

TUM School of Life Sciences

Working for One Health



TUM School of Life Sciences



Thomas F. Hofmann
President Technical University of Munich

Only when we better understand our planet in its complex diversity can we make a contribution to securing the foundations of healthy living and shaping the coexistence of mankind in a sustainable way. The Technical University of Munich (TUM) places itself at the forefront of this societal task. The TUM counters the complexity of the topics environment and resources, climate and energy as well as nutrition and health with the interactive bundling of its disciplinary strengths in the natural sciences, life sciences and engineering, humanities, social sciences and economics as well as medicine.

The TUM School of Life Sciences uniquely combines the necessary key competencies to explore the fundamentals of our lives: from molecules to cellular systems to plant and animal organisms, from soil to ecosystems, from food to nutritional medicine, from biogenic raw materials to biotechnology – while making use of the benefits of artificial intelligence. In the spirit of the “One Health” idea, the TUM School of Life Sciences has set itself the goal of understanding and shaping the complex fundamentals and interactions of living systems and sustainably improving the health of Planet Earth with a holistic array of competencies in research and teaching.

Erst wenn wir unsere Erde in ihrer komplexen Vielfalt besser verstehen, können wir einen Beitrag dazu leisten, die Grundlagen gesunden Lebens zu sichern und das Zusammenleben der Menschheit nachhaltig zu gestalten.

Die Technische Universität München (TUM) stellt sich dieser gesellschaftlichen Aufgabe an vorderster Stelle. Der Vielschichtigkeit der Themenkomplexe Umwelt und Ressourcen, Klima und Energie sowie Ernährung und Gesundheit begegnet die TUM mit der interaktiven Bündelung ihrer disziplinären Stärken in den Natur-, Lebens- und Ingenieurwissenschaften, Geistes-, Sozial- und Wirtschaftswissenschaften sowie der Medizin.

Die TUM School of Life Sciences vereint in einzigartiger Weise die notwendigen Schlüsselkompetenzen zur Erforschung der Grundlagen unseres Lebens: vom Molekül über zelluläre Systeme zu pflanzlichen und tierischen Organismen, vom Boden zum Ökosystem, von der Nahrung zur Ernährungsmedizin, von den biogenen Rohstoffen zur Biotechnologie unter Nutzung der Vorzüge der künstlichen Intelligenz. Im Sinne des „One Health“ Gedankens hat sich die TUM School of Life Sciences zum Ziel gesetzt, mit einer ganzheitlichen Kräfteaufstellung in Forschung und Lehre die komplexen Grundlagen und Wechselwirkungen lebender Systeme zu verstehen, zu gestalten und die Gesundheit des Planeten Erde nachhaltig zu verbessern.

Contents

02 **Introduction:** TUM School of Life Sciences

04 **One Health:** Our mission

Living Environments

06 From the soil to the treetops

16 Green infrastructure for cooler cities

18 Research on the lungs of our planet

Agriculture & Forestry

20 Making plants fit for stressful times

32 How chickens ward off diseases

34 Preparing wood for new challenges

Food & Nutrition

36 Advanced materials for food

46 The importance of the microbiome in the large intestine

48 Why do we do what we do?

Molecular Health

50 Cancer research: What proteins reveal about a tumor

60 The fruit of tomorrow: Hypoallergenic fruit

62 Human and animal health

64 **Facts & Figures**

66 **Students' Statements**

Imprint

Publisher
Technische Universität München
TUM School of Life Sciences
Alte Akademie 8, 85354 Freising

Tel. +49.8161.71.3258
dekanat@wzw.tum.de
www.wzw.tum.de

Editorial office, concept and design
transQUER GmbH, Munich, www.transquer.de

Print
Druckerei Joh. Walch GmbH & Co. KG, Augsburg

Picture Credits: Cover (front and back) – 2/3 Astrid Eckert/TUM (Portrait) and TUM Pro Lehre Medienproduktion; 4/5 from left to right: Chair of Nutrition and Immunology/TUM, Wolfgang Filser/TUM, Andreas Heddergott/TUM, Leonhard Steinacker/TUM, Andreas Heddergott/TUM, Catarina Cardoso/TUM; 6/7 Pixabay; 8/9 Andreas Heddergott/TUM; 10 Carsten Müller/TUM; 11 Andreas Heddergott/TUM; 12 Gerhard Schütze/TUM; 13 Peter Biber/TUM; 14/15 Thomas Rötzer/TUM; 15 Leonhard Steinacker/TUM; 17 above Stephan Pauleit/TUM, Francesca Simonetto/TUM, below Stephan Pauleit/TUM; 18 Andreas Heddergott/TUM; 19 Universidade de São Paulo; 20/21 Tom Freudenberg/StMUV; 22 Eva Bauer/TUM; 23–24/25 Tom Freudenberg/StMUV; 26/27–28/29 Andreas Heddergott/TUM; 30 Catarina Cardoso/TUM; 31 Priya Pimprikar/TUM; 33 above Hicham Sid/TUM, below Andreas Heddergott/TUM (3); 34/35 Holzforschung München (3); 36/37–44/45 Andreas Heddergott/TUM; 47 left Andreas Heddergott/TUM, Chair of Nutrition and Immunology/TUM (3); 48 Andreas Heddergott/TUM; 49 above Ariane Böhm/TUM, below Laura Loschek/TUM; 50/51 Wolfgang Filser/TUM; 52/53 www.fotostudio-goebel.de; 54 Astrid Eckert/TUM; 55 Bernhard Küster/TUM; 56 Astrid Eckert/TUM; 57 Wolfgang Filser/TUM; 59 Stephanie Heinzlmeir/TUM; 61 Ruth Habegger/TUM (4); 62 Astrid Eckert/TUM; 63 Chair of Animal Physiology and Immunology/TUM (2); 66/67 Andreas Heddergott/TUM (6)

Oktober 2019



One Health

Good health means global health. For the TUM School of Life Sciences, "One Health" is the mission to improve global health on our planet. Climate change, population growth and dwindling resources as well as the related challenge of food security require real innovations. Only if the interactions between humans, animals, plants, microorganisms, soil and the environment are fully functional can the world remain healthy and viable into the future.

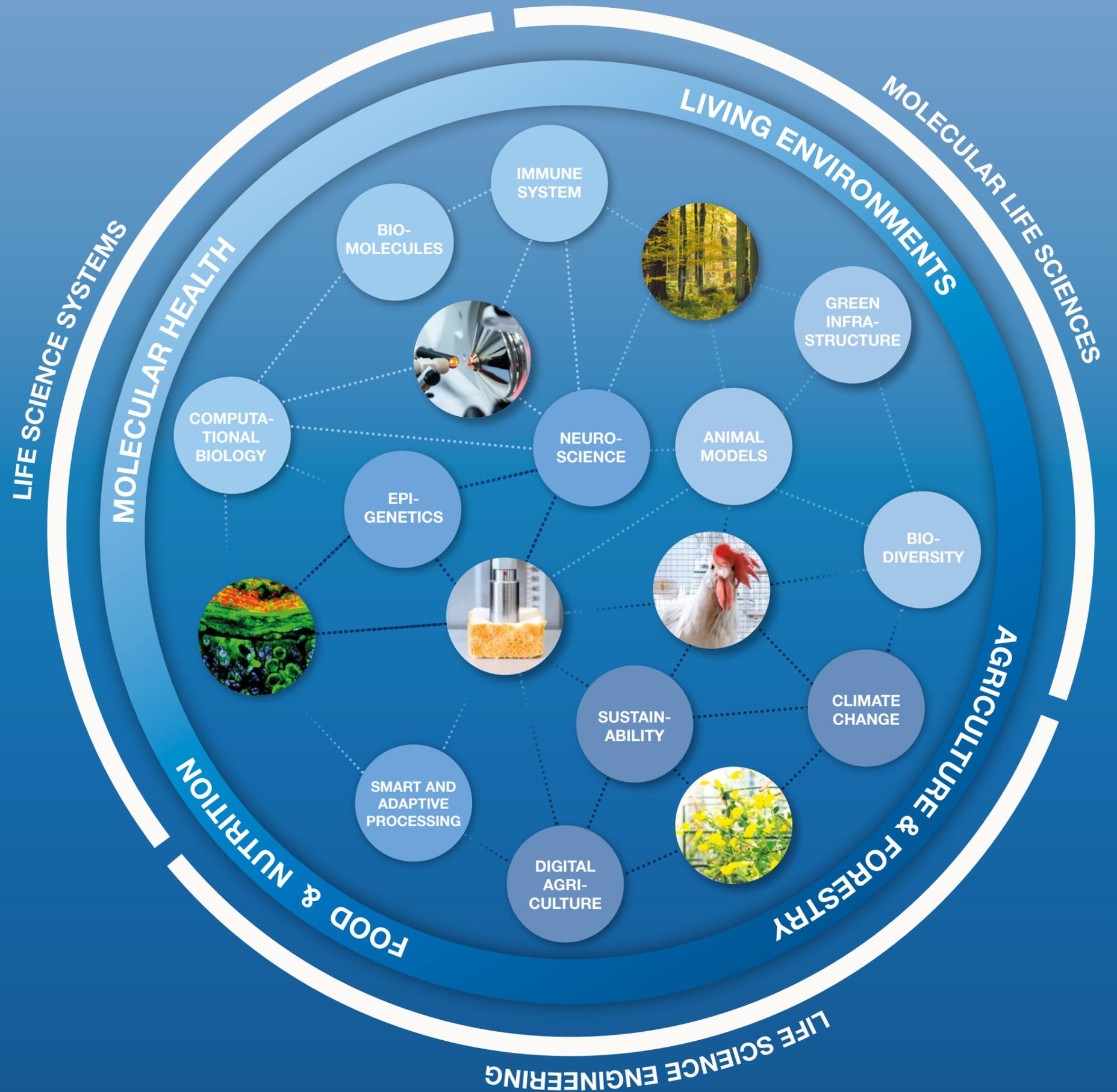
Scientists from various disciplines are therefore cooperating and collaborating at the TUM School of Life Sciences. Their interdisciplinary research includes topics from the fields of living environments, agriculture and forestry, food and nutrition as well as molecular health. This research generates a wealth of knowledge for creating the best possible living and development conditions on earth.

Whether it is cells, organisms or ecosystems, the researchers of the TUM School of Life Sciences have all levels in view. They aim to recognize interrelationships, link new findings and discoveries, and thus create a systemic approach towards a healthy future on our planet.

Gesundheit gibt es nur global. „One Health“ ist für die TUM School of Life Sciences der Auftrag, die Gesundheit auf unserem Planeten sicher zu stellen. Der Klimawandel, das Bevölkerungswachstum und schwindende Ressourcen sowie die damit verbundene Frage der Ernährungssicherung erfordern echte Innovationen. Denn nur wenn das Zusammenspiel zwischen Mensch, Tier, Pflanze, Mikroorganismen, Boden und Umwelt funktioniert, bleibt die Welt insgesamt gesund und zukunftsfähig.

Wissenschaftler unterschiedlicher Disziplinen arbeiten an der TUM School of Life Sciences deshalb fachübergreifend an Forschungsthemen aus den Bereichen Lebensräume, Agrar- und Forstwissenschaften, Lebensmittel und Ernährung sowie Gesundheit. Diese Grundlagenforschung generiert Wissen, das hilft die Lebens- und Entwicklungsbedingungen auf der Erde bestmöglich zu gestalten.

Ob Zellen, Organismen oder Ökosysteme: Die Mitarbeiter der TUM School of Life Sciences haben alle Ebenen im Blick und versuchen zugleich Zusammenhänge zu erkennen, neue Informationen miteinander zu verknüpfen und systemisch zu erfassen – für eine gesunde Zukunft auf unserem Planeten.





From the soil to the treetops

Climate change is affecting not only the atmosphere, but the earth. From the treetops down to the soil level, plants and microorganisms have to adapt to these changes. Down to the nanometer level, researchers at the TUM School of Life Sciences are tracking these alterations. VOM BODEN BIS ZU DEN BAUMWIPFELN · Der Klimawandel verändert den Planeten – und das nicht nur in der Atmosphäre. Von den Baumkronen bis in den Boden passen sich Pflanzen und Mikroorganismen den Veränderungen an. Forscher der TUM School of Life Sciences spüren diesem Wandel bis in den Nanometer-Bereich nach.

A climate mirror: The growth of trees reveals much about environmental conditions. For this reason, forest researchers are investigating how different tree species grow over longer periods of time and how they react to stress and human intervention. Spiegel des Klimas: Das Wachstum der Bäume verrät viel über die Umweltbedingungen. Deshalb untersuchen Forscher im Wald, wie unterschiedliche Baumarten über längere Zeiträume wachsen und wie sie auf Stress und menschliches Eingreifen reagieren.



Man kind does not just live on the ground – it lives because of it. The uppermost layer of the earth is an essential resource that offers diverse habitats. However, climate change poses new challenges for both people and the environment. This is why scientists working with Professor Ingrid Kögel-Knabner – who holds the Chair of Soil Science – want their research to create the basis for the ecologically and economically sustainable use of soil. This usage is all the more important since it could also secure the world’s future food supply.

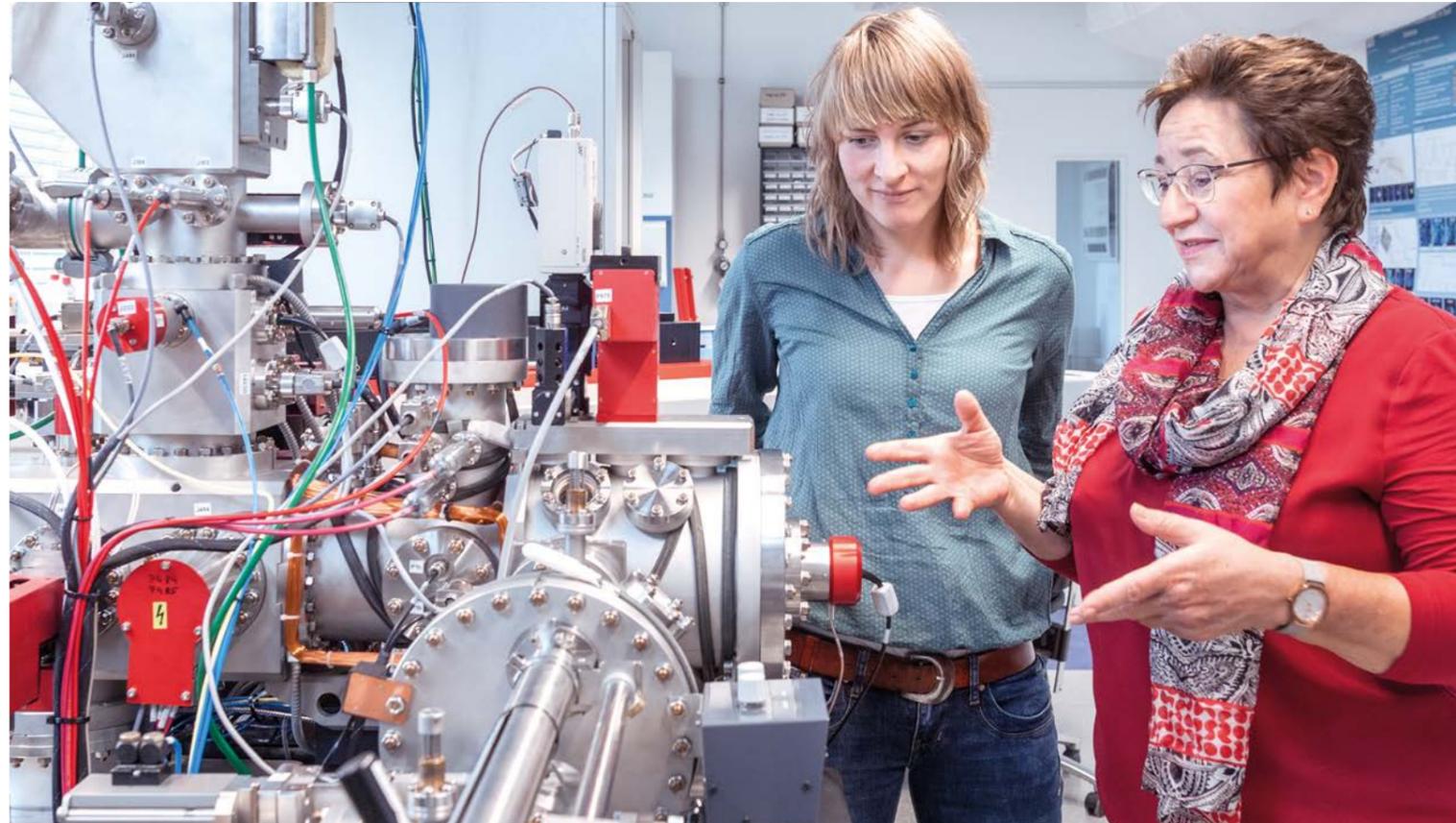
The researchers are investigating soil from different ecosystems and comparing them to each other, such as soil used for agriculture and for forestry, and soil from rural environments compared with urban settings. “We are mainly looking for organic substances in the soil and want to find out more about their functions,” says Kögel-Knabner. Soils are characterized by two main elements: their mineral and their organic components. “While the minerals are usually given by a parent rock, organic components can be very easily modified and thus adapted to different needs,” she continues. “We want to find out how this works best for the respective soil.”

The plants that are involved play an important role in this process since they change the soil conditions – depending on whether they are annual or perennial plants, for example, or whether the plants have deep or shallow roots. A big difference also becomes obvious again and again depending on whether or not plant residues are plowed into the soil. “The soil microorganisms degrade such organic plant residues, but also harvest residues or organic additives, such as liquid manure or compost, differently –

Knowledge in nanometers helps entire climate regions

which in turn, influences the interaction with the mineral components,” explains Kögel-Knabner. This means that no two soils are the same, even if they sometimes seem so at first glance. The difference lies in the small details, often only nanometers in size.

The secrets of soil thus lie in its structural composition. This determines how substances are transported, converted, and released within the soil. Modern technology is required to see the soil structure at all. In addition to hyperspectral cameras, the researchers at TUM’s School of Life Sciences mainly use so-called NanoSIMS. This is an improved version of secondary ion mass spectrometry (SIMS). With this method, resolutions of 50 nanometers can be achieved. This is the size of a small virus. Thanks to this technology, the spatial arrangement of soil’s organic substances can be detected and investigated. Overall, this device sets the highest research standards.



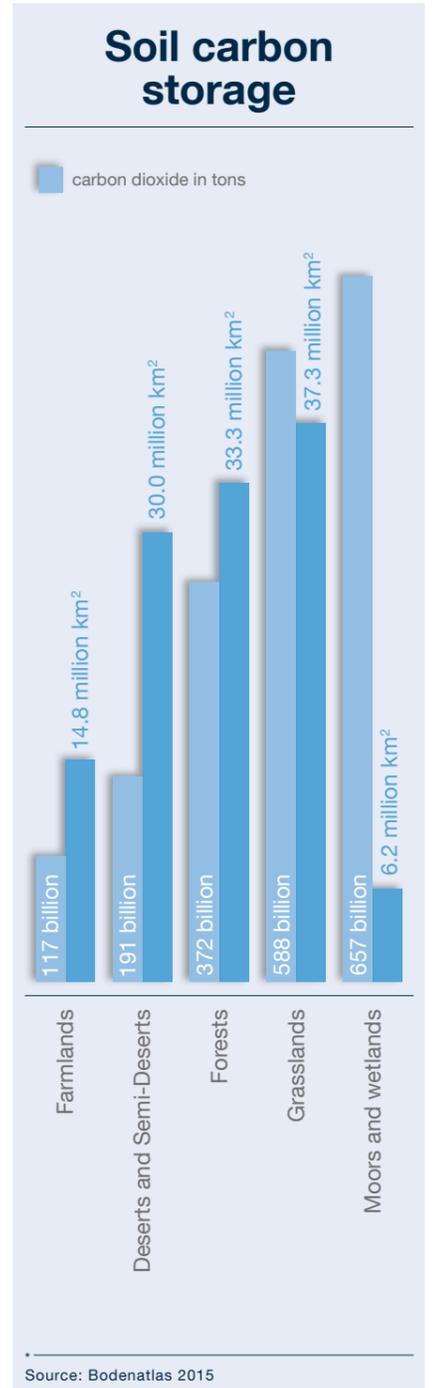
High-tech provides insights to the nanometer range: The so-called NanoSIMS – an improved variant of secondary ion mass spectrometry (SIMS) – achieves resolutions of 50 nanometers and thus sets the highest international standards. Researchers from all over the world come to Ingrid Kögel-Knabner (right) and her colleagues to have soil samples analyzed. Hightech liefert Einblicke im Nanometer-Bereich: Die sogenannte NanoSIMS – eine verbesserte Variante der Sekundärionen-Massenspektrometrie (kurz SIMS) – erreicht Auflösungen von 50 Nanometern und setzt damit international höchste Standards. Forscher aus aller Welt kommen zu Ingrid Kögel-Knabner (rechts) und ihren Mitarbeitern, um Bodenproben analysieren zu lassen.

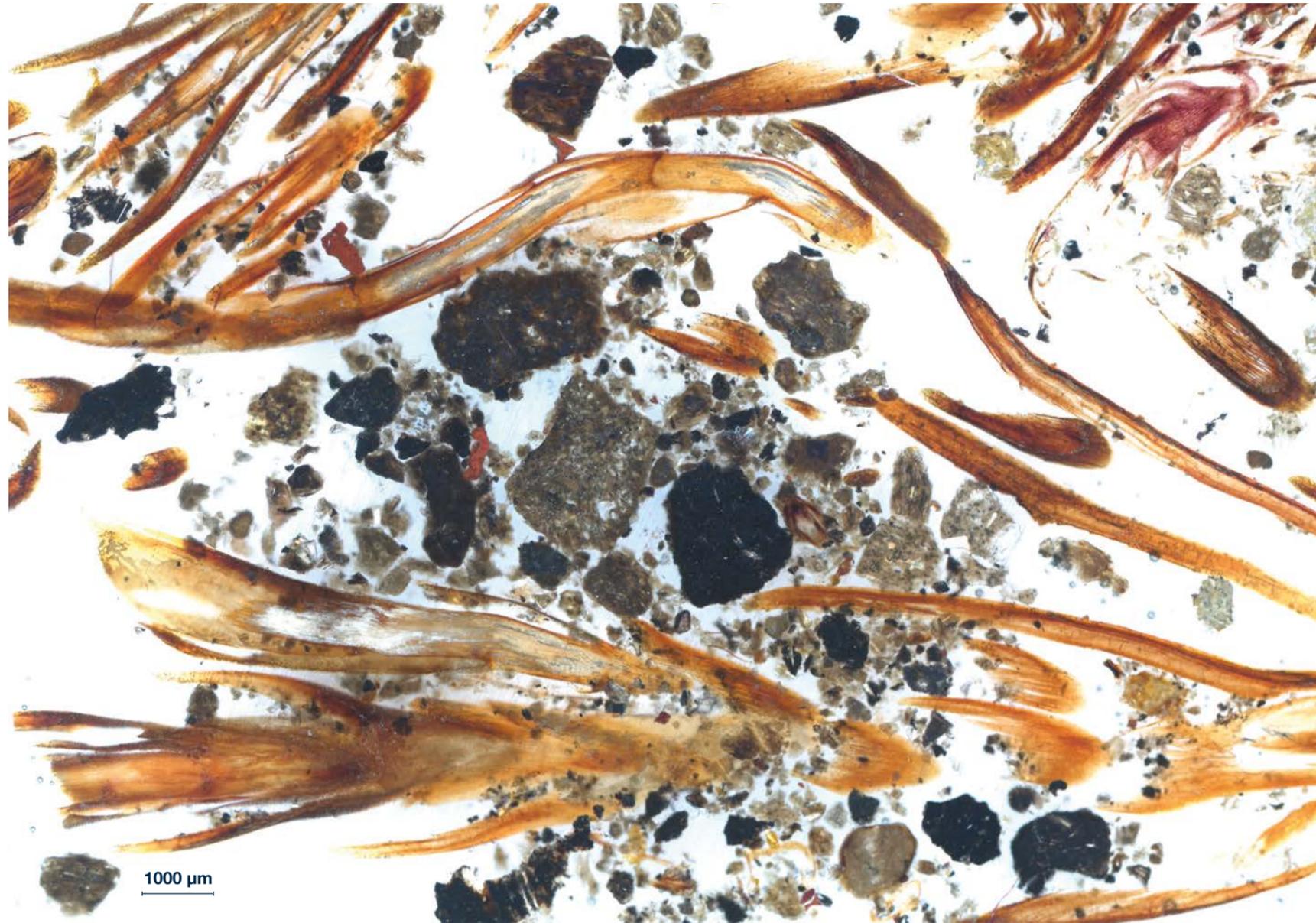
Die Menschheit lebt nicht nur auf dem Boden, sie lebt vor allem von ihm. Die oberste Schicht der Erde ist eine unverzichtbare Ressource, die zudem vielfältige Lebensräume bietet. Doch der Klimawandel stellt Mensch und Umwelt vor neue Herausforderungen. Die Wissenschaftler um Professorin Ingrid Kögel-Knabner vom Lehrstuhl für Bodenkunde wollen mit ihrer Forschung Grundlagen dafür schaffen, Böden ökologisch und ökonomisch nachhaltig nutzen zu können. Das kann auch die Ernährung der Weltbevölkerung in Zukunft sichern.

Dafür untersuchen die Forscher Böden aus verschiedenen Ökosystemen und vergleichen diese miteinander, zum Beispiel agrarisch und forstlich genutzte Böden oder Böden aus einer ländlichen Umgebung mit solchen aus der Stadt. „Wir suchen vor allem nach den organischen Substanzen im Boden und wollen mehr über deren Funktionen erfahren“, sagt Kögel-Knabner. Böden seien im Wesent-

lichen durch zwei Hauptelemente gekennzeichnet: ihre mineralischen und ihre organischen Bestandteile. „Während die Mineralien durch das Ausgangsgestein meist gegeben sind, lassen sich organische Komponenten sehr gut verändern und so an unterschiedliche Bedürfnisse anpassen“, sagt die Boden-Expertin. „Wir wollen herausfinden, wie das für den jeweiligen Boden am besten funktioniert.“

Dabei spielen die beteiligten Pflanzen eine wichtige Rolle. Denn sie verändern die Voraussetzungen im Boden – je nachdem, ob es zum Beispiel ein- oder mehrjährige Pflanzen sind oder ob die Pflanzen tief oder flach wurzeln. Ein großer Unterschied werde auch immer wieder deutlich, wenn Pflanzenreste als Rückstände in den Boden eingepflügt wurden – oder nicht. „Die Bodenmikroorganismen bauen solche organischen Pflanzenreste, aber auch Ernterückstände oder organische Zugaben wie Gülle oder Kompost unterschiedlich ab – und das wiederum be-





Aesthetic Antarctica: This cross section of a soil sample (left) shows the interaction of moss and soil in Antarctica. Numerous soil samples (below) from very different regions of the earth are stored at the TUM School of Life Sciences. **Ästhetische Antarktis:** Dieser Querschnitt einer Bodenprobe (links) zeigt die Interaktion von Moos und Boden in der Antarktis. Zahlreiche Bodenproben (unten) aus ganz unterschiedlichen Regionen der Erde lagern an der TUM School of Life Sciences.



“Researchers from all over the world come to us with their soil samples for analysis,” says Kögel-Knabner. “This is because we not only have the technology

Soil projects all around the globe

but also the competence and years of experience.” These analyses are not only helpful for basic soil research, but can often be used in practice as well. “We advise those responsible locally on what they can optimize in their soils – and how this actually works,” explains Kögel-Knabner. One example is the steppe soils

in Mongolia and northern China. There, scientists are investigating increasing soil erosion due to overgrazing. They also want to understand how this erosion affects the air and dust storms in and around the region’s metropolitan areas. The scientists are also concerned about another point: Besides the oceans, soils are the largest stores of the harmful greenhouse gas carbon dioxide, and soils also react to its increasing atmospheric levels. Thus, the researchers are studying why and how they exactly react; this is currently occurring in projects around the globe, from Australia to China and Brazil.

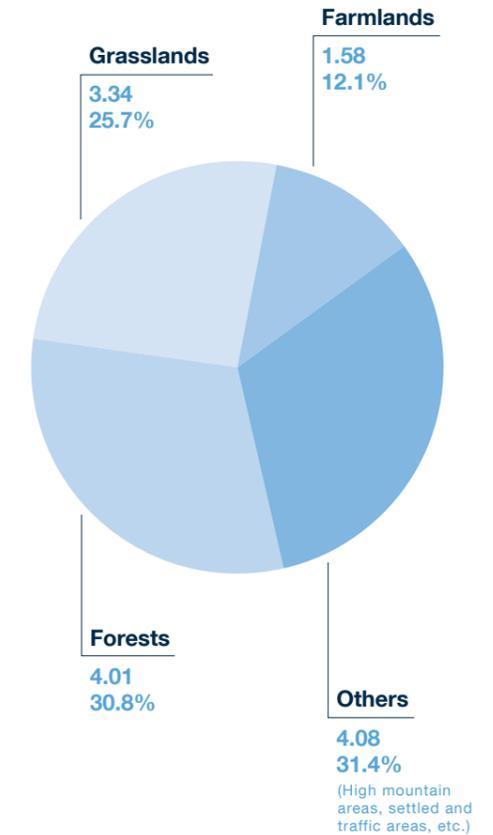
The challenges for the Chair for Forest Growth and Yield Science are – literally – rooted in the soil. The focus lies on trees: how they grow over long periods of time

einflusst das Zusammenspiel mit den mineralischen Komponenten“, erklärt Kögel-Knabner. Somit sei kein Boden wie der andere, auch wenn es auf den ersten Blick manchmal so scheine. Der Unterschied liege in den kleinen Dingen, oft Nanometer klein.

Die Geheimnisse des Bodens liegen also in ihrer strukturellen Zusammensetzung. Sie bestimmt darüber, wie Stoffe im Boden transportiert, umgesetzt und abgegeben werden. Um die Bodenstruktur

aber überhaupt sehen zu können, bedarf es modernster Technik. Neben Hyperpektralkameras verwenden die Forscher der TUM School of Life Sciences vor allem die sogenannte NanoSIMS. Das ist eine verbesserte Variante der Sekundärionen-Massenspektrometrie (kurz SIMS). Mit dem Verfahren lassen sich Auflösungen von 50 Nanometern erreichen – das entspricht der Größe eines kleinen Virus. Dank dieser Technologie lässt sich die räumliche Anordnung der organischen Substanzen im Boden

Global land use in billion ha (2013)



A third of the Earth’s used surfaces are covered by forests. They form one of the most important types of land use for people and nature. Ein Drittel aller genutzten Flächen sind bewaldet. Wälder sind eine der wichtigsten Nutzungsflächen für Mensch und Natur.

Source: FAOSTAT 2013



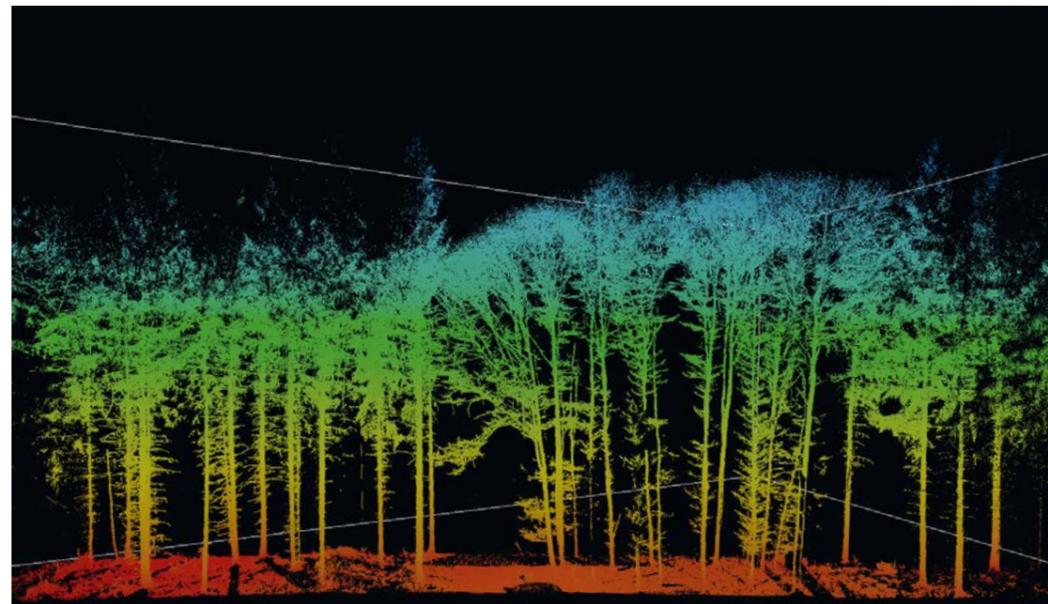
25 %

Urban trees grow 25% faster than trees in rural settings. The reason for this is the heat island effect: the temperature in cities can be between three and ten degrees Celsius higher than in rural areas. This stimulates the photosynthetic activity of the trees and extends the vegetation period. Stadtbäume wachsen um 25 Prozent schneller als Landbäume. Ursache ist der Wärmeinseleffekt: Die Temperatur in Städten kann – verglichen mit der ländlichen Umgebung – zwischen drei und zehn Grad Celsius höher sein. Das regt die photosynthetische Aktivität der Bäume an und verlängert die Vegetationsperiode.

Source: Pretzsch, H., Biber, P., Schütze, G., Uhl, E. & Rötzer, T. Forest stand growth dynamics in Central Europe have accelerated since 1870. Nat. Commun. 5 (2014).

and how they react to human intervention or stress. Professor Hans Pretzsch and his team create computer models that simulate tree growth in the climate of the future. “For some years now, we have also been increasingly scrutinizing trees in cities. These trees play an important role in urban habitats by providing shade, providing humidity and filtering out particulate matter in the air.” Therefore, Pretzsch is working with researchers from Brisbane, Cape Town, Hanoi, Houston and Santiago de Chile, among others. The scientists compare the growth of trees in the cities and in adjacent natural areas. “In large cities, temperatures are often higher than in the surrounding areas,” says Pretzsch. Urban trees thus already show today how the trees in the surrounding forest areas will react to climate change over the next 20 years.

The researcher’s calculations are based on the unique long-term experimental areas which are supervised by the Chair for Forest Growth and Yield Science. These areas have been in use since 1870, making them the world’s oldest experimental tree plantations. The data from the past offers a great advantage. “We can always compare current observations with the growth behavior under past



The measurement of the forest: Wood samples under the high frequency probe head of a LIGNOSTATION™ (above). This technique gives insights into tree growth behavior in 1/100 mm resolution. Using laser scans (left), experts from the TUM School of Life Sciences are investigating, for example, how the spatial structures in the treetops change. Die Vermessung des Waldes: Holzproben unter der Hochfrequenzsonde einer LIGNOSTATION™ (oben). Diese Technologie erlaubt Einblicke in das Wachstumsverhalten von Bäumen in einer Auflösung von 1/100 mm. Mithilfe von Laser-Scans (links) untersuchen Experten der TUM School of Life Sciences zum Beispiel, wie sich die räumlichen Strukturen in den Baumkronen verändern.

erkennen und untersuchen. Das Gerät setzt höchste Standards: „Forscher aus aller Welt kommen mit ihren Bodenproben zu uns, um sie analysieren zu lassen“, sagt Kögel-Knabner. „Denn wir haben nicht nur die Technik, sondern auch die Kompetenz und jahrelange Erfahrung.“ Die Analysen helfen nicht nur für die Grundlagenforschung, sondern lassen sich oft gleich für die Praxis nutzen. „Wir beraten die Verantwortlichen vor Ort, was sie an ihren Böden optimieren können – und wie das praktisch funktioniert“, erklärt Kögel-Knabner. Ein Beispiel sind die Steppen in der Mongolei und in Nordchina. Dort untersuchen die Wissenschaftler die zunehmende Erosion des Bodens durch Überweidung. Zudem wollen sie verstehen, welchen Einfluss diese Erosion auf die Luft und Staubstürme in und um die Metropolen der Region hat.

Und noch ein Punkt beschäftigt die Wissenschaftler: Böden sind neben den Ozeanen die größten Speicher des schädlichen Klimagases Kohlenstoffdioxid und reagieren ebenso auf dessen steigende Menge in der Atmosphäre. Warum und wie genau, das untersuchen die Forscher in Projekten rund um den Globus, von Australien über China bis Brasilien.

Im Boden wurzeln – buchstäblich – die Herausforderungen des Lehrstuhls für Waldwachstumskunde. Hier stehen die Bäume im Mittelpunkt: wie sie über lange Zeiträume wachsen und wie sie auf menschliches Eingreifen oder Stress reagieren. Professor Hans Pretzsch und sein Team erstellen Computermodelle, die das Baumwachstum im Klima der Zukunft simulieren. „Seit einigen Jahren nehmen wir auch verstärkt Bäume in Städten unter die Lupe. Diese spielen eine wichtige Rolle für urbane Lebensräume, indem sie Schatten spenden, für Luftfeuchtigkeit sorgen und den Feinstaub aus der Luft herausfiltern.“ Dafür arbeitet Pretzsch mit Forschern unter anderem aus Brisbane, Kapstadt, Hanoi, Houston und Santiago de Chile zusammen. Die Wissenschaftler vergleichen das Baumwachstum in Städten mit dem Baumwachstum in angrenzenden Naturgebieten. „In Großstädten sind die Temperaturen oft höher als in der Umgebung“, sagt Pretzsch. Die Stadtbäume zeigten somit bereits heute, wie die Bäume der umliegenden Waldgebiete auf die Klimaentwicklung in den kommenden 20 Jahren reagieren werden. Grundlage für die Berechnungen sind die einzigartigen Dauerversuchsflächen, die vom Lehrstuhl für Waldwachstumskunde betreut werden. Die Versuchsflächen bestehen bereits seit 1870 und sind damit



”

**My favorite challenge:
To interest young
scientists and make them
burn for research.
Meine liebste Herausfor-
derung: Junge Wissen-
schaftler für meine
Themen zu interessieren
und dafür ‚zum Brennen
zu bringen‘.**

Professor Hans Pretzsch,
Forest Growth and Yield Science



Trees in cities and forests: Both are part of the research at the TUM School of Life Sciences. The urban trees show how the trees of the surrounding forest areas will react to climate change in the coming years. Bäume in Stadt und Wald: Beide sind Teil der Untersuchungen an der TUM School of Life Sciences. Die Stadtbäume zeigen, wie die Bäume der umliegenden Waldgebiete auf die Klimaentwicklung in den kommenden Jahren reagieren werden.

climate constellations and thus detect changes,” explains Pretzsch. Equipped with this expertise, he and his colleagues advise scientists and practitioners worldwide. Another project focuses on a comparison between tree growth of monocultures and mixed forests in different climate regions. Depending on the location, these investigations showed that mixed forests grow on average 20 to 30 percent more, bind more carbon dioxide and are more stable to withstand external influences. Tree species choice is crucial because complementary species interact better than similar ones. “For example, we have found that larch and beech harmonize well with each other because they occupy different ecological niches,” says Pretzsch. Spruce and Douglas fir, on the other hand, are very similar and can therefore hardly increase their growth when placed together. Forest owners are par-

ticularly interested in these findings, as they can often only be convinced of the benefits of growing mixed forests if they are shown so explicitly. But they are not the only ones to profit from the research results: Mixed forests are a natural protection against climate change and can adapt much better to the changing environmental conditions – and if the forest is doing well, then humans benefit also. ❏

die ältesten Untersuchungsflächen für Bäume weltweit. Die Daten aus der Vergangenheit bieten einen großen Vorteil: „Wir können aktuelle Beobachtungen stets mit dem Wachstumsverhalten unter vergangenen Klimakonstellationen vergleichen und so Veränderungen feststellen“, erklärt Pretzsch. Ausgestattet mit dieser Expertise beraten er und seine Kollegen andere Wissenschaftler und Praktiker weltweit. Ein weiteres Projekt befasst sich mit dem Vergleich des Baumwachstums von Monokulturen und Mischwäldern in unterschiedlichen Klimaregionen. Je nach Standort ergaben die Untersuchungen dabei, dass Mischwälder durchschnittlich 20 bis 30 Prozent mehr wachsen, mehr Kohlenstoffdioxid binden und stabiler gegenüber äußeren Einflüssen sind. Entscheidend sind auch die Baumarten, denn komplementäre Arten ergänzen sich besser als ähnliche.

„Wir haben zum Beispiel festgestellt, dass Lärche und Buche gut miteinander harmonieren, da sie verschiedene ökologische Nischen besetzen“, sagt Pretzsch. Fichte und Douglasie hingegen seien sich sehr ähnlich und könnten ihr Wachstum in Mischung deshalb kaum steigern. An diesen Erkenntnissen sind vor allem Waldbesitzer interessiert, die sich oft nur vom Anbau von Mischwäldern überzeugen lassen, wenn der Nutzen aufgezeigt wird. Doch nicht nur sie profitieren von den Forschungsergebnissen: Mischwälder sind ein natürlicher Schutz gegen den Klimawandel und können sich wesentlich besser an die veränderten Umweltbedingungen anpassen – und wenn es dem Wald gut geht, dann gewinnt auch der Mensch dabei. ❏



Green infrastructure for cooler cities

Green spaces in cities are popular areas of retreat: They offer the opportunity to relax and linger, and to escape the stresses of everyday life. However, these spaces can do much more, says Professor Stephan Pauleit. He and his team have evaluated the role of green infrastructures in the era of climate change. "The term 'green infrastructure' indicates the green areas in a city. They have been conceived as a strategically planned network," remarks Pauleit, Chair for Strategic Landscape Planning and Management. Together with an interdisciplinary team, he has carried out several projects to observe different tree species in cities and determine their potential to help the cities better adapt to climate change. The findings are promising. "Green infrastructures can help to lower temperature spikes and can mitigate the effects of heavy rain," Pauleit explains.

Pauleit's research team compared several urban tree species and searched for the reasons why trees from southern and southeastern Europe can cope better with dry spells. Based on this data, the team developed computer models to visualize the effects of high temperatures. The knowledge gained during these research activities is not only focused on Europe: Pauleit and his team have also carried out projects in Africa and Asia, where the issue of urbanization is acute. In Dar es Salaam, Tanzania, for example, the researchers confirmed that green infrastructure is an important component of increased climate resilience, as it provides shadow, retains water and improves air quality. "Thanks to our expertise we can offer support by sharing knowledge and actively helping local communities," says Pauleit. "This is our responsibility."

schaftsplaner vom Lehrstuhl für Strategie und Management der Landschaftsentwicklung. In mehreren Projekten analysierte er mit einem interdisziplinären Team verschiedene Baumarten in Städten und ermittelte deren Potenzial, die Städte besser an den Klimawandel anzupassen. „Grüne Infrastruktur kann dabei helfen, Temperaturspitzen abzusenken und die Folgen von Starkregen abzumildern“, erklärt Pauleit.

Beim Vergleich mehrerer Stadtbaumarten untersuchten die Wissenschaftler, warum Bäume aus Süd- und Südosteuropa am besten mit Trockenperioden zurechtkommen. Auf Basis der gesammelten Daten entstanden Computermodelle, die die Auswirkungen der hohen Temperaturen veranschaulichen. Dieses Wissen wird nicht nur in Europa angewendet: Pauleit und sein Team führten Projekte in Afrika und Asien durch, wo die Urbanisierung akut ist. So fanden sie beispielsweise in Daressalam in Tansania heraus, dass grüne Infrastruktur ein wichtiger Baustein für mehr Klimaresilienz ist – als Schatten-spender, Wasserspeicher oder Luftverbesserer. „Wir unterstützen mit unseren Kompetenzen vor Ort, indem wir Wissen vermitteln und aktiv helfen“, sagt Pauleit, „das ist unsere Verantwortung.“

2 – 3 KILOWATTS

2 to 3 kilowatts is the cooling power that can be reached by a single tree. This corresponds to an air conditioner cooling a single room. 2 bis 3 Kilowatt kann die Kühlleistung eines einzelnen Baumes betragen. Dies entspricht der Leistung einer Klimaanlage, die einen Raum kühlt.

Source: Mohammad A. Rahman, Astrid Moser, Anna Gold, Thomas Rötzer and Stephan Pauleit: Vertical air temperature gradients under the shade of two contrasting urban tree species during different types of summer days, Science of the Total Environment 2018.



Natural air conditioning: Allotments (above) or green stripes along a river (below) can influence the climate of a city. Stephan Pauleit (center, second from right) and his colleagues are investigating the effects of different tree species and are thus generating knowledge that will help to develop new urban concepts. Klimaanlagen der Natur: Kleingärten (oben) oder Grünstreifen entlang eines Flusses (unten) können Einfluss auf das Klima einer Stadt haben. Stephan Pauleit (Mitte, Zweiter von rechts) und seine Mitarbeiter untersuchen die Wirkungen unterschiedlicher Baumarten und generieren so Wissen, das beim Erstellen neuer Städtekonzepte hilft.





Interview

Research on the lungs of our planet



In the ecosystem experiment “AmazonFACE,” Anja Rammig, Professor for Land Surface-Atmosphere Interactions, studies the interplay between forest and atmosphere. FORSCHUNG AN DER LUNGE DES PLANETEN · Anja Rammig, Professorin für Land Surface-Atmosphere Interactions, untersucht im Ökosystemexperiment „AmazonFACE“ das Wechselspiel zwischen Wald und Atmosphäre.

What is the focus of your research in the Amazon region? Was ist der Schwerpunkt Ihrer Forschung im Amazonasgebiet?

In Brazil, we are investigating the effects of rising carbon dioxide levels in the atmosphere on the ‘lungs’ of our planet, the tropical rainforest. So far, our models assume that higher carbon dioxide levels will lead to enhanced growth of trees and plants. However, any growth is limited. In a large-scale ecosystem experiment, we will simulate the future carbon dioxide concentration, which will be 50% higher than it is currently. We are interested in observing how the trees will react to these conditions. In Brasilien untersuchen wir, wie sich der steigende Kohlenstoffdioxid-Gehalt in der Atmosphäre auf den tropischen Regenwald – die Lunge unseres Planeten – auswirkt. Unsere Modelle gingen bisher davon aus, dass mehr Kohlenstoffdioxid zu mehr Wachstum bei Bäumen und Pflanzen führt. Doch jedes Wachstum ist begrenzt. Deshalb werden wir auf einer Versuchsfläche die zukünftige Kohlenstoffdioxid-Konzentration simulieren, die um die Hälfte höher ist als die derzeit vorhandene Konzentration. Uns interessiert, wie die Bäume auf dieses Szenario reagieren.

How, specifically, does this experiment work? Wie läuft das Experiment genau ab?

We will build a ring of towers which will inject the carbon dioxide. The towers will adapt automatically to changing wind and weather conditions. In addition, we will measure almost every process happening inside and under the trees – from the photosynthesis to the water transport inside the trunks to the metabolic processes in the roots. Wir werden einen Ring aus Türmen errichten, über die Kohlenstoffdioxid zugeführt wird. Diese passen sich automatisch an die jeweiligen Wind- und Wetterbedingungen an. Parallel dazu messen wir nahezu jeden Prozess in und unter den Bäumen – von der Photosynthese im Kronendach über den Wassertransport im Stamm bis hin zu den Stoffwechselvorgängen in den Wurzeln.

What are the main challenges in this project? Was sind die größten Herausforderungen des Projekts?

At the moment, the most challenging tasks in this project are construction and logistics. The experimental site is located in the middle of the jungle and therefore difficult to reach. Roads cover just half of the route. Still, we must transport the test set-ups as well as large amounts of carbon dioxide to this area. Aufbau und Logistik des Projekts sind derzeit die kompliziertesten Aufgaben. Die Versuchsfläche befindet sich mitten im Urwald und ist schwer erreichbar. Nur die Hälfte der Strecke besteht aus befestigten Straßen. Trotzdem müssen wir die Versuchsaufbauten und große Mengen Kohlenstoffdioxid dorthin transportieren.

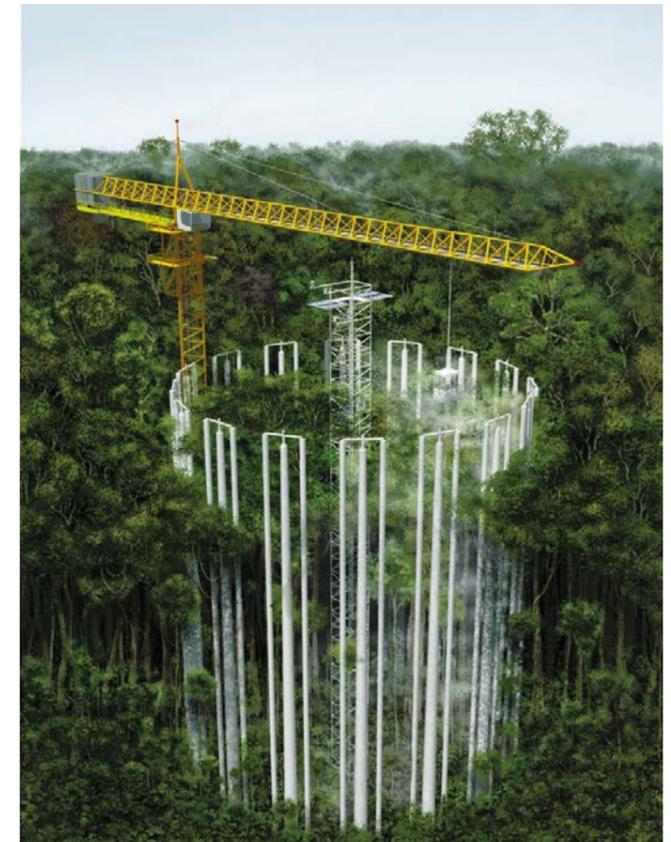


A bird’s-eye view: The envisioned experimental set-up of the free-air CO₂ enrichment (FACE) experiment of unprecedented scope and importance in a forest located 70 kilometers north of Manaus, Brazil. Aus der Vogelperspektive: Der geplante Versuchsaufbau des CO₂-Düngeexperiments (FACE) von beispiellosem Umfang und großer Bedeutung in einem Wald 70 Kilometer nördlich von Manaus, Brasilien. · Source: University of São Paulo

414 ppm

414 ppm (parts per million) is the current carbon dioxide concentration in the atmosphere. In the experimental plots, the concentration will be increased to 600 ppm. 414 ppm (Anteile pro Million) beträgt die Kohlenstoffdioxidkonzentration in der Atmosphäre. Auf der Versuchsfläche im Amazonasgebiet wird sie künstlich auf 600 ppm erhöht.

Source: Scripps Institution of Oceanography



Green technology: Inside the FACE ring, the carbon dioxide concentration is increased to measure the response of the ecosystem. Technik im Grünen: Innerhalb des FACE Rings wird die Kohlendioxidkonzentration erhöht und die Reaktion des Ökosystems gemessen. · Source: University of São Paulo

What motivates you about your work? Was motiviert Sie bei Ihrer Arbeit?

My job at the TUM School of Life Sciences allows me to work on exciting and highly relevant topics regarding the future of life on our planet. I gladly pass on my knowledge to my students. After all, it is an undisputable fact that climate change exists – and we are right in the middle of it. Ich bearbeite in meiner Forschung an der TUM School of Life Sciences spannende und hochaktuelle Fragestellungen, wie es mit dem Leben auf unserem Planeten weitergeht. Mein Wissen gebe ich gerne an die Studierenden weiter. Denn Fakt ist: Der Klimawandel existiert – und wir stecken mittendrin.



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 stressresistenter 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.



Why 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, Pflanzzüchter, 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.

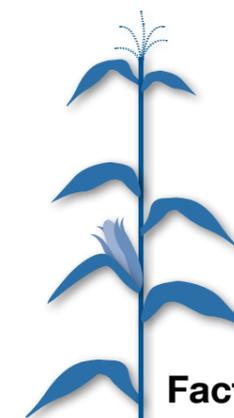
Researching environmentally friendly cultivation

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.

Mais ist eine der weltweit wichtigsten Nutzpflanzen. In Entwicklungsländern wird Mais überwiegend als Grundnahrungsmittel eingesetzt. In Industrieländern wird er dagegen vor allem 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.



**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



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.

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 Schwechheimer 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 Schwechheimer.

“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,” Schwechheimer 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 Schwechheimer.

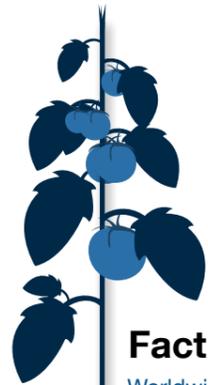
Until a few years ago, the genomes of individual plants and varieties were unknown. This has changed significantly in recent years due to technological advances. Therefore, researchers are now trying to understand plant growth so precisely that they could predict plant growth on basis of their genetic 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 Schwechheimer.

„Wir forschen an Arabidopsis, Tomate und Gerste, um zu untersuchen, wie die drei Pflanzenarten auf wechselnde Umweltfaktoren reagieren“, erklärt Professor Claus Schwechheimer 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 Schwechheimer.

„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 Schwechheimer. 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 Gibberellin-Hormon. Die molekularen Befunde aus dem Labor können daher leichter auf Nutzpflanzen übertragen werden“, ergänzt Schwechheimer.

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



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.

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.

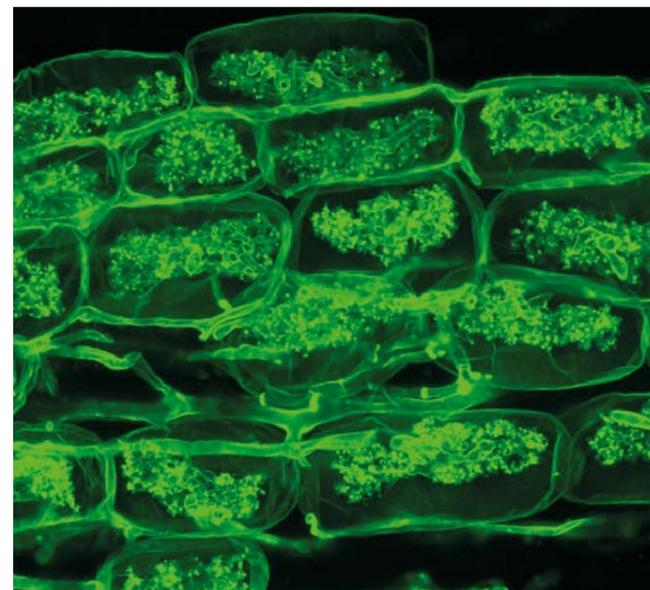
Gutjahr hofft, mit ihrer Forschung zu einer nachhaltigen Landwirtschaft beizutragen: „Wenn wir die Symbiosen zwischen Pflanzen und Pilzen besser



(above) Symbiosis: *Lotus japonicus*, a Japanese relative of birdsfoot trifoil, is used as model plant for the molecular biological investigations of root symbioses. (Oben:) *Lotus japonicus*, eine japanische Verwandte des Hornklees, 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 Pilzhyphen 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. ❏



How chickens ward off diseases

Benjamin Schusser, Professor of Reproductive Biotechnology, investigates the immune system of chickens. He hopes to prevent poultry diseases, in order to make a significant contribution to animal health.

A multitude of diseases threatens poultry populations worldwide. Pathogens such as salmonella or avian influenza can also infect both chickens and humans, thus posing a threat to human health while continuing to affect animal health. So far, optimized vaccines have helped to keep these animals healthy. "No other species is vaccinated as often as the domestic chicken, but there is still limited knowledge about how its immune system works," says Schusser. To develop good vaccines, biologists and veterinarians must better understand the chicken's immunological defense mechanisms. Professor Dr. Schusser has been dealing with this topic for some time now. During a research period in California, he made a breakthrough, becoming the first scientist in the world to develop a technology that can selectively deactivate individual genes in a bird. "This enabled us to switch off the development of so-called B cells," says Schusser. These cells play a central role in the immune system because they produce antibodies, which in turn make pathogens harmless. "We are now investigating in detail how the absence of these important B cells affects these animals," he explains.

Today, back in Germany, Schusser and his team are also working on genetically modified chickens and are using the latest biotechnological tools such as the CRISPR/Cas9 gene scissors, to better understand disease control for these birds. Worldwide, a multitude of pathogens threatens the health of billions of chickens. "With our research, we are creating the basis for better vaccines and targeted therapies," says Schusser. Given the great demand for poultry, such progress is urgently needed. "Globally, poultry products are number

one in terms of animal protein in human nutrition." Thus, Schusser's research is also of enormous economic importance.

WIE HÜHNER KRANKHEITEN ABWEHREN · Benjamin Schusser, Professor für Biotechnologie der Reproduktion, untersucht das Immunsystem von Hühnern. So will er Geflügelkrankheiten rechtzeitig vorbeugen und somit entscheidend zur Tiergesundheit beitragen.

Eine Vielzahl von Krankheiten bedrohen die Geflügelbestände weltweit. Erreger wie Salmonellen oder die Vogelgrippe können sowohl Hühner als auch Menschen befallen. Sie stellen somit eine Gefahr für die menschliche Gesundheit dar und beeinträchtigen weiterhin die Tiergesundheit entscheidend. Optimierte Impfstoffe helfen, die Tiere gesund zu halten. „Kaum eine Spezies wird so oft geimpft wie das Haushuhn und dennoch ist wenig darüber bekannt, wie dessen Immunsystem funktioniert“, sagt Schusser. Um gute Impfstoffe entwickeln zu können, müssen Biologen und Tiermediziner die körpereigenen Abwehrmechanismen der Hühner besser verstehen lernen.

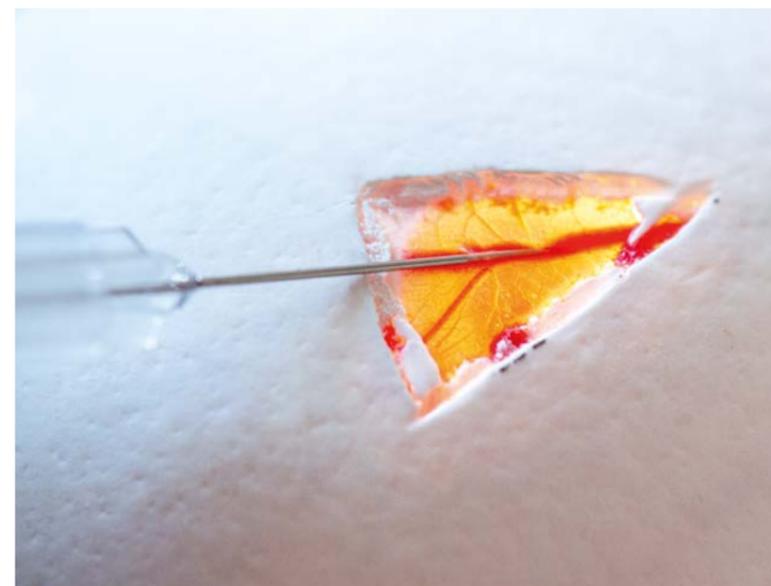
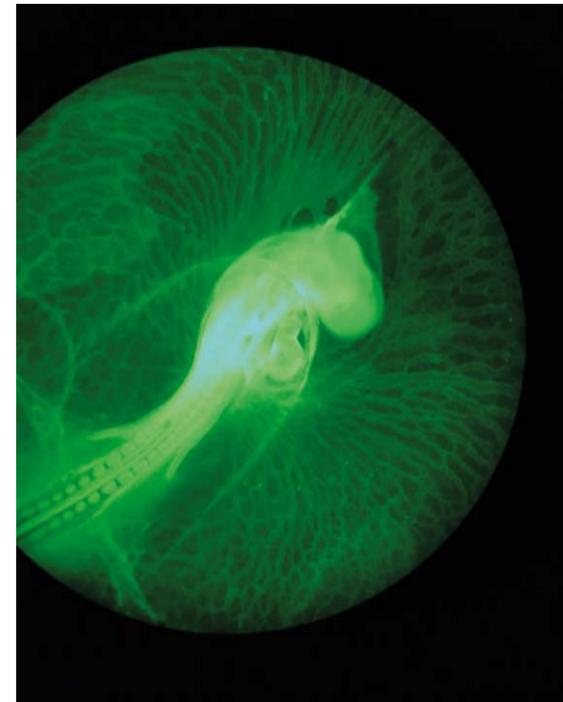
Schon seit einiger Zeit befasst sich der Veterinärmediziner mit diesem Thema. Während seiner Forschungszeit in Kalifornien gelang ihm ein Durchbruch: Als erster Wissenschaftler weltweit entwickelte er eine Technologie, mit der sich bei einem Vogel einzelne Gene gezielt deaktivieren lassen. „So konnten wir die Entwicklung der sogenannten B-Zellen ausschalten“, sagt Schusser. Diese spielen bei der Immunabwehr eine zentrale Rolle, weil sie Antikörper produzieren, die wiederum Krankheitserreger unschädlich machen. „Wir untersuchen jetzt, wie sich das Fehlen dieser wichtigen B-Zellen im Detail auswirkt“, erklärt er.

Zurück in Deutschland arbeitet Schusser mit seinem Team auch an gentechnisch veränderten Hühnern und nutzt neueste

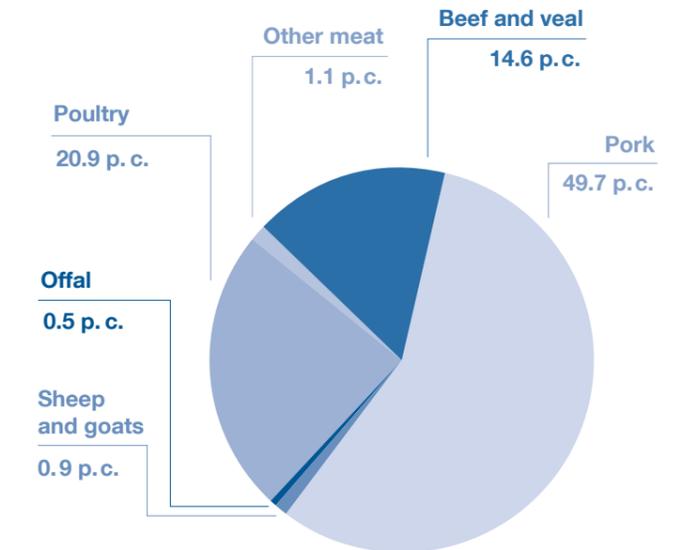
biotechnologische Werkzeuge wie die Genschere CRISPR/Cas9, um die Krankheitsabwehr der Vögel besser zu verstehen. Weltweit bedroht eine Vielzahl an Pathogenen die Gesundheit von Milliarden Hühnern. „Mit unserer Forschung schaffen wir die Basis für bessere Impfstoffe und gezielte Therapien“, sagt Schusser. Angesichts der großen Nachfrage nach Geflügel sind solche Fortschritte dringend nötig: „In Bezug auf tierisches Protein in der menschlichen Ernährung sind Geflügelprodukte global betrachtet die Nummer eins.“

Schussers Forschung kommt so eine enorme wirtschaftliche Bedeutung zu. ✖

Biotechnological tools: With the availability of chicken primordial germ cell cultures it became possible to generate genetically modified chickens. Here chicken embryos are shown with ubiquitous expression of green fluorescent protein (upper photo), which can now be used for adoptive transfer studies *in ovo* (lower photo) and *in vivo* (upper right photo) to dissect the avian immune response towards pathogens. Green fluorescent cells from transgenic birds are transplanted into non-fluorescent embryos (lower right photo). Biotechnologische Methoden: Mit der Verfügbarkeit einer Technologie zur Kultivierung von primordialen Keimzellen des Huhns wurde es möglich, genetisch modifizierte Hühner zu generieren. Der hier gezeigte Hühnerembryo exprimiert ubiquitär ein grün fluoreszierendes Protein (oberes Foto). Zellen dieses Embryos können nun für adoptive Transferexperimente im Ei (unteres Foto) und Tier (Foto oben rechts) genutzt werden, um die aviäre Immunantwort gegenüber Pathogenen zu untersuchen. Grün fluoreszierende Zellen des transgenen Vogels werden in nicht fluoreszierende Embryonen übertragen (Foto unten rechts).



Meat consumption per capita in Germany



Total: 87.8 kgs
Insgesamt: 87,8 kg

Rind- und Kalbfleisch 14,6 kg (pro Kopf)
Schweinefleisch 49,7 kg
Schaf- und Ziegenfleisch 0,9 kg
Innereien 0,5 kg
Geflügelfleisch 20,9 kg
Sonstiges Fleisch 1,1 kg

Source: Federal Statistical Office, preliminary figures for 2017





Interview



Preparing wood for new challenges

Professor Klaus Richter, Chair of Wood Science, explains future directions in wood research. HOLZ FIT MACHEN FÜR NEUE ANFORDERUNGEN · Professor Klaus Richter vom Lehrstuhl für Holzwissenschaft erklärt, wohin die Holzforschung der Zukunft steuert.

What fascinates you about wood as a raw material? Was fasziniert Sie am Rohstoff Holz?

Wood is created from a natural, photoautotrophic process. In addition, wood contributes to climate protection since it is capable of storing biogenic carbon for the long term. And wood is multifunctional: Aside from its established uses, industry increasingly uses wood residues to replace materials such as petrochemical polymers. Holz entsteht durch einen natürlichen, photoautotrophen Prozess. Zudem trägt Holz insbesondere bei seiner stofflichen Verwendung zum Klimaschutz bei, da es biogenen Kohlenstoff langfristig speichert. Und es ist multifunktional: Neben etablierten Einsatzformen nutzt die Industrie Holzreststoffe zunehmend, um Werkstoffe wie petrochemische Polymere zu ersetzen.

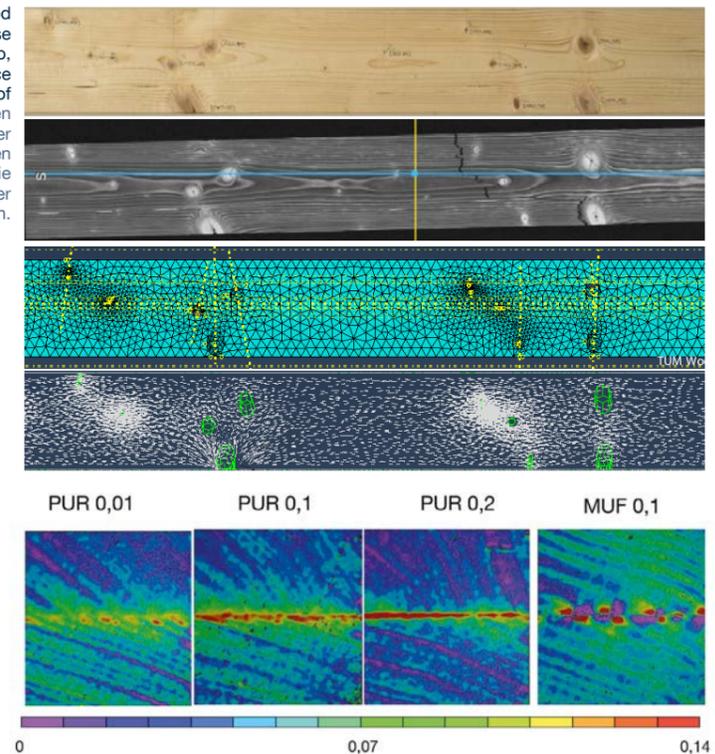
What is the focus of your research? Was ist der Fokus Ihrer Forschung?

We want to use wood more efficiently and optimize it for new applications. Climate change is having a significant impact on the composition of our forests. Hardwoods, in particular, are increasingly being used. In order to use them with added value, we need to know and coordinate the interactions between wood properties and process technologies. While doing this research, we are looking for low emission methods and responsible technologies to refine this material in order to be able to use it reliably and permanently. Wir wollen Holz effizienter nutzen und für neue Anwendungen optimieren. Der Klimawandel hat deutliche Auswirkungen auf die Baumarten-Zusammensetzung unserer Wälder. Insbesondere Laubbölder stehen vermehrt zur Nutzung an. Um sie wertschöpfend verwenden zu können, müssen die Wechselwirkungen zwischen Holzeigenschaften und Prozesstechnologien bekannt und abgestimmt sein. Dabei suchen wir nach Verfahren, um das Naturmaterial schadstoffarm und mit verantwortbaren Technologien zu veredeln – um es zuverlässig und dauerhaft verwenden zu können.

So far, which approaches have been successful in achieving this? Mit welchem Ansatz gelingt Ihnen das?

A central process of the wood industry, for example, is adhesion. This approach will gain importance in the future because it is relevant for the implementation of cascading, a method for increasing resource efficiency in the use of wood. Cascading is an approach that uses one wood material in successive products. For good bonding durability, there must be compatibility between the physicochemistry of the wood-forming polymers and the crosslinking adhesive polymers. To optimize our methods and understanding, we combine spectrographic, microscopic and physical research methods. Ein zentraler Prozess der Holzindustrie ist beispielsweise die Verklebung. Sie wird in Zukunft weiter an Bedeutung gewinnen, auch um die Kaskadennutzung umzusetzen, bei der das Material in verschiedenen Produkten nacheinander zum Einsatz kommt, wodurch die Ressourceneffizienz der Holznutzung steigt. Für eine gute Beständigkeit der Klebverbunde muss die Physikochemie der holzbildenden Polymere und der vernetzenden Klebstoffpolymere kompatibel sein. Wir kombinieren spektroskopische, mikroskopische und physikalische Methoden, um die Systeme besser verstehen und optimieren zu können.

Virtual lumber grading (upper photo, softwood lamella) and understanding of the interphase conditions of bonded assemblies (lower photo, hardwood assembly) are developed to enhance the economic and technological efficiency of wood product usage. Virtuelle Sortierverfahren (oben, Nadelholzlamelle) und das Verständnis der Interphasenzustände entlang von Holzklebfugen (unten, Laubholzklebung) werden entwickelt, um die ökonomische und technologische Effizienz der Holzverwendung zu verbessern.



1 ton

One cubic meter of wood stores about one ton of carbon dioxide. This is because trees extract carbon dioxide from the air. Wood products are therefore carbon stores and relieve the atmosphere. In einem Kubikmeter Holz ist umgerechnet etwa eine Tonne Kohlenstoffdioxid gespeichert. Denn Bäume entziehen der Luft Kohlenstoffdioxid. Holzprodukte sind also Kohlenstoffspeicher und entlasten die Atmosphäre.

How does your research benefit wood as a material? Wie profitiert Holz als Werkstoff von Ihrer Forschung?

Through material science research, we strive to develop utilizable properties from the biogenic qualities of wood in order to enhance efficiency in wood products. Particularly in recent years, technological and economic innovations surrounding glued softwood products have significantly advanced structural building. Species-rich hardwoods offer many opportunities. They also pose challenges because they are more complex than softwoods. In our material flow research, we study the role of wood in the bioeconomy, especially in regard to the circular economy: How efficient are renewable raw materials compared to finite ones? We are developing models to map the role of recycling wood products in the environment. Durch die materialwissenschaftliche Forschung streben wir an, die Nutzungseigenschaften der biogenen Ressource Holz für die stofflichen Anwendungen so zu entwickeln, dass Holzprodukte leistungsfähiger werden. Insbesondere die technologischen und wirtschaftlichen Innovationen rund um die verklebten Nadelholzprodukte haben das strukturelle Bauen in den letzten Jahren entscheidend vorangebracht. Die vermehrt auftretenden artenreichen Laubbölder bieten uns viele Chancen. Sie stellen uns aber auch vor Herausforderungen, da sie komplexer aufgebaut sind als Nadelbölder. In unserer Stoffstromforschung untersuchen wir die Rolle des Holzes in der Bioökonomie, insbesondere im Hinblick auf die Kreislaufwirtschaft. Wie sind erneuerbare Rohstoffe im Vergleich zu endlichen zu werten? Wir arbeiten an Modellen, um die Rolle von Holzprodukten für die Umwelt bei der Kreislaufführung abzubilden.



Advanced materials for food

From the mill, to kneading, to the oven: Food technologists from the Chair of Brewing and Beverage Technology are looking closely at the entire industrial process to improve the quality of gluten-free bread and other baked goods. People with celiac disease will particularly benefit from these efforts. NEUE ROHSTOFFKONZEPTE FÜR LEBENSMITTEL · Von der Mühle über die Knetmaschine bis hinein in den Backofen: Lebensmitteltechnologe vom Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie nehmen den gesamten industriellen Prozess unter die Lupe, um die Qualität glutenfreier Brote und anderer Backwaren zu verbessern. Vor allem Menschen mit Zöliakie werden davon profitieren.

Taste in numbers: Using a laser volumeter, Dr. Mario Jekle measures the shape, volume and density of the breads. The number and size of the pores in the crumb determines the taste experience. Geschmack in Zahlen: Am Laservolumeter misst Dr. Mario Jekle die Form, das Volumen und die Dichte der Brote. Die Anzahl und Größe der Poren in der Krume entscheidet über das Geschmackserlebnis.



Food from a material science point of view: In contrast to a chef who usually works from a recipe, industrial food production operates via a fundamental mechanistic understanding of the properties of the desired final product. Here, material science aspects are essential; and involves the recombination of processes that utilize a reverse-engineering approach. This is akin to the personalization of nutrition, the use of food-grade raw materials or new production technologies; and is the food science of the future.

Gluten-free baked goods are a classic example, where people with celiac disease will particularly benefit. After the first bite, the crust cracks, the interior pore structure is even, and the texture is elastic like a sponge; then the bread is perfect. "You can already tell the quality of the bread by a gentle squeeze" says Dr. Mario Jekle, Food Technologist and Head of the Cereal Technology and Process Engineering Group at the Chair of Brewing and Beverage Technology. If the bread is very compact and hard, it is likely lacking the essential element of gluten.

Food technologists ensure adequate baking results

Gluten, also referred to as gluten protein, is a unique mixture of proteins that, according to Jekle, are responsible for the familiar dough structure currently known to consumers. "The proteins polymerize to form a dense, multi-dimensional protein network similar to a fishing net," says Jekle. This network is primarily responsible for the appearance of our commercial baked goods that is appreciated and enjoyed by consumers.

Gluten, however, can also cause disease: Increasingly more people are being diagnosed with celiac disease or are hypersensitive to the consumption of conventional cereal foodstuffs. In the long term, celiac disease leads to inflammation of the small intestine and the development of pathological symptoms. The cause is partly genetic and results from a hypersensitivity of the intestinal mucosa to gluten. As gluten is present in many cereal grains, it also thus occurs in a range of baked goods; for example, in all wheat,



Dough under examination: Doctoral student Christoph Paczkowski measures gas retention capacity, the stability of gluten-free dough, in the biophysics laboratory. Teig im Test: Doktorand Christoph Paczkowski misst im Biophysiklabor die Gashaltetfähigkeit, also die Stabilität glutenfreier Teige.

”

**Gluten is crucial to the elasticity of dough.
Gluten ist für die Elastizität von Teigen ausschlaggebend.**

Dr. Mario Jekle, Food Technologist and head of the Cereal Technology and Process Engineering Research Group

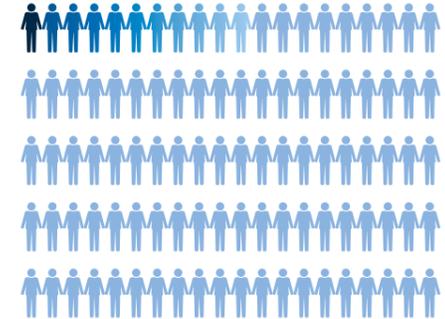
Lebensmittel aus materialwissenschaftlicher Sicht: Im Gegensatz zu einem Koch, der nach Rezepten arbeitet, findet die Lebensmittelproduktion aus einem grundlegenden mechanistischen Verständnis heraus gezielt auf die gewünschten Produkteigenschaften hin statt. Dabei werden die materialwissenschaftlichen Aspekte miteinbezogen. Das betrifft die Rekombination in einem reverse engineering Ansatz in gleicher Weise wie die Personalisierung der Ernährung, den Einsatz lebensmittelferner Rohmaterialien oder neuer Produktionstechnologien. Das ist die Lebensmittel-forschung der Zukunft.

Glutenfreie Backwaren sind ein Beispiel – vor allem Menschen mit Zöliakie werden davon profitieren. Ein Biss, die Kruste kracht, das Porenbild des Inneren ist gleichmäßig und die Krume ist elastisch wie ein Schwamm, dann ist alles in bester Ordnung. „Das merkt man schon beim Zusammendrücken“, sagt Dr. Mario Jekle, Lebensmitteltechnologe und Leiter

der Arbeitsgruppe Getreidetechnologie und -verfahrenstechnik des Lehrstuhls für Brau- und Getränketechnologie. Ist die Semmel jedoch sehr kompakt und hart, fehlt womöglich ein wesentliches Element: Gluten.

Gluten, oft auch Klebereiweiß genannt, ist ein einzigartiges Stoffgemisch aus Proteinen und laut Jekle verantwortlich für die Teigstruktur, wie sie die Verbraucher momentan kennen. „Die darin enthaltenen Proteinfractionen polymerisieren und bilden ein dichtes, mehrdimensionales Proteinnetzwerk ähnlich einem Fischernetz“, beschreibt Jekle. Dieses Netzwerk ist hauptverantwortlich für das Erscheinungsbild unserer handelsüblichen Backwaren, wie sie die Konsumenten schätzen.

Allerdings kann Gluten auch eine Erkrankung auslösen: Immer mehr Menschen erhalten die Diagnose Zöliakie oder reagieren überempfindlich beim Verzehr von konventionellen Getreidelebens-



About one percent of the total population in Europe and North America is diagnosed with celiac disease. Another 2–10% suffer from gluten sensitivity. While the disease can appear at any age, women are affected more frequently than men. Etwa ein Prozent der Gesamtbevölkerung in Europa und Nordamerika erhält die Diagnose Zöliakie. Dazu kommen zwei bis zehn Prozent Menschen mit Glutensensitivität. Die Krankheit kann in jedem Alter auftreten. Frauen sind häufiger betroffen als Männer.

Source: ECARF

mitteln. Auf Dauer führt die Zöliakie zu einer Entzündung des Dünndarms mit einem pathologischen Beschwerdebild. Ursache ist eine – zum Teil genetisch veranlagte – Überempfindlichkeit der Darmschleimhaut gegenüber Gluten, das in vielen Getreidearten und damit auch in fast allen Backwaren vorkommt, beispielsweise in allen Weizen-, Dinkel- und Roggenprodukten. Etwa ein Prozent der Bevölkerung kann aus gesundheitlichen Gründen kein Gluten essen, zwei bis zehn Prozent sind zumindest gluten-sensitiv und stellen daher ihre Ernährung komplett um. „Es gibt aber auch einen Trend, sich ohne Krankheitsbild bewusst glutenfrei zu ernähren“, hat Jekle beobachtet. Weil Gluten aus materialwissenschaftlicher Sicht jedoch so extrem wichtig ist, kann es nicht einfach weggelassen werden. Die Backergebnisse wären nicht so, wie der Verbraucher sie erwartet.

Und genau an diesem Punkt setzen die Wissenschaftler an:



Baking for research: After the gluten-free dough has been mixed and kneaded under varying conditions such as positive or negative pressure and different gas atmospheres, it is poured into baking tins and baked in the oven. Backen für die Forschung: Nachdem die glutenfreien Teige unter wechselnden Bedingungen wie Über- oder Unterdruck sowie unterschiedlichen Gasatmosphären gemischt und geknetet wurden, werden sie in Backformen gefüllt und im Ofen gebacken.

spelt and rye products. About one percent of the population cannot tolerate gluten in the diet at all, and two to ten percent are gluten-sensitive and therefore opt to completely revert to a gluten-free diet. "But there is also a trend to consciously consume gluten-free food even without any disease indication," Jekle has observed. From a material science point of view, however, gluten is so extremely important and cannot simply be excluded. The quality of the baked goods would be far from what is expected and demanded by consumers. And this is exactly where the involvement of scientists begins: "As basic researchers, we have set ourselves the goal of understanding the basic mechanistic relationships governed by gluten throughout the entire production process. This includes from the flour mill to the kneading of the dough, the fermentation process and all the way to the oven." In collaboration with industrial companies, the latest findings are implemented, the products transferred to the bakeries and then directly to the consumers. "Product quality does not only mean volume and porosity, but also taste, longevity, freshness and nutritional aspects," explains Jekle.

Examining the entire production process

"It's exactly this approach of applying what you have learnt that's so exciting," says Christoph Paczkowski, a Ph.D. student in Jekle's team. Following his apprenticeship and a master's degree in food technology, the trained chef wanted to understand in detail exactly what is occurring during dough preparation and not only describe these processes. "So far, the flour in gluten-free baked products comes from plants such as quinoa, buckwheat, corn, rice or flaxseed," explains Jekle. Depending on the raw material, additional processing may be required. With rice, for example, the outer layer is removed before milling. Similarly, pseudo-cereals such as quinoa and amaranth must be briefly steamed to remove bitter substances. Jekle's team has investigated which milling fractions are ideal for gluten-free products. Another goal of the scientists is to introduce more water into the dough. "Not with

„Als Grundlagenforscher haben wir uns zum Ziel gesetzt, entlang des gesamten Produktionsprozesses die mechanistischen grundlegenden Zusammenhänge, die vom Gluten bestimmt werden, zu verstehen – angefangen bei der Getreidemühle über das Kneten und den Gärprozess des Teiges bis hinein in den Backofen.“ Im Dialog mit Industrieunternehmen gelangen die neuesten Erkenntnisse dann auch in die Backregale und direkt zu den Verbrauchern. „Produktqualität heißt dabei nicht nur Volumen und das Gasporenbild, sondern etwa auch Geschmack, Haltbarkeit, Frische und ernährungsphysiologische Aspekte“, erklärt Jekle.

„Genau diesen Ansatz, nur das anzuwenden, was man versteht, finde ich so spannend“, sagt Christoph Paczkowski, Doktorand in Jekles Team. Der gelernte Koch wollte nach seiner Lehre und einem Master in Lebensmitteltechnologie einfach detailliert verstehen, was genau bei der Teigherstellung passiert und diese Vorgänge nicht nur beschreiben. „Das Mehl bei glutenfreien Backwaren stammt bisher aus Pflanzenarten wie Quinoa, Buchweizen, Mais, Reis oder Leinsamen“, erklärt Jekle. Je nach Rohstoff ist dann zum Teil auch eine andere Verarbeitung gefordert. Bei Reis etwa schleifen die Mühlen vor der Vermahlung nur die äußere Schicht ab, Pseudogetreidearten wie Quinoa und Amaranth müssen kurz gedämpft werden, um Bitterstoffe aus-

zuwaschen. Jekles Team hat untersucht, welche Mahlfractionen sich am besten für glutenfreie Produkte eignen. Ein weiteres Ziel der Wissenschaftler ist es, noch mehr Wasser in den Teig zu bringen – „nicht mit Zusatzstoffen wie Hydrokolloiden, sondern mit dem Verfahren der sogenannten forcierten Hydratation“, erklärt Jekle. Dabei wird Wasser mit Hochdruck auf das Mehl geschossen. Der Vorteil: Je mehr Wasser im Teig ist, desto saftiger und länger frisch ist das Brot.

Den gesamten Produktionsprozess unter die Lupe nehmen

Auch beim Kneten glutenfreier Teige haben die Wissenschaftler variiert: „Wir haben zum Beispiel Knetaufsätze mit einer speziellen Form verwendet und dadurch deutliche Unterschiede in der Teigdicke und im Volumen erzielt“, sagt Jekle. „Wenn das Kneten unter Überdruck erfolgt, erhöht sich der Gasanteil im Teig“, erklärt Paczkowski, „und wenn anschließend noch ein Vakuum angelegt wird, dehnen sich die Gasblasen aus und können auf diese Weise noch feiner zerkleinert werden.“ Alles zusammen ergibt eine gleichmäßige, feinporige Krume – und das ohne Gluten.

Während der anschließenden Gärphase produziert die im Teig enthaltene Hefe Kohlenstoffdioxid. Dieses geht zunächst in den flüssigen Teig über, wird aber wieder gasförmig, wenn es eine der während des Knetens eingebrachten Gasblasen erreicht. Auf diese Weise wird der Teig in die Höhe getrieben. Seine Ergebnisse diskutiert Paczkowski gern auch mit den Kollegen aus der Getränketechnologie und dem Brauereiwesen. Denn auch sie arbeiten (mit Ausnahme von Hopfen) mit den identischen Rohmaterialien und nutzen die gleichen Reaktionsschemen, nur mit mehr Wasser und höheren Reaktionsausbeuten. Hier bauen die Enzyme die Getreidepolymere nahezu vollständig ab, bei Brot nur sehr partiell. Das von den Hefen produzierte Kohlenstoffdioxid ist bei Bier für die Rezenz und den Schaum verantwortlich, im Gegensatz zur Backwarenproduktion erfolgt ein vollständiger Abbau des Zuckers durch die Hefen. „Da gibt es doch mehr Überschneidungen als man denkt“ sagt Professor Thomas Becker, Leiter des Lehrstuhls für Brau- und Getränketechnologie.

Details der Teigstruktur und -textur ermitteln die Wissenschaftler mithilfe eines Computertomographen oder eines konfokalen Lasermikroskops, indem sie die Verteilung und Größen sowie das Wachstum der Poren messen und analysieren, welche Substanzfraktion dafür verantwortlich ist. „Genau diese Struktur wollen wir dann beim Backen erhalten“,

Gluten-free cereals





The trend towards gluten-free foods

■ US dollars global turnover



Gluten-free food is becoming increasingly popular. Worldwide, the demand for – and thus the supply of – gluten-free food will continue to rise. Trend zu glutenfreien Lebensmitteln: Glutenfreie Lebensmittel werden immer beliebter. Weltweit wird die Nachfrage – und damit auch das Angebot an glutenfreier Nahrung weiter steigen.

Source: Transparency Market Research



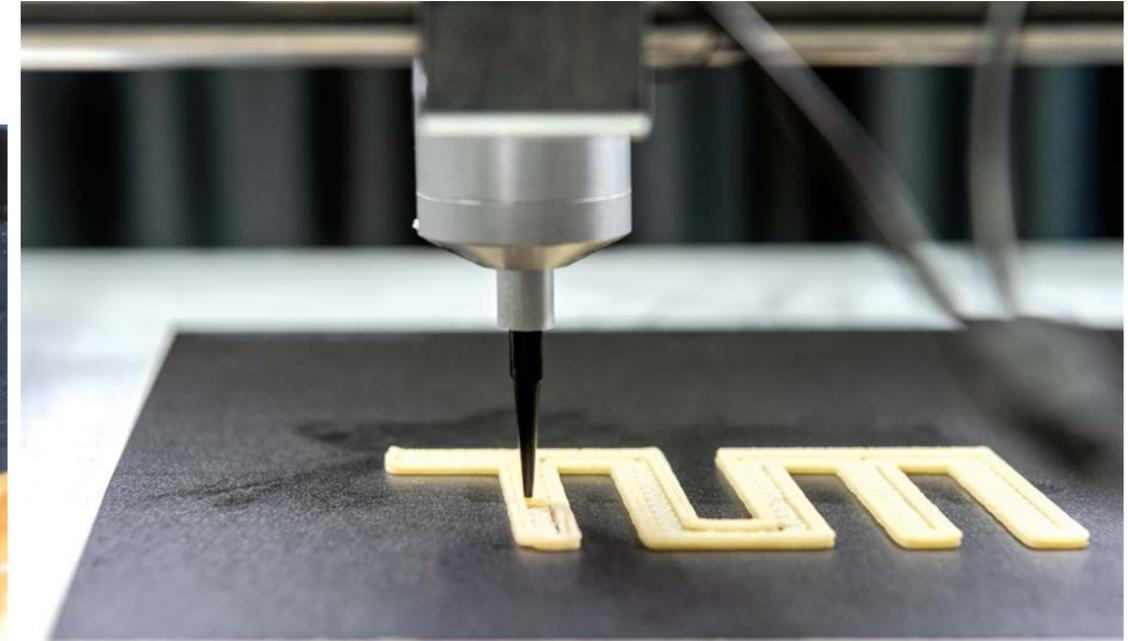
Crunching crusts: The appearance and the first bite decide whether the consumer likes the gluten-free bread at the end. Krachende Krusten: Nicht nur die Optik, sondern auch der erste Biss entscheidet, ob dem Verbraucher das glutenfreie Brot am Ende schmeckt.

additives such as hydrocolloids, but with the process of so-called forced hydration,” explains Jekle. Here, water is shot with high pressure at the flour. The advantage is that there is a higher content of water in the dough, and thus the bread remains moister and fresher for longer.

The scientists also adapted how gluten-free dough is kneaded. “For example, we used attachments with a special shape and thus achieved significant differences in dough density and volume,” says Jekle. “If the kneading is done under high pressure, the gas content in the dough increases,” explains Paczkowski, “and if a vacuum is subsequently applied, the gas bubbles expand and can then be further disintegrated into smaller bubbles.” Ultimately, this results in a uniform, fine-pored texture; and all without gluten!

During the subsequent fermentation phase, the yeast in the dough produces

carbon dioxide. Initially, the gas dissolves into the liquid components of the dough. When encountering an air bubble introduced during kneading, the carbon dioxide becomes gaseous again; and the dough expands. Paczkowski also enjoys discussing his findings with colleagues from the beverage and brewing field. Excluding hops, these scientists work with identical raw materials and use the same reaction schemes. The only differences are that more water is used, and the reaction yields are higher. Here the enzymes degrade the grain polymers almost completely; whereas with bread, the process is only partial. The carbon dioxide produced by the yeast is responsible for both the beer and the foam head. Here the sugar is completely degraded by the yeast – in contrast to baked products. “There is more overlap than you think,” says Professor Thomas Becker, head of the Chair for Brewing and Beverage Technology.

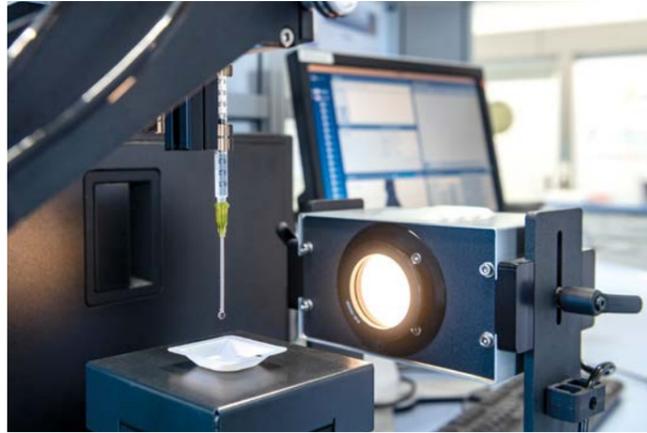


Gluten-free in high-tech: A 3D food printer prints the TUM logo from gluten-free ingredients. Parallel image processing evaluates the print image. Glutenfrei in Hightech: Ein 3D-Drucker für Lebensmittel druckt das Logo der TUM aus glutenfreien Rohstoffen. Eine parallele Bildverarbeitung bewertet das Druckbild.

sagt Jekle. Die Hitze im Backofen verändert das Teigsystem jedoch extrem: Die Viskosität – also die Fließeigenschaft des Teiges – nimmt zunächst leicht ab, die Gasblasen dehnen sich aus, ehe die (Gluten-)Proteine gerinnen und verfestigen. Final verkleistert die Stärke und die Gasblasen werden fixiert. Am Ende ist der Teig zur Krume umgewandelt und hat eine braune Kruste. Bei klassischen Backwaren wie etwa Weizenbrötchen spielt Gluten dabei eine entscheidende Rolle, man kann es nicht einfach weglassen. Man muss die Rolle dieser Proteine genau kennen, um sie entweder durch andere Rohstoffe oder Prozesstechnologien zu ersetzen.

„Um solche Ergebnisse zu erhalten, müssen wir die einzelnen Schritte im Backprozess detailliert analysieren“,

erklärt Jekle. „So erhalten wir Hinweise, wie sich der Prozess besser an den Brotteig anpassen lässt oder durch welche funktionellen Eigenschaften anderer Rohware diese erreicht werden können.“ Im nächsten Schritt wollen die Grundlagenforscher aus diesem materialwissenschaftlichen Verständnis heraus gänzlich neue Wege gehen, wie sie das glutenfreie Material besser texturieren und vernetzen können. Dies soll mittels eines 3D-Druckers erreicht werden, bei dem ein Grundgerüst gedruckt wird, das dann mit funktionellen, sensorisch akzeptierten und ernährungsphysiologisch wertigen Inhaltsstoffen besiedelt wird. So löst man sich komplett vom Backprozess. Gleiche Wege werden übrigens bei der Produktion künstlicher Organe wie Herz oder Niere gegangen.



To determine details of the dough structure and texture, the researchers use computer tomography or confocal laser microscopy. The distribution, size, and expansion of the pores can be measured, and the components that are responsible for these properties are analyzed. "That's exactly what we want to preserve when baking," says Jekle. The heat of the oven, however, has profound effects on the dough. The consistency of the dough initially decreases slightly, the gas bubbles expand before the (gluten) proteins coagulate and solidify. The gelatinized proteins provide strength and the gas bubbles become fixed within the bread structure. Finally, the dough is transformed into a loaf of bread with a brown crust. Gluten plays a crucial role in classical bakery products such as wheat bread; and subsequently, gluten cannot simply be excluded. It is important to know the role of these proteins to either replace with other raw materials or to re-design process technologies.

"To obtain such results, we need to analyze the individual steps in the baking process in detail," explains Jekle. "In this way, we receive information on how the process can be adapted to the bread dough or which functional properties of other raw materials can be used to achieve this." Based on this understanding of material science, researchers want to apply completely new methods to determine ways of producing improved protein network structure and texture with

gluten-free material. This will be achieved with 3D printing; whereby a basic framework is printed and then complemented with functional, sensory-acceptable and nutritionally-valuable ingredients. Such innovations will enable a complete break away from standard baking processes. As an aside, the same approach is being implemented in the production of artificial organs such as the heart or kidneys. This example shows a new paradigm in food production of the future, and only in this way can the challenges of the future be solved: It is expected that within 10 years there will be not only malnourished people, but also billions of overweight people. There must be sufficient food for everyone. Particularly as the global population continues to expand and eating habits change, thereby increasingly burdening land resources. This concept of novel food design cannot be achieved by a single research group and is not only applicable to cereal-based foods. Tissue and cell-based food are becoming increasingly important. In particular, meat substitutes; because meat products are one of the main drivers of resource depletion. An interdisciplinary mindset that incorporates food chemists, material scientists, nutritionists and computer scientists must be pursued to alleviate the global challenges of our one-health vision. It is our global obligation to provide all people with high-quality, healthy and, above all, enough food. Food must remain both an experience and a fundamental right for the future. ✖



Food in the laboratory: The scientists take samples throughout the entire production process and investigate various properties of gluten-free materials such as their surface tension (left picture) or their strength and elasticity. Lebensmittel im Labor: Die Wissenschaftler nehmen Proben über den gesamten Produktionsprozess hinweg und untersuchen verschiedene Eigenschaften glutenfreier Materialien wie deren Oberflächenspannung (linkes Bild) oder deren Festigkeit und Elastizität.

An diesem Beispiel sieht man, wie die Lebensmittelproduktion der Zukunft gedacht werden muss. Nur auf diese Weise können die Herausforderungen der Zukunft gelöst werden: So rechnet man in 10 Jahren mit mehreren Milliarden Übergewichtigen, aber auch Unterversorgten. Die Lebensmittel müssen für alle reichen und das bei zunehmender Weltbevölkerung und sich ändernden Ernährungsgewohnheiten, was die Landressourcen zunehmend belastet. Dieses Denken in einem neuartigen Lebensmittel-design kann nicht von einer Arbeitsgruppe alleine erreicht werden und ist zudem nicht nur für getreidebasierte Lebensmittel gültig. Mehr und mehr rücken auch gewebe- und zellbasierte Lebensmittel in den Blickpunkt, zum Teil als Fleischersatzprodukte, da Fleischprodukte als einer der Haupttreiber der Ressourcenverknappung gesehen werden können. Es muss ein interdisziplinärer Ansatz mit Lebensmittelchemikern, Materialwissenschaftlern, Ernährungswissenschaftlern und auch Informatikern zur Datenanalyse verfolgt werden, um die globalen Herausforderungen im Sinne unserer One-Health-Vision zu schultern. Es ist unsere globale Verpflichtung, alle Menschen mit qualitativ hochwertigen, gesunden und vor allem ausreichenden Mengen Nahrung zu versorgen. Essen soll auch künftig ein Erlebnis bleiben, auf das jeder ein Recht hat. ✖



The importance of the microbiome in the large intestine

The intestine is the central communication organ between the environment and the human metabolism and immune system and thus it assumes an important control function. Within the intestine, the microbiome – an ecosystem consisting mainly of bacteria, but also yeasts, fungi and viruses – plays a major role in this task. More than one hundred billion bacteria live in the large intestine alone. These bacteria can make a decisive contribution towards keeping people healthy. However, it is also known that the microbial ecosystem plays an important role in the development of chronic inflammatory intestinal diseases such as Crohn's disease and ulcerative colitis, although the exact scientific connections are still largely unclear. Professor Dirk Haller from the Chair of Nutrition and Immunology has found another important insight: The microbiome in the large intestine can even cause cancer, provided the intestinal cells are subject to cellular stress. "So far, the hypothesis has been that chronic activation of cell stress in the intestine leads to the development of inflammatory reactions," explains Haller. "Yet, our data show that cell stress can lead to the development of cancer in the colon independently of inflammatory processes." However, this development requires microbes.

The scientists worked on a mouse model with increased cell stress triggered by a regulatory protein, the transcription factor ATF6. As long as the mice were sterile, that is without bacteria in the intestine, the intestinal mucosa of the animals did not change with cell stress. However, as soon as the scientists transplanted microorganisms into their intestines, the mice developed colon cancer. "This proved that it is not cell stress alone that leads to tumor growth, but rather the combination of bacteria and stress factors," explains Haller.

The transcription factor ATF6 could also serve as a diagnostic marker for an increased risk of colon cancer in humans. Data from approximately 500 patients with colorectal cancer have shown that the relapse rate after surgery increased in patients with elevated ATF6. "But before

we can develop a microbial therapy, we first have to understand how this works mechanistically," says Haller. These findings will later be used to derive important preventive measures.

BEDEUTUNG DES MIKROBIOMS IM DICKDARM · Der Darm ist das zentrale Kommunikationsorgan zwischen Umwelt, Stoffwechsel und Immunsystem und übernimmt somit eine wichtige Steuerungsfunktion. Großen Anteil daran hat das Mikrobiom, ein Ökosystem aus überwiegend Bakterien, aber auch Hefen, Pilzen und Viren. Allein im Dickdarm leben mehr als hundert Milliarden Bakterien. Diese können entscheidend dazu beitragen, dass ein Mensch gesund bleibt. Bekannt ist aber auch, dass das mikrobielle Ökosystem eine wichtige Rolle bei der Entstehung chronisch entzündlicher Darmerkrankungen wie Morbus Crohn und Colitis ulcerosa spielt, wengleich die exakten wissenschaftlichen Zusammenhänge noch weitestgehend unklar sind. Professor Dirk Haller vom Lehrstuhl für Ernährung und Immunologie hat nun noch eine weitere wichtige Erkenntnis gewonnen: Das Mikrobiom im Dickdarm kann sogar Krebs verursachen, vorausgesetzt die Darmzellen unterliegen zellulärem Stress. „Bislang galt die These, dass die chronische Aktivierung von Zellstress im Darm zur Entwicklung von Entzündungsreaktionen führt“, erklärt Haller. „Unsere Daten zeigen aber, dass Zellstress unabhängig von Entzündungsprozessen zur Entstehung von Krebs im Dickdarm führen kann.“ Dafür brauche es aber Mikroben.

Die Wissenschaftler arbeiteten an einem Mausmodell mit erhöhtem Zellstress, ausgelöst durch ein regulatorisches Protein, dem Transkriptionsfaktor ATF6. Solange die Mäuse steril, also ohne Bakterien im Darm waren, veränderte sich die Darmschleimhaut der Tiere mit Zellstress nicht. Sobald die Wissenschaftler aber Mikroorganismen in ihren Darm transplantierten, entwickelten die Mäuse Dickdarmkrebs. „Damit war der Beweis erbracht, dass nicht der Zellstress allein zum Tumorwachstum führt,

sondern die Kombination aus Bakterien und Stressfaktoren darüber entscheidet“, erklärt Haller.

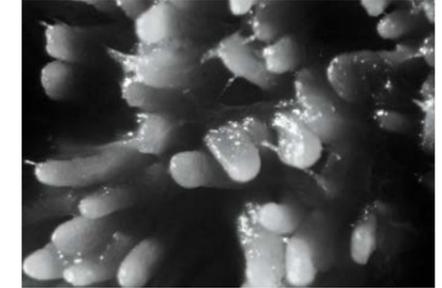
Der Transkriptionsfaktor ATF6 könnte auch für Menschen als diagnostischer Marker für ein erhöhtes Dickdarmkrebsrisiko dienen. Wie die Daten von rund 500 Patienten mit Dickdarmkrebs gezeigt haben, stieg bei Patienten mit erhöhtem ATF6 die Rückfallquote nach einer Operation. „Bevor wir eine mikrobielle Therapie entwickeln, müssen wir aber zunächst verstehen, wie das mechanistisch funktioniert“, sagt Haller. Aus diesen Erkenntnissen ließen sich später auch wichtige Präventionsmaßnahmen ableiten. ■



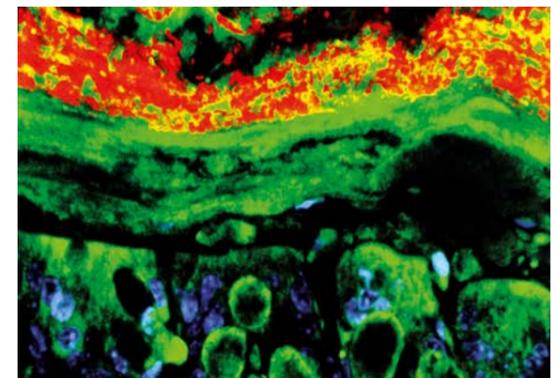
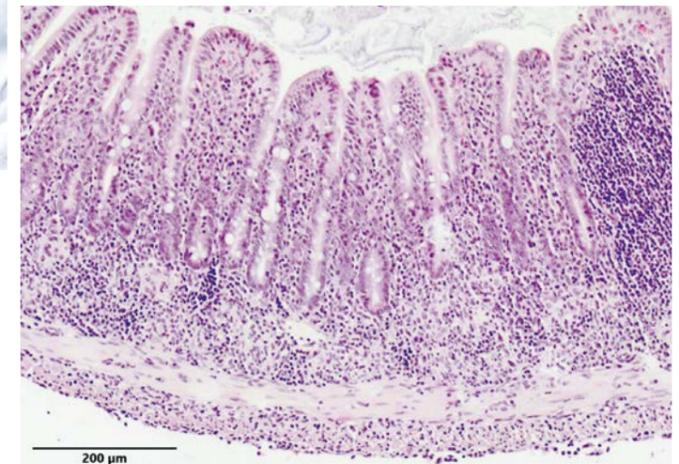
1,500 SPECIES

The microbiome is often referred to as an additional organ within the intestine providing space for a metabolically active microbial ecosystem composed of 1,500 species with 10 million genes. Das Mikrobiom im Darm wird oft als metabolisch aktives Organ bezeichnet, dessen mikrobielle Zusammensetzung 1.500 Arten mit 10 Millionen Genen umfasst.

Source: ECARF



Deep insights: Professor Dirk Haller and his colleagues Sandra Bierwirth (right) and Olivia Coleman (left) are gaining new insights into the development of colon cancer with their research on the microbiome. They examine intestinal mucosa with an endoscope (above) as well as with tissue sections under the light microscope (left and below). In the picture at the very bottom, the microorganisms of the intestinal mucosa are colored red. They are separated from epithelial cells by a mucus barrier (green). Tiefe Einblicke: Prof. Dirk Haller und seine Kolleginnen Sandra Bierwirth (re.) und Olivia Coleman (li.) gewinnen mit ihrer Forschung am Mikrobiom neue Erkenntnisse zur Entstehung von Dickdarmkrebs. Dafür untersuchen sie die Darmschleimhaut mit dem Endoskop (oben) ebenso wie mit Gewebeschnitten unter dem Lichtmikroskop (links und unten). Im Bild ganz unten sind die Mikroben (rot) durch eine Schleimbarriere (grün) von Epithelzellen getrennt.





Interview



Why do we do what we do?

Ilona Grunwald Kadow is Professor of Neuronal Control of Metabolism and investigates how the human brain makes decisions – using the example of smell and taste processing in fruit flies. WARUM TUN WIR, WAS WIR TUN? · Ilona Grunwald Kadow ist Professorin für Neuronale Kontrolle des Metabolismus und untersucht, wie das menschliche Gehirn Entscheidungen trifft – am Beispiel der Geruchs- und Geschmacksverarbeitung von Fruchtfliegen.

A hungry fly will eat less preferable and, at times, even spoiled food. A full one will not. What is the reason? Eine hungrige Fliege frisst auch weniger favorisiertes und manchmal sogar verdorbenes Futter. Eine satte nicht. Woran liegt das?

Food intake decisions are subject to different influences and experience. An internal state such as hunger can indeed lead to a fly ultimately choosing even spoiled food. Full or mildly hungry, it wouldn't have done that. The interesting thing is that these internal states do not only influence how higher cognitive brain areas react to sensory stimuli. Instead, need and metabolism influence a sensory experience at the first step of detection, for example, in the olfactory receptors of the nose. The sensory cells in the nose or tongue thus filter information, before it even becomes available for cognitive decisions. This knowledge can also be transferred to humans. Entscheidungen bei der Nahrungsaufnahme unterliegen unterschiedlichen Einflüssen und Erfahrungen. Ein innerer Zustand wie etwa Hunger kann in der Tat dazu führen, dass sich eine Fliege letztlich sogar für verdorbenes Futter entscheidet. Satt oder nur wenig hungrig hätte sie das nicht getan. Das Interessante ist, dass die Einflussnahme auf die Entscheidung nicht erst in den höheren kognitiven Hirnarealen beginnt, sondern gleich zu Beginn etwa in den Geruchsrezeptoren der Nase. Die Sinneszellen in Nase oder Zunge filtern also Informationen, bevor sie überhaupt für kognitive Entscheidungen zur Verfügung stehen. Dieses Wissen lässt sich auch auf den Menschen übertragen.

How do you investigate such questions? Wie erforschen Sie solche Fragen?

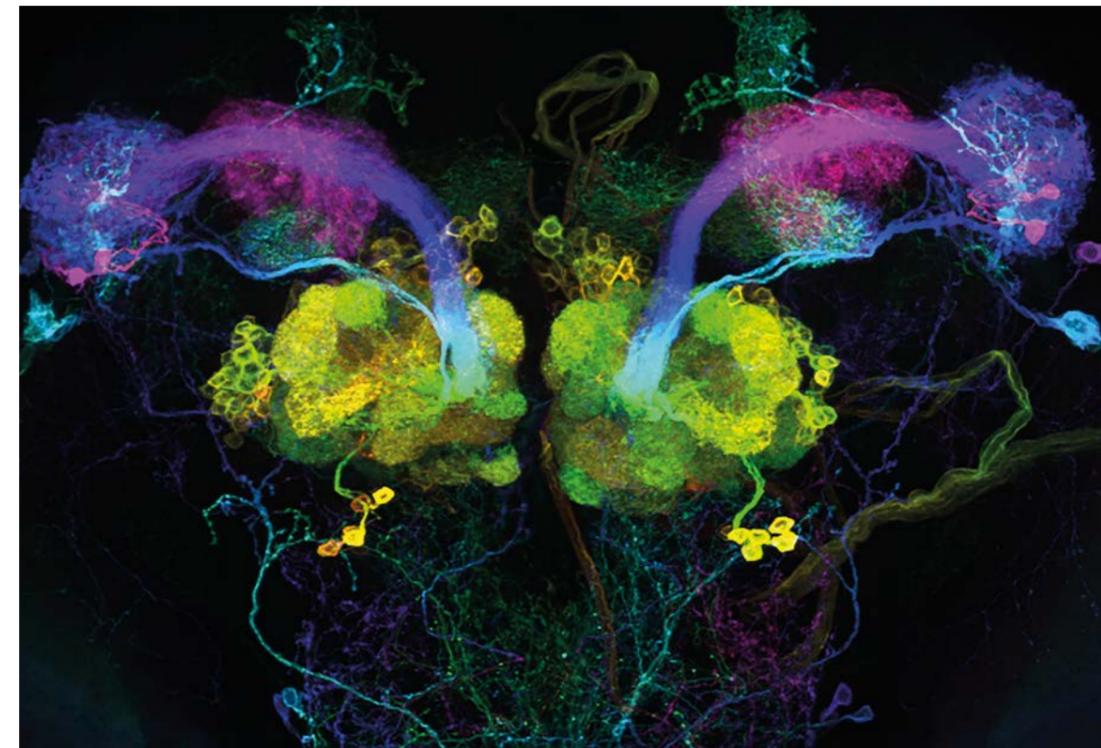
To investigate these types of questions, we work mainly with the genetic model organism, the fruit fly *Drosophila melanogaster*. Its brain is by far not as complex as the human brain, but it is subject to the same patterns. For example, we can investigate the type of signals spoiled food triggers in the intestine, and how these signals then influence the brain. Um Fragen dieser Art zu erforschen, arbeiten wir vor allem mit dem Modellorganismus der Fruchtfliege *Drosophila melanogaster*. Ihr neuronales Netzwerk ist bei weitem nicht so komplex wie das des menschlichen Gehirns, unterliegt aber den gleichen Mustern. Wir können so zum Beispiel erforschen, welche Art von Signalen verdorbenes Essen im Darm auslöst und wie diese Signale dann das Gehirn beeinflussen.

Which methods do you use in your research? Welche Methoden setzen Sie dafür ein?

We use genetic engineering and similar methods to switch genes or entire neurons on or off in a targeted manner to investigate what influence a gene or a neuron has on the behavior of the animal. Since we know already that behavior is adapted to the situation and experience, we now want to get to the bottom of how this works. We want to understand which nerve cells, networks and circuits are relevant for which decisions, which rules they follow and what signals they use to communicate between neurons and between brain and body. Wir nutzen Gentechnik und ähnliche Methoden, um Gene oder ganze Neuronen gezielt an- oder abzuschalten, um zu untersuchen, welchen Einfluss ein Gen oder Neuron auf das Verhalten des Tieres hat. Da wir bereits wissen, dass Verhalten an die Situation und Erfahrung angepasst ist, wollen wir dem nun auf den Grund gehen und verstehen wie es funktioniert. Wir wollen verstehen, welche Nervenzellen, Netzwerke und Schaltkreise für welche Entscheidungen relevant sind, welchen Regeln sie folgen und welche Signale sie zur Kommunikation zwischen Neuronen und zwischen Gehirn und Körper verwenden.



The fruit fly – a model organism: Findings from research on the fruit fly *Drosophila melanogaster* can be transferred to research work on the human brain. Modellorganismus Fliege: Erkenntnisse aus der Forschung an der Fruchtfliege *Drosophila melanogaster* lassen sich auf das menschliche Gehirn übertragen.



Fascinating nerve cells: Neurons enable hungry flies to ignore danger signs and modulate their innate behavior. Faszinierende Nervenzellen: Neuronen ermöglichen es hungrigen Fliegen, Gefahrenzeichen zu ignorieren und ihr angeborenes Verhalten zu modulieren.

The brain of the fruit fly consists of about 100,000 nerve cells, whereas in the human brain there are 87 billion neurons. Das Gehirn der Fruchtfliege besteht aus etwa 100.000 Nervenzellen, im menschlichen Gehirn hingegen sind es 87 Milliarden Neuronen.

What makes your research relevant for human behavior? Was macht Ihre Forschung für menschliches Verhalten relevant?

Many people suffer from eating disorders. Some eat too much and others too little. So far we do not know the origin of these disorders: Is it due to their genes – or is it dependent on experience? For instance, in the womb, during early childhood, or later in life, neural networks and processes that are involved in eating decisions may be permanently altered or damaged. Once we have understood the basics of eating behavior, we can hopefully intervene in a targeted manner – for example, with drugs or treatments to alter behavior and decision-making even before eating becomes a disorder. Viele Menschen leiden unter Essstörungen. Einige essen zu viel und andere zu wenig. Bisher kennen wir den Ursprung dieser Störungen nicht: Ist es aufgrund ihrer Gene – oder hängt es von Erfahrung ab? Zum Beispiel im Mutterleib, in der frühen Kindheit oder im späteren Leben können neuronale Netzwerke und Prozesse nachhaltig verändert oder beschädigt worden sein, die an Essensentscheidungen beteiligt sind. Wenn wir erst einmal die Grundlagen des Essverhaltens verstanden haben, können wir hoffentlich zielgerichtet eingreifen – beispielsweise mit Medikamenten und Behandlungen, um Verhalten und Entscheidungsfindung zu verändern, bevor Essen zur Störung wird.



Cancer research: What proteins reveal about a tumor

*Basic research for practical application: The interdisciplinary team of biochemists, bioanalytical scientists and bioinformaticians at the Chair of Proteomics aims to more deeply investigate how tumors grow and how medications work and, in this way, provide ideas for new targeted cancer therapies. To achieve this, they investigate the human proteome – the entirety of proteins that the human body can produce. **KREBSFORSCHUNG: WAS PROTEINE ÜBER EINEN TUMOR VERRATEN** · Grundlagenforschung für die Praxis: Das interdisziplinäre Team aus Biochemikern, Bioanalytikern und Bioinformatikern am Lehrstuhl für Proteomik will besser verstehen, wie Tumore wachsen und wie Medikamente funktionieren und so neue Ideen für gezielte Krebstherapien liefern. Dafür untersuchen sie das menschliche Proteom – also die Gesamtheit aller Eiweiße, die der menschliche Körper bilden kann.*

Gentle ionization: Using electrospray ionization, biomolecules such as proteins can be introduced into a mass spectrometer. Typically, fragments of proteins (called peptides) that are dissolved in a liquid pass through a metal capillary that is electrically charged. This generates a fine spray of small droplets. Inside the mass spectrometer, the molecular mass, amino acid sequence and quantity of the peptides can be determined. Sanfte Ionisierung: Mittels der sogenannten Elektrospray-Ionisierung lassen sich Biomoleküle wie Proteine in Massenspektrometer einbringen. Typischerweise werden Bruchstücke von Proteinen (Peptide genannt) in flüssiger Phase durch eine elektrisch geladene Metallkapillare geleitet, wodurch ein Nebel aus kleinen Tröpfchen entsteht. Im Gerät werden dann die Molekulargewichte, Aminosäureabfolge und die Menge einer Vielzahl von Peptiden bestimmt.



A caterpillar and a butterfly contain the same genes but look completely different. This is due to the protein molecules that regulate practically all molecular processes in a cell. "Proteins are formed on the basis of genome information and have an enormous influence on what happens in a cell and on the entire organism," says Professor Bernhard Küster from the Chair of Proteomics. He and his colleagues are focusing their investigations on the medical benefits of this research field by understanding what drives tumors and how drugs actually work. They have already succeeded multiple times in predicting the efficacy of drugs based on the protein pattern of human cancer cells. "In order to understand how different tumors develop and how the individual biomolecules interact with each other, we first need to know the healthy state as comprehensively as possible," explains Küster. To achieve this, the scientists created an atlas of the human proteome that maps most of the proteins in most human tissues.

Atlas of the human proteome

This atlas was the result of collecting massive quantities of data generated at the Technical University of Munich and in the rest of the world in a publicly accessible database (www.proteomicsdb.org). Küster adds: "There, individual proteins can be selected, and background information can be displayed – for example, which amounts of the respective proteins are present at different locations in the body."



Highly sensitive measurement: A mass spectrometer records the number and abundance of different proteins in a cell as well as their molecular variations. Using these details, the scientists can analyze, e.g. a tissue sample and search for tumor-specific proteins. Hohempfindliche Messung: Ein Massenspektrometer erfasst die Zahl und Menge von Proteinen in einer Zelle und gibt Aufschluss über deren molekulare Abwandlungen. Mithilfe dieser Details können die Forscher zum Beispiel eine Gewebeprobe analysieren und nach Tumor-spezifischen Proteinen suchen.

Eine Raupe und ein Schmetterling haben die selben Gene, sehen aber komplett unterschiedlich aus. Verantwortlich dafür sind die Eiweißmoleküle in den einzelnen Zellen, die praktisch alle Lebensvorgänge regeln. „Proteine werden auf Basis der Genominformationen gebildet und haben einen enormen Einfluss auf das Geschehen in einer Zelle und auf den gesamten Organismus“, sagt Professor Bernhard Küster vom Lehrstuhl für Proteomik. Er und seine Kollegen konzentrieren sich bei ihren Untersuchungen auf den medi-

zischen Nutzen dieses Forschungsgebiets – und versuchen zu verstehen, welche grundlegenden Mechanismen das Tumorwachstum bestimmen und wie Medikamente wirklich funktionieren. So ist es ihnen bereits mehrfach gelungen, die Wirksamkeit von Medikamenten aus dem Proteinmuster menschlicher Krebszellen vorherzusagen.

„Um zu verstehen, wie unterschiedliche Tumore entstehen und wie die einzelnen Biomoleküle miteinander wechselwirken, müssen wir zunächst den gesunden

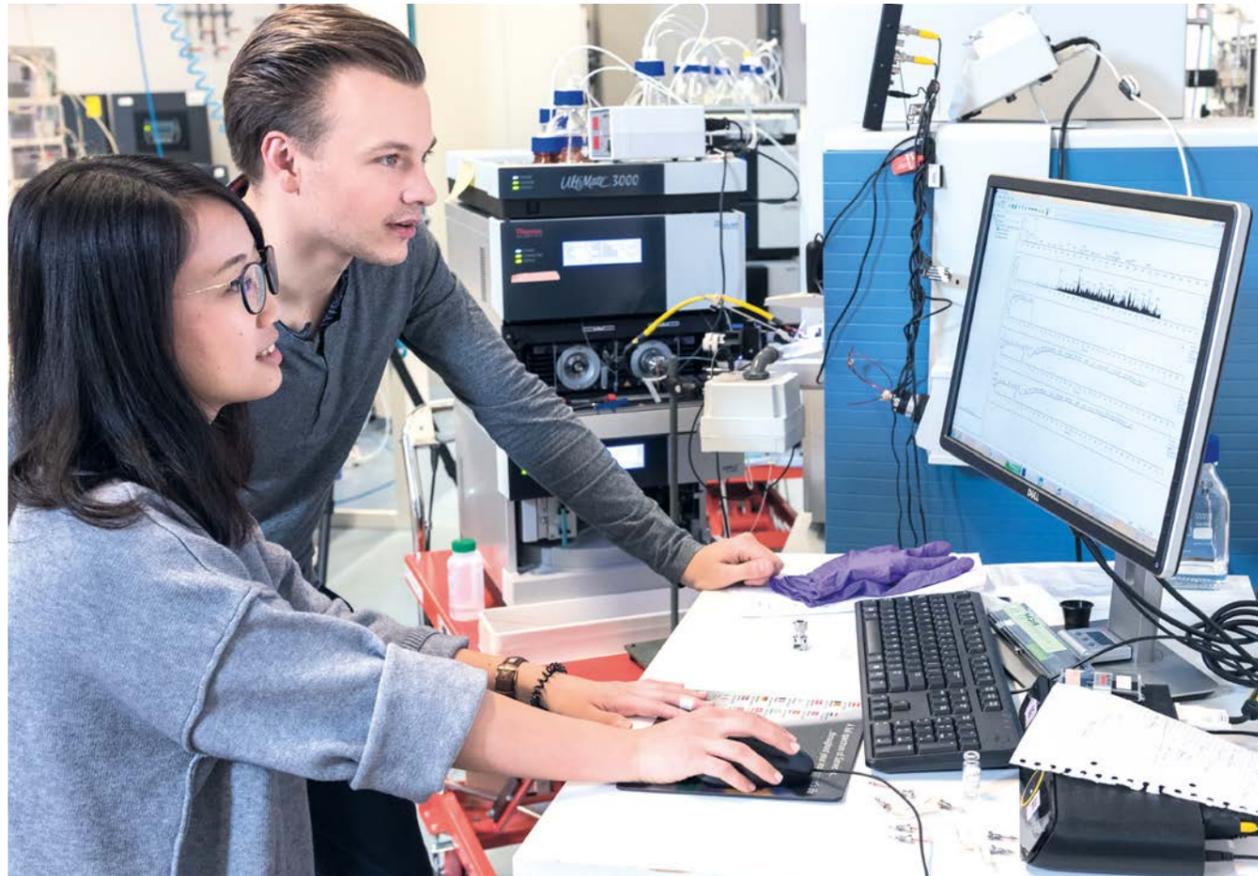
Ausgangszustand sehr genau kennen“, erklärt Küster. Die Wissenschaftler erstellten dazu einen Atlas des humanen Proteoms, der den Großteil aller Proteine in den meisten Organen abbildet. Dafür sammelten die Wissenschaftler große Mengen eigener Daten sowie die Forschungsergebnisse von Kollegen in einer öffentlich zugänglichen Datenbank (www.proteomicsdb.org). Küster: „Dort lassen sich einzelne Proteine auswählen und Hintergrundinformationen dazu anzeigen – zum Beispiel, an welchen Körperstellen



19,629

The human proteome contains 19,629 different proteins. Das menschliche Proteom umfasst 19.629 verschiedene Proteine.

Source: <https://www.proteomicsdb.org/>



Complex data: For proteomic research on human tumors, the doctoral students and staff scientists have to apply a lot of care in sample preparation (right; Jana Zecha, Dr. Stephanie Heinzmeir) so that the subsequent mass spectrometric analysis performed here by Yun-Chien Chang and Florian Bayer (left) can generate high-quality data. Bioinformatics and machine learning algorithms are then used to derive relevant information from the raw data and make useful predictions. Die Forschung an humanen Tumoren verlangt von den Doktoranden und wissenschaftlichen Mitarbeitern große Sorgfalt bei der Vorbereitung der Proben (rechts; Jana Zecha, Dr. Stephanie Heinzmeir) damit die nachfolgende massenspektrometrische Analyse (links; durchgeführt von Yun-Chien Chang and Florian Bayer) hochqualitative Daten erzeugen kann. Mittels Bioinformatik und maschinellen Lernens lassen sich dann relevante Informationen aus den Rohdaten ableiten und nützliche Vorhersagemodelle entwickeln.



Yet Küster and his team aim for more. “We want to identify the disease triggers for every single patient – and then find the appropriate medication,” says the biochemist. However, there is often more than one cause. With cancer in particular, it is usually a combination of many genetic mutations that pathologically alter proteins, and these differ from patient to patient.

The long-term goal of the protein specialists is personalized cancer therapy. This type of treatment is already possible for selected tumors. Breast cancer is one prime example. There are special forms of this disease that are already treated. The medicines attack cancer cells that are driven by a particular protein. Using drugs against this protein, cancer cells can be destroyed in a highly targeted manner. This is a major difference from conventional chemotherapies that have less targeted effects. The cytostatic drugs used in chemotherapy destroy all cells that are actively dividing; thus, not only the tumor cells are destroyed. Common side effects are hair loss, nausea and immune deficiencies. “With our analyses, we want to make a contribution to new, targeted, effective cancer therapies with reduced side effects,” says Küster.

To achieve their goals, the researchers rely on a high-throughput process. Küster’s team produces the majority

welche Mengen des jeweiligen Proteins vorhanden sind.“

Doch Küster und sein Team wollen mehr: „Wir wollen die Krankheitsauslöser bei jedem einzelnen Patienten identifizieren – und dann das dazu passende Medikament finden“, sagt der Biochemiker. Allerdings gibt es häufig nicht nur eine Ursache. Gerade bei Krebs ist es meist eine Kombination aus vielen genetischen Fehlern, die Eiweiße krankhaft verändern und die von Patient zu Patient verschiedenen sind.

Das langfristige Ziel der Proteinspezialisten ist die personalisierte Krebstherapie. Aktuell ist das bei ausgewählten Tumoren schon möglich. Beispiel Brustkrebs: Hier gibt es spezielle Formen, die heute schon

Individuelle Therapien für Krebspatienten

mit Medikamenten behandelt werden können, die die Krebszellen auf Ebene eines bestimmten Proteins, welches das Tumorzellwachstum antreibt, angreifen. So lassen sich die Zellen hochspezifisch zerstören. Das ist ein großer Unterschied etwa zu den gängigen Chemotherapien, die weniger zielgerichtet wirken. Die Zytostatika, also Zellgifte, einer Chemotherapie zerstören alle besonders teilungsaktiven Zellen – und treffen damit nicht nur die Tumorzellen. Häufige Nebenwirkungen sind daher Haarausfall, Übelkeit und Immunschwächen. „Wir möchten mit unseren Analysen einen Beitrag für neue, zielgerichtete, effektive und nebenwirkungsarme Krebstherapien leisten“, sagt Küster.



Teamwork: Many biological parameters have to be considered in order to understand cancer. Professor Bernhard Küster (center) and his chair therefore bring together molecular biologists, chemists, biochemists, analytical scientists and computer scientists to form interdisciplinary project teams. **Teamwork:** Damit man Krebserkrankungen wirklich verstehen kann, müssen viele Aspekte bedacht werden. Am Lehrstuhl von Prof. Bernhard Küster (Mitte) finden sich daher Molekularbiologen, Chemiker, Biochemiker, Analytiker und Informatiker zu interdisziplinären Projektteams zusammen.

of the data using a technique called mass spectrometry. With this method, proteins are first broken into smaller fragments, known as peptides. The molecular mass, amino acid sequences and

From molecules to clinical therapy

signal strengths can thus be determined for each peptide. From this data, the researchers can then determine which proteins are present in a sample and in what quantities. Mass spectrometers generate extremely complex data sets because they capture all proteins within a cell. "The amount of data is not extremely large. We are still in the terabyte range," says Küster. Dr. Mathias Wilhelm, junior group leader in Küster's group further explains, "But analyzing this data and

deriving the important information is very complex. Machine learning does help us here. For example, today, it is possible to predict mass spectra from peptide sequences alone. These predictions make the interpretation of complex data that is generated much easier."

From the molecules that trigger cancer through to clinical therapy, the protein researchers consider all aspects of the disease. "In so-called molecular tumor boards, we work closely with oncologists and discuss particularly difficult cancer cases," says Dr. Stephanie Heinzlmeir, also a member of Küster's team. The clinicians benefit not only from the knowledge of the cancer-causing processes, but also from the second research focus of the Proteomics Chair: the precise analysis of which proteins respond to approved cancer drugs. Küster adds,



Patient-based research: Using cryo-preserved cancer cells from patients, scientists are investigating the exact mode of action of medicines and developing new ideas for future cancer therapy. **Patientennahe Forschung:** An kältekonservierten Krebszellen von Patienten erforschen die Wissenschaftler die genaue Wirkungsweise von Medikamenten und entwickeln neue Ideen für die Krebstherapie der Zukunft.

Dafür setzen sie auf molekulare Hochdurchsatzverfahren. Den Großteil der Daten produziert Küsters Forscherteam mithilfe der sogenannten Massenspektrometrie. Bei diesem Verfahren werden die Proteine zunächst in kleinere Bruchstücke zerlegt sowie deren Molekulargewichte, Aminosäureabfolgen und Signalstärken bestimmt. Daraus können die Forscher letztlich ermitteln, welche Proteine eine Probe in welcher Menge enthält.

Massenspektrometer erzeugen sehr komplexe Datensätze, da sie die Gesamtheit aller Proteine in einer Zelle erfassen. „Die Datenmenge ist nicht extrem groß. Wir bewegen uns noch im Terabyte-Bereich“, sagt Küster. „Aber die Daten zu analysieren und daraus die wichtigsten Informationen abzuleiten, ist sehr komplex. Hier hilft uns auch maschinelles Lernen. Damit ist es heute beispielsweise möglich, aus der Peptidsequenz das zugehörige Massenspektrum vorherzusagen“, erklärt Dr. Mathias Wilhelm, Gruppenleiter für Bioinformatik an Küsters Lehrstuhl. „Diese Vorhersagen erleichtern die Interpretation der komplexen Daten enorm.“

Die Proteinforscher betrachten Krebs von den auslösenden Molekülen bis zur Therapie in der Klinik. „In sogenannten molekularen Tumorboards arbeiten wir eng mit Onkologen zusammen und diskutieren



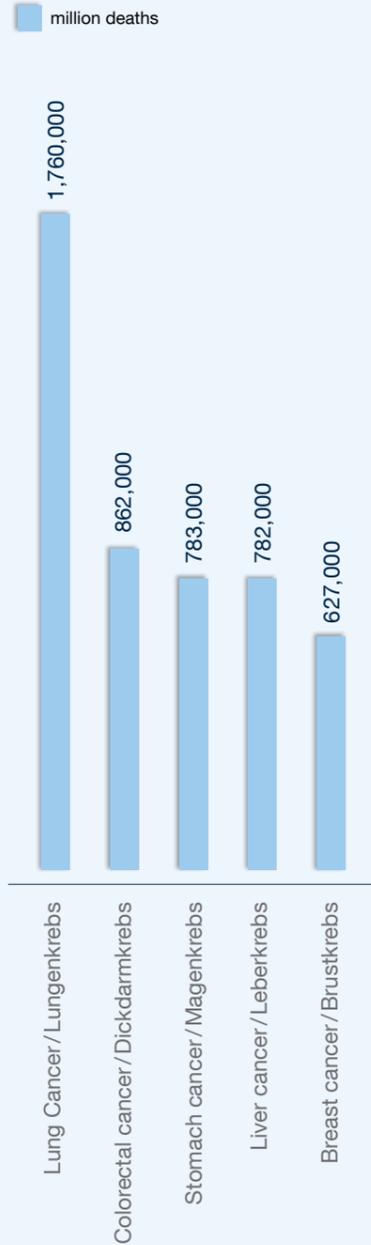
**We are working on the medicines of the future.
Wir arbeiten an der Medizin von übermorgen.**

Professor Bernhard Küster,
Proteomics

“We are constantly discovering new potential effects of approved cancer drugs, thus expanding their therapeutic applications.” He is convinced that this strategy will become the standard in the long term. “First we will analyze the molecular characteristics of a cancer patient’s tumor and then we will have the best available drug at hand.”

besonders schwierige Krebsfälle“, sagt Dr. Stephanie Heinzlmeir, ebenfalls wissenschaftliche Mitarbeiterin des Lehrstuhls. Dabei profitieren die Kliniker nicht nur von dem Wissen über die krebsauslösenden Prozesse, sondern auch vom zweiten Forschungsschwerpunkt des Proteomik-Lehrstuhls: der genauen Analyse, welche Proteine auf zugelassene Krebsmedikamente ansprechen. Küster: „Wir entdecken immer wieder neue nützliche Effekte von zugelassenen Krebsmedikamenten und erweitern so den ‚Therapie-Baukasten‘.“ Er ist überzeugt, dass diese Strategie langfristig zum Standard wird: „Dann analysieren wir bei einem Krebspatienten zunächst, welche molekularen Charakteristika sein Tumor aufweist und haben hiernach passend dazu den besten Wirkstoff parat.“

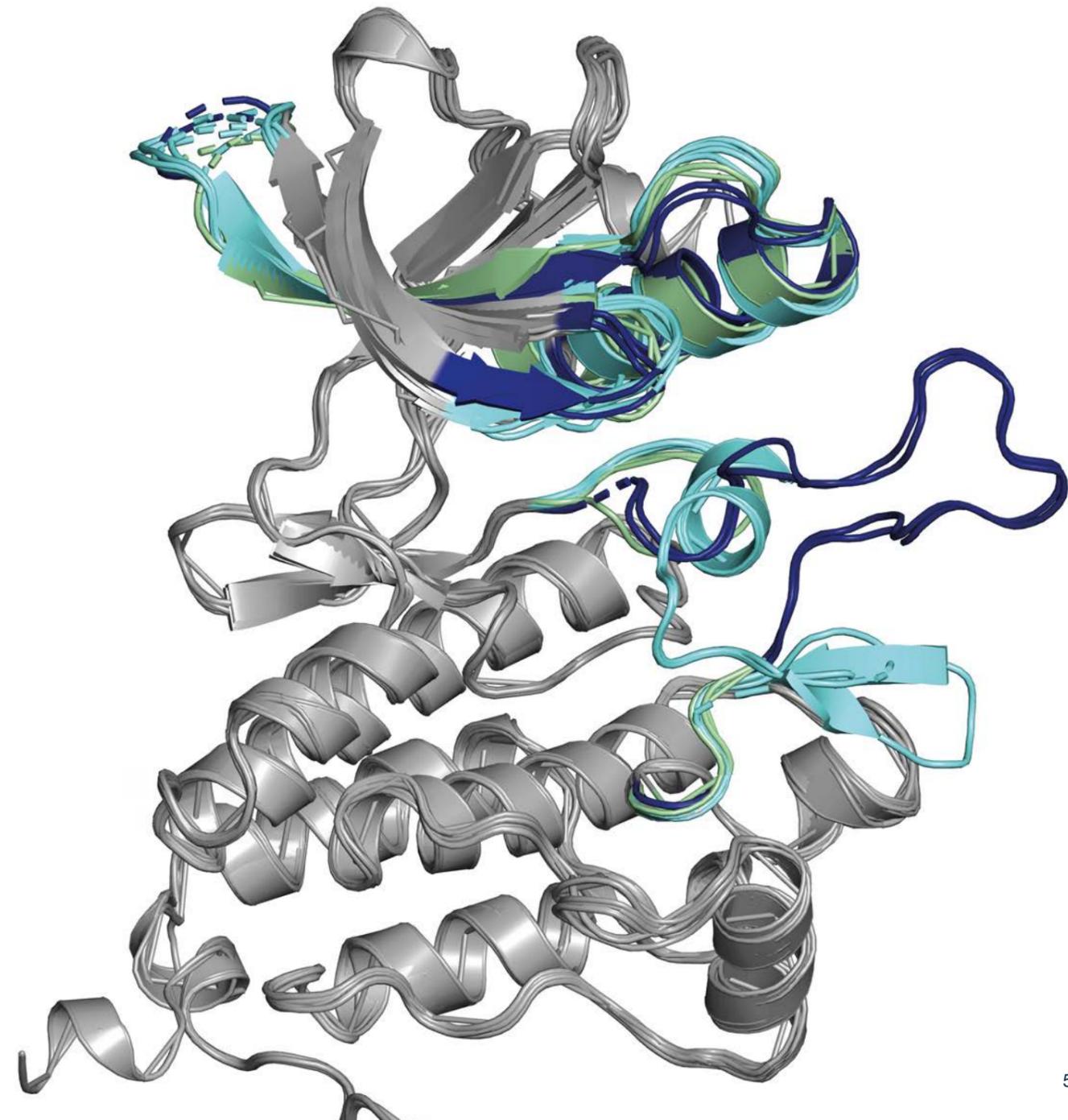
The deadliest cancers



After cardiovascular diseases, cancer is the second leading cause of death worldwide. In 2018, an estimated 9.6 million people died of cancer. Krebs ist nach Herz-Kreislauf-Erkrankungen die zweithäufigste Todesursache weltweit. Die Zahl der Krebstoten lag im Jahr 2018 bei geschätzten 9,6 Millionen Menschen.

Source: WHO

Targeting protein molecules: Tiny structural features of a protein can be decisive for the efficacy and selectivity of a drug. Researchers at the TUM School of Life Sciences are looking for these details to understand how drugs interact with proteins. Eiweißmoleküle im Visier: Winzige Struktureigenschaften eines Proteins können ausschlaggebend für die Wirksamkeit und Selektivität eines Medikaments sein. Forscher der TUM School of Life Sciences suchen nach diesen Details, um zu verstehen, wie Medikamente mit Proteinen interagieren.





The fruit of tomorrow: Hypoallergenic fruit

Fruit such as strawberries, tomatoes, plums and apples are a red flag for many people. Up to four percent of adults suffer from a food allergy – and react to consumption of these fruit with rashes, colds or stomach pains. But interestingly, these negative symptoms often only occur when the fruit is eaten fresh. In contrast, dried fruit may be tolerated by the body. The same applies to tomatoes. For these reasons, a team of researchers led by Wilfried Schwab, Professor of Biotechnology of Natural Products, is investigating the chemical components in fruit, their functions and content levels – and their allergy potential.

In one study, Schwab and his scientific team investigated how the size, shape and color of 20 strawberry and 23 tomato varieties influence the allergen level. The food chemists were also interested in the effect of the cultivation method – organic or conventional – and the method of preparation. The result: The allergen level varied greatly between the varieties, i.e. it was dependent on the respective genetic material. Heat during processing reduced the allergy potential, whereas the cultivation method had hardly any effect. According to Schwab, weather was the second major influence besides the genome. “In high humidity, for example, fungi proliferate more easily against which plants form antibodies – and precisely these proteins can trigger allergies in humans.” In his study, Schwab investigated exactly such a protein called Fra a1. In the future, the amount of Fra a1 in strawberries could serve as an allergen marker and thus help to breed hypoallergenic strawberry varieties. These results can then be transferred to other fruit such as apples.

DAS OBST VON MORGEN: HYPO-ALLERGENE FRÜCHTE · Früchte wie Erdbeeren, Tomaten, Pflaumen und Äpfel sind für viele Menschen ein rotes Tuch: Bis zu vier Prozent der Erwachsenen leiden unter einer Nahrungsmittelallergie – und reagieren auf den Verzehr mit Hautausschlag, Schnupfen oder Bauchschmerzen. Das Interessante: Oft treten die Symptome nur auf, wenn das Obst frisch verzehrt wird. Getrocknete Früchte hingegen toleriert der Körper oftmals.

Ähnliche Effekte gibt es beim Verzehr von Tomaten. Ein Forscherteam um Wilfried Schwab, Professor für Biotechnologie der Naturstoffe, beschäftigt sich mit den Inhaltsstoffen von Früchten, deren Funktion und Gehalt in Nahrungsmitteln sowie deren Allergiepotenzial.

In einer Studie untersuchten die Wissenschaftler, wie Größe, Form und Farbe von 20 Erdbeer- und 23 Tomatensorten den Allergengehalt beeinflussen. Außerdem interessierten sich die Lebensmittelchemiker dafür, welchen Effekt die Anbaumethode – ökologisch oder konventionell – und die Zubereitungsart hatten. Das Ergebnis: Der Allergengehalt schwankte stark zwischen den Sorten, war also abhängig vom jeweiligen Erbgut. Hitze während der Verarbeitung senkte das Allergiepotenzial, die Anbaumethode hingegen hatte kaum Effekte. Zweiter großer Einflussfaktor neben dem Erbgut war laut Schwab das Wetter: „Bei hoher Luftfeuchtigkeit vermehren sich beispielsweise Pilze leichter, gegen die Pflanzen Abwehrstoffe bilden – und genau diese Proteine können beim Menschen Allergien auslösen.“ Solch ein Protein mit dem Namen Fra a1 hat Schwab in seiner Studie untersucht. In Zukunft könnte die Menge von Fra a1 in Erdbeeren als Allergen-Marker dienen und somit bei der Züchtung hypoallergener Erdbeersorten helfen. Diese Ergebnisse lassen sich dann auch auf anderes Obst wie Äpfel übertragen. ❏

4%

About 4 percent of the population has a food allergy. Its first occurrence can happen at any age. Depending on the age and trigger, the allergy progresses in various ways. Etwa vier Prozent der Bevölkerung haben eine Nahrungsmittelallergie. Sie kann in jedem Lebensalter erstmals auftreten. Je nach Alter und Auslöser verläuft die Allergie sehr unterschiedlich.

Source: IQWiG – Gesundheitsinformation.de

Caution: Allergy

The most common causes of food allergies in adults · VORSICHT ALLERGIE! Die häufigsten Auslöser einer Nahrungsmittelallergie bei Erwachsenen:

Vegetables (celery, carrots)
Gemüse (Sellerie, Möhren)

Wheat
Weizen

Fish
Fisch

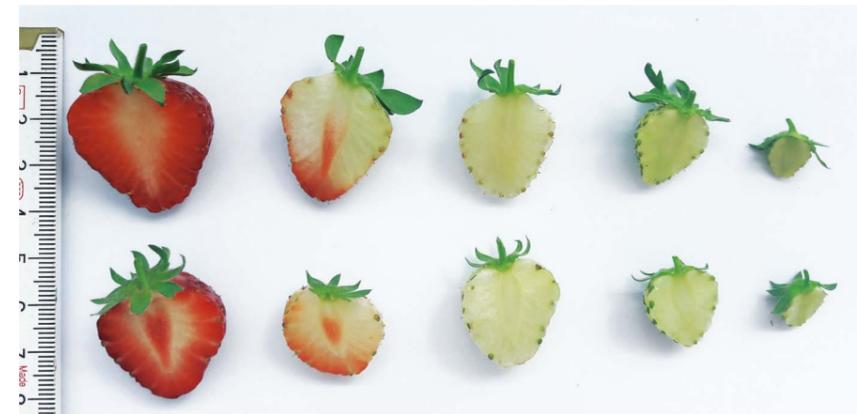
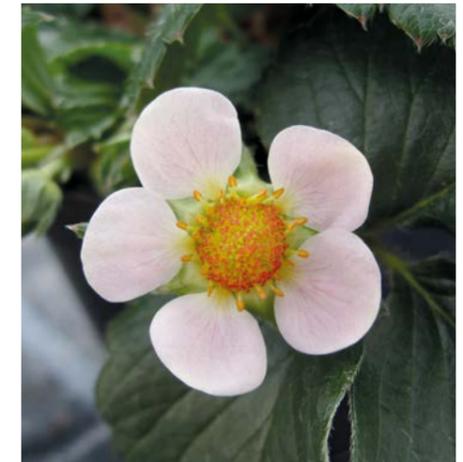
Shrimp
Shrimps

Soy
Soja

Nuts (peanuts, hazelnuts)
Nüsse (Erdnuss, Haselnuss)

Apples and other fruits
Äpfel und anderes Obst

Source: Allergieinformationsdienst



Tracking down allergies: Dr. Elisabeth Kurze, member of the Biotechnology of Natural Products working group, analyzes the allergic potential of strawberries. This is dependent on the size, shape and color of the fruit. Allergien auf der Spur: Dr. Elisabeth Kurze, Mitarbeiterin in der Arbeitsgruppe Biotechnologie der Naturstoffe, analysiert das allergische Potenzial von Erdbeeren – abhängig von Größe, Form und Farbe der Früchte.



Interview

Human and animal health



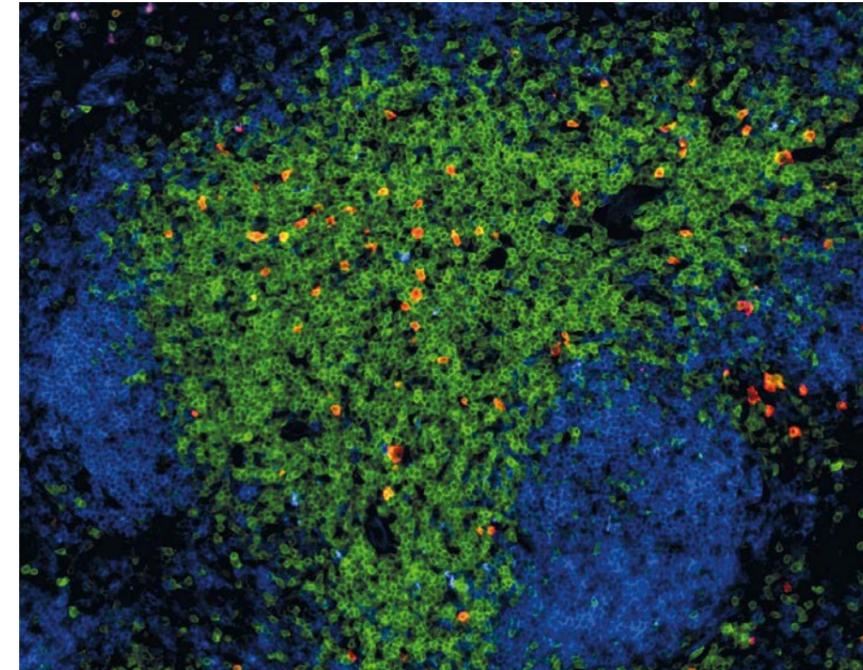
Professor Dietmar Zehn, Chair of Animal Physiology and Immunology, is dedicated to basic research in order to gain insights into the prevention and treatment of infectious diseases, especially chronic infections. This knowledge is intended to improve the health of both humans and animals. GESUNDHEIT VON MENSCH UND TIER · Professor Dietmar Zehn, Leiter des Lehrstuhls für Tierphysiologie und Immunologie, widmet sich der Grundlagenforschung, um Erkenntnisse für Prävention und Behandlung von Infektionskrankheiten – vor allem von chronischen Infektionen – zu gewinnen. Das Wissen soll die Gesundheit von Mensch und Tier verbessern.

You research the immune system of both animals and humans. What interests you about this topic? Sie erforschen das Immunsystem von Tier und Mensch. Was interessiert Sie dabei?

We want to better understand how an immune response works exactly, how it protects an organism against pathogens and why immune system failures sometimes occur and infections become chronic. We are particularly interested in molecular mechanisms that influence the differentiation of immune cells. Within these mechanisms we are looking for new therapeutic and preventive approaches. Wir wollen besser verstehen, wie eine Immunantwort genau abläuft, wie diese den Organismus gegen Erreger schützt und warum es mitunter zu einem Versagen kommt und Infektionen chronisch werden. Hier interessieren uns vor allem molekulare Mechanismen, die die Differenzierung von Immunzellen beeinflussen und bei denen wir nach neuen Therapie- und Präventionsansätzen suchen.

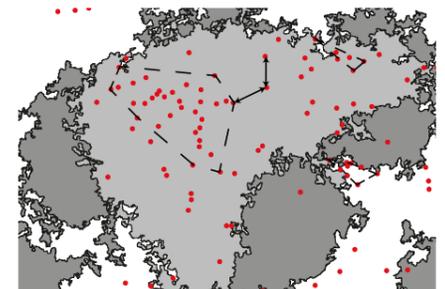
How can your findings be used? Wofür lassen sich Ihre Erkenntnisse nutzen?

Infectious diseases and their control still represent one of the most important challenges in human and veterinary medicine. So far, relatively simple methods have been used to build up immunological responses through vaccinations, which have a protective effect. This is a fantastic approach towards a range of pathogens, but such simple methods do not work with other pathogens. Here, we are looking for new pathways and target molecules to control and improve immune responses. For example, we have just found a molecule that switches off the immune system in chronic infections and, probably also, in tumors. We can use such findings to strengthen weak immune responses or to slow excessive immune reactions. Infektionskrankheiten und deren Bekämpfung stellen nach wie vor eine der wichtigsten human- und tiermedizinischen Herausforderungen dar. Bisher werden noch immer relativ einfache Methoden angewendet, um über Impfungen Immunantworten aufzubauen, die schützend wirken. Dies funktioniert für verschiedene Erreger in fantastischer Weise, allerdings gibt es auch Erreger, bei denen wir mit diesen einfachen Ansätzen nicht weiterkommen. Hier suchen wir nach neuen Wegen und Zielmolekülen, über die wir Immunantworten steuern und verbessern können. Beispielsweise haben wir gerade ein Molekül gefunden, welches die Abschaltung des Immunsystems in chronischen Infektionen und vermutlich auch in Tumoren bewirkt. Solche Erkenntnisse können wir nutzen, um schwache Immunantworten zu stärken oder überschießende Immunreaktionen zu bremsen.



From research to clinic

Findings from immune research can lead to new cancer therapies. The best example of this is that of checkpoint inhibitors, for which the Nobel Prize for Medicine and Physiology was awarded in 2018. The molecule targeted by this new therapy was initially discovered in a mouse model. Von der Forschung in die Klinik · Erkenntnisse aus der Immunforschung können zu neuen Krebstherapien führen. Bestes Beispiel dafür sind die Checkpoint-Inhibitoren, für die im Jahr 2018 der Nobelpreis für Medizin und Physiologie verliehen wurde. Das Molekül, auf das die neue Therapie zielt, wurde zunächst im Mausmodell entdeckt.



”

Researchers need the freedom to try things out and create something really new. Wir Grundlagenforscher brauchen die Freiheit, um Dinge auszuprobieren und so wirklich Neues zu schaffen.

Professor Dietmar Zehn,
Animal Physiology and Immunology

Quantification of the positional relationships of immune cells in tissue: Using stained tissue sections, the positional relationships between different immune cells in the spleen are investigated using algorithms. The microscopy image (left, blue: B cell zone, green: T cell zone and red: pathogen specific cells) is computerized into a vector graphic (right, dark grey: B cell zone, light grey: T cell zone, red: pathogen specific cells, dotted line: local accumulations, arrows: distance measurements), and accumulations in specific areas and cell-cell distances are calculated. Quantifizierung der Lagebeziehungen von Immunzellen im Gewebe: Anhand von gefärbten Gewebeschnitten werden die Lagebeziehungen zwischen verschiedenen Immunzellen in der Milz mithilfe von Algorithmen untersucht. Dazu wird das Mikroskopiebild (links, blau: B-Zell-Zone, grün: T-Zell-Zone und rot: pathogenspezifische Zellen) computergestützt in eine Vektorgraphik (rechts, dunkelgrau: B-Zell-Zone, hellgrau: T-Zell-Zone, rot: pathogenspezifische Zellen, gestrichelte Linie: lokale Akkumulationen, Pfeile: Abstandsmessungen) umgewandelt und Akkumulationen in spezifischen Arealen und Zell-Zell-Distanzen berechnet.

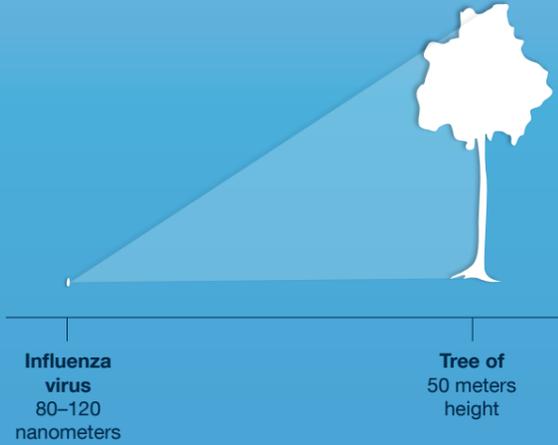
What is the goal of your chair? Welches Ziel verfolgen Sie an Ihrem Lehrstuhl?

We want to transfer the knowledge we gain in model systems to the clinic, and thus to patients and livestock. For example, we want to find strategies for strengthening the immune system in existing chronic infections and for curing these diseases by activating natural mechanisms. At the same time, we want to work on ways to make animals and humans more resistant to bacterial pathogens prior to the onset of disease. Wir wollen das Wissen, welches wir in Modellsystemen erlangen, in die Klinik und damit auf Patienten und auf Tiere in der Landwirtschaft übertragen. Wir wollen dabei beispielsweise Strategien finden, wie wir das Immunsystem bei bestehenden chronischen Infektionen stärken und über die Aktivierung natürlicher Mechanismen eine Ausheilung der Erkrankungen bewirken können. Gleichzeitig wollen wir an Möglichkeiten arbeiten, wie wir Tiere aber auch den Menschen im Vorfeld einer Erkrankung resistenter gegen bakterielle Erreger machen können.



4,221
Students

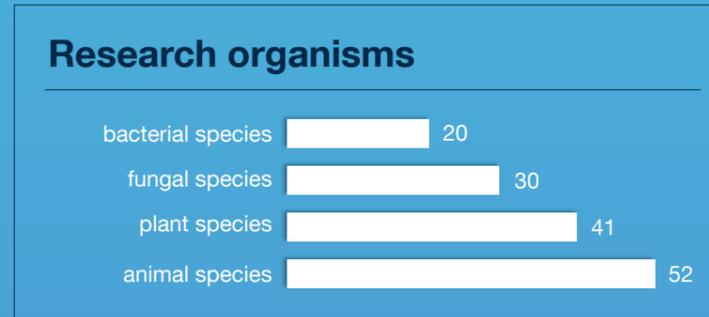
Size of the smallest and the largest researched organism



1,889
Employees

2,205
student study projects/year

5,185
Square meters of greenhouse area



71
Professorships

65
Countries of origin: employees

50 countries of origin of international students



135
Molecular biology laboratories

106,575.59
square meters of functional building space

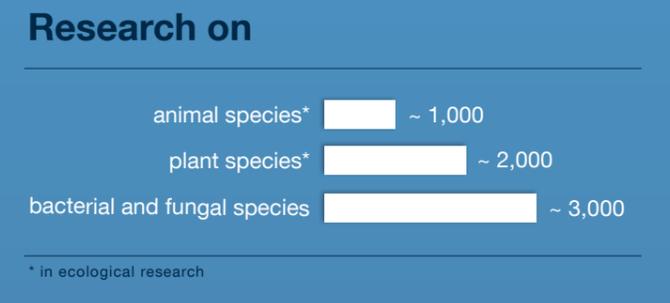
147
Dissertations/Year

“Most Scientific Craft Brewery in the World.”

The experimental brewery produces 120 brews and 26 different types of beer.

~100

Research contracts with industry per year



289 Inventions (since inception), resulting in 45 granted patents registered



Resource Management



”

My goal is to work towards a better future, especially for down-trodden people in India. There is no single solution to the world's existing problems. It always depends on the ability of humans to collaborate with each other as well as to interact with the environment.

Sangeeth Eswaran, M.Sc. student

Agricultural Sciences



”

We get a realistic picture of the challenges in modern agriculture, and we learn, among other things, about the communication difficulties between consumers and farmers.

Charlotte Klein, B.Sc. student

Landscape Planning



”

'One Health' describes exactly a main focus of my Bachelor studies – the interaction between humans, animals, plants, soil and the environment. In my bachelor thesis I mapped streams and thus recorded the 'health' and quality of these habitats for organisms.

Luis Philipp Habersetzer, M.Sc. student

Biotechnology



”

A healthy organism requires a healthy environment. The atmosphere at the Weihenstephan campus is unique, in my opinion. A special feature is our outdoor cinema.

Lisa Bock, M.Sc. student

Food Technology



”

I feel just fine here. Us students from all different study programs and our lecturers work together in a very pleasant atmosphere.

Lukas Viebahn, B.Sc. student

Nutrition Science



”

I like the practical training on our campus. In a seminar, for example, we developed health taglines for new products. I'm completing my Master's thesis in cooperation with a Fraunhofer Institute.

Amelie Bieringer, M.Sc. student



More information about our courses and programs available at wzw.tum.de/studies. Mehr Informationen zu unseren Studiengängen finden Sie unter wzw.tum.de/studium.

