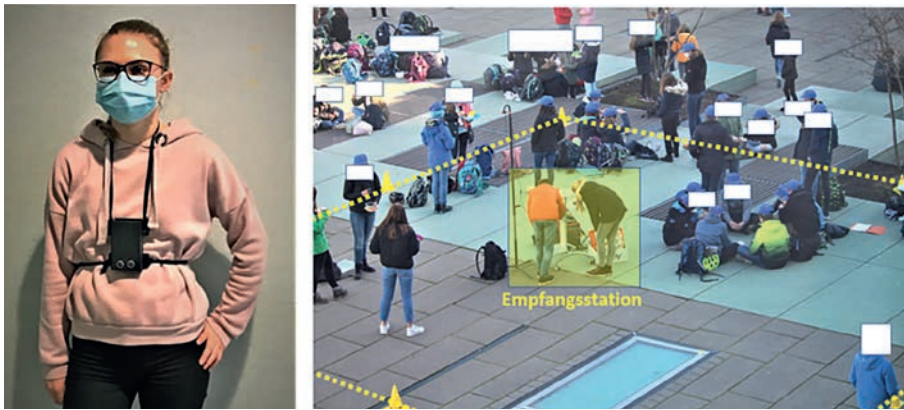


Abb. 4: Person mit angelegtem Sensormodul (links) und Feldversuch auf dem Pausenhof des Gymnasiums Oberursel (rechts)

gen können die gesammelten Sensordaten sehr gut ausgewertet und vom Veranstalter bewertet werden, um ggf. sofortige Maßnahmen zur Einhaltung des Mindestabstands einzuleiten (z.B. Lautsprecherdurchsagen oder Einlass-Beschränkungen auf das Veranstaltungsgelände).

In weiterführenden Arbeiten haben wir Simulationsrechnungen zum Bewegungsverhalten von und in Menschenansammlungen und die daraus resultierenden Abstandsverteilungen durchgeführt.

Eine ausführlichere Darstellung dieser und weiterer Ergebnisse findet sich in (Schmedding et al. 2022).

Literatur

- Leith D.J., Farrell S. Coronavirus Contact Tracing: Evaluating The Potential Of Using Bluetooth Received Signal Strength For Proximity Detection. Online unter https://www.scss.tcd.ie/Doug.Leith/pubs/bluetooth_rssi_study.pdf
- Schmedding H., Brinkmann L., Dang T.D., Kallis P., Stricker K. (vsl. 2022). Abstands-sensorik in Veranstaltungen während der Covid19-Pandemie. Junge Wissenschaft. Online Zeitschrift: <https://www.junge-wissenschaft.ptb.de/home/> zur Publikation akzeptiert.

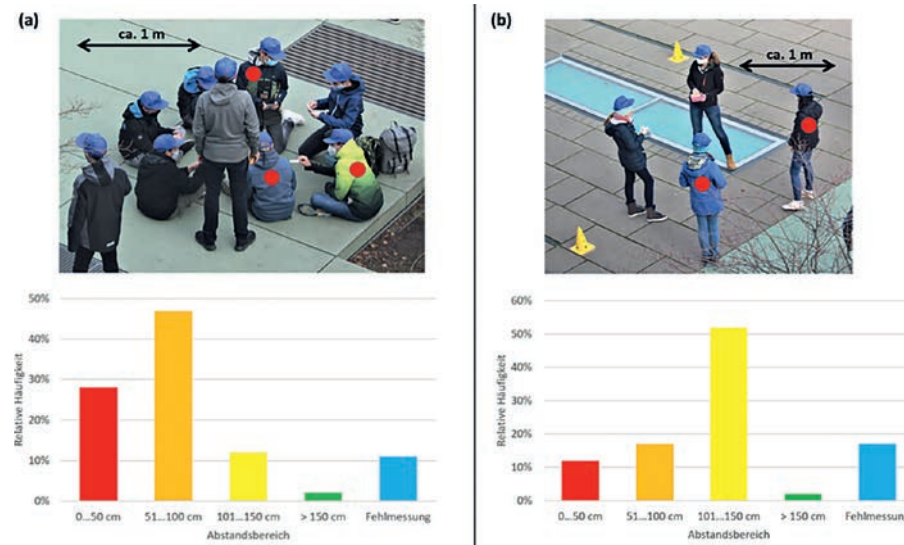


Abb. 5: (a) Messergebnisse für eine Gruppe von sieben sitzenden, Karten spielenden Schülern, von denen drei ein sensor-Modul tragen (rote Punkte), (b) Messergebnisse für eine Gruppe von vier sich unterhaltenden Schülerinnen, von denen zwei ein Sensor-Modul tragen (rote Punkte).

sene Abstandsverteilung dieser Schüler zeigt ein Maximum im Abstandsbereich 51...100 cm. In dieser Situation wird der Mindestabstand also nicht eingehalten. In Abbildung 5b stehen vier Schülerinnen zusammen und unterhalten sich, zwei von ihnen tragen ein Sensor-Modul. Hier liegt der durchschnittliche Abstand im Bereich 101...151 cm, der Mindestabstand (1,5 m) wird also deutlich besser eingehalten.

Fazit und Ausblick

In unserem MINT-Schul-Labor haben wir ein funktionsfähiges System aus tragbaren Sensormodulen zur Abstandsmessung in Menschenansammlungen entwickelt und erfolgreich in einem Praxisexperiment getestet. Trotz eines gewissen Anteils an Fehlmessun-

*Lisa Brinkmann, Paul Kallis, Kevin Stricker
Gymnasium Oberursel,
Berliner Str. 11, 61440 Oberursel
Prof. Dr. Matthias Brinkmann
MINT-Schul-Labor der Hochschule Darmstadt,
Haardtring 100, 64295 Darmstadt*

Jugend forscht 2022 – „Zufällig genial?“

2021 fand das Bundesfinale *Jugend forscht* aufgrund des Infektionsschutzes erstmals in der Geschichte online statt. Nun geht Deutschlands bekanntester Nachwuchswettbewerb für Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik wieder in eine neue Runde. Schülerinnen und Schüler, Auszubildende und Studierende bis 21 Jahre können ihre Ideen aus den klassischen MINT-Bereichen bis zum **30.11.2021** einreichen.

Angemeldet werden kann in zwei Alterssparten (Stichtag ist der 31.12.2021):

„**Schüler experimentieren**“: 4. Klasse bis 14 Jahre

„**Jugend forscht**“: 15 bis 21 Jahre

Um sich erste Ideen für ein Projekt zu holen, können auf der Internetseite von *Jugend forscht* Beispielarbeiten aus den verschiedenen MINT-Bereichen eingesehen werden. Im Bundesfinale wurde z. B. aus dem Bereich Arbeitswelt ein „Löschigel“ konstruiert, der bei der Brandbekämpfung unterstützen soll, aus dem Bereich der Biologie wurde untersucht, wie Mauerbienen ihre Niströhren finden oder aus der Technik ein optimierter Kunstharz-3-D-Drucker vorgestellt.

Verschiedene Anleitungen wie z. B. ein Leitfaden zum Verfassen schriftlicher Arbeiten stehen ebenfalls auf der Internetseite zur Verfügung.

Weitere Informationen unter: www.jugend-forscht.de



Ihr Platz

Liebe Leserinnen und Leser,
an dieser Stelle des Magazins gibt es einen kleinen Freiraum. Diesen könnten Sie ab jetzt füllen! Wir wollen Ihnen in Zukunft an diesem Platz die Möglichkeit geben, zum Beispiel Ihre Meinung zu Themen des Magazins in Form von Leserbriefen zu äußern. Gern können Sie auch kurze Kommentare zu Dingen geben, die Sie aktuell bewegen. Oder vielleicht haben Sie Anregungen und Ideen zu neuen, interessanten Themen, die wir aufgreifen sollen. Wir sind sehr gespannt auf Ihre Einsendungen!

Zuschriften bitte an
redaktion@lernortlabor.de

IMPRESSUM

HERAUSGEBER

LernortLabor – Bundesverband der Schülerlabore e.V.
Geschäftsstelle
Tentenbrook 9
24229 Dänischenhagen
Tel.: 04349-7992971
office@lernortlabor.de
www.lernortlabor.de

REDAKTION

PD Dr. Knut Jahreis (V.i.S.d.P.)
Dr. Olaf J. Haupt
Dr. Corina Rohen
Babett Tauber
redaktion@lernortlabor.de

LAYOUT

Ulrike Heinichen, grafitypus

BEZUGSBEDINGUNGEN

Mitglieder von „LernortLabor – Bundesverband der Schülerlabore e.V.“ erhalten das Magazin 3x jährlich kostenlos.

ONLINE

www.lela-magazin.de

Aufnahme in elektronische Datenbanken, Mailboxen sowie sonstige Vervielfältigungen nur mit ausdrücklicher Genehmigung des Herausgebers. Für unverlangt eingesendetes Text- und Bildmaterial wird keine Haftung übernommen. Die Autoren und Redakteure des *LeLa magazins* recherchieren und prüfen jeden Artikel sorgfältig auf seine inhaltliche Richtigkeit. Dennoch kann es passieren, dass sich Fehler in die Texte oder Bilder schleichen. Wir übernehmen daher keine Garantie für die Angaben.
ISSN 2196-0852

Wir sind uns der Bedeutung der gender-gerechten Sprache bewusst. Die in den Artikeln verwendeten verschiedenen generischen Formen entsprechen dabei nicht immer dem jeweiligen biologischen oder sozialen Geschlecht. Um den Lesefluss der Texte zu erleichtern, haben einige Autoren auf die traditionellen Schreibweisen zurückgegriffen.

Erste Schritte zum Nobelpreis?

Mach ich!

Bei BASF in Schwarzheide.



Unser Standort möchte Kinder und Jugendliche für Naturwissenschaften begeistern. Wir sind Partner der MINT-Initiative und kooperieren mit dem Gläsernen Labor im Deutschen Hygienemuseum Dresden.

 **BASF**

We create chemistry