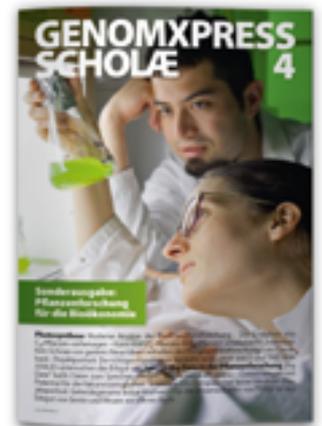
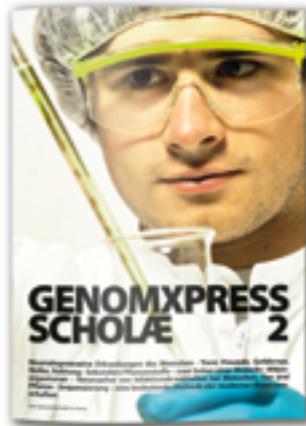


GENOMXPRESS SCHOLAE 5



Moderne Landwirtschaft

Züchtung Züchtung im Genomzeitalter · Landwirtschaft in Zeiten des Klimawandels · Dem Phänotyp einen Schritt voraus · Interview: Genbank Eine Schatzkammer der Vielfalt · Projektportraits: Forschung für gesunde Kühe und hochwertiges Bier **Agrarsysteme** Auf der Suche nach der Landwirtschaft der Zukunft · Der digitale Bauernhof · Salat im Weltall Projektportrait: Tomatenfische aus der Stadt · Interview: ZFarm – Landwirtschaft ohne Land



Was ist der GENOMXPRESS SCHOLÆ?

Der **GENOMXPRESS SCHOLÆ** bietet aktuelle Themen aus der Wissenschaft in einer direkt im Unterricht einsetzbaren Form. Die vorliegende fünfte Ausgabe zum Thema „Moderne Landwirtschaft“ wird von PLANT

2030 herausgegeben. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) fördert den **GENOMXPRESS SCHOLÆ** wie auch die vorgestellten Forschungsprojekte. Der **GENOMXPRESS SCHOLÆ** ist sowohl

in gedruckter als auch digitaler Form (pdf) erhältlich und wird kostenlos abgegeben. Informationen zum Heft und kostenloses Abonnement unter: www.genomxpress.de

Inhalt

2 Was ist der GENOMXPRESS SCHOLÆ? · Inhalt

3 Einführung · Wie funktioniert GENOMXPRESS SCHOLÆ 5?

5 Modul 1 – Züchtung

6 Übersicht: Züchtung im Genomzeitalter
Neues Wissen verändert seit jeher die Pflanzen- und Tierzucht

8 Fokus: Landwirtschaft in Zeiten des Klimawandels
Neue Pflanzensorten helfen die Ernte auch in Zukunft zu sichern

10 Fokus: Dem Phänotyp einen Schritt voraus
Molekulare Marker ermöglichen effiziente und präzise Züchtung

12 Interview: Genbank – Eine Schatzkammer der Vielfalt
Ein Interview mit Professor Dr. Andreas Graner vom Leibniz-Institut für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung (IPK) Gatersleben

14 Projektportraits: Forschung für gesunde Kühe und hochwertiges Bier
Projekt 1: Kuh-L erforscht die Genetik leistungsstarker und gesunder Kühe
Projekt 2: INNO GRAIN-MALT ist hochwertigem Braumalz auf der Spur

17 Modul 2 – Agrarsysteme

18 Übersicht: Auf der Suche nach der Landwirtschaft der Zukunft
Wie ernähren wir zehn Milliarden Menschen?

20 Fokus: Der digitale Bauernhof
IT-Steuerung macht für Landwirte vieles einfacher und noch mehr anders

22 Fokus: Salat im Weltall
Geschlossene Produktionssysteme machen's möglich

24 Projektportrait: Tomatenfische aus der Stadt
ASTAF-PRO kombiniert clever die Produktion von Fischen und Gemüse

26 Interview: ZFarm – Landwirtschaft ohne Land
Ein Interview mit Diplom-Ingenieurin Kathrin Specht vom Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e. V.

28 Glossar

30 Praxis – Und was kann ich selbst machen?

31 Impressum



Es „wird derhalben die größte Kunst, Wissenschaft, Fleiß und Einrichtung hiesiger Lande darinnen beruhen [...], daß es eine kontinuierliche beständige und nachhaltige Nutzung gebe [...], ohne welche das Land in seinem Esse nicht bleiben mag.“ Johann Carl von Carlowitz (1645 – 1714)

Johann Carl von Carlowitz gilt als Erfinder der Nachhaltigkeit. Vor gut 250 Jahren erkannte er, dass die zur damaligen Zeit voranschreitende Abholzung der Wälder Krisen auslösen würde. Seine Lösung war die „nachhaltende“ forstliche Bewirtschaftung, so dass nur genutzt werde, was nötig sei, und für jeden gefällten Baum ein neuer gepflanzt werden müsse. An dem Prinzip der Nachhaltigkeit, dass heutige und künftige Generationen ihre Bedürfnisse stillen können, orientiert sich auch die moderne Landwirtschaft.

Die Landwirtschaft als Primärproduzentin muss hohen, teils widersprüchlichen Anforderungen gerecht werden. Wir benötigen gesunde und ausreichend Lebensmittel für eine stetig wachsende Erdbevölkerung. Im Sinne einer Bioökonomie brauchen wir biologische, nachwachsende Rohstoffe und Quellen erneuerbarer Energie, um uns von fossilen Ressourcen zu lösen. Dabei muss die moderne Landwirtschaft nachhaltig sein, in allen drei Dimensionen: ökologisch, ökonomisch und sozial. Ein sich veränderndes Klima bringt zusätzlich Herausforderungen mit sich.

Auf die Frage, wie alle Bedürfnisse gestillt werden können, ohne noch mehr in natürliche Lebensräume einzugreifen, gibt es jedoch keine einfache, zufriedenstellende Antwort. Vielmehr wird die Lösung kleinteilig

Moderne Landwirtschaft

Modul 1: Züchtung

Züchtung schafft seit jeher Vielfalt unter Nutzpflanzen und -tieren. In der Forschung trifft altes Wissen auf moderne Technologien, damit die Landwirtschaft stetig ändernden Herausforderungen gewachsen ist.

Modul 2: Agrarsysteme

Die Lebensräume der Erde sind vielfältig. Entsprechend unterschiedlich sind die Anforderungen an landwirtschaftliche Systeme. Die Wissenschaft forscht daher an Agrarsystemen, die jeweils optimal zu den ökologischen, klimatischen und sozialen Bedingungen vor Ort passen.

sein, mit vielen kleinen Verbesserungen, die zu großen Trends werden. In der Wissenschaft wird daher in viele Richtungen geforscht, von direkt anwendbaren Erfindungen bis hin zu visionärem Umdenken. Die Bestrebungen lassen sich zwei Hauptströmungen zuordnen. Die einen arbeiten an der kontinuierlichen Verbesserung von Nutzpflanzen und -tieren, die anderen erforschen existierende und völlig neue landwirtschaftliche Systeme.

Wir haben deshalb den GENOMXPRESS SCHOLÆ 5 zum Thema „Moderne Landwirtschaft“ in die zwei Module Züchtung und Agrarsysteme gegliedert. Die Ausgabe spiegelt so die aktuellen Entwicklungen und Ergebnisse der Forschung wider. Wie die vor-

herigen Ausgaben ist auch dieses Heft in sich stimmig und jeder Artikel kann unabhängig oder im Modulkontext in den Unterricht integriert werden. Wir haben in dieser Ausgabe verstärkt weiterführende Informationen thematisch passend zusammengestellt und online verfügbar gemacht, um tiefergehende Recherchen zu vereinfachen.

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

Wie funktioniert GENOMXPRESS SCHOLÆ 5?

Das Heft gliedert sich in **zwei thematische Module**. Diese können individuell und unabhängig voneinander in den Unterricht integriert werden. Die Inhalte und Themen des Heftes stammen aus den Forschungsprojekten von PLANT 2030 und anderen vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Aktivitäten. Auf diese Weise bieten Sie den direkten Einblick in aktuelle Forschungsprojekte.

Zu Beginn eines Moduls steht eine **Übersicht**, die in Inhalte sowie Herausforderungen und Lösungsansätze des Forschungsgebiets einführt. Im **Fokus** wird ein Thema vertieft, bevor im **Projektportrait** ein aktuelles Forschungsprojekt vorgestellt wird. In den **Interviews** geben Fachleute persönlichen Einblick in Ihre Forschung. In **Boxen** angeordnet finden sich passend zum jeweiligen Artikel Arbeitsaufträge,

Kurzinformationen zu Forschung und wichtigen Stichworten sowie Hinweise zu weiterführendem Material. Am Ende des Heftes erklärt ein modulübergreifendes **Glossar** die wichtigsten Begriffe. Im Extra **Praxis** gibt es Tipps für Projektarbeiten sowie Hinweise zu relevanten Schülerlaboren und spannenden Exkursionszielen.

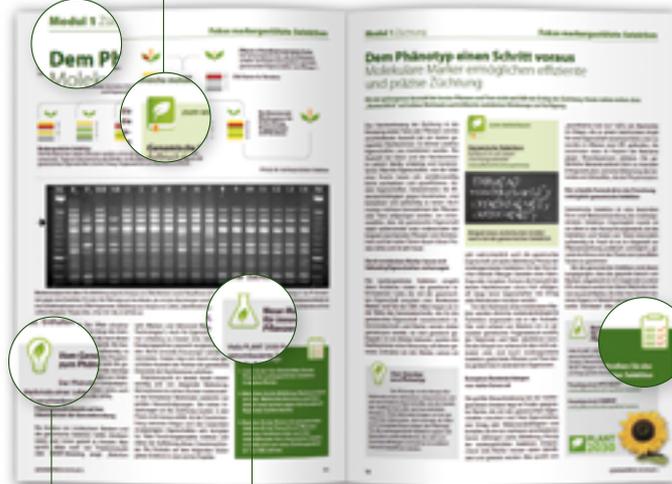
Auf www.pflanzenforschung.de/qr/scholae5 sind die Artikel, weiterführendes Material, Primärliteratur und andere passende Inhalte anschaulich zusammen gestellt. Hier finden Sie auch Hinweise zum Bezug des Didaktikhefts, zum kostenlosen Abonnement und zu früheren Ausgaben des GENOMXPRESS SCHOLÆ sowie weitere Unterrichtshilfen zu verschiedenen Themen der Pflanzenforschung.

Arbeitsmaterialien

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

Zum Weiterlesen

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



Arbeitsaufträge

Die Lösung erfordert eine tiefgehende 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.

Infobox

Wichtige Stichworte und Inhalte werden prägnant erklärt.



Forschungsbox

Die Kurzvorstellung relevanter Forschungsprojekte erleichtert weitergehende Recherchen.



Didaktik

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.

Modul 1 Züchtung



Züchtung schafft seit jeher Vielfalt unter Nutzpflanzen und -tieren. In der Forschung trifft altes Wissen auf moderne Technologien, damit die Landwirtschaft stetig ändernden Herausforderungen gewachsen ist.

Züchtung im Genomzeitalter

Neues Wissen verändert seit jeher die Pflanzen- und Tierzucht

Die Züchtung von Nutztieren und -pflanzen ist wichtig, um den Anforderungen einer sich ändernden Welt an die Landwirtschaft gerecht zu werden. Dabei revolutioniert das stetig wachsende Wissen über Erbinformation konventionelle Ansätze und bringt neue Züchtungs- und Analysewerkzeuge hervor. Wie diese eingesetzt werden, ist eine Frage, die nicht nur Fachleute betrifft.

Ernährungssicherheit, wachsende Bevölkerung, Klimawandel – was wie moderne Schlagworte klingt, war vermutlich bereits in der Steinzeit Motor für eine der größten Umwälzungen der Menschheitsgeschichte. In dem als neolithische Revolution bezeichneten Übergang vom Wildbeutertum zum Ackerbau und zur Viehzucht begannen Menschen sich gezielt bestimmte Pflanzen und Tiere nutzbar zu machen. Die Auslese der am besten geeigneten Individuen führte im Laufe der Zeit zur Entstehung von Nutzpflanzen und Nutztieren und ist eine der klassischen Methoden der Züchtung.

Die Grüne Revolution brachte die ersten Hohertragsorten hervor

Das 20. Jahrhundert markierte einen weiteren gewaltigen Umbruch in der Landwirtschaft, insbesondere der Nutzpflanzenzüchtung. Charles Darwins Evolutionstheorie und Gregor Mendels Regeln der Vererbung ebneten den Weg für die sogenannte Grüne Revolution. Dazu trug auch die Entwicklung

der Hybridzüchtung bei. Diese beruht auf der Regel, dass sogenannte F1-Hybride, also die direkten Nachkommen aus der Kreuzung zweier Inzuchtlinien, leistungsfähiger sind als die Elternlinien. In den 1950er Jahren wurden mit dem neuen Wissen die ersten Hohertragsorten verschiedener Nutzpflanzen gezüchtet. Zusammen mit der Technisierung der Landwirtschaft und dem Einsatz von Pflanzenschutzmitteln führte die Grüne Revolution zu einer enormen Ertragssteigerung im Pflanzenanbau.

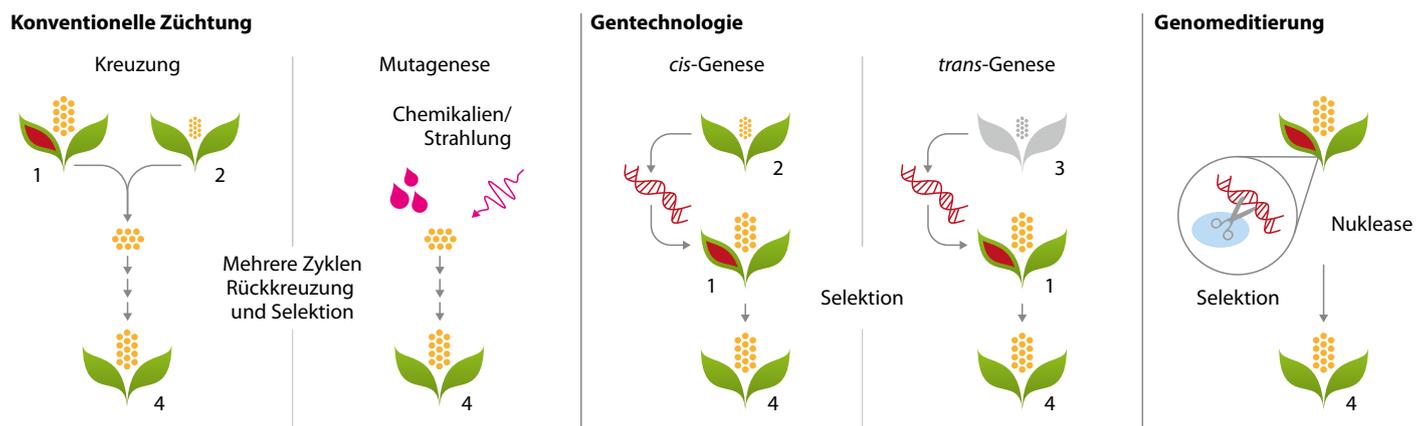
Neben vielen Fortschritten gibt es auch Schattenseiten der Grünen Revolution. Vielerorts ging sie mit einer hohen Umweltbelastung und Wasserverknappung einher. Heute ist in Deutschland sowohl in der Forschung als auch in der Züchtung und landwirtschaftlichen Praxis Nachhaltigkeit und Umweltschutz ein wichtiges Thema.

Aus der Hybridzüchtung hervorgegangene Pflanzen werfen nur in der ersten Generation einen sehr hohen Ertrag ab. Daher muss jedes Jahr neues hybrides Saatgut aus den Inzuchtelterlinien hergestellt werden. Ein

Ausweg könnte die klonale Vermehrung von Hybridpflanzen sein. Hier werden besonders gute Sorten vegetativ, beispielsweise durch Stecklinge, vermehrt. Wissenschaftlich konnte nun erstmals gezeigt werden, dass die eigentlich alte Idee der vegetativen Vermehrung auch bei Hybriden funktioniert und die starke Leistung für mindestens zwei Klonegenerationen erhalten bleibt.

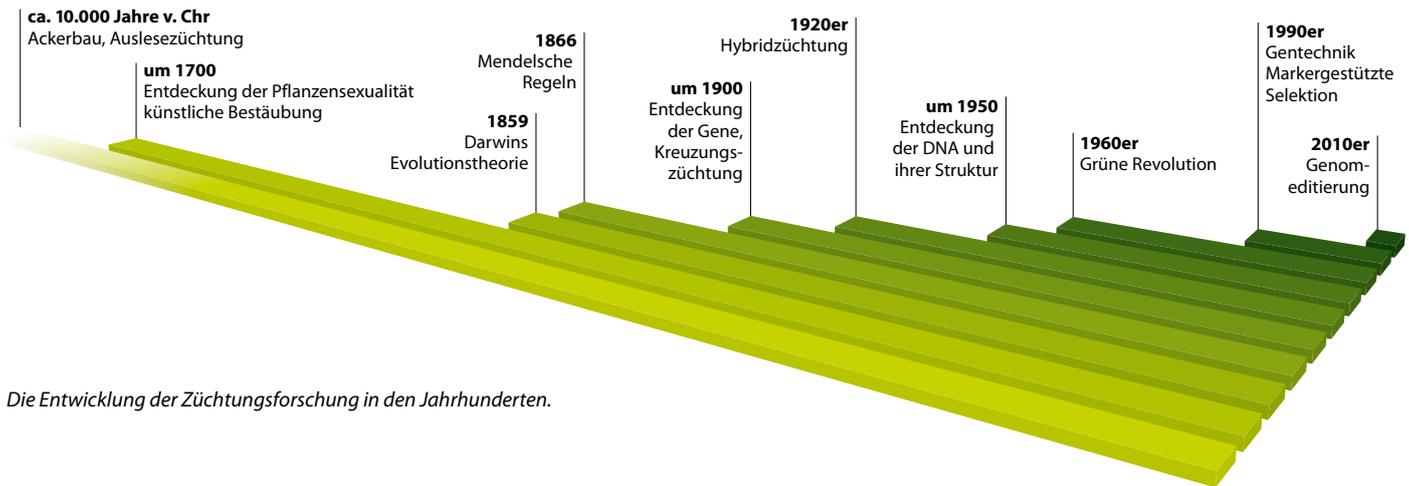
Genanalyse erleichtert die Auswahl gewünschter Nutztiere und -pflanzen

Die Weiterentwicklung von Nutzpflanzen und -tieren beruht im Wesentlichen auf Veränderungen ihres Erbguts. Mutationen treten etwa natürlicherweise und spontan auf. Sie können aber auch verstärkt durch Bestrahlung oder Chemikalien ausgelöst werden. Durch diese zufälligen Veränderungen im Erbgut entstehen eventuell neue Genvarianten mit anderen, positiven Eigenschaften. Die meisten Mutationen sind jedoch unerwünscht. Sie bringen keine offensichtlichen Effekte hervor oder sie verringern sogar die Lebens- und



Verschiedene Züchtungsmethoden führen zum Ziel verändert nach Huang et al. (2016) Nature Genetics Vol. 48

Eine Hochleistungssorte (1) soll resistent gegen eine bestimmte Krankheit (rot) werden. In der **konventionellen Züchtung** wird die Erbinformation dazu durch Kreuzung mit einer resistenten Sorte (2) eingebracht. Alternativ wird das Genom der Hochleistungssorte durch Bestrahlung oder Chemikalien verändert (Mutagenese). Zufällig kann so auch die gewünschte Veränderung auftreten. Um möglichst viele Eigenschaften der Hochleistungssorte zu erhalten, werden die Nachkommen mehrfach rückgekreuzt und selektiert. Bei der klassischen **Gentechnologie** wird die Erbinformation, die die Resistenz bewirkt, von einem anderen Organismus in die Hochleistungssorte (1) übertragen. Der Spenderorganismus kann eine resistente Sorte der gleichen Art (2) sein (*cis-Genese*) oder artfremd (*trans-Genese*), beispielsweise eine andere Pflanzenart (3), ein Pilz oder ein Bakterium. Durch **Genomeditierung** wird die Erbsubstanz eines Lebewesens sehr genau verändert. Dazu schneiden Nukleasen wie molekulare Scheren einen DNA-Strang passgenau. Die entstandene Veränderung lässt sich meist nicht von einer natürlichen, spontanen Mutation unterscheiden. Bei jeder Methode ist die gewonnene resistente Hochleistungssorte (4) genetisch verändert. Die durch Gentechnologie gewonnenen Pflanzen werden als gentechnisch verändert eingestuft und fallen unter das Gentechnikgesetz. Bei der Genomeditierung wird die Einstufung diskutiert.



Die Entwicklung der Züchtungsforschung in den Jahrhunderten.



zum Weiterlesen:

Wie CRISPR/Cas funktioniert

Eine einfache Technologie verbessert die Effizienz der Genom Editierung
www.pflanzenforschung.de/qr/crispr_cas9

Leistungsfähigkeit der Organismen.

Um herauszufinden, ob ein Tier oder eine Pflanze eine gewünschte Genvariante trägt, werden in der Präzisionszucht moderne Methoden der Genanalyse angewandt (siehe Seite 10 – 11). So kann die Selektion geeigneter Tier- und Pflanzenvarianten in einem frühen Entwicklungsstadium erfolgen, ohne mehrere Generationszyklen abwarten zu müssen.

Grüne Gentechnik ermöglicht ein zielgerichtetes Einbringen vorteilhafter Eigenschaften

Zurzeit befinden wir uns inmitten der nächsten Revolution in der Geschichte der Züchtung. Durch die Grüne Biotechnologie stehen heute neue Werkzeuge zur Verfügung, mit denen die Erbsubstanz von Nutzpflanzen und -tieren zum einen verstanden und zum anderen gezielt verändert werden kann. Von Gentechnik spricht man dabei, wenn genetisches Material in einer Weise verändert wird, wie sie unter natürlichen Bedingungen durch Kreuzen oder natürliche Rekombination nicht vorkommt.

Die Gentechnik eröffnet Wege, gezielt und schnell Pflanzen und Tiere mit bestimmten Eigenschaften zu gewinnen, während bei der Mutationszüchtung Veränderungen zufällig und daher unkontrolliert auftreten. Kritiker der Gentechnik befürchten jedoch unter anderem eine Auskreuzung des eingeführten genetischen Materials bei Pflanzen und unabhsehbare Umweltfolgen. Zurzeit werden keine gentechnisch veränderten Pflanzen in

Deutschland kommerziell angebaut (Stand August 2016). Lebensmittel, die Material genetisch veränderter Organismen enthalten, werden nur nach einer strengen Sicherheitsbewertung zugelassen.

Die Definition von Gentechnik klingt plausibel, stößt jedoch häufig an ihre Grenzen, da nicht klar ist, was natürlicherweise möglich ist. So wurde mithilfe der Evolutionsforschung herausgefunden, dass die Übertragung von Genen zwischen verschiedenen Arten, sogenannter horizontaler Gentransfer, in der Natur deutlich häufiger auftritt als bisher angenommen. Ein Forschungsteam stieß bei der Untersuchung eines Moores auf 57 Genfamilien, die ursprünglich von Pilzen, Bakterien und Viren stammen.

Die noch junge Genomeditierung revolutioniert ein ganzes Forschungsfeld

Auch auf die aktuell sich entwickelnde Genomeditierung ist die momentane Gentechnikdefinition nicht anwendbar. Darunter fallen Techniken, bei denen das Erbgut sehr präzise verändert wird. Dazu werden sogenannte Nukleasen verwendet, die wie molekulare Scheren einen DNA-Strang passgenau schneiden und dadurch verändern können. Ein seit 2012 bekanntes Schneidesystem, genannt CRISPR/Cas9, revolutioniert derzeit das gesamte Forschungsfeld, da es sehr genau arbeitet und dabei leicht zu handhaben ist.

Im Gegensatz zu klassischen Methoden der Gentechnik wird durch Genomeditierung oft nur eine einzelne Base, also ein „Buchstabe“ der Erbsubstanz, ausgetauscht. Solche Mutationen passieren auch natürlicherweise ständig und sind der Motor der Evolution und Züchtung. Daher unterscheidet sich ein Lebewesen, bei dem die Mutation spontan aufgetreten ist, meist nicht von einem, das editiert wurde, so dass eine Einordnung als gentechnisch veränderter Organismus fraglich ist. Ob durch Genomeditierung veränderte Pflanzen und Tiere zukünftig in Europa als gentech-

nisch verändert eingestuft werden, wird zurzeit stark diskutiert (Stand August 2016).

Heutige Anforderungen an die Züchtung sind vielfältig

Moderne Sorten sollen vielen Ansprüchen gerecht werden. So sollen Nutzpflanzen hohe Erträge und Qualität sicherstellen, effizient Nährstoffe und Wasser nutzen, im Anbau möglichst wenig Pestizide benötigen, widerstandsfähig gegenüber Krankheiten und Umweltstress sein. Sie sollen nicht nur unsere Ernährung bedienen sondern auch besondere Inhaltsstoffe wie beispielsweise Medikamente herstellen, Rohstoff für die verarbeitende Industrie sowie Energielieferant sein, und zum Schutz der Umwelt und des Klimas beitragen.

Die Anforderungen sind hoch und zum Teil schwer miteinander zu vereinen. Welche Methoden zur Züchtung von Nutzpflanzen und -tieren in Zukunft eingesetzt werden, um diesen Herausforderungen zu begegnen, ist daher ein wichtiges Thema der öffentlichen Diskussion.



Arbeitsaufträge

1. Lesen Sie den Text. Arbeiten Sie soziale, ökologische und ethische Aspekte heraus, die bei der Züchtung beachtet werden müssen.
2. Informieren Sie sich über die genaue Definition von „gentechnisch veränderten Organismen“ im Gesetz zur Regelung der Gentechnik (§ 3 Abs. 3 GenTG). Wägen Sie Vor- und Nachteile der Grünen Gentechnik ab.
3. Erklären Sie, wie Genomeditierung funktioniert. Nehmen Sie Stellung, ob die Methode als Gentechnik eingestuft werden sollte. Sie können dazu den Artikel „Wie CRISPR/Cas9 funktioniert“ zur Hilfe nehmen.

Landwirtschaft in Zeiten des Klimawandels

Neue Pflanzensorten helfen die Ernte auch in Zukunft zu sichern

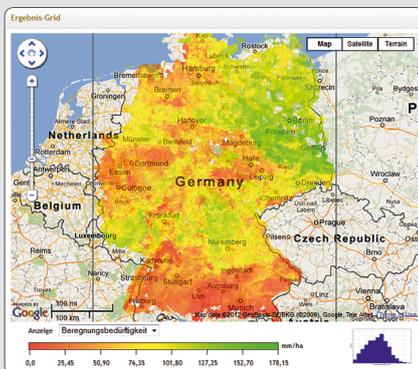
Klimawandel und Wetterextreme beeinflussen den Pflanzenanbau wie kaum einen anderen Sektor. Gleichzeitig steht die Landwirtschaft allgemein auch als Produzentin von Treibhausgasen im Fokus aktueller Diskussionen. Gezielte Forschung und Züchtung schaffen Möglichkeiten zukünftige Herausforderungen zu meistern.

Wie warm wird es im Schnitt in Norddeutschland in 20 Jahren sein? Wie viel wird es im Süden regnen? Unter Fachleuten ist es weithin anerkannt, dass der Gehalt an Treibhausgasen in der Atmosphäre steigt und sich das Klima global verändern wird. Doch welche Folgen dies für das regionale Wetter haben wird, ist schwer absehbar. Genau das ist jedoch von großer Bedeutung für die Landwirtschaft. Dabei können die Auswirkungen gravierend sein, schließlich bildet die Landwirtschaft die Grundlage der Welternährung, erzeugt Rohstoffe für die Industrie sowie Bioenergie und schafft Arbeitsplätze.



LandCaRe-DSS: Wie beeinflusst der Klimawandel die regionale Landwirtschaft?

Die lokalen Wetterbedingungen sind entscheidend für die Landwirtschaft, jedoch schwer langfristig vorherzusehen. Hier setzt das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderte Projekt LandCaRe-DSS an. In genauen, regionalen Analysen kombinieren die Forschenden Erkenntnisse aus Wissenschaft und Praxis, um eine modellbasierte Entscheidungshilfe für Landwirtschaft und Politik bereitzustellen. www.landcare-dss.de



Modellbeispiel aus LandCaRe-DSS. Gezeigt ist die Beregnungsbedürftigkeit verschiedener Regionen, wobei grün einen hohen Bedarf anzeigt, rot einen niedrigen. Abbildung aus: Köstner, Wenkel und Bernhofer (2012) Neue modellbasierte Informationssysteme für Klimafolgenzenarien in der Landwirtschaft. In: Deutscher Wetterdienst (Hrsg.) ProMet, Jg. 38, Nr. 1/2, 42-52

Verschiedene Wissenschaftsdisziplinen untersuchen regionale wie globale Einflüsse und entwickeln Nutzpflanzensorten, die besser an bestimmte Wetterextreme angepasst sind.

Hitze und Dürre reduzieren den Getreideertrag am dramatischsten

Extreme Wetterphänomene wie Dürre, Hitze und Überschwemmungen treten seit Mitte des zwanzigsten Jahrhunderts vielerorts vermehrt auf und die Klimaforschung geht von einer weiteren Häufung in Zukunft aus. Bisher war jedoch unklar, wie stark die verschiedenen Extreme die Ernte von Getreide beeinflussen.

Einer neuen, umfassenden Studie zufolge hat sich die Getreideproduktion vor allem durch Dürren und Hitze um durchschnittlich neun bis zehn Prozent verringert. Dabei wurden die Auswirkungen über den Beobachtungszeitraum von über 40 Jahren immer stärker und Industrienationen sind um acht bis elf Prozent stärker betroffen als Entwicklungsländer. Die Forschenden sehen einen Grund dafür im vermehrten Anbau von Nutzpflanzen als großflächige Monokulturen in den Industrieländern. Kommt es zu einer Dürre, werden große Flächen sensibler Pflanzen geschädigt. In der kleingliedrigen Landwirtschaft der Entwicklungsländer werden

dagegen häufig verschiedene Sorten einer Pflanzenart angebaut, die unterschiedliche Toleranzniveaus besitzen. So sind nur manche Felder betroffen und die Ertragsverluste insgesamt geringer.

Fluten und extreme Kälte haben dagegen global kaum einen Effekt, da sie meist außerhalb der typischen Vegetationsperiode geschehen. So treten Überschwemmungen

Wie passen sich Pflanzen an extreme Bedingungen an?

Spannende Informationen bietet das PLANTAINMENT Extreme www.pflanzenforschung.de/de/themen/extreme/



häufig nach der Schneeschmelze auf. Lokal können Fluten durchaus große Schäden verursachen, beispielsweise beim Anbau von Reis in Südostasien.

Auch für Landwirte in Deutschland ist Trockentoleranz neben Ertrag eine wichtige Eigenschaft, nach der sie Sorten für den Anbau auswählen. Laut einer aktuellen wissenschaftlichen Umfrage geben 78 Prozent der befragten Landwirte an, klimabedingte Veränderungen im Pflanzenanbau wahrzunehmen.



Wildtomaten besitzen verschiedene Schutzmechanismen gegen Trockenheit.



Hitze und Dürre reduzieren den Ertrag um neun bis zehn Prozent.

men, und 57 Prozent sehen einen stärker werdenden Einfluss von Trockenheit.

Genomforschung öffnet Wege zu trockenoleranteren Pflanzen

In der Züchtungsgeschichte der Nutzpflanzen wurde meist auf Ertrag, Aussehen und Qualität selektiert. Häufig sind im Verlauf Gene, die Resistenzen gegen Krankheiten oder Stress vermitteln, verloren gegangen. Um solche Erbinformation zu entdecken und wieder nutzen zu können, entschlüsselt die Wissenschaft die Genome von Wildsorten, die Verwandte heutiger Nutzpflanzen sind. So wurde die Erbsubstanz der Wildtomate sequenziert, um Gene zu finden, die für Stresstoleranz wichtig sind (siehe auch GENOMXPRESS SCHOLÆ 4, *Big Data*).

Insgesamt wurden bisher 100 Gene identifiziert, die bei der Reaktion und Anpassung an eine trockene Umgebung oder einen hohen Salzgehalt im Boden eine Rolle spielen können. Beispielsweise ist in Wildtomaten ein Gen viel stärker aktiv, das für die Ausbil-

dung der Cuticula, also der wachshaltigen Schutzschicht auf den Blättern, wichtig ist. Der Wachsgehalt ist bei der wilden Pflanze daher dreifach höher als bei den heutigen Kultursorten und schützt diese vor Austrocknung. Bei der gezielten Kreuzung kann dieses Wissen nun genutzt werden, um trockenolerantere Kulturtomaten zu gewinnen.

Treibhausgase und Landwirtschaft beeinflussen sich gegenseitig

Die Konzentration und Emissionen an Treibhausgasen nehmen stetig zu. Dazu trägt auch die Landwirtschaft bei. 2014 stammten 7,3 Prozent der gesamten Treibhausgas-Emissionen in Deutschland aus der Landwirtschaft. Die Emissionen in diesem Bereich bestehen hauptsächlich aus der Freisetzung von Methan (CH₄) aus der Tierhaltung und Lachgas (N₂O) durch Düngung.

Der Anstieg an Treibhausgasen beeinflusst unmittelbar auch die Landwirtschaft. Da sich Pflanzen durch Photosynthese von Kohlenstoffdioxid ernähren, wachsen möglicherweise einige Nutzpflanzen durch den erhöhten CO₂-Gehalt schneller (siehe auch GENOMXPRESS SCHOLÆ 4, *Photosynthese*). Auch gibt es Projekte, in denen das CO₂ aus den Abgasen von Kraftwerken direkt durch sogenannte Mikroalgen, also photosynthetisch aktive Einzeller, in wertvolle Biomasse umgewandelt wird.

Gleichzeitig kann das schnellere Pflanzenwachstum zu Qualitätsverlusten führen. So wurde herausgefunden, dass ein hoher CO₂-Gehalt in der Luft den Proteingehalt in Weizen um acht Prozent senkt. Damit verschlechtert sich die Qualität des Getreides, da die Proteine für die menschliche und tierische Ernährung sowie für das Backverhalten wichtig sind. Die Untersuchungen legen nahe, dass sich der Mangel an Proteinen in den Pflanzen auch nicht durch eine verstärkte Düngung ausgleichen lässt.



zum Weiterlesen:

Wenn das Klima zuschlägt:

Rückblick und Prognose: Wetterextreme sind eine Gefahr für den Getreideanbau
www.pflanzenforschung.de/qr/wetterprognose

Wild und tolerant:

Gene der Wildtomate für Stresstoleranz identifiziert
www.pflanzenforschung.de/qr/wildtomate

Aus CO₂ wird „grünes Öl“:

Kohlenstoffgewinnung aus Kohlendioxid schont fossile Quellen
www.pflanzenforschung.de/qr/algenoel

Alte Daten neu berechnet:

Treibhausgasemissionen – Trend weiter steigend
www.pflanzenforschung.de/qr/treibhausgase

CO₂-Anstieg fördert Virenbefall:

Weizen in Gefahr
www.pflanzenforschung.de/qr/weizenviren

Kraftloses Korn:

Klimawandel verschlechtert Weizenqualität
www.pflanzenforschung.de/qr/weizenqualitaet

Außerdem konnte wissenschaftlich nachgewiesen werden, dass Weizen, der unter erhöhtem Kohlenstoffdioxidgehalt in der Luft gewachsen ist, weniger resistent gegen bestimmte Viren ist. Die Vermehrung der Viren war in diesen Pflanzen um 37 Prozent erhöht. Die genauen Zusammenhänge werden nun untersucht, um dem Qualitätsverfall der Pflanzen und einer Anfälligkeit für Krankheiten vorbeugen zu können.

Insgesamt stellt der Klimawandel die Landwirtschaft und die Forschung vor große Herausforderungen. Moderne Wissenschaft und die Züchtung neuer Sorten können dazu beitragen, auch unter den sich verändernden Bedingungen das Ausmaß und die Qualität der Erträge zu sichern.

Arbeitsaufträge

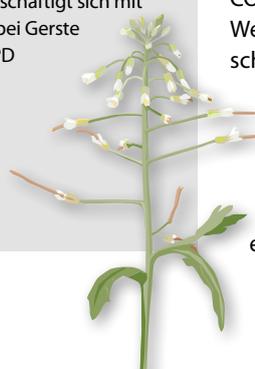


1. Erklären Sie anhand des Textes, wie Wetterextreme die Landwirtschaft beeinflussen. Welche Wetterextreme sind besonders bedeutend? Wie unterscheiden sich globale und lokale Einflüsse?
2. Recherchieren und erläutern Sie, welche Strategien und Anpassungen Pflanzen an Trockenheit entwickelt haben. Sie können dazu die Inhalte des PLANTAINMENT „Extreme“ zu Hilfe nehmen.



Pflanzen im Stress – Forschung für erhöhte Trockentoleranz

Viele PLANT 2030 Forschungsprojekte untersuchen die Verbesserung der Stresstoleranz bei Pflanzen. Beispielsweise nutzen Forschende bei DELLA-STRESS die Modellpflanze Ackerschmalwand, CLIMATE CHANGE sowie INNO GRAIN-MALT beschäftigt sich mit Hitze- und Trockentoleranz bei Gerste (siehe Seite 14 – 16), und PPD widmet sich der Tomate.



Dem Phänotyp einen Schritt voraus

Molekulare Marker ermöglichen effiziente und präzise Züchtung

Mit der gelungenen Auswahl der besten Pflanzen und Tiere steht und fällt der Erfolg der Züchtung. Heute stehen neben dem „Züchterblick“ auf äußere Merkmale auch hilfreiche molekulare Werkzeuge zur Verfügung.

Das Handwerkszeug der Züchtung ist die Kreuzung zweier Tiere oder Pflanzen und die anschließende Auswahl der am besten geeigneten Nachkommen. So können positive Eigenschaften neu kombiniert werden. Die Auswahl der Eltern und der Nachkommen ist jedoch häufig schwierig und kostenintensiv. Manche Eigenschaften, wie die Süße einer Frucht, lassen sich verhältnismäßig leicht nachweisen und quantifizieren. Andere Eigenschaften, beispielsweise die Widerstandsfähigkeit gegen Krankheiten, sind komplexer und aufwendig zu testen. Auch müssen mehrere Generationen der Pflanzen oder Tiere aufgezogen werden, um sicherzustellen, dass die gewünschte Eigenschaft stabil weitervererbt wird. Insbesondere bei langsam wachsenden Pflanzen wie Obstbäumen und bei vielen Tieren dauert dieser Prozess Jahre und ist sehr teuer.

Durch molekulare Marker lassen sich frühzeitig Eigenschaften vorhersagen

Die markergestützte Selektion umgeht diese Probleme, indem sie genetische Informationen nutzt, die mit der gewünschten Eigenschaft assoziiert sind. Molekulare Marker sind Teil der DNA. Meist liegen sie in der Nähe des Genomabschnitts, der für die gewünschte Eigenschaft verantwortlich ist. Genomabschnitt und Marker werden daher gemeinsam vererbt, sie sind genetisch gekoppelt. Ist ein Marker bekannt, werden die Nachkommen einer Kreuzung auf diesen getestet. Enthalten sie den Marker, weisen sie



Vom Genotyp zum Phänotyp

Der Phänotyp ist die Menge aller Merkmale eines Lebewesens. Diese können sich auf verschiedene Eigenschaften wie die Gestalt, den Stoffwechsel oder auch das Verhalten beziehen. Viele Merkmale hängen von der genetischen Information, dem Genotyp, ab. Aber auch Umwelteinflüsse prägen den Phänotyp. Für die markergestützte Selektion eignen sich besonders solche Merkmale, die stark vom Genotyp abhängen und wenig von anderen Faktoren beeinflusst werden.



zum Weiterlesen:

Genomische Selektion:

Aufbruch in ein neues Züchtungszeitalter
www.pflanzenforschung.de/qr/gs

$$E(X\beta|y, \sigma_\epsilon^2, \sigma_\beta^2) = \text{cov}(X\beta, y) \text{var}(y)^{-1} y = XX' \sigma_\beta^2 [XX' \sigma_\beta^2 + \sigma_\epsilon^2 I]^{-1} y = XX' [XX' + \sigma_\epsilon^2 \sigma_\beta^{-2} I]^{-1} y$$

Beispiel eines statistischen Schätzwerts bei der genomischen Selektion

sehr wahrscheinlich auch die gewünschte Eigenschaft auf (siehe Abbildung: Prinzip der markergestützten Selektion). Für den Test reichen kleinste Mengen Gewebe eines Keimlings oder Jungtiers. So kann die Auswahl der besten Nachkommen schon früh erfolgen, oft lange bevor Eigenschaften wie Ertrag oder Resistenzen messbar werden.

Für den Nachweis eines molekularen Markers werden ähnliche molekularbiologische Techniken angewandt wie in der Forensik. Hier wird anhand von Markern ein so genannter genetischer Fingerabdruck erstellt, der Täterinnen und Täter überführen kann. Da das Erbgut nur untersucht aber nicht verändert wird, sind durch markergestützte Selektion gezüchtete Pflanzen und Tiere keine gentechnisch veränderten Organismen.

Komplexe Merkmale hängen von vielen Genen ab

Die größte Herausforderung bei der markergestützten Analyse liegt im Finden geeigneter Marker, die mit den gewünschten Eigenschaften assoziiert sind. Viele Eigenschaften wie Ertrag oder Widerstandsfähigkeit sind komplex, da sie von mehreren verschiedenen Genen abhängen (siehe Abbildung: Prinzip der markergestützten Selektion). Entsprechend viele Marker müssen daher identifiziert und getestet werden. Man spricht von

„quantitative trait loci“ (QTL) als Abschnitte im Erbgut, die zu einem bestimmten Anteil für eine Eigenschaft verantwortlich sind. So wurden in Weizen zwei QTL gefunden, die zusammen etwa 50 Prozent der Resistenz gegen Ährenfusariosen erklären. Die gefährliche Weizenkrankheit führt zu massiven Ertragsverlusten und einer Belastung des Getreides mit Giftstoffen, die der Pilz produziert.

Der schnelle Fortschritt in der Forschung ermöglicht genomische Selektion

Genomische Selektion ist eine besondere Form und Weiterentwicklung der markergestützten Selektion. Ursprünglich wurde sie vor allem in der Tierzucht angewandt, da das Aufziehen und Testen von Tieren besonders aufwendig ist. Auch ist es im Gegenteil zur Pflanzenzüchtung praktisch unmöglich, genetische Klone von den Tieren zum parallelen Testen zu gewinnen.

Bei der genomischen Selektion wird davon ausgegangen, dass das gesamte Genom von Markern abgedeckt ist. Im Gegensatz zu einer QTL-Analyse werden bei dieser Methode mehrere tausend Marker, die über das Genom verstreut liegen, in Betracht gezogen und der gesamte Zuchtwert über alle Marker hinweg



Neue Marker für innovative Pflanzenzüchtung

Viele PLANT 2030 Projekte haben das Ziel, genombasierte Züchtungsstrategien zu entwickeln. Beispielsweise steht im Projekt RYE SELECT Roggen im Fokus, SUNRISE liefert wichtige genetische Daten der Sonnenblume.

Projektportrait RYE SELECT

www.pflanzenforschung.de/qr/ryeselect

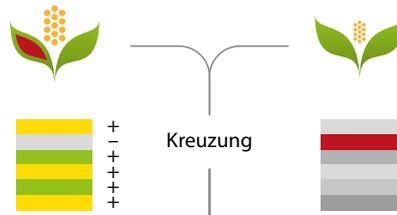
Projektportrait SUNRISE

www.pflanzenforschung.de/qr/sunrise



Pflanze 1: Konventionell gezüchtete Sorte

Die Sorte ist ertragreich und gut an ihren Standort angepasst. Mehrere Gene tragen dazu bei. Sie ist jedoch nicht resistent gegen eine bestimmte Krankheit.

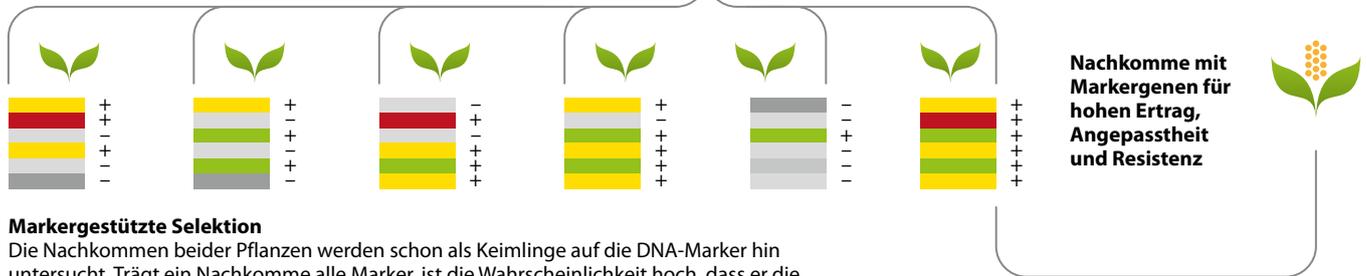


Pflanze 2: Krankheitsresistente Sorte

Die Sorte trägt ein Gen, das ihr Resistenz verleiht. Sie besitzt sonst jedoch nicht die gewünschten Eigenschaften von Pflanze 1.

DNA Marker für hohen Ertrag und Anpasstheit

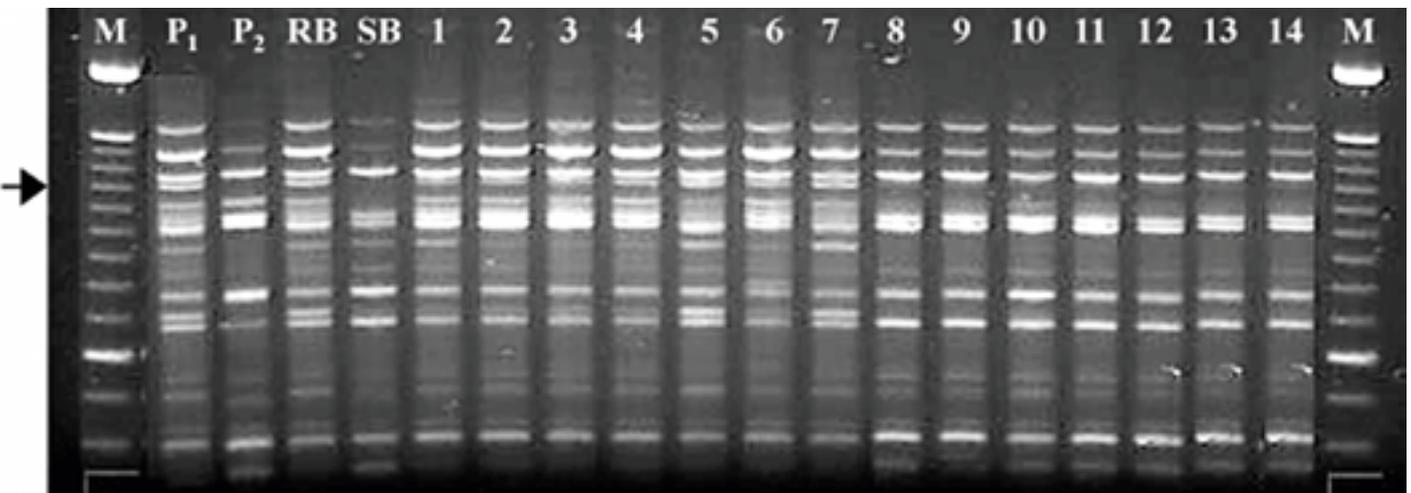
DNA Marker für Resistenz



Markergestützte Selektion

Die Nachkommen beider Pflanzen werden schon als Keimlinge auf die DNA-Marker hin untersucht. Trägt ein Nachkomme alle Marker, ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass er die gewünschten Eigenschaften (hoher Ertrag, Anpasstheit und Resistenz) aufweist.

Prinzip der markergestützten Selektion



Markeranalyse im Labor. Die Abbildung zeigt die Analyse von DNA-Markern zweier Reispflanzen (P1 und P2) und den Nachkommen ihrer Kreuzung (1-14). P1 ist resistent gegen eine Krankheit, P2 nicht. Der Pfeil zeigt auf den Marker, der mit dem Resistenzgen assoziiert ist. M, RB und SB sind Laborkontrollen. Die Analysemethode ist eine Gelelektrophorese von DNA-Fragmenten. Abbildung aus: Araújo et al. (2002) „Identification of RAPD marker linked to blast resistance gene in a somaclone of rice cultivar Araguaia.“ Fitopat. Bras. 27(2): 181-185, CC-BY-NC 4.0

rechnerisch bestimmt. Der Effekt einzelner Marker spielt keine Rolle. So hängt die Züchtung nicht mehr von Markern ab, nach denen zuvor in Stichproben gesucht wurde. Die Auswertung der vielen Daten ist aufwendig, so dass komplizierte bioinformatische Programme notwendig sind. Ermöglicht wird die genomische Selektion daher durch die ständige Weiterentwicklung von Methoden zur Untersuchung des Erbguts und von Computerprogrammen zur Analyse der Daten (siehe auch GENOMXPRESS SCHOLÆ 4, Big Data).

Präzisionszucht beruht auf den Erkenntnissen der Genomforschung

Die Analyse von molekularen Markern und die genomische Selektion helfen Züchtern dabei, zwei Linien gezielt zu kreuzen. Man spricht dabei auch von Präzisionszucht oder SMART-Breeding (engl.: „Selection

with Markers and Advanced Reproductive Technologies“). Auch für Eigenschaften, die nur schwierig zu messen sind, können die Kreuzungspartner passend ausgesucht werden. Nicht sinnvolle Kreuzungen werden so vermieden. Zudem lässt sich durch eine geschickte Auswahl der Partner die genetische Diversität der Nachkommen erhöhen.

Präzisionszucht ist bereits heute enorm wichtig und von steigender Bedeutung. Nichtsdestotrotz stehen Züchter insbesondere bei komplexen Merkmalen weiterhin vor großen Herausforderungen. Die hohen Erwartungen an die Züchtung wurden in der Praxis nicht immer erfüllt, da der Zusammenhang zwischen Erbgut und den tatsächlich ausgeprägten Eigenschaften sehr komplex ist. Viele Forschungsprojekte widmen sich daher der Aufklärung dieser Zusammenhänge. Die Portraits auf den folgenden Seiten geben Einblick in zwei solche Projekte.



Arbeitsaufträge

1. Lesen Sie den Text. Beschreiben Sie das Prinzip der markergestützten Selektion in eigenen Worten.
2. Betrachten Sie die Abbildung „Markeranalyse im Labor“. Welche Nachkommen sind Ihrer Ansicht nach resistent gegen die Krankheit? Begründen Sie Ihre Ansicht.
3. Bewerten Sie den Nutzen der genomischen Selektion für die Tierzucht und Pflanzenzüchtung. Sie können dazu auch den weiterführenden Text „Genomische Selektion: Aufbruch in ein neues Züchtungszeitalter“ zur Hilfe nehmen.

Genbank Eine Schatzkammer der Vielfalt

Ein Interview mit Professor Dr. Andreas Graner vom Leibniz-Institut für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung (IPK) Gatersleben



© A. Graner/IPK Gatersleben

Prof. Dr. Andreas Graner ist Agrarwissenschaftler mit herausragenden Verdiensten für den Erhalt und die Analyse der genetischen Vielfalt von Kulturpflanzen.

In seiner wissenschaftlichen Laufbahn machte er unter anderem Station in Göttingen, München und Grünbach. Seit 17 Jahren ist er Professor für Pflanzengenetische Ressourcen an der Universität Halle-Wittenberg und leitet die Genbank am Leibniz-Institut für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung (IPK) Gatersleben. Hier übernahm er 2007 auch das Amt des geschäftsführenden Direktors.

Im Fokus seiner Forschung steht Gerste als Modellpflanze für die Genomanalyse und die Nutzbarmachung genetischer Ressourcen. So initiierte er die Entwicklung umfangreicher Ressourcen zur Merkmalskartierung und Genomanalyse und war maßgeblich an der Gründung des International Barley Sequencing Consortium beteiligt, dessen Ziel die vollständige Entschlüsselung des Gerstengenoms ist.

Sie beschäftigen sich seit über 30 Jahren mit der Pflanzenzüchtung und -forschung. Wann haben Sie Ihr Interesse an dem Thema entdeckt? Was fesselt Sie besonders?

Prof. Graner: Schon während meines Studiums haben mich die Entwicklung der Mole-

Die biologische Vielfalt sichert unsere Lebensgrundlage. Genbanken erhalten und charakterisieren daher eine Vielzahl an Arten, von Wildkräutern bis zu modernen Nutzpflanzen. Professor Dr. Andreas Graner leitet die größte Genbank der Europäischen Union.

kularbiologie und die damit verbundenen Möglichkeiten der Grünen Gentechnik fasziniert. Es stellte sich jedoch sehr bald heraus, dass die Nutzung der Grünen Gentechnik die Identifizierung und Isolierung der Gene voraussetzt, welchen agronomischen Eigenschaften, wie zum Beispiel Krankheits- oder Schädlingsresistenzen zugrunde liegen. Der Mensch hat aber nicht erst mit der Grünen Gentechnik begonnen Pflanzen zu verändern. Bereits vor über 10.000 Jahren begannen unsere Vorfahren mit der Domestikation von Wildpflanzen zu Nutzpflanzen. Heute ist es überaus spannend mit Hilfe der modernen Genomanalyse zu erforschen, wie der Mensch nicht nur die Pflanzen an seine Bedürfnisse angepasst hat, sondern wie er damit auch deren genetischen Baupläne verändert hat.

Welche Rolle nimmt die Genomforschung bei der Züchtung ein? Können Sie ein Beispiel geben, bei dem Forschungsergebnisse in der Praxis relevant wurden?

Prof. Graner: Zwischen 1990 und 2010 profitierte die Pflanzenzüchtung in erster Linie durch molekulare Marker, welche mit ausgewählten Genen für Krankheitsresistenzen oder Qualitätsmerkmale gekoppelt waren. Mit Beginn der Jahrtausendwende ermöglichten technische Fortschritte bei der DNA-Analyse, die zu massiven Kostensenkungen geführt haben, völlig neue Selektionsansätze. Gemeinsam mit Weiterentwicklungen in der Quantitativen Genetik und der Populationsgenetik können Pflanzenzüchter heute mit Hilfe der genomischen Selektion in einem Schritt Pflanzen identifizieren, die eine optimale Ausstattung im Hinblick auf viele Merkmale aufweisen.

Am IPK Gatersleben leiten Sie die Abteilung Genbank. Was können wir uns darunter vorstellen? Warum gibt es mehrere Genbanken?

Prof. Graner: Über Jahrtausende waren es Bauern, die vielfältige Landrassen selektiert, angebaut und an ihre Nachkommen weitergegeben haben. Der Landwirt besaß somit drei Funktionen: Produzent, Züchter und Erhalter. Mit der fortschreitenden Entwicklung der Pflanzenzüchtung zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurde diese Einheit zugunsten einer Arbeitsteilung aufgelöst, die bis heute besteht. Der Landwirt entwickelt und erhält grundsätzlich nicht mehr sein eigenes Saatgut sondern bezieht es in Form einer Sorte vom Züchter. Er ist damit nicht mehr der Erhalter der genetischen Vielfalt auf seinem Feld. Der Züchter wiederum erzeugt in seinem Zuchtgarten genetische Vielfalt aus der ständig neue Sorten selektiert werden. Die genetische Vielfalt im Zuchtgarten ist damit einem steten Wandel unterworfen.

Genbanken fällt damit eine Schlüsselrolle zum Erhalt der genetischen Vielfalt zu, die sich weder in den Zuchtgärten noch auf den Feldern wiederfindet. Weltweit lagern in Genbanken mehr als sieben Millionen Saatgutmuster von unterschiedlichen Nutzpflan-



zum Weiterlesen:

Wilde Pflanzenarten werden unser Überleben sichern:

Biodiversität nutzbar machen

www.pflanzenforschung.de/qr/genbank



© aceshot/Fotolia



© A. Graner/ IPK Gatersleben

Erhaltung genetischer Ressourcen an der Bundeszentrale ex situ Genbank für landwirtschaftliche und gartenbauliche Kulturpflanzen am IPK Gatersleben. Mit einem Bestand von 150.000 Mustern handelt es sich um die größte Genbank in der Europäischen Union. Die Arbeiten umfassen neben der Lagerung von Samenproben bei -20°C (Mitte) die regelmäßige Vermehrung des Materials im Gewächshaus oder Feld (links). Neben der Lebensammlung unterhält die Genbank zu Referenzzwecken ein Herbarium mit über 400.000 Belegexemplaren krautiger Pflanzen sowie von Samen, Fruchtmustern und Ähren (rechts). Seit 1948 hat die Genbank über eine Million Muster an Forschungseinrichtungen, Pflanzenzüchter und Privatpersonen abgegeben.

zenarten. Hinzu kommen Muster von vegetativ zu erhaltenden Pflanzen wie Kartoffeln, Zwiebeln oder Bananen. Durch den Erhalt dieser Vielfalt wird sichergestellt, dass die genetische Vielfalt unserer Kulturpflanzen nicht verloren geht und sowohl für die Pflanzenzüchtung als auch für die Forschung zugänglich bleibt. Saatgut hat, auch bei tiefen Lager-temperaturen von -20°C , nur eine begrenzte Lebensdauer, d. h. die Keimfähigkeit nimmt ab. Daher ist die regelmäßige Regeneration des eingelagerten Materials erforderlich, um dessen Erhalt zu sichern. Zusätzlich wird das Saatgut an mehreren geographischen Orten gelagert. So befinden sich die Sicherheitsduplikate aus der Genbank des IPK in einem Saatgutlager in Spitzbergen.

Welche Bedeutung messen Sie dieser genetischen Vielfalt bei? Welche Herausforderungen sehen Sie, diese tatsächlich nutzbar zu machen?

Prof. Graner: Züchtung ist nichts anderes als die Erzeugung genetischer Vielfalt, z. B. durch Kreuzung, Mutation oder mit Hilfe gentechnischer Verfahren, und anschließende Selektion

der besten Nachkommen. Dieser Prozess beruhte über viele tausend Jahre weitgehend auf dem Erfahrungswissen der Landwirte. Beginnend mit der Entdeckung der Mendelschen Vererbungsregeln entwickelte sich die Pflanzenzüchtung zu einem zunehmend wissenschaftlichen Prozess. Im Hinblick auf die Nutzung der in den Genbanken vorhandenen genetischen Vielfalt stehen wir jedoch noch am Anfang. Die Herausforderung liegt in der Aufklärung der Beziehung zwischen der genetischen Vielfalt auf Ebene der DNA-Sequenz, und der Ausprägung von Merkmalen.

Utopia – welchen Forschungsraum würden Sie gern in den nächsten 30 Jahren wahr werden sehen?

Prof. Graner: Im Jahr 2046 werden nach Schätzung der Vereinten Nationen über 9,1 Milliarden, 50 Prozent mehr Menschen als im Jahr 2000, auf der Erde leben. Ich wünsche mir, dass es über die wissenschaftliche Nutzbarmachung der in den Genbanken erhaltenen Vielfalt gelingen wird, die Grundsteine für die weitere Verbesserung von Nutzpflanzen zu

legen und damit entscheidende Beiträge zur Ernährungssicherung zu leisten.

Vielen Dank für das Gespräch!



Arbeitsaufträge

1. Lesen Sie den Text. Beschreiben Sie in eigenen Worten die wesentlichen Aufgaben einer Genbank.
2. Recherchieren und stellen Sie dar, wie viele Pflanzenvertreter in Genbanken weltweit erhalten werden. Erläutern Sie, wie die dort lagernde biologische Vielfalt nutzbar gemacht werden kann. Sie können dazu den weiterführenden Text „Wilde Pflanzen werden unser Überleben sichern“ zur Hilfe nehmen.
3. Laut einer wissenschaftlichen Schätzung würde die vollständige genetische und phänotypische Analyse der weltweit in Genbanken vorhandenen Pflanzen 200 Millionen US-Dollar jährlich kosten. Diskutieren Sie, ob solch ein Vorhaben durchgeführt werden sollte.

Forschung für gesunde Kühe und hochwertiges Bier

Welche Gerste liefert gutes Braumalz? Welcher Bulle wird eine gute Milchkuh zur Tochter haben? Um solche Fragen schnell und sicher beantworten zu können, untersuchen Forschungsteams den Zusammenhang zwischen dem Erbgut und den Eigenschaften der Pflanzen und Tiere. Die Projekte Kuh-L und INNO GRAIN-MALT sind zwei Beispiele für die erfolgreiche Suche nach Hinweisen im Genom.

Projekt 1: Kuh-L erforscht die Genetik leistungsstarker und gesunder Kühe

Rinder sind ökonomisch gesehen die wichtigsten Nutztiere der deutschen Landwirtschaft. Sie liefern Fleisch und Milch sowie Dung für Felder und als Brennmaterial. Das Weiden von Rindern leistet einen wichtigen Beitrag für die Pflege des Grünlands. Im Jahr 2014 gab es etwa 12,5 Millionen Rinder, davon 4,2 Millionen Milchkühe, 3,7 Millionen Tiere wurden geschlachtet. Insgesamt wurden so etwa 1,2 Millionen Tonnen Fleisch und 30 Millionen Tonnen Milch produziert.

Genomische Selektion erleichtert die Auswahl der Zuchtbullen

Die Rinderzucht hat eine lange Tradition und ist hoch komplex. Seit etwa 10.000 Jahren greifen Menschen in die Vermehrung und Auslese von leistungsfähigen Tieren ein. Insbesondere seit dem 18. Jahrhundert werden

spezialisierte Rassen gezüchtet, beispielsweise sind Holsteinrinder gute Milchkühe.

Heutzutage ist es üblich, Kühe mit dem Spermium von Zuchtbullen künstlich zu besamen. Die Auswahl der richtigen Bullen ist dabei enorm wichtig. Bei Zuchtmerkmalen wie der Milchleistung oder der Eutergesundheit ist es jedoch schwierig geeignete Bullen auszuwählen, da diese Eigenschaften nur bei Kühen in Erscheinung treten. Um den Zuchtwert eines Bullen zu bestimmen, muss dieser erst viele Töchter hervorbringen, die auf die Merkmale hin untersucht werden.

Die genomische Selektion (siehe Seite 10–11) hat große Fortschritte für die Auswahl gebracht. Anhand des Genotyps des Bullen wird abgeschätzt, wie hoch beispielsweise die Milchleistung seiner Töchterkühe sein wird. Mittlerweile werden je nach Region 30

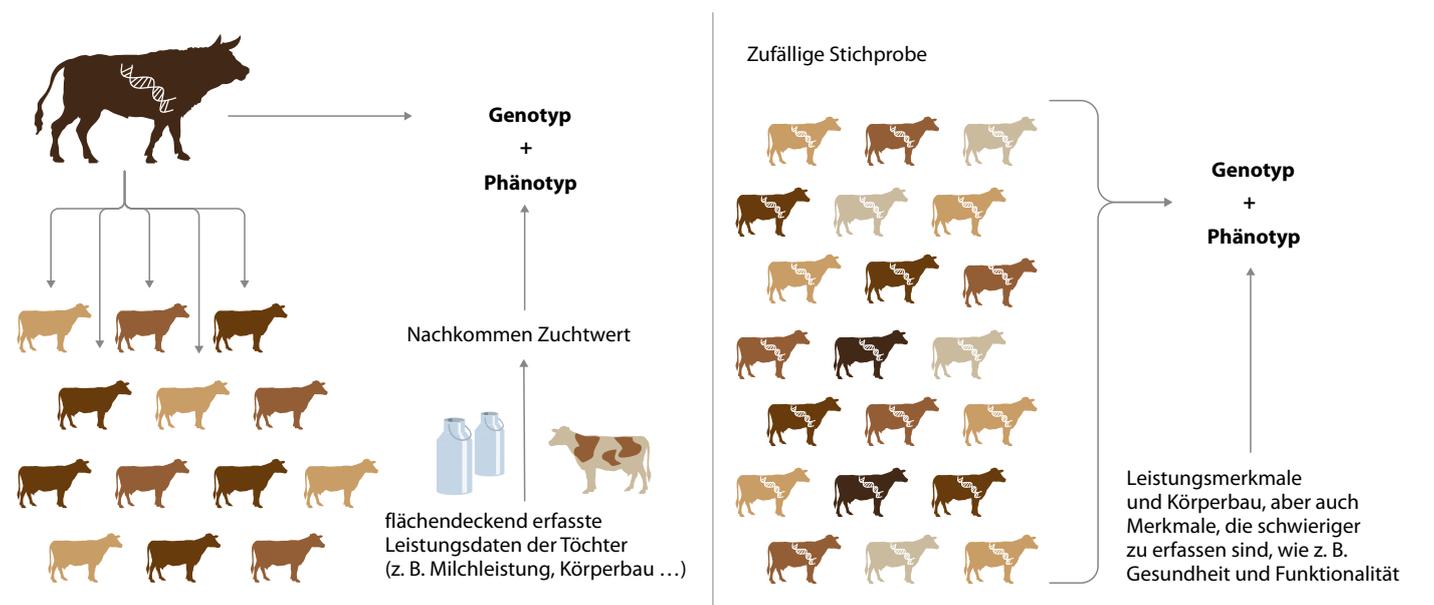


Bereits Jungtiere können auf ihre genetische Veranlagung hin untersucht werden.

© Eric Isselée/Fotolia

bis 80 Prozent der Besamungen mit Spermium genomisch selektierter Bullen durchgeführt.

Um von der genetischen Information des Bullen auf die Eigenschaften der Töchter schließen zu können, müssen zunächst in einer Stichprobe von ausreichend vielen Bullen Genotypisierungsergebnisse mit den Leistungsdaten der Töchterkühe gegenübergestellt werden (siehe Abbildung: Bullen-Lernstichprobe). Da man an der Stich-



Bullen-Lernstichprobe Bei der Bullen-Lernstichprobe werden die genetischen Informationen (Genotyp) von Bullen mit den Eigenschaften (Phänotyp) der Töchterkühe gegenübergestellt.

Kuh-Lernstichprobe Die Kuh-Lernstichprobe (Kuh-L) untersucht direkt den Zusammenhang von Genotyp und Phänotyp bei Milchkühen.

probe lernt, welche genetischen Muster auf bestimmte Leistungsveranlagungen hindeuten, werden sie Lernstichproben genannt. Ist die Stichprobe hinreichend groß, erhält man eine sichere Aussage und kann die erhaltenen Formeln auch bei Zuchtbullen, welche noch keine Leistungswerte besitzen, anwenden.

Bislang wurden für die Stichprobe vor allem ältere Bullen genutzt, die bereits viele Nachkommen haben und deren Zuchtwert daher verlässlich bestimmt werden kann. Auch wächst die Lernstichprobe nur noch durch Bullen, deren Väter schon genomisch selektiert wurden. Das birgt Gefahren für zukünftige Zuchtwertschätzungen, da die Lernstichprobe möglichst nah an der tatsächlichen, aktuellen Kuhpopulation sein sollte.



Zuchtwert

Der Zuchtwert beschreibt die genetische Veranlagung eines Tieres bezüglich eines bestimmten Merkmals. Bei Rindern sind dies Leistungsmerkmale wie Milchleistung und Fleischzuwachs aber auch Werte wie Eutergesundheit. Für die Bestimmung des Zuchtwerts werden möglichst viele Daten des Tieres und seiner Verwandten aufgenommen und in komplizierten statistischen Verfahren verrechnet.

Bei Kuh-L zählen die Kühe

Im Projekt Kuh-L (Kuh-Lernstichprobe) soll eine Zufallsstichprobe von Kühen mit den Daten der Bullen verglichen werden. Dabei geht es nicht nur um Leistungsmerkmale sondern vornehmlich um die Gesundheit der Tiere.

Eine der wichtigsten Kuhkrankheiten ist die Euterentzündung (Mastitis), unter der die Tiere stark leiden und die auch zu enormen finanziellen Einbußen führt. Eine Abschätzung der Resistenz gegen Mastitis ist anhand einer Bullen-Lernstichprobe sehr aufwändig. Für jeden genotypisierten Bullen müssen 300 Töchter auf ihre Eigenschaften getestet werden. Bei 2000 Bullen bräuchte man Information von 600.000 Kühen, bei 5000 Bullen sogar von 1,5 Millionen Kühe. Zwar wurde ein solcher Ansatz bereits gestartet, es wird jedoch viele Jahre dauern, bis genügend Daten für eine zuverlässige Selektion vorliegen.

Bei Kuh-L dagegen werden die Kühe sowohl genomisch als auch auf ihre Eigenschaften untersucht (siehe Abbildung: Kuh-Lernstichprobe). Dabei wurde errechnet, dass je nach Merkmal zwischen 30.000 und 60.000 Kühe notwendig sind, um verlässliche Daten zu erhalten. Aus Testherden in Mecklenburg-Vorpommern und Brandenburg werden nun 20.000 Tiere zufällig ausgewählt und untersucht. Zusätzlich kann aus den vorhandenen Daten der Genotyp der Muttertiere abgeleitet werden, so dass eine virtuelle



Kuh-L

Die Projektpartner

Das Projekt Kuh-L wird durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und von den Organisationen der deutschen Holsteinzucht finanziert. Die Bearbeitung findet unter Kooperation des Fördervereins Bioökonomieforschung e.V. (FBF), der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, der Universität Gießen und des Vereinigten Informationssysteme Tierhaltung w.V. (vit) statt.



Stichprobe von insgesamt 35.000 weiblichen Tieren zur Verfügung steht.

Neben der Überprüfung der Bullen-Lernstichprobe werden durch Kuh-L also genomische Zuchtwerte für wichtige Gesundheitsmerkmale verfügbar. So trägt das Projekt zu leistungsstarken und gesunden Kühen bei.

Projekt 2: INNO GRAIN-MALT ist hochwertigem Braumalz auf der Spur

Für gutes Bier benötigt man hochwertige Zutaten. Die Grundzutaten sind Hopfen, Malz, Hefe und Wasser, wobei für die meisten Biere Gerstenmalz verwendet wird. Die Brauqualität des Gerstenmalzes ist entscheidend und hängt sowohl von der Sorte als auch von den Umwelteinflüssen während des Anbaus und der Lagerung des Getreides ab. Besonders Trockenheit und Hitze sind Stressfaktoren für die Pflanzen und verringern Ertrag und Qualität des Malzes.

Beim Forschungsprojekt INNO GRAIN-MALT ist deshalb das Ziel, die molekularen Grundlagen der Braueigenschaften und Stressantworten bei der Gerste aufzuklären. Mithilfe der markergestützten und genomischen Selektion (siehe Seite 10 – 11) werden

neue Gerstensorten geschaffen, die eine verbesserte Brauqualität haben und zudem trocken tolerant sind.

Ein genetischer Trick hilft, molekulare Marker zu finden

Bei vielen Nutzpflanzen ist es möglich und üblich, sogenannte Doppelhaploide zu untersuchen. Wie die natürlicherweise vorkommenden diploiden Pflanzen haben sie zwei Chromosomensätze. Diese sind jedoch völlig identisch, so dass die Pflanze in Bezug auf jedes Gen reinerbig ist. Bei Doppelhaploiden lassen sich leichter Zusammenhänge zwischen dem Genotyp und den untersuchten Merkmalen (Phänotyp) erkennen. Zum an-



Die Qualität von Bieren hängt entscheidend vom verwendeten Getreide und Hopfen ab.

deren sind die Nachkommen der reinerbigen Pflanzen gleichförmig, wie schon die erste Mendelsche Regel besagt. Dies erleichtert die Züchtung.

Doppelhaploide können auf unterschiedlichen Wegen generiert werden. Im Projekt INNO GRAIN-MALT wurden zunächst zwei leistungsfähige, diploide Sorten der Gerste gekreuzt. Diese unterscheiden sich im Hinblick auf ihre Braueignung und den Me-



Die unterschiedlichen Gerstenlinien wurden an mehreren Orten und unter verschiedenen Umweltbedingungen im Feld angebaut, wie hier in der Zuchtstation in Wetzze.

chanismus ihrer Trockentoleranz. Ihre Nachkommen sind ebenfalls diploid und weisen unterschiedliche Genkombinationen und

Eigenschaften auf. Um aus den Nachkommen reinerbige Pflanzen zu gewinnen, verwendet man nun einen Trick. Die Keimzellen der Gerste besitzen wie bei jedem diploiden Lebewesen nur einen einfachen Chromosomensatz. Aus den Pollen können im Labor haploide Pflanzen generiert werden. Um den Chromosomensatz anschließend zu verdoppeln, werden die Jungpflanzen im Alter von vier bis sechs Wochen mit Colchicin, dem Gift der Herbstzeitlosen, behandelt. Colchicin führt dazu, dass nach einer Verdoppelung der Chromosomen die Zellteilung unterbleibt. Die jungen Pflanzen werden ins Feld ausgepflanzt. So entstehen doppelhaploide Pflanzen, die sich normal weitervermehren können.

Insgesamt bauten die Forschungsteams 100 doppelhaploide Nachkommenschaftslinien im Feld unter verschiedenen Umweltbedingungen an, unter anderem auch bei Trockenstress. Nach der Ernte untersuchten sie, wie hoch der Ertrag ausgefallen ist und wie die Braueigenschaften der Gerstenkörner waren. Zusammen mit der Untersuchung der Erbinformation der Gerstenlinien wurden 105 Regionen im Genom (QTLs, siehe Seite 10 – 11) entdeckt, die die verschiedenen Eigenschaften beeinflussen. Diese Marker können nun eingesetzt werden, um effizient trocken-tolerante Sorten der Gerste zu züchten, die auch qualitativ hochwertiges Braumalz liefern.

Die genomische Selektion funktioniert auch bei der Braugerste

Bei INNO GRAIN-MALT wird auch die genomische Selektion angewandt. Das Projekt ist damit ein Vorreiter bei der Etablierung dieser



Mälzung

Hefen wandeln während des Brauens Zucker in Ethanol und Kohlensäure um. Da sie nicht die langkettige Stärke der Körner verwenden können, muss diese zunächst durch Mälzung in kurzkettige Zucker umgewandelt werden. Hier werden die Samen durch Wasserzugabe zum Keimen gebracht. Dabei entstehen natürlicherweise Enzyme, die die Stärke in kürzere Zucker wie Malzucker (Maltose) und Traubenzucker (Glucose) spalten. Diese Enzyme, beispielsweise die β -Amylase, sind daher wichtig für den Brauerfolg.

Haploid, diploid, polyploid, doppelhaploid?

Der Ploidiegrad gibt die Anzahl der Chromosomensätze eines Lebewesens an. Die meisten Tiere sind wie Menschen diploid. Sie haben zwei Sätze an Chromosomen, jeweils einen von der Mutter und einen vom Vater. Keimzellen wie Eizellen, Spermien (bei Tieren) und Pollen (bei Pflanzen) sind haploid, sie haben einen Chromosomensatz.

Auch viele Pflanzen sind diploid. Durch Kreuzung nah verwandter Arten oder Verdoppelung der Chromosomensätze können polyploide Pflanzen entstehen. So ist Weizen durch die Kreuzung verschiedener Gräser entstanden und besitzt nun sechs Sätze an Chromosomen. Doppelhaploide Pflanzen haben zwei völlig identische Chromosomensätze. Aufgrund ihrer relativ einfachen Genetik sind sie hilfreich für Forschung und Züchtung.

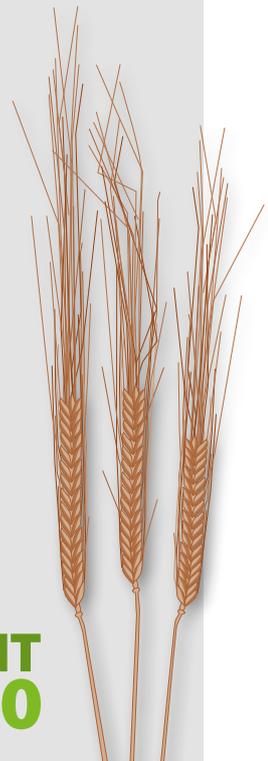


INNO GRAIN-MALT Die Projektpartner

Partner bei INNO GRAIN-MALT sind das Leibniz-Institut für Pflanzen-genetik und Kulturpflanzenfor-schung (IPK) Gatersleben und die KWS Lochow GmbH. Das Bundes-ministerium für Bildung und Forschung (BMBF) fördert das Projekt.

Projektportrait: Top Brauqualität für Bier, trotz abiotischem Stress
www.pflanzenforschung.de/qr/innograinmalt

Interview: Besseres Malz für unser Bier
www.pflanzenforschung.de/qr/igm-interview



Methode bei Braugerste. Durch komplexe statistische Berechnungen werden Zusammenhänge zwischen Genotyp und Brauqualität der Gerstensorte ermittelt. Der Aufwand scheint sich zu lohnen: Die Analysen zeigen, dass einige Qualitätsmerkmale stark erblich bedingt sind und sich verhältnismäßig sicher vorhersagen lassen. So kann nach einer Kreuzung die Leistung der Nachkommen vorherhergesagt werden, noch bevor man die Pflanzen im Feld aussät.



Arbeitsaufträge

1. Beschreiben Sie mit eigenen Worten, welche Methoden bei Kuh-L und INNO GRAIN-MALT angewendet werden, um die jeweiligen Ziele zu erreichen.
2. Erläutern Sie, welchen Nutzen eine Kuh-Lernstichprobe im Vergleich zu einer Bullen-Lernstichprobe im Projekt Kuh-L bringt.
3. Informieren Sie sich über Colchicin. Erklären Sie die Wirkweise des Giftes auf zellulärer Ebene.
4. Vergleichen Sie die Prinzipien der Tierzucht und Pflanzenzüchtung, indem sie wesentliche Gemeinsamkeiten und Unterschiede darlegen.

Modul 2

Agrarsysteme



Die Lebensräume der Erde sind vielfältig. Entsprechend unterschiedlich sind die Anforderungen an landwirtschaftliche Systeme. Die Wissenschaft forscht daher an Agrarsystemen, die jeweils optimal zu den ökologischen, klimatischen und sozialen Bedingungen vor Ort passen.

Auf der Suche nach der Landwirtschaft der Zukunft

Wie ernähren wir zehn Milliarden Menschen?

Seit die ersten Ackerbauern und Viehzüchter die Landwirtschaft begründet haben, steht diese permanent vor derselben Herausforderung: Immer mehr Menschen wollen mit Nahrung versorgt werden. Für diese schwierige Aufgabe gibt es keine Patentlösung. Aber einige gute Ideen geben Anlass zur Hoffnung.

Vor etwa 10.000 Jahren fand mit der neolithischen Revolution einer der größten Umbrüche in der Geschichte der Menschheit statt. Mit der Landwirtschaft verbreiteten sich auch Sesshaftigkeit und Arbeitsteilung, was wiederum zum Aufkommen organisierter Wohnformen wie Dörfer und zu einem Anstieg der Bevölkerung führte, der bis heute anhält.

Wie können wir langfristig ausreichend Nahrung produzieren, ohne gleichzeitig die Böden auszulaugen oder die Umwelt zu zerstören? Hierüber diskutieren Experten seit Jahrzehnten, ohne sich auf eine eindeutige Empfehlung zu einigen. In der Praxis existiert heute eine bunte Mischung verschiedener Methoden zur Erzeugung von Nahrungsmitteln, die man zusammenfassend auch als Agrarsysteme bezeichnet. Es existiert keine allgemeingültige Definition und Klassifizierung von Agrarsystemen. An dieser Stelle sollen einige wichtige Unterscheidungsmerkmale, in Deutschland übliche Formen und visionäre Systeme erläutert werden.

Landwirtschaftliche Systeme: von effizient bis nachhaltig

Ein Bauernhof mit Feldern und Tierställen ist ein übliches Bild, das mit dem Thema Landwirtschaft verbunden wird. Solche Systeme sind flächig, also horizontal, ausgelegt. Die Fläche wird je nach Bewirtschaftungsform mehr oder weniger intensiv genutzt. Die konventionelle Landwirtschaft zielt darauf ab, an einem Standort den maximalen Ertrag zu er-

wirtschaften. Die Züchtung von Hochertragspflanzen und -tieren, sowie den Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln führte zu den beachtlichen Ertragssteigerungen der Grünen Revolution (siehe Seite 6-7). So hat sich der durchschnittliche Ertrag von Winterweizen in Deutschland von zwei Tonnen pro Hektar im Jahr 1900 auf 7,4 Tonnen pro Hektar im Jahr 2000 mehr als verdreifacht. In vergleichbarem Maße erhöhte sich im selben Zeitraum die durchschnittliche Milchleistung pro Kuh und Jahr von 2.165 auf 6.122 Liter. Der Einsatz technischer Geräte wie Erntemaschinen und Melkroboter erleichtert die Produktion großer Mengen von Nahrungsmitteln. Für den Landwirt rentiert sich die Anschaffung solcher spezialisierter Maschinen nur, wenn er sich auf Anbau oder Zucht einiger weniger Pflanzen oder Tiere beschränkt, die er dann zu einem günstigen Stückpreis produzieren kann.

Als Gegenbewegung zu der immer stärker industrialisierten landwirtschaftlichen Produktion sind im vergangenen Jahrhundert mehrere Strömungen entstanden, die auf möglichst naturschonenden Anbau setzen. Ökolandwirte verzichten auf chemische Pflanzenschutzmittel und Mineraldünger, lehnen den Einsatz gentechnisch veränderter Nutzpflanzen ab und orientieren sich an dem Ideal geschlossener Stoffkreisläufe. Die praktische Konsequenz besteht in einer Kopplung von Ackerbau und Viehhaltung: Auf der Ackerfläche werden zusätzlich zu Verkaufsfrüchten die benötigten Futterpflan-



Die Thünenschen Ringe neu gedacht

Die Thünenschen Ringe sind ein von Johann Heinrich von Thünen 1826 erdachtes Idealmodell der landwirtschaftlichen Bodennutzung. Insbesondere Transportkosten sollen minimiert werden, indem kostenintensive Produkte nah am Verbraucher, beispielsweise in direkter Stadtnähe, produziert werden. Daraus ergibt sich ein ringförmiger Aufbau verschiedener Anbausysteme um einen dicht besiedelten Mittelpunkt.

Seit Thünen haben sich die Bedingungen stark verändert. Insbesondere durch moderne Infrastrukturen haben sich Transportkosten drastisch verringert. Gleichzeitig leben immer mehr Menschen in immer größer werdenden Städten. An diese Gegebenheiten anknüpfend wird die Idee der Thünenschen Ringe immer wieder neu interpretiert, um auch in Zukunft Metropolen effizient und nachhaltig mit Nahrung und Rohstoffen versorgen zu können. Auch der Rückfluss und die Wiederverwertung von Stoffen spielen eine große Rolle.



- Metropolen: hohe Nutzung
- stadtnahe, geschlossene vertikale Systeme
- intensive horizontale Produktion
- extensive horizontale Produktion

Neuinterpretation der Thünenschen Ringe

Um eine Metropole mit hoher Nutzungsdichte sind Ringe unterschiedlicher Agrarsysteme angeordnet, von stadtnahen, geschlossenen/vertikalen Anbauweisen bis zu extensiver Landnutzung in den entfernteren Bereichen.



© Christian Böhm; BTU Cottbus-Senftenberg



© Michael Kanzler, BTU Cottbus-Senftenberg



© Christian Böhm; BTU Cottbus-Senftenberg

Agroforstwirtschaft. Links: Der Weizen wird im Hochsommer geerntet. Mitte: Im Winter wird das Gehölz geerntet und direkt zu Hackschnitzeln für die Energiegewinnung weiterverarbeitet. Rechts: Hühner werden in einem neu angelegten Gehölzstreifen gehalten und tragen dazu bei, den Unkrautdruck zu mindern, was für das Wachstum der Bäume förderlich ist.



zum Weiterlesen:

Die Vielfalt der Anbausysteme:

Ein Überblick

www.pflanzenforschung.de/qr/anbausysteme

Landwirtschaft im 21. Jahrhundert:

Forscher suchen nach der Blaupause für die Landwirtschaft der Zukunft

www.pflanzenforschung.de/qr/zukunft-lawi

Agrarsystem mit Zukunft?

Erste Meta-Analyse zur Low-Input-Landwirtschaft erschienen

www.pflanzenforschung.de/qr/low-input

zen für die Tierhaltung erzeugt. Im Gegenzug werden die pflanzlichen Abfälle und der tierische Dung als Dünger auf der Ackerfläche ausgebracht. Der Ökolandbau bringt pro Fläche weniger Erträge als die konventionelle Landwirtschaft, wobei die Differenz bei Weizen, Obst und Gemüse mit bis zu 40 Prozent besonders hoch ausfällt.

Einer aktuellen Analyse der Agroökologen John Reganold und Jonathan Wachter zufolge eignen sich weder der Ökolandbau noch die konventionelle Landwirtschaft alleine, um langfristig zehn Milliarden Menschen zu ernähren – ersterem mangelt es an Effizienz, letztere ist nicht nachhaltig. Die Wissenschaft plädiert für innovative Ansätze und Mischformen, um die Vorteile beider Verfahren miteinander zu kombinieren. Dies geschieht beispielsweise beim integrierten Landbau beziehungsweise der Low-Input-Landwirtschaft. In diesem Produktionssystem sind synthetische Pestizide und Dünger erlaubt, werden jedoch deutlich sparsamer eingesetzt. So wird bei relativ hohen Erträgen die Umwelt geschont. Die immer genauere Vermessung von Feldern und Pflanzen in der Präzisionslandwirtschaft trägt dazu bei, den Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln zu reduzieren (siehe Seite 20 – 21).



Intensive und extensive Landwirtschaft

Bei intensiver Bewirtschaftung wird auf einem Stück Land mit großem Aufwand der maximale Ertrag gewonnen. Maschinen, Futter-, Dünge- und Pflanzenschutzmittel werden benötigt. Auch Ökolandbau kann intensiv sein; hier ist dann vor allem der personelle Bedarf hoch. In der extensiven Landwirtschaft wird wenig eingegriffen und die Erträge je Fläche sind deutlich geringer. Auch extensive Bewirtschaftung kann langfristig gravierend in ein Ökosystem eingreifen, wie an Heide- und Weideland-schaften erkennbar.

Die Mischung macht's: Diversität in Raum und Zeit

Monokultur ist eine Einfelderwirtschaft, bei der über fünf oder mehr Jahre hinweg kein Fruchtwechsel stattfindet. Sie erleichtert die maschinelle Pflege und Ernte einer Kultur. Langfristig haben Monokulturen jedoch Nachteile, da Ressourcen wie beispielsweise Nährstoffe ungleichmäßig verbraucht werden und die Anfälligkeit gegenüber Schädlingen und Krankheiten hoch ist.

In Deutschland ist der Mischanbau verbreitet, sowohl in der konventionellen als auch im ökologischen Landbau. In Fruchtfolgen werden verschiedene Nutzpflanzen nacheinander angebaut. So wird die Bodenfruchtbarkeit erneuert und erhalten. Beim Mischanbau können auch gleichzeitig Feldfrüchte miteinander kombiniert werden, die sich in ihrem Nährstoffbedarf möglichst gut ergänzen, wie zum Beispiel Mais, Weizen und Erbsen. In den Wurzelknöllchen von Erbsen und Erdnüssen siedeln sich Bakterien an, die den in der Luft vorhandenen Stickstoff in eine Form überführen, die für die Pflanzen nutzbar ist. Auf diese Weise verringert oder erübrigt sich der Einsatz von Dünger.

Ein weiterer Trend besteht derzeit darin, Bäume pflanzenbaulich in die Landwirtschaft zu integrieren. So lassen sich auf Ackerflächen zusätzlich langjährige Hölzer wie Obstbäume oder schnell wachsende Hölzer wie Pappeln anbauen. Letztere werden zur Gewinnung von Bioenergie genutzt. Vorteile der so genannten Agroforstwirtschaft bestehen unter anderem darin, dass die biologische Vielfalt erhöht, der Boden vor Erosion geschützt und der Stoffaustausch in Gewässer verringert wird. Bei geschickter Verbindung der Nutzpflanzen lassen sich sogar Mehrerträge von bis zu 50 Prozent erwirtschaften.

Vertikale Produktionssysteme und städtische Landwirtschaft werden erforscht

Stark in der Forschung befindet sich eine Zukunftstechnologie, die dadurch besticht, dass Nahrungsmittel platzsparend dort produziert werden, wo besonders viele Konsumenten leben, nämlich innerhalb von Städten. Insbesondere geschlossene Produktionssysteme sind hier interessant. Indem man den Einsatz von Wasser optimiert, Abfälle recycelt und Transportwege verringert werden, schonen solche Systeme ihren Befürwortern zufolge verschiedene Ressourcen. Vertikale Systeme, bei denen in übereinander liegenden Etagen verschiedene Pflanzen angebaut und Tiere gehalten werden, könnten in Zukunft bei geringem Flächenverbrauch Nahrung produzieren. Auf den Seiten 22 – 27 werden ver-

schiedene Systeme und Forschungsprojekte dazu vorgestellt.



Agrarsysteme sind im Fokus der Wissenschaft

Viele Fachleute beschäftigen sich mit der Frage, durch welche Agrarsysteme die Menschheit in Zukunft nachhaltig ernährt werden kann.

Im Programm „Agrarsysteme der Zukunft“ geht es um innovative Lösungen für eine ressourceneffiziente und anpassungsfähige Agrarproduktion:

www.agrarsysteme-der-zukunft.de



Das Projekt AUFWERTEN analysiert Agroforstsysteme aus verschiedenen Blickwinkeln.

www.agroforst-info.de/forschung/



Das Programm BoNaRes erforscht die nachhaltige Nutzung unserer Böden:

www.bonares.de



Arbeitsaufträge

1. Lesen Sie den Text und benennen Sie die wichtigsten Unterschiede und Überschneidungen zwischen den verschiedenen Typen von Agrarsystemen, die darin beschrieben sind.
2. Bilden Sie Gruppen zu fünf Personen. Stimmen Sie sich untereinander ab, so dass jedes Mitglied der Gruppe jeweils ein Agrarsystem (konventionell, Ökolandbau, Low-Input, Agroforst, Vertikalfarm) vertritt. Recherchieren Sie zunächst für sich, welche Vor- und Nachteile mit diesem System verbunden sind, das Sie vertreten. Stellen Sie anschließend Ihre Ergebnisse der Gruppe vor und diskutieren Sie, welches System Sie anwenden würden.
3. Recherchieren Sie zwei Beispiele für weitere innovative Systeme zur Produktion von Nahrungsmitteln.
4. Beurteilen Sie das Konzept der Thünenschichten Ringe vor dem Hintergrund des globalen Warenhandels. Nehmen Sie Stellung, ob Sie eine verstärkte lokale Produktion rund um Metropolen für sinnvoll erachten.

Der digitale Bauernhof

IT-Steuerung macht für Landwirte vieles einfacher und noch mehr anders

Auch in der Landwirtschaft hat das digitale Zeitalter begonnen. Mithilfe moderner Informations- und Kommunikationstechnologien lassen sich Vorgänge wie Düngen, Melken oder das Ausbringen von Pflanzenschutzmitteln präzise steuern und optimieren. Trotzdem hat die Landwirtschaft 4.0 es in Deutschland nicht gerade leicht.

Auf Messeständen, in den Medien, auf den Internetseiten von Industrieunternehmen – überall werden wir momentan mit einem Trend konfrontiert, der das produzierende Gewerbe bewegt: der Umbruch zur so genannten Industrie 4.0. Dieser Begriff bezeichnet die Verzahnung der industriellen Produktion mit modernster Informations- und Kommunikationstechnik. Indem alle Glieder der Wertschöpfungskette über das Internet miteinander vernetzt werden und Informationen austauschen, lässt sich die Effizienz in der Herstellung signifikant erhöhen, so die Hoffnung der Unternehmer. Dieser technologische Fortschritt beschränkt sich nicht auf die Industrie. Auch in der Landwirtschaft laufen immer mehr Prozesse technologiegesteuert ab. Landwirte setzen Software für das Farm-Management ein; es werden mehr und mehr Daten erhoben, gespeichert und analysiert. Das Resultat: Der landwirtschaftliche Produktionsprozess wird optimiert, indem sich immer genauer vorhersehen und steuern lässt, wann welche Stellen



In der Landwirtschaft 4.0 sind viele Prozesse über moderne Informations- und Kommunikationstechnik verbunden.

eines Feldes am besten gedüngt, bewässert oder abgeerntet werden sollten. Das Zeitalter der Präzisionslandwirtschaft hat begonnen.

Aufnahmen aus der Luft ermöglichen gezielte Düngung und Schädlingsbekämpfung

Ein wichtiges Instrument der High-Tech-Landwirtschaft sind Drohnen, die über das Feld fliegen und Tausende von Luftbildern auf-



Agrardrohnen helfen dabei, Dünge- und Pflanzenschutzmittel gezielt und damit sparsam einzusetzen.

nehmen. Indem die Drohnen mit speziellen Kameras und Sensoren ausgestattet werden, lässt sich die Beschaffenheit eines Feldes auf den Quadratzentimeter genau untersuchen. Auf diese Weise können Landwirte das Pflanzenwachstum bestimmen und Rückschlüsse auf Nährstoff- oder Wassermangel ziehen. Auch im Feld versteckte Tiere können durch Wärmebildkameras detektiert und vor der Ernte gerettet werden. Mithilfe komplexer Software können Drohnen exakt lokalisieren, wo Unkraut oder Ungeziefer am Werk sind und diese aus der Luft gezielt mit Herbiziden oder Insektiziden bekämpfen. So lässt sich der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln auf die Stellen begrenzen, an denen sie auch tatsächlich benötigt werden.

Erste Anwendungen, bei denen Schädlinge mithilfe von Agrardrohnen gezielt bekämpft werden, gibt es schon in Deutschland, zum Beispiel in der bayrischen Oberpfalz. Dort wird Mais angebaut, der häufig von einem kleinen Schmetterling befallen wird, dem Maiszünsler. Der Maiszünsler legt seine Eier auf die Unterseite der Maisblätter. Die Larven, die aus diesen Eiern schlüpfen, fressen sich an Blättern, Stängeln und Kolben satt. Eine natürliche Waffe zur Bekämpfung des Schädlings stellt die Schlupfwespe *Trichogramma* dar. Diese parasitiert das Gelege des Maiszünslers und zerstört es dadurch. Damit der Trick funktioniert, müssen die Eier der Schlupfwespe so ausgebracht werden, dass die Larven genau dann schlüpfen, wenn der Maiszünsler seine Eier legt. Agrardrohnen können das Feld beobachten und bei Schädlingsbefall die *Trichogramma*-Kugeln exakt

ausbringen. Für die Landwirte ist das eine erhebliche Arbeitsentlastung.

In anderen Regionen der Welt, zum Beispiel in den USA, wird vor allem gentechnisch veränderter Mais angebaut. Der so genannte Bt-Mais produziert ein Protein, das die Larven des Maiszünslers spezifisch abtötet. Da in Deutschland gentechnisch veränderte Pflanzen nicht kommerziell angebaut werden, liefert die biologische Bekämpfung des



Präzisionsforschung

Im PLANT 2030 Projekt PHENOvines wurde der Feldroboter PHENObot entwickelt. Der Prototyp fährt GPS-gesteuert und schießt automatisiert Fotos von den Weinreben. So können unter anderem die Beerengröße als ein Ertragsparameter und Anzeichen von Krankheits- oder Schädlingsbefall detektiert werden.

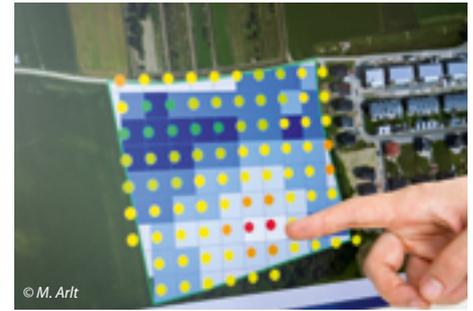
Projektportrait PHENOvines:

www.pflanzenforschung.de/qr/phenovines



PHENObot

Das Deutsche Pflanzen Phänotypisierungs Netzwerk (DPPN) entwickelt neue Technologien, um Pflanzen in großer Zahl schnell und automatisiert zu phänotypisieren. www.dppn.de



In der Präzisionslandwirtschaft helfen Sensoren (links), Feldroboter (Mitte) und Software (rechts) bei der Feldbearbeitung.

Schädlings eine Alternative, die sich durch den Einsatz der Drohnen besonders effizient ausführen lässt.

Feldroboter übernehmen mühevollen Kleinarbeit

Die Digitalisierung der Landwirtschaft ist keine Luftnummer. Auch direkt auf dem Acker halten High-Tech-Lösungen Einzug. Traktoren, Mähdrescher und Düngerstreuer arbeiten bereits heute GPS-gesteuert, wodurch



Moderne Melkroboter analysieren die Milch direkt auf ihre Qualität und auf mögliche Erkrankungen der Kuh.

der Einsatzort zentimetergenau kontrolliert werden kann. 2018 soll der multifunktionsfähige Agrarroboter BoniRob auf den Markt kommen, der in Deutschland entwickelt und mit mehreren Preisen ausgezeichnet wurde. Das Gerät von der Größe eines Kleinwagens fährt auf vier Rädern autonom über das Feld, nimmt Bilder von den Pflanzen auf und wertet deren Erscheinungsbild aus. Unkräuter und Insektenbefall werden erkannt und die entsprechenden Pflanzen mechanisch entfernt. Auch bei der Züchtung leistet BoniRob wertvolle Hilfe: Wenn Agronomen neue Sorten testen, untersuchen sie bei Tausenden von Gewächsen, wie sich bestimmte Parameter mit der Zeit auf dem Feld entwickeln: Blattgröße und -farbe, Fruchtgröße und -form, Wuchsform, Insektenbefall, der Gehalt des grünen Blattfarbstoffes Chlorophyll – diese Merkmale werden bisher in mühevoller Handarbeit analysiert. BoniRob liefert dieselben Daten ganz bequem per Knopfdruck auf den Computer.

Erst vor Kurzem entwickelt wurde auch der

PHENObot, der automatisiert die äußerlichen Merkmale (Phänotyp) von Weinreben direkt an den Rebstöcken erfasst (siehe Box Präzisionsforschung).

Melkroboter fungieren als Qualitätsmanager und Frühwarnsystem in einem

Auch bei der Produktion tierischer Nahrungsmittel kommen moderne Maschinen zum Einsatz, etwa zum Melken von Kühen. Um die Landwirte bei dem zeit- und arbeitsintensiven Melkvorgang zu entlasten, tüftelt man schon seit den 1980er Jahren an der Entwicklung automatischer Melkmaschinen. Heute nutzen etwa 3.500 der 71.300 Milchbetriebe in Deutschland (Stand Mai 2016) solche Anlagen, die neben dem eigentlichen Melkvorgang auch eine Qualitätsanalyse der Milch durchführen. Wenn diese Blut oder Klumpen enthält, wird sie aussortiert. Außerdem misst der Roboter die elektrische Leitfähigkeit der Milch, die als Indiz für deren Salzgehalt dient. Ein Anstieg weist darauf hin, dass sich eine Euterentzündung anbahnen könnte und eine tierärztliche Untersuchung anzuraten ist.

Deutsche Landwirtschaft hat Nachholbedarf in Sachen Digitalisierung

Wie die genannten Beispiele zeigen, können Landwirte viel Arbeitszeit, Dünger und Pflanzenschutzmittel einsparen, indem sie in ihren Betrieben digitale Technologien einsetzen.

Vor diesem Hintergrund sehen Wirtschaftsfachleute in der Landwirtschaft 4.0 großes Potential – gerade auch für Deutschland. Allerdings sind die Investitionskosten extrem hoch, was eine Erklärung dafür sein dürfte, dass hierzulande erst ein Fünftel der Betriebe Präzisionslandwirtschaft anwenden. Zum Vergleich: In den USA setzten bereits zwischen 60 und 70 Prozent der großen Betriebe auf die neuen Technologien. IT-Unternehmen prognostizieren, dass die Kosten für die Anschaffung moderner Geräte sinken werden, wenn die Digitalisierung der Branche weiter voranschreitet. Dann wird sich zeigen, ob sinkende Kosten alleine den Aus-

schlag dafür geben können, dass auch vergleichsweise kleine Betriebe in Deutschland den Umstieg wagen oder ob hier noch ganz andere Vorbehalte eine Rolle spielen.



zum Weiterlesen:

Bauernhof-Romantik war gestern:
Wie die IT die Landwirtschaft digitalisiert und grundlegend verändert
www.pflanzenforschung.de/qr/praezisionslandwirtschaft

Hilfe von Oben: Agrardrohnen stützen Präzisionslandwirtschaft
www.pflanzenforschung.de/qr/agrardrohnen

Der digitale Pflanzen-Doktor:
Eine neuartige Software erkennt Pflanzenkrankheiten bereits im Frühstadium
www.pflanzenforschung.de/qr/pflanzendoktor



Arbeitsaufträge

1. Lesen Sie den Text und fassen Sie die erwähnten Techniken zusammen, die zur Präzisionslandwirtschaft gehören. Erläutern Sie jeweils Vor- und Nachteile.
2. Erklären Sie anhand eines Beispiels, wie automatische Phänotypisierung funktionieren kann. Sie können dazu beispielsweise den unter „zum Weiterlesen“ angegebenen Text „Der digitale Pflanzen-Doktor“ zur Hilfe nehmen.
3. Woran liegt es Ihrer Meinung nach, dass die Präzisionslandwirtschaft in Deutschland noch wesentlich weniger stark verbreitet ist als in den USA? Begründen Sie Ihre Meinung.
4. Welche Folgen hat die zunehmende Digitalisierung der Landwirtschaft auf die Anforderungen an die Menschen, die in diesem Sektor arbeiten? Erstellen Sie eine Liste von Berufsbildern, die durch diese Veränderungen neu hinzukommen könnten.

Salat im Weltall

Geschlossene Produktionssysteme machen's möglich

Heute ist es möglich, an nahezu jedem Ort der Welt Landwirtschaft zu betreiben. Durch geschlossene Produktionssysteme können ganzjährig Obst und Gemüse angebaut und Nutztiere gehalten werden. Besonders in den stetig wachsenden Städten könnten geschlossene Produktionsstätten dazu beitragen, die Bewohner mit frischen Nahrungsmitteln zu versorgen. Die Vielfalt der Konzepte, die derzeit überall auf der Welt entwickelt werden, spiegelt das Potential geschlossener Produktionssysteme in der Landwirtschaft wider.

Als geschlossene Produktionssysteme werden Anlagen im Gemüsebau, aber auch in der Tierhaltung bezeichnet, bei denen die wesentlichen Stoff- und Energieströme in Kreisläufen verlaufen und geschlossen sind. Ein einfaches Modellbeispiel ist der Wasserkreislauf in einem Gewächshaus, bei dem Wasserdampf, der zuvor von den Pflanzen abgegeben wurde, durch Kühlfallen kondensiert und das gewonnene Wasser wieder in das Bewässerungssystem eingespeist wird. So bleibt ein Großteil des Wassers im System. Grundsätzlich sind solche Kreislaufsysteme ressourcensparend, weil Anteile eingesetzter Rohstoffe wiederverwertet werden.

Gekoppelte Kreisläufe bewirken Synergieeffekte

Einzelne Kreisläufe können in geschlossenen Produktionssystemen miteinander gekoppelt werden. Beispielsweise fällt bei der Fischzucht in Aquakultur viel Abwasser an, das aufwendig aufgearbeitet werden muss. Alternativ kann das nährstoffreiche Wasser für den Anbau von Nutzpflanzen verwendet werden. Indem die Pflanzen die Nährstoffe aufnehmen, filtern sie das Wasser und bereiten es so wieder für die Fischhaltung auf. Sol-

che symbiotischen Kreislaufsysteme werden am Beispiel des sogenannten Tomatenfischs auf Seiten 24 bis 25 eingehend betrachtet.

Kontrollierte Bedingungen erlauben ganzjährig Ernten

Durch die Verlegung der Nahrungsmittelproduktion in geschlossene, beheizte und künstlich beleuchtete Räume (so genannte Indoor-Farmen) wurde die orts- und klimunabhängige landwirtschaftliche Produktion in großem Maßstab möglich. Hinter dem Begriff CEA (engl: Controlled Environment Agriculture) verbirgt sich ein gebäudeintegriertes Anbauverfahren, das unter kontrollierten und für maximale Produktivität ausgelegten Umweltbedingungen stattfindet. Die beteiligten Vorgänge basieren auf Stoffkreislaufwirtschaft und sind hochtechnisiert. Innerhalb solcher High-Tech-Farmen kann kontinuierlich Gemüsebau betrieben werden. Zentrale Wachstumsparameter, wie Temperatur, Luftfeuchtigkeit, CO₂-Gehalt, Lichtintensität, Nährstoffkonzentration und pH-Wert werden zeitlich optimal gesteuert. Auch die Lichtfarbe spielt eine wichtige Rolle (siehe Infobox).

Pflanzen werden unter CEA meist in erd-



Das Licht macht's

Licht hat einen enormen Einfluss auf die meisten Lebewesen und steuert beispielsweise ihren Tagesrhythmus. Dabei kommt es nicht nur auf die Intensität, sondern auch die Farbe, also die spektrale Zusammensetzung, an. Pflanzen verwenden für die Photosynthese vor allem blaues und rotes Licht. Das Licht beeinflusst auch wie die Pflanzen wachsen, wann sie blühen und welche Inhaltsstoffe sie produzieren. Die sogenannten sekundären Pflanzenstoffe sind wesentlich für den Geschmack oder das Aussehen und können eine pharmakologische Wirkung haben. Auch in der Tierhaltung spielt die Beleuchtung eine wichtige Rolle. Beispielsweise können Rinder rotes Licht kaum wahrnehmen. Eine rote Beleuchtung während Ruhephasen stört die Tiere demnach nicht, ermöglicht aber Landwirten die Ausübung ihrer Tätigkeiten.



Durch Beleuchtung mit farbigem Licht können das Pflanzenwachstum, der Blühzeitpunkt und die Inhaltsstoffe beeinflusst werden.

freier Hydrokultur (Hydroponik) kultiviert. Bei diesem Verfahren finden die Pflanzen auf Mineralwolle, Schaumstoffwürfeln oder Kokosfasern Halt und erhalten in Form von Nährlösungen genau definierte Wasser- und Nährstoffmengen. Unter CEA können die nötigen Ressourcen gezielt und effizient eingesetzt werden. CEA ist dabei nicht auf den Pflanzenbau beschränkt. Auch die moderne Fischzucht in Aquakultur findet heute unter vollautomatisierten und optimierten CEA-Bedingungen statt.

Urbane Landwirtschaft erweitert die verfügbaren Anbauflächen

Ein Begriff, der in letzter Zeit stärker in den Fokus getreten ist, ist die urbane Landwirtschaft (engl.: urban agriculture/farming, siehe auch Seite 26–27). Als urbane Landwirtschaft wird die Erzeugung landwirtschaftlicher Produkte in städtischen (urbanen) Gebieten bezeichnet. Im Gegensatz zum urbanen Gärtnern (engl.: urban gardening), das in kleinerem Umfang betrieben vor allem der Selbstversorgung und der Direktvermarktung dient,



Viele Pflanzen werden effizient in vertikalen Hydroponiksystemen angebaut.

ist die urbane Landwirtschaft in großem Maßstab angelegt und wirtschaftlich orientiert. Die Produktion ist auch hier nicht auf Nutzpflanzen beschränkt sondern schließt Tierhaltung, Aquakultur und Forstwirtschaft ein. Insbesondere geschlossene, vertikal ausgerichtete Produktionssysteme sind dazu geeignet.

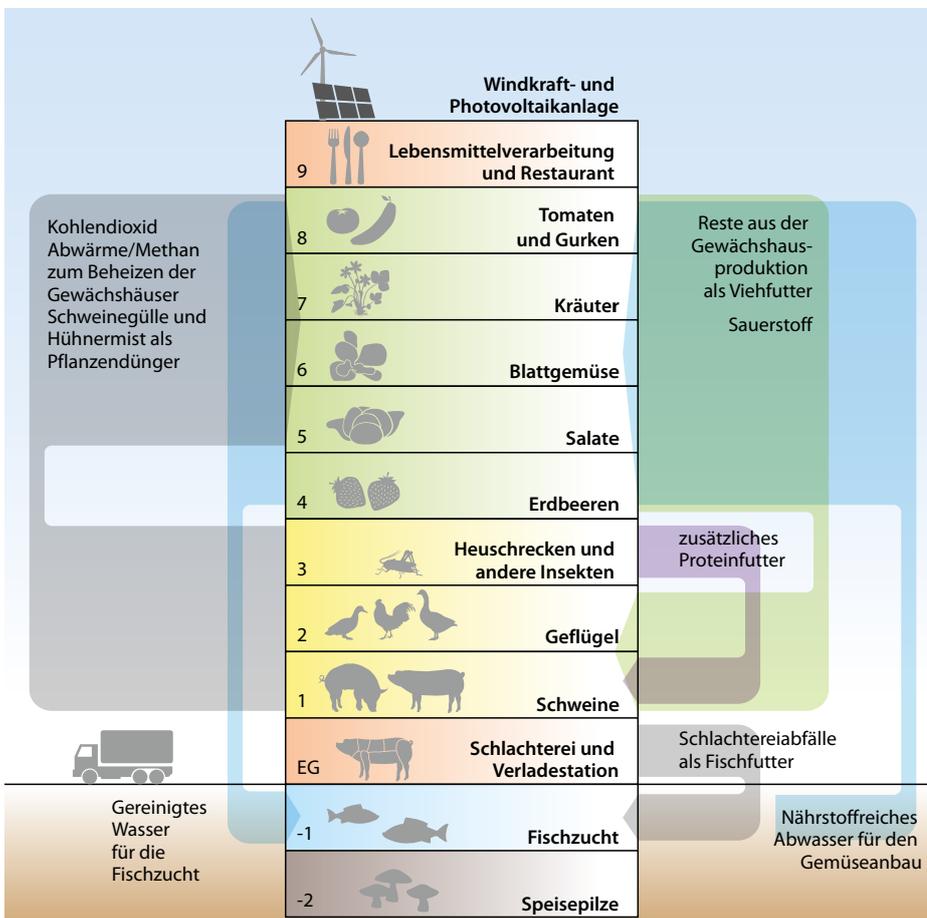
Vertikale Landwirtschaft vervielfacht die Anbaufläche nach oben

Eine besondere Form der urbanen Nahrungsmittelproduktion ist die vertikale Landwirtschaft (engl.: vertical farming). Die vertikale Landwirtschaft ist eine Zukunftstechnologie, die nicht nur die Nahrungssicherung in den Städten sondern auch an extremen Standorten, beispielsweise Wüstenregionen, gewährleisten könnte. Wie der Name es besagt, erfolgt die Produktion vertikal, also übereinander in mehrstöckigen Hochhäusern. Durch diese Anordnung kann die Anbaufläche theoretisch beliebig vervielfacht werden. Der Gedanke Gewächshäuser und auch Tierställe übereinanderzustapeln ist nicht neu und kommt immer dort zum Tragen, wo landwirtschaftliche Nutzfläche begrenzt ist, die Bevölkerungsdichte hoch ist oder Transportwege kurz sein müssen. Bereits die indigene

Urbevölkerung Amazoniens hat traditionell Etagenbau auf so genannten Nutzbäumen betrieben. In der DDR gab es das so genannte Schweinehochhaus bei Maasdorf und in den 1960er Jahren wurden bereits Prototypen erster Turmgewächshäuser gebaut.

Die erste moderne, kommerziell arbeitende – und bis dato in diesem Maßstab einzigartige – vertikale Farm öffnete den Betrieb 2012. Die Sky Greens Farm in Singapur besteht derzeit aus über 100 Türmen. In den jeweils neun Meter hohen Türmen wird unter CEA-Bedingungen übereinander Gemüse kultiviert, das direkt in den Supermärkten der Umgebung vermarktet wird.

Nach Angabe der Betreiber erwirtschaftet die Sky Greens Farm mindestens zehnmal mehr Ertrag pro Fläche als beim Anbau unter traditionellen Bedingungen. Gleichzeitig soll die Farm mit weniger als fünf Prozent des Wassers und 25 Prozent des normalerweise eingesetzten Düngers und der Pestizide auskommen. Da natürliches Sonnenlicht genutzt werden kann, ist der Energieverbrauch verhältnismäßig gering. Das trifft nicht zwangsläufig auf andere Indoor-Farmen zu, da der Energiebedarf beim Anbau licht- und wärmebedürftiger Kulturpflanzen sehr hoch sein kann. Mittelfristig kann sich dies durch den Bau effizienterer Anlagen und durch



Visionäre Vertikalfarm. Die Abbildung zeigt schematisch, wie eine vertikale Farm aussehen kann und wie einzelne Produktionseinheiten symbiotisch ineinandergreifen.



zum Weiterlesen:

Die essbare Stadt:

Grüne urbane Trends zum Mitmachen
www.pflanzenforschung.de/qr/UrbanGardening

Angeln in der Hochhaus-Farm:

Interview mit Dr. Dickson Despommier
www.pflanzenforschung.de/qr/VerticalFarm

Buntes Licht für mehr Aroma:

Blaues und rotes Licht sorgen für mehr Aroma im Tee
www.pflanzenforschung.de/qr/LEDs

LEDs, die das photosynthetisch wirksame Lichtspektrum emittieren, verbessern.

Zukunftsvisionen: Von schwimmenden Kuhställen bis Gemüse im Weltall

Geschlossene Produktionssysteme bieten scheinbar unbegrenzte Möglichkeiten. Manche davon, wie vertikale Farmen, sind nicht neu, heute jedoch in anderen Größenordnungen möglich und wirtschaftlich interessant geworden. Andere Entwürfe erscheinen futuristisch, wie etwa schwimmende Kuhställe, Hochhausfarmen (engl.: Farmscraper), Meerwassergewächshäuser oder gar Gemüse im Weltall. Gemeinsam haben sie alle, dass die Produktion nicht auf klassischen Ackerflächen stattfindet, sondern meist in geschlossenen Gebäuden. Welche der Ansätze realistisch sind, ist Gegenstand intensiver Forschung und wird sich in Praxistests zeigen.



Arbeitsaufträge

1. Lesen Sie den Text. Beschreiben Sie anhand der Abbildung „Visionäre Vertikalfarm“, welche Ressourcen in Form von Kreislaufsystemen genutzt werden können und welche nicht.
2. Recherchieren Sie eines der folgenden Themen und stellen Sie Ihre Ergebnisse als Kurzreferat vor.
 - (a) Sky Greens Farm in Singapur und ähnliche Großprojekte
 - (b) Projekt Eu:CROPIS (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. – DLR)
 - (c) Projekt EDEN ISS (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. – DLR)
- 3) Überlegen Sie sich Argumente für und gegen die intensive gebäudeintegrierte Produktion von Nahrungsmitteln unter CEA-Bedingungen in Städten. Diskutieren Sie diese im Rahmen einer Pro- und Contra-Debatte mit der gesamten Klasse.

Tomatenfische aus der Stadt

ASTAF-PRO kombiniert clever die Produktion von Fischen und Gemüse

Kann Fisch regional, nachhaltig und artgerecht produziert werden? Und geht das auch in Städten fern von Gewässern? Durch die Aquaponik ist dies möglich. Ein Forschungsteam am Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB) in Berlin entwickelte ein symbiotisches System, den „Tomatenfisch“, das neben Fisch auch Tomaten liefert und nahezu emissionsfrei betrieben werden kann.



Die Aquaponikanlage am IGB in Berlin kombiniert die Produktion von wärmeliebenden Buntbarschen und Tomaten.

Fisch ist ein wichtiges und beliebtes Grundnahrungsmittel. Weltweit steigt der Verbrauch, wodurch Probleme wie die Überfischung der Meere zunehmen. Aquakultur soll diesem Problem entgegenwirken, indem Fische und andere Wassertiere in Tanks oder in Netzen kontrolliert und von der natürlichen Population abgegrenzt gezüchtet werden. 2014 wurden in Deutschland etwa 270.000 Tonnen Fisch, Krustentiere und Muscheln produziert, knapp zehn Prozent da-

von wuchsen in Aquakultur auf. Ein Großteil der verzehrten Fische aus Aquakultur wird allerdings importiert. Eine verstärkte regionale Produktion wäre im Hinblick auf Nachhaltigkeit sinnvoll.

Aquakultur kann jedoch verheerende ökologische Auswirkungen haben. Insbesondere bei offenen Systemen, die in Meere oder Süßgewässer eingebunden sind, gelangen Krankheitserreger, Medikamente und Nährstoffe durch nicht verwertete Nahrung und Fäkalien in die Umwelt. Weltweit wird deshalb an geschlossenen Systemen gearbeitet, die diese Probleme umgehen. Bei der Aquaponik wird das Problem des nährstoffreichen Abwassers sogar in einen Vorteil umgewandelt.

also die erdfreie Kultivierung von Nutzpflanzen in einem Gewächshaus, mit der Aquakultur, also der kontrollierten Aufzucht von Speisefischen in Fischtanks, gekoppelt. Das Prinzip der Aquaponik ist nicht neu und in den Grundzügen simpel. Das Fischabwasser düngt die Pflanzen, die durch ihre Nährstoffaufnahme parallel die Wasserqualität verbessern. Die Aquaponiksysteme unterscheiden sich jedoch stark in ihrer technischen Reife, Ausstattung und Effizienz.

Der Tomatenfisch stammt aus nahezu emissionsfreier Produktion

Besondere Berühmtheit erlangte das Projekt „Tomatenfisch“, das am Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB) in Berlin bearbeitet wurde. Unter Federführung von Professor Dr. Werner Kloas wurde ein ausgefeiltes aquaponisches Pilotsystem entwickelt, das Ressourcen schonend und nahezu emissionsfrei betrieben werden kann.

Offiziell heißt das Tomatenfisch-Projekt ASTAF-PRO (Aquaponik-System zur emissionsfreien Tomaten- und Fisch-Produktion). Das Besondere ist, dass im Rahmen des Projekts eine Anlage entwickelt wurde, die Tomaten und Tilapien, eine afrikanische Buntbarschart, in einem Gewächshaus gemeinsam produziert. Tomaten und Buntbarsche passen deshalb so gut zusammen, weil beide hohe sommerliche Temperaturen mögen. Synergieeffekte zwischen beiden Systemen können so besonders gut ausgenutzt werden. 2012 und 2014 wurde der Tomatenfisch mit mehreren Preisen ausgezeichnet, weil das Projekt neue und umsetzbare Perspektiven für eine nachhaltige Nahrungsmittelproduktion bietet.

Beim Tomatenfisch sind fast alle Kreisläufe geschlossen

Im Detail funktioniert der Tomatenfisch so: Das Abwasser aus dem Fischtank, in dem sich gelöste und ungelöste Stoffe befinden, wird durch einen Grobfilter geleitet, der das Wasser mechanisch von größeren Partikeln befreit. Nun befinden sich nur noch



ASTAF-PRO Die Projektpartner

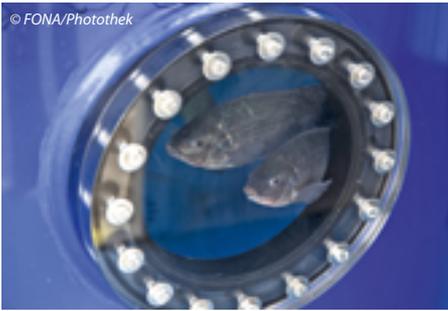
Das Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB) in Berlin hat den „Tomatenfisch“ entwickelt und wurde durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) von 2007 bis 2013 finanziert. Das Nachfolgeprojekt INAPRO vereint 18 europäische und chinesische Institutionen und wird durch die Europäische Union gefördert.

Zu den Projektseiten:
www.tomatenfisch.igb-berlin.de
www.inapro-project.eu



Die Aquaponik verbindet Fischzucht und Gemüsebau so miteinander, dass beide profitieren

Der Begriff Aquaponik ist eine Wortschöpfung, die sich aus den Worten Aquakultur und Hydroponik zusammensetzt und abbildet, dass zwei verschiedene Kultivierungsverfahren miteinander kombiniert werden. Hier wird die Hydroponik,



Die Tilapien werden in Fischtanks gezüchtet (links). Ihr Abwasser enthält giftiges Ammonium, das durch Bakterien auf dem Trägermaterial (Mitte, schwarz) im Biofilter (Mitte, blauer Tank im Hintergrund) in düngendes Nitrat umgewandelt wird. Auf dem Abwasser können so Tomaten in Hydrokultur wachsen (rechts).

die gelösten Ausscheidungen der Fische wie Ammonium im Wasser. Ammonium ist eine Stickstoffverbindung, die beispielsweise beim Abbau von Proteinen entsteht und über die Kiemen der Fische ausgeschieden wird. Da Ammonium schon in geringen Konzentrationen auf die Fische giftig wirkt, muss das Wasser regelmäßig ausgetauscht werden. Bevor das Abwasser nun zu den Tomatenpflanzen geleitet werden kann, wird es durch einen mit Nutzbakterien besiedelten Biofilter geführt. Unter Sauerstoffverbrauch wird dort durch die Bakterien das Ammonium in Nitrat umgewandelt. Dieser Vorgang wird als Nitrifikation bezeichnet und ist in Gewässern und im Boden ein natürlicher Entgiftungsprozess. Das nitratreiche Wasser kann nun zu den Pflanzen geleitet werden. Nitrat ist ein exzellenter Pflanzendünger und wichtig zum Aufbau stickstoffhaltiger organischer Verbindungen wie Proteinen und Nucleinsäuren (Stickstoff-Assimilation).

Die Wassereinsparung beim Tomatenfisch ist sehr hoch, weil der über die Blätter ausgeschiedene Wasserdampf durch Kühlfallen kondensiert und aufgefangen wird. Dieses Wasser kann den Fischen erneut zugeführt werden. Dieser gekoppelte und zirkulierende Wasserkreislauf erlaubt einen wesentlich geringeren Wassereinsatz, als wenn Fischzucht und Pflanzenbau getrennt voneinander betrieben würden. Nur ein bis drei Prozent des Wassers müssen täglich ausgetauscht

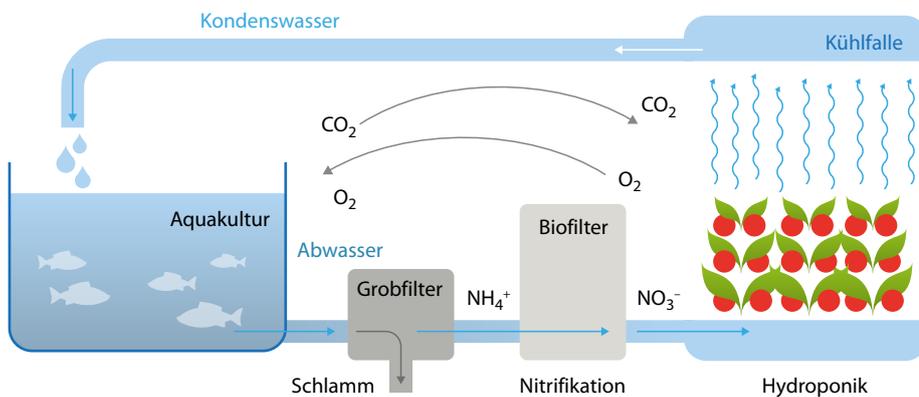
werden. Insgesamt entstehen so nur 220 Liter Abwasser je Kilogramm Tilapia. Zum Vergleich: bei der Anzucht von Forellen in Aquakultur sind es bis zu 200.000 Liter je Kilogramm Fisch.

Neben dem Wasserkreislauf findet zusätzlich ein symbiotischer Gasaustausch zwischen Pflanzen und Fischen über die Luft statt: Von den Fischen ausgeschiedenes CO_2 wird von den Pflanzen aufgenommen, die im Gegenzug Sauerstoff (O_2) abgeben.

Für die Aquaponik sind nicht nur Tomaten, sondern prinzipiell all die Gemüsearten geeignet, die im Gewächshaus in Hydrokultur kultiviert werden können, beispielsweise Gurken, Auberginen, Paprika und Kräuter. Bei den Fischen fällt die Auswahl kleiner aus. Grundsätzlich können wärmeliebende Süßwasserfische verwendet werden, da die Temperaturen in den Gewächshausanlagen im Sommer recht hoch sein können. Afrikanische Tilapien eignen sich besonders gut, weil sie auch Fischfutter mit hohen Pflanzenanteilen verwerten können. So kann auf tierisches Futter weitestgehend verzichtet werden. Außerdem wachsen Tilapien sehr schnell und können früh geerntet werden.

Und wie geht es mit dem Tomatenfisch weiter?

Die Förderphase des erfolgreichen Tomatenfisch-Projekts ASTAF-PRO ist mittlerweile



Schematische Darstellung einer Aquaponik-Anlage. Gezeigt ist der Wasser- und Stickstoffkreislauf mit dem zweistufigen Reinigungsprozess aus Grobfilter und Biofilter sowie der Gasaustausch zwischen den Fischen in Aquakultur und den Tomaten im Hydroponiksystem.

abgeschlossen. Seit 2014 wird am IGB nun ein europaweites Großprojekt koordiniert. Das Projekt INAPRO (Innovative Aquaponics for Professional Applications) soll die technische und wirtschaftliche Machbarkeit der Tomatenfisch-Anlage in größerem Maßstab erproben. Unter Beteiligung von insgesamt acht Ländern werden in Deutschland, Spanien, Belgien und China mehrere Großanlagen entworfen, gebaut und erprobt. Der Tomatenfisch nimmt also größere Dimensionen an.



zum Weiterlesen:

Tomatenfisch und -fischer

www.pflanzenforschung.de/qr/tomatenfisch
www.pflanzenforschung.de/qr/tomatenfischer

Aquaponik: Der Tomatenfisch im Film

F(r)isch für uns und die Umwelt
www.youtube.com/watch?v=5RP0rGDCE5M



Arbeitsaufträge

1. Lesen Sie den Text. Beschreiben Sie in eigenen Worten Vor- und Nachteile von Aquakultur.
2. Erläutern Sie anhand des Textes und der Abbildung „Schematische Darstellung einer Aquaponik-Anlage“ das Prinzip von Aquaponik. Welche Kreisläufe sind nahezu geschlossen? Welche Stoffe fließen in das System hinein und welche gelangen heraus?
3. Recherchieren und erklären Sie den natürlichen Stickstoffkreislauf. Welche Elemente finden sich in der Aquaponikanlage des Tomatenfischs wieder?
4. Recherchieren Sie, in welchen Gebieten der Erde Aquaponikanlagen sinnvoll sind. Wie unterscheiden sich die Hauptziele je nach Standort? Begründen Sie Ihre Überlegungen. Sie können beispielsweise den unter „zum Weiterlesen“ angegebenen Text zu Hilfe nehmen.

ZFarm Landwirtschaft ohne Land

Ein Interview mit Diplom-Ingenieurin Kathrin Specht vom Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e. V.



© Heike Schobert

Die **Diplom-Ingenieurin Kathrin Specht** ist Landschaftsarchitektin und arbeitet als Expertin für städtische und stadtnahe Landwirtschaft am Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V. in Müncheberg. Sie promoviert zu einem sozialwissenschaftlichen Thema an der Humboldt-Universität zu Berlin. Ihr Forschungsgebiet ist die Einführung, Umsetzung und Akzeptanz der Innovation Zero Acreage Farming.

Sie arbeiten als Sozialwissenschaftlerin an einem Institut, das Agrarlandschaften erforscht. Welche Fragestellungen interessieren Sie besonders?

Kathrin Specht: Global betrachtet lebt zum ersten Mal in der Geschichte der Menschheit mehr als die Hälfte der Weltbevölkerung in Städten. Dieser Trend der Urbanisierung wird auch weiter zunehmen. In der Agrarforschung beschäftigen wir uns mit der Frage, wie man die wachsende städtische Bevölkerung auch in der Zukunft ernähren kann. Dabei suchen wir heute schon nach neuen und innovativen Lösungsansätzen.

In Ihrem Projekt ZFarm untersuchten Sie eine bestimmte Form der städtischen Landwirtschaft. Was genau ist ZFarming?

Kathrin Specht: Der Begriff „Zero Acreage Farming“ (Landwirtschaft mit „null“ Flächenverbrauch) umfasst alle Formen städtischer Landwirtschaft oder des städtischen Gartenbaus, die durch die Nichtnutzung bzw. Nicht-Inanspruchnahme landwirtschaftlicher

Städte bieten vielfältige Möglichkeiten der Nahrungsmittelproduktion in, an und auf Gebäuden. Wie das funktioniert erklärt Kathrin Specht, die sich mit Leidenschaft für die Erforschung und Entwicklung der städtischen Landwirtschaft einsetzt.

oder anderweitiger offener Flächen gekennzeichnet sind. Es geht also um alle Formen der Nahrungsmittelproduktion in einer Stadt, die entweder in, an oder auf Gebäuden stattfinden.

Welche Typen von ZFarming gibt es? Gibt es regionale Unterschiede?

Kathrin Specht: Unter den Begriff ZFarming fallen Typen wie Dachgärten, Dachfarmen, Dachgewächshäuser, essbare Fassaden sowie weitere innovative Formen, wie beispielsweise Indoor Farming oder vertikale Landwirtschaft. ZFarming unterscheidet sich somit von urbaner Landwirtschaft, die „auf dem Boden“ stattfindet, beispielsweise in Parks, Gärten oder auf städtischen Brachen.

Es existieren große regionale Unterschiede, was die Zielsetzung und Ausprägung von ZFarming-Projekten angeht. In Europa sind

zum Beispiel oft Bildungsaspekte, sozialer Austausch oder die Nähe zu den Konsumentinnen und Konsumenten besonders wichtig. In asiatischen Megacities geht es tatsächlich um intensive Produktion in städtischen High-Tech-Farmen zur Ernährungssicherung. Natürlich spielen auch das lokale Klima und die Luftverschmutzung eine große Rolle, wenn es um die Frage geht, ob man in einer offenen Dachfarm Gemüse produzieren kann oder ob nur geschlossene Systeme, wie beispielsweise ein Dachgewächshaus, in Frage kommen.

Wenn beispielsweise in Berlin die Möglichkeiten ausgeschöpft würden, könnte sich die städtische Bevölkerung vollständig durch ZFarming ernähren?

Kathrin Specht: Nein, ZFarming kann zwar eine sinnvolle Ergänzung zur ländlichen Pro-



© Regine Berges

Eagle Street Rooftop Farm, eine Dachfarm auf einem Industriegebäude in New York



**Chancen von ZFarming
Ein Praxisbeispiel**

Im dem Dachgewächshaus des Feinkosthändlers Eli Zabar in New York (USA) werden verschiedene Gemüse über einer Markthalle angebaut. Die Produkte werden direkt im angrenzenden Markt und Restaurant verkauft und verarbeitet. Dadurch entstehen kaum Emissionen für den Transport. Es werden auch – im Gegensatz zu den klassischen Lieferketten – keine Energie oder Ressourcen verbraucht wie sie normalerweise für Verpackungen oder Kühlung während des Transportes anfallen.

Der Betreiber nutzt die „Abfall“-Stoffe der direkten Umgebung, die normalerweise in der Stadt ungenutzt bleiben und setzt sie direkt für seine Produktion ein. Unmittelbar unter dem Dachgewächshaus liegt eine Bäckerei. Die Abwärme dieser Bäckerei wird genutzt, um das Gewächshaus zu beheizen. Aus den Bio-Abfällen des Marktes wird eigener Kompost hergestellt und so Erde und Nährstoffe gewonnen, es kann also auf künstlichen Dünger verzichtet werden. Für die Bewässerung wird Regenwasser in großen Tonnen aufgefangen. Durch diese intelligente Ausnutzung und Weiterverwendung städtischer „Abfälle“, die normalerweise ungenutzt bleiben, bietet ZFarming eine Chance, Gemüse in Zukunft nachhaltiger zu produzieren.



© Axel Dierich

Eli Zabars Dachgewächshaus in New York (USA) ist ein Beispiel einer ZFarm.

duktion darstellen, diese aber nicht vollständig ersetzen. Viele Produkte sind auf dem ländlichen Acker wesentlich besser aufgehoben als in der Stadt. Es würde wenig Sinn machen, Produkte wie beispielsweise Getreide, Rüben, Kartoffeln oder auch Obstbäume auf einem Hausdach oder in alten Fabrikhallen anzubauen. Auch Tierhaltung im größeren Maßstab würde in der Stadt wahrscheinlich zu Konflikten führen. Für den Anbau von Tomaten, Kräutern, oder Blattgemüsen wie Salate oder Spinat sind jedoch auch die kleineren Flächen des ZFarming bestens geeignet. Der italienische Wissenschaftler Francesco Orsini und sein Team haben in einer Studie gezeigt, dass in der Stadt Bologna über 70 Prozent des Gemüsebedarfes ge-



Im Projekt ZFarm wurde ermittelt, welche Dachflächen für ZFarming geeignet sind. Die Abbildung zeigt einen Kartenausschnitt Berlins. Markiert sind Flächen, die größer als 500 Quadratmeter sind. Grün: geeignet, gelb: eingeschränkt geeignet, orange: nicht oder teilweise geeignet.

deckt werden könnte, wenn man geeignete Dachflächen als Dachgärten nutzen würde. Aufgrund des längeren Winters würde eine solche Kalkulation wahrscheinlich für eine Stadt wie Berlin niedriger ausfallen.

Vor welchen Herausforderungen steht die städtische Landwirtschaft im Allgemeinen und ZFarming im Speziellen? Welche Lösungsansätze gibt es?

Kathrin Specht: Eines der größten Probleme der städtischen Landwirtschaft ist die Flächenverfügbarkeit. Gerade in den wachsenden Metropolen ist die Konkurrenz um die verfügbaren Flächen sehr groß. Kleinere Projekte, die oft von Initiativen oder Vereinen betrieben werden, erhalten nur kurzzeitige Verträge für die Zwischennutzung von Brachflächen. Oft müssen sie dann nach einigen Jahren für Bauvorhaben weichen, die für die Stadt lukrativer sind. Da bei ZFarming Dachflächen oder leerstehende Industriegebäude genutzt werden, ist der Konkurrenzkampf bei dieser Form der städtischen Landwirtschaft glücklicherweise geringer.

Das Projekt wurde 2013 mit vielen Ergebnissen und Ideen abgeschlossen. Wie geht es nun weiter?

Kathrin Specht: Die städtische Landwirtschaft findet weltweit immer mehr Befürworter. Und das nicht nur in der Wissenschaft, sondern auch in der Gesellschaft und Politik. Viele Weichen sind bereits dahingehend gestellt, dass die Landwirtschaft einen festen Platz in den Städten der Zukunft einnehmen wird.

Vielen Dank für das Gespräch!



**ZFarm
Städtische Landwirtschaft der Zukunft
Die Projektpartner**

Das Projekt „ZFarm. Innovations- und Technikanalyse Zero Acreage Farming“ wurde im Verbund vom Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V., von der inter 3 GmbH, Institut für Ressourcenmanagement, und von der Technischen Universität Berlin, Institut für Stadt- und Regionalplanung (ISR), bearbeitet. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) förderte das Projekt.

Zur Projektwebseite: www.zfarm.de

Zum Praxisleitfaden Dachgewächshäuser: www.pflanzenforschung.de/qr/ZFarm-Leitfaden



Arbeitsaufträge

1. Lesen Sie den Text. Beschreiben Sie in eigenen Worten, für welche Produkte und an welchen Standorten ZFarming sinnvoll ist.
2. Sammeln Sie in Gruppenarbeit Argumente für ZFarming. Entwickeln Sie gemeinsam eine Mind-Map, in der die Vorteile dargestellt sind.
3. Recherchieren und beschreiben Sie die wichtigen Standortkriterien für ein Dachgewächshaus. Erläutern Sie, ob Ihre Schule ein geeigneter Standort wäre. Sie können dazu den „Praxisleitfaden Dachgewächshäuser“ zu Hilfe nehmen.

Glossar

Die wichtigsten Begriffe kurz erklärt

Art

Die Art oder Spezies ist die Grundeinheit der biologischen Systematik. Es existieren unterschiedliche Definitionen. Häufig wird der biologische Begriff verwendet, bei dem eine Art eine Organismengruppe darstellt, die sich von allen anderen Gruppen unterscheidet. Individuen einer Art können sich prinzipiell untereinander fortpflanzen und fruchtbaren Nachwuchs erzeugen.

Aquakultur

In der Aquakultur werden Wasserlebewesen wie Fische, Muscheln, Krebse oder Algen unter kontrollierten Bedingungen getrennt von der natürlichen Population produziert.

Auskreuzung

Auskreuzung bezeichnet die Weitergabe einer genetischen Information auf Individuen einer anderen Art oder in einer anderen Population bzw. Sorte der gleichen Art.

CEA (Controlled Environment Agriculture)

CEA ist eine technologiebasierte Form der Nahrungsmittelproduktion, bei der Nutztiere und -pflanzen in geschlossener Umgebung und unter kontrollierten Bedingungen angezogen werden.

Chromosom

Ein Chromosom ist ein kontinuierlicher Strang aus DNA zusammen mit Proteinen des Zellkerns.

Cuticula

Eine Cuticula ist eine Wachsschicht, die auf der Epidermis der Pflanzenzellen aufliegt, diese stabilisiert und vor Wasserverlust schützt.

DNA (Desoxyribonukleinsäure)

DNA ist ein doppelsträngiges, schraubig gewundenes Makromolekül, das als Erbsubstanz dient.

Doppelhaploide

Doppelhaploide Pflanzen haben zwei identische Chromosomensätze und sind damit vollständig reinerbig.

Genbank

Eine Genbank ist eine Einrichtung zur Sammlung von Nutzpflanzen bzw. allgemein von wichtigen und gefährdeten Arten mit dem Ziel, genetisches Material für künftige Neuzüchtungen oder gentechnische Anwendungen zu bewahren und dieses nutzbar zu machen.

Genom

Das Genom ist das gesamte Erbmateriale eines Organismus.

Genomeditierung

Bei der Genomeditierung wird das Erbgut eines Organismus mit Hilfe sequenzspezifischer Nukleasen zielgerichtet verändert.

Genotyp

Der Genotyp umfasst alle in der DNA codierten genetischen Informationen eines Organismus, die er im Zellkern trägt. Er wird meist in Bezug auf bestimmte Merkmale (Phänotyp) angegeben.

Gentechnik

Gentechnik bezeichnet Methoden und Technologien, mit denen das genetische Material eines Organismus in einer Weise verändert wird, wie sie unter natürlichen Bedingungen durch Kreuzen oder natürliche Rekombination nicht vorkommt.

Hybrid

Im biologischen Sinne ist ein Hybrid ein Individuum, das durch Kreuzung zweier genetisch weit entfernter Elternorganismen entstanden ist. Es kann sich bei den Eltern um Individuen verschiedener Arten oder auch um stark separiert gezüchtete Organismen (Inzuchtlinie) handeln, wie es in der Pflanzenzüchtung üblich ist. Hybridpflanzen sind meist größer und widerstandsfähiger als ihre Eltern.

Hydroponik

Hydroponik bezeichnet die erdfreie Kultivierung von Nutzpflanzen, die auf Mineralwolle, Schaumstoffwürfeln oder Kokosfasern Halt finden und genau definierte Wasser- und Nährstoffmengen in Form von Nährlösungen erhalten.

Inzuchtlinie

Eine Inzuchtlinie ist die aus der Kreuzung möglichst nah Verwandter hervorgegangene, nahezu reinerbige Nachkommenschaft einer Pflanze, deren reinerbige Vermehrung möglich ist. So bleiben ihre Merkmale auch in den Folgegenerationen erhalten.

Klimawandel

Als Klimawandel wird die Veränderung des durchschnittlichen Zustands der Atmosphäre an einem bestimmten Gebiet über einen längeren Zeitraum, meist mehr als 30 Jahre, bezeichnet. Wichtige meteorologische Kenngrößen sind die mittlere Temperatur und der mittlere Niederschlag.

Klon

Klone sind genetisch identische Nachkommen, die natürlich oder künstlich erzeugt werden und nicht durch geschlechtliche Fortpflanzung entstehen.

Linie

Eine Zuchtlinie ist eine Teilpopulation einer Pflanzensorte oder Tierrasse. Sie weist bestimmte Merkmale auf und ist genetisch vergleichsweise einheitlich.

Marker

Molekulare Marker sind Bereiche des Erbguts, die in der Nähe eines Gens liegen und mit hoher Wahrscheinlichkeit gemeinsam mit diesem vererbt werden. Sie werden in der Züchtung für die Selektion anhand des Genotyps angewandt.

Mutation

Mutationen sind zufällige, strukturelle Veränderung der DNA. Wie auch Rekombinationen bedingen Mutationen genetische Vielfalt.

Monokultur

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

Nachhaltigkeit

Nachhaltigkeit ist ein Handlungsprinzip, nach dem heutige und zukünftige Generationen ihre Bedürfnisse stillen können. Das schließt ökologische, ökonomische und soziale Aspekte ein.

Pflanzenschutzmittel

Pflanzenschutzmittel sind chemische oder biologische Wirkstoffe, die Pflanzen vor Schädlingen und Ackerunkraut schützen sollen.

Phänotyp

Der Phänotyp ist die Summe aller Merkmale eines Organismus. Er schließt alle inneren und äußeren Strukturen und Funktionen ein.

Ploidiegrad

Der Ploidiegrad gibt die Anzahl der Chromosomensätze eines Lebewesens an.

QTL (quantitative trait locus)

Ein QTL ist ein Genomabschnitt, der die Ausprägung eines quantitativen phänotypischen Merkmals anteilig beeinflusst.

Rasse

Der Begriff Rasse ist taxonomisch nicht klar definiert und wird meist in der Tierzucht verwendet. Eine Rasse ist eine Gruppe von Individuen, die sich in Merkmalen wie dem Körperbau, den Eigenschaften als Nutztier und dem Verhalten von anderen Gruppen der gleichen Art abgrenzen lässt und diese Merkmale vererbt. Haustierrassen entsprechen den Sorten bei Kulturpflanzen.

Rekombination

Rekombination ist die Neuordnung von genetischem Material. Es können kleinere Abschnitte der Erbsubstanz aber auch Chromosomen neu kombiniert werden. Wie auch Mutationen erzeugt Rekombination genetische Vielfalt.

Resistenz

Resistenz ist die Widerstandskraft eines Organismus gegen äußere Einflüsse. Der Unterschied zu Toleranz ist nicht klar definiert. In der Züchtung wird Resistenz meist im Zusammenhang mit biotischem Stress wie Krankheiten und Schädlingen gebraucht.

Rückkreuzung

Bei einer Rückkreuzung wird ein Nachkomme mit einem Elternteil gekreuzt.

Selektion

Selektion ist im biologischen Sinn die Veränderung der Häufigkeit von Genvarianten in einer Population in Abhängigkeit von Umweltbedingungen beziehungsweise durch Zuchtwahl.

SMART (Selection with Markers and Advanced Reproductive Technologies) breeding

SMART breeding ist eine Methode der Präzisionszüchtung, bei der anhand des entschlüsselten Genoms analysiert wird, welcher Partner der passende ist, um auf schnellstem Wege zu der Pflanze oder dem Tier mit den gewünschten Eigenschaften zu kommen.

Sorte

Als Sorte gelten Kulturpflanzen dann, wenn sie spezielle Merkmale haben, die sie von anderen Sorten der gleichen Pflanzenart oder Rasse unterscheiden und ein spezielles Zulassungsverfahren beim Bundessortenamt durchlaufen haben. Pflanzensorten entsprechen den Rassen bei Haustieren.

Toleranz

Toleranz ist die Widerstandskraft oder Duldsamkeit eines Organismus gegen äußere Einflüsse. Der Unterschied zu Resistenz ist nicht klar definiert. In der Züchtung wird Toleranz meist im Zusammenhang mit abiotischem Stress wie Trockenheit und extreme Temperaturen gebraucht.

Treibhausgase

Treibhausgas sind strahlungsbeeinflussende gasförmige Stoffe in der Atmosphäre, die zum Treibhauseffekt beitragen. Dazu zählen beispielsweise Wasserdampf (H₂O), Kohlenstoffdioxid (CO₂), Methan (CH₄) und Lachgas (N₂O).

Vertikalfarm

Eine Vertikalfarm ist ein Hochhaus, in dessen übereinander liegenden Geschossen Landwirtschaft betrieben wird.

Wertschöpfungskette

Eine Wertschöpfungskette oder Wertkette umfasst die Abfolge aller Aktivitäten für Entwurf, Herstellung, Verkauf, Auslieferung und Betreuung von Produkten oder Dienstleistungen.

Zuchtwert

Der Zuchtwert beschreibt, welche Wirkung der Genotyp eines Individuums auf ein einzelnes Merkmal hat, wenn dieser mit Genotypen anderer Individuen kombiniert werden. Ein hoher Zuchtwert bedeutet die Verstärkung des gewünschten Merkmals.



zum Weiterlesen:

Wichtige Begriffe leicht erklärt

www.pflanzenforschung.de/qr/glossar



Information zu aufgeführten BMBF-geförderten Projekten

PLANT 2030-Projekte	Förderkennzeichen
CLIMATE CHANGE	0315950
DELLA-STRESS	031A327
INNO GRAIN-MALT	0315960
PHENOVines	0315968
PPD	0315961
RYE SELECT	0315946
SUNRISE	0315952

Weitere Projekte	Förderkennzeichen
AUFWERTEN	033L129
ASTAF-PRO	033I036, 033L036
BoNaRes	031A558-64, 031B0025-27
DPPN	031A053A-C
Kuh-L	031A416A-D
LandCaRe	01LS05104-9
Tomatenfisch	033L059
ZFarm	1611618-20

Projektinformationen unter www.PLANT2030.de, <http://fisaonline.de> sowie unter den Quellen, die bei den Projektbeschreibungen angegeben wurden.

Ihre Meinung ist uns wichtig!

Wie gefällt Ihnen der GENOMXPRESS SCHOLÆ 5? Wie nutzen Sie ihn? Welche Verbesserungen und weiteren Themen wünschen Sie sich? Lassen sie es uns wissen, indem Sie an der Kurzumfrage teilnehmen:

www.pflanzenforschung.de/qr/scholae5poll.

Oder schicken Sie uns eine Email:

PLANT2030@mpimp-golm.mpg.de

Ihre GENOMXPRESS SCHOLÆ Redaktion
der PLANT 2030 Geschäftsstelle

Und was kann ich selbst machen? Kräuter aus der Flasche – Hydroponik einfach selbstgemacht

Viele Pflanzen können einfach und effizient in einem hydroponischen System kultiviert werden. Bei dieser erdfreien Kultivierung ist der Schädlings- und Schimmelbefall gering, sie verbraucht nur wenig Wasser und das System kann wiederverwendet werden.

Die Anleitung gibt ein Beispiel für ein kostengünstiges System, bei dem handelsübliche Plastikflaschen umfunktioniert werden. Sie ist an die sogenannte Kratky-Methode angelehnt und erfordert keine Pumpen oder Elektrizität. Ist das System einmal eingerichtet, braucht die Pflanze kaum Pflege. Anfangs ist das Pflanzmedium mit Nährlösung vollge-
sogen, so dass die Jungpflanze mit Wasser

und Nährstoffen versorgt ist. Im Verlauf der Zeit sinkt der Wasserspiegel im Reservoir und gleichzeitig wachsen die Wurzeln der Pflanze bis in die Nährlösung hinein. Der entstehende Luftraum im Reservoir ist wichtig für eine ausreichende Belüftung der Wurzeln. Im Idealfall muss die Pflanze bis zum Erntezeitpunkt nicht gegossen werden.

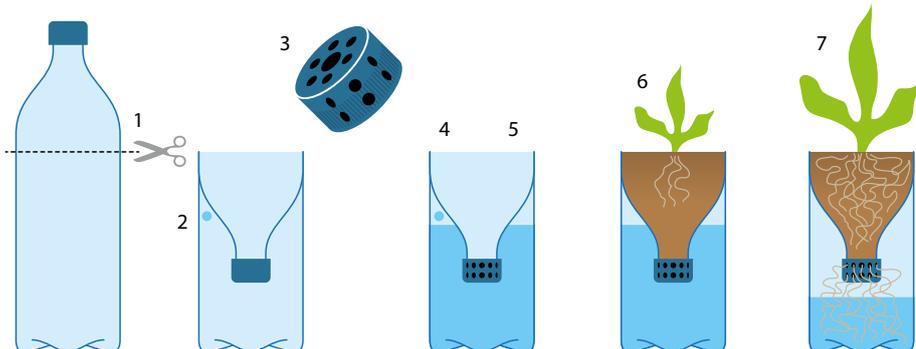
Sollte die Bewurzelung nicht ausreichen, können das Pflanzmedium und die Nährlösung auch mit einer dicken Schnur oder einem eingedrehtem Stoffstück aus saugfähigem Material verbunden werden. So saugt sich das Pflanzmedium auch bei sinkendem Wasserspiegel mit Nährlösung voll.

Hydroponik einfach selbstgemacht – Anleitung:

1. Die Plastikflasche am Übergang zum Flaschenhals, circa am oberen Drittel, rundum aufschneiden.
2. Ein kleines Loch in den unteren Flaschenteil schneiden oder bohren. Das Loch befindet sich dabei im oberen Drittel, damit es über der späteren Wasseroberfläche liegt.
3. Mehrere kleine Löcher in den Flaschendeckel bohren oder nageln.
4. Den Deckel auf den Flaschenhals aufschrauben und verkehrt herum in den unteren Flaschenteil setzen.
5. Wasser mit Hydrokulturdünger wie auf der Packung angegeben mischen. Die Flasche soweit mit der Nährlösung füllen, dass sich der Deckel unter Wasser befindet.
6. Die leicht bewurzelte Jungpflanze mit dem Pflanzmedium in den oberen Teil setzen. Das Pflanzmedium saugt sich mit Nährlösung voll. Den unteren Teil mit Alufolie oder Tonkarton umwickeln (nicht gezeigt). Die Abdunkelung verhindert Algenwachstum in der Nährlösung, ein Erhitzen bei starker Lichteinstrahlung und eine photosynthetische Aktivität der Wurzeln.
7. Die Pflanze an einen gut belichteten Platz stellen. Etwa wöchentlich den Wasserstand und das Wachstum kontrollieren. Die unteren Wurzelteile müssen immer in der Nährlösung sein. Bei Bedarf kann Wasser nachgegeben werden.

Material:

- 2 Liter Plastikflasche
- erdfreies Pflanzmedium: zum Beispiel Blähtongranulat, Kokosfasern, Bimssteingranulat, Perlit, Vermiculit; die Materialien können auch gemischt eingesetzt werden
- Nährlösung: bestehend aus Wasser und Hydrokulturdünger; Dünger für Pflanzen in Erde ist nicht geeignet
- Jungpflanze: zum Beispiel Kräuter (Basilikum, Minze, ...) oder Blattgemüse (Salate, Spinat, ...)
- Abdunkelungsmaterial: zum Beispiel Alufolie oder Tonkarton
- Bastelmaterial: Schere oder Messer, Bohrer oder Hammer und Nagel



Praxis hautnah

Das **Grüne Labor Gatersleben** ist ein Schülerlabor für Pflanzenbiologie am traditionsreichen Forschungsstandort in Seeland-Gatersleben. www.gruenes-labor.de

Unter dem Motto **Komm ins Beet!** bietet das Max-Planck-Institut für Molekulare Pflanzenphysiologie in Potsdam-Golm spannende Feldführungen an. www.komm-ins-beet.mpg.de

Die **WissenschaftsScheune** des Max-Planck-Instituts für Pflanzenzüchtungsforschung in Köln lädt zum Entdecken, Erfahren und Erforschen ein. www.wissenschaftsscheune.de

Umfassende Information zu weiteren **grünen Lernorten** in Deutschland: www.pflanzenforschung.de/qr/gruene-lernorte

Als **Citizen Scientist** selbst aktiv werden: www.buergerschaftenwissen.de



© Vasily Merkushev/Fotolia



Arbeitsaufträge

1. Bauen Sie die Hydroponikanlage mithilfe der Anleitung nach. Ziehen Sie eine oder mehrere Pflanzen bis zur Ernte an.
2. Überlegen Sie sich ein Kochrezept, bei dem Sie die angebauten Pflanzen verwenden können. Nutzen Sie die erntefrischen Pflanzen, um das Gericht zu kochen. Guten Appetit!
3. Welche Faktoren, die für die Anzucht relevant sind, können Sie variieren? Diese können beispielsweise die Nährlösung, die Belichtung oder die Pflanze selbst betreffen. Beschreiben Sie auch Messgrößen, mit denen Sie den Einfluss der Faktoren ermitteln können.
4. Führen Sie in Gruppenarbeit ein Anzuchtexperiment durch, bei dem Sie einen oder mehrere Faktoren aus Aufgabe 3 untersuchen. Protokollieren und diskutieren Sie das Ergebnis.

GENOMXPRESS SCHOLÆ 5 „Moderne Landwirtschaft“

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.

© 2016 GENOMXPRESS SCHOLÆ

Herausgeber

Max-Planck-Institut für Molekulare Pflanzenphysiologie
Geschäftsstelle PLANT 2030,
Am Mühlenberg 1, 14476 Potsdam

Redaktion

Dr. Matthias Arlt (verantwortlich)

Dr. Hanna Berger

Dr. Christiane Hilgardt

Geschäftsstelle PLANT 2030

Max-Planck-Institut für Molekulare Pflanzenphysiologie

Am Mühlenberg 1, 14476 Potsdam

E-Mail: PLANT2030@mpimp-golm.mpg.de

Weitere Autoren

Dr. Inga Schiefeler, Prof. Dr. Hermann H. Swalve

(S. 14-15, Projektportrait Kuh-L)

Dr. Maren Emmerich (S. 18-19, Übersicht Agrarsysteme;

S. 20-21, Fokus Präzisionslandwirtschaft)

Inhaltliche Unterstützung

PD Dr. Barbara Köstner

(S. 8, Forschungsbox LandCaRe)

Dr. Viktor Korzun

(S. 15-16, Projektportrait INNO GRAIN-MALT)

Dr. Christian Böhm

(S. 18-19, Forschungsbox AUFWERTEN)

Johannes Graupner

(S. 24-25, Projektportrait ASTAF-PRO)

Layout

Dirk Biermann Grafik Design, Potsdam

Druck

GS Druck und Medien GmbH, Potsdam

ISSN 2190-524X

Bildquellen

S. 1 (Titel), S. 5 und S. 17:

© Eva Langhorst (www.scienceillustration.de)

Fotolia: www.fotolia.com

Wikimedia commons: <http://commons.wikimedia.org>

CC-BY-SA 3.0: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0>

CC-BY-NC 4.0: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>

Aboservice

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

So kommt das Magazin kostenlos direkt zu Ihnen ins Haus.

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

Grünes Duell Spielend die Superstars der Pflanzenforschung kennenlernen



Stellen Sie sich der Herausforderung und spielen Sie das Grüne Duell gegen den Computer. Jede Karte nimmt eine Pflanze etwas genauer unter die Lupe. In fünf ausgewählte Kategorien können Sie gegen die gleiche Kategorie einer noch verdeckten Karte antreten. Wählen Sie geschickt aus: Wer zuerst 12 Karten gesammelt hat, gewinnt das Spiel.

www.pflanzenforschung.de/qr/gruenes-duell



*„Das Material hat mich vor allem
in Bezug auf seinen Einsatz im
LK-Bereich fasziniert.“*

Erika D.-K. aus G., Gymnasiallehrerin

*„Die Unterrichtsbeispiele [...] ermöglichen
eine eingehende Beschäftigung mit den
relevanten Themen.“*

Forum Lernort Bauernhof

*„Eine wunderbare Gelegenheit zur Aufarbeitung
aktueller Inhalte der Sek II.“*

Dr. Madlen D. aus B., Gymnasiallehrerin

*„Die zahlreichen Informationsmaterialien sowie
die didaktischen Hinweise [geben] Anregungen für
eine wissensbasierte und aktuelle Gestaltung des
Oberstufenunterrichts.“*

Verband Biologie, Biowissenschaften & Biomedizin in Deutschland (VBIO)

„Ich bin begeistert.“

Jörg P. aus S., Oberstudienrat

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

 **PLANT2030**

Kompetenznetz der angewandten Pflanzenforschung in Deutschland

Der **GENOMXPRESS SCHOLÆ** bietet aktuelle Themen aus der Wissenschaft in einer direkt im Unterricht einsetzbaren Form. Die fünfte Ausgabe zum Thema **Moderne Landwirtschaft** spiegelt die gegenwärtigen Entwicklungen der Forschung in diesem Bereich wider. Die Ansätze reichen von direkt anwendbaren Erfindungen bis hin zu visionärem Umdenken, mit Nachhaltigkeit als zentralem Ziel. Der **GENOMXPRESS SCHOLÆ 5** regt dabei zur kritischen Auseinandersetzung an.

Das Heft gliedert sich in zwei Module rund um **Züchtung und Agrarsysteme** der modernen Landwirtschaft. Die Artikel können individuell und unabhängig voneinander in den Unterricht integriert werden.

Die Inhalte und Themen des Heftes stammen aus den Forschungsprojekten von **PLANT 2030** und anderen vom **Bundesministerium für Bildung und Forschung** geförderten Aktivitäten.

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