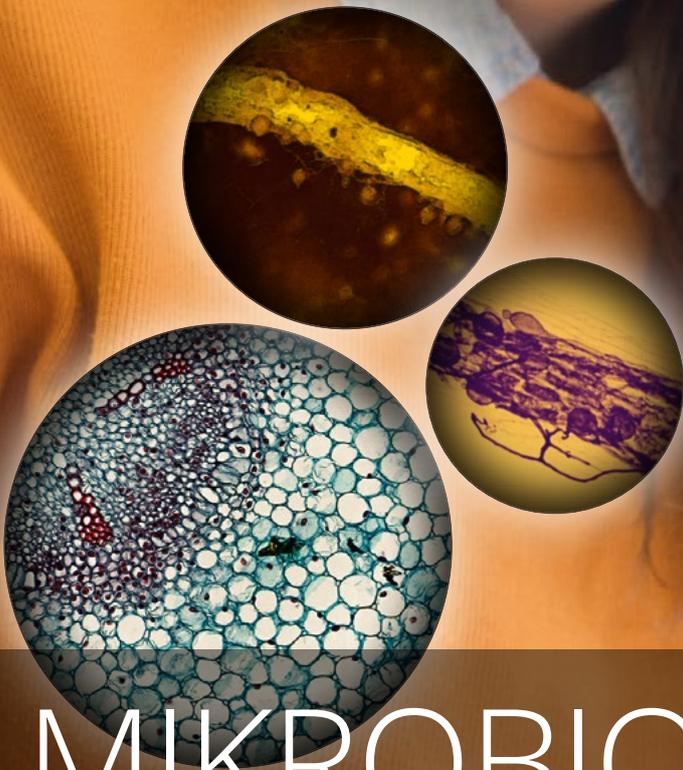


GENOMXPRESS SCHOLAE 7



MIKROBIOM DER
KULTURPFLANZEN

DAS IST DER GENOMXPRESS SCHOLÆ:



Aktuelle Forschung spannend für die Schule aufbereitet

Der **GENOMXPRESS SCHOLÆ** bietet aktuelle Themen aus der Wissenschaft in einer direkt im Unterricht einsetzbaren Form. Die vorliegende siebte Ausgabe zum Thema „Mikrobiom der Kulturpflanzen“ wird von PLANT 2030 herausgegeben.

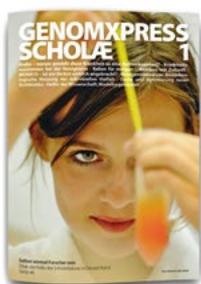
Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) fördert den **GENOMXPRESS SCHOLÆ** wie auch die darin vorgestellten Forschungsprojekte. Der **GENOMXPRESS SCHOLÆ** ist sowohl in gedruckter als auch in digitaler Form (pdf) erhältlich und wird kostenlos abgegeben.

Informationen zum Heft, digitale Zusatzangebote und kostenloses Abonnement unter:

genomxpress.de

INHALT

- 2 **INHALT**
- 3 **SO FUNKTIONIERT DER GENOMXPRESS SCHOLÆ**
- 4 **EINFÜHRUNG:**
DIE NACHBARN VON UNTEN
Pflanzen leben nicht allein ...
- 8 **ARBEITSAUFTRÄGE**
- 9 **FORSCHUNG & ANWENDUNG:**
ZUR WURZELBEHANDLUNG BITTE!
Ökologisches Engineering – neue Ansätze finden und altbekannte Praxis verstehen
- 13 **ARBEITSAUFTRÄGE**
- 14 **EXPERTENINTERVIEW:**
PRIMING, GERSTE UND DAS »SCHÖN-WETTER-EXPERIMENT«
Interview mit Dr. Adam Schikora vom Julius Kühn-Institut (JKI) in Braunschweig
- 17 **ARBEITSAUFTRÄGE**
- 18 **FORSCHUNGSPORTRÄT:**
EIN OPTIMALES MIKROBIOM
Das Projekt RECONSTRUCT
- 21 **ARBEITSAUFTRÄGE**
- 22 **PROJEKTSTECKBRIEFE**
- 22 **DAS PROJEKT INPLAMINT**
Interaktionen zwischen Pflanze, Boden und Mikroorganismen verstehen
- 23 **DAS PROJEKT CATCHY**
Zwischenfrüchte für mehr Bodenfruchtbarkeit und Ertrag
- 23 **DAS PROJEKT CHITOPOP**
Pappeln müssen nützliche und schädliche Pilze unterscheiden
- 24 **DAS PROJEKT ROOTWAYS**
Wurzelkanäle in den Untergrund
- 25 **ARBEITSAUFTRÄGE**
- 26 **GLOSSAR** Die wichtigsten Begriffe kurz erklärt
- 28 **PRAXIS**
ERFORSCHT KNÖLLCHEN!
Eine Gruppenaufgabe zur Erforschung des Wachstums und der Verteilung von Wurzelknöllchen
- 31 **IMPRESSUM**



SO FUNKTIONIERT DER GENOMXPRESS SCHOLÆ

Das Heft gliedert sich in fünf verschiedene Beiträge. Grundsätzlich können diese individuell und unabhängig voneinander in den Unterricht integriert werden.

Der erste einleitende Artikel führt ins Thema ein, benennt die Fachtermini sowie die wissenschaftliche und gesellschaftliche Relevanz des Themas. Der zweite vertiefende Beitrag zeigt den aktuellen Stand der Forschung, die praktischen Anwendungen und mögliche Wege in die Zukunft. Im Interview geben Fachleute persönliche Einblicke in ihre Forschung und ihre Visionen. Das Projektporträt verfolgt detail-

liert die Abläufe in einem ausgewählten Forschungsprojekt. Die Projektsteckbriefe stellen kompakt reale Forschungsprojekte mit unterschiedlichen Fragestellungen und Lösungsansätzen vor. Am Ende eines jeden Beitrags finden sich Informationen zur weiterführenden Recherche und die Arbeitsaufträge. Das übergreifende Glossar erklärt zum Schluss die wichtigsten Begriffe.

Die Inhalte und Themen stammen aus den Forschungsprojekten von PLANT 2030 und anderen vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Aktivi-

täten zum Thema. Auf diese Weise bieten sie den direkten Einblick in aktuelle Forschungsfragen.

Unter www.genomxpress.de finden sich Hinweise zum Bezug des Lösungshefts mit den zugehörigen Lösungen der Arbeitsaufträge, zum kostenlosen Abonnement und zu früheren Ausgaben des **GENOMXPRESS SCHOLÆ**. Dort stehen auch die Abbildungen des Hefts zum Download zur Verfügung.

Neu ist die ständige Erweiterung mit aktuellen Inhalten sowie zusätzliche digitale Angebote zum Thema.

FORSCHUNGSBOX

Die Kurzvorstellung relevanter Forschungsprojekte erleichtert weitergehende Recherchen.



ZUM WEITERLESEN UND RECHERCHIEREN

Weiterführendes Material vertieft und erweitert das behandelte Thema und kann bei der Bearbeitung der Arbeitsaufträge hilfreich sein.



ARBEITSAUFTRÄGE

Die Lösung erfordert eine tiefere Analyse und Bewertung der Materialien, weitere Recherchen und Diskussionen in der Gruppe. Es wurde stets darauf geachtet, dass verschiedene Kommunikationsformen in den Unterricht einfließen können.



ARBEITSMATERIALIEN

Einführungen, Artikel, Projektporträts und Interviews als Grundlage für die Arbeitsaufträge



DIDAKTIKHEFT

Das separate Didaktikheft enthält Lösungsvorschläge zu den Arbeitsaufträgen, Informationen und weitere Hinweise für den Unterricht. Für den Bezug des Didaktikhefts ist ein Nachweis des pädagogischen Status erforderlich.



PFLANZENWURZELN stecken nicht einfach nur in steriler Erde. Stattdessen tummelt sich eine große Vielfalt verschiedenster Mikroben im Boden. Milliarden einzelner Mikroorganismen sind in einem kleinen Brocken Erde verborgen. Da ist es nicht verwunderlich, dass sich im Laufe der Evolution untrennbare Gemeinschaften zwischen Pflanzen und Mikroorganismen entwickelt haben. Das Zusammenspiel zwischen beiden Gruppen ist komplex. In vielen Fällen profitieren sowohl die Pflanzen von den Mikroben, die an ihren Wurzeln leben, als auch die Mikroben von ihren Pflanzenpartnern. In manchen Fällen sind die Mikroben auch schädlich und gewinnen an Oberhand, weil sich bestimmte Gleichgewichtszustände zu ihren Gunsten verschoben haben. Auch unsere Nutzpflanzen sind in hohem Maße von den sie umgebenden Mikroben abhängig. Ohne die Mikroben im Boden könnten sie nicht gedeihen und Früchte tragen. Dieser Beitrag gibt einen Einblick in diese faszinierende Welt unter unseren Füßen.

DIE NACHBARN VON UNTEN

Pflanzen leben nicht allein ...

... vielmehr besiedelt eine riesige Vielfalt von Mikroorganismen ihren Wurzelraum und ihre Organe. Obgleich für das bloße Auge unsichtbar, sollte man die winzigen Kolonisten nicht unterschätzen. Sie beeinflussen die Pflanzenernährung und Gesundheit, ihre Toleranz gegenüber Stress wie Trockenheit, und sie helfen bei der Abwehr von Krankheitserregern.

Spricht man vom Mikrobiom, meint man meist das Mikrobiom des Menschen.

Die Zahl der Mikroben, die auf und in unserem Körper leben, ist zehnmals größer als die Zahl all unserer Zellen. Wir besitzen über 100 Billionen von ihnen. Häufig verwenden wir die Begriffe Darm-, Haut- oder Mundflora. Die Bakterien helfen bei der Verdauung, regulieren unser Immunsystem, schützen vor Krankheitserregern und produzieren wertvolle Vitamine.

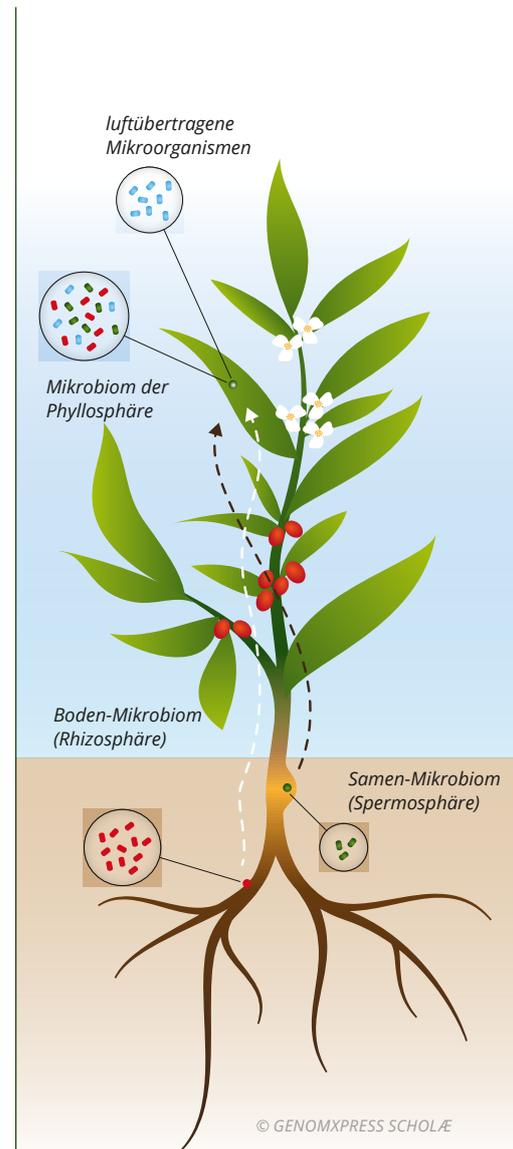
Bei Pflanzen ist das ähnlich.

Auch Pflanzen haben ein Mikrobiom, das eine wichtige Rolle für ihre Fitness und auch für den Ertrag von Nutzpflanzen spielt. Die meisten Pflanzen beherbergen unterschiedliche mikrobielle Gemeinschaften in ihrer Nachbarschaft, auf aber auch in ihren Geweben. In ihrer Gesamtheit werden sie als Pflanzenmikrobiota

oder Phytobiom bezeichnet. Die Mikroben leben in einer komplexen Lebensgemeinschaft mit den Pflanzen. Dabei handelt es sich um Bakterien, Archaeen und Pilze. Einige sind vorteilhaft für die Pflanzen, andere sind sogenannte Pflanzenpathogene und können sie schädigen oder sogar abtöten. Von der Mehrheit der mikrobiellen Kolonisten ist die Wirkung auf Wachstum und Fitness ihrer Pflanzen bisher noch gar nicht erforscht.

Eine Pflanze kann in bestimmte Zonen unterteilt werden.

Diese sogenannten Mikrohabitate werden von ganz unterschiedlichen Mikroorganismengemeinschaften besiedelt. Die dünne Erdschicht im unmittelbaren Einzugsbereich der Wurzel wird als Rhizosphäre bezeichnet. Sie ist der mikrobielle Lebensraum, in dem die physikalische, chemische und biologische Zusammen-



Ursprung des Pflanzenmikrobioms. Das Pflanzenmikrobiom stammt hauptsächlich aus dem Boden. In einigen Fällen wandern die Mikroben von dort zu den oberirdischen Teilen der Pflanze. Zusätzlich wird die Phyllosphäre von luftübertragenen Arten besiedelt. Oft spielt auch die Mikrobengemeinschaft der Samen eine Rolle. (Nach: Sánchez-Cañizares C., Jorrín B., Poole P.S., Tkacz A. (2017) Understanding the holobiont: the interdependence of plants and their microbiome. *Curr Opin Microbiol.*, 38:188-196. doi.org/10.1016/j.mib.2017.07.001)

Von Mikroorganismen besiedelte Zonen einer Pflanze (Mikrohabitate)

Phyllosphäre	Bereich aller oberirdischen Pflanzenorgane (also der Blätter, aber auch Blüten, Gewebe, Stängel)
Rhizosphäre	Zone um die Wurzel herum, wo die Eigenschaften des Bodens direkt von der Pflanze beeinflusst werden
Anthosphäre	Zone um die Blüten
Carposphäre	Zone um die Früchte
Caulosphäre	Zone um den oberirdischen Teil des Stängels
Phylloplane	unmittelbare Blattoberflächen
Endosphäre	Bereiche innerhalb der ober- und unterirdischen Pflanzengewebe
Spermosphäre	Bodenzone unter dem direkten Einfluss von keimendem Saatgut
Laimosphäre	Zone des Bodens, der die unterirdischen Teile des Stängels umgibt
Rhizoplane	unmittelbar mit der Wurzeloberfläche assoziierter mikrobieller Lebensraum

setzung des Bodens direkt von der Pflanze beeinflusst wird. Die Rhizosphäre beheimatet deshalb eine besonders große Vielfalt an Mikroorganismen, das Wurzelmikrobiom. Das Wurzelmikrobiom steht meist auch im Zentrum der Mikrobiomforschung. Der mikrobielle Lebensraum auf der Oberfläche der oberirdischen Pflanzenorgane, also vor allem der Blätter, heißt Phyllosphäre. Die Phyllosphäre wird wiederum in kleinere Bereiche unterteilt, je nachdem ob nur die Zone um die Blüten, die Blätter oder die Samen gemeint ist.

Woher kommen eigentlich die Mikroben?

Der Boden ist vermutlich der am dichtesten besiedelte Raum auf der Erde und der Hotspot der Pflanze-Mikroben-Interaktion. Neben Wurzeln, Würmern, Insekten, Algen und Pilzen sind Bakterien hier reichlich vorhanden. Ein Gramm trockene Erde enthält circa zehn Milliarden Mikroorganismen. Tausende unterschiedliche Arten tummeln sich auf engstem Raum. Zusätzlich zu den Mikroorganismen der Rhizosphäre, die in einigen Fällen auch vom Boden zu den Blättern wandern, kann die Phyllosphäre von luftübertragenen Arten besiedelt werden. Bei einigen Pflanzenarten werden die Mikrobengemeinschaften der Samen sogar auf die nächste Generation „vererbt“. Dies macht man sich auch im Pflanzenanbau zunutze, indem man die Samen von Nutzpflanzen mit bestimmten Mikroorganismen beimpft.

Die Wechselwirkungen zwischen Mikroben und Pflanzen sind komplex.

Sie sind vom gegenseitigen Austausch von Signalmolekülen und Stoffwechselprodukten geprägt. Durch sogenannte Exsudate beeinflussen Pflanzen das Mikrobiom ihrer Rhizosphäre. Die Bezeichnung leitet sich vom lateinischen exsuda-

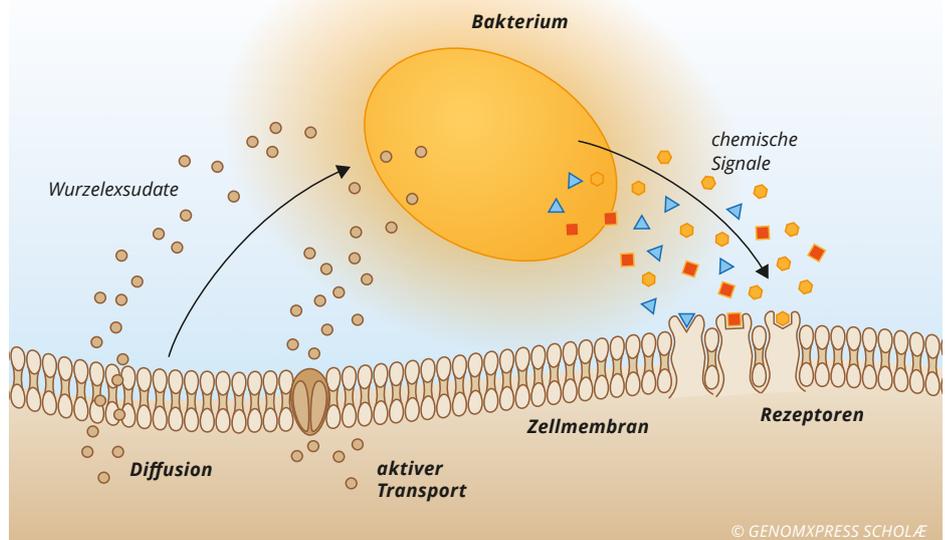
re ab, was mit „ausschwitzen“ oder „abfließen“ übersetzt werden kann. Wurzelexsudate sind verschiedenste Ausscheidungen der Pflanzenwurzeln. Es sind meist wasserlösliche organische Stoffwechselprodukte wie freie Zuckermoleküle, organische Säuren, Aminosäuren und Proteine, die in den Boden abgegeben werden. Diesen Prozess bezeichnet man als Rhizodeposition. Pflanzen prägen so die physikalischen und chemischen Eigenschaften des Bodens. Beispielsweise können sie durch die Abgabe geringer Mengen organischer Säuren den pH-Wert im wurzelnahen Boden regulieren. Sie können so aber nicht nur die Umgebung der Wurzeln verändern, sondern auch Mikroben anlocken oder fernhalten und stabile Mikrobengemeinschaften fördern. Im Laufe der Evolution hat sich ein ausgeklügeltes Kommunikationssystem entwickelt, durch das Pflanzen den Boden, die

Zusammensetzung und auch das Verhalten der Mikroorganismen in ihrer Rhizosphäre steuern können.

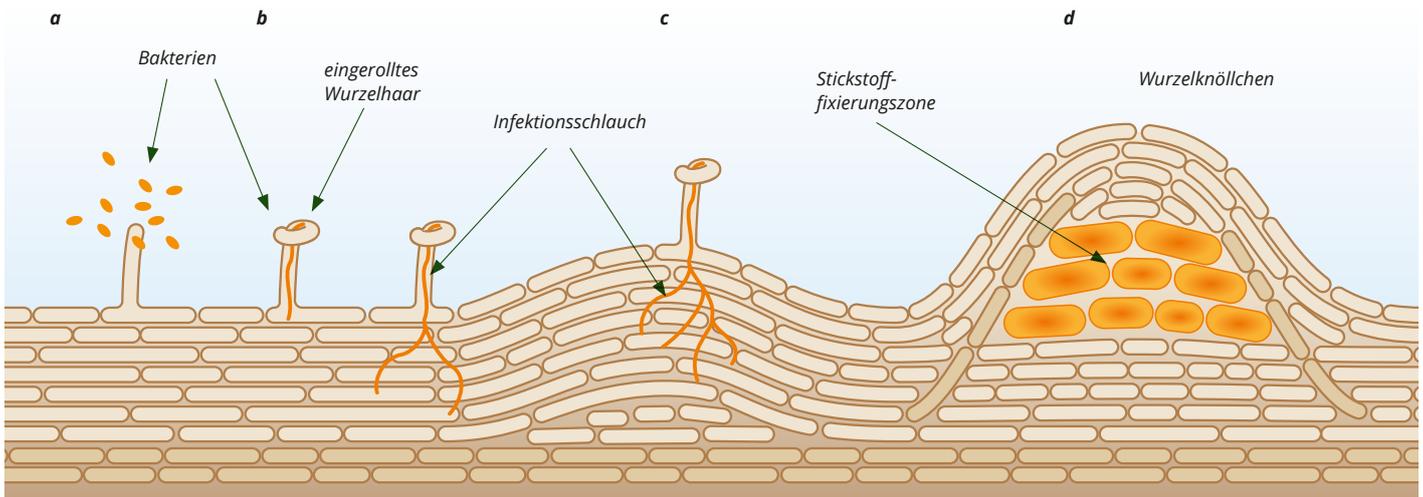
Die Bodenorganismen profitieren von den abgegebenen organischen Kohlenstoffverbindungen. Sie ernähren sich von ihnen, insbesondere von den Assimilaten, die durch die Photosynthese in den Blättern produziert wurden. Sie verändern ihren Stoffwechsel gezielt, um sich während der Besiedlung oder als Reaktion auf pflanzliche Stressreaktionen an die jeweilige Umgebung anzupassen.

Viele Pflanzen gedeihen besser in Gegenwart eines gesunden Mikrobioms.

Denn bestimmte mikrobielle Mitbewohner helfen dabei, Nährstoffe zu erschließen, sich gegen Krankheitserreger zu wappnen oder toleranter gegenüber Stressfaktoren zu sein. Die positiven



Dialog zwischen den Mikroorganismen des Bodens und der Pflanze. Die Exsudate der Wurzeln wirken auf bestimmte Mikroben attraktiv. Sie werden von ihnen angezogen. Signal- und Oberflächenmoleküle der Mikroorganismen binden an spezifische Rezeptoren in der Zellmembran und werden so von der Pflanze wahrgenommen. (Nach: Sánchez-Cañizares C., Jorrín B., Poole P.S., Tkacz A. (2017) Understanding the holobiont: the interdependence of plants and their microbiome, *Curr. Opin. Microbiol.*, 38:188-196. doi.org/10.1016/j.mib.2017.07.001.)



Die Knöllchenbildung erfolgt in mehreren Phasen. a) Nachdem das Bakterium den geeigneten Symbiosepartner identifiziert hat, erfolgt die Anheftung an dessen Haarwurzeln. b) Durch bestimmte Ausscheidungen der Rhizobien kräuselt sich das Wurzelhaar. c) Nach der Bildung eines Invasionsschlauchs kann das Bakterium in die Haarwurzel eindringen, sich vermehren und dann in die Hauptwurzel einwandern. d) In den Pflanzenzellen bilden sich deformierte Bakterienzellen (Bacterioide), die die Fähigkeit zur Stickstoff-Fixierung besitzen. Das reife Wurzelknöllchen entsteht durch weitere Zellteilungen der Pflanzenzellen, die durch die Bakterien angeregt wurden. (Nach: Wippel K., Schulze-Lefert P., Garrido-Oter R. (2019) Rhizobien in der Pflanzenmikrobiota, Biol. Unserer Zeit, 49:426-434. doi.org/10.1002/biuz.201910692.)

Auswirkungen auf die Pflanzengesundheit und das Wachstum sind vielfältig und können sowohl direkt als auch indirekt durch das Zusammenspiel mehrerer Prozesse sein. Beispielsweise reagieren Gerstenpflanzen auf eine Wurzelinfektion durch bestimmte Pilze mit der Ausscheidung bestimmter Verbindungen, die wiederum die Produktion pilzhemmender Stoffe durch Bakterien fördern. Andere

Mikroben können schädliche Pathogene in Schach halten, Stoffwechselwege der Pflanze modulieren oder die Genaktivität der Pflanze positiv beeinflussen.

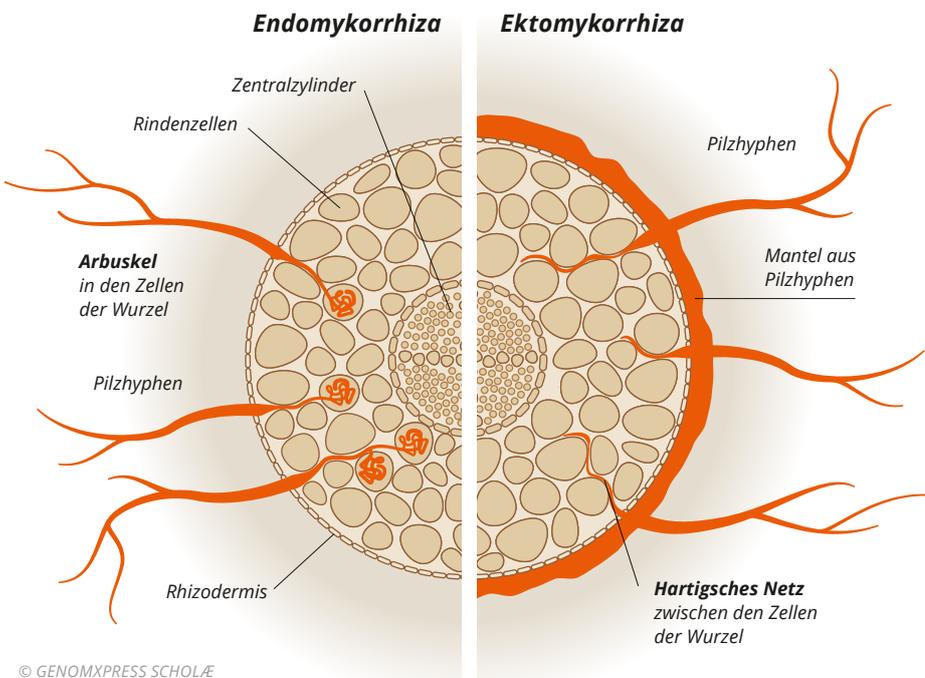
Pflanzen-Mikrobiom-Beziehungen können unterschiedlich intensiv sein.

Meistens wird das Verhältnis zwischen Pflanzen und ihren Mikrobiota dem

„Kommensalismus“ zugeordnet. Kommensalismus ist eine Form des lockeren Zusammenlebens von Organismen verschiedener Arten. Dabei profitiert der eine, der Kommensale, vom anderen, dem Wirt, ohne dass dieser dabei geschädigt wird (sonst wäre es Parasitismus) oder ohne, dass der Wirt auch einen großen Nutzen hätte (sonst wäre es eine Symbiose).

Es gibt aber auch sehr enge Pflanzen-Mikroben-Beziehungen.

Sie sind für beide Partner von großem Nutzen. Ein gut erforschtes Beispiel einer solchen Symbiose sind die Knöllchenbakterien (Rhizobien). Der wissenschaftliche Name *Rhizobium* bedeutet „in den Wurzeln lebend“. Rhizobien sind stäbchenförmige, freilebende Bodenbakterien. Sie leben mit Leguminosen, auch Hülsenfrüchtler und Schmetterlingsblütler genannt, wie Luzernen, Sojabohnen, Lupinen, Rotklee oder Linsen aber auch vielen anderen Pflanzen in Symbiose. Die Besonderheit von Rhizobien ist, dass sie elementaren Luftstickstoff binden können (Stickstoff-Fixierung), der dann in Form von Ammonium und Nitrat von den Pflanzen aufgenommen werden kann. Pflanzen sind nicht in der Lage Stickstoff aus der Luft aufzunehmen, den sie jedoch dringend benötigen. Man bezeichnet Rhizobien auch als Knöllchenbakterien, weil sie knollige Schwellungen an den Wurzeln ihrer Pflanzenpartner hervorrufen. Gerade wegen ihrer Fähigkeit mit Rhizobien Symbiosen einzugehen, sind Hülsenfrüchtler von großer wirtschaftlicher Bedeutung als Proteinpflanzen, zur Gründüngung und als Zwischenfrüchte zur Verbesserung des Bodens (vgl. „Zur



© GENOMXPRESS SCHOLÆ

Es gibt zwei Hauptformen der Mykorrhiza. Bei der Endomykorrhiza (links) wachsen die Hyphen in die Rinde (den Cortex) der Wurzel ein und schwellen zu Vesikeln an. Sie dienen als Speicherorte. Arbuskuläre Mykorrhizapilze bilden in den Zellen der Wurzelrinde bäumchenartige Gebilde, die Arbuskeln. Hier findet der aktive Stoffaustausch zwischen der Pflanze und dem Mykorrhizapilz statt. Die Pilzhypen außerhalb der Wurzel können sich mehrere Meter weit in den Boden ausdehnen. Die Ektomykorrhiza (rechts) kommt vor allem bei Bäumen und Sträuchern vor. Der Pilz bildet einen dicken Mantel aus Pilzhypen um die Wurzel herum. Als Hartiges Netz wird das dichte Geflecht zwischen den Rindenzellen bezeichnet.

Wurzelbehandlung bitte!“ S. 9). Auch die bodenlebenden Bakterien der Gattung *Francia* können elementaren Luftstickstoff fixieren und leben mit einigen Pflanzen in enger Symbiose, bei denen sie Wurzelknöllchen hervorrufen.

Mykorrhiza kommt bei den meisten Pflanzen vor.

Als Mykorrhiza (altgr.: Pilzwurzel) bezeichnet man eine Gemeinschaft zwischen den Wurzeln höherer Pflanzen und Pilzen. Der Pilzkörper besteht aus dünnen Filamenten, den Hyphen. Der gesamte Pilzkörper wird als Myzel bezeichnet. Zwischen beiden Partnern, Pilz und Pflanze, findet ein wechselseitiger Stoffaustausch statt: Die Pilze erhalten von der Pflanze vor allem Kohlenhydrate. Die Pflanze wird von den Pilzen mit Phosphor, Spurenelementen, Ammonium und Nitrat als Stickstoffquellen versorgt. Doch es gibt weitere Vorteile für die Pflanze: Das Pilz-Myzel kann sich mehrere Meter weit im Boden ausdehnen, wodurch der Einzugsbereich der Wurzeln enorm vergrößert wird. Wegen des geringen Durchmessers der Pilzhypen können diese auch in feinste Bodenpartikel eindringen und dort viel effizienter als Pflanzenwurzeln Nährstoffe und Wasser erschließen. Dadurch werden die Nährstoffversorgung und die Wasseraufnahme der Pflanze deutlich verbessert. Durch diese Symbiose werden die Pflanzen widerstandsfähiger gegenüber Schädlingen und haben eine deutlich höhere Trockenstresstoleranz. Eine pilzfreie Aufzucht von Bäumen hat in der Regel ein kümmerliches Wachstum zur Folge.



Foto: © Adobe Stock/andersphoto



Trüffel sind Ektomykorrhizapilze

Auch wenn der Fachausdruck kaum geläufig ist, ein Ektomykorrhizapilz ist sehr bekannt und besonders wertvoll: der Trüffel. Seine oberirdischen Fruchtkörper gelten als Delikatesse und sind weltweit heißbegehrt.

Zum Weiterlesen und Recherchieren



Artgerechte Fütterung

Pflanzen kultivieren eigene Bodenbakterien

Während des Wurzelmetabolismus entstehen von Art zu Art unterschiedliche Produkte. Mit ihrer Hilfe passen Pflanzen das Mikrobiom in der Rhizosphäre an ihre Bedürfnisse an.

www.pflanzenforschung.de/qr/Artgerechte_Fuetterung

Hilfe bei Bedarf

Bodenbakterien können Pflanzen mit Eisen versorgen

Für ein gesundes Wachstum brauchen Pflanzen ausreichend Nährstoffe. Doch gerade Eisen ist im Boden oft für Pflanzen kaum zugänglich. Mit einem Signalmolekül können Pflanzen bei Mikroorganismen „um Hilfe bitten“, damit diese ihnen den Nährstoff zur Verfügung stellen.

www.pflanzenforschung.de/qr/Hilfe_bei_Bedarf

Wie Wurzel und Mikrobiom kommunizieren

Der Pflanzenforscher Tonni Andersen ist Kovalevskaja-Preisträger 2019. Er will verstehen, wie Wurzeln sich mit Bodenmikroben austauschen und baut am Max-Planck-Institut in Köln eine neue Arbeitsgruppe auf.

biooekonomie.de/interview/wie-wurzel-und-mikrobiom-kommunizieren

Krieg der Knöllchen

Wenig Harmonie in der Symbiose zwischen Pflanzen und Rhizobien

Die oft als friedliches Miteinander dargestellte Symbiose zwischen Pflanzen und Rhizobien ist in Wahrheit ein Kampf: die Stickstoff-fixierenden Knöllchenbakterien überleben gerade so in der Wurzelzelle.

www.pflanzenforschung.de/qr/Krieg_der_Knoellchen

Planet Wissen: Bakterien. Vorteil der Symbiose

von Remo Trerotola

Es ist eine der bedeutendsten Fähigkeiten in der Natur: Einige Bakterien können Stickstoff aus der Luft binden. Ein unscheinbarer Prozess mit einer entscheidenden Rolle – auch für uns Menschen. Naturbewusste Gärtner wissen das schon lange und setzen auf die Symbiose zwischen Leguminosen und Bakterien statt auf Dünger. <https://bit.ly/2MVuHJj>

Rhizobien in der Pflanzenmikrobiota

Wipfel, K., Schulze, Lefert, P. and Garrido, Oter, R. (2019), *Biologie in unserer Zeit*, 49: 426-434.

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/biuz.201910692>



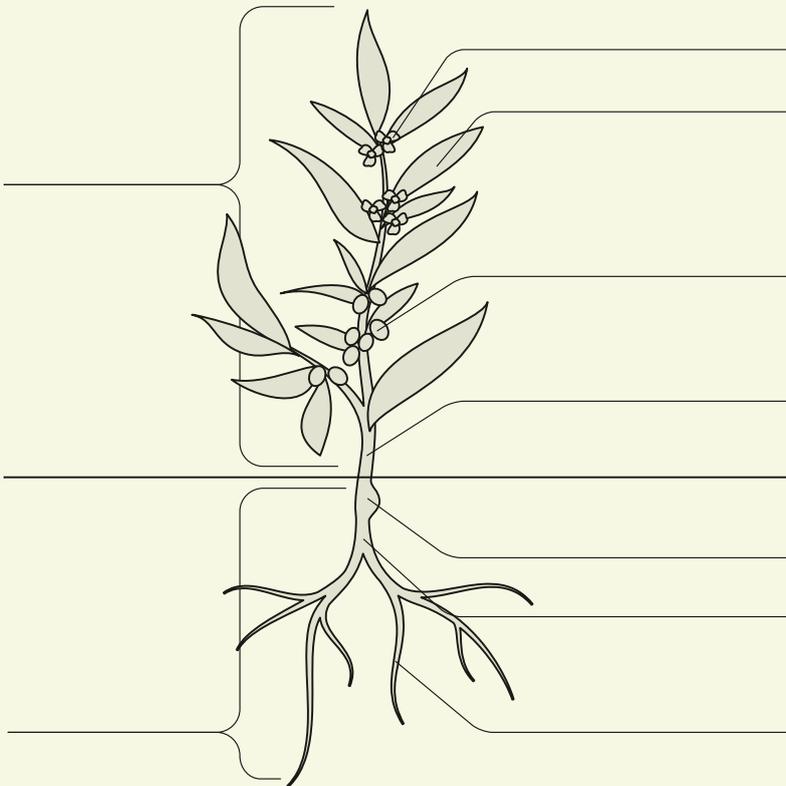
Mykorrhiza I – Mykorrhiza und Umwelt

(Video 4:33) UFZde <https://youtu.be/CMtq9q6PZD8>



Arbeitsaufträge

1. Eine Pflanze kann in verschiedene mikrobielle Lebensräume unterteilt werden. Lies den Text und beschrifte die Abbildung. (Kopiervorlage: www.genomxpress.de)

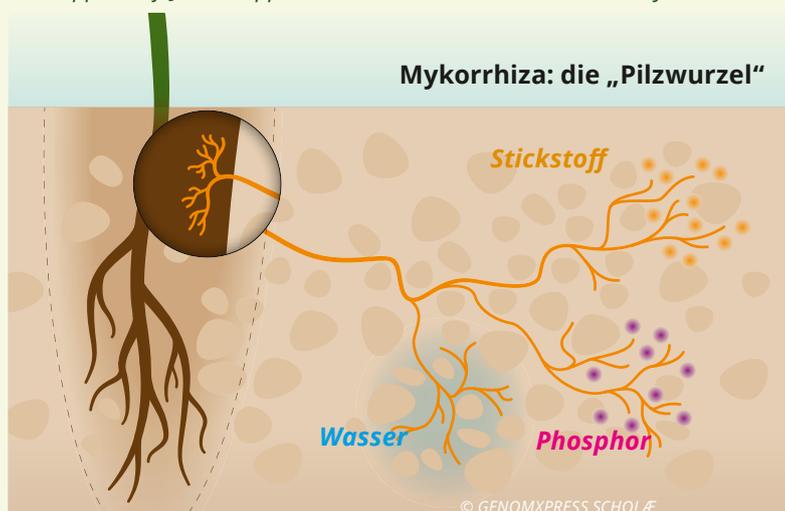


2. Recherchiere den Begriff „Rhizosphäre“. Was versteht man unter dem Rhizosphäreneffekt?
3. Was bedeutet der Begriff „Rhizodeposition“?
4. Erkläre die Anreicherung des Bodens mit Stickstoffverbindungen durch Rhizobien (Knöllchenbakterien).
5. Recherchiere Nutzpflanzenarten, die mit Rhizobien in Symbiose leben.
6. Recherchiere folgende Fragen: Was sind die Vorteile für die beiden Partner a) bei der Mykorrhizierung und b) bei den Rhizobien? Teilt euch in zwei Gruppen auf. Jede Gruppe bearbeitet dann nur eine Form der Symbiose.

7. Erkläre anhand der Abbildung (links unten), wie durch Mykorrhizapilze die Nährstoff- und Wasserversorgung der Pflanze enorm gesteigert wird.
8. Mykorrhizapilze leben als Symbionten an den Wurzeln vieler Pflanzenarten. Recherchiere, bei welchen Nutzpflanzenarten Mykorrhizierung beobachtet werden kann.
9. Zahlreiche Speisepilze leben in Symbiose oder enger Assoziation mit Bäumen. Kennst Du Pilze, die besonders häufig unter bestimmten Bäumen zu finden sind? Dabei muss es sich nicht immer um Mykorrhizapilze handeln.

10. Selbsttest: Welche Aussagen sind richtig?

- a Der Boden ist vermutlich der am dünnsten besiedelte Raum auf der Erde.
- b Als Phytobiom bezeichnet man die mikrobielle Gemeinschaft, mit der Pflanzen interagieren.
- c Das Wurzelmikrobiom steht meist im Zentrum der Mikrobiomforschung.
- d Pflanzenpathogene sind Krankheitserreger, die Pflanzen mit Nährstoffen versorgen.
- e Mikrohabitate sind bestimmte Zonen einer Pflanze, die von Mikroorganismen besiedelt werden.
- f Die Rhizosphäre ist der Bereich an den Blättern, dessen Eigenschaften direkt von der Pflanze beeinflusst werden.
- g Wurzelexsudate sind Ausscheidungen der Pflanzenwurzeln.
- h Wurzelexsudate können bestimmte Mikroorganismen anlocken oder abschrecken und die Eigenschaften des Bodens verändern.
- i Bei der Rhizodeposition sondert die Pflanze bestimmte Stoffe über die Blätter ab.
- j Rhizobien sind stäbchenförmige Flechtenarten.
- k Rhizobien können Luftstickstoff binden und so umwandeln, dass Pflanzen davon profitieren.
- l Rhizobien werden auch als Knöllchenbakterien bezeichnet, weil sie die Bildung von Knöllchen an den Wurzeln hervorrufen.
- m Als Mykorrhiza bezeichnet man eine Gemeinschaft zwischen Pflanzen und Blaualgen.
- n Mykorrhiza kommt bei den wenigsten Pflanzen vor.
- o Die Pflanzen erhalten von den Mykorrhizapilzen vor allem Kohlenhydrate.
- p Mykorrhizapilze werden von den Pflanzen mit Phosphor, Spurenelementen, Ammonium und Nitrat versorgt.
- q Mykorrhizapilze spielen keine Rolle für die Wasseraufnahme von Pflanzen.
- r Bei der Ektomykorrhiza befinden sich die Pilzhyphe außerhalb der Wurzelzellen.
- s Bei der Endomykorrhiza dringen die Hyphe in die Wurzelzellen ein.
- t Arbuskuläre Mykorrhizapilze zählen zur Gruppe der Endomykorrhiza.



DIE MIKROORGANISMEN des Bodens, insbesondere im Bereich der Rhizosphäre, beeinflussen maßgeblich die Gesundheit und Produktivität der Pflanzen, die in ihm gedeihen. In den letzten Jahren hat sich deshalb ein wachsendes Interesse daran entwickelt, diejenigen Faktoren zu verstehen, die zur Förderung und Steigerung des Pflanzenwachstums durch das pflanzliche Mikrobiom beitragen. Der folgende Text gibt einen Überblick über ein Forschungsfeld, das sich mit dem faszinierenden Universum des pflanzlichen Mikrobioms beschäftigt.

ZUR WURZELBEHANDLUNG BITTE!

Ökologisches Engineering – neue Ansätze finden und altbekannte Praxis verstehen

Neue Forschungsansätze stützen sich auf das sogenannte Ökologische Engineering, insbesondere das Rhizosphären-Engineering, die gezielte Verbesserung des Bodens durch den Menschen unter besonderer Berücksichtigung des Bodenmikrobioms. Voraussetzung ist das Verständnis eines komplexen und vielfältigen Systems.

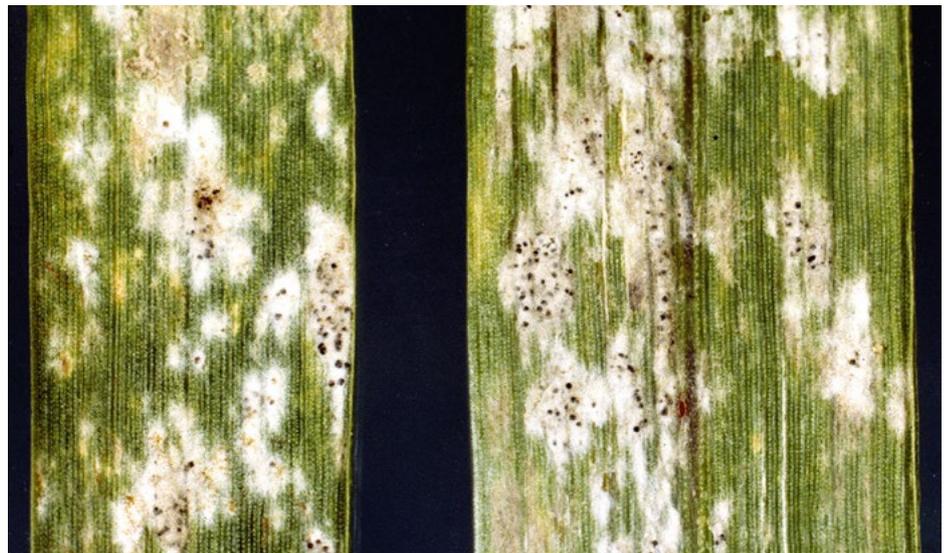
Mikrobiome sind große mikrobielle Gemeinschaften.

Sie bestehen aus tausenden verschiedener Bakterien- und Pilzarten, die untereinander agieren, sich fördern, bekämpfen, in stiller Eintracht leben und mit den anderen Mitgliedern ihres Ökosystems im Austausch stehen. Oft haben sich synergistische Beziehungen zwischen Pflanzen und Mikroorganismen entwickelt. Als Synergie (griech.: Zusammenarbeit) bezeichnet man das positive Zusammenwirken von Lebewesen, aus dem sich ein gemeinsamer Nutzen ergibt. Die komplexen Wechselwirkungen aller Mitglieder haben entscheidende Auswirkungen auf die Stabilität der Ökosysteme. Auch sogenannte abiotische Faktoren, wie die Bodenbeschaffenheit und das Klima, beeinflussen Pflanzen und regulieren die vielen verschiedenen Organismen, die mit ihnen interagieren. Durch die Störung des Mikrobioms kann sich das Gleichgewicht eines ganzen Ökosystems so verschieben, dass unerwartete und auch unerwünschte Folgen auftreten. Umgekehrt können die Pflege und Förderung eines stabilen Mikrobioms das Pflanzenwachstum deutlich verbessern.

Hier setzt das Ökologische Engineering an.

Beim Ökologischen Engineering (engl.: ecological engineering), genauer dem Rhizosphären-Engineering, versucht man die Zusammenhänge in der Rhizosphäre bes-

ser zu verstehen und dann gezielt zu beeinflussen. Dabei werden verschiedene Strategien verfolgt, um die Gesundheit der Pflanzen und Böden zu verbessern. Pflanzen sind z. B. durch hohe Salz- oder Metallkonzentrationen, anhaltende Dürre, Krankheiten und Schädlinge gestresst. Die gezielte Veränderung des Bodens und das mikrobielle oder pflanzliche Engineering sind Ansätze, um die Rhizosphäre positiv zu verändern und so den Pflanzen zu helfen. Einige beruhen auf der Aktivierung natürlicher pflanzeigener Schutzmechanismen, die durch bestimmte Mikroorganismen oder Stoffe in der Pflanze ausgelöst werden. Andere Ansätze erproben die Wirkung bestimmter Anbaustategien und bodenökologischer Maßnahmen auf das Pflanzenwachstum und die



Echter Mehltau (*Blumeria graminis*) auf einer Getreidepflanze. Durch im Boden lebende Rhizobien kann die pflanzeigene Abwehr gegen diese Krankheit potenziert werden. (Bildquelle: Clemson University – USDA Cooperative Extension Slide Series, Bugwood.org, <https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/us/deed.de> <https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/us/deed.de>)



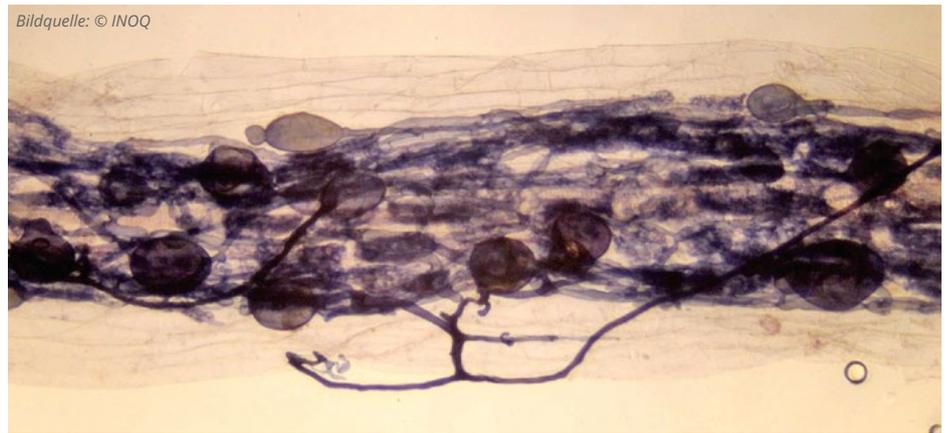
Wirkung der Mykorrhizierung auf das Wachstum.
Die beiden Eschen wurden innerhalb eines Experiments parallel herangezogen. Die linke Pflanze wurde ohne Mykorrhiza, die rechte mit Endomykorrhizapilzen behandelt.

Biodiversität des Bodens. Auch die gezielte Zugabe von Bodenmikroben wird systematisch untersucht. Züchterische Ansätze werden verfolgt, um beispielsweise die Pflanzenwurzeln mit Verteidigungsmechanismen gegen schädliche Mikroorganismen auszustatten oder die Architektur der Wurzeln günstig zu verändern.

Mikroorganismen können das Immunsystem der Pflanzen aktivieren.

Anfang des 20. Jahrhunderts entdeckte man, dass Pflanzen, die zuvor mit einem Krankheitserreger infiziert waren, einer wiederholten Infektion besser widerstehen können als Pflanzen, die keinen Kontakt zu den Erregern hatten. Im Laufe der Jahrzehnte beobachtete man verschiedene Mechanismen, bei denen Mikroorganismen Resistenzen bei Pflanzen hervorrufen. Interessanterweise kann sowohl der Kontakt mit harmlosen als auch mit schädlichen Mikroorganismen zum Schutz vor anderen Erregern, wie Bakterien und Pilzen führen. Diese Wirkung kann über Wochen oder sogar Monate anhalten.

Wir haben die Knöllchenbakterien kennengelernt, die insbesondere mit Leguminosen in Symbiose leben und Luftstickstoff fixieren, der den Pflanzen dann als natürlicher Dünger zur Verfügung steht (vgl. „Die Nachbarn von unten“ auf Seite 4). Die nützlichen Rhizobien bewirken aber noch mehr: Bei manchen Pflanzen können sie die Abwehrkräfte aktivieren. Ein Beispiel ist das Bakterium *Ensifer meliloti*, das bei Gerstenpflanzen die pflanzeigene Abwehr gegen echten Mehltau



Pflanzenwurzel mit arbuskulärer Mykorrhiza. Der Pilz wurde dunkelblau eingefärbt. Man erkennt deutlich seine Strukturen: die fadenförmigen Hyphen, Arbuskeln und Vesikel in den Rindenzellen und seine Sporenkörper (Chlamydosporen).

potenziert und zusätzlich eine höhere Widerstandskraft gegen weitere Krankheiten und Schädlinge wie Zwergrost und Blattläuse hervorruft.

Diese Stimulation des pflanzlichen Immunsystems macht man sich beim sogenannten Priming zunutze. Unter Priming versteht man das Vermögen einer Pflanze zu dieser induzierten Abwehrreaktion. Geprimte Pflanzen sind sozusagen auf Stress-Situationen schon vorbereitet, bevor sie eintreten. Im Experteninterview „Priming, Gerste und das Schön-Wetter-Experiment“ auf Seite 14 spricht der Wissenschaftler Dr. Adam Schikora über das Projekt PrimedPlant, das den faszinierenden Mechanismus des Primings bei Gerste erforscht.

Mykorrhizapilze machen Tomaten süßer.

Erst kürzlich fand man heraus, dass Tomaten, die mit Mykorrhizapilzen in Gemeinschaft leben, besonders süß schmecken und zusätzlich mehr wertvolles Lycopin und sehr viel mehr Aminosäuren bilden. Doch die Sache hat einen Haken:

Mykorrhizapilze und Tomaten gehen in Gewächshäusern bislang keine Verbindung ein. Im Projekt MycoTom ist es nun erstmalig gelungen, Gewächshaustomaten zu „zwingen“ mit den Mykorrhizapilzen in Kontakt zu treten. Dass die Tomaten dadurch süßer schmecken, ist dabei eine überraschende, aber willkommene Nebenwirkung. Auch bei Erdbeeren und anderen Nutzpflanzen wurde beobachtet, dass Mykorrhizen den Nährstoffgehalt ihrer Früchte steigern können. Bereits heute werden im Handel kommerzielle Mykorrhiza-Produkte (z. B. Mykorrhiza-Impfstoffe, Bioeffektoren) für den Pflanzenbau angeboten.

Durch Mikroorganismen lässt sich die Wurzelarchitektur steuern.

Pflanzen brauchen gesunde Wurzeln, um gut im Boden verankert zu sein. Für die Wasser- und Nährstoffaufnahme ist dabei die Verzweigung der Wurzeln und die Bildung von Wurzelhaaren besonders wichtig. Bisher wurden in Experimenten Stämme der Bakterienspezies *Pseudomonas* erfolgreich eingesetzt, um das Wachs-

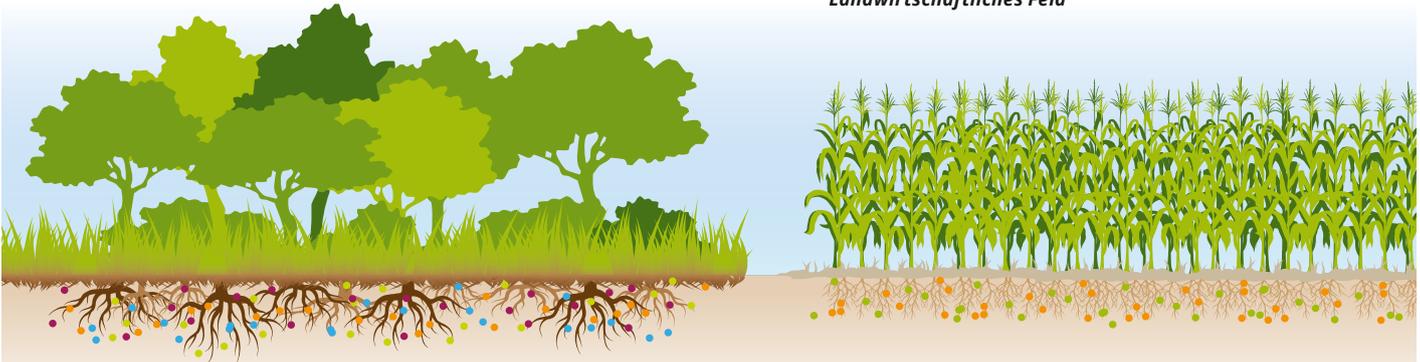
Ökosystemfunktion	(Boden-)Ökologisches Engineering	
	Erhöhung der gesamten Biodiversität des Bodens	Gezielte Manipulationen der Zusammensetzung der Bodengemeinschaft
Schädlingsbekämpfung/ Pflanzenschutz	✗	✗
Nährstoffaufnahme der Pflanzen		✗
Reduktion von Nährstoffverlusten		✗
Bodenbildung	✗	
Kohlenstoffspeicherung	✗	✗

Ökosystemfunktionen, die durch die Erhöhung der biologischen Diversität gefördert werden. (Nach: Bender S.F., Wagg C., van der Heijden M.G.A. (2016) An underground revolution: biodiversity and soil ecological engineering for agricultural sustainability, Trends Ecol. Evol., 31(6):440-452. doi.org/10.1016/j.tree.2016.02.016.)

Stabiles Ökosystem

Landwirtschaftliches Feld

© GENOMXPRESS SCHOLÆ



- hohe Pflanzendiversität
- verschiedene Wurzeltypen
- diversifizierte Zusammensetzung der Exsudate
- Ablagerung von heterogenem organischen Material
- höhere mikrobielle Diversität
- funktionierende Pflanzengemeinschaften
- Pflanzen sind auf mikrobielle Partner zur Nährstoffversorgung angewiesen

Interaktionen von Pflanzen und Mikroben in gewachsenen Ökosystemen und landwirtschaftlich intensiv bewirtschafteten Flächen. In Monokulturen schrumpft die mikrobielle Vielfalt im Boden. Dadurch können auch Kulturpflanzen anfälliger für Schädlinge werden. (Nach: Andreote F.D., Pereira E Silva M.C. (2017) *Microbial communities associated with plants: learning from nature to apply it in agriculture, Curr. Opin. Microbiol., 37:29-34, doi.org/10.1016/j.mib.2017.03.011.*)

tum der Hauptwurzeln der Modellpflanze Ackerschmalwand zu unterdrücken und die Bildung von Seitenwurzeln und Wurzelhaaren voranzutreiben. Wenn man noch besser versteht, wie Wurzeln wachsen und sich verzweigen, können die zugehörigen Prozesse in der Rhizosphäre, die die gewünschten Effekte hervorrufen, gezielt gefördert werden.

Mikrobgemeinschaften und Boden werden „rekonstruiert“.

Die Wirkung künstlich zusammengesetzter Mikrobgemeinschaften wird im Projekt RECONSTRUCT systematisch untersucht. Dort werden die Mikroorganismen identifiziert, die das Wachstum von Mais ankurbeln. Bodenorganismen können heute mit moderner Hochdurchsatzsequenzierung sehr genau erfasst werden. Ziel ist es, durch ein optimiertes System aus Pflanzen, Boden und Mikroorganismen den Ertrag von Mais bei geringerem Einsatz von Dünger und Pestiziden zu steigern. Das Projekt RECONSTRUCT steht im Mittelpunkt des Projektporträts „Ein optimales Mikrobiom“ auf Seite 18.

gleichzeitig andere Arten auf derselben Fläche sprießen. Dieses Phänomen wird auch als „Bodenmüdigkeit“ oder „Nachbaukrankheit“ bezeichnet. Man kennt es von Rosengewächsen, wie Apfelbäumen, oder auch bei Weizen. Weizenmüdigkeit tritt auf, wenn an einem Standort jahrelang nur Weizen angebaut wurde. Die dahintersteckenden Vorgänge sind nicht gänzlich verstanden und werden derzeit intensiv erforscht.

Von Natur aus sind Böden heterogen und kleinräumig strukturiert.

Sie bieten eine Fülle an Lebensräumen (Habitate) mit lokal sehr unterschiedlichen chemischen und physikalischen Bedingungen. Hier liegt ein Ursprung für die Vielfalt der Bodenorganismen. Großflächige Monokulturen sind dagegen gleichförmig. Über mehrere Jahre hinweg wachsen dieselben Pflanzenarten mit den gleichen Eigenschaften (z. B. gleicher Wurzeltiefe) auf derselben Fläche. Hinzu kommen oft intensive Bodenbearbeitung und eine Verdichtung des Bodens durch schwere Landmaschinen. All dies fördert eine Reduzierung der mikrobiellen Lebensräume.

Daher kommt dem Zwischenfruchtanbau eine besondere Bedeutung zu. Als Zwischenfrüchte (auch Nebenfrüchte genannt) bezeichnet man Pflanzen, die zwischen Ernte und Aussaat der Hauptkultur auf dem Acker ausgesät werden. Sie sind Teil einer Fruchtfolge, der zeitlichen Abfolge verschiedener Pflanzenarten auf einem Feld. Fruchtfolgen wirken sich grundsätzlich positiv auf die biologischen, chemischen und physikalischen Eigenschaften des Bodens aus. Historisch

Bei der Inokulation wird das Saatgut direkt mit den gewünschten Bakterien beimpft.

Den Samen von Soja können beispielsweise die Knöllchenbakterien gleich „mitgegeben“ werden. Wenn sich die Rhizobien nach der Aussaat im Boden etablieren können, gehen sie mit den Wurzeln der Pflanzen die gewünschte Symbiose ein (vgl. „Die Nachbarn von unten“ auf Seite 4). Derzeit erforscht man das Potenzial der Inokulation von Getreidekörnern, um auch hier gezielt Einfluss auf das Mikrobiom und damit die Wurzelarchitektur, das Wachstum und die Kornqualität nehmen zu können.

Bei manchen Pflanzen kommt es zu Wachstumsdepressionen.

Dabei gehen Wachstum und Erträge auf derselben Fläche im Laufe der Zeit immer weiter zurück. Die Pflanzen wollen einfach nicht mehr gedeihen, während



© Pixabay / JACLOU-DL

Die winzigen Samen der **Orchideen** besitzen kein eigenes Nährgewebe. Sie können nur keimen, wenn sie mit Endomykorrhizapilzen infiziert sind. Der Pilz versorgt den Keimling mit den für die Keimung notwendigen Nährstoffen und Vitaminen. Bei der kommerziellen Orchideen-Produktion spielt das keine Rolle, da die Pflanzen hier vegetativ vermehrt werden.

gesehen ist die Fruchtfolgewirtschaft sehr alt und seit mehr als tausend Jahren landwirtschaftliche Praxis. Werden die Zwischenfrüchte am Ende untergepflügt, spricht man von Gründüngung. Dadurch verbleiben die von den Pflanzen aufgenommenen und gebildeten Nährstoffe im Boden und stabilisieren die wertvolle Humusschicht. Für die Gründüngung besonders geeignet sind Leguminosen, wie Ackerbohne, Klee, Wicken oder Lupinen, da sie mit ihren Wurzelknöllchen den Boden zusätzlich mit pflanzenverfügbarem Stickstoff anreichern. Tiefwurzeln Lupinen oder Sonnenblumen lockern den Boden auf. Fruchtfolgen mit Zwischenfruchtanbau und Gründüngung helfen dabei, den Krankheits- und Schädlingsbefall auf einer Ackerfläche zu reduzieren.

Gerade auch in Hinblick auf den Klimawandel wird die Forschung für gesunde Böden in Zukunft stark an Bedeutung gewinnen. Bereits jetzt wurden hierzu mehrere Förderprogramme ins Leben gerufen. Die Projektsteckbriefe ab Seite 22 stellen einige dieser Projekte vor.



BONARES

Boden als nachhaltige Ressource für die Bioökonomie

In der Förderinitiative **BONARES** des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) steht die nachhaltige Nutzung der begrenzten Ressource Boden im Mittelpunkt. Ziel von **BONARES** ist es, das wissenschaftliche Verständnis von Bodenökosystemen zu erweitern, die Produktivität von Böden und anderen Bodenfunktionen zu verbessern und neue Strategien für eine nachhaltige Nutzung und Bewirtschaftung von Böden zu entwickeln.

Das **BONARES**-Portal bietet Informationen über die **BONARES**-Projekte, Zugang zu Daten, Wissen und Modellen sowie zu Entscheidungshilfen für ein nachhaltiges Bodenmanagement. www.bonares.de

Zum Weiterlesen und Recherchieren



Gemeinsam sind wir stark

Biologische Pilzbekämpfung mit „guten“ Bakterien

Im Boden lebende Bakterien können mit der Freisetzung flüchtiger organischer Verbindungen die Pflanzen vor pathogenen Pilzen schützen. Besonders effektiv ist die Kombination verschiedener Bakteriengattungen, fanden Forscher heraus. www.pflanzenforschung.de/qr/biologische-pilzbekaempfung

Die „Mikroben-assoziierte Landwirtschaft“

Natürliche Vorgänge für die Landwirtschaft ausnutzen

Viele Agrarökosysteme haben bereits ihre maximale Belastungs- und Leistungsfähigkeit erreicht. Gleichzeitig steigt der Bedarf an landwirtschaftlichen Produkten rasant. Landwirtschaft und ökologische Systeme können nicht mehr getrennt betrachtet werden, so wie es lange Zeit geschehen ist. In den letzten Jahren haben sich daher Wissenschaftler verstärkt mit den vielfältigen Interaktionen zwischen Boden und Pflanze beschäftigt. Dieses Wissen soll nun für eine optimierte Nahrungspflanzenproduktion sowie für den Umweltschutz zusammengetragen und ausgewertet werden.

www.pflanzenforschung.de/qr/mikroben-assoziierte-landwirtschaft

Mikrobiome unter Klimawandelstress?

Lufttemperatur und Feuchte beeinflussen mikrobielle Gemeinschaften im Boden

Wie unterscheiden sich die Mikrobiome in den Wurzeln und im wurzelnahen Boden und was verursacht diese Varianz? Auf diese Fragen hat ein europäisches Forschungsteam unter Federführung des Kölner Max-Planck-Instituts für Pflanzenzüchtungsforschung jetzt Antworten gegeben. Für Eukaryoten und Prokaryoten fallen sie unterschiedlich aus. Das Klima und damit auch Klimaveränderungen scheinen wichtige Faktoren zu sein.

www.pflanzenforschung.de/qr/Klimawandelstress



Mikroben statt Dünger – Geht das, Samuel?

Noch ist es eine Vision, aber sie wird konkreter: Wie gesund Pflanzen sind, ob sie genug Nährstoffe erhalten oder Trockenheit überstehen – das hängt ganz entscheidend von den Mikroorganismen im Boden ab. Wenn man sie und ihr komplexes Zusammenspiel kennt, kann daraus ein neuer Ansatz für eine nachhaltige Landwirtschaft werden. Aber bis dahin ist noch viel Forschung nötig. Mit Samuel Kroll, Science Slamer und Wissenschaftler am Max-Planck-Institut für Pflanzenzüchtungsforschung in Köln. (Video 6:07) transGEN

https://youtu.be/AE_UctAwCck

Saatgut mit schützenden Pilzen ummanteln

Um Kartoffeln widerstandsfähiger zu machen, wollen Forscher das Saatgut der Nachtschattengewächse mit Nutzpilzen ummanteln und so zu einem robusteren Wachstum verhelfen. (BIOÖKONOMIE.de)

<https://biooekonomie.de/nachrichten/neues-aus-der-biooekonomie/saatgut-mit-schuetzenden-pilzen-ummanteln>



Durch Zwischenfruchtanbau lassen sich viele positive Effekte erzielen. Die abgebildeten Pflanzen werden in der landwirtschaftlichen Praxis häufig als Zwischenfrucht ausgesät: Phacelia (Bienenfreund), Lupinen, Wicken, Ölrettich, Rotklee und Weißer Senf. Bildquelle: © Adobe Stock/Anna/Oleg/tamu/Johannes/Martina Berg/belizar

Arbeitsaufträge



1. Lies den Text und beschreibe verschiedene Ansätze des Ökologischen Engineerings.
2. Recherchiere die Begriffe „Fruchtfolge“, „Zwischenfruchtanbau“ und „Gründüngung“.
3. Suche Hintergrundinformationen zu den folgenden Pflanzen: Phacelia, Lupine, Wicken, Ölrettich, Rotklee und Weißer Senf. Zu welchen Familien zählen sie? Warum sind sie als Zwischenfrüchte besonders geeignet?
4. Unter „dfv-karte.bonares.de“ findest du eine interaktive Landkarte der Dauerfeldversuche in Deutschland zum Thema Boden. Informiere dich, ob es in deiner Umgebung auch Versuchsstandorte gibt und was dort untersucht wird.
5. Unter dem Begriff „Bodenfunktionen“ versteht man wichtige Leistungen des Bodens für die Umwelt und den Menschen. Betrachte das Interview mit dem Bodenforscher Professor Hans-Jörg Vogel vom Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ) und nenne die wichtigsten Funktionen des Bodens. Beantworte außerdem folgende Fragen: Wodurch werden diese Bodenfunktionen gefährdet? Was sind Indikatoren für die Bodenqualität? (Video 14:15) <https://youtu.be/xx-VcYd2kAA>

Blattgeflüster
... fasziniert

Im YouTube-Kanal **Blattgeflüster** nimmt euch Wissenschaftsjournalistin Tamara mit auf eine Ermittlungstour durch die Welt der Pflanzenforschung. Sie präsentiert faszinierende Fakten über Pflanzen, ungeahnte Anwendungsmöglichkeiten und zeigt Forschende und viele andere Akteure hinter den Kulissen.

www.youtube.com/channel/UcKTE_XVZ0xBqoe0oMB7jfoQ



BLATTGFLÜSTER.INFORMIER



PRIMING, GERSTE UND DAS »SCHÖN-WETTER-EXPERIMENT«

Das Experteninterview

Bildquelle: © JKI

mit Dr. Adam Schikora vom Institut für Epidemiologie und Pathogendiagnostik am Julius Kühn-Institut (JKI) in Braunschweig

Priming ist ein faszinierendes Phänomen, bei dem Pflanzen durch eine vorherige Stimulation schneller und stärker auf Trockenheit und Hitze oder auch Infektionen durch Krankheitserreger reagieren können. Ausgelöst wird Priming durch bestimmte Substanzen, die Verwundung der Blätter oder die Besiedlung der Wurzeln mit bestimmten Mikroben. Bei einem späteren Schädlingsbefall oder bei Trockenheit sind die Krankheitssymptome geprimter Pflanzen wesentlich geringer. Durch das Priming wurde die Pflanze zuvor in einen Alarmzustand versetzt. Kommerziell nutzt man bereits das chemische Priming. Dabei werden Pflanzen gezielt mit synthetischen Stoffen vorbehandelt, um besser auf Stress reagieren zu können. Vermehrt rückt nun auch das Potenzial des Primings für den biologischen Pflanzenschutz sowie die Züchtung in den Vordergrund. Im folgenden Experteninterview spricht Dr. Adam Schikora vom Institut für Epidemiologie und Pathogendiagnostik am Julius Kühn-Institut (JKI) in Braunschweig über seine Arbeit und seine Visionen im Projekt PrimedPlant. Im Rahmen von PrimedPlant werden die Potenziale und molekularen Mechanismen des Primings bei Gerste untersucht, ein entscheidender Ansatz zur Verbesserung der Resistenz einer unserer wichtigsten Kulturpflanzenarten.

Das Forschungsprojekt PrimedPlant startete kürzlich in die zweite Projektphase. Zuvor hatte das Team bei Experimenten herausgefunden, dass Priming die Widerstandsfähigkeit von Gerste gegen gefährdete Krankheiten wie Mehltau und Zwergrost steigern kann. Funktioniert das auch unter realen Anbaubedingungen? Feldversuche sollen das jetzt bestätigen. Wir sprachen darüber mit Dr. Adam Schikora vom Julius Kühn-Institut (JKI), Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen in Braunschweig.

Sie erforschen im BMBF-Projekt PrimedPlant das Phänomen des Primings. Was versteht man darunter?

Priming bewirkt, dass Pflanzen schneller und stärker auf Stress reagieren können,

etwa bei einer Infektion mit Krankheitserregern oder Trockenheit. Die Pflanzen sind durch Priming „vorgewarnt“. Man könnte das im übertragenen Sinne mit dem menschlichen Immunsystem vergleichen. Wenn wir schon die richtigen Antikörper in uns tragen – das Thema ist ja gerade in Zeiten von Corona sehr aktuell – dann können Pathogene wie Viren problemlos abgewehrt werden.

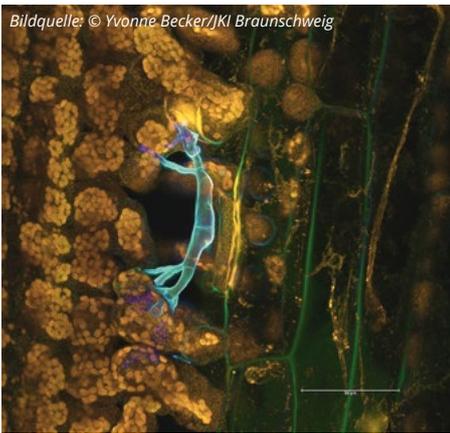
So wie eine Impfung?

Der Mechanismus ist zwar komplett anders, aber konzeptuell ähnlich. Man gibt der Pflanze die Möglichkeit, sich besser zu wehren. Der Zustand eines aktiven Primings bedeutet, dass die Pflanzen durch den Kontakt mit bestimmten Stoffen, beispielsweise bestimmten Chemikalien oder bakteriellen Komponenten, in einen

Alarmzustand versetzt werden. Kommt dann ein Krankheitserreger, ist die Pflanze darauf schon weitgehend vorbereitet und abwehrbereit.

Was wollen Sie über das Phänomen herausfinden und warum haben Sie als Versuchspflanze Gerste gewählt?

Das Phänomen kennen wir schon länger. Was wir noch nicht wissen ist, welche genetischen Faktoren bei den Pflanzen hier eine Rolle spielen. Nicht in jedem Genotyp kann Priming gleich gut aktiviert werden. Natürlich kann man das auch mit Modellpflanzen wie *Arabidopsis thaliana* erforschen, aber die möchte man nicht unbedingt essen (lacht). Wir wollten eine Nutzpflanze verwenden und das JKI-Institut für Resistenzforschung und Stress-



Bildquelle: © Yvonne Becker/JKI Braunschweig

Befall eines Gerstenblatts durch den Schadpilz *Puccinia hordei*. Priming bedeutet, dass Pflanzen bei Kontakt mit bestimmten Substanzen in einen erhöhten Abwehrzustand versetzt werden. Das schützt sie, wenn später Krankheitserreger angreifen oder extreme Wetterbedingungen auftreten. Könnte man dieses Phänomen nutzen, um auch Kulturpflanzen durch Züchtung gezielt widerstandsfähiger zu machen? Dieser Frage geht das Forschungsprojekt PrimedPlant am Beispiel von Gerste nach.

toleranz in Quedlinburg, ein Partner in unserem Projekt, hat einen sehr großen genetischen Pool mit vielen Gerste-Genotypen. An diesem Fundus wollten wir unsere Hypothesen testen, zumal dieses Getreide in Deutschland von großer Bedeutung ist.

Welche Hypothesen?

Wir haben uns erstens gefragt, ob man Gerste überhaupt primen kann. Und zweitens, ob wir die verantwortlichen Faktoren im Genom der Pflanze finden können. Unsere Annahme am Anfang des Projektes war: Wenn wir diese beiden Fra-



Bildquelle: © Gwendolin Wehner/JKI Quedlinburg

Uredosporen von *Puccinia hordei* auf einem Gerstenblatt. Die behandelten Pflanzen wurden anschließend Schadpilzen ausgesetzt und ihre Reaktionen darauf analysiert. Dabei zeigte sich, welche Genotypen besonders gut primebar waren und damit widerstandsfähiger gegen Krankheitserreger.



Bildquelle: © Gwendolin Wehner/JKI Quedlinburg

Gerste im Gewächshaus. Zu Beginn des Projektes testete das Projektteam an 200 Linien, ob und in welchem Maß die unterschiedlichen Genotypen primebar sind. Dafür wurden bestimmte bakterielle Moleküle als „Priming-Auslöser“ (Induktoren) eingesetzt.

gen mit „ja“ beantworten können, dann könnten wir anhand der genetischen Eigenschaften vorhersagen, welche Pflanzen bzw. Pflanzenlinien Priming zeigen. Dann könnten Züchter diese Eigenschaft gezielt selektieren und am Ende den Landwirten primebare Sorten anbieten. Das ist unser Ziel.

Welchen Auslöser für das Priming verwenden Sie im Projekt?

Da kommen wir zu meinem speziellen Fachgebiet, in dem ich am Institut für Epidemiologie und Pathodiagnostik arbeite: Wir wollen untersuchen, inwiefern im Boden vorkommende Bakterien diesen Job übernehmen. Diese produzieren spezielle Signalmoleküle für die Kommunikation untereinander. Doch Pflanzen können „zuhören“ und darauf reagieren. Wenn also ein passendes Mikrobiom im Boden die Pflanze primen kann, dann

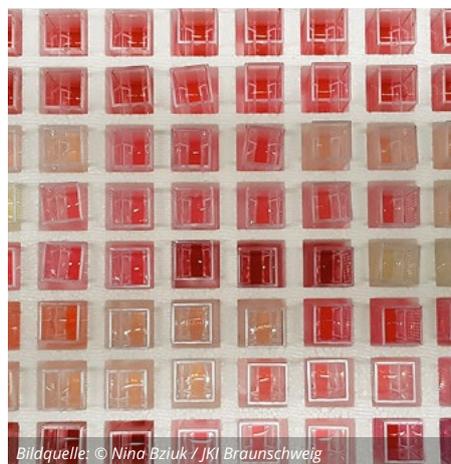
brauchen Landwirte später auch keine Chemikalien für das Priming einsetzen.

Sind das spezielle Bakterien?

Nein. Wir benutzen als Modell ganz „normale“ Knöllchenbakterien, die in unseren heimischen Böden natürlicherweise zu finden sind, und von denen wir wissen, dass sie Priming auslösen können.

Wie sind sie dabei vorgegangen?

Wir haben zunächst die Gerste vor der Keimung mit einem Bakterienstamm „beimpft“ – wir nennen das Inokulation – von dem wir wissen, dass er Priming induziert. Dann kommt es auf das Anbausystem an: Im Gewächshaus haben wir sie zwei Mal inokuliert und dann untersucht. Auf dem Feld werden zunächst die Samen inokuliert und ausgesät. Dann versorgen wir sie dort noch zusätzlich mit den förderlichen Bakterien, indem wir die Pflan-



Bildquelle: © Nina Bziuk / JKI Braunschweig

Das Team analysierte im Labor, welche physiologischen Reaktionen durch den Stress hervorgerufen werden und wie die Schaderreger mit den Pflanzen interagieren. Es wurden auch genomweite Assoziationsstudien durchgeführt, um herauszufinden, welche genetischen Elemente für ein Priming essentiell sind.



Bildquelle: Dimitar Kostadinov Douchkov/IPK Gatersleben

Myzel von Schadpilz *Blumeria graminis* auf einem Gerstenblatt. In der ersten Projektphase (2016-2019) zeigte sich bereits, dass ein Priming von Gerste durch Knöllchenbakterien (*Ensifer meliloti*) möglich ist, die auch natürlicherweise im Boden vorkommen. Die geprimten Pflanzen waren gegen verschiedene Krankheitserreger wie Mehltau und Zwergrost sowie Schädlinge wie Blattläuse deutlich widerstandsfähiger.

zen mit Wasser gießen, das die Bakterien enthält. Es trifft sich ganz gut, dass wir heute miteinander sprechen, weil wir gerade ein kleines Feldexperiment bei uns angefangen haben.

Wir haben in der ersten Projektphase von 2016 bis 2019 herausgefunden, dass Gerste sehr wohl primebar ist. Die behandelten Pflanzen waren widerstandsfähiger gegen Krankheitserreger, die Mehltau und Zwergrost verursachen. Aber auch gegenüber Schadinsekten. Diese Erkenntnisse wollen wir in der zweiten Phase nun auch im Feld testen.

Wieso sind noch Feldversuche notwendig?

Wir wollen untersuchen, wie sich die geprimte Gerste unter natürlichen Bedingungen verhält. Was im Labor und



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium für Bildung und Forschung

PrimedPlant

Priming als eine Strategie zur Verbesserung der Resistenz von Kulturpflanzen und ein mögliches Züchtungsziel

- **Versuchspflanze:** Gerste
- **Förderprogramm:** Pflanzenzüchtungsforschung für die Bioökonomie (BMBF)
- **Förderkennzeichen:** 031B0196/031B0886
- **Laufzeit:** 01.10.2016 – 30.09.2019/01.02.2020 – 31.01.2023
- **Projektbeteiligte (Phase II):** Justus-Liebig-Universität Gießen, Julius Kühn-Institut (JKI) – Institut für Epidemiologie und Pathogen-diagnostik (Braunschweig), Julius Kühn-Institut (JKI) – Institut für Resistenzforschung und Stresstoleranz (Quedlinburg), Leibniz-Institut für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung (IPK) Gatersleben, Ackermann Saatzeit GmbH, Limagrain GmbH, ABITEP GmbH
- **Mehr Informationen**
www.pflanzenforschung.de/qr/PrimedPlant



Bildquelle: © Yvonne Becker/JKI Braunschweig

Keimende Blumeria graminis Spore. Ein weiteres Ergebnis ist, dass der Effekt stark vom jeweiligen Genotyp abhängt. Einige Linien ließen sich gut primen, andere überhaupt nicht. Zwei spezifische Genomabschnitte konnte das Team identifizieren (sogenannte quantitative trait loci oder kurz QTLs), die für ein erfolgreiches Priming notwendig sind.

Gewächshaus funktioniert, muss nicht notwendigerweise auch auf dem Feld funktionieren. Daher planen wir große Feldversuche an zwei Standorten, in Nord- und in Süddeutschland. Sie unterscheiden sich nicht nur in den Böden und damit auch im jeweils vorhandenen Mikrobiom, sondern auch in der Anbaugeschichte und dem Klima.

Haben sie auch schon die genetischen Faktoren gefunden, die Gerste primebar machen?

Ja, wir haben zwei Regionen im Erbgut gefunden, die für das Priming nötig sind. Das ist wichtig, um molekulare Marker für die Züchtung zu entwickeln. Aber die



Bildquelle: © Nina Bziuk/JKI Braunschweig

Bodenmikrobiome: Bakterielle Isolate aus der Rhizosphäre einer Gerstenpflanze. In der zweiten Phase des Projekts (2020-2023) sollen nun Marker für diese QTLs identifiziert werden, um gezielt primebare Gerstensorten züchten zu können. Zusätzlich wird das natürliche Bodenmikrobiom der Gerste genauer analysiert. Dabei soll auch die Frage geklärt werden, ob sich Priming-induzierende Mikroorganismen gegen anderen Mikroorganismen im Boden durchsetzen können.

zweite Projektphase läuft jetzt erst an und die aktuelle Lage mit dem Coronavirus hat alles etwas verzögert. Aber wir sind froh, dass wir zumindest den kleinen Feldversuch bei uns starten konnten: Intern nennen wir ihn unser „Schön-Wetter-Experiment“ – dafür kamen alle gern aus dem Home-Office, um mit zwei Metern Abstand die Gerste auf dem Feld auszusäen.

Haben Sie vielen Dank für das Gespräch und viel Erfolg bei Ihrem Projekt!



Bildquelle: © Adam Schikora/JKI Braunschweig

So sieht das „Schön-Wetter-Experiment“ am JKI Braunschweig aus. In der zweiten Projektphase beginnen auch Feldversuche an zwei Standorten – in Bayern und Niedersachsen. Hier werden zwei Referenzsorten und fünf Gerste-Linien angebaut, die unterschiedlich primebar sind. Das Team überprüft dabei, wie die unterschiedlichen Genotypen unter Feldbedingungen reagieren. Das Priming erfolgt durch Bakterien, die im Gießwasser enthalten sind.



Zum Weiterlesen und Recherchieren

Robuster durch Priming

Das Projekt PrimedPlant

Sogenannte geprimte Pflanzen reagieren schneller und stärker auf Stressfaktoren. Könnte man dieses Phänomen nutzen, um auch Kulturpflanzen durch Züchtung gezielt widerstandsfähiger gegen Krankheitserreger und Extremwetter zu machen?

www.pflanzenforschung.de/qr/priming

Forschung in Bildern

Das Projekt PrimedPlant – Widerstandsfähigere Nutzpflanzen durch Priming?

Großformatige Bildstrecke aus dem Projekt PrimedPlant.

www.pflanzenforschung.de/qr/Bildstrecke_PrimedPlant

Der heilige Gral der Pflanzenforschung:

Neue Möglichkeit entdeckt, Pflanzen widerstandsfähiger zu machen

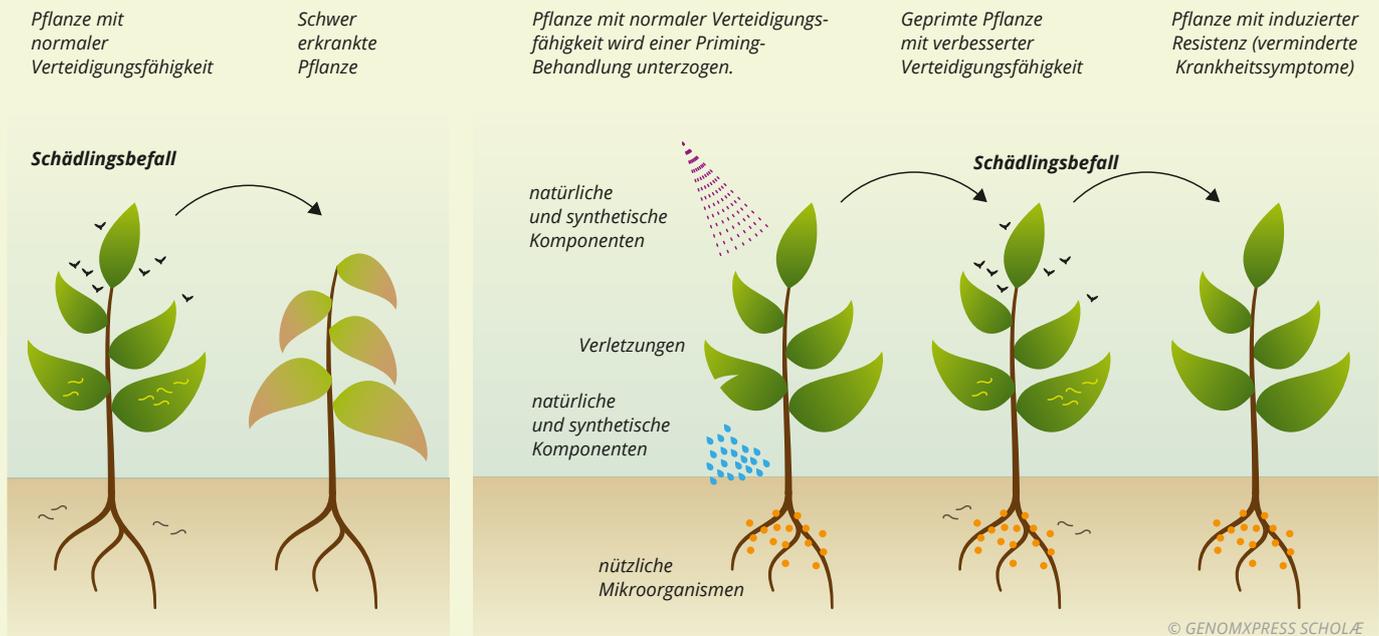
Menschen können durch Impfungen vor Krankheiten geschützt werden. Bei Pflanzen ist das bisher nicht möglich. Aber neue Erkenntnisse lassen diese Option in greifbare Nähe rücken. Ein Team der Universität Münster hat festgestellt, dass Pflanzen durch einen aus Pilzen stammenden Vielfachzucker „immunisiert“ werden können. Bei einem Befall reagieren sie schneller und stärker auf Krankheitserreger. Ausschlaggebend dafür ist das spezifische chemische Muster dieser Chitosane. Für die Forschung auf diesem Gebiet könnte die Studie ein Durchbruch sein.

www.pflanzenforschung.de/qr/der-heilige-gral



Arbeitsaufträge

1. Betrachte die Infografik und vergegenwärtige dir das Prinzip des Primings.
2. Lies das Interview und arbeite die Ziele des Projekts PrimedPlant heraus.
3. Lies das Projektporträt von PrimedPlant „Robuster durch Priming“ (siehe „Zum Weiterlesen und Recherchieren“). Hier findet sich eine detailliertere Beschreibung der Projektdurchführung von PrimedPlant. Beantworte im Anschluss folgende Fragen: Welche Arbeitsschritte wurden bereits durchgeführt, welche sind geplant? Welche Ergebnisse liegen bereits vor?



Wege zur Induktion von Priming

Priming bewirkt, dass Pflanzen schneller und stärker auf Stress reagieren können, etwa bei einer Infektion mit Krankheitserregern oder bei Trockenheit. Die Pflanzen sind durch das Priming „vorgewarnt“. Priming bei Pflanzen kann durch bestimmte natürliche oder synthetische Substanzen, Schädlingsbefall, die Verwundung der Pflanzen oder die Besiedlung der Wurzeln mit Mykorrhizapilzen, wachstumsfördernden Pilzen und Rhizobakterien verursacht werden. Das Priming bewirkt eine Verminderung der Krankheitssymptome durch eine erhöhte Resistenz (rechts), die bei nicht geprimten Pflanzen (links) nicht zu beobachten ist. (Nach: Conrath U. (2009) Chapter 9 Priming of induced plant defense responses, Adv. Bot. Res., Academic Press, 51:361-395. doi.org/10.1016/S0065-2296(09)51009-9)



Bildquelle: © Projekt RECONSTRUCT

EIN OPTIMALES MIKROBIOM

Das Projekt RECONSTRUCT



Künstlich zusammengestellte Mikrobengemeinschaften und synthetischer Boden werden im Projekt RECONSTRUCT systematisch kombiniert und analysiert, um die richtigen Mikroorganismen zu identifizieren, die das Wachstum und die Erträge von Mais ankurbeln können.

Das Projektporträt von RECONSTRUCT ist ein gutes Beispiel dafür, wie Forschungsprojekte geplant und Experimente und Analysen Schritt für Schritt umgesetzt werden. Die Durchführung folgt einem bestimmten Ablauf experimenteller und theoretischer Arbeitsschritte, die systematisch ineinandergreifen und sich gegenseitig bedingen. In der Pflanzenzüchtung muss zusätzlich zwischen Standardbedingungen in Labor und Gewächshaus und reale Bedingungen im Freiland unterschieden werden, um gewonnene Forschungsergebnisse in die Anwendungssituation auf dem Feld übertragen zu können. Neben den Pflanzenwissenschaften sind zahlreiche weitere Disziplinen notwendig: Omics-Technologien ermöglichen die Erzeugung einer neuen Qualität und Vielfalt an Daten. Die Bioinformatik liefert die Werkzeuge zur Analyse und Zusammenführung dieser sehr verschiedenen Daten-

sätze. Durch Modellierung können die wesentlichen Einflussfaktoren des Systems identifiziert und Vorhersagen getroffen werden. Diese müssen dann experimentell überprüft werden. In ihrer Gesamtheit tragen all diese Disziplinen dazu bei, die regulatorischen Prozesse des Gesamtsystems besser zu verstehen.

Das ist die Vision: Man kann eine Nutzpflanzensorte auswählen, die optimal zu den vorhandenen Böden und Anbaumethoden passt. Und man bekommt mit dem Saatgut auch gleich die richtigen Bodenmikroorganismen mitgeliefert, die bestes Wachstum garantieren. Das Projekt RECONSTRUCT trägt dazu bei, dies Realität werden zu lassen. Mit künstlich zusammengestellten Mikrobengemeinschaften sowie synthetischem Boden wird erforscht, welche Mikroben das Wachstum und die Erträge von Mais ankurbeln.

Nutzpflanzen leben in engem Austausch mit dem Boden, und hier interagieren sie mit zahlreichen Mikroorganismen. Einige Mikroben sind schädlich für die Pflanzen. Andere wiederum haben eine wachstumsfördernde Wirkung. Im Projekt RECONSTRUCT will man herausfinden, wie man die Interaktionen von Maispflanzen, Mikrobiom und Boden gezielt beeinflussen kann, um die Ernte abhängig von den Umweltbedingungen bestmöglich ausfallen zu lassen.

Die Ziele

„Wir wollen am Ende geeignete Maissorten mit passendem Mikrobiom auswählen können, die auf bestimmten Böden unter minimalem Eintrag von Düngern und Pflanzenschutzmitteln gut und ertragreich wachsen“, fasst Projektkoordinator Professor Marcel Bucher vom Botanischen Institut der Universität zu Köln die Ziele des RECONSTRUCT-Konsortiums zusammen. Doch dafür müssen zunächst die richtigen Mikroorganismen identifiziert werden.

Das Vorgehen

Vom Feld ins Labor: Feldversuche und Omics-Untersuchungen

Im ersten Schritt werden fünf genetisch stark diverse Maissorten auf Feldern mit vier unterschiedlichen Bodenbe-

wirtschaftungssystemen angebaut. „Die Felder werden zum Beispiel seit vielen Jahrzehnten unterschiedlich gedüngt und eignen sich daher sehr gut für unsere Versuche“, erläutert Dr. Nina Gerlach, wissenschaftliche Koordinatorin an der Universität zu Köln. Anschließend werden Proben vom wurzelnahen Boden, der Rhizosphäre, genommen und genau definierte Bereiche der Pflanzen geerntet.

Das Wachstum und die Physiologie der Maispflanzen sowie die Zusammensetzung der genommenen Proben werden mittels Omics-Methoden analysiert: Neben dem Transkriptom, der Gesamtheit aller exprimierten Gene, und dem Ionom, der Gesamtheit der in der Pflanze zum Zeitpunkt der Probennahme enthaltenen Nährelemente, wird das Metabolom als Spiegel des aktiven Stoffwechsels der Pflanzen untersucht. Darüber hinaus betrachtet man das Mikrobiom, die Gesamtheit der in Pflanze und Boden natürlicherweise vorhandenen Mikroorganismen, sowie die Eigenschaften des landwirtschaftlichen Bodens.

Bei der Datenanalyse spielt die Bioinformatik eine sehr große Rolle: Die großen Datenmengen müssen zunächst verarbeitet und anschließend nach bestimmten Kriterien mithilfe statistischer Methoden ausgewertet werden. Am Ende werden die Ergebnisse der verschiedenen Omics-Analysen miteinander verknüpft. Damit alle Projektpartner jederzeit Zu-



Bildquelle: © Projekt RECONSTRUCT

Die Wurzeln und ihre Interaktionen mit Mikroorganismen haben große Auswirkungen auf die pflanzliche Produktivität.

griff auf die Daten haben, wird eigens für das Projekt eine virtuelle Plattform, die RECONSTRUCT-Datenbank, erstellt. Alle Daten werden hier zentral abgelegt und liegen so für jeden nutzbar vor.

Modellierung

Nachdem durch die Feldversuche das Pflanzenwachstum, die mikrobielle Biodiversität des Bodens und die Bodeneigenschaften gemessen wurden, können anschließend am Computer erste Modelle erstellt werden. Bei der Modellierung versucht man, die wachstumsfördernden oder wachstumshemmenden Aktivitäten der Mikroorganismen vorherzusagen. Dann selektiert man nach förderlichen



Bildquelle: © Projekt RECONSTRUCT

Die Wurzel der Maispflanze wird geerntet und anschließend analysiert. Vor allem die Mikroorganismen stehen hier im Fokus.

Mikroben und überlegt, wie eine insgesamt förderliche Mikroorganismengemeinschaft aussehen könnte. Deren Effekt auf die Pflanzenbiomasse wird dann prognostiziert.

Experimente:

Mikrobengemeinschaften und Boden werden „rekonstruiert“

Im nächsten Schritt überprüft man diese Vorhersagen durch Experimente im Gewächshaus. Dafür werden synthetische Mikrobengemeinschaften im Labor her-



Bildquelle: © Projekt RECONSTRUCT

Mais-Aussaat auf den Versuchsfeldern: Im ersten Schritt werden fünf genetisch stark diverse Maissorten auf Feldern mit vier unterschiedlichen Bodenbewirtschaftungssystemen angebaut.



Bildquelle: © Projekt RECONSTRUCT

Erntesaison: Ein Team vom Projekt RECONSTRUCT nimmt Proben und erntet genau definierte Bereiche der Pflanzen. Dafür wird eine mobile Erntestation im Freiland errichtet.

gestellt und dann deren tatsächliche Effekte auf die Maispflanzen untersucht.

Damit die Experimente vergleichbar und reproduzierbar sind, wird im Projekt neben künstlichen Mikrobiomen auch synthetischer Boden hergestellt. Zunächst werden alle Bodenbestand-

teile analysiert und abschließend im Labor nachgebildet. „Dafür mischen wir im Projekt verschiedene käufliche Substrate, beispielsweise Quarzsand mit unterschiedlichen Korngrößen und unterschiedliche Mineralien mit Elementen wie Eisenoxid“, erklärt Professor Bucher.

Die Maissamen werden dann im sterilisierten natürlichen Boden oder im künstlichen Substrat, welche ausschließlich die synthetischen Mikrobengemeinschaften enthalten, zum Keimen gebracht. Nach einer Wachstumsphase von einigen Wochen werden die Versuchspflanzen geerntet und – wie davor die Feldpflanzen – analysiert. Durch die kontrollierten Bedingungen kann genau bestimmt werden, wie sich die künstlichen Gemeinschaften auf die Pflanzen auswirken. Das Modell wird über die Experimente nicht nur überprüft, sondern kann mit diesen Daten Schritt für Schritt verbessert werden.

Vom Gewächshaus ins Feld

Anschließend wird getestet, ob die beobachteten Effekte auch unter Feldbedingungen auftreten. Mit anderen Worten: Die Resultate aus den Gewächshausversuchen werden dann unter realen Anbaubedingungen überprüft.

Die Ergebnisse

Die bisherigen Untersuchungen zeigen, dass die einzelnen Maissorten sehr unterschiedlich auf die spezifischen Bedingungen eines Standortes, das heisst die Bodeneigenschaften, Bodenbearbeitung und unterschiedlichen Mikrobiome, reagieren. Bis zu einem gewissen Grad werden auch die Mikrobiome durch die genetische Ausstattung der Pflanzen beeinflusst, aber überwiegend sind der Bodentyp und das Mikrohabitat (Boden-Rhizosphäre-Wurzel) entscheidend. Wie bei vielen Kulturpflanzen spielt die Mykorrhhi-



Bildquelle: © Projekt RECONSTRUCT

Wachstum und Entwicklung der Maispflanzen werden beobachtet. Dafür werden wichtige Pflanzenparameter (Blattzahl, Größe, etc.) im Feld erfasst.

zymbiose auch unter Feldbedingungen eine wichtige Rolle bei der Ertragsbildung von Mais.

Klar ist bereits jetzt, dass für eine optimale Zusammensetzung des Mikrobioms individuelle Lösungen für unterschiedliche Flächen und Nutzpflanzen benötigt werden. Durch ein optimales System aus Pflanzen, Boden und Mikroorganismen könnte zukünftig der Ertrag von Mais bei geringerem Einsatz von Dünger und Pestiziden gesteigert werden. Eine „One-fits-all“-Lösung kann es aber auch in Zukunft nicht geben.



© Pixabay / wal_172619

Pflanzensteckbrief Mais

Wissensch. Name	Zea mays
Deutscher Name	Mais
Englischer Name	maize, corn
Familie	Poaceae (Süßgräser)
Genomgröße (Basenpaare)	2.3 Gbp
Genomgröße (Gene)	> 32.000
Chromosomen	diploid (2n = 20)
Jahr der Sequenzierung	2009

Informationen zu Ursprung, Verbreitung und wirtschaftlicher Bedeutung der Kulturpflanze Mais
www.pflanzenforschung.de/qr/Mais



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



RECONSTRUCT

Aufdecken des Beitrags der Bodenbiodiversität zu Wachstum und Fitness der Nutzpflanze Mais durch die Kombination von „omics“-basierter prädiktiver (in silico) Modellierung und Rekonstruktionsbiologie

- **Versuchspflanze:** Mais
- **Förderprogramm:** Pflanzenzüchtungsforschung für die Bioökonomie
- **Förderkennzeichen:** 031B0200 (A-E)
- **Laufzeit:** 01.09.2016 – 31.08.2019
- **Projektbeteiligte:** Universität zu Köln, FAU Erlangen-Nürnberg, Universität Potsdam, MPI für Molekulare Pflanzenphysiologie, MPI für Pflanzenzüchtungsforschung, Forschungszentrum Jülich
- **Mehr Informationen**
www.pflanzenforschung.de/qr/Reconstruct

Zum Weiterlesen und Recherchieren



Bodenbiodiversität wirkt bis in den Supermarkt

Einfluss der Bodenorganismen bisher wenig untersucht

Bodenorganismen können den Nährstoffgehalt von Pflanzen verbessern – das wurde in den vergangenen Jahren umfangreich erforscht. Aber auch Lagerung und Verarbeitung nach der Ernte lassen sich durch die Bodenbiodiversität positiv beeinflussen, wie sich an einigen Beispielen gezeigt hat. Systematische Forschung fehlt hier jedoch noch.

www.pflanzenforschung.de/qr/Supermarkt

Pflanzen sind niemals allein

Ein Interview mit dem Projektkoordinator von RECONSTRUCT Professor Marcel Bucher von der Universität zu Köln

„Die Pflanze ist kein isolierter Organismus, sondern immer von einer verblüffend großen Anzahl an Mikroorganismen besiedelt“, erklärt Prof. Dr. Marcel Bucher vom Botanischen Institut der Universität zu Köln. Wir sprachen mit ihm über seine Forschung zum Mikrobiom, dessen Effekt auf die pflanzliche Entwicklung und Fitness sowie über synthetische Mikrobengemeinschaften und wie diese in einer nachhaltigen Landwirtschaft gezielt für höhere Erträge genutzt werden könnten.

www.pflanzenforschung.de/qr/Pflanzen-allein

Arbeitsaufträge



1. Lies das Projektporträt und fasse die Ziele des Projekts RECONSTRUCT zusammen?
2. Erkläre die einzelnen Schritte des Projekts. Welche Zwischenergebnisse werden jeweils gewonnen, und wie werden sie im nächsten Schritt genutzt? Skizziere ein Fließdiagramm, das die einzelnen Schritte des Projekts miteinander verknüpft:

Schritt 1 – Freilandexperimente: ...

Schritt 2 – Datenerhebung: ...

Schritt 3 – Datenanalyse: ...

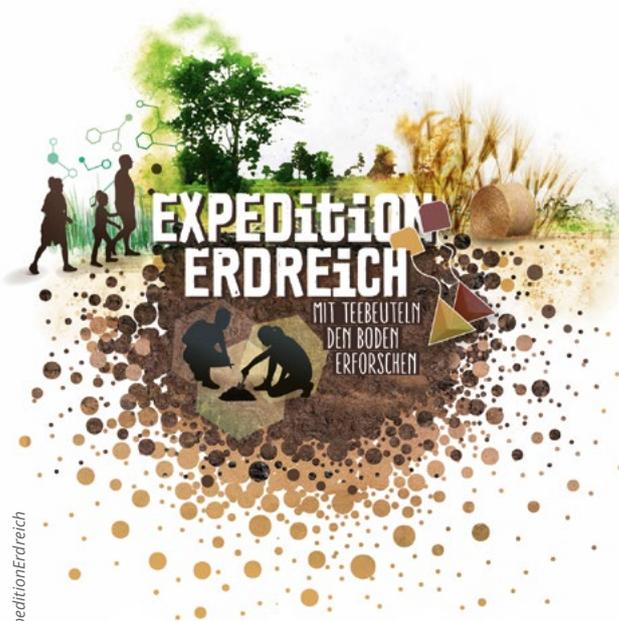
Schritt 4 – Modellierung: ...

Schritt 5 – Gewächshausexperimente: ...

Schritt 6 – Freilandexperimente: ...

3. Diskutiere, wie man genau herausfinden kann, welche Bodenorganismen an und in der Wurzel einer Pflanze leben?

4. Diskutiere, weshalb man das Mikrobiom einer Pflanze als zusätzliches Immunsystem bezeichnen kann.



WISSENSCHAFTSJAHR 2020/21 – BIOÖKONOMIE DEUTSCHLAND BUDDELT – MIT TEEBEUTELN DEN BODEN ERFORSCHEN

Expedition Erdreich ist die bundesweite Citizen-Science-Aktion im Wissenschaftsjahr 2020|21 – Bioökonomie. Jeder und jede kann sich daran beteiligen, um Daten über die Bodengesundheit und den Zustand der Böden zu sammeln – ganz einfach mit Teebeuteln. Grundlage für die Aktion ist der sogenannte Tea-Bag-Index, der die Zersetzungsraten der Teebeutel im Boden beschreibt. Zusammen mit einigen weiteren Angaben können die Bürgerwissenschaftler/-innen so mehr über die wichtigsten Bodeneigenschaften herausfinden und dazu beitragen, unsere Böden in Zukunft gewinnbringender und nachhaltiger zu nutzen.

Aktions-Kits und pädagogisches Begleitmaterial ab sofort kostenfrei bestellbar.

**Start der Aktion ist im April 2021.
Weitere Informationen gibt es unter**

www.expedition-erdreich.de

PROJEKTSTECKBRIEFE

Die Interaktion von Pflanzen, Boden und Mikroorganismen ist ein spannendes und hochaktuelles Forschungsfeld. Im Folgenden werden wissenschaftliche Projekte vorgestellt, die sich mit dem Thema anhand unterschiedlicher Fragestellungen und Ziele beschäftigen und dabei ganz verschiedene Ansätze verfolgen. Einige untersuchen die Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Ebenen des gesamten Systems, andere betrachten die Details molekularer Mechanismen. Dabei sollen in allen Fällen die zugrundeliegenden Prozesse besser verstanden und Lösungsansätze entwickelt werden, um landwirtschaftliche Erträge zu steigern und gleichzeitig den Boden nachhaltig zu bewirtschaften. Die vorgestellten Projektsteckbriefe stehen stellvertretend für eine Vielzahl von Projekten und Förderprogrammen mit dem Schwerpunkt **Pflanze-Boden-Mikroorganismen-Interaktion**.



Die vorgestellten Projekte werden im Rahmen von Forschungsprogrammen des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert.

DAS PROJEKT INPLAMINT

Interaktionen zwischen Pflanzen, Boden und Mikroorganismen verstehen

In der Landwirtschaft werden Düngemittel auf die Felder ausgebracht, um das Wachstum der Pflanzen und die Erträge zu sichern. Ein übermäßiger Düngereinsatz führt jedoch zu Nährstoffungleichgewichten im Boden, die wiederum Nährstoffverluste, erhöhte Treibhausgasfreisetzung in die Atmosphäre und die Verschmutzung des Wassers zur Folge haben. Eine nachhaltige Landwirtschaft muss aber Wege finden, Düngemittel effizient einzusetzen und gleichzeitig die Produktivität und Qualität unserer Nutzpflanzen zu erhalten oder sogar zu steigern.

Das Projekt INPLAMINT verfolgt eine zentrale Idee: Wenn man im Pflanzenanbau auch die komplexen Nährstoffkreisläufe und Interaktionen zwischen Pflanzen, Boden und Mikroorganismen berücksichtigt und die Dünge- und Bodenverbesserungsmaßnahmen zeitlich darauf abgestimmt, kann die Nährstoffnutzungseffizienz in der Pflanzenproduktion verbessert werden. Das bedeutet, dass die Nährstoffe, die der Bauer durch die Dün-

gung auf die Felder ausbringt, vollständig von den Pflanzen aufgenommen, genutzt und in Biomasse umgewandelt werden. Die Umwelt wird dadurch entlastet, weil ineffiziente Düngung vermieden wird.

Bei INPLAMINT

klärt man daher die zentralen Schlüsselprozesse auf, die für den Nährstoffumsatz und die Nährstoffflüsse im mikrobiellen Pflanze-Boden-System entscheidend sind. Berücksichtigt werden Bodentyp, Fruchtwechsel, Düngung, Temperatur und Feuchtigkeit. Der Schwerpunkt liegt auf der Bedeutung der Bodenmikroorganismen und ihrer Rolle für die Nährstoffaufnahme der Pflanzen.

Aus den gewonnenen Erkenntnissen werden dann Empfehlungen und Anbaustrategien entwickelt, die zur Verbesserung der Bodenfunktionen und der Optimierung der Nährstoffnutzungseffizienz in der Landwirtschaft unter verschiedenen Bodenbedingungen und Klimawandel-Szenarien führen.



INPLAMINT

Erhöhung der landwirtschaftlichen Nährstoffnutzungseffizienz durch Optimierung von Pflanze-Boden-Mikroorganismen-Wechselwirkungen

- **Förderprogramm:** BonaRes – Boden als nachhaltige Ressource
- **Förderkennzeichen:** 031B0508
- **Laufzeit:** 01/05/2015 – 30/04/2021
- **Projektbeteiligte:** Forschungszentrum Jülich, Freie Universität Berlin, Helmholtz Zentrum München, ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH, Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen, Universität zu Köln, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Leuphana Universität Lüneburg
- **Mehr Informationen:** www.bonares.de/inplamint-de



CATCHY

Zwischenfrüchte als agronomische Maßnahme zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit und Ertragssicherheit

- **Förderprogramm:** BonaRes – Boden als nachhaltige Ressource
- **Förderkennzeichen:** 031A559
- **Laufzeit:** 01/04/2015 – 31/03/2021
- **Projektbeteiligte:** Universität Bremen, Hochschule Weihenstephan-Triesdorf (HSWT), Deutsche Saatveredelung AG (DSV) Zuchtstation Asendorf, Justus Liebig Universität Gießen, Leibniz-Institut für Pflanzengenetik & Kulturpflanzenforschung (IPK), Leibniz Universität Hannover,
- **Versuchspflanzen:** Weizen, Mais, Zwischenfrüchte
- **Mehr Informationen:** www.bonares.de/catchy

DAS PROJEKT CATCHY

Zwischenfrüchte für mehr Bodenfruchtbarkeit und Ertrag

In der integrierten Landwirtschaft werden Zwischenfrüchte in den saisonal bedingten Lücken zwischen zwei Hauptkulturen angebaut. Als Zwischenfrüchte bezeichnet man Feldpflanzen, die zeitlich vor und nach den eigentlichen Anbaupflanzen auf den Äckern stehen. Normalerweise liegen diese Flächen in Herbst und Winter brach. Der Zwischenfruchtanbau ist Teil eines Fruchtfolgesystems. Fruchtfolgen wirken sich grundsätzlich positiv auf die biologischen, chemischen und physikalischen Eigenschaften des Bodens aus. Sie fördern die Nachhaltigkeit und den Ertrag. Außerdem kann der Zwischenfruchtanbau Randstandorte aufwerten, die normalerweise landwirtschaftlich nicht genutzt werden können.

Ein Hauptziel von CATCHY

ist es, Zwischenfrüchte zur Entwicklung innovativer Anbausysteme heranzuziehen, die die Bodenfruchtbarkeit erhalten und verbessern. Üblicherweise werden auf einem Acker nur einzelne Pflanzenarten als Zwischenfrüchte angebaut. Bei CATCHY wird die Wirkung des gleichzeitigen An-

baus verschiedener Zwischenfrüchte systematisch untersucht. Die Idee dahinter ist, dass sich die mikrobielle Zusammensetzung des Bodens positiv verändert, wenn verschiedene Zwischenfrüchte gleichzeitig angebaut werden. Dazu müssen aber die Ursache-Wirkungs-Beziehungen, die die Bodenfruchtbarkeit, die biologischen Funktionen und die Wechselwirkungen im Boden und der Rhizosphäre bewirken, besser verstanden werden. In als Dauerversuche angelegten Feldexperimenten mit Zwischenfrüchten, die in unterschiedlichen Fruchtfolgen integriert sind, erforscht das Team von CATCHY daher die Effekte verschiedener Zwischenfruchtarten und -mischungen.

Die Ergebnisse sind die Grundlage

für die Entwicklung kommerzieller Zwischenfruchtmischungen, die auf bestimmte Standorte und Umweltbedingungen abgestimmt sind. Auf diese Weise bleiben die wichtigen Bodenfunktionen unserer Äcker erhalten oder können wiederhergestellt werden.

DAS PROJEKT CHITOPop

Pappeln müssen nützliche und schädliche Pilze unterscheiden

Pappeln werden in sogenannten Kurzumtriebsplantagen für die Produktion von Bioenergie eingesetzt. Bei dieser Anbauart werden schnellwachsende Bäume angepflanzt, die in möglichst kurzer Zeit wieder geerntet werden können. Daher spricht man auch von Schnellwuchsplantagen. Während der gesamten Zeit ist die Plantage ständig von verschiedensten Pilzerregern bedroht, die schwere Schäden an den Bäumen verursachen können. Die meisten dieser schädlichen Pilzerreger der Pappel sind Rostpilze der Gattung *Melampsora*. Sie können jährliche Wachstumseinbußen von bis zu 50 Prozent verursachen.

Pappeln erkennen Pilze

über Chitin-Rezeptoren. Die Wahrnehmung des Chitins löst in Pappeln eine

Immunantwort aus, die zu einer Resistenz gegen die Eindringlinge führen kann. Gleichzeitig soll die Pappel aber in ihrer Fitness durch Erhöhung der Mykorrhizierung gestärkt werden. Diese pilzlichen Symbionten müssen also die Immunantwort der Pappel umgehen oder unterdrücken, um die Etablierung einer Mykorrhizierung zu erreichen.

Im Projekt ChitoPop

wurden diejenigen Gene bei Pappeln identifiziert, die die Resistenz gegenüber schädlichen Pilzen erhöhen. Gleichzeitig sollten dabei aber nützliche Mykorrhizapilze an den Wurzeln gefördert werden. So kann die Immunantwort und gleichzeitig der Mykorrhizierungsgrad der Pappel gestärkt werden. Im Projekt wurde auch die Gen-Schere CRISPR/Cas eingesetzt.

ChitoPop

Optimierung der Pathogenresistenz und Mykorrhizierung von Pappeln durch Modifikation von LysM-Proteinen

- **Förderprogramm:** Pflanzenzüchtungsforschung für die Bioökonomie
- **Förderkennzeichen:** 031B0203
- **Laufzeit:** 01/10/2016 – 31/03/2020
- **Projektbeteiligte:** Georg-August-Universität Göttingen, Johann Heinrich von Thünen-Institut Großhansdorf
- **Versuchspflanze:** Pappel
- **Mehr Informationen:** www.pflanzenforschung.de/qr/ChitoPop

Mit dieser Methode konnten genomeditierte Pappeln erzeugt werden, die ein verändertes Symbiosepotenzial und Abwehrverhalten gegen pathogene Pilze aufweisen.



DAS PROJEKT ROOTWAYS

Wurzelkanäle in den Untergrund

Unter der fruchtbaren Humusschicht der Ackerkrume liegt der Unterboden. Er ist meist gering bewurzelt und spielt in der konventionellen Landwirtschaft eine untergeordnete Rolle. Zunehmende und langanhaltende Dürreperioden verschlechtern aber die Nährstoffverfügbarkeit in der Ackerkrume. Daher muss man in der Landwirtschaft umdenken und in Zukunft den Unterboden zur Nährstoff- und Wasserversorgung der Pflanzen ebenfalls nutzen.

Hier setzt das Projekt RootWayS an. Das Ziel des Projekts ist es, tiefwurzeln Winterzwischenfruchtmischungen zu entwickeln, die mit ihren Wurzeln auch den tiefergelegenen Unterboden durchdringen. Die danach angebaute Hauptfrucht kann dann die entstandenen Wurzelkanäle der Zwischenfrucht nutzen und so einen direkten Zugang zu den Unterbodenressourcen bekommen.

Durch die Kombination

flach- und tiefwurzeln Winterzwischenfruchtspezies innerhalb der kurzen Wachstumsperiode im Winter werden tiefe Wurzelkanäle im Boden erzeugt. Danach wird Mais angebaut und der Anteil wiederdurchwurzelter Wurzelkanäle quantifiziert. Dabei sind besonders zwei Schlüsselfaktoren entscheidend: der Bo-

dentyp und der Bodenwasserhaushalt. Daher werden Feldexperimente auf drei landwirtschaftlichen Hauptbodentypen durchgeführt und auch ein Dürreszenario simuliert.

Es kommen physikochemische und mikrobiologische Methoden zum Einsatz, mit denen die Poren in den Wurzelkanälen charakterisiert werden. Durch die Analyse der Poren in den Kanälen lässt sich auf die Interaktion der Maisrhizosphäre bei der Wiederdurchwurzelung der Wurzelkanäle schließen. Durch den Einsatz von Markierungsmitteln (Tracer) kann der Zugang der Maispflanzen zu den Unterbodenressourcen genau nachverfolgt werden. Um mögliche positive Effekte des Zwischenfruchtanbaus auf die Versorgung der Maispflanzen analysieren zu können, verwendet man auch drohnenbasierte Thermographie. Durch Thermographie kann man großflächig die Wasser- und Nährstoffnutzung der Pflanzen beurteilen.

Anhand der gewonnenen Informationen wird es möglich sein, mit Hilfe von Ertragsmodellen den Maisertrag in Abhängigkeit vom Zwischenfruchtmanagement vorherzusagen. Die Ergebnisse tragen zur Entwicklung von Anbauempfehlungen bodentypenspezifischer Zwischenfruchtmischungen bei steigendem Dürreerisiko bei.



RootWayS

Wir machen den Weg frei: Tiefwurzeln Winterzwischenfruchtmischungen erleichtern den Zugang zu Unterbodenressourcen

- **Förderprogramm:** Pflanzenwurzeln und Bodenökosysteme: Bedeutung der Rhizosphäre für die Bioökonomie (Rhizo4Bio)
- **Förderkennzeichen:** 031B0911A
- **Laufzeit:** 01/04/2020 – 31/03/2024
- **Projektbeteiligte:** Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Georg-August-Universität, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ) Leipzig, Feldsaaten Freudenberger GmbH & Co. KG in Krefeld, Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL) in Frick (Schweiz)
- **Versuchspflanzen:** Mais, Rotklee, Rohrschwingel und Ölrettich
- **mehr Informationen:** www.bonares.de/rootways

Zum Weiterlesen und Recherchieren



Ackerbau: Die Kraft der Zwischenfrüchte

BIOÖKONOMIE.de

Mit Zwischenfruchtmischungen will ein Forschungskonsortium Böden langfristig fruchtbarer machen und neue Anbausysteme entwickeln, die zur Ertragssteigerung beitragen.

<https://biooekonomie.de/foerderung/foerderbeispiele/ackerbau-die-kraft-der-zwischenfruechte>

Symbiose ist wie eine Geschäftsbeziehung

Interview mit Dr. Stephanie Werner

www.pflanzenforschung.de/qr/Interview-Symbiose

Was macht ihr da eigentlich im Labor?



Junge Pflanzenforschung in Deutschland (Video 10:02) transGEN <https://youtu.be/ABM6r4qIsfQ>

BONARES Newsletter Frühjahr 2020

Umfangreiche Hintergrundinformationen zum Projekt CATCHY mit vielen Einblicken in die Forschungsarbeit.

<https://newsletter.bonares.de:8443/newsletter/pdf/5ebd09887513790ff400dd2b>

Mit Tiefwurzeln den Unterboden erobern

BIOÖKONOMIE.de

Mit tiefwurzeln Winterzwischenfruchtmischungen wollen Forschende für Maispflanzen eine Schnellstraße zu den Nährstoff- und Wasserressourcen im Unterboden bauen und sie so besser vor Trockenheit schützen.

<https://biooekonomie.de/foerderung/foerderbeispiele/mit-tiefwurzeln-den-unterboden-erobern>

Zum Weiterlesen und Recherchieren



Folge 8 - Zoom+ - INPLAMINT:

Dressierte Mikroben für einen fruchtbaren Boden

(Video 13:18 min) BIOÖKONOMIE.de

Im BONARES-Projekt INPLAMINT geht es um die Erhöhung der landwirtschaftlichen Nährstoffnutzungseffizienz. Das soll durch die Optimierung der Wechselwirkungen von Pflanze, Boden und Mikroorganismen gelingen. Ziel ist es, Bodenfunktionen und Nährstoffnutzungseffizienz in der Nahrungsmittelproduktion zu verbessern und optimierte Anbaustrategien zu entwickeln. Ziel ist die Verbesserung der Bodenfunktionen und Nährstoffnutzungseffizienz in der Nahrungsmittelproduktion, sowie die Entwicklung optimierter Anbaustrategien.

<https://youtu.be/MNxXz84BwKA>



Folge 20 - Zoom - CATCHY:

Das Geheimnis der Zwischenfrüchte

(Video 08:48 min) BIOÖKONOMIE.de

Der Anbau von Zwischenfrüchten ist eine altbewährte Praxis in der Landwirtschaft. Ackersenf oder Leguminosen werden nach der Ernte von Mais oder Weizen aufs Feld gebracht, um den Boden für die nächste Hauptfrucht fit zu halten oder zu verbessern. Im Bodenforschungsverbundprojekt namens CATCHY haben Partner aus Forschung und Wirtschaft in den vergangenen Jahren den Einfluss von Zwischenfrüchten auf die Bodenfruchtbarkeit genauer untersucht, um neue innovative Anbausysteme zu entwickeln.

<https://youtu.be/XC53r5FvGuE>



Foto: ©Adobe Stock/Christian Schwierr

Forschungsbörse bringt Bioökonomie in den Unterricht

Findet Forschende, die euch besuchen und in die spannende Welt der Wissenschaft und Forschung einführen!

www.forschungsboerse.de



Arbeitsaufträge

1. Betrachte das Video „INPLAMINT: Dressierte Mikroben für einen fruchtbaren Boden“. Bearbeite im Anschluss die folgenden Fragen:
 - a) Welches sind die wichtigsten Funktionen des Bodens und wodurch werden sie zunehmend bedroht?
 - b) Warum eignet sich der Tagebau im rheinischen Braunkohlerevier für die Wissenschaft besonders gut, um diese Fragen zu bearbeiten?
 - c) Was wird im Labor am Forschungszentrum Jülich untersucht?
 - d) Warum wird die Bodenqualität durch die Bewirtschaftung wieder schlechter? Welche Probleme ergeben sich?
 - e) Mit welchen einfachen Maßnahmen sollen die Nährstoffausträge, die Verunreinigung des Grundwassers und die Entstehung von Lachgas zukünftig vermieden werden?
 - f) Was ist das übergeordnete Ziel der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am Forschungsstandort der Universität zu Köln?
 - g) Welche Lebewesen sind an den Verwertungsprozessen im Boden beteiligt?
- h) Warum spielen Bodenmikroben eine Schlüsselrolle bei der Vermeidung von Nährstoffverlusten des Bodens?
 - i) Was wird mit Hilfe der Respirationalanlage und in der Inkubationskammer untersucht?
2. Betrachte das Projektvideo „CATCHY: Das Geheimnis der Zwischenfrüchte“ und bearbeite folgende Aufgaben.
 - a) Fasse die Ziele des Projekts und den Versuchsablauf mit eigenen Worten zusammen.
 - b) Recherchiere die Begriffe „Fruchtfolge“, „Monokultur“ und „Mischkultur“. Gibt es Vor- und Nachteile dieser landwirtschaftlichen Anbauverfahren?
3. Lies den Beitrag zu RootWays „Mit Tiefwurzeln den Unterboden erobern“ und beantworte im Anschluss folgende Fragen.
 - a) Warum ist es in Hinblick auf häufige Dürreperioden wichtig, dass auch der Unterboden in die Feldbewirtschaftung einbezogen wird? Welche Rolle spielen dabei Zwischenfruchtmischungen?
 - b) Wie tief reichen jeweils die Wurzel einer Maispflanze und tiefwurzelter Zwischenfrüchte in den Boden hinein?
- c) Welche Rolle spielt aus Sicht der Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen hierbei das Mikrobiom?
 - d) Wie ist zu erkennen, ob die Maispflanze tatsächlich die vorhandenen Wurzelkanäle der Zwischenfrucht nutzt?
 - e) Was wird mit Hilfe der drohnengestützten Thermographie gemessen und überprüft?
 - f) Wie wird der Kohlenstoffeintrag in die Rhizosphäre untersucht?
 - g) Wie werden extreme Klimabedingungen, wie Trockenheit, simuliert?
4. Beschäftigen dich mit dem klassischen Profil eines Ackerbodens. Wie ist es aufgebaut? Welche Prozesse finden in den einzelnen Zonen statt.
5. Recherchiere zum Projekt ChitoPop und bearbeite Sie folgende Aufgaben.
 - a) Fasse in eigenen Worten die Projektziele des Projekts ChitoPop zusammen.
 - b) Diskutiere, wie eine Pflanze Pilze in ihrer Umgebung erkennt und mit welchem Trick sich pathogene Pilze für die Pflanzen unsichtbar machen können.

GLOSSAR

Die wichtigsten Begriffe kurz erklärt

abiotische Faktoren Einflussgrößen der unbelebten Welt, z. B. Wärme, Licht, Feuchtigkeit, Strahlung (Ggs.: biotische Faktoren).

Ackerkrume oberste, durch organische Abbauprodukte dunkler gefärbte Bodenschicht eines Ackers.

Ackerschmalwand (*Arabidopsis thaliana*) unscheinbare Pflanze, die als wissenschaftliche Modellpflanze dient.

Aminosäuren organische Verbindungen mit mindestens einer Carboxylgruppe (-COOH) und einer Aminogruppe (-NH₂) und Bausteine der Proteine.

Ammonium (NH₄⁺) positiv geladenes Ion, das in der Natur beim Abbau von Proteinen, bei der bakteriellen Verrottung abgestorbener Biomasse und bei der Stickstoff-Fixierung durch Rhizobien entsteht.

Anthosphäre mikrobieller Lebensraum der Blüten und Teil der Phyllosphäre (vgl. Tabelle S. 5).

Antikörper Proteine (Immunglobuline) die spezifisch mit einem Antigen reagieren. Sie sind zentrale Bestandteile des Immunsystems der Wirbeltiere.

Arabidopsis thaliana siehe Ackerschmalwand

Arbuskeln bäumchenartig verzweigte Hyphen der Endomykorrhiza innerhalb der Wurzelrindenzellen. Dort findet der Nährstoffaustausch zwischen Pilz und Pflanze statt. Ihre Anzahl ist daher ein Maß für die Effizienz der Symbiose zwischen dem Mykorrhizapilz und der Pflanze.

Archaeen bilden neben Bakterien (Bacteria) und Eukaryoten (Eukaryota) eine der drei Domänen des Lebens. Sie können extreme Biotope besiedeln und bspw. noch bei 110 °C wachsen.

Assimilation/Assimilate Prozesse bei denen aufgenommene, körperfremde Stoffe in körpereigene Biomasse umgewandelt werden, meist unter Energiezufuhr. Bei den photoautotrophen Pflanzen ist das die Bildung von Zuckerbausteinen aus

Kohlenstoffdioxid und Wasser mithilfe von Lichtenergie (Photosynthese). Assimilate sind die entstandenen Produkte, also die Kohlenhydrate.

Bacterioide unregelmäßig angeschwollene Stickstoff-fixierende Stadien der sonst stäbchenförmigen Rhizobien in den Wurzelknöllchen der Leguminosen.

Biodiversität biologische Vielfalt (genetische Vielfalt, Artenvielfalt, Vielfalt der Ökosysteme) des Lebens.

Bioeffektoren lebende Mikroorganismen und Wirkstoffe aus Pflanzen und Pflanzenrückständen, die das Wachstum, die Nährstoffaufnahme und die Widerstandskraft gegenüber Krankheiten und Stressfaktoren fördern.

Bioenergie Energie, aus Biomasse und deren Produkten (z. B. Ethanol, Methan, Wasserstoff), die in rezenter (neuerer) Zeit durch lebende Systeme, vor allem Pflanzen und Mikroorganismen, gebildet wurde.

Bioinformatik interdisziplinärer Wissenschaftszweig, der mathematische Methoden und Algorithmen für die Analyse von DNA- und Proteinsequenzen und die Untersuchung aus solchen Sequenzdaten abgeleiteter biologischer Funktionen (z. B. dreidimensionale Strukturen, Vernetzung), bereitstellt.

Blumeria graminis Pilz, der Mehltau auf Gräsern, einschließlich Getreide, verursacht.

Bodenfunktionen Leistungen des Bodens (z. B. Lebensraum, Wasserspeicher und -filter, Grundwasserschutz, Klimaregulation, Kohlenstoffspeicher, Stoffumwandlung, Nutzfläche, Siedlungs- und Verkehrsfläche, Erholungsraum, Rohstofflagerstätte).

Bodenmüdigkeit/Bodenerschöpfung nachlassen des Ertrags insbes. bei wiederholtem Anbau derselben Kulturpflanze. Mögliche Ursachen können einseitiger Nährstoffentzug, Anreicherung von Wurzelauflösungen und Vermehrung von Schaderregern sein.

Carposphäre mikrobieller Lebensraum der Früchte und Teil der Phyllosphäre (vgl. Tabelle S. 5).

Caulosphäre mikrobieller Lebensraum des Stängels und Teil der Phyllosphäre (vgl. Tabelle S. 5).

Chitin-Rezeptoren Chitin ist Hauptbestandteil der Zellwände von Pilzen und des Außenskeletts verschiedener wirbelloser Tiere (z. B. Insekten, Spinnen). In der Membran bestimmter Pflanzenzellen befinden sich spezifische Rezeptoren, an die das Chitin bindet. Dadurch erkennt die Pflanze einen Pilzangriff und leitet als Folge eine Abwehrreaktion ein.

Chitosane unterschiedlich lange Ketten aus Einfachzuckern. Einige Pilze enthalten neben Chitin auch Chitosane in ihrer Zellwand.

Cortex hier: Wurzelrinde

Diffusion passive Teilchenbewegung, getrieben durch einen chemisch-physikalischen Gradienten bis zum Ausgleich des Konzentrationsunterschieds. Wesentlicher Prozess des biologischen Stofftransports.

Ektomykorrhiza Symbiose zwischen Pflanzen und Mykorrhizapilzen, bei der die feinen unterirdischen Pilzfäden (Hyphen) zwar in die Wurzelrinde, nicht aber in die Zellen eindringen. Sie bilden ein dichtes Hyphennetz um die Wurzelenden (vgl. Endomykorrhiza).

Endomykorrhiza Symbiose zwischen Pflanzen und Mykorrhizapilzen, bei der die Hyphen in die pflanzlichen Wurzelzellen eindringen (vgl. Ektomykorrhiza, Arbuskeln).

Endosphäre Mikrobieller Lebensraum innerhalb von Pflanzengewebe (vgl. Tabelle S. 5).

exprimierte Gene Gene, deren Information in das entsprechende Genprodukt umgesetzt wird.

Exsudation/Exsudate Abgabe organischer Verbindungen (meist wasserlösliche Stoffwechselprodukte, z. B. Kohlenhydrate und Aminosäuren, aber auch organische Säuren, die den pH-Wert im wurzelnahen

Boden regulieren) durch die Wurzel. Sie haben großen Einfluss auf die Zusammensetzung der Mikroorganismen im wurzelnahen Boden, so wie auch umgekehrt die Anwesenheit von Mikroorganismen die Exsudation stimuliert.

Francia bodenlebende Bakterien, die sowohl frei als auch in enger Symbiose mit Pflanzen leben und (wie Rhizobien) elementaren Luftstickstoff fixieren und Knöllchenbildung an den Wurzeln induzieren.

Fruchtfolge zeitliche Aufeinanderfolge verschiedener Kulturpflanzen auf einem Feld zum Erhalt der Bodenfruchtbarkeit.

genetischer Pool/Genpool Gesamtheit der genetischen Variationen einer Population.

Genomweite Assoziationsstudien (GWAS) stellen eine Verbindung zwischen bestimmten Krankheiten oder Merkmalen und Chromosomen-Abschnitten her.

Genotyp alle in der DNA codierten genetischen Informationen eines Organismus in dessen Zellkern, die zusammen mit den Umwelteinflüssen dessen Erscheinungsbild prägen.

Gen-Schere CRISPR/Cas (Genomeditierung) molekularbiologische Methoden, um DNA gezielt zu schneiden und umzuschreiben („editiert“).

Gründüngung natürliche Bodenverbesserung im Acker-, Obst-, Wein- und Gartenbau. Zwischen den Hauptkulturen werden andere, schnellwüchsige Pflanzen eingesät und am Ende meist in den Boden eingearbeitet.

Habitat Lebensraum, der durch spezifische abiotische und biotische Faktoren geprägt ist.

Hauptkultur/Hauptfrucht Kulturpflanzen, die über den größten Teil der Hauptvegetationszeit die Ackerfläche beanspruchen (vgl. Zwischenfrüchte).

Hochdurchsatzsequenzierung Methode zur schnellen und kostengünstigen Analyse einer großen Zahl von DNA-Teilstücken.

Hülsenfrüchtler (Leguminosen) eine der artenreichsten Pflanzenfamilien mit bekannten Vertretern, wie Linsen, Bohnen und Klee. Die meisten leben in Symbiose mit Rhizobien, die Luftstickstoff fixieren können.

Hyphen verzweigte oder unverzweigte, einreihige Zellfäden der Pilze.

Inokulation Beimpfen eines Substrats (z. B. Boden) oder Organismus (z. B. Samen) mit anderen Organismen (z. B. Mykorrhizapilzen).

in silico Ausdruck, der in Bezug auf biologische Experimente „am Computer oder durch Computersimulation durchgeführt“ bedeutet (in Anspielung auf die Verwendung von Silizium in Computerchips).

Ionom Gesamtheit aller Nährelemente einer Zelle, eines Gewebes oder Organismus (vgl. Omics-Technologien).

Knöllchenbakterien siehe Rhizobien

Kohlenhydrate große Gruppe organischer Verbindungen, die durch die Photosynthese in Pflanzen gebildet werden. Sie dienen in Zellen und Organismen als Energiequelle, Reservestoff und Gerüstsubstanz.

Kommensalismus (lat.: commensalis, „Tischgenosse“) Form der Interaktion zwischen Individuen verschiedener Arten, die für Angehörige der einen Art positiv, für diejenige der anderen Art neutral ist.

Kurzumtriebsplantage (Schnellwuchsplantage) Kultivierung schnell wachsender Bäume mit dem Ziel, innerhalb kurzer „Umtriebszeiten“ Biomasse zu produzieren.

Laimosphäre mikrobieller Lebensraum um den Stängel herum, aber nur unter der Erde (vgl. Caulosphäre und Tabelle S. 5).

Leguminosen siehe Hülsenfrüchtler

Luftstickstoff mit 78 % Hauptbestandteil der Atmosphäre. Pflanzen benötigen Stickstoff zu ihrer Ernährung, können aber den elementaren Luftstickstoff (N₂) nicht aufnehmen. Sie sind auf Stickstoffverbindungen (Ammonium (NH₄⁺) und Nitrat (NO₃⁻) im Boden angewiesen.

Lycopin rotes Pigment aus der Gruppe der Carotinoide, das in hohen Konzentrationen u. a. in Tomatenfrüchten vorkommt. Als Antioxidans kann es reaktionsfreudige Moleküle im Körper unschädlich machen und so die Zellen vor Oxidationsschäden schützen.

LysM-Proteine Übernehmen in Pflanzen eine wichtige Rolle bei der Erkennung und Abwehr pilzlicher Eindringlinge. Gleichzeitig unterstützen sie z. B. bei Leguminosen die Ansiedlung von Rhizobien.

Markierungsmittel (Tracer) Markierungsmittel zur Sichtbarmachung von Fließvorgängen.

Mehltau verschiedene durch Pilze verursachte Pflanzenkrankheiten, die meist durch einen weißen Belag auf den Blattoberflächen in Erscheinung treten.

Metabolom Gesamtheit aller charakteristischen Stoffwechseleigenschaften einer Zelle, eines Gewebes oder eines Organismus, z. B. Durchflussraten, Metabolitenspiegel, Enzymaktivitäten, Interaktionen zwischen einzelnen Stoffwechselwegen.

Mikrobiom/Mikrobiota Gesamtheit der Mikroben, die ein Organismus beherbergt. Die Definition des Begriffs weicht bei manchen Autoren ab.

Mikrohabitat Lebensräume mit geringer räumlicher Ausdehnung.

Mikroorganismen/Mikroben mikroskopisch kleine Organismen, meist Einzeller (Bakterien, Archaea, Protozoen), aber auch wenigzellige Lebewesen (Pilze, Mikroalgen).

Modellierung Entwicklung eines Modells, das die wesentlichen Elemente eines Systems beinhaltet.

molekulare Marker eindeutig identifizierbare, kurze DNA-Abschnitte, die in der Nähe eines bestimmten Gens liegen und mit hoher Wahrscheinlichkeit gemeinsam mit diesem vererbt werden. Sie werden eingesetzt, um Pflanzen mit gewünschten Eigenschaften zu identifizieren (markergestützte Selektion) und so den Züchtungsprozess zu beschleunigen.

Monokultur Anbau einer einzigen Pflanzenart (Reinkultur) über mehrere Jahre hinweg auf derselben Fläche.

Mykorrhiza-Impfstoffe gezielte Gabe von Mykorrhizapilzen.

Mykorrhizapilze in enger Gemeinschaft mit Pflanzenwurzeln lebende Pilze. Dabei dringen die Pilzhyphen in die Wurzelrindenzellen (Endomykorrhiza) ein oder umwuchern die Wurzel mit einem dicken Mantel (Ektomykorrhiza; vor allem bei Bäumen). M. kommen bei den meisten höheren Pflanzen vor. Die Pflanze versorgt den Pilz mit Kohlenhydraten und der Pilz die Pflanze mit Wasser, Phosphor, Stickstoff und Spurenelementen. Außerdem schützt er sie vor anderen schädlichen Pilzen und vergrößert den Einzugsbereich der Wurzeln.

Myzel Gesamtheit aller Hyphen (fadenförmige Zellen) eines Pilzes, die eine Ausdehnung von vielen Quadratmetern erreichen kann. Im Alltag z. B. als Schimmel auf Lebensmitteln zu beobachten.

Nachbaukrankheit siehe Bodenmüdigkeit

Nährstoffnutzungseffizienz beschreibt wie effizient vorhandene Nährstoffe in Biomasse umgewandelt werden.

Nebenfrüchte siehe Zwischenfrüchte

Nitrat (NO₃⁻) neben Ammonium eine der wichtigsten anorganischen Stickstoffverbindungen im Boden, da sie leicht von Pflanzen aufgenommen und zum Aufbau von Aminosäuren und Nukleinsäuren verwertet wird.

Ökologisches Engineering (engl.: ecological engineering) gezielte Eingriffe in Ökosysteme, um das bestehende Gleichgewicht in eine bestimmten Richtung zu verschieben (z. B. die Veränderung von Mikrobengesellschaften in der Rhizosphäre).

Omics-Technologien (engl. -omics, dt.: -omik) Nachsilbe, für Teilgebiete der modernen Biologie, die sich mit der Analyse von der Gesamtheit ähnlicher Einzelelemente beschäftigen (z. B. Genomik, Proteomik, Metabolomik).

Parasitismus (Schmarotzertum) Beziehung, bei der ein Organismus (Schmarotzer) von einem anderen Organismus (Wirt) einseitigen Nutzen zieht, indem er ihm Nährstoffe entzieht. Der Wirt wird dabei geschädigt, bleibt aber in der Regel am Leben.

Pathogene (Krankheitserreger) Mikroorganismen, die bei einem Wirt eine Krankheit verursachen (z. B. Bakterien, Viren, Pilze, Protozoen).

Pathogenresistenz Widerstandskraft eines Organismus gegen Krankheitserreger.

Pestizide chemische Substanzen, die gezielt Schadorganismen schwächen, töten, vertreiben oder in Keimung, Wachstum oder Vermehrung hemmen.

Pflanzenbiomasse gesamte organische Substanz, die durch Pflanzen erzeugt wird.

Pflanzenlinie Teilpopulation einer Pflanzensorte, die bestimmte Merkmale aufweist und genetisch vergleichsweise einheitlich ist.

Pflanzenmikrobiota siehe Mikrobiom

Phacelia (Bienenfreund) sehr gute Gründüngungspflanze mit dichtem Wurzelsystem zur Verbesserung der Bodenstruktur.

pH-Wert gibt auf einer Skala von 0 – 14 an, wie stark eine wässrige Lösung sauer oder alkalisch ist. Wasser hat einen pH-Wert von 7 und gilt als neutral.

Phylloplane mikrobieller Lebensraum, der sich nur auf die Blattoberflächen bezieht und Teil der Phyllosphäre (vgl. Tabelle S. 5).

Phyllosphäre mikrobieller Lebensbereich auf allen oberirdischen Pflanzenorganen (Blätter, Blüten, Stängel, Gewebe, Stängel). Sie wird vor allem von Bakterien, Hefen und fadenförmigen Pilzen besiedelt (vgl. Tabelle S. 5).

Phytobiom/Phytomikrobiom gesamte Mikrobengemeinschaft auf, um und in einer Pflanze.

Priming physiologischer Zustand, der es Pflanzen ermöglicht, schneller und stärker auf abiotischen (z. B. Trockenheit) oder biotischen Stress (z. B. Erreger) zu reagieren.

Puccinia hordei Rostpilz bei Gersten, der gelbe Rostflecken auf den Blättern hervorruft.

quantitative trait loci (QTL) Genomabschnitt, der die Ausprägung eines quantitativen Merkmals beeinflusst.

Resistenz Widerstandskraft eines Organismus gegen Krankheitserreger und äußere Einflüsse.

Rezeptor Protein mit spezifischer Bindestelle, an das Signalmoleküle binden können und Signaltransduktionsprozesse auslösen.

Rhizobien/ Rhizobakterien (Knöllchenbakterien) weitverbreitete Bodenbakterien, die u. a. mit Hülsenfrüchtlern (Leguminosen) in Symbiose leben. Sie binden elementaren Luftstickstoff.

Rhizodeposition Abgabe organischer fester und gelöster Substanzen durch die Wurzeln.

Rhizoplane mikrobieller Lebensraum auf der Wurzeloberfläche mit starker Interaktion zwischen Pflanze und Mikroorganismen und Teil der Rhizosphäre (vgl. Tabelle S. 5).

Rhizosphäre durchwurzelter Bodenraum, der unter dem unmittelbaren Einfluss des Wurzelsystems der Pflanze steht (vgl. Tabelle S. 5).

Rhizosphären-Engineering Bereich des Ökologischen Engineerings, der die Prozesse in der Rhizosphäre behandelt.

Spermosphäre mikrobieller Lebensraum des Bodens, der durch keimende Samen beeinflusst wird (vgl. Tabelle S. 5).

Stress physiologische Reaktion auf spezifische innere und äußere Reize (Stressoren).

Stresstoleranz erhöhte Schwelle eines Organismus gegenüber Stressoren (vgl. trockenstresstolerante Pflanzen).

Stickstoff-Fixierung Umwandlung elementaren Stickstoffs aus der Luft in reduzierte Verbindungen, die von Pflanzen und Tieren verwertet werden können (vgl. Rhizobien).

Symbiose enges Zusammenleben (Kräftegleichgewicht) von verschiedenen Arten zu beiderseitigem Vorteil.

Synergie Zusammenwirken zu einer Gesamtleistung.

Thermographie bildgebendes Verfahren zur Anzeige der Oberflächentemperatur von Objekten.

Transkriptom Summe aller zu einem bestimmten Zeitpunkt in einer Zelle transkribierten Gene (Gesamtheit der RNA-Moleküle).

Treibhausgasemissionen Freisetzung von Gasen, die zum Treibhauseffekt beitragen.

trockenstresstolerante Pflanzen haben verschiedene Strategien entwickelt, um Wasser zu sparen, weniger Wasser zu verbrauchen oder weniger Wasser zu verlieren.

Uredosporen Entwicklungsstadium von *Puccinia hordei* (Zwergrost).

Viren infektiöse organische Partikel.

Wachstumsdepressionen mangelnde Wuchsfähigkeit.

Wurzelmikrobiom mikrobielle Gemeinschaft im Bereich der Rhizosphäre.

Zwergrost siehe *Puccinia hordei*

Zwischenfrüchte zeitlich zwischen zwei Hauptfrüchten angebaute Kulturpflanzen (vgl. Hauptfrucht, Leguminosen).

Foto: © Adobe Stock/andreaobzerova

ERFORSCHT KNÖLLCHEN!



Aufgabe Jedes Mitglied aus eurem Klassenverband sammelt die Wurzelknöllchen von jeweils 10 Pflanzen. Bei einer Gruppengröße von 20 Personen liegen am Ende 200 Probenpäckchen vor. Die Proben sollen gezählt, vermessen und/oder gewogen werden. Die Daten werden gesammelt und anhand statistischer Überlegungen Fragen zum Wachstum und zur Verteilung der Wurzelknöllchen beantwortet.

Material

- Pflanzenführer
- 10 kleine durchnummerierte Papiertüten (z. B. Butterbrotbeutel)
- Messer, Skalpell oder Rasierklinge
- Bleistift
- Papier mit Tabelle
- Lineal oder Millimeterpapier / Feinwaage oder Küchenwaage mit mind. zwei Stellen hinterm Komma
- Handy zum Fotografieren
- Lupe

Vorbereitung

Nehmt einen Pflanzenführer zur Hilfe oder recherchiert im Internet, um euch die Merkmale einiger einheimischer Pflanzen aus der Familie der Leguminosen einzuprägen. Was sind die gemeinsamen Merkmale? Welche Pflanzen kennt ihr?

Durchführung

1. Sucht pro Person 10 Leguminosen (z. B. Klee, Lupine, Ackerbohne) in eurer Umgebung oder im Schulgarten. Es kann sich dabei um eine Pflanzenart oder um unterschiedliche Arten handeln.

2. Grabt vorsichtig die komplette Wurzel aus und entfernt die Erde.
3. Fotografiert einige Pflanzen samt ihrer Wurzeln.
4. Trennt die Wurzelknöllchen direkt an der Wurzel ab und gebt sie je Pflanze in eine Papiertüte. Beschriftet die Papiertüte mit dem Namen der Pflanze.
5. Zuhause oder gemeinsam im Unterricht werden dann für jede Pflanze (Tüte) das Gewicht und/oder die Durchmesser der einzelnen Knöllchen bestimmt. Nehmt euch dazu ein Tütchen und sortiert die Knöllchen zunächst nach ihrer Größe. Wiegt jedes einzelne Knöllchen und notiert den Wert in der Tabelle. Zusätzlich oder alternativ könnt ihr die Knöllchen auch halbieren und ihren Durchmesser bestimmen. Ihr könnt die Werte in jeweils eine Zeile der Tabelle schreiben.

Auswertung

Wertet alle vom Klassenverband erhobenen Daten aus, in dem ihr sie in verschiedene Diagramme übertragt. Überlegt euch welche Größen gegeneinander aufgetragen werden sollten, um folgende Fragen zu beantworten.

- Bei welchen Pflanzenarten sind die größten Wurzelknöllchen zu finden?
- Sieht man, dass bestimmte Pflanzenarten unterschiedliche Verteilungen in der Größe, dem Gewicht oder der Anzahl der Knöllchen haben oder sind die Größenverteilungen vergleichbar oder ohne jegliche Systematik?
- Sind Größe, Gewicht und Anzahl der Knöllchen von der Größe der Pflanzen abhängig oder eher vom Standort?
- Wie unterscheiden sich gleiche Pflanzenarten von verschiedenen Standorten?

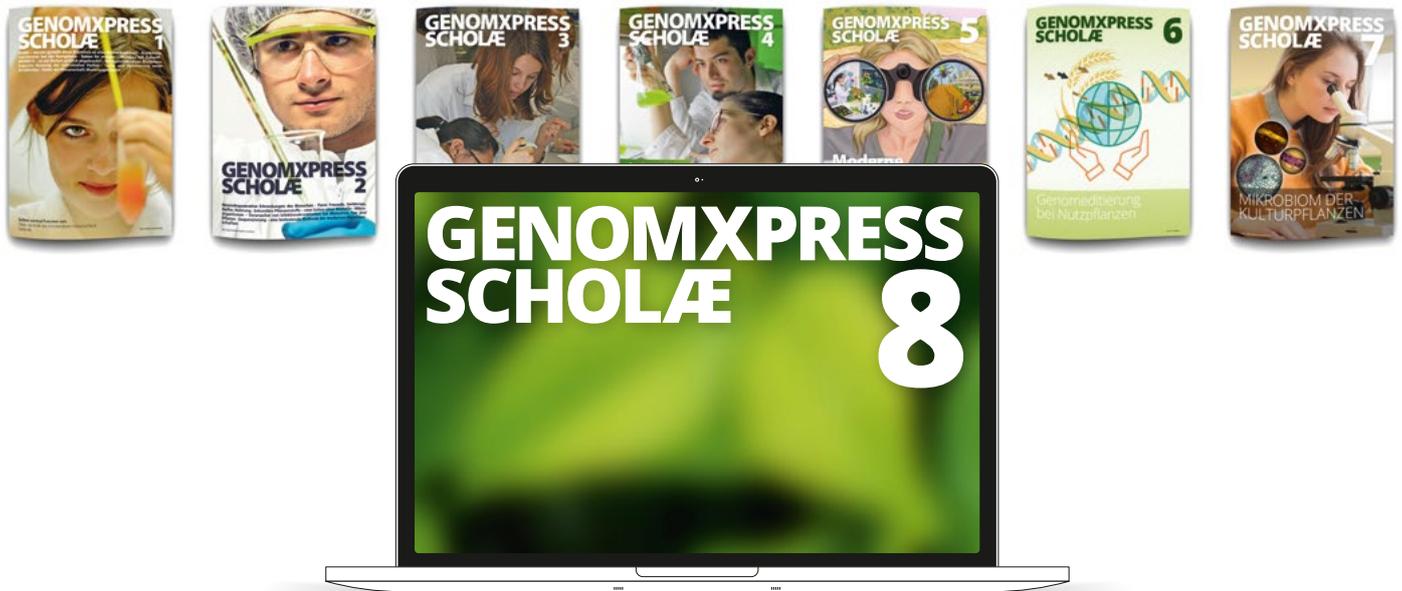
Vergleicht die gemachten Fotos.

- Lassen sich morphologische Unterschiede zwischen den Pflanzenarten und der Gestalt ihrer Wurzelknöllchen erkennen?

Schneidet mehrere Knöllchen jeweils in Längs- und Querrichtung durch. Betrachtet sie unter einem Mikroskop oder mit der Lupe.

- Welche Strukturen lassen sich mit bloßem Auge erkennen?
- Gibt es verschiedene Bereiche und Farben?

Nr.	Standort-Nr.	Pflanzenart	Wuchshöhe (cm)	Anzahl Knöllchen	Durchmesser Knöllchen (mm) oder Gewicht (mg)									
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	≤ 10
1	1	Rotklee	10	34	9	6	5	3	3	4	1	1	1	1
2	1	Lupine	30	36	8	9	8	3	2	1	2	1	1	1
3	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
4	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...



GENOMXPRESS SCHOLÆ DIGITAL

Vielfältiger, spannender, anschaulicher, ...

Wir erweitern unser Online-Angebot und straffen die Printausgabe. Ab der kommenden Ausgabe bieten wir mehr digitale Lernangebote, neue Formate, praktische Downloads, viele Übungsaufgaben, spannende Infografiken, abwechslungsreiche Arbeitsblätter, unterhaltsame Selbsttests, interessante Hintergrundinformationen, tolle Videos, ...

... und das alles online **WWW.genomxpress.de**

Wie nutzt ihr den GENOMXPRESS SCHOLÆ?
Welche Verbesserungen und welche Themen
wünscht ihr euch?

Lasst es uns wissen und schreibt an:
PLANT2030@die-blattmacher.com



GENOMXPRESS SCHOLÆ

stellt aktuelle Forschungsthemen speziell für den Unterricht in der Sekundarstufe II dar. Er wird von PLANT 2030, einem Verbundvorhaben zur angewandten Pflanzenforschung in Deutschland, veröffentlicht. Die Geschäftsstelle PLANT 2030 ist Herausgeberin des Informationsportals www.pflanzenforschung.de und wird durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert.

© 2021 GENOMXPRESS SCHOLÆ

Herausgeber

Die Blattmacher Kommunikation und Wissenschaft GmbH
Försterweg 2 · 14482 Potsdam

Die Blattmacher

REDAKTION

Dr. Matthias Arlt (verantwortlich) · Dr. Christiane Hilgardt ·
Dr. Tamara Worzewski · Dr. Alexander Graf ·
Dr. Hanna Berger

Sitz der Gesellschaft: Berlin
Registergericht: Amtsgericht
Berlin-Charlottenburg, HRB 211970 B
Steuernummer: 1130/261/50187
Geschäftsführer: Dr. Matthias Arlt
E-Mail: info@die-blattmacher.com

AUTORINNEN UND AUTOREN

Dr. Christiane Hilgardt (Blattmacher GmbH)
Redaktion Pflanzenforschung.de

LAYOUT Dirk Biermann Grafik Design, Potsdam

DRUCK GS Druck und Medien GmbH, Potsdam

DANK

Wir danken Frau Dr. Carolin Schneider von der Inoq GmbH in Schnega für die freundliche Unterstützung und die Bereitstellung wissenschaftlicher Abbildungen.
www.inoq.de

ABOSERVICE

**Abonnieren Sie den
GENOMXPRESS SCHOLÆ
unter www.genomxpress.de**

Falls Sie das Heft nicht mehr beziehen möchten, bitte wenden Sie sich an PLANT2030@die-blattmacher.com

Von der letzten Seite
im Heft auf die erste
Seite im Netz:
Pflanzenforschung.de



www.Pflanzenforschung.de

ist das Wissensportal zur Pflanzenforschung.

Pflanzenforschung.de wird begleitend zum Forschungsprogramm PLANT 2030 durch das BMBF gefördert. Zum Angebot gehören News, Beiträge, Fakten und Hintergründe zu den aktuellen Erkenntnissen und Fortschritten aus der Forschung.

Vom Biologieunterricht zur Pflanzenforschung

Das Portal unterstützt Lehrkräfte bei ihrer Arbeit ebenso wie eigenständiges Lernen und Recherchieren für Schule und Studium. Basiswissen wird mit aktuellen Highlights aus der Forschung und erstaunlichen Erkenntnissen aus der Welt der Pflanzen kombiniert. Über das Portal finden sich nicht nur Hausaufgabenhilfen für den Biologieunterricht, sondern auch Wegweiser und Beschreibungen zu interessanten Studiengängen und Berufen rund um das Thema Pflanze.

www.Pflanzenforschung.de

Mit der Herausgabe des GENOMXPRESS SCHOLÆ wollen wir dazu beitragen, aktuelle Forschungsthemen in den Schulunterricht der Sekundarstufe II einzubringen. Schülerinnen und Schüler sollen die biologischen Hintergründe verstehen, die gesellschaftlichen Implikationen durchdringen und so den Debatten unserer Gesellschaft auf Augenhöhe begegnen und diese wissenschaftsbasiert mitgestalten können.

Wir wünschen Ihnen viel Freude beim Lesen dieser Ausgabe,
Ihre GENOMXPRESS SCHOLÆ Redaktion der PLANT 2030 Geschäftsstelle

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Kostenloses Abonnement und mehr Informationen unter
www.genomxpress.de und **www.pflanzenforschung.de**.