



**Pflanzenforschung –  
Wir lassen die Zukunft wachsen**



---

## Inhalt

Einführung	4
Gesunde Pflanzen für eine gesunde Ernährung	6
Züchtung macht die Meister	12
Mit neuen Techniken züchtet es sich leichter	16
Die Pflanze isst, wo sie ist	20
Pflanzenforschung für guten Geschmack	24
Frost droht! Hilfe für blühende Obstbäume	27
Insektenbestäuber in unserer Landwirtschaft	31
Green Deal	36
Glossar	38

---

## Einführung

Warum machen wir eine Broschüre über Forschung an Pflanzen? Es gibt viele gute Gründe dafür. Forschung an Pflanzen schafft Wissen und Verständnis für das, was Pflanzen brauchen, was ihnen schadet und wie sie am besten gedeihen.

Pflanzen sind die Basis unserer Ernährung, sie sind wichtiger Lebensraum für große und kleine Tiere, sie erfreuen uns durch Schönheit und Vielfalt. Als ortsfeste, nicht mobile Lebewesen müssen Pflanzen an ihrem Standort optimale Wachstumsbedingungen vorfinden. Unterschiedliche Arten haben unterschiedliche Ansprüche an Boden, Temperatur und Niederschlag. Es ist den Pflanzen aber auch möglich, sich an die vorherrschenden Umweltbedingungen anzupassen. Seit Jahrtausenden machen die Menschen sich diese Flexibilität der Pflanzen zunutze. Durch Domestikation von Wildarten und Züchtung wurden unsere heutigen Kulturarten kontinuierlich verbessert und an die Rahmenbedingungen heutiger Formen landwirtschaftlicher Produktion angepasst. Daraus sind Zielkonflikte zwischen intensiver landwirtschaftlicher Produktion, dem Schutz natürlicher Ressourcen und dem Erhalt der Artenvielfalt entstanden. Wie diese Zielkonflikte aufgelöst werden können, soll erläutert werden.

In dieser Broschüre geben wir Beispiele für zentrale Themen der Pflanzenforschung. Ziel unserer Forschung ist zu verstehen, welche Mechanismen einer optimalen Entwicklung der Pflanzen zugrunde liegen, um möglichst hohe Produktivität bei geringem Ressourceneinsatz zu gewährleisten. Dazu braucht es gute Pflanzengesundheit und Stressresistenz, optimale Pflanzenernährung und ausgewogene pflanzliche Inhaltsstoffe. Um die Auswirkungen des Klimawandels abmildern zu können, müssen wir verstehen, welche physiologischen Signalwege den Pflanzen erlauben, sich an die vorherrschenden Umweltbedingungen anzupassen. Und wir möchten lernen, wie die natürlich vorhandene Diversität

---

unserer Kulturpflanzen und die Artenvielfalt in Agrarlandschaften zur Förderung der pflanzlichen Produktion beitragen kann. Neben der Darstellung von Forschungsfragen und Forschungszielen beleuchten wir Methoden, die uns aktuell für die molekulare Analyse von Modell- und Kulturpflanzen zur Verfügung stehen. Wir geben Einblicke in neue Züchtungsverfahren, die sowohl zur Aufklärung molekularer Mechanismen als auch zur genetischen Verbesserung unserer Kulturpflanzen eingesetzt werden können. Damit möchten wir zu einem besseren Verständnis der verfügbaren Methoden in der Pflanzenzüchtung beitragen und die Basis für eine faktenbasierte und offene Diskussion zum Einsatz dieser Methoden schaffen.

Die Förderung von Forschung und Entwicklung im Sinne einer nachhaltigen pflanzlichen Produktion ist angesichts einer stark steigenden Weltbevölkerung und den Auswirkungen des Klimawandels unabdingbar. Verschiedene Life Science-Disziplinen der TUM geben in den folgenden Beiträgen Einblicke in aktuelle Themen und Methoden auf dem Gebiet der Pflanzenforschung und -züchtung. Wir informieren mit dieser Fachbroschüre über die Bedeutung, die Ziele und die technologischen Entwicklungen in der Pflanzenforschung und möchten sie damit wichtigen Entscheidungsträgern und einer breiten Öffentlichkeit zugänglich machen.

Wir freuen uns über Anregungen und Fragen zum Thema und wünschen Ihnen viel Freude bei der Lektüre.

**Prof. Dr. Chris-Carolin Schön**

Lehrstuhl für Pflanzenzüchtung  
Technische Universität München

---

## Gesunde Pflanzen für eine gesunde Ernährung

Pflanzenkrankheiten, die durch mikrobielle oder virale Krankheitserreger verursacht werden, können unter Umständen zum Totalverlust von Erträgen im Kulturpflanzenbau führen. Selbst unter intensiven vorbeugenden und behandelnden Pflanzenschutzmaßnahmen sind regelmäßig 5 – 10 % des genetischen Ertragspotenzials unserer Kulturpflanzen allein durch Krankheiten nicht realisierbar. Besonders pilzliche Schaderreger produzieren häufig toxische Substanzen, um ihre Wirtspflanzen zu schwächen oder ihre ökologische Nische zu gestalten. Solche Mykotoxine finden sich regelmäßig in Futter- und Lebensmitteln wieder und ihre Vermeidung und Überwachung ist kosten- und arbeitsintensiv.



Lehrstuhl für Pflanzenzüchtung, TUM

*Weizen mit Fusariumbefall erkennt man an der teilweisen Ausbleichung der Ähre schon vor der Reife.*

Um Ertragssicherheit und Verbraucherschutz zu ermöglichen, greifen der konventionelle und der ökologische Landbau auf unterschiedliche und überlappende Maßnahmen des vorbeugenden, chemischen, biologischen und genetischen Pflanzenschutzes zurück. Insbesondere der chemische Pflanzenschutz, zum Beispiel durch den Einsatz von Kupferpräparaten im ökologischen und konventionellen Pflanzenbau und der Einsatz chemisch synthetischer Pflanzenschutzmittel im konventionellen Pflanzenbau, steht zunehmend in der öffentlichen Debatte. Die Wirkung entfaltet sich hier auch auf Nichtzielorganismen und kann so zu Biodiversitätsverlusten führen. Zudem werden messbare Rückstände

---

von Pflanzenschutzmitteln in Lebensmitteln zunehmend weniger toleriert. Darüber hinaus verursacht der Einsatz chemischer Pflanzenschutzmittel regelmäßig Verschiebungen in der Zusammensetzung der Schaderregerpopulationen, was häufig Wirkungsverluste der Pflanzenschutzmittel nach sich zieht.

Der anhaltend hohe Krankheitsdruck, eine sich durch den Klimawandel verändernde Umwelt, hohe gesellschaftliche Anforderungen an Umwelt- und Verbraucherschutz und die geforderte Einschränkung des chemischen Pflanzenschutzes im ökologischen und konventionellen Pflanzenbau stellen die Pflanzenwissenschaftler vor große Herausforderungen. In diesem Spannungsfeld bewegt sich die Phytopathologie und sucht neue Lösungsansätze zum Schutz vor Pflanzenkrankheiten. Sie erforscht dabei die Schad-erreger in ihrer Wechselwirkung mit der Umwelt, die Dynamik der Erregerpopulation und deren Anpassung an Pflanzenschutzmaßnahmen, den Einfluss der unbelebten Umwelt auf die Widerstandsfähigkeit der Pflanzen und die molekularen Ursachen von Krankheitsentwicklung und Immunität.

*„Die Phytopathologie sucht neue Lösungsansätze zum Schutz vor Pflanzenkrankheiten.“*

**Welche Ergebnisse erzielt nun diese Art von Wissenschaft und wie lassen sich diese in Innovationen im Pflanzenbau übersetzen?**

Das soll in einer Mischung experimenteller Befunde und aktueller Arbeitshypothesen näher erläutert werden:

Epidemiologische Studien zeigen, dass Klimaparameter das Verhalten von Wirt-Pathogen-Interaktionen verändern. Dabei werden bestimmte Pathogen-Ökotypen umweltabhängig bevorzugt, woraus sich in Wildpflanzen genetische Anpassungen der Wirtspflanzenpopulation ergeben. Solche Anpassungen sind dann sowohl durch den Schaderreger als auch die unbelebte Umwelt bedingt, sodass sich nicht nur eine Veränderung der für die Resistenz verantwortlichen Erbanlagen oder Gene findet, sondern auch vieler Funktionen, die mit ihnen verknüpft sind. Genetisch ist die optimale Anpassung an klimabedingte Veränderungen des

---

Erregerspektrums also komplex. Das bedeutet, dass die Funktion einzelner Gene, die zum Beispiel die unmittelbare Erkennung eines Erregers durch die Pflanze ermöglichen, abhängig vom genetischen Kontext sein kann. Für Züchter leiten sich daraus wichtige Strategien für die Nutzung neuer Resistenzquellen aus exotischem Pflanzenmaterial ab.

**„Jeder Anwender ist lokal durch seine Pflanzenschutzanwendung mit dafür verantwortlich, wie lange ein Wirkstoff in seiner Wirkung erhalten bleibt.“**

Mikrobielle Krankheitserreger verändern ihre Populationsstruktur abhängig vom Klima, von der Resistenz der Kultur- und Wildpflanzen in ihrer Umgebung und von Pflanzenschutzmaßnahmen. Letzteres führt häufig zu Wirkstoffresistenzen in den Erregern und einem Teil- oder Totalversagen chemischer Pflanzenschutzmaßnahmen. Solche Veränderungen lassen sich inzwischen leicht über molekulare Marker für die Wirkstoffresistenzen nachweisen. Nun zeigt sich zunehmend, dass die ursächlichen Mutationen zwar in allen lokalen Erregerpopulationen ähnlich sind, der genetische Hintergrund dieser Mutanten aber sehr unterschiedlich sein kann, wenn man das gesamte Erbgut der Erreger betrachtet.



Tom Freudenberg,  
PICT GmbH

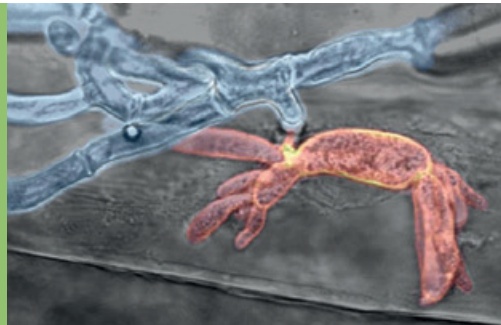
*Fusarium – Schaderreger unter Beobachtung*

Das unterstützt die These, dass die Wirkstoffresistenzen nicht ursprünglich selten sind und sich dann stark ausbreiten, sondern sich vielerorts unabhängig voneinander entwickeln und nach Applikation der Pflanzenschutzmittel anreichern. Das hat enorme Auswirkungen auf die Vorbeugung von Wirkstoffresistenzen. Jeder Anwender ist lokal durch seine Pflanzenschutzanwendung mit dafür verantwortlich, wie lange ein Wirkstoff in seiner Wirkung erhalten bleibt.



Resistenzzüchtung ist ein wesentlicher Baustein zur Weiterentwicklung unserer Pflanzenbausysteme. Resistente oder wenig anfällige Sorten erhöhen die Ertragssicherheit und erniedrigen den ökologischen Fußabdruck der Pflanzenproduktion durch weniger Pflanzenschutzmittelapplikation und weniger Kraftstoffverbrauch. Um die Resistenzzüchtung zu unterstützen und die

*Mikroskopische Aufnahme des Echten Mehltaupilzes der Gerste: Pilzmycel (blau) auf der Blattoberfläche und Spezialzelle des Pilzes (rot) in einer lebenden Gerstenzelle (grau). Über die Spezialzelle ernährt sich der Pilz und gibt Virulenzfaktoren in die Pflanze ab.*



Lehrstuhl für Phytopathologie, TUM

zugrunde liegende Immunität der Pflanzen besser zu verstehen, ist es wichtig, die Funktion von Resistenzgenen zu begreifen. Pathogene besitzen in der Regel breit vorkommende, immunstimulatorische Moleküle, die von Pflanzen als „fremd“ oder „feindlich“ erkannt werden. Dies geschieht durch „Sensoren“ der Pflanze, welche als eine Art „Alarmanlage“ vor Bedrohungen durch Krankheitserreger warnen. Solche Sensorproteine können zu einer breit wirksamen Resistenz beitragen. Wird ihre Funktionsweise in Modellpflanzen verstanden, lassen sich dann die zugehörigen Gene in Kulturpflanzen direkt auf Variationen im Genpool untersuchen und züchterisch verwerten.

Bei Abwesenheit eines solchen Resistenzgens können auch direkt entsprechende Gene aus Modellpflanzen biotechnologisch genutzt werden, da auch artfremde Sensoren in Kulturpflanzen deren natürliche Abwehrmechanismen aktivieren. Diese Art der Kulturpflanzenverbesserung zur Einsparung von Pflanzenschutzmitteln genießt zurzeit international große Aufmerksamkeit und drängt stark in die Anwendung. In Europa ist eine Anwendung solcher genetisch veränderter Organismen in der Landwirtschaft aber die Ausnahme und findet in Deutschland zurzeit nicht statt.

**„Den großen Herausforderungen des Pflanzenbaus und der Phytopathologie steht ein eleganter Werkzeugkasten gegenüber.“**

In der Interaktion von Pathogenen mit ihren Wirtspflanzen profitieren die Erreger oft von Funktionen der Pflanze. Die daran beteiligten Faktoren werden mit einer Achillesferse der Pflanzen verglichen. Das tiefe Verständnis dieser Interaktion macht es inzwischen möglich, das enge Abhängigkeitsverhältnis von Erreger und Pflanze zu stören. Dies wird über Mutationen, also genetische Veränderungen der Achillesferse, erreicht. Die Pflanze wird so weniger angreifbar für das Pathogen. Ohne es zu wissen, hat die klassische Pflanzenzüchtung über Jahrzehnte solche Achillesmutationen genutzt. Sie wurden im natürlichen Genpool von Wildpflanzen gefunden oder durch konventionelle Mutationszüchtung ausgelöst und züchterisch verwendet. Alle Kulturpflanzen tragen spontane oder induzierte Mutationen, die nicht voneinander unterscheidbar sind. Sie finden gleichermaßen Verwendung im ökologischen wie im konventionellen Landbau. Heute kann man solche Mutationen mittels Genomeditierung gezielt in das Erbgut einer Kulturpflanze einbringen. Diese und andere neue Züchtungsmethoden bergen großes Potenzial für die Resistenzzüchtung.



Tom Freudenberg,  
PICT GmbH

*Pathogene im Visier:  
Ramularia-Blattflecken bei Gerste im Feld ...*

Insgesamt steht den großen Herausforderungen des Pflanzenbaus und der Phytopathologie also ein eleganter Werkzeugkasten gegenüber. Die hier genannten Beispiele und andere aktuelle Entwicklungen, wie die Applikation aus der Natur entnommener

*... und Begutachtung von Gerste  
im Gewächshaus*

Tom Freudenberg,  
PICT GmbH



nützlicher Mikroorganismen, Immunstimulanzien oder organischer Pflanzenstärkungsmittel, die präzise lokale Applikation von Pflanzenschutzmitteln, basierend auf der Felderkennung kranker Pflanzen mit Hilfe elektronischer Sensoren (Teilflächenapplikation zur Reduktion der applizierten Mittel) oder die Resistenzzüchtung, basierend auf genomischen Daten, zeigen Wege in einen innovativen Pflanzenbau, der umweltgerecht, ressourcenschonend und wirtschaftlich zugleich sein kann.

**Prof. Dr. Ralph Hückelhoven**

*Lehrstuhl für Phytopathologie  
Technische Universität München*

---

## Züchtung macht die Meister

Die Anforderungen an unsere Kulturpflanzen sind vielfältig. So sollen Obst und Gemüse gut schmecken, sie sollen lange haltbar sein und den Transport gut überstehen. Beim Getreide stehen vor allem Ertrag und verarbeitungstechnische Eigenschaften wie Backen und Mälzen im Vordergrund. Gleichzeitig möchten wir Pflanzen züchten, die resistent gegen Schaderreger sind und optimal mit limitierten Ressourcen wie Wasser oder Nährstoffen umgehen.



Lehrstuhl für Pflanzenzüchtung, TUM

Gewächshaus

Ziel der Pflanzengenetik ist zu verstehen, wie diese Eigenschaften vererbt werden und welche Gene an der Merkmalsausprägung beteiligt sind. Wichtig ist zu wissen, ob einige wenige Gene mit großen Effekten die Merkmalsausprägung beeinflussen oder ob es viele Gene sind, von denen jedes einzelne nur einen kleinen Beitrag leistet. Je größer die Zahl der Gene, die ein Merkmal kodieren, umso schwieriger ist es, Genkombinationen zu finden, die nur die positiven Eigenschaften vermitteln. Dazu kommt, dass es bei manchen Eigenschaften einen sogenannten „trade-off“ gibt. So ist es zum Beispiel möglich, trockenresistente Pflanzen zu züchten, die mit dem vorhandenen Wasser sparsam umgehen. Unter Wassermangel schließen sie ihre Spaltöffnungen auf der Blattoberfläche, um möglichst wenig Wasser

zu verbrauchen. Dadurch wird jedoch auch die kühlende Wirkung der Transpiration unterbrochen und die Pflanzen leiden mehr unter Hitzestress. Dazu kommt, dass auch die Produktivität der Pflanzen beeinträchtigt wird, denn die Photosyntheseleistung geht zurück. Deshalb ist es eine große Herausforderung, Sorten zu züchten, die hohe Produktivität und Nachhaltigkeit vereinen.

Durch Forschung an Modell- und Kulturpflanzen entsteht ein tieferes Verständnis der beteiligten Stoffwechselwege und es kann gezielt nach Pflanzen gesucht werden, bei denen diese Abhängigkeiten in optimaler Weise ausbalanciert sind. Kennen wir die Funktion einzelner Gene und ihr Zusammenwirken im Genom, kann dieses Wissen direkt für die Auslese optimaler Merkmalskombinationen genutzt werden und somit die Entwicklung verbesserter Sorten beschleunigen.

Wenn jedoch spezifische Merkmalsausprägungen im aktuellen Zuchtmaterial nicht vorkommen, sind Strategien notwendig, um neue Variation zu finden oder zu schaffen. So kann es zum Beispiel passieren, dass sich durch veränderte Niederschlags- und Temperaturverhältnisse neue Schaderregerpopulationen entwickeln, die im Anbau bisher nicht von Relevanz waren und daher in der

***„Es ist eine große Herausforderung, Sorten zu züchten, die hohe Produktivität und Nachhaltigkeit vereinen.“***



Uli Benz, TUM

Im Weizenfeld

Züchtung keine Berücksichtigung fanden. Oder aufgrund geänderter politischer Rahmenbedingungen bekommen neue Merkmale höhere Priorität, zum Beispiel wenn Grenzwerte für bestimmte

---

Schaderreger festgelegt werden, da sie gesundheitsschädliche Stoffe produzieren. Hier muss die Züchtung schnell handeln. Wenn aus der Forschung bereits bekannt ist, ob es in der jeweiligen Kulturart Variation für das Merkmal gibt, welche Gene an der Resistenz beteiligt sind und wo diese auf dem Genom liegen, können unter Zuhilfenahme effizienter Züchtungsmethoden zeitnah neue Sorten geschaffen werden. Sobald Zuchtziele klar definiert und genetische Mechanismen bekannt sind, bieten etablierte Züchtungsprogramme hohe Flexibilität, Sorten mit neuen Merkmalen oder Merkmalskombinationen zu züchten.

Es gibt aber auch Merkmale, für die im Zuchtmaterial keine vorteilhaften Varianten zu finden sind. Dann muss man auf die in unseren Genbanken eingelagerte Biodiversität zurückgreifen. Die Nutzung dieser genetischen Ressourcen, wie sie in ursprünglichen Sorten noch vorhanden sind, ist ein aufwändiges Unterfangen. Für die meisten Kulturarten stehen viele Tausend Rückstell-



Tom Freudenberg, PICT GmbH

*Maisfeld*

proben zur Verfügung, jedoch ist ihr Wert für die Entwicklung neuer Sorten weitgehend unbekannt. Hier ist die Forschung gefragt, wie man in dieser ungeheuren Vielfalt diejenigen findet, die neue, erwünschte Variation und gleichzeitig möglichst wenig

---


unerwünschte Eigenschaften mitbringen. Denn an diesen Rückstellproben ist der Züchtungsfortschritt der letzten Jahrzehnte vorbeigegangen.

Die Entwicklung einer neuen Sorte erfordert hohe Investitionen und dauert viele Jahre. Werden in der Forschung neue Technologien entwickelt, müssen sie darauf geprüft werden, ob der Züchtungsprozess sich mit ihnen effizienter gestalten lässt. Einige von diesen Entwicklungen haben den Zuchtfortschritt enorm beschleunigt. Andere werden vor allem für die Verbreiterung der genetischen Variation eingesetzt, die die Basis einer erfolgreichen Sortenentwicklung darstellt. Im nächsten Beitrag soll eine Auswahl dieser Züchtungsmethoden dargestellt werden.

**„Neue  
Technologien  
müssen darauf  
geprüft werden,  
ob sich der  
Züchtungsprozess  
mit ihnen effizienter  
gestalten lässt.“**

**Prof. Dr. Chris-Carolin Schön**

Lehrstuhl für Pflanzenzüchtung  
Technische Universität München



## Mit neuen Techniken züchtet es sich leichter

**„Das Methodenspektrum der Pflanzenzüchtung wird kontinuierlich weiterentwickelt.“**

Das Methodenspektrum der Pflanzenzüchtung wird kontinuierlich weiterentwickelt. Dabei gibt es Methoden, die in Forschungsprojekten eigens für die Pflanzenzüchtung entwickelt oder aus anderen Disziplinen übernommen und an die spezifischen Rahmenbedingungen angepasst werden. Im Folgenden werden einige der wichtigsten Entwicklungen vorgestellt.



Tom Freudenberg,  
PICT GmbH

Laboruntersuchung

**„Die grundlegende „Technologie“ der Züchtung ist die Kreuzung vielversprechender Eltern, um neue Variation zu schaffen.“**

Die grundlegende „Technologie“ der Züchtung ist die Kreuzung vielversprechender Eltern, um neue Variation zu schaffen. Nachkommen dieser Kreuzungen werden eingehend geprüft, um festzustellen, ob sie bereits existierenden Sorten überlegen sind. Diese Prüfungen finden am besten mit reinerbig, das heißt genetisch stabilen Inzuchtlinien, statt. Um reinerbige Linien zu erhalten, bedarf es mehrfacher Selbstungen, die bei manchen Arten mehrere Jahre in Anspruch nehmen können. Mittels der Doppelhaploiden-Technologie ist es jedoch möglich, sofort nach der Kreuzung je nach Kulturart aus Pollen oder Eizellen haploide Pflanzen anzuziehen. Im Labor wird der Chromosomensatz dieser Pflanzen verdoppelt und man erhält direkt reinerbige Pflanzen, die neue Merkmalskombinationen in sich tragen und umfangreich auf ihre Eigenschaften geprüft werden können. Die Doppelhaploiden-Technologie wird heute bereits bei einer Vielzahl von Kulturarten angewendet. Allerdings gibt es immer noch Arten, die für diese Technologie nicht zugänglich sind, wie zum Beispiel die Sonnenblume oder der Roggen. Daher arbeitet die Forschung intensiv daran, die zugrunde liegenden Mechanismen aufzuklären und Konzepte zu entwickeln, die für den Einsatz in weiteren Arten geeignet sind.



Die genetische Information unserer Pflanzen ist in ihrer DNA gespeichert. Die Genomanalyse ist somit zentral für die Pflanzenforschung. Sequenzierungen ganzer Genome sind für eine Vielzahl von Kulturarten bereits heute mit hoher Präzision möglich. In Kombination mit Methoden der Bioinformatik, Proteomik und Metabolomik ermöglichen diese Daten die Aufklärung der Funktion einzelner Gene und von Gennetzwerken. Dazu bedarf es allerdings auch noch der Verbindung zum sogenannten Phänotyp der Pflanzen, also ihrem Erscheinungsbild aus äußerlichen und innerlichen Merkmalen, wie zum Beispiel Wuchshöhe oder Stärkegehalt. Um die Bedeutung verschiedener Varianten eines Gens für den Ertrag oder die Krankheitsresistenz zweifelsfrei feststellen zu können, müssen die Pflanzen in umfangreichen, mehrortigen und mehrjährigen Versuchen im Feld geprüft werden. Da die Datenerhebung im Feld sehr aufwändig ist, wird hier an digitalen Phänotypisierungsverfahren geforscht. Der Weiterentwicklung von speziellen bildgebenden Verfahren, Robotik, Sensortechnik und intelligenten Algorithmen kommt hier besondere Bedeutung zu.

**„Genomanalyse  
ist zentral für die  
Pflanzenforschung.“**

Tom Freudenberg,  
PICT GmbH



**Phänotypisierung  
mittels Flugdrohne**

Aber selbst wenn Gene, die ein Merkmal bestimmen, nicht bekannt sind, ist genomische Information von großer Bedeutung für die Züchtung. Liegen für eine Kulturart qualitativ hochwertige Sequenzdaten vor, können daraus sogenannte Genotypisierung-Chips entwickelt werden. Mit diesen Chips werden von der DNA einer Pflanze an zehntausenden Positionen Änderungen in der Basenabfolge abgelesen. Diese DNA-Marker haben nicht notwendigerweise sichtbare Auswirkungen auf wichtige Merkmale, aber

die Gesamtheit der Variationen ermöglicht es, ein genetisches Muster, einen sogenannten genetischen Fingerabdruck, von einer bestimmten Pflanzenlinie zu erstellen. In Kombination mit informativen Phänotypen kann dann ein Vorhersagemodell erstellt werden, um zehntausende Pflanzen nur noch auf Basis ihres DNA-Profiles zu selektieren. Die sogenannte genomische



Astrid Eckert, TUM

Aufzucht von Pflanzen in der Klimakammer

Selektion ist der bisher üblichen phänotypischen im Hinblick auf Intensität und Schnelligkeit überlegen und hat bereits viele Zuchtprogramme revolutioniert. Allerdings gibt es immer noch viele offene Fragen, wie Zuchtprogramme gestaltet werden müssen, um diese Technologie effizient zu nutzen.

Im besten Fall sind die DNA-Variationen bekannt, die Resistenz-, Qualitäts- oder andere Eigenschaften unserer Kulturarten bestimmen. Diese gezielt und präzise durch molekulare Züchtung zu verändern, ist inzwischen in greifbare Nähe gerückt. Die wohl bekannteste Methode hierfür ist die CRISPR/Cas-Methode, für die im Jahr 2020 der Chemie-Nobelpreis verliehen wurde. Mit dieser Methode können Gene unter Zuhilfenahme zelleigener Reparatursysteme gezielt inaktiviert, das heißt ausgeschaltet oder modifiziert werden. Die Genomeditierung ist in der Pflan-

### Auszählung von Arabidopsis-Keimlingen

Tom Freudenberg,  
PICT GmbH



zenforschung im Labor für den Funktionsnachweis von Genen inzwischen weit verbreitet. Auch für ihre Anwendung in der Pflanzenzüchtung gibt es Beispiele, allerdings wurden diese außerhalb der Europäischen Union (EU) entwickelt. Darunter fallen genetische Veränderungen zur Reduktion des Pestizideinsatzes, des Wasserverbrauchs und von Ernteverlusten. Für die Prüfung neuer Entwicklungen mittels Genomeditierungsverfahren müsste in der EU zunächst die Freilandforschung erleichtert werden.

Die Genomeditierung bietet vielfältige Möglichkeiten für die genetische Verbesserung unserer Kulturarten im Sinne einer nachhaltigen und verantwortungsvollen Landwirtschaft. Dies sollte in der Diskussion um eine Novellierung des europäischen Gentechnikrechts nicht außer Acht gelassen werden.

**„Genomeditierung bietet vielfältige Möglichkeiten für die genetische Verbesserung unserer Kulturarten im Sinne einer nachhaltigen und verantwortungsvollen Landwirtschaft.“**

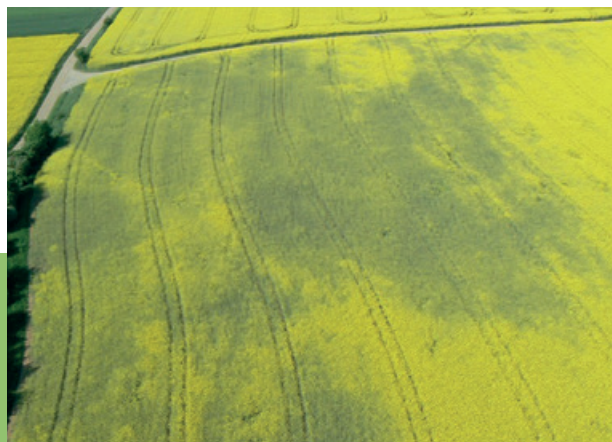
**Prof. Dr. Chris-Carolin Schön**

Lehrstuhl für Pflanzenzüchtung  
Technische Universität München

---

## Die Pflanze isst, wo sie ist

Ein vitales Wurzelsystem ist für die Gesundheit von Pflanzen evident und dementsprechend ist es selbstverständlich, dass auch der Zustand des Bodens, in dem eine Pflanze wächst, für deren Produktivität von enormer Bedeutung ist.



Professur für Crop Physiology  
TUM

*Rapsfeld*

***„Wurzelsysteme spielen zentrale Schlüsselrollen für die Entwicklung und Stresstoleranz der Gesamtpflanze.“***

Wurzelsysteme sind nicht nur für die Verankerung im Boden verantwortlich, sondern spielen zentrale Schlüsselrollen für die Entwicklung und Stresstoleranz der Gesamtpflanze sowohl in ihrer Funktion als Nährstoff- und Energiespeicher als auch als Hauptorgan zur Aufnahme von essentiellen Nährstoffen und Wasser. Bakterien und Pilze im Boden haben einen signifikanten Einfluss – sowohl positiv als auch negativ – auf die Produktivität von Kulturpflanzen. Umgekehrt beeinflussen Pflanzen den Boden durch eine quantitativ und qualitativ beeindruckende Abgabe von kohlenstoffhaltigen Substanzen, welche die mikrobielle Zusammensetzung der Rhizosphäre und das Bodenleben im Allgemeinen stark prägt.

Dementsprechend besteht aktuell eine durch die umweltbedingten Herausforderungen verursachte zentrale Notwendigkeit, das System Boden – Pflanze und hierbei vor allem die Wurzeln selbst im Detail zu verstehen, um unsere Gesellschaft auch in Zukunft mit gesunden und nachhaltig produzierten Lebensmitteln versorgen zu können.

---

Wurzeln bzw. der Wurzelraum waren methodisch bisher schwer zugänglich, sodass sich die Pflanzenforschung und -züchtung größtenteils auf die Untersuchung oberirdischer, leicht zugänglicher Pflanzenarchitekturparameter und Funktionen konzentrierte oder auf artifizielle Beobachtungssysteme der Wurzelentwicklung auswich. Diese spiegeln jedoch nicht unbedingt die Gegebenheiten im Boden wider. Zudem fanden Untersuchungen traditionell entweder spezifisch durch Pflanzen- oder Bodenwissenschaftler statt. Das nun gemeinsame Streben nach interdisziplinären Ansätzen von Seiten der Bodenkunde, der Biophysik, der Pflanzenbiologie und den Ingenieurwissenschaften verspricht eine zukunfts- und lösungsorientierte Herangehensweise an aktuelle sowie klimabedingte Fragestellungen.

Die Entwicklung neuer High-End-Untersuchungstechniken, Bildgebungsverfahren, Messmethoden und Analytik, welche es erlauben, den Wurzelraum minimalinvasiv zu untersuchen und vor allem sichtbar zu machen, versetzt Wissenschaftler heutzutage in die Lage, genetische und physiologische Grundlagen des Wurzelwachstums, der Wurzelentwicklung und Wurzelfunktionen sowie Feedback-Reaktionen von Pflanzen in Böden mit ganz unterschiedlichen physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften zu erforschen und zu verstehen.

Detailliertes Wissen um die Fähigkeiten und die Plastizität von Wurzelmerkmalen im Kontext eines spezifischen Bodens hat enormes Zukunftspotenzial für die Verbesserung der Produktivität (Ertrag und Ertragsstabilität) und Qualität (Inhaltsstoffe, Gesundheit, Geschmack, Haltbarkeit und Verarbeitung) von Nutzpflanzen sowie für eine nachhaltige und umweltschonende Landwirtschaft (Ressourceneffizienz und Erhalt der Bodengare).

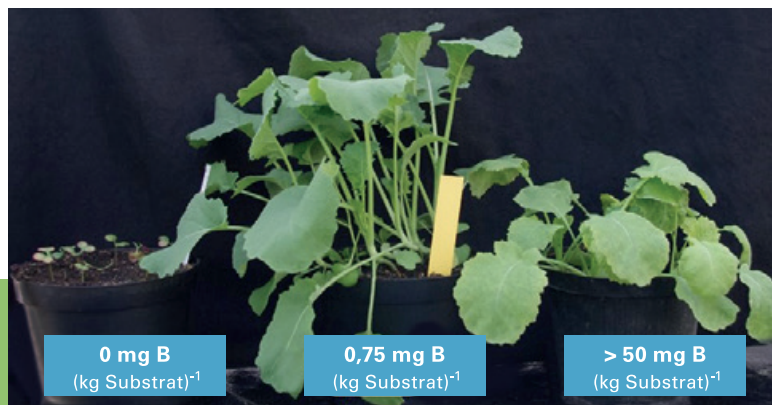
Die Erfahrungen der letzten Jahre bestätigen, dass auf niederschlagsreiche Winter häufig anhaltende Trockenperioden im Frühjahr folgen. Diese Wetterabfolge macht die Wasser- und



### Nährwertmessung

Ulli Benz, TUM

Nährstoffakquirierung für Pflanzen, wie Winterraps und Sommergetreide, zu einer Herausforderung mit potentiell folgenschweren Konsequenzen für den Ertrag. Mobile Makronährstoffe, wie Nitrat und Sulfat und auch der Mikronährstoff Bor, werden bis zum Frühjahr ausgewaschen und können bei anschließenden Trockenperioden während der Nährstoffhochbedarfszeiten die Pflanzenwurzeln auf Grund des ausbleibenden Bodenwasser-Massenflusses nicht mehr erreichen. Der daraus entstehende Bormangel führt zu einer rapiden Inhibierung des Wurzelwachstums und zu einer irreversiblen Zerstörung der Leitgewebe, welche Wasser und Nährstoff in der Pflanze verteilen. Das damit verbundene Ausbleiben der weiteren Durchwurzelung des Bodens bewirkt, dass benötigtes und bereits limitiert vorliegendes Wasser sowie weitere Nährstoffe schlechter aufgenommen werden können und nur suboptimal durch die geschädigten Leitgewebe in der



Professur für Crop Physiology,  
TUM

Bor-Mangel

Bor-Suffizienz

Bor-Toxizität

Rapspflanzen mit unterschiedlicher Borversorgung


---

Pflanze verteilt werden. Somit entsteht eine Abwärtsspirale, in der sich der physiologische Zustand der Pflanzen immer weiter verschlechtert: Wasserknappheit führt zu Nährstoffmangel, welcher die Wasseraufnahme und die Wasserverteilung in Pflanzen zusätzlich vermindert.

An diesem akuten Beispiel zeigt sich, wie wichtig es ist, Wissen zu generieren, welches es zukünftig erlaubt, gezielt genetisch determinierte wurzelbasierte Bor- und Wasser-Effizienz-Mechanismen für die Züchtung ertragsstabiler Sorten verfügbar zu machen, um eine gesunde Pflanzenentwicklung im Frühjahr/Sommer, selbst bei klimabedingt limitierenden Bedingungen, wie Wasserknappheit oder Trockenstress, sicherzustellen. Um solche Ansätze zielführend bearbeiten zu können, braucht es Wissenschaftsstandorte, die skalenübergreifend und interdisziplinär genau an diesen gesellschaftlich relevanten, offenen Fragestellungen forschen.

**Prof. Dr. Patrick Bienert**

Professur Crop Physiology  
Technische Universität München



**„Wasserknappheit führt zu Nährstoffmangel, welcher die Wasseraufnahme und die Wasserverteilung in Pflanzen zusätzlich vermindert.“**

## Pflanzenforschung für guten Geschmack



Wolfgang Filser, TUM

Untersuchung  
im Labor

**„Noch immer  
wissen wir  
verhältnismäßig  
wenig über die  
vielen Inhaltsstoffe  
in unserer  
Nahrung und ihr  
komplexes  
Wechselspiel.“**

Pflanzen und Ihre Bestandteile sichern nicht nur unsere Ernährung, sondern beeinflussen auch maßgeblich unsere Gesundheit. Dass pflanzliche Lebensmittel im Fokus der Forschung stehen, hat vor allem mit der Komplexität ihrer Zusammensetzung zu tun. Noch immer wissen wir verhältnismäßig wenig über die vielen Inhaltsstoffe in unserer Nahrung und ihr komplexes Wechselspiel. Die große Vielfalt an Substanzen ist es jedoch, die Geschmack und Aroma vieler pflanzlicher Lebensmittel erst ausmacht.

Die Charakterisierung der verschiedenen, für uns Menschen bedeutsamen Stoffe in Pflanzen ist ein wichtiges Forschungsgebiet der Lebensmittelchemie. Ein Sensomic-Konzept kombiniert das Geschmacksurteil menschlicher Testpersonen mit hochmoderner Analysetechnik durch präzise Messgeräte.

Zu Beginn einer Sensomic-Analyse werden beispielsweise Gewürzblätter in flüssigem Stickstoff schockgefroren und zerkleinert, um bei der Zerstörung der Pflanzenzellen auftretende Reaktionen zu unterbinden. Die so gewonnene Paste wird anschließend mit verschiedenen Lösemitteln sequentiell extrahiert, so lösen sich die einzelnen Stoffe entsprechend ihrer Polarität in unterschiedlichen Extrakten. Chromatographisch gewonnene Fraktionen dieser Extrakte werden gründlich von allen Lösemitteln befreit und gefriergetrocknet. Erst danach können sie von



---

geschulten Panelisten auf ihren Geschmack hin untersucht werden. Diejenigen Fraktionen, die einen Geschmack aufweisen, werden weiterverarbeitet und erneut analysiert. Schlussendlich wird von möglichst isolierten Substanzen ein Geschmacksprofil erstellt und mit molekularanalytischen Techniken ihre chemische Struktur bestimmt. Zusätzlich wird die Konzentration der gefundenen Stoffe im ursprünglichen pflanzlichen Lebensmittel mittels spezifischer Analyseinstrumente bestimmt. Von den wichtigsten dieser Substanzen kann abschließend eine originalgetreue Mischung erstellt werden, die möglichst genau den Geschmack des ursprünglichen pflanzlichen Materials abbildet. Erst dann sind sich die Wissenschaftler sicher, mit dem Sensoric-Ansatz keine Substanz übersehen zu haben.

Darüber hinaus werden gezielt Stoffe untersucht, die einen unerwünschten Fehlgeschmack oder Fehlgeruch im pflanzlichen Lebensmittel erzeugen. Diese Fehlnoten können hervorgerufen sein durch einzelne Schritte bei der Verarbeitung, der Lagerung und dem Transport der Lebensmittel oder durch externe Faktoren, wie Schädlinge oder ungünstige Wachstumsbedingungen. Beispielsweise ließ sich durch den Vergleich bitter schmeckender Karotten mit nicht-bitteren Karotten feststellen, dass gewisse Rübensorten durch Transportschäden oder Wasserstress potente Bitterstoffe produzieren. Durch Umstellung der Transportbedingungen und gezielt gezüchtete Varianten ohne Vorstufen dieses Bitterstoffs konnte die Qualität dieses pflanzlichen Lebensmittels nachhaltig gesteigert werden.

Neue und innovative Messmethoden können die früher zeitlich anspruchsvolle Untersuchung der einzelnen Aromakomponenten eines pflanzlichen Lebensmittels stark beschleunigen. Es genügt nun, eine geringe Menge der Pflanzenteile (einzelne Nüsse, Blätter et cetera) mit einer Lösemittelmischung zu zerkleinern und mit einem speziellen Reagenz zu versetzen. Die aus der Reaktion entstehenden Stoffe können mit präzisen Messgeräten analysiert

**„Der Geschmack  
und der  
Geruch sind die  
Hauptgründe  
für oder auch  
gegen den Verzehr  
pflanzlicher  
Lebensmittel.“**

und den ursprünglichen Geruchsstoffen zugeordnet werden. Somit ist beispielsweise eine gemeinsame Analyse des Aromas und des Geschmacks von vielen Weinen nebeneinander möglich, die früher für einen Wein bereits mehrere Stunden in Anspruch genommen hat. Diese Untersuchungen lassen sich jetzt problemlos mit Traubenarten, Jahrgängen und Reifungsarten verknüpfen und liefern einen Aufschluss über günstige und ungünstige Anbaubedingungen für Winzer.



Wolfgang Filser, TUM

*Geschmackstest*

Der Geschmack und der Geruch sind die Hauptgründe für oder auch gegen den Verzehr pflanzlicher Lebensmittel. Auch deswegen sind die Wissenschaftler davon überzeugt, dass mehr Kenntnisse zu den komplexen Zusammenhängen der Pflanzenstoffe untereinander und im Zusammenspiel mit dem menschlichen System dazu beitragen, viele Pflanzen effizienter zu produzieren und nachhaltiger als Lebensmittel nutzen zu können.

**Prof. Dr. Corinna Dawid**

*Lehrstuhl für Lebensmittelchemie  
und molekulare Sensorik  
Technische Universität München*

## Frost droht! – Hilfe für blühende Obstbäume

Kältestress und Frost sind eine große Bedrohung für die Pflanzenproduktion im Gartenbau und führen zu erheblichen Ertrags- einbußen weltweit. In den USA werden im Nutzpflanzenanbau mehr wirtschaftliche Verluste durch Frostschäden verursacht, als durch jedes andere wetterbedingte Phänomen. Im Jahr 2007 verursachte ein Spätfrostereignis Schäden in Höhe von über 2 Milliarden US-Dollar. In Europa führte eine Reihe von Nach- frösten im April und Mai 2017 zu Verlusten im Ausmaß von ca. 3,3 Milliarden Euro im Obst- und Weinbau. Und auch für das Jahr 2021 sind große wirtschaftliche Einbußen zu erwarten, da nach einem warmen März der April in Mittel- und Südeuropa mehrere Frostnächte brachte.

Das Spätfrostisiko steigt mit dem fortschreitenden Klima- wandel. Phänologische Aufzeichnungen der Bayerischen Landes- anstalt für Weinbau und Gartenbau, die ab dem Jahr 1968 ge- führt wurden, zeigen, dass Reben und Obstgehölze immer früher austreiben, wobei laut verschiedener Modellrechnungen die Gefahr von Kälteeinbrüchen bis in den Mai wie bisher bestehen bleibt. Dadurch nimmt das Risiko von Frostschäden in Zonen mittlerer Breite, insbesondere in höheren Lagen, zu, da vorzeiti- ger Knospenbruch häufiger auftritt und das anfälligste Organ für Frostschäden bei Gehölzen die Blüte ist.

*„Das Risiko von Frostschäden in Zonen mittlerer Breite nimmt, insbesondere in höheren Lagen, zu.“*

Panthermedia,  
lunedì

*Unterschiedliche Blütenstadien zeigen unterschiedliche Frosttoleranz.*



**„Die Kältestressantwort beginnt mit dem Erkennen von Kältestress an der Zellmembran.“**

Um Frostschäden vorzubeugen, setzen Obst- und Weinbauern verschiedene Schutzmaßnahmen ein, wie das Verbrennen von Holz, den Einsatz von Heizgeräten oder Heizkerzen, die Erzeugung von Wind durch Windmaschinen oder Helikopter oder die Frostberegnung. Diese Verfahren sind energie- und arbeitsintensiv, bieten nur begrenzten Schutz und sind in exponierten Lagen oft nicht einsetzbar. Daher ist ein Ziel der Pflanzenforschung zu verstehen, wie die Frostresistenz biologisch reguliert wird, um Verfahren zu entwickeln, mit denen sie züchterisch oder produktionstechnisch erhöht werden kann.

Im Verlauf der Blütenentwicklung hängt der Grad der Frosthärte stark vom Entwicklungsstadium der Knospe ab. Während ruhende Knospen sehr frostbeständig sind, geht diese Kapazität zurück, wenn sie schwellen. Bevor sich die Blütenspitzen in der Knospe zeigen, ist noch eine gewisse Frostresistenz gegeben, die dann aber stark abnimmt, wodurch die aufblühende Blüte sehr frostempfindlich ist.

Diese entwicklungspezifische Regulation der Frosthärte kontrollieren Pflanzen mit Hilfe vielfältiger biochemischer Mechanismen, denen molekulare Regulationsnetzwerke zugrunde liegen. Die Kältestressantwort beginnt mit dem Erkennen von Kältestress an der Zellmembran und induziert Änderungen in der biochemischen Zusammensetzung der Pflanzenzellen, zum Beispiel



*Panthermedia, nini*

**Frostschutzberegnung  
in einer Obstplantage**

die Anreicherung von löslichen Zuckern und Aminosäuren im Zellinneren, welche Frostschutz ermöglichen. Pflanzen nutzen für die Signalübertragung zur Erhöhung von Frosttoleranz Pflanzenhormone, welche auch in der Regulation der Blütenentwicklung eine wichtige Rolle spielen. Die abnehmende Frosttoleranz von Blütenknospen geht mit einer Reduktion der Aktivität des Pflanzenhormons Abscisinsäure einher, welches die Knospenruhe fördert und Schutz vor verschiedenen Arten von abiotischem Stress bietet. Außerdem nimmt die Konzentration des Hormons Gibberellin (GA) zu, welches die Knospenruhe, aber auch die abiotische Stresstoleranz, hemmt.

**„Pflanzen nutzen für die Signalübertragung zur Erhöhung von Frosttoleranz Pflanzenhormone.“**

Panthermedia,  
TrudiWilkerson



*Schutz der empfindlichen Blüten bei Spätfrost durch Frostberegnung*

Auch die pflanzlichen Steroidhormone Brassinosteroide (BRs) wirken in der Kältestresstoleranz mit. BRs fördern wie GAs die Blütenentwicklung, können aber auch die Resistenz von Pflanzen gegen Frost erhöhen. Die molekulare Mechanistik der BR-Wirkungsweise in der Kältestressantwort interessiert Forschungsgruppen weltweit und wird in Modellpflanzen untersucht. Es wird geprüft, ob dieses Wissen für die gartenbauliche Praxis gewinnbringend anwendbar ist. Eine mögliche Anwendung wäre zum Beispiel, BRs während der Blüte zu applizieren, um die Frostresistenz kurzfristig zu erhöhen, was die Methode der Frostberegnung komplementieren könnte. Ob diese Verfahren praxistauglich sind und Verluste im Obstbau mindern können, wird beispielsweise an Süßkirschen getestet.

---


**„Eine aktive  
Zusammenarbeit mit  
Fachhochschulen  
und Landesanstalten  
ist dabei essentiell,  
um Erkenntnisse in  
die Praxis zu tragen.“**

Eine weitere Möglichkeit ist, durch Züchtung von Sorten mit erhöhter BR-Wirkung in den Blüten die Frostresistenz zu verbessern. Dafür sind Kenntnisse über die genetischen Faktoren notwendig. Im Rahmen von Forschungsvorhaben konnte ein solcher Faktor identifiziert werden. Es handelt sich um einen Transkriptionsfaktor, der in der Modellpflanze *Arabidopsis thaliana* sowohl die Fruchtbarkeit der Blüten positiv beeinflusst als auch die Frostresistenz erhöht. Ob er in Blüten von Obstgehölzen eine ähnliche Wirkung zeigt und züchterisch modelliert werden kann, um Frostresistenz zu verbessern, kann nun in Folgearbeiten geklärt werden.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass Fröste im Gartenbau große Schäden verursachen. Forschungsprojekte im Bereich der Kältestressresistenz sind konzipiert, um dazu beizutragen, das Spektrum an Möglichkeiten zu erweitern, das Gartenbaubetriebe einsetzen können, um Verluste zu minimieren. Eine aktive Zusammenarbeit mit Institutionen, wie den Fachhochschulen und Landesanstalten, ist dabei essentiell, um Erkenntnisse in die Praxis zu tragen. Solche Arbeiten werden helfen, Verluste in Zukunft zu mindern und die Nahrungsmittelsicherheit, auch bei fortschreitendem Klimawandel, zu wahren.

**Prof. Dr. Brigitte Poppenberger**

*Professur Biotechnologie  
gartenbaulicher Kulturen  
Technische Universität München*



## Insektenbestäuber in unserer Landwirtschaft

Mit den meisten Insekten verbinden Menschen in der Regel wenig Gutes: Stechmücken und Zecken sind bekannte Plagegeister und viele Raupen, Käfer und Mückenlarven Schädlinge an Nutzpflanzen. Dabei vergessen wir oft, dass sogar diese Gruppen für eine funktionierende Umwelt wichtig sind, und sei es als Nahrung für Tiere, welche wir gern um uns haben, wie zum Beispiel Singvögel.

Lehrstuhl für  
Pflanzenzüchtung, TUM



Honigbiene auf  
Rapsblume

Die Bedeutung der bestäubenden Insekten – darunter zahlreiche Schmetterlinge, Schwebfliegen und sonstige Fliegen, Käfer, Wespen und natürlich die Bienen – ist wiederum vielen Menschen sofort bewusst. Leider folgen Insektenbestäuber dem gleichen Abwärtstrend wie ihre anderen sechsbeinigen Verwandten. Die einzige Ausnahme macht die europäische Honigbiene, *Apis mellifera (carnica)*. Sie wird von den Imkerinnen und Imkern im Land tatkräftig unterstützt und ist daher trotz milder Winter und zahlreicher Krankheiten in ihrem Bestand nicht wirklich gefährdet. Anders sieht die Situation für ihre wilden Verwandten aus, welche in Deutschland (noch) 561 Arten ausmachen. Davon gelten inzwischen mehr als die Hälfte als gefährdet und fast 50 % als lokal ausgestorben. Für Schmetterlinge zeichnet sich ein ähnlich düsteres Bild ab, mit ca. 40 % ausgestorbenen bzw. gefährdeten Tagfalterarten. In Bayern gelten zudem ein Drittel der hier vorkommenden

**„Die Bedeutung der bestäubenden Insekten ist vielen Menschen sofort bewusst.“**

**„In unseren  
Landschaften  
finden Bestäuber  
wenig andere als  
die vom Menschen  
angebauten  
Kulturpflanzen.“**

Nachfalterarten als gefährdet. Fast noch bedrohlicher ist die Situation für Schwebfliegen. Erst letztes Jahr zeigte eine Studie von Wulf Gatter und Kollegen, dass auf der Schwäbischen Alb südwärts wandernde Schwebfliegenarten seit den 1980er Jahren um über 90 % zurückgegangen sind. Dies traf vor allem für Arten zu, deren Larven sich von anderen Insekten wie Blattläusen ernähren und welche somit eine wichtige Rolle bei der biologischen Schädlingsbekämpfung spielen.

Die Gründe für den allgegenwärtigen Insektenrückgang dürften Großteils die gleichen sein, allen voran intensive Landwirtschaft und der Klimawandel. Damit gehen ausgeräumte und stark veränderte Landschaften einher, in welchen Bestäuber wenig andere als die vom Menschen angebauten Kulturpflanzen finden. Nahrungsknappheit, Verringerung der Diversität und Qualität vorhandener Nahrung sowie letzten Endes das Fehlen geeigneter Nahrungs- oder Nistpflanzen sind die Folge. Hinzu kommt der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln.



Sara Leonhardt, Professur für  
Pflanze-Insekten-Interaktion, TUM

*Erdhummel auf  
einer Wiesen-  
Flockenblume*



---

## **Aber was bedeutet das jetzt für uns und unsere Landwirtschaft?**

Im Jahre 2009 berechnete ein Team um den Ökonomen Nicolas Gallai (LEREPS, Toulouse, Frankreich), dass der Wert, den Bestäuber weltweit für Kulturpflanzen leisten, bei 153 Milliarden Euro liegt. Nicht jede Kulturpflanze hängt dabei gleichermaßen von Tierbestäubern ab. Manche Arten, wie beispielsweise Wassermelone oder Kürbis, können ohne tierische Bestäuber kaum Früchte ausbilden. Andere, darunter viele Obstsorten, Gurken oder Avocado, zeigen nach Bestäubung durch Insekten einen bis zu 90 % höheren Fruchtansatz. Bei wieder anderen, zum Beispiel bei Raps, Sonnenblumen oder vielen Erdbeersorten, steigt der Ertrag durch Insektenbestäubung abhängig von der Sorte um bis zu 40 %. Weltweit hängen Dreiviertel aller Kulturpflanzen mehr oder weniger stark von tierischen Bestäubern ab. Diese machen mehr als 30 % der pflanzlichen Nahrungsproduktion aus.

Wenn man den Anteil der Ertragsproduktion aus bestäuberabhängigen Kulturpflanzen an der Gesamtproduktion durch Kulturpflanzen eines Landes einberechnet, macht der für Deutschland durch tierische Bestäubung erzielte Gewinn über eine Milliarde Euro pro Jahr aus. Auch für die deutsche Agrarwirtschaft birgt der aktuell zu beobachtende Rückgang von Insektenbestäubern somit ein ökonomisches Risiko. Letzten Endes gefährdet deren Verlust den Erntegewinn und damit das Einkommen von Landwirten. Obgleich ökonomisch gewichtig, ist der Ernteverlust aber nicht die einzige Folge verschwindender Insektenbestäuber. Viele Wildpflanzen sind ebenfalls betroffen und dienen oft als Tierfutter. Darüber hinaus sind zahlreiche bestäubende Insekten wesentliche Elemente in den Nahrungsnetzen. Oft leisten sie außerdem als Larven weitere, für den Menschen wichtige „Ökosystem-Dienstleistungen“, wie die Vertilgung von Schädlingen. Ein bekanntes Beispiel sind die Larven von Schwebfliegen als klassische Blattlaus-Vernichter. Nicht zuletzt sind Bestäuber oft auch einfach schön anzuschauen. Das Fehlen bunter Schmetterlinge irritiert daher durchaus auch

den einen oder anderen Sonntagsspaziergänger. Dies ist sicher auch ein Grund dafür, warum die Volksbegehren zum Artenschutz („Rettet die Bienen“) in Bayern und Baden-Württemberg so viel Erfolg hatten.

**„Nur Honigbienen sind also definitiv keine Lösung. Es braucht Maßnahmen, die wieder mehr Biodiversität in unsere Agrarlandschaften bringen.“**

Dabei steht viel auf dem Spiel. Nur wenn wir den kontinuierlichen Verlust von Arten aufhalten, kann sichergestellt werden, dass neben der faszinierenden Vielfalt an Insektenbestäubern auch deren Leistung, allen voran die Bestäubung zahlreicher Wild- und Kulturpflanzen, erhalten bleibt. Eine Vielfalt an verschiedenen Bestäuberarten führt zu doppelt so hohen Erträgen, wie sie durch Honigbienen als einzige Bestäuber erzielt werden können. Nur Honigbienen sind also definitiv keine Lösung. Vielmehr braucht es Maßnahmen, welche von den Landwirten mitgetragen werden und die wieder mehr Biodiversität in unsere Agrarlandschaften bringen.



Sara Leonhardt, Professur für  
Pflanze-Insekten-Interaktion,  
TUM

**Kaiserinmantel  
auf Wiesen-  
Flockenblume**

Konkret bedeutet das für die Landwirtschaft, neben einem stark reduzierten Einsatz von Herbiziden und Insektiziden, zum Beispiel durch neue Technologien, auch eine Rückkehr zu mehr Heterogenität in Flächennutzung und Anbau, den Ausbau von Bracheflächen mit Blütenpflanzen und Blühflächen, aber vor

---

allem auch mehr kontinuierlich extensiv genutzte Fläche (beispielsweise für Hecken). Die Pflanzenforschung kann hier einen wesentlichen Beitrag leisten, zum Beispiel durch die Entwicklung von Sorten, welche hohe Erträge auch bei einem geringe(re)n Dünge- oder Insektizideinsatz und ohne Bewässerung trotz sich verändernder Umweltbedingungen ermöglichen.

**Prof. Dr. Sara Leonhardt**

*Professur für Pflanze-Insekten-Interaktionen  
Technische Universität München*



## Green Deal

**„Je größer unser Wissen darum, was Pflanzen produktiv und effizient macht, umso besser sind wir für die Bedingungen der Zukunft gerüstet.“**

2019 hat die Europäische Kommission den „Green Deal“<sup>1,2</sup> vorgestellt – ein Programm, mit dem die klima- und umweltbedingten Herausforderungen Europas bewältigt werden sollen. 2021 wurden die Ziele des Green Deal rechtlich bindend. Erklärtes Ziel des Programms ist es, bis 2050 die Klimaneutralität Europas herzustellen und bis 2030 die Netto-Treibhausgasemissionen um mindestens 55 % gegenüber 1990 zu senken. Außerdem sollen Umweltverschmutzung und Artensterben gestoppt und der Umgang mit vorhandenen Ressourcen effizienter gestaltet werden. Dazu wird angestrebt, den Ressourcenverbrauch und das Wirtschaftswachstum zu entkoppeln. Durch eine Umgestaltung unserer Städte und Energie- und Industriesysteme sowie eine bessere Wald-, Land-, Wasser- und Meeresnutzung sollen die Natur bewahrt und die Menschen vor umweltbedingten Risiken und Auswirkungen geschützt werden.

Zur Umsetzung des „Green Deal“ hat die Europäische Kommission bereits konkrete Maßnahmen formuliert. Hier sind vor allem die Farm-to-Fork-Strategie<sup>3,4</sup> und die Biodiversitätsstrategie zu nennen. Die Farm-to-Fork-Strategie hat das Ziel, das Lebensmittelsystem in Europa nachhaltiger zu gestalten und dabei die



Lehrstuhl für Pflanzenzüchtung, TUM


Sonnenblumenfeld

---

Bodenfruchtbarkeit und Produktivität zu erhalten. Die Umgestaltung schließt viele Sektoren der Land- und Lebensmittelwirtschaft ein. Spezifische Ziele der Farm-to-Fork-Strategie sind zum Beispiel die Verringerung des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln um 50 %, die Verringerung der Düngung von Pflanzen um 20 % oder die Erhöhung der ökologischen landwirtschaftlichen Anbauflächen in der EU auf 25 % Flächenanteil bis zum Jahr 2030. Diese Maßnahmen werden gravierende Auswirkungen auf die pflanzliche Produktion haben. Die konsequente Förderung der Pflanzenforschung und -züchtung ist notwendig, um die vorgesehenen Maßnahmen substantiell zu unterstützen. Je größer unser Wissen darum, was Pflanzen produktiv und effizient macht, umso besser sind wir für die Bedingungen der Zukunft gerüstet.

**Dr. Ute Wiegand**

Lehrstuhl für Pflanzenzüchtung  
Technische Universität München



1 Mitteilung der Europäischen Kommission (2019):

Der europäische Grüne Deal. (Onlineinformation, zuletzt aufgerufen im Januar 2022)

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:52019DC0640&from=EN>

2 Ein europäischer Grüner Deal – Erster klimaneutraler Kontinent werden.

(Onlineinformation, zuletzt aufgerufen im Januar 2022)

[https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_de](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_de)

3 Europäische Kommission (2020):

Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen, „Vom Hof auf den Tisch“ – eine Strategie für ein faires, gesundes und umweltfreundliches Lebensmittelsystem. (Onlineinformation, zuletzt aufgerufen im Januar 2022)

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:52020DC0381&from=EN>

4 Pressemitteilung der Europäischen Kommission (20. Mai 2020):

Europas Widerstandsfähigkeit stärken: Wie wir den Verlust an biologischer Vielfalt stoppen und ein gesundes und nachhaltiges Lebensmittelsystem aufbauen.

(Onlineinformation, zuletzt aufgerufen im Januar 2022)

[https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/ip\\_20\\_884](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/ip_20_884)

---

## Glossar

Abiotisch	beschreibt die unbelebte Natur; Vorgänge, bei denen keine Lebewesen beteiligt sind, wie Hitze, Temperatur, Wasser.
Abscisinsäure	ist ein Pflanzenhormon, welches in höheren Pflanzen vorkommt und zusammen mit anderen Hormonen den Entwicklungsprozess der Pflanze reguliert (zum Beispiel Alterung, Blütenbildung).
Biodiversität	ist die biologische Vielfalt aller lebenden Organismen inklusive der Vielfalt der Ökosysteme, der Vielfalt der Arten und der genetischen Vielfalt innerhalb der Arten.
Bodengare	ist der Zustand eines Bodens mit günstigen physikalischen und chemischen Eigenschaften für den Pflanzenwuchs.
Bodenwasser-Massenfluss	Die Wasseraufnahme durch die Wurzeln und die Wasserleitung in der Pflanze löst im Boden einen „Sog“ in Richtung Wurzeln aus, mit dem Nährstoffe, die im Bodenwasser gelöst sind, kontinuierlich zu den Pflanzen hin transportiert werden.
Brassinosteroide	sind Pflanzenhormone, die mit anderen Pflanzenhormonen die Entwicklung und das Wachstum von Pflanzen regulieren.
DNA	Desoxyribonukleinsäure; enthält die Erbinformation eines Lebewesens.
Epidemiologie	ist eine medizinische Spezialisierung, die sich mit der Verbreitung, den Ursachen und den Folgen von Gesundheitszuständen befasst.
Extrakt	beschreibt die Trennung von Komponenten aus pflanzlichen oder tierischen Stoffen; es gibt flüssige, halb feste und feste Extrakte.

---

Frostberegnung	ist eine gängige Schutzmaßnahme, die Obst- und Weinbaubetriebe beim Auftreten von Spätfrösten einsetzen: beim Gefrieren des Wassers wird auf den Blüten Kristallisationswärme freigesetzt, wodurch Schäden der Pflanze reduziert werden können.
Genom	ist das gesamte Erbgut eines Lebewesens oder eines Virus.
Genotypisierung	ist die Untersuchung der genetischen Information eines Lebewesens; es können Unterschiede in der genetischen Zusammensetzung identifiziert werden.
Gibberellin	ist ein Pflanzenhormon, welches unter anderem die Saatkkeimung und das Wachstum fördert.
Kulturpflanzen	sind Pflanzen, die vom Menschen als Nutz- oder Zierpflanzen gezüchtet und angebaut werden.
Metabolomik	ist die Erforschung der Gesamtheit aller chemischen Stoffe, darunter Amino- und Nukleinsäuren, Fette, Zuckermoleküle, Vitamine und viele mehr, in einer biologischen Einheit (Zelle, Organelle, Organ, Gewebe, Körperflüssigkeit oder der ganze Organismus) und ihrer Wechselwirkungen.
Modellpflanzen	sind ausgewählte Pflanzen, die möglichst einfach gezüchtet und untersucht werden können; Idee ist es, die Ergebnisse der Modellpflanzen möglichst auf andere Pflanzen übertragen zu können; ein Beispiel für eine Modellpflanze ist die Acker-schmalwand ( <i>Arabidopsis thaliana</i> ).
Molekulare Marker	sind kurze, identifizierbare DNA-Abschnitte, deren Sequenz und Lage im Genom bekannt sind; sie können benutzt werden, um Stellen im Erbgut, zum Beispiel von Pflanzen, zu finden, die eine bestimmte Eigenschaft kodieren.

---

---

## Glossar

Mutation	ist die strukturelle Veränderung des Erbguts; sie kann spontan oder durch äußere Einflüsse (zum Beispiel durch UV-Strahlen) erfolgen.
Mykotoxine	sind giftig wirkende sekundäre Stoffwechselprodukte aus Schimmelpilzen.
Panelisten	sind Personen, die regelmäßig an Markforschungsstudien teilnehmen.
Pathogene	sind Krankheitserreger; es kann sich beispielsweise um Bakterien, Viren, Parasiten oder Pilze handeln.
Phänologie	beschreibt im Jahresablauf wiederkehrende Wachstums- und Entwicklungserscheinungen der Natur; dabei werden die wetter- und klimaabhängigen charakteristischen Vegetationsstadien beobachtet und festgehalten.
Phänotypisierung	ist die Analyse der erfassbaren Merkmale und Eigenschaften eines Organismus (zum Beispiel Wuchshöhe einer Pflanze).
Phytopathologie	ist die Wissenschaft der Pflanzenkrankheiten.
Proteomik	ist die Erforschung sämtlicher Eiweißmoleküle (Proteine) eines Organismus mit biochemischen Methoden.
Protoplasten	ist der aus Zellmembran, Zellplasma und Zellorganellen bestehende innere Teil einer Pflanzenzelle ohne umgebende Zellwand.
Rhizosphäre	bezeichnet den unmittelbar durch eine lebende Wurzel beeinflussten Raum im Boden; in diesem Bereich finden mechanische, physikalische, chemische und biologische Interaktionen statt.



---

sequentiell	beschreibt eine nacheinander erfolgende Abfolge.
Selbstung	ist die Bestäubung einer Pflanze mit eigenem Pollen.
Spätfrost	ist der Frost, der nach dem Beginn der Vegetationsphase eintritt.
Transkription	bezeichnet das Umschreiben von DNA in transportfähige Kopien im Zellkern.







finanziert durch  
Bayerisches Staatsministerium für  
Umwelt und Verbraucherschutz



Herausgeber: Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz  
Rosenkavalierplatz 2, 81925 München

Internet: [www.stmuv.bayern.de](http://www.stmuv.bayern.de)

E-Mail: [poststelle@stmuv.bayern.de](mailto:poststelle@stmuv.bayern.de)

Konzeption: Prof. Dr. Chris-Carolin Schön, Lehrstuhl für Pflanzenzüchtung,  
Technische Universität München  
Die Broschüre wurde im Rahmen des Projekts „Konzepterstellung für einen  
Projektverbund zur Weiterentwicklung von Anpassungsstrategien für  
Kulturpflanzen an den Klimawandel – BayKlimaFit II“ erstellt.

Druck: StMUV

Gestaltung: StMUV, PKG

Bildnachweis: Titelseite: Uli Benz, TUM; Helmholtz Zentrum München, PGSB  
S. 2, 8, 10, 14, 16, 17,19: Tom Freudenberg, PICT GmbH  
S. 6, 12, 31, 37: Lehrstuhl für Pflanzenzüchtung, TUM  
S. 9: Lehrstuhl für Phytopathologie, TUM  
S. 13, 22: Uli Benz, TUM; S. 18: Astrid Eckert, TUM  
S. 20, 22: Professur für Crop Physiology, TUM  
S. 24, 26: Wolfgang Filser, TUM  
S. 27, 28, 29: Panthermedia: [luned@bk.ru](mailto:luned@bk.ru), nini, TrudyWilkerson  
S. 32, 34: Sara Leonhardt, Professur für Pflanze-Insekten-Interaktion, TUM

Stand: Januar 2022

© StMUV, alle Rechte vorbehalten  
Gedruckt auf Papier aus 100 % Altpapier

Diese Publikation wird kostenlos im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Bayerischen Staatsregierung herausgegeben. Jede entgeltliche Weitergabe ist untersagt. Sie darf weder von den Parteien noch von Wahlwerbenden oder Wahlhelfern im Zeitraum von fünf Monaten vor einer Wahl zum Zweck der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landtags-, Bundestags-, Kommunal- und Europawahlen. Missbräuchlich ist während dieser Zeit insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken und Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zweck der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Publikation nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Staatsregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Den Parteien ist es gestattet, die Publikation zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten. Die publizistische Verwertung der Veröffentlichung – auch von Teilen – wird jedoch ausdrücklich begrüßt. Bitte nehmen Sie Kontakt mit dem Herausgeber auf, der Sie – wenn möglich – mit digitalen Daten der Inhalte und bei der Beschaffung der Wiedergaberechte unterstützt. Diese Publikation wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Für die Inhalte fremder Internetangebote sind wir nicht verantwortlich.



BAYERN | DIREKT ist Ihr direkter Draht zur Bayerischen Staatsregierung. Unter Tel. 089 122220 oder per E-Mail unter [direkt@bayern.de](mailto:direkt@bayern.de) erhalten Sie Informationsmaterial und Broschüren, Auskunft zu aktuellen Themen und Internetquellen sowie Hinweise zu Behörden, zuständigen Stellen und Ansprechpartnern bei der Bayerischen Staatsregierung.