



# Making Plants Fit for Stressful Times

**Floods, heat, drought and soil salinization:** In regions around the world, growth conditions are becoming increasingly difficult, threatening harvests worldwide. At the same time, farmers around the globe are faced with the challenge of ensuring food security. For these reasons, scientists at the TUM School of Life Sciences are investigating the mechanisms behind plant stress responses. Their goal is to make plants more stress resistant and efficient. **PFLANZEN FIT MACHEN FÜR STRESSIGE ZEITEN** · Überschwemmungen, Hitze, Trockenheit, Bodenversalzung: Die Wachstumsbedingungen in verschiedenen Regionen der Welt werden immer schwieriger und bedrohen Ernten weltweit. Landwirte rund um den Globus stehen vor der großen Herausforderung, die Ernährung der Menschheit zu sichern. Wissenschaftler der TUM School of Life Sciences erforschen die Mechanismen der Stressantwort von Pflanzen, um diese stress-resistenter und leistungsfähiger zu machen.



Climate change: Increasingly difficult growth conditions threaten harvests worldwide. Scientists at TUM are investigating plants' stress reactions in order to determine what makes some crops more stress resistant than others. Klimawandel: Erschwerte Wachstumsbedingungen bedrohen Ernten weltweit. Wissenschaftler der TUM erforschen die Reaktionen verschiedener Pflanzen, um herauszufinden, warum einige besser auf Stress reagieren als andere.



**W**hy does one plant resist cold temperatures and another plant does not? What effects do drought and heat have on growth? And how can plants adapt to climate change? Complex questions like these can only be answered in a team. Therefore, biologists, plant breeders, physiologists and bioinformaticians at the TUM School of Life Sciences are working together to investigate the complex survival strategies of plants in order to increase their productivity.

Maize as an example: Experts from different, complementary scientific disciplines are collaborating to better understand the crop's genome. "We investigate different genes in the maize plant and their interactions to learn about their role in drought tolerance," says Professor Chris-Carolin Schön, Chair of Plant Breeding at TUM.

"Our cultivated plants protect themselves at the molecular level against abiotic stress factors such as heat, drought and cold." If the team is able to understand the molecular stress response and to identify protective mechanisms of plant cells, the researchers can start to strengthen the plants' resistance. Together with partners from other Bavarian universities, they want to find new ways to

## Plant strategies for survival

adapt crops to changing growth conditions in order to make these plants fit for the future. Because even at local latitudes, climate change leads to alterations in temperature and precipitation.

Despite global warming, temperatures can also be too low for maize plants in spring, so maize can only be sown at the end of April. "As a heat-loving plant, maize is extremely sensitive to cold temperatures," says Schön.



Maize varieties differ in stress tolerance: Researchers are investigating the genetic and molecular principles that protect maize against stress factors such as heat, drought and cold. Mais reagiert sehr empfindlich auf abiotischen Stress: Forscher untersuchen die genetischen und molekularen Prinzipien, die Mais gegen Stressfaktoren wie Hitze, Trockenheit und Kälte wappnen.

Warum trotz einer Pflanze der Kälte und eine andere nicht? Welchen Effekt haben Trockenheit und Hitze auf das Wachstum? Und wie lassen sich Pflanzen an Klimaveränderungen anpassen? Komplexe Fragen wie diese lassen sich nur im Team beantworten. Deshalb untersuchen Biologen, Pflanzenzüchter, Physiologen und Bioinformatiker der TUM School of Life Sciences gemeinsam die komplexen Überlebensstrategien der Pflanzen mit dem Ziel, deren Produktivität zu erhöhen.

Beispiel Mais: Experten unterschiedlicher, komplementärer Disziplinen arbeiten gemeinsam daran, das Genom der Nutzpflanze besser zu verstehen und die Beziehung zwischen Genom und Phänotyp herzustellen. „Wir untersuchen unterschiedliche Gene der Maispflanze und deren Zusammenspiel, um herauszufinden, welche Gene beim Mais für die

Widerstandsfähigkeit gegen Trockenheit wichtig sind“, sagt Professorin Chris-Carolin Schön vom Lehrstuhl für Pflanzenzüchtung.

„Wir analysieren, wie sich unsere Kulturpflanzen auf molekularer Ebene gegen abiotische Stressfaktoren wie Hitze, Trockenheit und Kälte wappnen“, erklärt Schön. Gelingt es dem Team, molekulare Mechanismen zu verstehen und Schutzmechanismen der Pflanzenzellen zu identifizieren, können die Forscher genau dort ansetzen und so die Widerstandsfähigkeit der Pflanzen gezielt stärken. Gemeinsam mit Partnern anderer bayerischer Universitäten wollen sie so neue Wege finden, Kulturpflanzen an veränderte Wachstumsbedingungen anzupassen, um sie fit für die Zukunft zu machen. Denn auch in hiesigen Breitengraden führt der Klimawandel zu Veränderungen in der Temperatur- und Niederschlagsverteilung.

Highly concentrated: TUM researchers are investigating plant stress response mechanisms. Their goal is to make plants more stress resistant and efficient. Hochkonzentriert: Die Forscher der TUM untersuchen die Mechanismen der Stressantwort von Pflanzen, um sie stressresistenter und leistungsfähiger zu machen.



Counting Arabidopsis seedlings: The scientists determine the germination rate on a growth medium. These transgenic plantlets are selected for further functional analyses. Auszählung der Arabidopsis-Keimlinge: Die Wissenschaftler bestimmen die Keimrate auf einem speziellen Medium. Es handelt sich hier um transgene Pflanzen, die für funktionale Analysen selektiert werden.

“If we grow plants that tolerate the cold better, we can extend the growing season and thus increase the yield. At the same time, we can make an important contribution to environmentally friendly, resource-saving cultivation,” explains Schön. Soil erosion and leaching of nutrients can be reduced by rapid plant development.

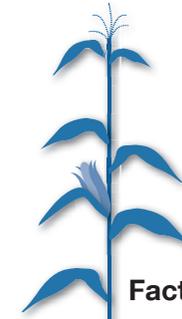
## Researching environmentally friendly cultivation

Maize is one of the world's most important crops. In developing countries, maize is used predominantly as a staple food. In industrialized countries, however, maize

is used primarily as animal feed and more recently as an energy source, especially to produce biofuels and as a substrate for biogas plants.

The research group of Schön works closely together with colleagues from the Chair of Botany. They also are researching the basics of plant stress responses, but using the model plant Arabidopsis, also known as thale cress. “Together, we hope to find out whether Arabidopsis and corn use similar molecular mechanisms for stress adaptation,” explains Schön. Plant biologists prefer to use Arabidopsis as a model plant because it grows quickly and takes up far less space.

“We are researching Arabidopsis, tomato and barley to compare how these three



## Fact

Maize is one of the world's most important crops. In 2018, the total area under cultivation in Germany was 2.6 million hectares. Mais ist eine der weltweit wichtigsten Nutzpflanzen. Die Anbaufläche von Mais in Deutschland betrug in 2018 insgesamt 2,6 Millionen Hektar.

Source: Deutsches Maiskomitee e.V. (DMK)

Trotz globaler Erderwärmung sind die Temperaturen in hiesigen Breitengraden im Frühling für die Maispflanzen oft zu niedrig und die Aussaat von Mais ist daher oft erst Ende April möglich. „Als wärmeliebende Pflanze ist Mais bislang extrem empfindlich gegenüber Kälte“, sagt Schön. „Wenn wir Pflanzen züchten, die Kälte besser tolerieren und so früher ausgesät werden können, verlängern wir die Wachstumsperiode und erhöhen somit den Ertrag. Gleichzeitig leisten wir einen wichtigen Beitrag zu einem umweltgerechten, ressourcenschonenden Anbau“, so Schön. Auch Bodenerosion und Auswaschung von Nährstoffen lassen sich durch längere Wachstumsperioden reduzieren.

”

**We want to make our crops fit for the effects of climate change.  
Wir wollen unsere Kulturpflanzen fit für die Auswirkungen des Klimawandels machen.**

Professor Chris-Carolin Schön,  
Plant Breeding

Mais ist eine der weltweit wichtigsten Nutzpflanzen. In Entwicklungsländern wird Mais überwiegend als Grundnahrungsmittel eingesetzt. In Industrieländern wird er dagegen vor allem als Nutztierfutter und in jüngerer Zeit als Energierohstoff verwendet, insbesondere zur Herstellung von Biokraftstoffen und als Substrat für Biogasanlagen. Die Arbeitsgruppe Schön tauscht sich eng mit den Kollegen aus der Botanik aus. Auch diese forschen an den Grundlagen der pflanzlichen Stressantwort, allerdings an der Modellpflanze Arabidopsis, auch bekannt als Acker-Schmalwand. „Gemeinsam wollen wir herausfinden, ob Arabidopsis und Mais ähnliche molekulare Mechanismen für die Stressanpassung nutzen“, erklärt Schön. Pflanzenbiologen verwenden Arabidopsis gerne als Modellpflanze, weil sie schnell wächst und bedeutend weniger Platz in Anspruch nimmt.



Predicting growth: Scientists observe the development of Arabidopsis plant roots. These researchers work on discovering molecular mechanisms that contribute to yield and stress responses. Wachstum vorhersagen: Die Wissenschaftler beobachten die Entwicklung von Arabidopsis-Pflanzenwurzeln. Sie arbeiten daran, molekulare Mechanismen zu entdecken, die den Ertrag und die Stressantwort regulieren.

plant species react to changing environmental factors,” explains Professor Claus Schwecheimer from the Chair of Plant Systems Biology. His team compares which genetic information is converted in the plant cells. They examine the plants under changing growth conditions, such as salt or cold stress, and the effects on growth. “Our analyses enable us to investigate individual signaling pathways and thus the adaptation strategies at the plant genome level,” says Schwecheimer.

“Based on this understanding, we explore the biological processes of plant growth and try to find molecular mechanisms in plants that contribute to yield and stress responses,” Schwecheimer continues. The researchers are paying particular attention to gibberellin, a plant

hormone. The laboratory has been working for many years on the mechanisms of this specific hormone. “Many crops already carry genetic changes in their regulation by the gibberellin hormone. The molecular findings from the laboratory can therefore be more easily transferred to crops,” adds Schwecheimer.

Until a few years ago, the genomes of individual plants and varieties were unknown. This has changed significantly in recent years due to technological advances. Therefore, researchers are now trying to understand plant growth so precisely that they could predict plant growth on basis of their genetic make-up. “Today, we know the genotypes, i.e. the genetic characteristics of many varieties, and we are able to deduce plant phenotypes more easily,” explains Schwecheimer.

## A model plant

The thale cress *Arabidopsis thaliana* is probably the most important model plant. It has a short generation cycle and is quite undemanding. The genome is relatively small. It was fully sequenced and published in 2000.

It belongs to one of the largest families of flowering plants, the cruciferous plants. These include many food plants such as cabbage, mustard and radish. The *Arabidopsis thaliana* plant grows to a height of 30 centimeters, has white flowers and produces pods. In natural conditions, the main flowering season is from April to May.

MODELLPFLANZE · Die Acker-Schmalwand *Arabidopsis thaliana* ist die wohl bedeutendste Modellpflanze. Sie hat einen kurzen Generationszyklus und ist recht anspruchslos. Das Genom ist verhältnismäßig klein. Es wurde im Jahr 2000 vollständig sequenziert und veröffentlicht. Sie gehört zu einer der größten Familien der Blütenpflanzen, den Kreuzblütengewächsen. Zu ihnen zählen viele Nahrungs- und Futterpflanzen wie Kohl, Senf und Rettich. Die Pflanze erreicht eine Wuchshöhe von 30 Zentimetern, hat weiße Blüten und bringt Schotenfrüchte hervor. In der Natur liegt die Hauptblütezeit im April und Mai.

„Wir forschen an Arabidopsis, Tomate und Gerste, um zu untersuchen, wie die drei Pflanzenarten auf wechselnde Umweltfaktoren reagieren“, erklärt Professor Claus Schwecheimer vom Lehrstuhl für Systembiologie der Pflanzen. Sein Team vergleicht, welche genetischen Informationen in den Pflanzenzellen unter wechselnden Wachstumsbedingungen, zum Beispiel unter Salz- oder Kältestress jeweils umgesetzt und genutzt werden – und welchen Effekt das auf das Pflanzenwachstum hat. „Mit unseren Analysen untersuchen wir einzelne Signalwege und damit die Anpassungsstrategien auf Ebene der Pflanzengenome“, sagt Schwecheimer.

„Basierend auf diesem Verständnis erforschen wir die biologischen Vorgänge der Pflanzenzüchtung und versuchen molekulare Mechanismen in Pflanzen zu finden, die zur Ertragssteigerung und -stabilisierung beitragen“, so Schwecheimer. Besondere Aufmerksamkeit widmen die Forscher dabei dem Pflanzenhormon Gibberellin, an dessen Wirkmechanismen

der Lehrstuhl seit vielen Jahren arbeitet. „Viele Nutzpflanzen tragen bereits genetische Veränderungen in der Regulation durch das Gibberellinormon. Die molekularen Befunde aus dem Labor können daher leichter auf Nutzpflanzen übertragen werden“, ergänzt Schwecheimer.

Bis vor wenigen Jahren waren die Genome einzelner Pflanzen und Sorten noch nicht bekannt. Dies hat sich in den letzten Jahren durch technologische Fortschritte maßgeblich geändert. Die Forscher versuchen deshalb, das Pflanzenwachstum so genau zu verstehen, dass sie aufgrund der genetischen Ausstattung das Wachstum der Pflanzen vorhersagen können. „Heute kennen wir die Genotypen, also die genetischen Eigenschaften vieler Sorten, und können damit besser auf die Phänotypen der Pflanze rückschließen“, erklärt der Biologe. „Dies erlaubt einen schnelleren Fortschritt in unseren Arbeiten, denn der langwierige und teure Weg der phänotypischen Charakterisierung kann umgangen, abgekürzt oder vom Umfang her reduziert werden.“



### Fact

Worldwide, there are an estimated 7,000 types of tomatoes. Weltweit gibt es schätzungsweise 7.000 Tomatenarten.

Source: Scientific American

“The long and expensive process of phenotypic characterization can be avoided, shortened or reduced. This allows us to progress faster in our work.”

## Hormones regulate plant growth

However, TUM researchers are not only focusing on plants themselves. They also investigate interactions between plants and other organisms in another research focus area: the symbiosis between plants and useful soil fungi. “We have already discovered that plants not only provide sugars to the fungi but also lipids,” explains Caroline Gutjahr, Professor of Plant Genetics. “This led to a paradigm shift in our research field, and we suspect that this lipid supply is beneficial for both parties.”

The scientists think that if the plant supplies the fungi directly with lipids, the fungus can spread faster into the soil and benefit the plant more efficiently. This is because fungi absorb inorganic nutrients – especially phosphate and nitrogen compounds – from the soil and make them available to the plants. A faster spread of the fungus in the soil is likely to provide more efficient access to nutrients. The plants are better nourished and more stress resistant.

For the scientist, it is now interesting to understand how much energy the plants invest in fueling fungal growth. Another research focus of her laboratory is the molecular processes that enable the fungus to colonize the plant root. Gutjahr hopes their research will contribute to sustainable agriculture. “If we better understand the symbioses



Doch die Forscher fokussieren sich nicht nur auf die Pflanzen selbst, sondern untersuchen auch Wechselwirkungen zwischen Pflanzen und anderen Organismen, wie ein weiterer Forschungsschwerpunkt zeigt: die Symbiose zwischen

## Hormone regeln das Pflanzenwachstum

Pflanzen und nützlichen Bodenpilzen. „Wir haben bereits herausgefunden, dass die Pflanzen den Pilzen nicht nur Zucker, sondern auch Lipide zur Verfügung stellen“, erklärt Caroline Gutjahr, Professorin für Pflanzengenetik. „Diese Entdeckung führte zu einem Paradigmenwechsel im Forschungsgebiet und wir vermuten, dass diese Fettversorgung für beide Parteien vorteilhaft ist.“ Die Forscher neh-

men an, dass der Pilz sich schneller im Boden ausbreiten kann, wenn die Pflanze ihn mit Lipiden versorgt. Damit kann er der Pflanze effizienter nützen. Denn Pilze nehmen anorganische Nährstoffe – vor allem Phosphat und Stickstoff – aus dem Boden auf und stellen diese den Pflanzen zur Verfügung. Eine schnellere Verbreitung des Pilzes im Boden bedingt wahrscheinlich einen effizienteren Zugang zu Nährstoffen. Die Pflanzen werden so besser ernährt und sind resistenter gegen Stress. Für die Wissenschaftlerin ist nun interessant, wie viel Energie die Pflanzen in das Pilzwachstum investieren.

Des Weiteren erforscht sie molekulare Vorgänge, welche die Besiedlung der Pflanzenwurzel durch den Pilz ermöglichen.

Gutjahr hofft, mit ihrer Forschung zu einer nachhaltigen Landwirtschaft beizutragen: „Wenn wir die Symbiosen zwischen Pflanzen und Pilzen besser

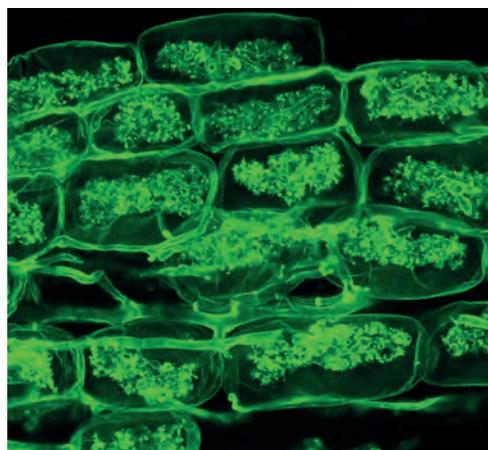
Interactions: The researchers monitor plants during different stages of growth. They are not only focusing on individual plants but are also investigating the interactions between plants and their environment. Wechselwirkungen: Die Forscher beobachten Pflanzen in verschiedenen Wachstumsstadien. Dabei betrachten sie nicht nur die einzelnen Pflanzen, sondern auch die Wechselwirkungen zwischen Pflanzen und deren Umgebung.



(above) Symbiosis: *Lotus japonicus*, a Japanese relative of birdfoot trifoli, is used as model plant for the molecular biological investigations of root symbioses. (Oben:) *Lotus japonicus*, eine japanische Verwandte des Hornklee, wird als Modellpflanze für die molekularbiologische Erforschung der Wurzelsymbiose verwendet.

(right) Microscopic image of fungal hyphae and arbuscules (lat. arbuscula = small tree) within the plant cells. From these structures, the fungus releases mineral nutrients to the plant, and takes up lipids from the plant.

(Rechts:) Mikroskopiebild von Pilzhypen und Arbuskeln (Lat. arbuscula = kleiner Baum) in Pflanzenzellen. Über diese Strukturen gibt der Pilz Mineralstoffe an die Pflanze ab und nimmt Lipide von ihr auf.



”

**If we better understand the symbioses between plants and fungi, we can optimize these and thus promote plant growth – while saving mineral fertilizers.**

**Wenn wir die Symbiosen zwischen Pflanzen und Pilzen besser verstehen, können wir sie optimieren und so das Pflanzenwachstum unter Einsparung von Kunstdünger verbessern.**

Professor Caroline Gutjahr,  
Plant Genetics

between plants and fungi, we can optimize these and thus promote plant growth while saving mineral fertilizers,” she says. At the same time, plants could become more resistant to disease-causing organisms, so there is hope that the use of pesticides could be reduced.

From symbioses with soil fungi to comparative gene expression analyses and metabolic analyses of maize plants, the researchers at TUM School of Life Sciences share a common goal with their diverse, interdisciplinary approaches: making plants fit for the future – and contributing to the world’s nutrition. Basic research is an important precondition for this. ☒

verstehen, können wir sie optimieren und damit das Pflanzenwachstum unter Einsparung von Kunstdünger verbessern.“ Da die Pflanzen zugleich oft resistenter gegenüber Krankheitserregern werden, besteht die Hoffnung, dass gleichzeitig der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln reduziert werden könnte.

Ob Symbiose mit Bodenpilzen, vergleichende Genexpressionsanalysen oder Stoffwechselanalysen bei Maispflanzen – mit ihren vielfältigen und interdisziplinären Ansätzen verfolgen die Forscher der TUM School of Life Sciences alle ein gemeinsames Ziel: Pflanzen fit für die Zukunft zu machen – und so einen Beitrag zur Ernährung der Weltbevölkerung zu leisten. Die Grundlagenforschung bildet dafür eine wichtige Voraussetzung. ☒