

Faszination Forschung

Forschungshighlights der TUM

Technische Universität München

Das Wissenschaftsmagazin

Februar 2020 | Ausgabe 24



Ernährung und Gesundheit

Ballaststoffe – warum sie wichtig sind für die Gesundheit

Mikrobiom – das Ökosystem in unserem Bauch

Innovative Gentechnik – wie KI die Pflanzenzüchtung revolutioniert

ISSN 18653022



Schutzgebühr
EUR 9.00

Digitalisation in Aeronautics and Space

An Online Course
by Munich Aerospace



global-aerospace-campus.org
Registration at e-learning@munich-aerospace.de



Liebe Leserinnen und Leser,

die Weltbevölkerung wächst rasend schnell, um einmal Erlangen am Tag, einmal München in der Woche, einmal New York pro Monat. Gleichzeitig werden die Ressourcen knapper, drohen Auswirkungen des Klimawandels und nehmen ernährungsbedingte Erkrankungen zu. Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Gesellschaft stehen damit vor den großen Überlebensfragen der Menschheit: **Wie sichern wir die nachhaltige Produktion ausreichender Mengen an Lebensmitteln? Und wie können wir Nahrungsmittel erzeugen, die gut schmecken und die Menschen gesund ernähren?**

Als aktiver Forscher habe ich mich in den letzten 25 Jahren mit molekularen Schlüsselfragen der Lebensmittelqualität beschäftigt. In meinem Amt als neuer Präsident der Technischen Universität München fühle ich mich nun um so mehr dem moralischen Mandat verpflichtet, durch Forschung, Innovation und Ausbildung einen kraftvollen Beitrag zu einschlägigen Lösungsansätzen zu leisten.

Das setzt disziplinübergreifende Forschungsansätze entlang der gesamten Kette Agrar > Lebensmittel > Mensch voraus. Ebenso benötigen wir ein völlig neues Systemverständnis, welches die komplexen Wirksysteme biologisch relevanter Inhaltsstoffe umfasst – von den Rohstoffen über die ressourcenschonende Herstellung maßgeschneiderter Lebensmittel, deren physiologischer Wirkung bis hin zu Fragen des Lebensstils.

Keine andere Universität in Deutschland ist dazu so kompetent aufgestellt wie die TUM mit der TUM School of Life Sciences am Campus Weihenstephan, dem TUM Campus Straubing für Biotechnologie und Nachhaltigkeit, den Ingenieurwissenschaften inklusive der Informatik am Campus Garching sowie der starken Medizin und den Gesundheitswissenschaften in München. Ergänzt wird diese Stärke durch die technisch orientierten Gesellschafts-, Politik- und Wirtschaftswissenschaften mit einem fachübergreifenden Ansatz.

Anhand einer Auswahl von Schwerpunkten spannt diese Ausgabe von Faszination Forschung einen weiten Bogen: Von geschmacksaktiven Molekülen, welche die Vorlieben für Speisen bestimmen, über die komplexen Stoffwechselfvorgänge im menschlichen Körper und in gekoppelten Ökosystemen, die unsere Pflanzen- und Tierzucht einschließen, bis hin zu technischen Systemen einer nachhaltigen Lebensmittelproduktion.



Die Professoren Hans Hauner, Dirk Haller und Martin Klingenspor beschäftigen sich mit genetischen und molekularen Grundlagen der Stoffwechselfvorgänge und ihrem Einfluss auf Erkrankungen wie Diabetes, Morbus Crohn und Adipositas. Prof. Michael Schemann erforscht das Nervensystem des Darms und dessen Fehlfunktionen, die beim Menschen zum Reizdarm führen können.

Die Züchtung zukunftsfähiger Nahrungspflanzen erforschen Prof. Chris-Carolin Schön, Prof. Kurt-Jürgen Hülsbergen und Dr. Franz Xaver Maidl mit innovativen Lösungsansätzen. Mit dem Jahrtausende alten Lebensmittel Brot befasst sich Dr. Mario Jekle. Er nutzt 3D-Drucker, um zu analysieren, wie man beim Backen die Kruste knusprig und die Krume porenreich und weich machen kann. Einen innovativen Ansatz für den Pflanzenbau bietet das „Vertical Farming“. Prof. Ferdinand Ludwig und Dr. Mariana Jordanova entwickeln dafür multifunktionale Gebäudefassaden.

Wasser- und Energieeffizienz ist ein wichtiger ökologischer und ökonomischer Faktor. Am Beispiel des Brauprozesses konstruierte Dr. Karl Glas eine mikrobielle Brennstoffzelle zur Abwasserbehandlung bei gleichzeitiger Erzeugung von Strom. Wasser ist auch das Thema der Unternehmensgründer um den TUM-Absolventen Fabian Schlang. Sie entwickelten eine Trinkflasche, die Wasser allein durch Geruch aromatisiert, als gesunden Ersatz für die üblichen Softdrinks.

Ich wünsche Ihnen viel Vergnügen mit dieser Ausgabe der Faszination Forschung,

Ihr

Thomas F. Hofmann
Thomas F. Hofmann
Präsident



Seite 50

Schlank durch **Fett?**



Seite 20

Leberkässemmel – **aber bitte gesund!**



Seite 62

Äpfel essen **ohne Reue**



Seite 06

Das Kaleidoskop
des guten Geschmacks

Inhaltsverzeichnis

- 06 Das Kaleidoskop des guten Geschmacks**
Welche Inhaltsstoffe prägen unsere Lebensmittel?
Und wie kann man zum Beispiel bitteren Geschmack vermeiden?
- 18 Abwechslung für Wassertrinker**
Ein Münchner Start-up hat eine Flasche entwickelt,
die Wasser aromatisiert.
- 20 Leberkässemmel – aber bitte gesund!**
Fast Food gesünder machen – das ist das Ziel von
Prof. Hans Hauner und seinem Team.
- 28 „Viele junge Leute haben kaum Ahnung von
Ernährung“**
Prof. Hans Hauner gibt Ratschläge für eine gesunde
Ernährung in jedem Lebensalter.

- 34 Mikrobiom – das geheimnisvolle Ökosystem
in unserem Bauch**
Bakterien spielen eine große Rolle bei der Gesund-
heit unseres Darms, Prof. Dirk Haller erforscht sie.
- 44 Der Darm hat sein eigenes „Gehirn“**
Prof. Michael Schemann sucht nach nerven-
bedingten Ursachen für Darmkrankheiten.
- 50 Schlank durch Fett?**
Braunes Fettgewebe erzeugt Wärme und sorgt für
ein Sättigungsgefühl. Kann man das für eine
Schlankheitspille nutzen?
- 58 Brot aus dem Drucker**
Was beim Backen vor sich geht, erforschen jetzt
Weihenstephaner Forscher im Detail.

Seite 70

Intelligente Pflanzenzüchtung:

Die Suche nach der Nadel im Heuhaufen



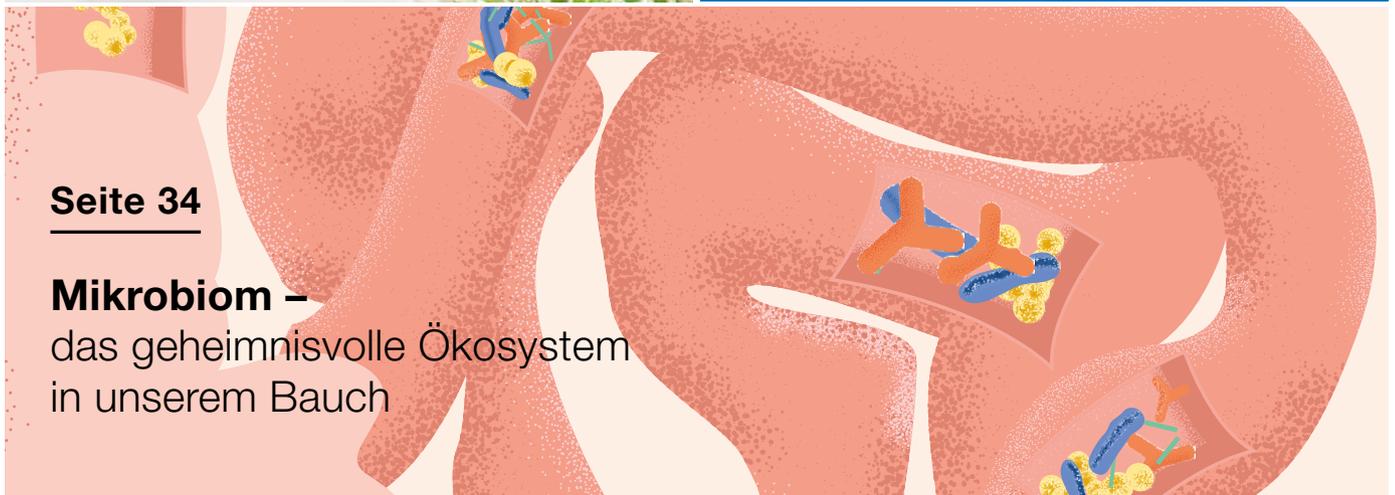
Seite 96

Auf dem Weg zur **Brautarkie**



Seite 34

Mikrobiom –
das geheimnisvolle Ökosystem
in unserem Bauch



62 Äpfel essen ohne Reue

Für viele Allergiker sind Äpfel verboten. Nun versucht man, das wichtigste Allergen in neuen Apfelmischungen zu vermeiden.

70 Intelligente Pflanzenzüchtung: Die Suche nach der Nadel im Heuhaufen

Methoden der Künstlichen Intelligenz helfen bei der Entwicklung widerstandsfähiger Getreidesorten.

78 Schutz des Grundwassers ohne Ertragseinbußen

Eine neu entwickelte App soll Landwirten künftig helfen, mit weniger Dünger und Gülle auszukommen und so das Grundwasser zu schonen.

88 „Vertical Farming ist ein Kind der Hightechwelt des Silicon Valley“

Interview mit der Sozialwissenschaftlerin Dr. Mascha Gugganig.

94 Multifunktionale Fassaden: Lichtinszenierung und Lebensmittelproduktion

Neue Wege für die Versorgung der Stadtbewohner mit Salat und Gemüse.

96 Auf dem Weg zur Brautarkie

Dr. Karl Glas konstruierte eine mikrobielle Brennstoffzelle zur Abwasserbehandlung in Brauereien bei gleichzeitiger Erzeugung von Strom.

In jeder Ausgabe

03 Editorial

106 Autoren

106 Impressum

E

Hier finden Sie die englische Ausgabe als PDF:

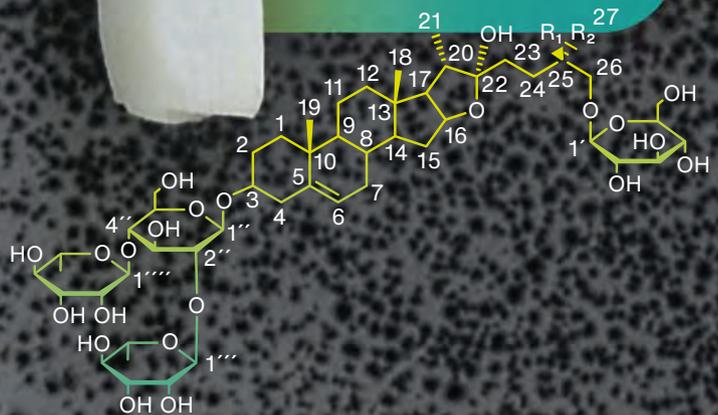
www.tum.de/faszination-forschung

Link

www.molekulare-sensorik.de

Bitter 
Adstringierend 
Buttrig-belegend 

Spargel enthält rund 80.000 Inhaltsstoffe, sechs davon sind bitter. Prof. Corinna Dawid hat sie ausfindig gemacht und ihre chemische Struktur ermittelt (links unten ein Beispiel). Andere Inhaltsstoffe verursachen einen adstringierenden oder – besonders an den Spargelspitzen – einen buttrigen Geschmack.



Bildquelle, Grafik: edlundsepp (Quelle: TUM)

Das Kaleidoskop des guten Geschmacks

Manche Lebensmittel enthalten mehrere Dutzend chemische Stoffe, die ihren Geschmack bestimmen. Sie voneinander zu trennen und zu identifizieren ist eine Sisyphusarbeit, der sich das Team um die Lebensmittelchemikerin Prof. Corinna Dawid verschrieben hat. Die Forscherinnen und Forscher arbeiten dabei mit einer Mischung aus Messgeräten und menschlichen Zungen.



Die menschliche Wahrnehmung ist letztlich entscheidend: Geschulte Testpersonen wie die Doktorandin Sabrina Schalk verkosten wässrige Lösungen der Geschmacksstoffe in unterschiedlicher Konzentration (siehe rechts oben die vorbereiteten Reagenzgläser). So können sie die Verdünnung ermitteln, ab der ein Bitterstoff zu schmecken ist.

Die Klammer auf der Nase zwickt ein bisschen und lässt meine Stimme wie Donald Duck klingen. „Das muss sein“, entschuldigt sich Christoph Hald, „weil wir beim Geschmackstest mögliche Geruchsreize ausschalten wollen.“ Ort der Handlung ist eine Sensorik-Kabine im Institut für Lebensmittelchemie und Molekulare Sensorik am Wissenschaftszentrum Weihenstephan. Vor mir stehen zwei Reihen zu je acht Röhrchen. Sie sind mit Wasser gefüllt und sehen alle gleich aus, enthalten aber unterschiedliche Konzentrationen eines Bitterstoffs. „Die verkosten wir jetzt eine nach der anderen, von rechts nach links, von den niedrigen zu den höheren Konzentrationen. Mit der Pipette einfach einen Milliliter aufziehen, auf die Zunge träufeln, aber nicht schlucken, und dann ausspucken!“, erklärt der junge Wissenschaftler, der hier am Institut seine Doktorarbeit macht.

Gar nicht so einfach, doch nach ein paar Anläufen klappt es ganz gut. Meine Aufgabe besteht darin, jeweils zwei Flüssigkeiten zu vergleichen. Eine enthält den Bitterstoff, die andere nicht. Die Lösung kennt nur der Versuchsleiter. Die ersten drei Verdünnungsstufen schmecken alle gleich, nämlich nach nichts. Doch von der vierten Verdünnungsstufe an schmeckt jeweils eine der beiden Flüssigkeiten eindeutig bitter. Damit ist die Schwelle gefunden, ab der die Geschmacksrezeptoren den gelösten Bitterstoff gerade noch wahrnehmen können.

Was Christoph Hald mir eben beigebracht hat, ist für ihn selbst Routine – ebenso wie für seine rund 40 Kolleginnen und Kollegen, die als (Gast-)Wissenschaftler oder Doktoranden am Lehrstuhl für Lebensmittelchemie und Molekulare Sensorik den Geschmack von Nahrungs- und Genussmitteln erforschen. Die Übung ist fester Bestandteil eines

cleveren Forschungskonzepts namens Sensomics. Von Münchner Lebensmittelchemikern entwickelt, wird es heute von Forschern und Lebensmittelherstellern in aller Welt angewendet. Das Besondere daran: Es kombiniert präzise Analysen durch hochauflösende Messgeräte mit dem Geschmacksurteil menschlicher Testpersonen. So lassen sich unter den Zigtausenden von Substanzen in Rotwein, Kaffee, Brot oder Käse jene Stoffe identifizieren, die den jeweiligen Geschmack dieser Lebens- und Genussmittel ausmachen. Oder störende Geschmacksnoten aufspüren, die ansonsten hochwertige Speisen ungenießbar machen.

Bitter ist ein Warnsignal

„Wenn etwas zu bitter schmeckt, sind wir alarmiert und essen das lieber nicht. Denn unser Körper hat seit Urzeiten gelernt, dass bittere Pflanzen oft giftig sind. Schließlich will die Pflanze damit Fressfeinde abwehren und kann so auch unserer Gesundheit schaden“, erklärt Prof. Corinna Dawid, einst Doktorandin und heute kommissarische Nachfolgerin von Prof. Thomas Hofmann am Lehrstuhl für Lebensmittelchemie und Molekulare Sensorik. Ausnahmen bestätigen die Regel, so die Wissenschaftlerin: „Nicht jeder pflanzliche Bitterstoff ist in den Konzentrationen, die wir aufnehmen, giftig, und Genussmittel wie Kaffee und Bier oder Grapefruit und Radicchio schätzen wir ja gerade wegen ihrer bitteren Note.“ In vielen Produkten ist ein bitterer Beigeschmack jedoch unakzeptabel – zum Beispiel in Backwaren, pflanz-



lichen Brotaufstrichen und Wurstanaloga oder gar in Milchersatzprodukten. Diese und viele weitere Lebensmittel ließen sich mit wertvollen pflanzlichen Proteinen aus Hülsenfrüchten, Kartoffeln oder Getreide anreichern – wenn da nicht dieser störende Bittergeschmack wäre. So fallen heute große Mengen von nahrhaften Pflanzenproteinen als „Nebenstromprodukte“ an, das heißt, als Restprodukte bestimmter Herstellungsprozesse, die nicht für die menschliche Ernährung genutzt werden können. Stattdessen werden sie in geringen Konzentrationen dem Tierfutter beigemischt oder dienen zur Erzeugung von Biogas. ▶

Die Beleuchtung der Testkabinen wird so eingestellt, dass die Testperson nicht anhand der Farbe Rückschlüsse auf den Geschmack der Lösung ziehen kann.





Um tierische Proteine herzustellen, wird sechsmal so viel landwirtschaftliche Fläche benötigt wie für pflanzliche Proteine.

6x

Der Kampf gegen die Bitterkeit

Beispiel Raps: Um aus den Früchten das begehrte Speiseöl zu gewinnen, werden die reifen Samen gepresst. Übrig bleibt der Rapskuchen, der zu 30 bis 40 Prozent aus Eiweiß besteht. „Rapsprotein hat in Kombination mit anderen pflanzlichen Proteinen eine für die menschliche Ernährung ideale Aminosäuren-Zusammensetzung. Dazu kommt, dass seine Erzeugung nachhaltig ist und keine zusätzlichen Agrarflächen benötigt werden, weil die Pflanze ja ohnehin zur Ölproduktion angebaut wird. Deshalb sollten wir diese Proteinquelle unbedingt nutzen“, fordert Dawid. Tatsächlich wird heute weltweit mehr als sechsmal mehr Fläche als Weideland und zum Anbau von Viehfutter beansprucht als für die Erzeugung von Getreide, Obst und Gemüse. Die massenhafte Haltung von Nutztieren verschärft den Kampf

um das begrenzte Ackerland auf unserem Planeten, und ihre Ausdünstungen tragen zum weiteren Anstieg klimaschädlicher Gase bei. Vor diesem Hintergrund scheint es dringend geboten, mehr pflanzliche Eiweißquellen für die menschliche Ernährung zu erschließen.

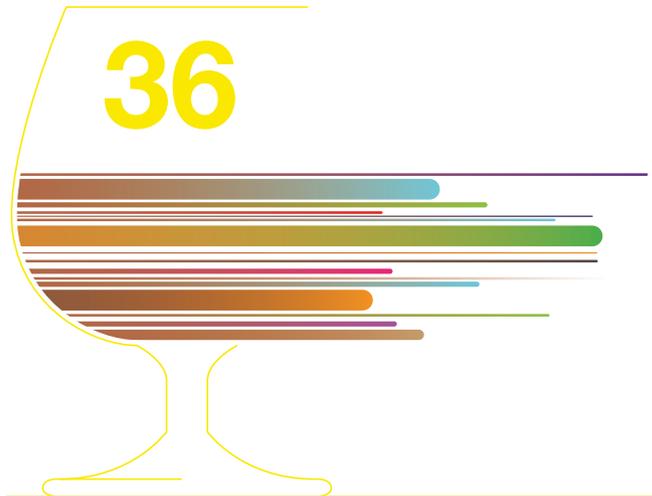
Auch als Quelle für hochwertige Ballaststoffe könnten künftig Nebenstromprodukte der Getreide und Kartoffelverarbeitung wie beispielsweise Spelzen und Schalen dienen. Allerdings stellt sich hier das gleiche Problem wie beim Raps: Den aufgereinigten Hafer-, Weizen- und Kartoffelballaststoffen haften Bitterstoffe an, die sich als Geschmacksverderber erweisen. „Mit unserem Sensomics-Konzept haben wir inzwischen herausgefunden, um welche Substanzen es sich handelt. Anders als beim Rapsprotein haben wir es jeweils mit einem ganzen Blumenstrauß an verschiedenen Bitterstoffen zu tun. Jetzt suchen wir nach Möglichkeiten, sie abzureichern und damit die Ballaststoffe genießbar zu machen“, sagt Dawid. Falls das gelingen sollte, könnten die neuen Pflanzenfasern eines Tages durchaus in Pizza und Burger Verwendung finden und deren Verzehr gesünder machen (siehe dazu auch den Beitrag ab Seite 20).



36

Das Sensomics-Konzept

Nebenstromprodukte wie Raps-, Erbsen- oder Kartoffelproteine könnten dabei eine bedeutende Rolle spielen. Um ihren bitteren Geschmack zu entfernen oder zu kaschieren, muss man zunächst einmal wissen, von welchen Substanzen er verursacht wird. Hald hat den Hauptbitterstoff im Raps gefunden – mit viel Fleiß und einer guten Portion Glück. Denn wie sich zeigte, stammt er von einer einzigen Substanz namens Kaempferol-3-O(2''-O-sinapoyl-β-sophorosid). Entdeckt und identifiziert hat der Doktorand die Verbindung mithilfe des Sensomics-Konzepts. Das Grundprinzip erklärt er so: „Zuerst wird das Rapsprotein gereinigt und mit verschiedenen Lösungsmitteln in mehrere Fraktionen – also Untergruppen gemäß ihrer Löslichkeit – aufgeteilt. Danach werden die Lösungsmittel entfernt, durch Wasser ersetzt und in der Sensorik-Kabine von geschulten Testpersonen verkostet. So finden wir die Gruppen, in denen sich der oder die Bitterstoffe befinden. Und die analysieren wir dann weiter.“ Mit immer feineren Methoden werden die bitter schmeckenden Fraktionen weiter aufgetrennt, gereinigt und erneut verkostet, bis schließlich nur jene Extrakte übrig bleiben, die die gesuchten Stoffe enthalten. „In meinem Fall war am Ende nur noch eine Fraktion übrig. Das war Zufall, denn in anderen Lebensmitteln wird der Bittergeschmack durch eine Vielzahl von Inhaltsstoffen verursacht.“

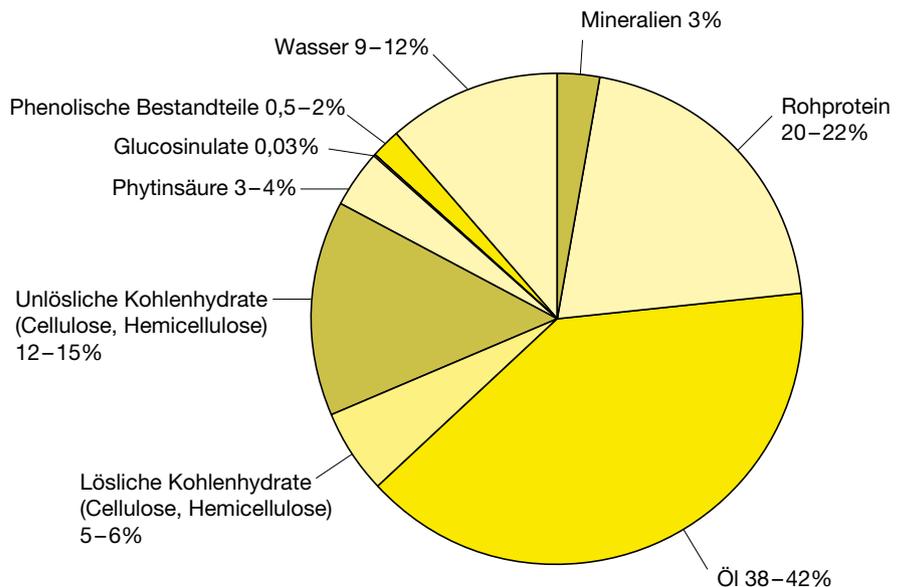


Vom Riechen und Schmecken

Zum Genuss von Lebensmitteln und Getränken tragen Geruch und Geschmack gleichermaßen bei. Die Aromastoffe steigen uns in die Nase, die löslichen Komponenten stimulieren die unterschiedlichen Rezeptoren im Mundraum. Nach dem ersten Bissen oder Schluck können weitere Geruchsstoffe entstehen, steigen über den Gaumen hoch und runden den Gesamteindruck ab. Meist genügen wenige Verbindungen in den richtigen Mengenverhältnissen, um einen unverwechselbaren Geruch zu erzeugen: Buttermilch erkennen wir an lediglich drei Aromastoffen, Ananas- oder Erdbeersaft benötigt neun respektive zehn und Bier bis zu 20 Verbindungen. Komplexere Gemische stecken hinter den Gerüchen von Getränken und Spirituosen: Bier enthält 17 – 20 geruchsaktive Substanzen, der Saft von Orangen oder Grapefruit 22 respektive 24. Komplexere Düfte verströmen Kaffee, Rotwein und Bourbon-Whisky mit 24 bis 27 Aromen. Unübertroffene Champions sind Cognac und Brandies mit charakteristischen Bouquets aus 36 verschiedenen Komponenten.

Bildquellen: Wolfgang Fliser, Grafik: edlundsepp (Quelle: www.depositionce.tu-berlin.de/bitstream/11303/680/1/Dokument_40.pdf)

Frisch geerntete Rapssamen bestehen zu einem Fünftel aus hochwertigem Protein. Nachdem das Öl herausgepresst wurde, beträgt der Eiweißanteil im getrockneten Rapskuchen bis zu 40 Prozent.



Teamwork zwischen Mensch und Maschine: Das Sensomics-Konzept

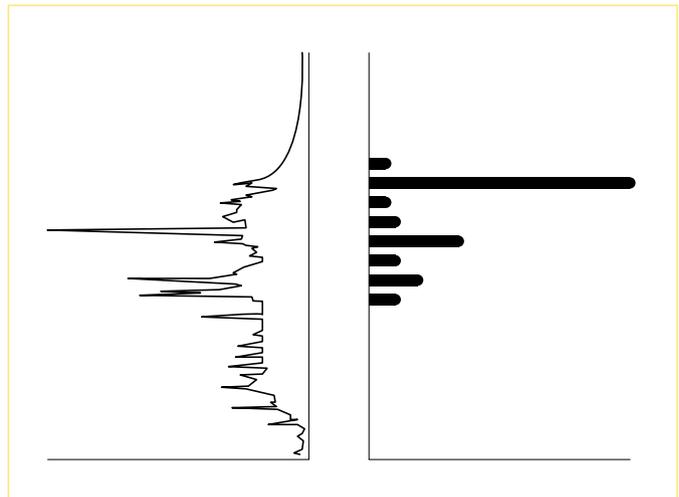
1



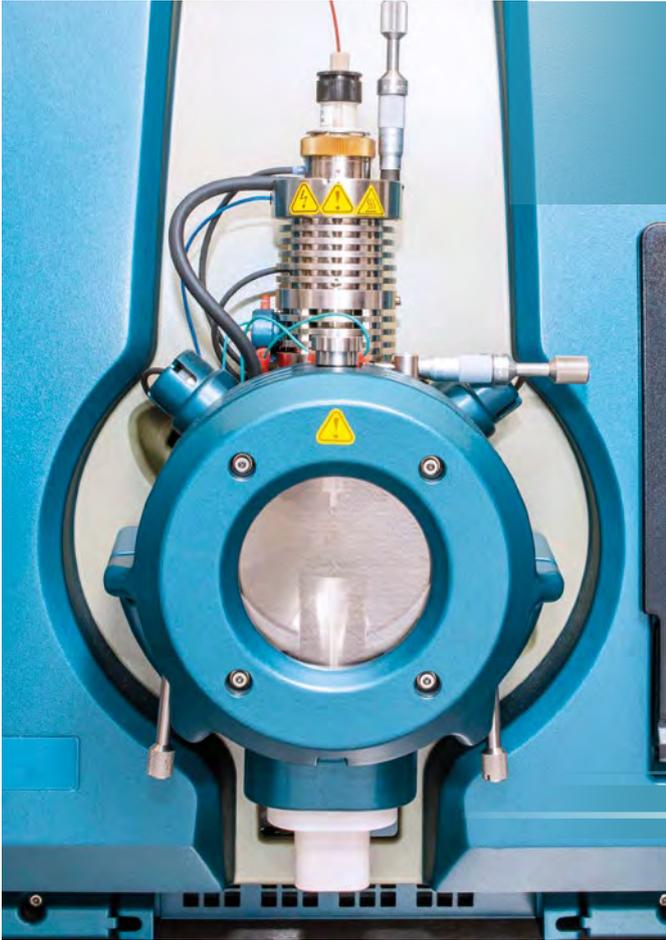
Aktivität-orientierte Fraktionierung

Eine Lebensmittelprobe wird mittels unterschiedlicher Lösungsmittel in zahlreiche Fraktionen aufgeteilt. Jede Fraktion wird durch hochauflösende Analysegeräte weiterbehandelt, bis sämtliche Inhaltsstoffe voneinander separiert sind: Jeder Peak in der Kurve rechts kennzeichnet eine Einzelsubstanz.

Parallel dazu wird jede Fraktion von geschulten Testpersonen verkostet, um die geschmacksaktiven Bestandteile aufzuspüren. Je höher der Balken, desto potenter ist der Geschmacksstoff (die Balken rechts). Von den oft zigtausend Verbindungen eines Lebensmittels sind typischerweise nur einige wenige für den Geschmack wesentlich.

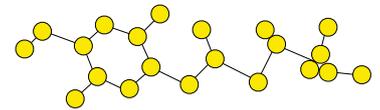
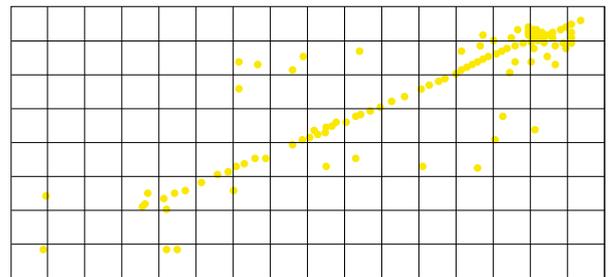


2



Strukturaufklärung

Nun gilt es, sämtliche Einzelverbindungen, die von menschlichen Testpersonen geschmeckt wurden, zu identifizieren. Dazu werden im Massenspektrometer (links) die Atomgewichte ermittelt und im Kernspinresonanzspektrometer (unten) deren räumliche Anordnung bestimmt.



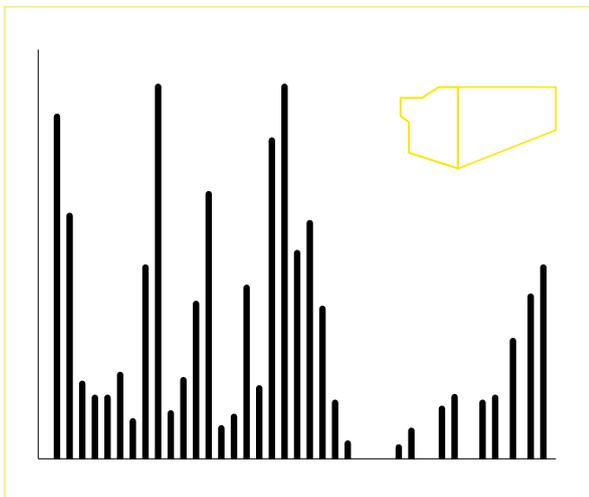
3.



Christoph Hald an einer Reihe von Geräten, die das Lösungsmittel aus den Geschmacksstoffen verdampfen. Es wird dann durch Wasser ersetzt.

Quantitative Analytik

Wenn sämtliche geschmacksaktiven Komponenten identifiziert sind, müssen ihre natürlichen Konzentrationen und Mengenverhältnisse im Lebensmittel bestimmt werden. Diese Quantifizierung geschieht in der Regel maschinell und erfordert äußerst präzises Arbeiten.

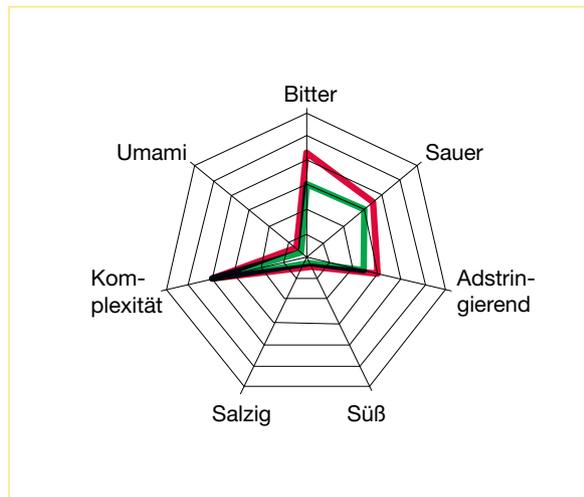


Rekombinationsexperimente

Zuletzt werden sämtliche geschmacksaktiven Bestandteile, jeweils in ihren natürlichen Mengenverhältnissen, zusammengefügt. Dieses Rekombinat sollte nun exakt dieselben Geschmackqualitäten aufweisen wie das echte Lebensmittel. Wenn die Testpersonen keinen Unterschied zwischen Rekombinat und Original feststellen können, ist der Coup geglückt. Falls doch, geht die Suche nach eventuell noch fehlenden Substanzen oder einer etwas abweichenden Mengenzusammensetzung in die nächste Runde.



4.



Bei zu unterschiedlichen Ergebnissen erneuter Testlauf



Erfolgreiches Rekombinat

Messgeräte wie Massenspektrometer und Hochleistungsflüssigkeitschromatographen stehen den Mitarbeitern des Lehrstuhls für Lebensmittelchemie und Molekulare Sensorik zur quantitativen Analytik zur Verfügung.



Das Prinzip des Sensomics-Konzepts klingt simpel. Doch seine Anwendung erfordert einen immensen Aufwand an Messtechnik. Entsprechend beeindruckend ist die Geräteausstattung in den Laborräumen des Lehrstuhls, die sich auf drei Stockwerke verteilen: Diverse Chromatographie-Anlagen können kleinste Mengen einer Lebensmittelprobe vollautomatisch in ihre Komponenten auftrennen. Hochauflösende Massenspektrometer geben Auskunft über die Molekulargewichte unbekannter Verbindungen. Und um die räumliche Struktur von Substanzen aufzuklären, stehen am Zentrum für Lebensmittelchemie drei Kernspinresonanz-Spektrometer mit 400, 500 und 600 Megahertz Leistung parat. „Das sind echte High-End-Geräte“, schwärmt Dawid. Mit diesen Messgeräten lassen sich auch wissenschaftliche Fragen jenseits des Geschmacks untersuchen,

so die kommissarische Lehrstuhlleiterin: „Wir interessieren uns für den Stoffwechsel und wollen wissen: Was passiert mit einem Lebensmittel in unserem Körper? Wie viel davon kommt in der Leber an, wie viel wird im Urin ausgeschieden? Oder wir messen zusammen mit Biologen Phytohormone und andere Pflanzenstoffe. Uns interessiert zum Beispiel, welche wertgebenden Lebensmittelinhaltsstoffe durch abiotischen und biotischen Stress neu gebildet oder in ihren Konzentrationen beeinflusst werden. Die Anwendungen sind fast unbegrenzt.“

„Die Erzeugung von Rapsprotein benötigt keine zusätzlichen Agrarflächen.“

Corinna Dawid

Wie lässt sich der bittere Geschmack aus dem Rapsprotein tilgen?



Option Nummer 1

Man sucht nach Bitterblockern, die den Bittergeschmack kaschieren und damit unsere Sinneszellen auf der Zunge quasi überlisten.

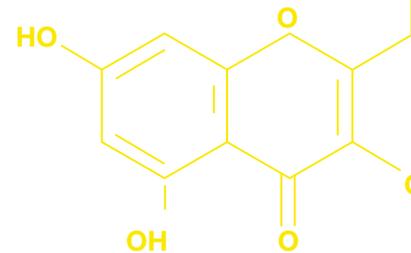


Option Nummer 2

Auch der technische Prozess der Proteingewinnung bietet Möglichkeiten, das Kaempferol 3-O-(2''-O-sinapoyl-β-sophorosid) ganz oder teilweise zu entfernen. Entscheidend ist, dass der Bitterstoff im Endprodukt in Konzentrationen vorliegt, die unterhalb der vom Menschen noch wahrnehmbaren Geschmacksschwelle liegt.

Raps ohne Bitterstoffe?

Und wie geht es mit dem Rapsprotein weiter, nachdem nun der Bitterstoff identifiziert ist? „Es gibt zwei Möglichkeiten, den bitteren Geschmack loszuwerden. Zum einen suchen wir nach Rapslinien, die weniger oder gar kein Kaempferol-Derivat enthalten. Dazu arbeiten wir derzeit im Rahmen eines vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Programms mit Genetikern und Züchtungsforschern in Göttingen, Gießen und Bielefeld zusammen. Zum anderen versuchen wir in Kooperation mit einem Industriepartner in Magdeburg den Bitterstoff beim technologischen Prozess der Proteingewinnung zu entfernen. In beiden Fällen müssen wir die Konzentration des Kaempferol-Derivates exakt bestimmen können“, so Dawid. Diese Aufgabe meistern die hochauflösenden Analysegeräte perfekt. Doch selbst die besten Messgeräte haben einen Makel: Sie können nicht schmecken. Und so können sie auch nicht beurteilen, welche der gemessenen



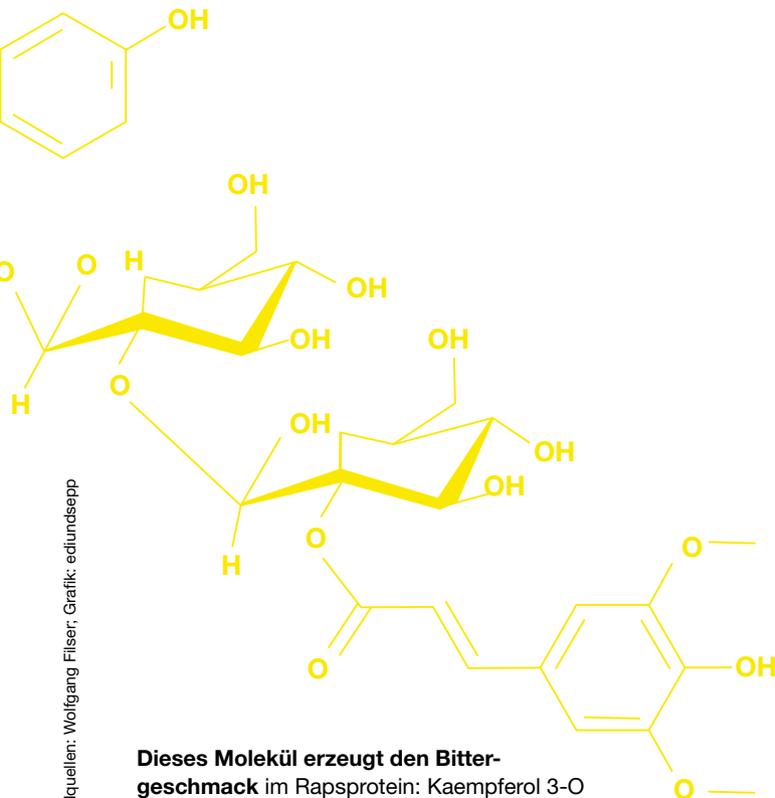
Konzentrationen für uns Menschen relevant sind. Diesen alles entscheidenden Job machen nach wie vor die Geschmackstester in der Sensorik-Kabine: von rechts nach links, von den niedrigen zu den höheren Konzentrationen. Mit der Pipette einen Milliliter auf die Zunge träufeln, aber nicht schlucken, und dann ausspucken.

■ Monika Offenberger



Option Nummer 3

Pflanzenzüchter suchen gemeinsam mit Genetikern nach Rapspflanzen, die natürlicherweise weniger oder gar kein Kaempferol 3-O(2''-O-sinapoyl-β-sophorosid) herstellen. Dazu werden hunderte unterschiedlicher Rapslinien ausgepflanzt und auf ihren Gehalt an Bitterstoffen getestet. Vielversprechende Linien können in Eliterassen eingekreuzt werden.



Dieses Molekül erzeugt den Bittergeschmack im Rapsprotein: Kaempferol 3-O(2''-O-sinapoyl-β-sophorosid)

Bildquellen: Wolfgang Filser; Grafik: edlundsepp



Prof. Corinna Dawid

Nach dem Studium der Lebensmittelchemie an der Universität Münster begann Dawid noch in Münster eine Promotion bei Prof. Thomas Hofmann. 2007 folgte sie ihrem Doktorvater an das Wissenschaftszentrum Weihenstephan der TUM. Während eines Forschungsaufenthalts an der University of Bangkok wirkte sie dort maßgeblich am Aufbau des Instituts für Molekulare Sensorik mit. Zurück in München begann sie ihre Habilitation mit Studien zur Stressresistenz bei Pflanzen. Nach der Ernennung von Hofmann zum TU-Präsidenten übernahm Dawid die kommissarische Leitung des Lehrstuhls für Lebensmittelchemie und Molekulare Sensorik. Seither konzentrieren sich ihre Forschungsarbeiten wieder verstärkt auf die Geschmacks- und Aromaforschung.

Abwechslung für Wassertrinker

Das Münchner Unternehmen air up bringt Geschmack ins Wasser – ohne ihm wirklich etwas beizumischen. Die Gründer haben eine Flasche mit Aromaring entwickelt, die Duft so in den Mund leitet, dass das Gehirn einen Geschmack empfindet, obwohl nur Wasser getrunken wird.

„Wir wissen aus der Ernährungswissenschaft, dass Wasser ein sehr gesundes Getränk ist. Aber auf Dauer schmeckt es langweilig,“ sagt Gründer Fabian Schlang, der an der TUM Ernährungswissenschaften und Lebensmitteltechnologie studiert hat. Es gibt aromatisiertes Wasser, aber das enthält fast immer Zucker oder Süßstoff. „Mit der von uns entwickelten Flasche dagegen trinkt man pures Wasser und hat trotzdem ein Geschmackserlebnis.“ Das Start-up will Wassertrinkern eine gesunde und unkomplizierte Abwechslung bieten und Soft- oder Softdrink-Trinkern den Umstieg auf Wasser leichter machen.

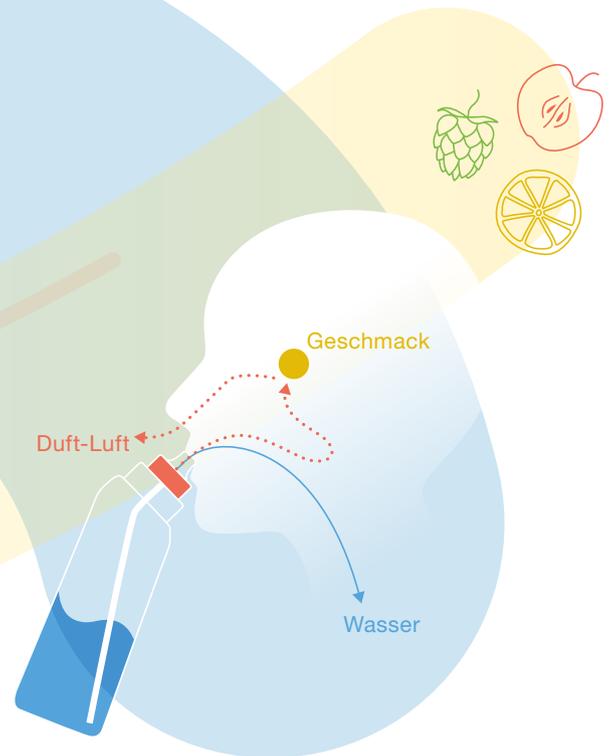
Die Flasche hat einen strohhalmähnlichen Trinkstutzen, auf den man einen Aromaring aufsteckt. Eingefüllt wird Leitungswasser, pur oder gesprudelt. Fünf Aromen gibt es bisher, vom klassischen Apfel bis hin zu Zitrone-Hopfen. Der Ring rastet in zwei Positionen ein und lässt sich an- oder abschalten, je nachdem, ob man Lust auf pures Wasser oder auf Geschmack hat.

Retronasale Aromawahrnehmung nennt sich der Vorgang, der hinter dem Produkt steckt. Menschen nehmen Geruch direkt durch die Nase wahr, Duft kann aber auch den Umweg über den Rachen nehmen, etwa als Aroma von Essen. Weil Duft im Mund normalerweise mit Nahrung zusammenhängt, nimmt das Gehirn ihn als Geschmack wahr, auch wenn es sich nur um Duft mit Wasser handelt.

„Es war eine Art Grundlagenforschung für ein retronasales Trinksystem.“

Fabian Schlang, air up-Gründer

Die von air up entwickelte Trinkflasche versetzt Wasser beim Ansaugen mit aromatisierter Luft aus einem Dufring. So entsteht für den Verbraucher der Eindruck, als ob er aromatisiertes Wasser trinkt, denn der Duft erzeugt im Gehirn dieses Geschmackserlebnis.



Durch Zufall stießen die Produktdesign-Studenten Lena Jüngst und Tim Jäger von der Hochschule für Gestaltung Schwäbisch Gmünd auf dieses Thema und fragten sich: Wie könnte man Duft gezielt in den Mund leiten, um ein Geschmackserlebnis zu erzeugen? Es entstand der Prototyp einer Flasche, die Wasser mit aromatisierter Luft versetzt. Über Freunde kam der Kontakt zu Fabian Schlang zustande, der nach einem Thema für seine Masterarbeit suchte. Der gelernte Koch fing sofort Feuer. Es stellten sich viele Fragen: Wie trinken Menschen eigentlich? Wie bekommt man für große und kleine Schlucke ein gutes Geschmackserlebnis hin? Wie sieht das ideale Trägermaterial für das Aroma aus und wie das beste Design für den Aromaring? Und wie misst man Aroma überhaupt? „Es war eine Art Grundlagenforschung für ein retronasales Trinksystem,“ erinnert sich Schlang. Begeisterung klingt durch, wenn er erzählt, wie sehr er davon profitierte, dass es an der TUM für praktisch jede Frage jemanden gibt, der sich auskennt, einem ein Gerät leiht oder anderweitig weiterhilft. Viel Aufwand steckt im Flaschendesign. Es muss sicherstellen, dass beim Trinken exakt die richtige Menge Luft angesaugt wird, durch den Aromaring strömt und mit dem Wasser verwirbelt. Und trotz ausgeklügelter Form muss das ganze System beim Reinigen einwandfrei hygienisch sauber werden.

Grafiken: edlundsepp (Quelle: air up)

Zu dem Dreierteam stießen Jannis Koppitz und Simon Nüesch, beide TUM-BWL Alumni. Über die UnternehmertUM bekamen die Gründer Zugang zum EU-Förderprogramm Climate-KIC. Es folgte ein Exist-Gründerstipendium und der Einzug in das TUM Entrepreneurship Center in Garching. „Der Kontakt zu anderen Start-ups, das TUM Netzwerk und der Maker Space haben uns schnell weitergebracht,“ erinnert sich Schlang. Investoren stiegen ein und vermittelten Produktionsbetriebe. Mittlerweile hat air up ein eigenes Büro bezogen und ist – Stand Sommer 2019 – auf 15 Kollegen angewachsen. Neue Aromen sind in Arbeit und weitere Flaschendesigns – auch Glas – in der Überlegung. Seit Juli 2019 – nur drei Jahre nach der Gründung – ist das Produkt am Markt und online sowie in Supermärkten und Sportgeschäften erhältlich. Offensichtlich hat air up einen Nerv getroffen: Nur wenige Tage nach Verkaufsstart waren viele Händler ausverkauft. ■

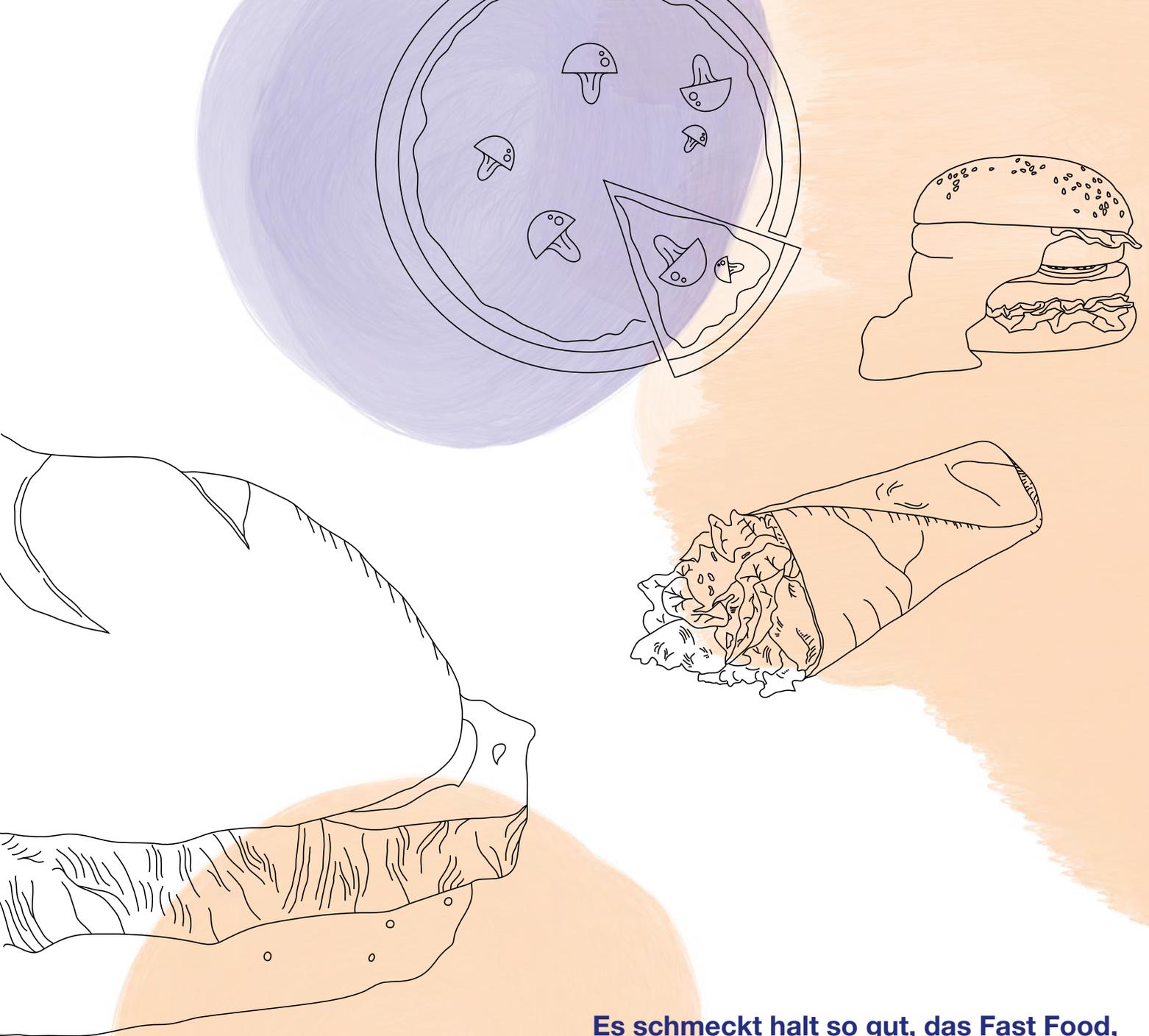
Christine Rüth

Link

www.enable-cluster.de/en/forschung



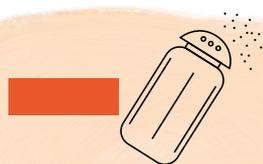
Leberkäs- semmel – *aber bitte gesund!*



Es schmeckt halt so gut, das Fast Food, sei es nun ein Hamburger, ein Döner oder eine Fertigpizza. Aber sein reichlicher Genuss macht uns krank. Dass man jedoch auch Convenience Food, wie der Fachmann das vorgefertigte Essen nennt, gesünder machen kann, zeigen TUM-Ernährungsmediziner Prof. Hans Hauner und sein Team am Beispiel der lokalen Münchner Hamburger-Variante: der Leberkäsesemmel.

Schlechtes Essen macht krank, sogar todkrank: Jeder fünfte Weltbürger stirbt an den Folgen falscher Ernährung. Prof. Hans Hauner wirbt seit mehr als 30 Jahren dafür, dass die Menschen ihre Ernährung umstellen – doch bisher ist viel zu wenig passiert. Immer noch sind rund 20 Prozent der Todesfälle weltweit auf eine unausgewogene Ernährung zurückzuführen, resümierten 2019 die Autoren einer Forschungsarbeit in der medizinischen Fachzeitschrift Lancet. Zu viel Salz und zu wenig Vollkornprodukte, Obst und Gemüse können zu Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Diabetes und Krebs führen, an denen elf Millionen Menschen jährlich sterben.

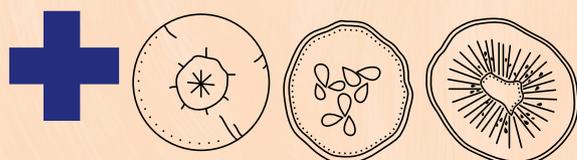
Hauner, Direktor des Else Kröner-Fresenius-Zentrums für Ernährungsmedizin an der TUM, untersucht schon sein ganzes Berufsleben lang die Folgen von Ernährung auf die Gesundheit und behandelt und berät vor allem Patienten mit starkem Übergewicht und Diabetes (*Anmeldung zur Sprechstunde unter 089 28924921*). Und er wirbt in zahlreichen Medienbeiträgen dafür, dass die Menschen gesünder essen, zum Beispiel mehr Ballaststoffe. Denn diese haben es in sich: Sie senken Blutzucker und Cholesterin und fördern die Verdauung sowie das Sättigungsgefühl. So beugen sie Arterienverkalkung vor, mindern das Risiko für Dickdarmkrebs und wirken starkem Übergewicht, der sogenannten Adipositas, entgegen. Unsere Urgroßeltern verzehrten noch 60 bis 100 Gramm Ballaststoffe pro Tag. 30 Gramm sollten es heute wenigstens sein, empfiehlt die Deutsche Gesellschaft für Ernährung, doch nur rund 20 Gramm schaffen wir im Durchschnitt.



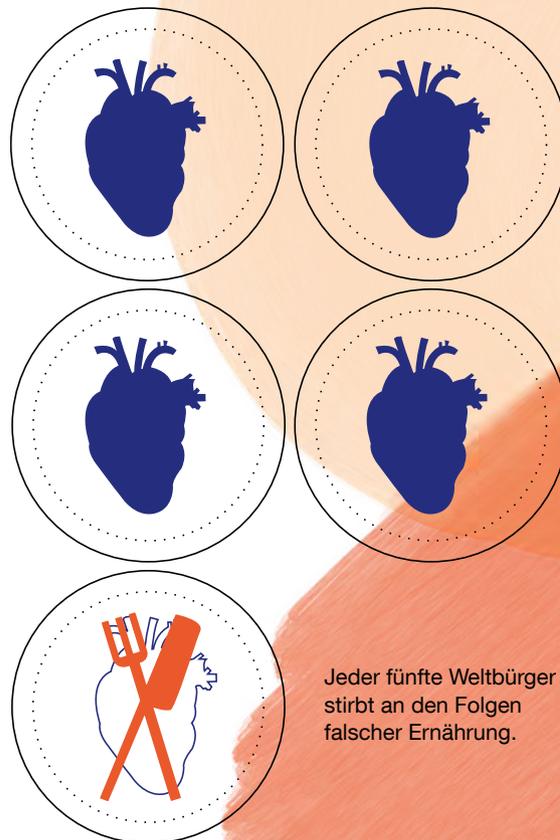
weniger Salz



mehr Vollkornprodukte



mehr Gemüse und Obst



Jeder fünfte Weltbürger stirbt an den Folgen falscher Ernährung.

Viel Vollkornbrot und Hülsenfrüchte wären da gut, denn sie sind besonders ballaststoffreich. Stattdessen essen wir jedoch lieber Hamburger, Fertigpizza und – in Bayern sehr beliebt – die Leberkäsemmel. Auf die Hand für zwischendurch, warm bitteschön, und in einer Weißbrot-Semmel natürlich.

„Die aber hat wenig Ballaststoffe“, weiß Hauner. „Das Brotkorn ist eigentlich sehr gut in seiner Zusammensetzung: Da ist nicht nur Stärke drin, sondern es enthält auch ein bisschen Fettsäuren, Eiweiß, viele Mikronährstoffe und reichlich Ballaststoffe. Das ist das, was der Mensch eben braucht für eine gesunde Ernährung.“ Durch den Ausmahlprozess und die weitere Verarbeitung in der Industrie gehe aber vieles verloren, weil man nur an der Stärke interessiert sei: „Wir verschlechtern die Qualität der eingesetzten Rohstoffe und erzeugen Produkte, die nicht mehr wirklich gesund sind.“ Und dann ist in der Semmel auch noch Leberkäse drin: „Für den nimmt man eher die Reste von der Schlachtung, viel Fett und Salz und Zusatzstoffe, damit das Ganze genießbar wird.“

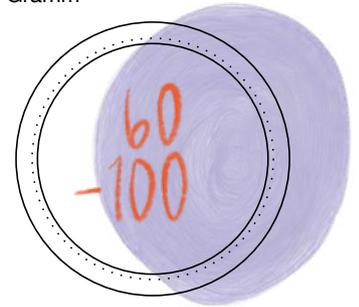
Schmecken tut's den Leuten trotzdem, und deshalb wird die Leberkässemel auch gerne gegessen, allen Ernährungsratschlägen zum Trotz. „Es fällt den Menschen schwer, von den alten Gewohnheiten wegzugehen“, sagt Hauner. „Ein paar schaffen es, aber die Masse ist da nicht erfolgreich.“ Dann eben, so Hauners Idee, müssen die Lebensmittel gesünder werden, die in Deutschland häufig und gerne verzehrt werden: Fast Food und Convenience Food, Essen also, dass industriell vorgefertigt ist und zum Verzehr praktisch nur noch aufgewärmt werden muss.

Unter diesem Leitgedanken gründete Hauner zusammen mit mehr als 20 Partnern den Forschungscluster „enable“, dessen Sprecher er ist und der im September 2018 in die zweite Förderrunde ging, als einer von vier Forschungsclustern, die mittlerweile die Ernährungsforschung in Deutschland prägen. Zusammen mit Epidemiologen, Geriatern, Neurowissenschaftlern, Lebensmittelchemikern, Informatikern und Konsumforschern sowie Industrieunternehmen untersucht Hauner die physiologischen Auswirkungen von Ernährung und insbesondere die Zusammenhänge mit Krankheiten wie Diabetes Typ 2 und Adipositas. Und wie man Lebensmittel besser machen kann, damit sie diesen ernährungsmitbedingten Krankheiten vorbeugen.

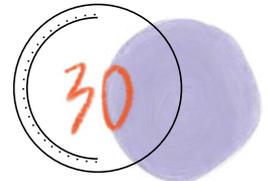
Eines der Projekte: Die gesündere Leberkässemel. Hierzu setzten die Wissenschaftler sowohl dem Brötchen wie auch dem Leberkäse Ballaststoffe zu, in letzteren kam weniger Salz hinein und mageres Fleisch. Das ergab 20 Gramm Ballaststoffe und 30 Prozent weniger Kalorien pro Portion. Geschmeckt hat die Leberkässemel immer noch, wie eine Blindverkostung mit 20 Teilnehmern ergab. Und dass sie trotz weniger Kalorien ebenso satt macht, zeigte die Auswertung von Sättigungsparametern. ▷

Tägliche Ballaststoffmenge in Gramm

vor zwei Generationen



empfohlene Menge in 2019

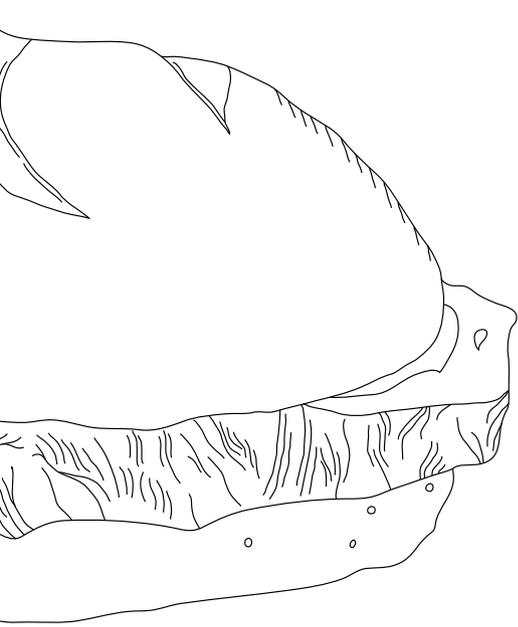


tatsächliche Menge in 2019



Was sind Ballaststoffe?

Es handelt sich dabei um weitgehend unverdauliche Nahrungsbestandteile, meist Kohlenhydrate, die vorwiegend in pflanzlichen Lebensmitteln vorkommen. Man findet sie vor allem in Getreide, Obst, Gemüse, Hülsenfrüchten sowie in geringen Mengen auch in der Milch. Man teilt die Ballaststoffe in wasserlösliche (wie Johannisbrotkernmehl, Guar, Pektin und Dextrine) und wasserunlösliche (zum Beispiel Cellulose) ein.



„Das ist für uns ein Beispiel, dass man auch beliebte Convenience-Produkte ohne Genusseinbußen gesünder machen kann“, ist Hauner zufrieden. Der nächste Schritt: Die Suche nach Metzgern, die die gesündere Leberkäsemmel in den Verkauf bringen. Ob das gesunde Fast Food trotz rund 10 Prozent höherer Zutatenkosten eine Chance auf dem Markt hat, wird sich zeigen. Hauners Probanden gaben jedenfalls an, sie würden die gesündere Leberkäsemmel gerne kaufen.

In einer weiteren Studie mit 120 Probanden erhielt die eine Hälfte der Teilnehmer über zwölf Wochen hinweg eine Reihe an ballaststoffangereicherten Lebensmitteln zur Auswahl, von Brötchen über Tütensuppen bis hin zu Wurst. Die andere Hälfte aß die gleichen Lebensmittel ohne Ballaststoffanreicherung. „Die Auswertung läuft noch“, berichtet Hauner, „aber auch hier sieht es so aus, als ob wir trotz des relativ kurzen Untersuchungszeitraums bereits Verbesserungen im Fett- und Zuckerhaushalt durch die Ballaststoffe beobachten können und die Teilnehmer diese Produkte akzeptieren.“

Die Probanden stammten aus einer Bevölkerungsstichprobe von insgesamt 500 Personen, die in der ersten enable-Phase rekrutiert und medizinisch charakterisiert wurden: Gewicht, Körperfett, Bauchumfang, Herz-Kreislauf-System, das Verhalten nach einem Zuckerbelastungstest, Geruchs- und Geschmackstests, Vorlieben für und Aversionen gegen Lebensmittel etc.

Diese 500 Menschen wollen Hauner und seine Partner nun über mehrere Jahre beobachten und zum Beispiel neue Ernährungskonzepte mit ihnen testen. Dabei soll auch die Wirkung verschiedener Ballaststoff-Fasertypen auf den Glukosestoffwechsel untersucht werden, um später optimale Produkte zur Vorbeugung etwa von Diabetes Typ 2 zu entwickeln.



30 Prozent weniger Kalorien



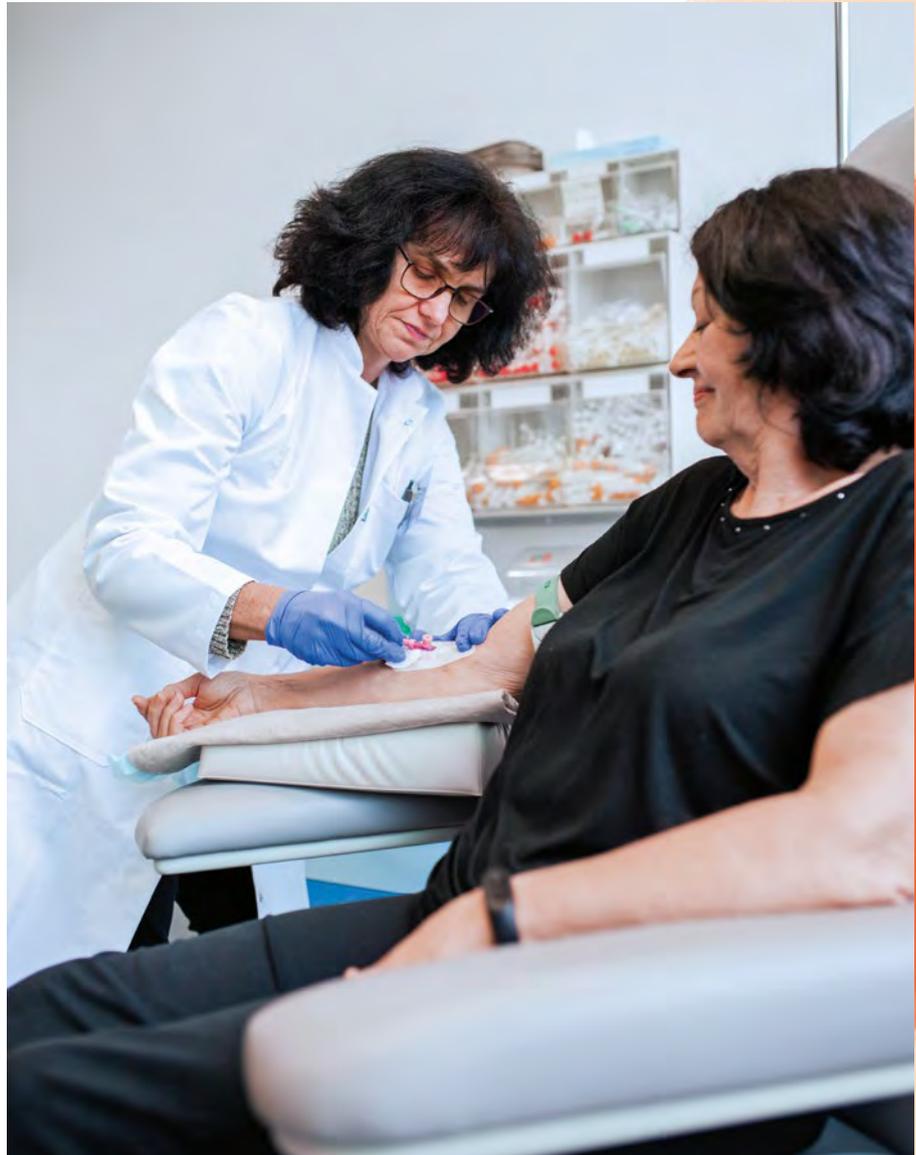
Hauner und sein Team führen Studien zum Einfluss des Ernährungsverhaltens durch. Hier seine Mitarbeiterin Dr. Christina Holzapfel bei einem Beratungsgespräch mit einer Teilnehmerin der LION-Studie.

Sehr sind die Forscher dabei an Sinneswahrnehmungen interessiert, denn Menschen wählen im Wesentlichen ihre Lebensmittel danach aus, wie sie schmecken, und nicht nach abstrakten Gesundheitswerten. Hauner erläutert: „Wenn einer keinen Fisch mag, kann ich ihn nicht dazu zwingen. Dann geht es darum: Was für eine gesunde Alternative kann ich ihm geben?“ Und an weniger Zucker oder Salz, so zeigen englische Studien, muss man die Menschen schrittweise gewöhnen. Hauner: „Ernährungsgewohnheiten entstehen über viele Jahre hinweg. Ich kann nicht erwarten, dass sich jemand drei Wochen lang anders ernährt und dann sagt: ‚Das ist toll, das behalte ich für den Rest meines Lebens bei.‘ Ich muss die Leute da abholen, wo sie sind, und ihnen dann auch schmackhafte Produkte anbieten können, mit denen sie sich besser ernähren können.“

Daher haben die Wissenschaftler 14 Partner aus der Ernährungsindustrie in den enable-Cluster eingebunden. Die stellen zum Beispiel kostenfrei Lebensmittel für Studien zur Verfügung und erhalten im Gegenzug die Studienergebnisse – in der Hoffnung, dass sie die Forderungen der Ernährungsmediziner besser verstehen. Denn als Unternehmen haben sie zunächst einmal den Umsatz im Blick und fürchten Vorschläge wie die Lebensmittelampel, bei der viele ihrer Produkte nicht gut abschneiden würden. Hauner hat jedoch auch Verständnis für die Firmen: „Einerseits werden sie kritisiert, dass sie so viel schlechte Qualität verkaufen. Andererseits sagen die Konsumenten zwar, sie möchten etwas Gesundes essen, sind aber nicht bereit, ein bisschen mehr dafür zu bezahlen.“

Ein weiteres Projekt, das insbesondere Übergewichtige anspricht, ist LION (www.enable-cluster.de/lion). Es steht für „Lebensstilintervention“ und hat ein erfolgreiches Gewichtsmanagement durch innovative Ansätze zum Ziel. Die Ernährungswissenschaftlerin Dr. Christina Holzapfel und ihr Team untersuchen dabei, wie der Stoffwechsel von Probanden auf verschiedene Mahlzeiten reagiert und wie er sich während der Gewichtsreduktion und -erhaltung verhält. Ihre Studienergebnisse tragen dazu bei, die Therapie von Übergewicht zu verbessern und zu personalisieren.

Welches Lebensmittel den Einzelnen besonders gefährdet (oder ihm nützt), ist gar nicht so einfach zu sagen: Unsere Nahrung besteht aus Tausenden von Inhaltsstoffen, die miteinander wechselwirken und von Mensch zu Mensch unterschiedlich aufgenommen und verstoffwechselt werden. Ob das Essen krank macht, bestimmen auch die Gene, die etwa bei Diabetes Typ 2 eine große Rolle spielen. Zwar ist Adipositas der Hauptrisikofaktor für Diabetes, die Zuckerkrankheit tritt aber nur bei jedem dritten Dicken auf. Den Rest machen die Gene aus. Hauner arbeitet mit Kollegen daran, herauszufinden, wie Ernährungskomponenten und Genveränderungen zusammenwirken und das Diabetesrisiko beeinflussen.





In verschiedenen Studien wird anhand der Körperwerte der Studienteilnehmer – zum Beispiel des Blutzuckers – getestet, wie deren Stoffwechsel auf verschiedene Mahlzeiten reagiert und wie er sich während der Gewichtsreduktion und -erhaltung verhält.

Der *enable*-Forschungscluster

Der *enable*-Forschungscluster („*enable* – healthy food choices in all stages of life“) ist einer von vier Forschungsverbänden in Deutschland, die sich der Ernährung widmen, und wird mit 11,6 Millionen Euro vom Bundesministerium für Bildung und Forschung unterstützt. Der Cluster entwickelt neue Wege, um die Bevölkerung in unterschiedlichen Lebensphasen gesünder zu ernähren, in Schwangerschaft und früher Kindheit, in der Jugend, im Erwachsenen- und im Seniorenalter.

www.enable-cluster.de

Das Zusammenspiel von komplexer Ernährung und Erbanlagen macht den Erkenntnisgewinn in der Ernährungsforschung mühsam, weiß Hauner. Zudem ändern zuweilen auch Menschen in Kontrollgruppen ihr Verhalten, wenn sie wissen, dass sie an einer Ernährungsstudie teilnehmen, und leben gesünder. Der Unterschied zwischen Interventions- und Kontrollgruppe kann so verwischt werden. Ein schwieriges Forschungsfeld in einer Wissenschaftswelt, die klare Erkenntnisse bevorzugt. Doch Hauner ist überzeugt: „Für die Gesellschaft ist wichtig, was wir hier tun. Unser Cluster und die drei weiteren Forschungscluster bestimmen jetzt die Ernährungsforschung im Land. Und wir hoffen, dass wir durch unsere Arbeit die Politik dazu bringen können, noch mehr zu investieren. Denn Fehlernährung ist wie gesagt der wichtigste Risikofaktor für chronische Krankheiten und die Krankheitslast der Bevölkerung in Deutschland.“

■ *Markus Bernards*

„Viele junge Leute haben kaum Ahnung von Ernährung.“

Wie kann man Menschen dazu bringen, sich gesünder zu ernähren? Der Ernährungsmediziner der TUM Prof. Hans Hauner und sein Team passen sich den Altersklassen an: Für Jugendliche setzen sie Social Media ein, für Erwachsene verbessern sie das Fast Food und bei Senioren sollen 3D-Drucker das Essen appetitlicher machen. Ein Gespräch über die Schwierigkeit, liebgewonnene Gewohnheiten zu durchbrechen.

Link

www.professoren.tum.de/hauner-hans



Essen mithilfe von 3D-Druckern attraktiver gestalten

Convenience Food gesünder machen

Senioren

Erwachsene

Schwangere

Jugendliche

direkte Auswirkungen auf den Nachwuchs

Community-Bewertungen via App



Herr Hauner, Sie werben – wie Ihre Kollegen – bei Ihren Patienten seit vielen Jahren dafür, dass sie sich besser ernähren, und sind auch in den Medien als Ernährungsexperte sehr präsent. Letztlich hat sich jedoch wenig geändert. Warum haben Sie in Ihrer großen Studie GeliS – Gesund leben in der Schwangerschaft – dennoch auf ein Beratungskonzept gesetzt?

Hans Hauner: Schwangere Frauen unterliegen einem besonderen Risiko von Überernährung. Knapp die Hälfte der Frauen in Deutschland nimmt während der Schwangerschaft mehr zu als empfohlen wird. Bei einer normalgewichtigen Frau sollten es 11 bis 16 Kilogramm sein. Eine höhere Gewichtszunahme vergrößert das Risiko von Schwangerschaftsdiabetes, Bluthochdruck und Geburtskomplikationen. In einer Vorstudie zu GeliS hatten wir einen deutlich positiven Effekt einer professionellen Lebensstilberatung festgestellt, solche Hinweise gab es auch in der Fachliteratur.

Aber Ihre Untersuchung mit rund 2.300 Teilnehmerinnen hat dann praktisch keine Wirkung der Lebensstilberatung gezeigt.

HH: Wir waren überrascht. Unsere vier Beratungseinheiten waren möglicherweise zu wenig. Der Hauptunterschied war aber, dass die Beratungen in normalen Frauenarztpraxen durchgeführt wurden, wo oft Zeit für ruhige Gespräche und Erfahrung mit Lebensstilberatung fehlt. Wir werten die Ergebnisse jetzt jedoch weiter aus und verfolgen Gewichtsentwicklung und Gesundheitszustand der Kinder bis zum Alter von fünf Jahren. Wir wollen herausfinden, wie sich Ernährung und Bewegung in der Schwangerschaft auf das Risiko der Kinder auswirkt, in jungen Jahren Übergewicht zu entwickeln. Und in der GeliS-Studie konnten wir feststellen, dass zumindest das Geburtsgewicht der Kinder geringfügig niedriger war, wenn die werdenden Mütter eine Lebensstilberatung erhalten hatten.

„Ernährungsgewohnheiten sind das Ergebnis eines sehr langen Lernprozesses und nicht leicht zu ändern.“

Hans Hauner



Auch Fortbildungen bietet Hauner an:

In der Lehrküche des Instituts können beispielsweise Studenten lernen, wie man gesundes und gutes Essen kochen kann.

Auch bei jungen Erwachsenen setzen Sie im enable-Cluster auf Beratung, obwohl sie nur geringe Erfolge verspricht - warum?

HH: Wir beraten nicht im klassischen Sinn in Form von Unterricht zu Ernährungsthemen. Damit würden wir die junge Generation nicht erreichen. Die 18- bis 25-Jährigen sind besonders gefährdet, wenn sie die Familie verlassen, wo vielleicht die Eltern noch darauf geachtet haben, dass sie etwas Vernünftiges essen. Viele haben kaum Ahnung von Ernährung und ernähren sich zu einem großen Teil von Pizza und Fast Food. Wir entwickeln gemeinsam mit unseren Informatikern Apps, wo wir über spielerische Ansätze unterbewusst vernünftige Ernährung transportieren können. Bei der App Appetite fotografieren die Nutzer das, was sie vor sich auf dem Teller liegen haben, und die anderen Nutzer bewerten dann, ob das gutes Essen ist oder nicht. Dabei deckt sich übrigens die Einschätzung der Crowd mit der von Ernährungsexperten, das haben wir getestet. Als Weiterentwicklung ist ein virtueller Ernährungsberater geplant, um den aktuellen Kontext der Nutzer einzubeziehen. Dabei wollen wir vor allem Indikatoren von Stress erfassen. Denn bei Stress achten wir ja meist besonders wenig auf unsere Ernährung. Außerdem überlegen wir, einen virtuellen Supermarkt anzubieten, in den wir typische Produkte hineinnehmen und spielerisch Ernährungsinformationen und Lebensmittelauswahl damit verbinden.



Junge Leute kann man mit der App Appetite begeistern: Nutzer fotografieren das, was sie vor sich auf dem Teller liegen haben. Die Community bewertet dann, ob das gutes Essen ist oder nicht.

Bei der Gruppe der älteren Erwachsenen verfolgen Sie dann ein anderes Konzept: Sie versuchen nicht, das Verhalten der Menschen zu verändern, sondern stattdessen die Lebensmittel.

HH: Ja, denn Ernährungsgewohnheiten sind das Ergebnis eines sehr langen Lernprozesses und nicht leicht zu ändern. Gleichzeitig haben wir im Alter von 40 bis 65 Jahren ein erhöhtes Risiko für Diabetes, Herz-Kreislauf-Krankheiten und bestimmte Krebskrankheiten, die durch die Ernährung stark beeinflusst werden. Daher haben wir in dieser Altersgruppe Studien gemacht, in denen wir verschiedenen Convenience-Food-Produkten wie Fertigpizza, Hamburgern und Leberkäseemeln Ballaststoffe zugesetzt und andere Komponenten verändert und somit den Gesundheitswert dieser Produkte verbessert haben. Wir konnten feststellen, dass die Menschen dies geschmacklich akzeptieren und dass gleichzeitig Blutwerte verbessert werden konnten.

Während immer mehr Menschen eher zu viel essen und daher zu dick werden, haben rund ein Drittel der sehr alten Menschen ein entgegengesetztes Problem: Sie sind unterernährt. Manch einer forderte schon, dass die Hochbetagten in den Pflegeheimen mehr Fleisch auf dem Teller hätten. Läge darin die Lösung?

HH: Es würde wahrscheinlich reichen, wenn die Hochbetagten das essen würden, was sie auf den Teller bekommen. Ältere Menschen haben ein geringeres Hunger- und Durstgefühl. Dadurch bekommen sie zu wenig Eiweiß und trinken zu wenig. So besteht die Gefahr, dass sie Muskelmasse verlieren und gebrechlicher werden und dass sie dehydrieren.

Man kann doch niemanden zum Essen zwingen.

HH: Nein, aber man kann das Essen attraktiver machen. Viele Hochbetagte haben Schluckbeschwerden oder keine Zähne mehr. Faseriges Fleisch können sie nicht mehr essen. In Altenheimen wird das Essen für solche Menschen püriert. Das ist aber so unansehnlich, dass es nicht gerne gegessen wird. In einem unserer Projekte arbeiten daher unsere Partner daran, püriertes Essen über einen 3D-Drucker wieder in Form zu bringen, sodass es wieder aussieht wie ansprechende Lebensmittel. Eine andere Gruppe versucht, Eiweißgetränke so schmackhaft zu machen, dass sie gerne getrunken werden. Unsere geriatrischen Partner in Nürnberg haben mit unseren Informatikern einen Becher mit eingebauter Waage entwickelt, der das getrunkene Volumen misst und die Menschen per Stimme daran erinnert zu trinken.

Mehr als 500 Personen in den vier Altersgruppen haben Sie im enable-Cluster rekrutiert und untersucht. Ist das angesichts der Vielfalt unserer Lebensmittel, die miteinander wechselwirken, und unserer Gene, die den Stoffwechsel von Mensch zu Mensch verschieden machen, nicht eine zu kleine Gruppe für aussagekräftige Studienergebnisse?

HH: Diese 500 Menschen haben wir sehr genau charakterisiert im Hinblick auf ihren Gesundheitszustand, ihre Ernährungsgewohnheiten und -vorlieben und ihren Stoffwechsel. Dabei konnten wir große individuelle Unterschiede feststellen – mit 5000 Teilnehmern hätten wir das nicht in dieser Tiefe machen können. Ich denke, dass wir damit gute Chancen haben, neue Zusammenhänge zwischen Ernährung und Gesundheit zu finden. Aber dafür arbeiten verschiedene Fachdisziplinen eng zusammen, und die Komplexität des Themas Ernährung erfordert das. Es handelt sich auch um gesellschaftlich hoch relevante Themen, und das macht mir Spaß.

■ *Das Interview führte Markus Bernards*



Prof. Hans Hauner

Als Kind wollte Hauner, geboren 1955 und aufgewachsen in Regensburg, eigentlich Missionar werden. Irgendwie ist er das auch geblieben, findet er, da er seit 30 Berufsjahren versucht, die Menschen von einer besseren Ernährung zu überzeugen. Er studierte Medizin in Regensburg und an der TUM und bildete sich an der Universität Ulm zum Internisten mit dem Schwerpunkt Endokrinologie/Diabetologie weiter. Es folgte eine Zeit als leitender Oberarzt am Deutschen Diabetes-Zentrum in Düsseldorf. 2003 wurde er auf den neu gegründeten Lehrstuhl für Ernährungsmedizin der TUM berufen und ist seitdem Direktor des Else Kröner-Fresenius-Zentrums für Ernährungsmedizin.

Escherichia Coli sind die bekanntesten Darmbakterien und gehören zu den Proteobakterien.

Bacteroides sind Stäbchenbakterien, die ohne Sauerstoff wachsen können.

Bifidobakterien sind Milchsäurebakterien aus der Abteilung der Actinobakterien.

Enterokokken kommen überall vor und gehören auch zum Kern-Mikrobiom des Menschen.

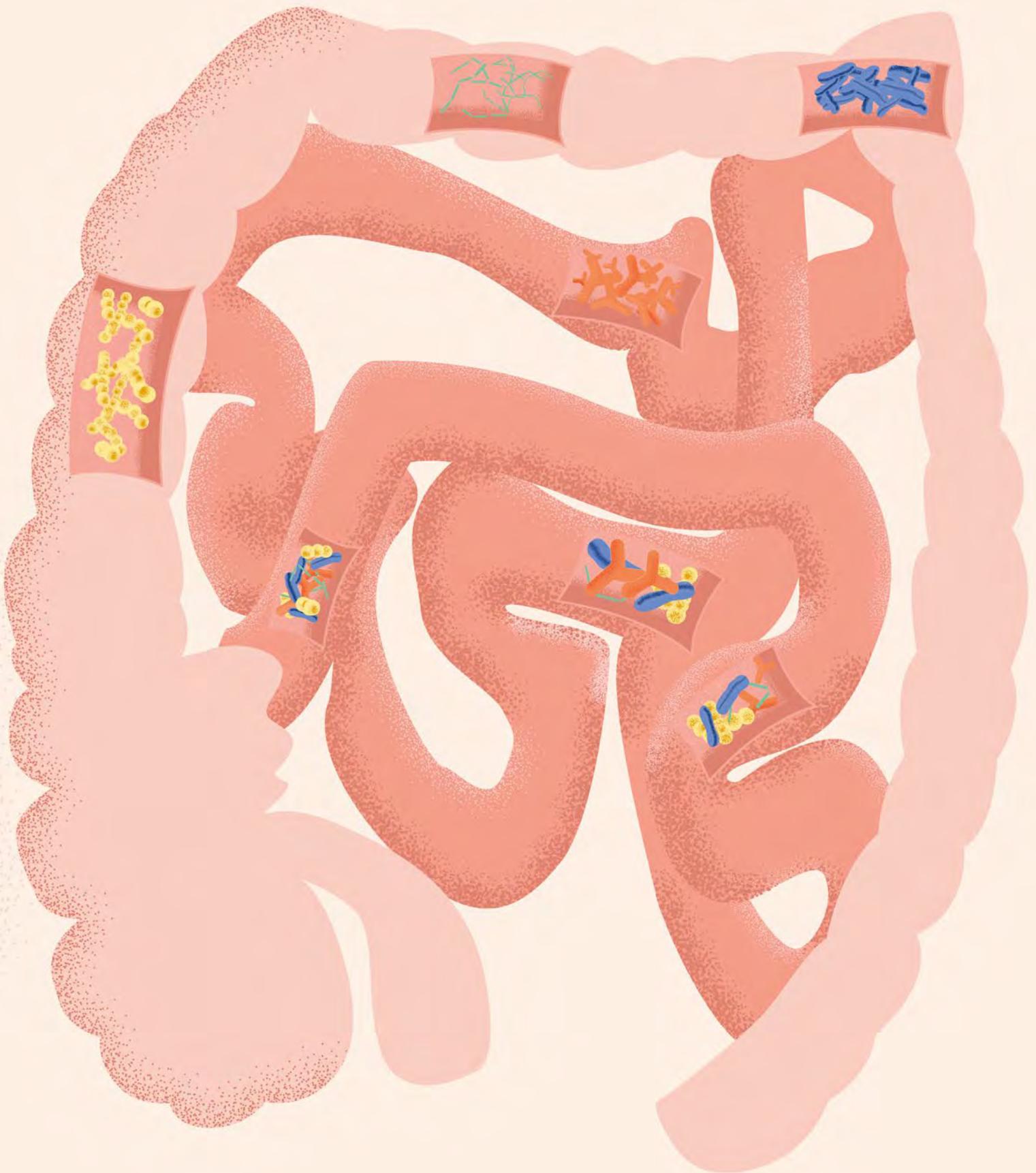
Mikrobiom

– das geheimnisvolle Ökosystem in unserem Bauch

Eine Vision für das Jahr 2040: Eine kleine Stuhlprobe genügt, und man weiß, ob jemand für bestimmte Krankheiten anfällig ist. Dann kann man entsprechend vorbeugen und ihnen aus dem Weg gehen oder sie zumindest besser behandeln. Leider funktioniert das heute noch nicht. Aber Forscher sind optimistisch, dass sie aus den Darmbakterien in den nächsten Jahren charakteristische Signaturen für etliche Erkrankungen herauslesen können. Professor der TUM Dirk Haller und sein Team arbeiten mit Hochdruck daran.

Link

bflm.wzw.tum.de



Der menschliche Darm ist besiedelt von einem dichten Netzwerk von Mikroorganismen, dem Mikrobiom. Es wird dominiert von vier Bakterienklassen, die beim durchschnittlichen Erwachsenen 200-300 verschiedene Arten ausbilden. Bei einem gesunden Menschen befinden sich diese im Gleichgewicht.

Jeder von uns, ob sauber oder nicht, trägt rund 100 Billionen an Bakterien mit sich herum, sei es auf der Haut, im Speichel, hinter den Ohren oder in der Ellenbeuge. Die meisten dieser Mikroorganismen befinden sich aber im Darm und tragen bis zu einem Kilogramm Gewicht bei. Ihre Lebensgemeinschaft, Mikrobiom – oder etwas veraltet Darmflora – genannt, besteht aus einer Mischung von Bakterien, die teils nützlich, teils krankmachend sind, je nachdem, zu welchen Bakterienfamilien sie gehören. Nur wenn letztere unter Kontrolle bleiben, weil das Gleichgewicht stimmt, ist der Mensch gesund. Dann liefert sein Mikrobiom eine ganze Reihe von Enzymen, die ihm helfen, die Nahrung zu verdauen. Außerdem produziert es Vitamine und kurzkettige Fettsäuren. Dies sind wichtige Aufgaben, die sicherstellen, dass im Dünndarm nicht verdaute Nahrung noch weiter verwertet werden kann, egal, ob wir ein saftiges Steak oder eine Schüssel Salat essen.

Darüber hinaus identifizieren Forscher immer mehr Funktionen, die vom Darm-Mikrobiom übernommen werden. Vor allem unser Immunsystem ist offenbar existenziell auf die Bakterien angewiesen. Sie spielen für dieses sozusagen Sparringspartner und geben ihm die Sicherheit, gefährliche Infektionserreger von harmlosen Nahrungsbestandteilen zu unterscheiden. Denn die ankommende Nahrung enthält eine Vielzahl von fremden Keimen und Erregern. Die Darmwand muss sie zurückhalten, also eine Barriere aufbauen, andererseits aber muss sie die energiehaltigen Nahrungsbestandteile durchlassen, damit diese in die Blutbahn gelangen können. Geht hier etwas schief, laufen wir Gefahr, Allergien oder Autoimmunerkrankungen zu entwickeln.

Wie viele Bakterienarten hat man im Darm?

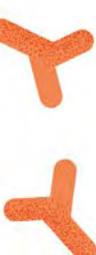
Es gibt rund 1500 Spezies, die den Darm besiedeln können. Der durchschnittliche Europäer hat etwa 200-300. Wer krank ist, hat aber vielleicht nur noch 30-50 (Morbus Crohn). Und bei Komplikationen nach einer Stammzelltransplantation (Graft-versus-Host-Erkrankung) schrumpft das Mikrobiom unter Umständen auf nur noch einen Stamm. Das ist hochgefährlich.

Wenn das System umkippt

Genau hier hakt Prof. Dirk Haller ein. Er leitet den Lehrstuhl für Ernährung und Immunologie am Wissenschaftszentrum Weihenstephan der TUM und das ebenfalls dort angesiedelte Zentralinstitut für Food & Health. Der 51-jährige Ernährungswissenschaftler und Mikrobiologe ist seit seiner Doktorarbeit fasziniert von der komplizierten Kooperation des Mikrobioms mit dem Menschen. „Damals, vor gut 20 Jahren, hat sich noch kaum jemand dafür interessiert“, erinnert er sich. „Ich selbst kam zunächst aus der Lebensmittelmikrobiologie, also der Ernährungswissenschaft, und wir haben uns gefragt, wie probiotische Bakterien im Darm mit uns kommunizieren. Hier brachten wir das Dogma ins Wan-

„Wir haben heute beim Mikrobiom etwa die gleiche Situation wie vor 20 Jahren beim Human-Genom.“

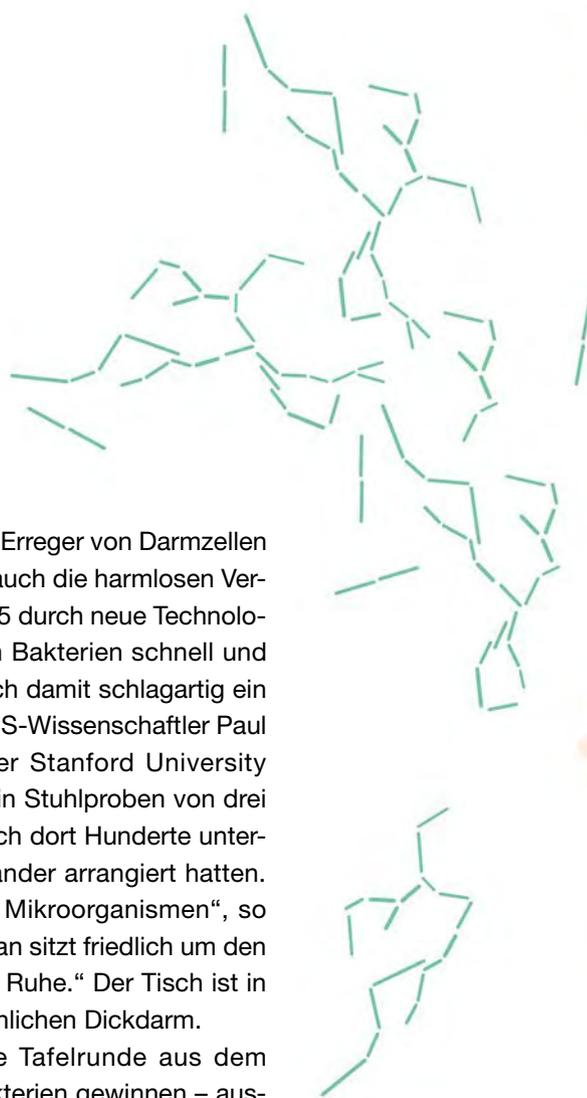
Dirk Haller



ken, dass eben nicht nur infektiöse Erreger von Darmzellen wahrgenommen werden, sondern auch die harmlosen Vertreter“. Erst als es um das Jahr 2005 durch neue Technologien möglich wurde, die Gene von Bakterien schnell und umfassend zu sequenzieren, tat sich damit schlagartig ein neues Forschungsgebiet auf. Der US-Wissenschaftler Paul B. Eckburg und sein Team an der Stanford University analysierten damals die Bakterien in Stuhlproben von drei Probanden und erkannten, dass sich dort Hunderte unterschiedlicher Arten friedlich miteinander arrangiert hatten. „Wir sprechen von kommensalen Mikroorganismen“, so Haller, „und das heißt eigentlich: Man sitzt friedlich um den Tisch und lässt sich gegenseitig in Ruhe.“ Der Tisch ist in diesem Fall die Nahrung im menschlichen Dickdarm.



Manchmal allerdings gerät diese Tafelrunde aus dem Gleichgewicht, und bestimmte Bakterien gewinnen – ausgelöst durch genetische oder Umweltfaktoren – die Oberhand. Dabei besteht die Gefahr, dass das System kippt, aus der Symbiose eine Dysbiose entsteht. So etwas kann beispielsweise passieren, wenn man Antibiotika nimmt, dann können sich Clostridium difficile-Bakterien ausbreiten. Diese Sporenbildner besetzen die Nische, die durch die Antibiotika freigeräumt wurde, und vermehren sich stark. Sie produzieren Giftstoffe und verursachen eine oft lebensbedrohliche Durchfallerkrankung. Wann und wie Dysbiosen Darmerkrankungen verursachen und wie man sie verhindern kann, zählt zu den Forschungsthemen, die Haller und sein Team bearbeiten. ▶



keimfreie Versuchstiere



Morbus-Crohn-Betroffene



Durchschnitts-europäer

Es gibt rund 1.500 Spezies von Bakterien, die den Darm besiedeln können; der durchschnittliche Europäer hat etwa 200–300. Morbus-Crohn-Patienten haben nur noch 30–50. Für Versuchszwecke züchtet man Mäuse ganz ohne Darmbakterien.



Es ist dem Wissenschaftler inzwischen gelungen, die Mikrobiomforschung in Deutschland fest zu etablieren: Die Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG hat dazu soeben einen eigenen Sonderforschungsbereich (SFB 1371) gegründet, dessen Sprecher Haller ist: „Es geht hier um die funktionelle Relevanz des Mikrobioms im Verdauungstrakt“, sagt er. „Wir wollen verstehen: Wann ist eine Veränderung in diesem mikrobiellen Ökosystem kausal verknüpft mit einer Erkrankung? Kann man das diagnostisch nutzen? Oder prognostisch? Oder therapeutisch?“

„Inzwischen ist die Grunderkenntnis gesichert, dass wir alle einen völlig individuellen Fingerabdruck in unserem Darm haben.“

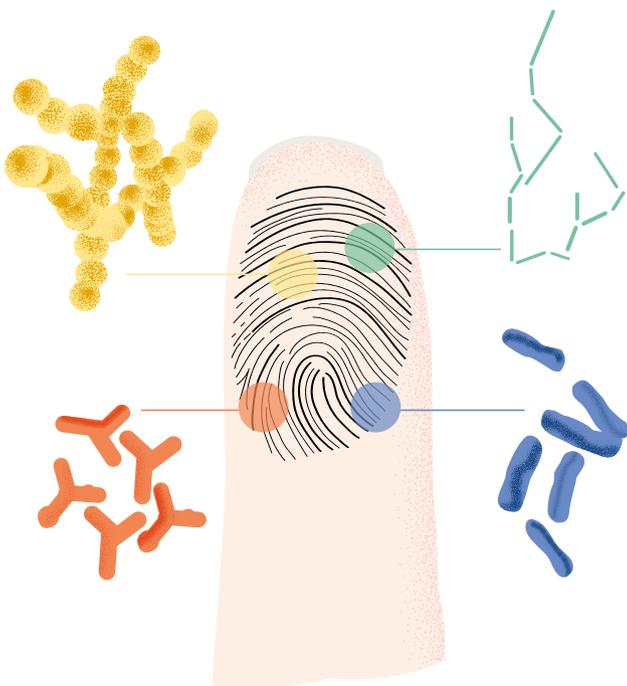
Dirk Haller

Eine neue Technologie brachte das Gebiet zum Blühen

Drei Strategien verfolgen die Forscherinnen und Forscher zur Klärung solcher Fragen:

- › Sie machen erstens kausale Untersuchungen an Mäusen und übersetzen die dort gewonnenen Erkenntnisse auf den Menschen,
- › sie analysieren zweitens die mikrobiologischen Vorgänge im Darm mit Hilfe von Bioinformatik und
- › suchen drittens bei Studien am Menschen nach Interventionen, die Krankheiten verhindern können.

Dabei kommt ihnen der Fortschritt der Wissenschaft in den letzten 15 Jahre zugute: Denn nach 2005 nahm die Forschung auf diesem Gebiet rasch Fahrt auf, die Anzahl der Veröffentlichungen schoss nach oben, und bereits zehn Jahre später war das Mikrobiom von tausenden Probanden analysiert. Dadurch gab es einen gigantischen Zugewinn an Daten, aber die Analyse allein reichte nicht aus, um Rückschlüsse auf Ursachen und Wirkungen zu ziehen.



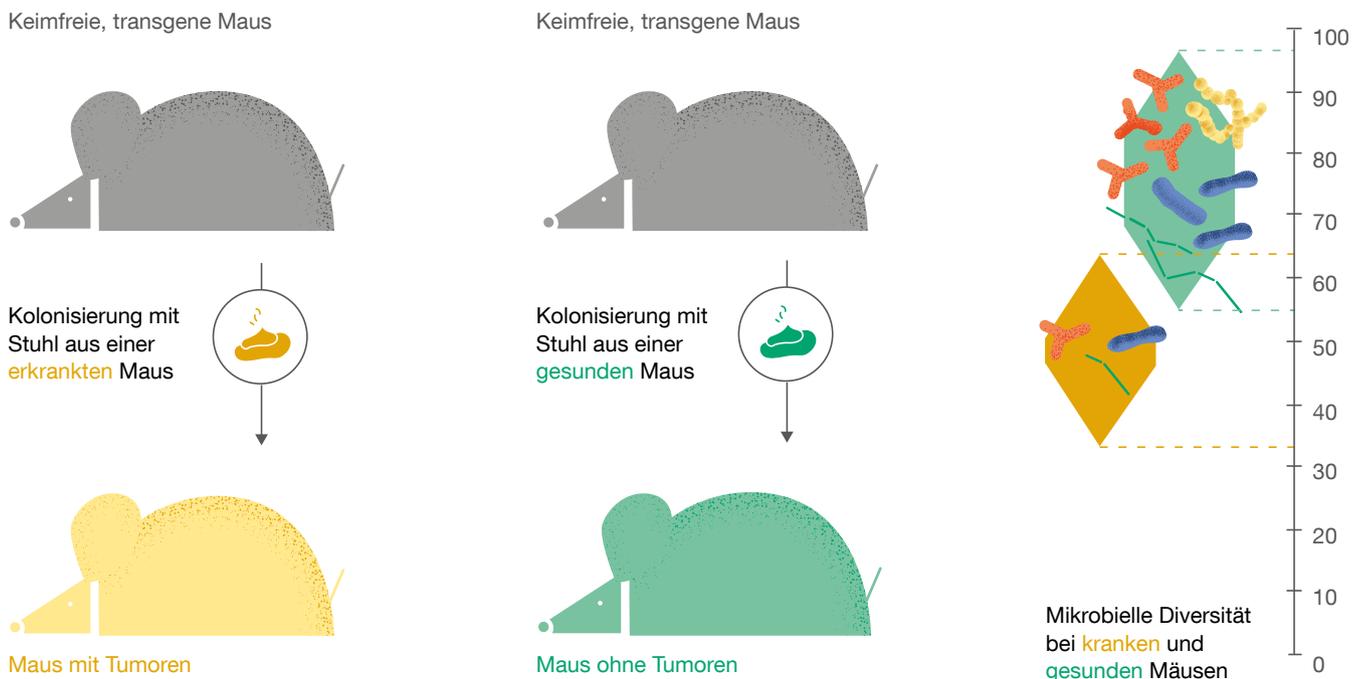
So staunte beispielsweise im Jahr 2018 eine chinesische Forschergruppe, die Stuhlproben von 7009 Personen aus 14 Distrikten untersucht hatte, wie unterschiedlich die Bakterienzusammensetzung zwischen den einzelnen Individuen war und welche große Rolle auch die Lebensweise spielt. Was sie in erster Linie suchten, nämlich ein Muster, das möglicherweise auf eine Neigung zu Stoffwechselerkrankungen wie Diabetes hinweist, konnten sie jedoch nicht finden. Sie konnten lediglich eine regionale Verteilung individueller Unterschiede erkennen. Eine zentrale Schlussfolgerung ist, dass wir uns alle sehr stark in unserem Mikrobiom voneinander unterscheiden.

Inzwischen ist die Grunderkenntnis gesichert, dass wir alle einen völlig individuellen Fingerabdruck in unserem Darm haben, was die Zusammensetzung der Bakterienkolonie betrifft. Man kann große Schnittmengen finden zwischen den Menschen, aber wenn man die individuelle Ebene der Bakterienstämme betrachtet, dann ist unser Mikrobiom komplett unterschiedlich. Und zwar so stark, dass man das sogar forensisch nutzen, also jeden Menschen an seiner Stuhlprobe erkennen könnte.

Trotzdem sind immer noch viel mehr Fragen offen als gelöst. „Wir haben heute beim Mikrobiom etwa die gleiche Situation wie vor 20 Jahren beim Human-Genom“, sagt Haller. „Damals setzte man auch große Hoffnungen darauf, dass man bald jede Erkrankung genetisch erkennen kann. Das hat sich nicht bewahrheitet. Diagnostisch gibt es da immer noch kaum Erfolge. Man kann zwar vieles besser verstehen, aber bei der Anwendung stecken wir noch in den Kinderschuhen.“ Aus diesem Grund nutzen er und seine Kolleginnen und Kollegen nun alle Möglichkeiten, die die moderne Analyse und die Bioinformatik bieten.

Das Tiermodell als Vorlage

So hat Haller in seinem Institut eine eigene zentrale Mäusezucht und eine keimfreie Maushaltung aufgebaut. In 25 Isolatoren mit steriler Luft und sterilem Futter leben rund 1200 Mäuse von Geburt an keimfrei. Sie haben dann auch keinerlei Bakterien im Darm, also kein Mikrobiom, und eignen sich perfekt dafür, die Wirkung bestimmter implantierter Bakterien oder Bakteriengruppen im Darm zu erforschen.



An Hallers Institut werden Mäuse keimfrei gezüchtet. Da sie keine eigenen Darmbakterien besitzen, reagieren sie spezifisch auf die Übertragung von Stuhlproben aus anderen Mäusen. So kann man nachweisen, dass bestimmte Mikrobiom-Zusammensetzungen Darmkrebs übertragen können. Bei gesunden Mäusen ist die Vielfalt der Darmbakterien jeweils wesentlich höher als bei kranken.

Die mikrobielle Vielfalt im menschlichen Darm – hier symbolisiert durch Farben – hat immer weiter abgenommen, je mehr sich ein industrieller Lebensstil des Menschen durchgesetzt hat.



- **Jetzt**
verarbeitete Lebensmittel
- **seit 100 Jahren**
Industrieller Lebensstil, Hygiene
und Medikamente
- **seit 10.000 Jahren**
Ackerbau
- **seit 300.000 Jahren**
Jäger und Sammler

„Um aus der Heterogenität und individuellen Unterschiedlichkeit der Menschen herauszufinden, welche Bakterienveränderungen uns krankheitsanfällig machen, übersetzen wir das in Tiermodelle“, erklärt der Forscher. „Wir nehmen zum Beispiel keimfreie Tiere, die genetisch für eine Krankheit anfällig sind. Wenn diese dann trotz ihrer Veranlagung nicht krank werden, dann liegt das wahrscheinlich an den fehlenden Bakterien.“ Umgekehrt kann ein bestimmtes Mikrobiom die Mäuse krankmachen, wenn man es transplantiert – ein erster Schritt zum Beweis der Kausalität. Stuhltransplantationen sowohl zwischen Mäusen als auch zwischen Mensch und Maus spielen bei solchen Untersuchungen eine große Rolle. In der Vergangenheit wurde dieses Verfahren auch am Menschen angewandt, etwa um eine lebensbedrohliche *Clostridium difficile*-Infektion zu behandeln. Das Gegensteuern mit einem transplantierten, gesunden, reichhaltigen Ökosystem war bei rund 90 % der Patienten erfolgreich. Die Schulmedizin hat ansonsten nur die Möglichkeit, ein weiteres Antibiotikum zu geben. Darauf sprechen aber nur 20–30 % an.

Nach einem Todesfall in den USA nach einer Stuhltransplantation stellen die Behörden in der EU derzeit strenge Anforderungen: Fäkaltransplantate sind in der Humanmedizin nur zum therapeutischen Einsatz nach § 2 Abs. 1 des Arzneimittelgesetzes zugelassen. Für Anwendungen muss das Transplantat unter der unmittelbaren fachlichen Verantwortung des behandelnden Arztes hergestellt und bei den jeweils zuständigen Überwachungsbehörden der Länder gemeldet werden.

Sind Veränderungen im Mikrobiom Ursache oder Folge?

„Derzeit sind wir und andere Gruppen weltweit auf der Suche nach Ursache-Wirkungs-Beziehungen zwischen Mikrobiom und Krankheit“, erklärt Haller. „Momentan wird vieles, angefangen von Demenz, Autismus, über Leberzirrhose, Dickdarmkrebs, Morbus Crohn, Colitis Ulcerosa bis zu Diabetes auf das Mikrobiom zurückgeführt. Und tatsächlich gehen diese Erkrankungen mit Veränderungen im Mikrobiom einher. Allerdings stellt sich die Frage, ob diese Veränderungen die Ursache sind, oder sind sie vielleicht nur eine Folge der Krankheit?“ Dieses Henne-Ei-Problem treibt ihn und seine Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter um, in erster Linie bei chronischen Darmerkrankungen.

Tatsächlich fand man Hinweise, dass das Mikrobiom bei solchen Patienten stark verändert ist. Das gilt vermutlich



Ernährungswissenschaftler Haller leitet den Lehrstuhl für Ernährung und Immunologie am Wissenschaftszentrum Weihenstephan.

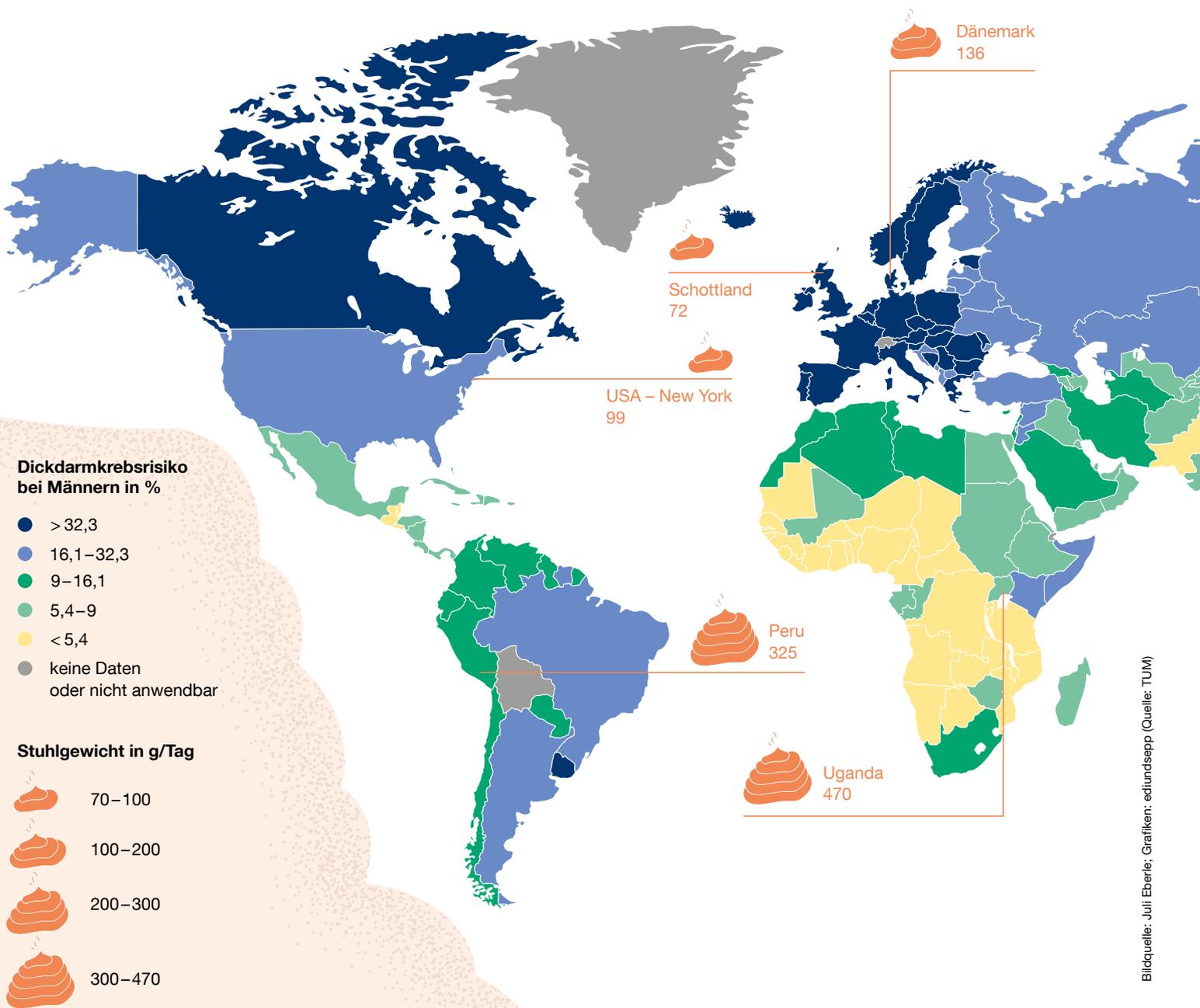
auch für Diabetes-Patienten, deshalb arbeiten die Weihenstephaner Forscher auch an der Augsburger Kohortenstudie KORA mit.

Aus den Stuhlproben von 2500 Probandinnen wollen sie herausfinden, ob man daran Erkrankungssignaturen für Diabetes Typ 2 findet. Statistisch gesehen müsste das bei rund 300 Personen der Fall sein. Mit Bioinformatik und Künstlicher Intelligenz wollen die Wissenschaftler erkennen: Gibt es Gemeinsamkeiten zwischen den Erkrankten? Oder gibt es klare Unterschiede zu Gesunden?

Während in vielen noch wenig industrialisierten Ländern chronisch entzündliche Darmkrankheiten bis vor kurzem überhaupt noch nicht existierten, registrieren Statistiker dort inzwischen eine starke Zunahme. Beispielhaft zeigt sich das in Hongkong. „Dort gab es eine Erkrankung wie Morbus Crohn überhaupt nicht“, sagt Haller. „Aber in den letzten 15 Jahren schießt die Krankheitshäufigkeit hoch, also genau in der Zeit, in der sich der Hongkonger Lebensstil von einem traditionellen zu einem hoch industrialisierten verändert hat.“

Andere epidemiologische Erhebungen machen deutlich: „Adipositas geht meist einher mit chronischen Entzündungen, ebenso wie Diabetes Typ 2. Das heißt, der moderne Lebensstil macht uns ein bisschen chronisch entzündlich, wenn auch mit unterschiedlicher Skalierung, wenn man Adipositas und Morbus Crohn miteinander vergleicht“, so Haller. „Irgendwann haut es – bildlich gesprochen – dem System die Sicherung raus, je nachdem, wo die genetische Anfälligkeit der Person liegt, und dann eskaliert so ein Erkrankungszustand.“

Man könnte daraus die These ableiten: Industrialisierter Lebensstil bedeutet ein verändertes Mikrobiom und dessen Wechselwirkung mit dem Immunsystem des Wirts erzeugt die Krankheit. Reine Statistik genügt aber für einen wissenschaftlich sauberen Beweis nicht, deshalb spielt neben statistischen und rechnerischen Verfahren auch die Biochemie eine entscheidende Rolle. Sie muss die Frage klären: Was zeichnet ein individuelles Mikrobiom aus, warum werden Patienten krank? Welche mikrobielle Interaktion ist in der Lage, eine chronisch entzündliche Darmerkrankung anzuschieben oder aus ihr sogar Krebs entstehen zu lassen? Und gibt es eine Möglichkeit, dem therapeutisch entgegenzuwirken?



Haller fasst zusammen, wo man heute steht: „Es gibt viel Korrelation, aber kaum Kausalität. Ich bin überzeugt, es dauert noch 30 Jahre, bis wir alle Kausalitäten erkannt haben und sicher wissen, ob das Mikrobiom nur ein Trittbrettfahrer ist oder die Ursache der Krankheiten.“ Dennoch sieht er die Zukunft seines Fachgebiets strahlend: „Die Biologie des Mikrobioms wird die Wissenschaft des 21. Jahrhunderts maßgeblich beeinflussen, da bin ich sicher. Nach Ablauf des Sonderforschungsbereichs in zwölf Jahren wollen wir sagen können: Für welche Erkrankungen spielt das Mikrobiom eine Rolle, für welche nicht, und wenn es eine Rolle spielt, welche?“

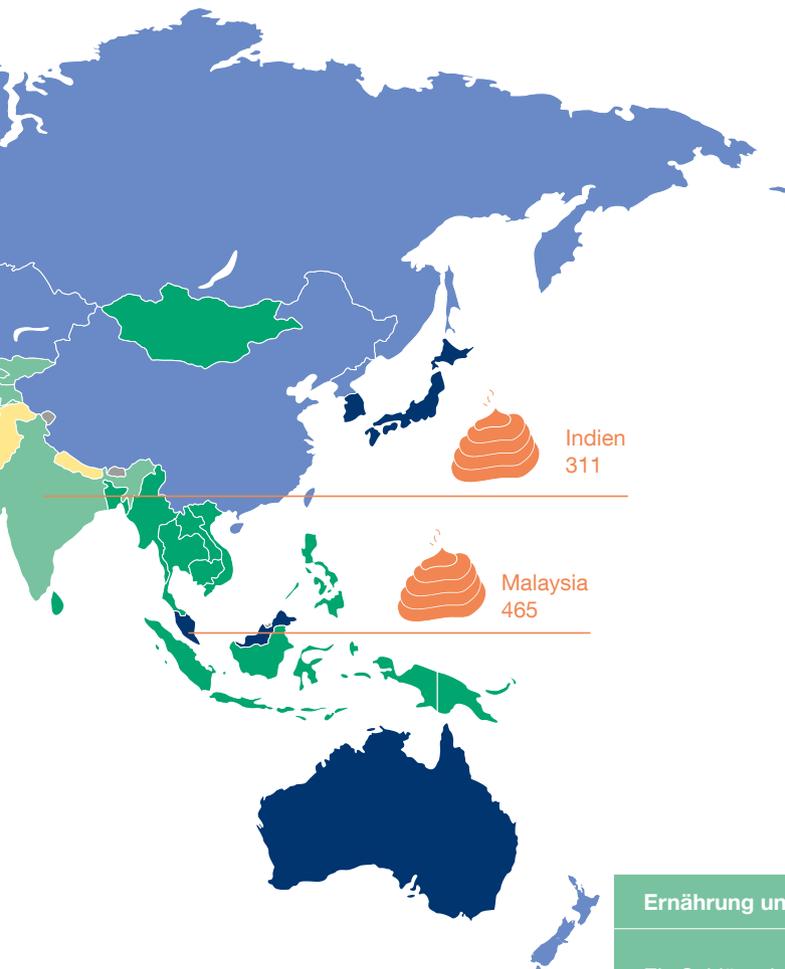


Brigitte Röthlein



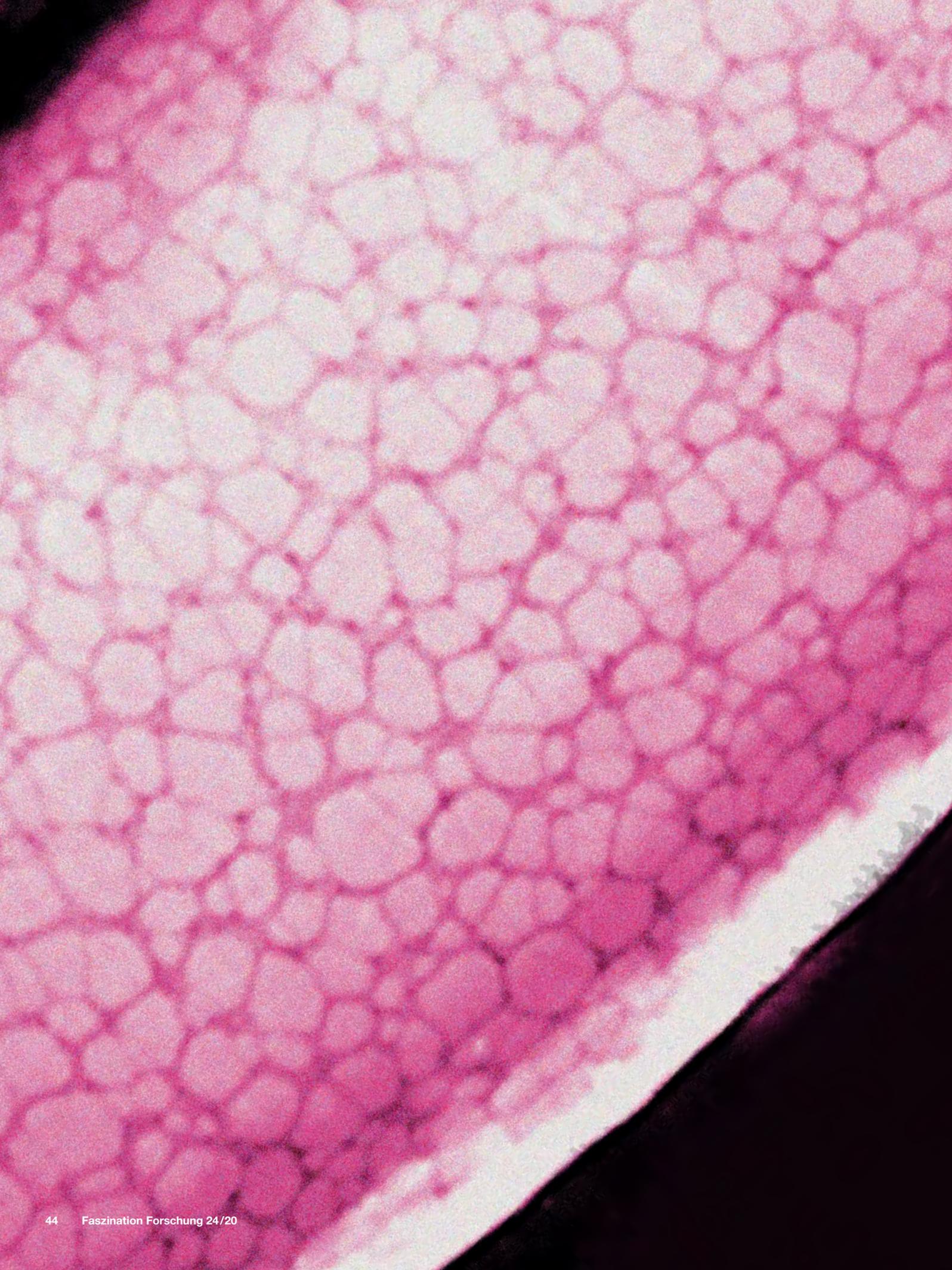
Prof. Dirk Haller

Der 1968 geborene Forscher studierte an der Universität Hohenheim Lebensmitteltechnologie und Ernährungswissenschaft und schloss beides mit dem Diplom ab. Danach promovierte er in Mikrobiologie und Immunologie über das Thema „Modulation der Immunantwort von nicht-pathogenen Bakterien“. Nach Stationen bei Nestlé in Lausanne und an der Universität von North Carolina kam er mit einer DFG-geförderten Arbeitsgruppe zurück an die TUM, wo er seit 2008 den Lehrstuhl für Ernährung und Immunologie am Wissenschaftszentrum Weihenstephan inne hat.



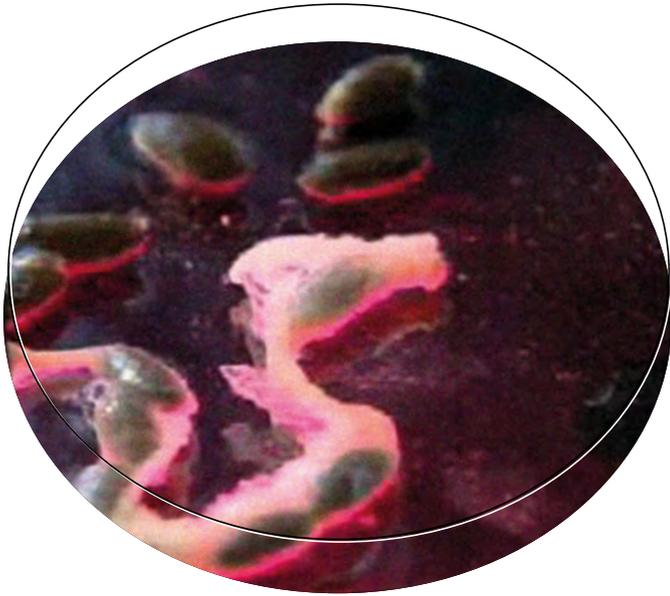
Ernährung und Mikrobiom

Ein Schlüssel zu einem reichhaltigen Mikrobiom und einem gesunden Darm könnten Ballaststoffe sein. Zentralafrikaner haben beispielsweise eine extrem ballaststoffreiche Ernährung. Sie essen pro Tag rund 70 Gramm Ballaststoffe. Wir in Mitteleuropa nehmen ca. 10-20 Gramm pro Tag zu uns.



Der Darm hat sein eigenes „Gehirn“

Fast sein ganzes Forscherleben hat sich Prof. Michael Schemann mit dem „Bauchhirn“ beschäftigt, das autonom unsere Darmbewegungen steuert. Neue Methoden aus seiner Arbeitsgruppe haben mitgeholfen, endlich die Ursache für einige organische Darmkrankheiten zu finden. Nun geht es darum, diese Erkenntnisse für Patienten nutzbar zu machen.



Ein Darmpräparat ist auch noch außerhalb des Körpers in der Lage, sich zu bewegen. Es führt zeitlich und räumlich ablaufende Muskelkontraktionen durch, Forscher sprechen vom „peristaltischen Reflex“. Dieser führt zu einem nach anal gerichteten Transport des Darminhalts (siehe Bild oben und unten).

Der Mann möchte dringend noch ein paar Ideen loswerden. Prof. Michael Schemann ist Inhaber des Lehrstuhls Humanbiologie an der TUM Weihenstephan und einer der hierzulande raren Experten für ein Organ, dessen möglichst geräuschlose Leistung wir zwar alle ungemein schätzen, das wir aber ansonsten für etwas anrühlich halten: den Darm. Genauer: Schemann forscht zum Nervensystem des Darms (offiziell enterisches Nervensystem genannt), dem „Bauchhirn“ – wobei der Wissenschaftler auf die Anführungszeichen großen Wert legt. Denn bitte, natürlich denke der Darm nicht. Schmerzen, Emotionen, Intelligenz – alles Sache des großen Gehirns in unserem Kopf. Auch Schmerzen im Gedärm haben wir erst, wenn bestimmte Zentren im Gehirn Signale von sensorischen Bahnen aus dem Darm so zahlreich erhalten, dass sie uns Schmerz bewusst machen. Und doch habe der Darm nach streng wissenschaftlichen Kriterien sein eigenes kleines Gehirn.

Sie wollen Beweise? Schemann springt auf und eilt zu seinem PC-Monitor. Schon bald spult ein Film ab von einer Art Seegurke, die sich in einer Schale ein wenig hin und her schlängelt und ständig mal hier, mal da kontrahiert. Zu sehen ist ein stark vergrößertes isoliertes Darmpräparat – und offenkundig quicklebendig. Präparate, Teilstücke tierischer oder menschlicher Därme – ob Dünn- oder Dickdarm – lassen sich für mindestens eine Woche in Kultur halten und vollführen dort Tag und Nacht die peristaltischen Bewegungen, mit denen sie sonst im Organismus Stück um Stück Speisebrocken langsam von vorne nach hinten, von oben nach unten befördern.

Einzigartig autonomes Organ

Kein anderes menschliches Organ kann vom Rest des Körpers getrennt, rein auf sich gestellt solch autonome Bewegung vollführen, betont Schemann. Würde man die Nervenbahnen von Herz, Zwerchfell oder Skelettmuskeln zum Rückenmark und Gehirn durchtrennen, so erlösche jegliche Aktivität. Aber noch im kleinsten Darmpräparat – in Kultur gehalten – leitet ein eigenständiges Nervensystem weiter die Eigenbewegungen an. Solch ein autonom agierendes Nervensystem nenne man in der Biologie ein Gehirn, doziert Schemann. Anatomisch verteilt sich das „Bauchhirn“ über mehrere Nervengeflechte. Schemanns Gruppe hat neue Methoden entwickelt, die es überhaupt erst möglich machten, das Netzwerk aufzuklären. Lange hatten Wissenschaftler im menschlichen Darm keinen Zugriff auf Reiz- und Informationsleitung. Es war nicht möglich, die feinen Stromsignale aus dem „Bauchhirn“ mit Elektroden abzuleiten, wie das an vielen peripheren Nerven und im Gehirn geht. „Das Nervengeflecht im Darm ist sehr fein, und vor allem sind die Zellen ja – anders als im Gehirn – in ständiger Bewegung. Da kommen Sie mit Elektroden gar nicht dran, die brechen Ihnen schnell ab“, erläutert der Wissenschaftler.



Zellen zum Leuchten bringen

Neuroimaging macht die Arbeit von Nervenzellen sichtbar: Jede ihrer Aktivitäten geht mit einer Spannungsänderung einher. Packt man auf die Haut der Zelle spezielle Farbstoffe, deren Farbe dabei blitzschnell wechselt, kann man dies in extremer Zeitlupe bei starker Vergrößerung filmen. So kann man erkennen, welche Nervenzellen wann aktiv sind.

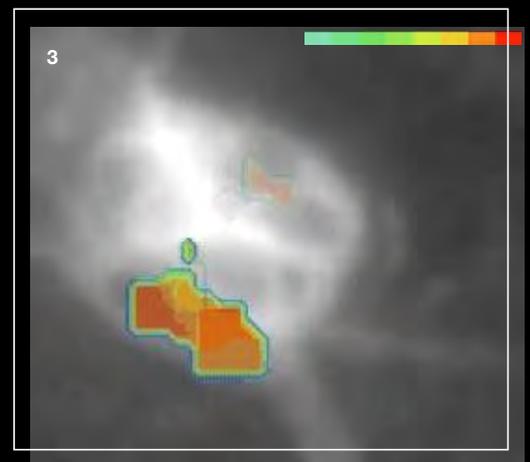
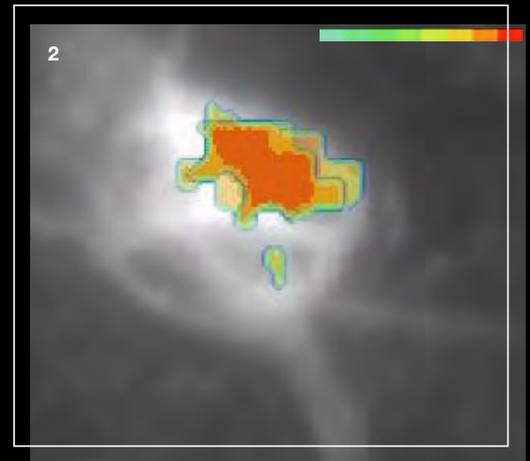
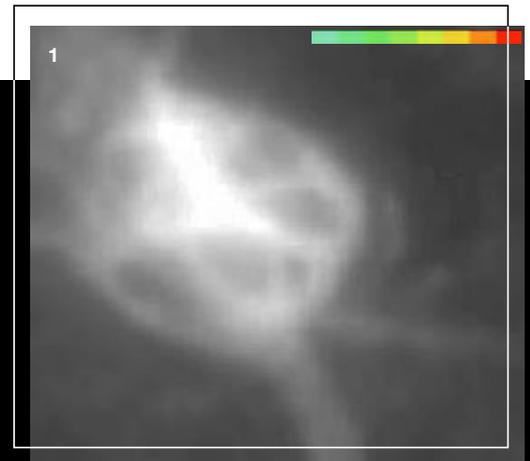
Ende der 1990er Jahre etablierten seine Mitarbeiter eine Alternative: Sie adaptieren die Methode des Neuroimaging so, dass sie auch im Darm Verwendung finden kann. Die Wissenschaftler packen dafür den Nervenzellen spezielle Farbstoffe auf die Membran, deren Farbe sich bei Änderungen der Spannung blitzschnell ändert. Mit menschlichem Auge ist der nur wenige Millisekunden dauernde Farbwechsel bei einem Nervenreiz nur in extremer Zeitlupe bei starker Vergrößerung erkennbar. Daher filmt eine hochauflösende Kamera die Versuche.

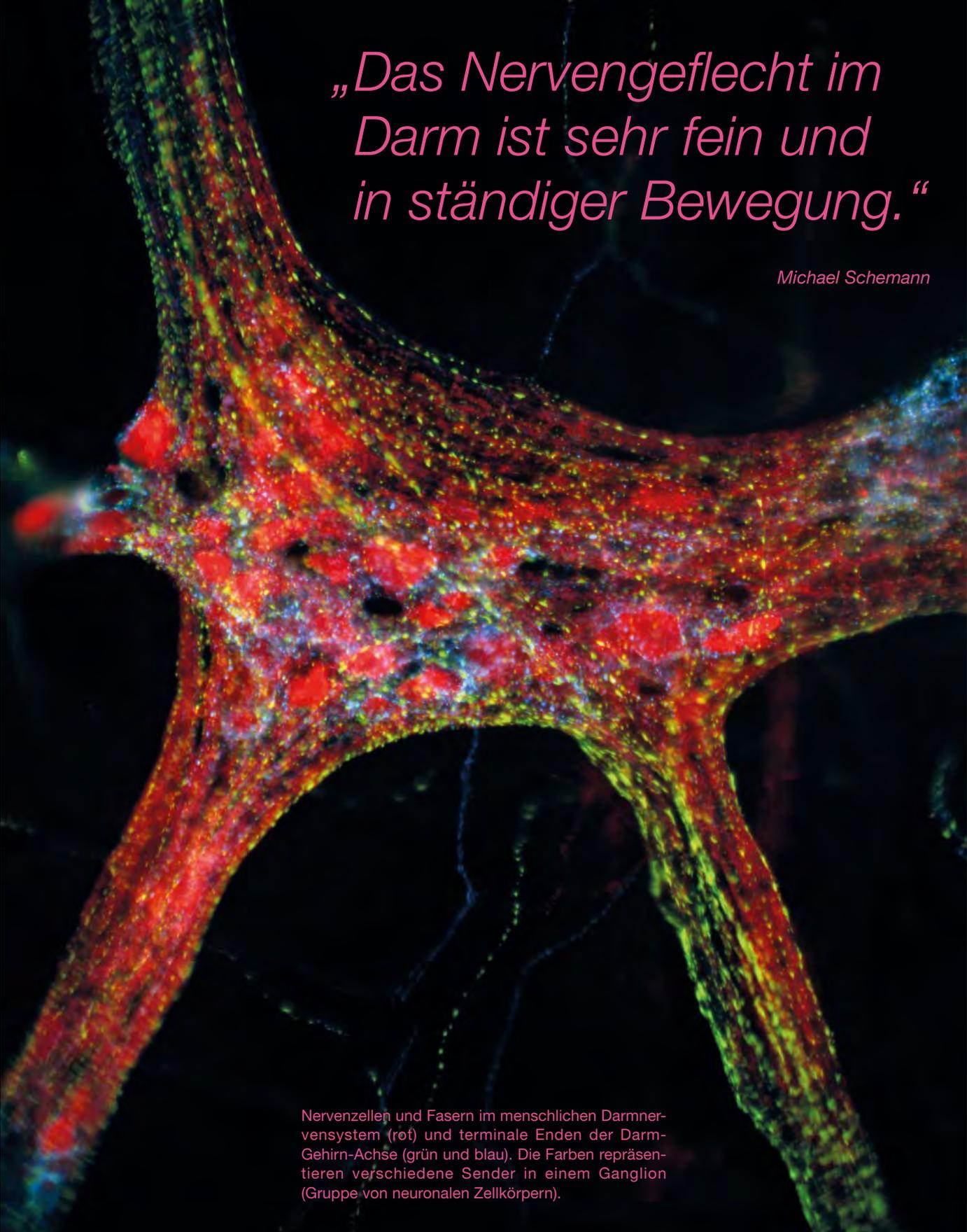
Verständnis von Darmkrankheiten wie Reizdarm

Mit solchen Methoden hat Schemanns Gruppe erstmals auch Grundlagen zum Verständnis von Darmkrankheiten aufgeklärt, die offenkundig mit Fehlfunktionen im „Bauchhirn“ zu tun haben – etwa dem Reizdarm. Jeder Zehnte hierzulande hat nach Schätzungen eine rätselhafte, intermittierend auftretende Über- oder auch Unteraktivität im Darm: Durchfall oder Verstopfung. Eine Entzündung steckt nicht dahinter. Aber die Gründe? Es fehlt an Diagnostik und kausaler Therapie.

2009 gelang Schemanns Team erstmals der Nachweis, dass Fehlreize im enterischen Nervensystem eine Schlüsselrolle bei diesem Krankheitsbild spielen. Bringt man Nerven des „Bauchhirns“ mit Flüssigkeiten aus der Schleimhaut von Patienten mit Reizdarmsyndrom in Kontakt, so löst das ein ganzes Gewitter an Aktionspotenzialen aus. Und tatsächlich, ab und an funkt es rot in den Videos, die Schemann jetzt auf den Monitor ruft: „Jeder rote Blitz steht für einen soeben ablaufenden Nervenreiz in einer einzelnen Zelle“, erläutert der Forscher. Stammen die Überstände hingegen von Gesunden, bleibt alles ruhig im enterischen Nervensystem. Auch einige mögliche Übeltäter sind eingegrenzt. ▶

Bildquellen: Michael Schemann





*„Das Nervengeflecht im
Darm ist sehr fein und
in ständiger Bewegung.“*

Michael Schemann

Nervenzellen und Fasern im menschlichen Darmnervensystem (rot) und terminale Enden der Darm-Gehirn-Achse (grün und blau). Die Farben repräsentieren verschiedene Sender in einem Ganglion (Gruppe von neuronalen Zellkörpern).

Der Botenstoff Serotonin, der Immunmodulator Histamin und vor allem einige eiweißabbauende Verdauungsenzyme, sogenannte Serin-Proteasen, die Nervenzellen über je eigene Rezeptoren reizen können, liegen bei Patienten mit Reizdarm in so großer Menge vor, dass sie zu einer dauerhaften Überaktivität des „Bauchhirns“ führen.

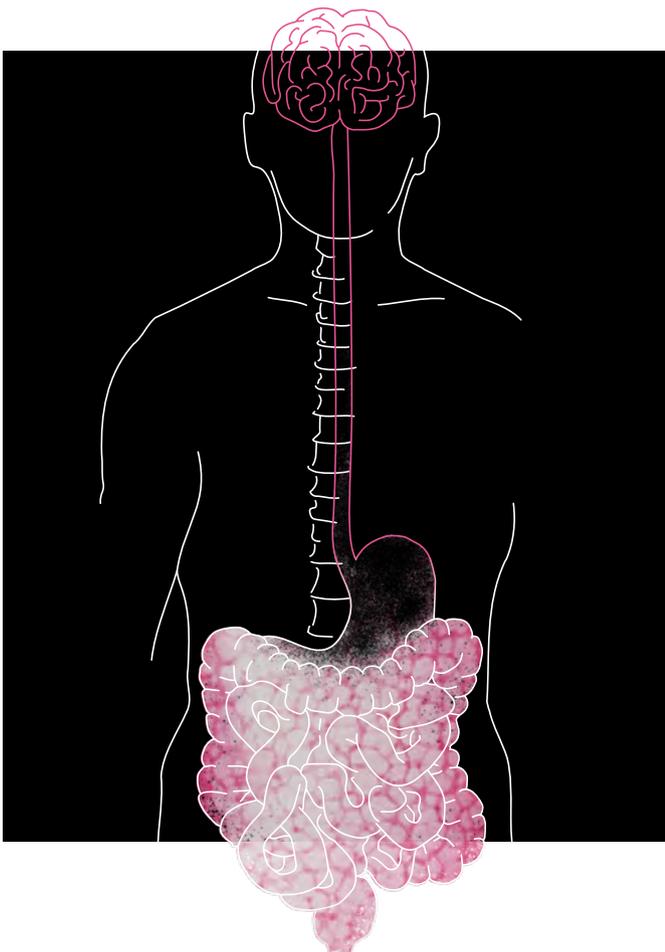
Dies sind wissenschaftliche Erkenntnisse, die weltweit Aufsehen erregten. Damit es von hier aus weitergeht, ist jetzt allerdings massive interdisziplinäre Zusammenarbeit nötig. „Wir müssen klinische Daten vieler Patienten mit solchen physiologischen Tests an Biopsien und Darmpräparaten kombinieren, dann haben wir eine Chance, zuverlässige diagnostische Marker und wirksame Medikamente gegen die Krankheit zu entwickeln“, glaubt Schemann. Er weiß aber auch: „Das müssen andere machen.“ In weniger als drei Jahren geht er in den Ruhestand. Wie gesagt, der Mann möchte dringend noch einige Ideen weitergeben. ■

Bernhard Epping



Prof. Michael Schemann

Schemann wurde 1956 in Köln geboren. Der bekennende Rheinländer studierte Agrarbiologie in Stuttgart-Hohenheim – wurde dort 1985 promoviert, 1989 folgten drei Post-Doc-Jahre an der Ohio State University in Columbus, Ohio, USA. Schemann kam dort zum „Papst“ der Forschung über das enterische Nervensystem: Jackie Wood. Nach der Habilitation 1990 in Hohenheim folgten zwei Jahre am MPI für Physiologische und Klinische Forschung in Bad Nauheim, 1994 wechselte Schemann an die Tierärztliche Hochschule Hannover. Seit 2002 hat er den Lehrstuhl für Humanbiologie an der TUM Weihenstephan inne. Schemann hat für seine Arbeit zahlreiche Preise eingeheimst. Er ist verheiratet und hat eine Tochter.



Bildquellen: Astrid Eckert/TUM; Grafiken: edlundsepp

Über das Rückenmark sowie den Nervus vagus und den Nervus pelvicus ist das weitgehend selbständig arbeitende „Bauchhirn“ mit dem Gehirn verbunden und kann Informationen austauschen.

Link

go.tum.de/671324

Schlank durch Fett?

Braunes Fettgewebe kann Wärme produzieren, ohne dass wir dabei zittern müssen. Doch die natürliche „Heizjacke“ hat noch eine weitere Funktion: Sie sagt dem Gehirn, wann wir genug gegessen haben. Bietet sich hier ein neuer Ansatz für die Behandlung von Übergewicht und Adipositas?



Der Mensch weist durchschnittlich 300 Gramm braunes Fettgewebe auf. Es sitzt am Hals, an den Schlüsselbeinen, entlang der Wirbelsäule und bei den Nieren. Im Gegensatz zum weißen Fett, von dem ein normaler Mann rund 15 Kilogramm besitzt, trägt es aktiv zur Wärmeerzeugung bei.

Bildquellen: Magdalena Jooss, Grafiken: edlundsepp (Quelle: TUM)

Nach dem Schlemmen kommt die Hitzewallung. Wenn die Schweinshaxe verdrückt ist, die letzten Soßenreste vom Teller geschleckt und die Kuchenkrümel im Mund verschwunden sind, dann wird den meisten Menschen warm. Denn Essen ist für unseren Körper auch Arbeit. Aber das ist vermutlich nicht der einzige Grund. Der zweite scheint unser braunes Fettgewebe zu sein.

Diese besondere Art von Fett kann den Organismus erwärmen, ohne dass wir dabei zittern. In seiner Funktion gleicht es also einer „Heizjacke“. Nur dank ihr können beispielsweise kleine Nagetiere auch bei tiefen Minusgraden auf Futtersuche gehen und ihre Körpertemperatur aufrechterhalten. Lange Zeit gingen Wissenschaftler davon aus, dass überhaupt nur Babys und kleine Säugetiere diese spezielle Art von Fett besitzen. Doch dem ist nicht so. „Vor knapp 20 Jahren entdeckte man, dass auch erwachsene Menschen

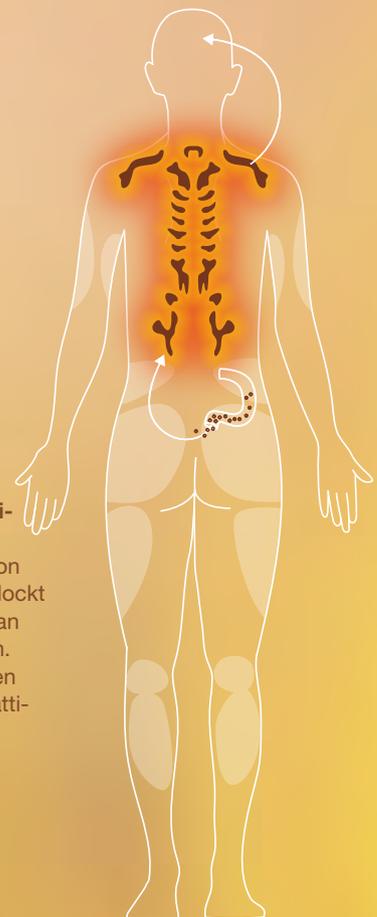
noch über kleine Depots an braunem Fettgewebe verfügen“, erklärt Prof. Martin Klingenspor vom Lehrstuhl für Molekulare Ernährungsmedizin am Else Kröner-Fresenius-Zentrum der TUM.

Die entscheidenden Hinweise kamen dabei zunächst nicht von Stoffwechselforschern, sondern von Onkologen, die bei ihren Patienten nach Metastasen suchten. Dafür werden ihnen in der Nuklearmedizin radioaktiv markierte Glukosemoleküle in die Blutbahn injiziert. Da Krebszellen eine besondere Vorliebe für Zucker haben, verbrauchen sie besonders viel von diesen energiereichen Verbindungen. Das lässt sich mit sogenannten PET-CT-Scans nachweisen.

Den Ärzten fiel auf, dass in den Bildern ganz unterschiedlicher Patienten immer wieder die gleichen Bereiche aufflackerten. Im Halsbereich, über den Schlüsselbeinen und entlang der Wirbelsäule, seltener auch um die Nieren. Sollten so viele Patienten an den exakt gleichen Stellen neue Tumore entwickelt haben? Das schien unwahrscheinlich. Im Jahr 2009 deckten drei Studien zweifelsfrei auf, dass es sich bei diesen Geweben um aktives braunes Fettgewebe handelt.

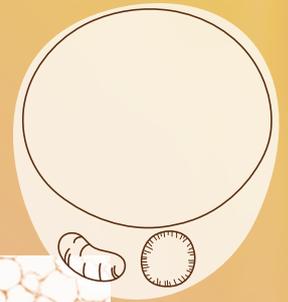
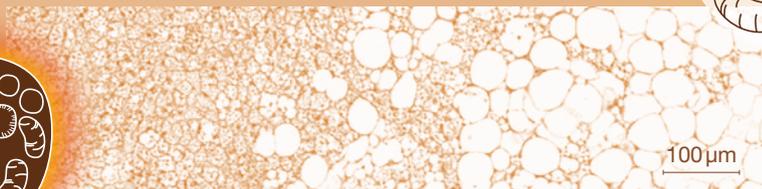


Die Entdeckung von Klingenspor und seinem Team: Bei einer Mahlzeit produzieren die Zellen des Zwölffingerdarms das Hormon Sekretin. Es zirkuliert durch die Blutbahn, dockt an Rezeptoren auf den braunen Fettzellen an und aktiviert sie: Das Gewebe erwärmt sich. Spezielle Nervenzellen im Gehirn registrieren diesen Temperaturanstieg und lösen ein Sättigungsgefühl aus.



„Das braune Fettgewebe spielt eine ganz zentrale Rolle in der Kommunikation zwischen Darm und Gehirn.“

Martin Klingenspor



In einer weißen Fettzelle (rechts) füllt der Lipidtropfen, in dem Fett gespeichert wird, fast die gesamte Zelle aus. Braune Fettzellen (links) besitzen mehrere Lipidtröpfchen, die weniger Fett speichern, dazu viele Mitochondrien, die für die hohe Stoffwechselaktivität dieser Zellen verantwortlich sind.

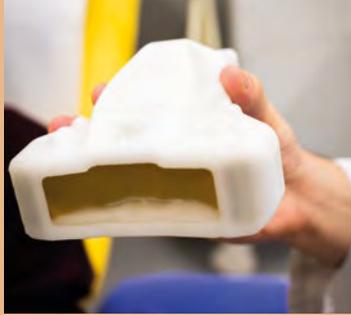
Übergewichtige haben kaum braunes Fettgewebe

Ältere Menschen oder solche, die an Diabetes oder Adipositas litten, hatten weniger bis gar kein aktivierbares braunes Fettgewebe mehr. Ob hier ein kausaler Zusammenhang besteht oder der Verlust nur eine Begleiterscheinung der Erkrankung ist, ist bisher nicht geklärt. Doch seit dieser Entdeckung mehren sich die Hinweise darauf, dass diese „Heizjacke“ auch eine sehr wichtige Rolle in unserem Energiehaushalt spielt. Klingenspor treibt die Frage um: Kann braunes Fett vielleicht dabei helfen, Diabetes oder Adipositas zu therapieren?

Um zu verstehen, wie das möglich sein könnte, muss man zunächst wissen, dass braunes Fettgewebe nicht nur anders aussieht, sondern auch andere Aufgaben hat als weißes Fettgewebe. In diesem speichert unser Körper Energie für Zeiten, in denen Nahrung knapp ist. Ein durchschnittlicher erwachsener Mann trägt etwa 15 Kilogramm weißes Fettgewebe mit sich herum, hauptsächlich an Bauch, Beinen und Hüften.

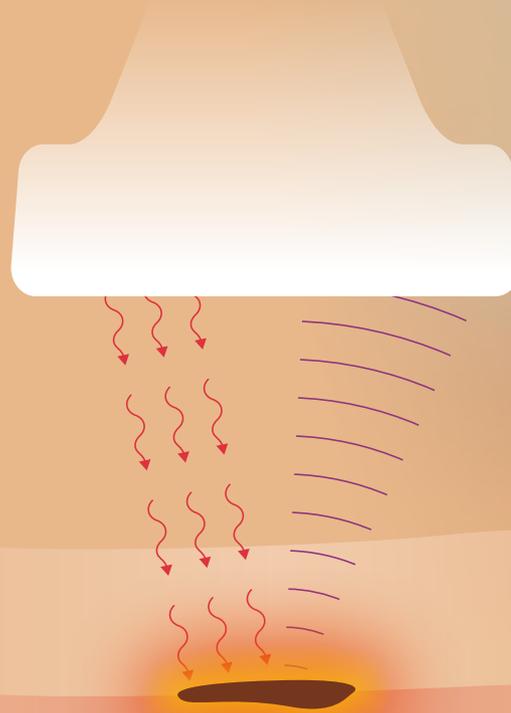
Braunes Fett hingegen ist viel seltener, jeder von uns besitzt schätzungsweise gerade einmal 300 Gramm davon. Es wird durch Kälte aktiviert, indem Nervenbahnen aus dem Gehirn im braunen Fettgewebe vermehrt den Neurotransmitter Noradrenalin ausschütten. Durch diesen Stimulus beginnen die Zellen damit, Fettsäuren und Glucose als Brennstoffe aus dem Blut aufzunehmen und zu spalten. Anders als in allen anderen Geweben produzieren die Mitochondrien, die Zellkraftwerke, jedoch nicht das Molekül Adenosintriphosphat (ATP), den universellen Energieträger. Stattdessen wird die Energie unmittelbar in Form von Wärme frei. Dadurch erwärmt sich auch das Blut und somit der ganze Körper. Wissenschaftler nennen diesen Vorgang Thermogenese, eine Spezialdisziplin des braunen Fettgewebes. Halten wir uns für eine Weile in kalter Umgebung auf, steigt unser Energieumsatz daher beträchtlich an. Schlank durch Frieren? Möglich. Aber unangenehm. ▶

Dank einer Erfindung von Prof. Vasilis Ntziachristos können die Forscher jetzt braunes Fettgewebe leichter sichtbar machen.



Laser und Ultraschall in einem Gerät

Bei der „multispektralen optoakustischen Tomografie“, die Ntziachristos entwickelt hat, werden infrarote Laserimpulse ins Gewebe eingestrahlt. Sie erwärmen es lokal und erzeugen so Ultraschallwellen, die auf dem Computer als Bilder dargestellt werden.



Das Handheld-Gerät, auf der Haut aufgesetzt, kann den Sauerstoffgehalt in den darunter liegenden Venen messen und so eine erhöhte Aktivität nachweisen.

Braunes Fett meldet: satt

Klingenspor hat noch einen weiteren Weg entdeckt, durch den braunes Fettgewebe aktiviert werden kann: die Nahrungsaufnahme selbst. Auf molekularer Ebene funktioniert das folgendermaßen: Kurz nach Beginn einer Mahlzeit produzieren die Zellen des Zwölffingerdarms das Hormon Sekretin. Es regt die Bauchspeicheldrüse an, den pH-Wert im Darm so zu verändern, dass die Verdauungsenzyme optimal arbeiten können. Doch das ist nicht alles.

Sekretin zirkuliert durch die Blutbahn, dockt an Rezeptoren auf den braunen Fettzellen an und aktiviert sie. Die Mitochondrien arbeiten auf Hochtouren, und das Gewebe erwärmt sich. Spezielle Nervenzellen im Gehirn registrieren diesen Temperaturanstieg und lösen daraufhin ein Sättigungsgefühl aus. „Das braune Fettgewebe spielt eine ganz zentrale Rolle in der Kommunikation zwischen Darm und Gehirn“, erklärt Klingenspor.

Wie genau das Gehirn die Aktivierung des braunen Fettgewebes registriert, ist noch nicht erforscht. „Unsere Lieblingshypothese ist, dass sich durch dessen Aktivierung

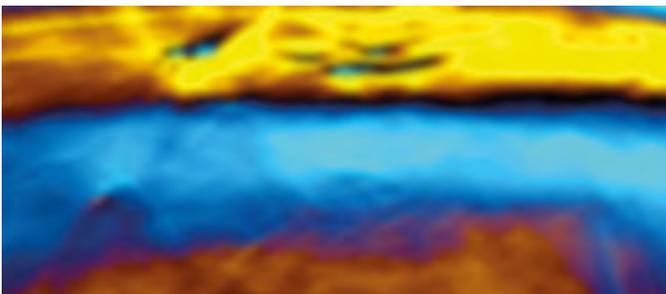
zunächst das Blut und dann auch das Gehirn direkt erwärmen“, sagt der Stoffwechselforscher. Denkbar seien jedoch auch zwei weitere Ansätze. Zum einen könnte es sein, dass das braune Fettgewebe nach der Aktivierung eigene Botenstoffe, BAT-okine genannt, ins Blut abgibt und diese durch die Blutbahn ins Gehirn gelangen. Zum anderen könnten sogenannte afferente Nervenfasern die Informationen vom braunen Fettgewebe zum Gehirn leiten. „Gerade laufen bei uns im Labor die ersten Versuche, um das zu bestätigen oder zu widerlegen“, berichtet der Wissenschaftler.

Mit seiner Entdeckung hat der Biologe die Diskussion um die Bedeutung des braunen Fettgewebes ein Stück weit verlagert. Bisher drehte sich alles um die Frage, ob dessen geringe Menge überhaupt ausreichend sein könnte, um durch seine Aktivierung den Energiehaushalt eines Organismus nennenswert zu verändern. Doch seit bekannt ist, dass es auch am Auslösen des Sättigungsgefühls beteiligt ist, ist klar: Besonders viel ist vielleicht gar nicht notwendig.



„Unsere Lieblingshypothese ist, dass sich durch die Aktivierung zunächst das Blut und dann auch das Gehirn direkt erwärmen.“

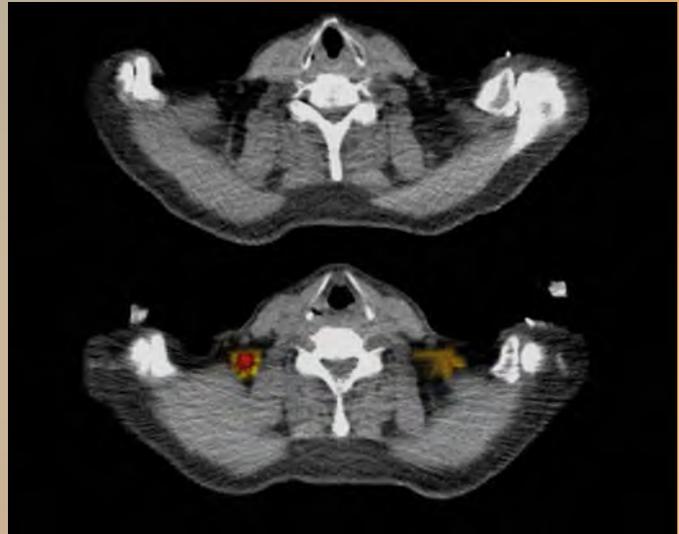
Martin Klingenspor



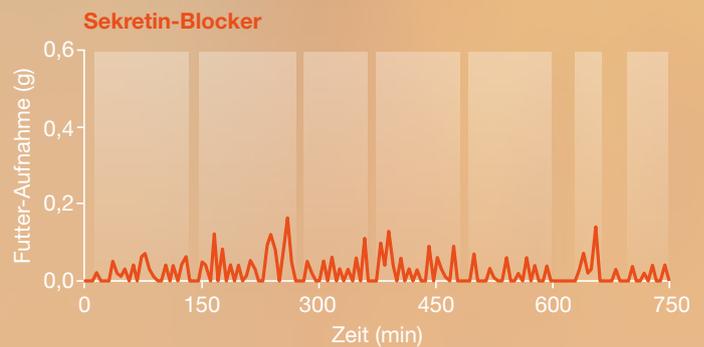
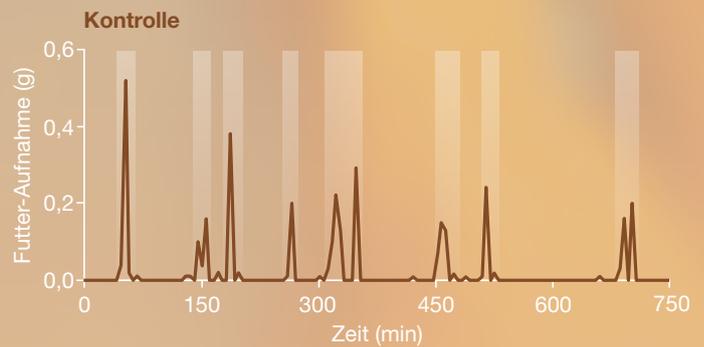
Die so erzeugten Ultraschallbilder, hier in Falschfarben eingefärbt, zeigen die braune Fettschicht.



In einem Respirometer wird die Wirkung von Sekretin auf die Zellatmung der braunen Fettzellen untersucht.



Mit moderner Bildgebung lässt sich die erhöhte Glukoseaufnahme des braunen Fettgewebes, angeregt durch Sekretin, darstellen (oben ohne, unten mit).



Mäuse wurden nicht schlanker

Bei Mäusen beeinflusst Sekretin Anzahl, Größe und Dauer der Mahlzeiten. Die Gesamtenergieaufnahme bleibt aber gleich. Blockiert man die Sekretinwirkung durch einen Antikörper, fressen die Mäuse deutlich größere Portionen, aber in weniger Mahlzeiten. Diese sind hier durch hell schattierte Flächen markiert. Man erkennt, dass die Tiere pro Tag genauso viel Energie zu sich nehmen wie sonst auch.

Könnte eine Sattmacher-Sekretin-Pille also bald als neues Schlankheitsmittel auf den Markt kommen? Nein, so einfach ist es nicht. Mäuse sind nachtaktiv und nehmen ca. zehn Mahlzeiten pro Nacht zu sich. Sekretin beeinflusst zwar Anzahl, Größe und Dauer der Mahlzeiten. Die langfristige Energieaufnahme bleibt aber unverändert. Blockiert man die Sekretinwirkung durch einen Antikörper, veränderte sich das Fressverhalten der Mäuse. Sie fraßen deutlich

größere Portionen, in insgesamt weniger, aber länger andauernden Mahlzeiten, nahmen jedoch im gesamten Tagesverlauf genauso viel Energie zu sich wie sonst auch. Der Grund dafür ist, dass die Regulation unserer Energiereserven evolutionär gesehen von überlebenswichtiger Bedeutung ist. „Deshalb gibt es nicht den einen Mechanismus, der das Gleichgewicht zwischen Energieaufnahme und -verbrauch kontrolliert“, erklärt Klingenspor.

Prof. Martin Klingenspor

Er hat an der Philipps-Universität in Marburg Biologie studiert. 1994 promovierte der Wissenschaftler im Bereich Tierphysiologie. Nach einem Forschungsaufenthalt am Lipid Research Laboratory in Los Angeles, USA, kehrte er nach Marburg zurück und wurde Assistenzprofessor für Tierphysiologie. 2001 folgte seine Habilitation im gleichen Fachgebiet. Er blieb Marburg noch weitere fünf Jahre treu, bevor er im Jahr 2007 als Professor für Molekulare Ernährungsmedizin an die TUM wechselte. Ziel seiner Forschung ist es, herauszufinden, wie der Körper eine Balance zwischen Nahrungsaufnahme und Energieverbrauch herstellt.



„Das System ist mehrfach abgesichert, so wie jede technische Anlage auch. Und wir müssen damit rechnen, dass unser Körper sich gegen jede Intervention wehrt.“ Soll heißen: Wenn wir durch eine Aktivierung des braunen Fettgewebes mehr Energie verbrauchen, haben wir vielleicht auch mehr Hunger und essen mehr.

Vorangetrieben werden kann diese Forschung auch dank einer Erfindung von Vasilis Ntziachristos, Professor für Biologische Bildgebung an der TUM. Er hat die sogenannte multispektrale optoakustische Tomografie entwickelt, eine Art Ultraschall mit Laserlicht. Dank dieser Methode können die Forscher jetzt braunes Fettgewebe sichtbar machen, ohne auf eine Biopsie oder radioaktiv markierte Substanzen zurückzugreifen. Erste Tests an Mäusen und Menschen haben vielversprechende Ergebnisse gezeigt.

Als nächstes will Klingenspor herausfinden, was passiert, wenn man die Sekretin-Rezeptoren im braunen Fettgewebe inaktiviert. Mithilfe von Gentechnik lässt sich das bei Mäusen relativ leicht bewerkstelligen. „Die Stoffwechselaktivitäten in Maus und Mensch sind einander sehr ähnlich, wir können hier vom Mausmodell wirklich gute Informationen für den Menschen ableiten und kommen schneller voran“, erklärt der Biologe. In einer solchen Maus würde man erwarten, dass das Sekretin keinen Sättigungseffekt mehr auslöst.

Eine Wunderpille ist noch fern

Außerdem ist er weiteren Aktivatoren des braunen Fettgewebes auf der Spur. So will er zum Beispiel untersuchen, welchen Einfluss das Hormon ACTH hat. ACTH ist bisher dafür bekannt, die Ausschüttung des Stresshormons Cortisol anzuregen. Doch auch die braunen Fettzellen haben zahlreiche ACTH-Rezeptoren. Wozu die gut sind? Das wird sich hoffentlich in den nächsten Jahren zeigen.

Trotz aller bahnbrechenden Neuigkeiten darf man jedoch nicht erwarten, dass es bald eine Wunderpille gegen Stoffwechselerkrankungen geben wird. „Es gibt bisher nur wenige pharmakologische Therapien von Adipositas, und keine setzt einzig und allein auf ein Medikament“, sagt Klingenspor. Die Menschen müssten immer auch ihren Lebensstil verändern, gesünder essen, mehr Sport treiben, um ihr Körpergewicht in Balance zu bekommen. Doch es scheint so, als könnte das braune Fettgewebe diesen Prozess unterstützen.

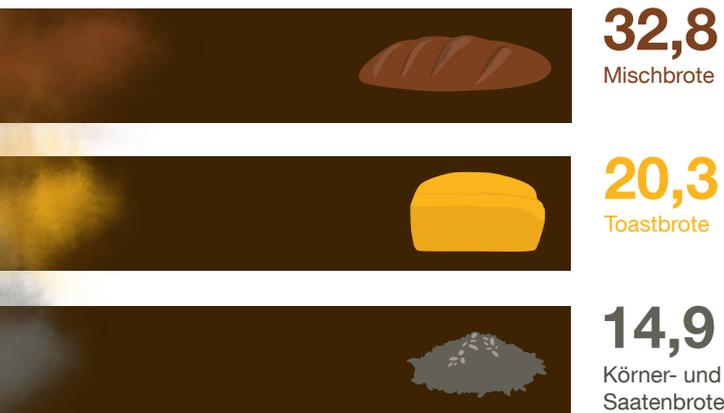
■ *Claudia Doyle*

„Man wird Backwaren mit ganz neuen Eigenschaften herstellen können.“

Mario Jekle



Die beliebtesten Brotsorten in Deutschland
in Prozent (Stand 2017)



Brot aus dem Drucker

Was verleiht Brot seinen Biss? Welche Prozesse machen die Kruste knusprig und die Krume weich? Mit einem 3D-Drucker entschlüsseln Forscher der TUM die Geheimnisse des Brotbackens und ebnen den Weg für eine schnelle und flexible Produktion der Zukunft.

Seit mehreren tausend Jahren bäckt der Mensch Brot. Es gibt Tausende verschiedener Rezepturen und Herstellungsvarianten. Alle beruhen darauf, dass man Wasser mit Mehl – also Stärke und Proteinen – mischt, fermentiert und in einem Ofen erhitzt. Dort verwandelt sich der Teig in einen duftenden Laib mit weicher Krume und knuspriger Kruste. Aber warum eigentlich?

„Bis heute sind die komplexen Vorgänge beim Backen nicht vollständig aufgeklärt“, sagt Dr. Mario Jekle am Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie von Prof. Thomas Becker an der TUM. Mehrere Dutzend Parameter beeinflussen das Ergebnis – darunter die Zusammensetzung und Korngröße der Zutaten, die Fähigkeit der Proteine, sich zu vernetzen, die Menge des zugegebenen Wassers sowie Prozessparameter wie die Temperatur des Ofens. Im Labor des Weihenstephaner Wissenschaftszentrums für

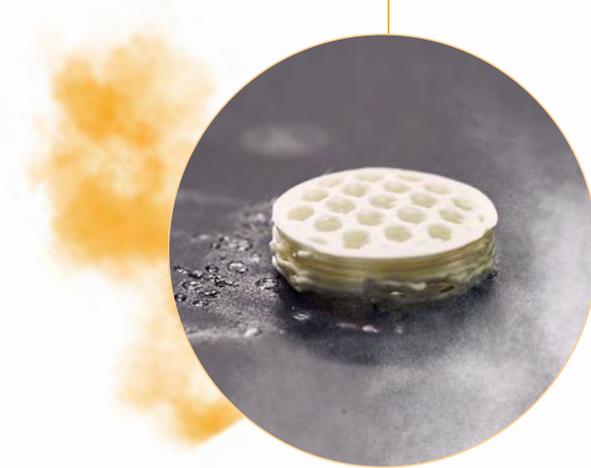
Ernährung, Landnutzung und Umwelt untersucht Jekles Team, wie sich diese Faktoren gegenseitig beeinflussen. „Dafür müssen wir nicht nur unter standardisierten Bedingungen backen, sondern auch die Prozesse entkoppeln“, betont der Lebensmitteltechnologe. „In einem herkömmlichen Backofen ist das nicht möglich. Wir nutzen daher 3D-Drucktechnik.“

Noch lassen sich mit dem neuen Verfahren nur kleine Brötchen backen – sie sind kaum größer als Zuckerwürfel. Dafür ist bei der Herstellung nichts dem Zufall überlassen: Jede Zutat wird chemisch analysiert und gewogen, bevor ein Miniaturnührer sie mit Wasser zu einer Art Teig knetet. Den verwandelt der Drucker in Brot – ohne Hefe oder andere Backtriebmittel und ohne langes Warten auf ein „Aufgehen“ des Teigs. ▶



Drei Jahre haben die Forscher daran gearbeitet, die Druckbarkeit von Teig zu erforschen und den Prozess zu optimieren. „Eine große Herausforderung lag darin, den Teig gleichmäßig aufzutragen: Die zähe und elastische Masse aus Mehl und Wasser muss durch einen Trichter, den Applikator, gepresst werden, ohne dass die knapp einen Millimeter dünne Öffnung verstopft“, berichtet Jekle. Er leitet die Arbeitsgruppe Getreidetechnologie und -verfahrenstechnik am Lehrstuhl.

Mittlerweile haben die Forscher das System perfektioniert: Während der Druckerkopf surrend hin- und herfährt, werden dünne Teigfäden erzeugt und angeordnet, bis eine etwa 1 Quadratzentimeter große Fläche vollständig bedeckt ist. Dann rastert ein Laserstrahl die Teigschicht ab, die Wärme sorgt dafür, dass sich die Proteine vernetzen und eine stabile Struktur schaffen. Ist diese „Transformation“ abgeschlossen, legt der Druckerkopf die nächste Schicht darüber – wobei er die Stellen, an denen Poren entstehen sollen, ausspart. Nach 5 Minuten ist der Brotwürfel fertig. Hunderte solcher Mini-Brote haben die Forscher schon gedruckt.



Bisher bäckt der 3D-Drucker nur ganz kleine Brötchen, aber er ermöglicht es, immer die gleichen Backbedingungen zu garantieren und die einzelnen Prozesse zu entkoppeln. Jekle (dahinter) und sein Team haben das Verfahren optimiert.



Die Eigenschaften eines Brotes hängen ab von den Zutaten, der Vernetzungsfähigkeit der Proteine und der Backtemperatur. Im Brottechnikum analysieren Jekle und sein Team Kruste und Krume.

Jeder Würfel ist anders, enthält unterschiedliche Anteile von Stärke und Proteinen, unterschiedlich große Poren, wurde mehr oder weniger stark erhitzt, um Kruste und Krume zu erzeugen. Jekles Team misst bei jedem Würfel Druckfestigkeit, Feuchteverlust, Gewicht und Porosität. Für die Untersuchung von Geruch und Geschmack werden die Proben an den Lehrstuhl für Lebensmittelchemie und Molekulare Sensorik der TUM geschickt. Gemeinsam wollen die Wissenschaftlerteams jetzt erforschen, inwieweit Porosität und Geschmacksfreisetzung zusammenhängen.

Die Ergebnisse will Jekle dann nutzen, um mathematische Modelle zu entwickeln, mit denen sich der Backprozess darstellen lässt. Mithilfe der Simulationen lässt sich beispielsweise herausfinden, wie eine Bäckerei mit dem geringsten Energieaufwand das beste Ergebnis erzielen kann, erklärt der Forscher: „Dafür müssen wir modellieren, wann wie viel Wärme für die Stabilisierung der Struktur benötigt wird.“



Die 3D-Drucktechnik eröffnet darüber hinaus auch neue Möglichkeiten der Produktentwicklung: „In wenigen Jahren wird es Brotdrucker geben für den Heimbedarf, für kleine Bäckereien, aber auch für Kliniken, in denen Diätvorschriften eingehalten werden müssen“, prognostiziert Jekle. „Man wird Backwaren mit ganz neuen Eigenschaften herstellen können: außen weich und mit eingelagerten, knusprigen Krustenstücken, mit oder ohne bestimmte Proteine. Die Fertigung im 3D-Drucker lässt sich einfach und schnell an die Wünsche des Kunden anpassen.“

■ *Monika Weiner*

Link

www.bina.wzw.tum.de



Äpfel essen ohne Reue



Solche tiefgefrorenen Proben der neu gezüchteten Äpfel bilden die Grundlage für die Analysen im Labor von Prof. Wilfried Schwab.

Mat d 1
23.9.17



Mat d 1



Fast 20 Kilo Äpfel verzehrt jeder Deutsche durchschnittlich im Jahr: Knackig müssen sie sein, möglichst rotbackig und süß. Aber es gibt auch immer mehr Menschen, die gegen die Früchte allergisch sind. Deshalb arbeiten Forscher um Wilfried Schwab, Professor für Biotechnologie der Naturstoffe an der TUM, an einem Projekt zur Züchtung „allergikerfreundlicher“ Apfelsorten mit. Geht alles glatt, könnten Verbraucher 2025 solche Sorten im Laden finden.



Die Proben kommen aus Osnabrück. Rechts Prof. Werner Dierend von der dortigen Hochschule, wie er die besten Apfelbäume selektiert und auf dem Computer für die weitere Züchtung registriert.



Prof. Dr. Werner Dierend



Mal d 1

Nein, Äpfel gibt es heute keine zu probieren. Es sind Apfelstückchen, kleingeschnippelt und in Plastikfolie vakuumiert, die Emilia Romer kurz hochhebt. „Hier, das sind unsere Untersuchungsobjekte“, dann packt sie die Probe sofort wieder in die Tiefkühltruhe. Gerade noch zu erkennen war ein P 98 10.10.2018 auf der Packung. „Sie sahen eine Apfelprobe vom Baum 98, geerntet am 10. Oktober 2018“, erklärt Romer.

Bei der Biotechnologie der Naturstoffe der TUM auf dem Campus in Weihenstephan läuft die Suche nach Apfelsorten, die auch Allergiker gut vertragen können. Probe P 98 ist eine von Hunderten, in denen die beiden Doktorandinnen Emilia Romer und Soraya Chebib hier die genauen Konzentrationen einer bestimmten Gruppe an Proteinen analysieren – genannt Mal d 1-Proteine. Von denen sollen neue Apfelsorten für Allergiker möglichst wenig bilden, gelten sie doch als Hauptursache von Allergien gegen Äpfel. Knapp fünf Prozent der Erwachsenen hierzulande haben solch eine Lebensmittelallergie. Schon nach dem ersten Biss in Obst oder Gemüse droht Juckreiz, bald schwellen Lippen, Zunge, Mundschleimhaut an. Massiv gefährliche Reaktionen bis zum anaphylaktischen Schock sind zum Glück selten.

Komplett allergenfrei wird es nicht geben

Und jetzt hilft also bald der erste nicht mehr allergene Apfel? Halt, schon falsch. Projektleiter Prof. Wilfried Schwab wendet sich gleich gegen allzu vollmundige Interpretationen: „Allergenfrei können wir nicht versprechen. Es werden Apfelsorten sein, die ‚allergikerfreundlich‘ sind.“ Noch ist es nicht so weit, und so ganz in die Karten gucken lassen sich die Wissenschaftler nicht. Verraten wird: 2025 könnte solch ein Apfel in ausgewählten Läden zu finden sein. Möglich macht es ein vom Bundeslandwirtschaftsministerium finanziertes Verbundprojekt, in dem die Mitarbeiter der TUM die Analytik beisteuern. Die Proben kommen allerdings ausnahmslos per Post – aus Norddeutschland, von der Hochschule Osnabrück (HS OS). 2002, erinnert sich Prof. Werner Dierend, Inhaber des dortigen Lehrstuhls Obstbau und Obstverwertung, hätten Obstbauern von der Züchtungsinitiative Niederelbe (ZIN) angefragt, ob er mit neuen Apfelsorten helfen könne. Die ZIN ist ein Zusammenschluss von 170 Apfelproduzenten und Händlern. Einige Mitglieder hatten festgestellt, dass sie den Markt neu aufmischen mussten.

Neuzüchtungen für das Image

„Denn der Kunde möchte knackig-spritzige Äpfel“, weiß Dierend. Und die aktuell wichtigsten Apfelsorten hierzulande, Jonagold und Elstar, naja, seien nicht mehr gerade die allerknackigsten. Ganz generell, erklärt der Fachmann, seien alle 15 bis 20 Jahre Neuzüchtungen angesagt, aus Marketing- und Imagegründen, aber auch, weil die Qualität mit den Jahren des Anbaus von Sorten eher sinke. 2003 setzte Dierend mit der ZIN daher ein Züchtungsprogramm auf. Das Ziel: knackig-frisch, geeignet für den Anbau in Norddeutschland, hohe Erträge, möglichst resistent gegen Pathogene. Und bitte alles zusammen.

Die Technik, mit der man dahin kommt, ist vertraut: Durch kontrollierte Bestäubung kreuzen die Forscher von Hochschule Osnabrück und ZIN ausgesuchte Sorten, deren Nachfahren gewünschte Eigenschaften aus beiden Eltern-

pflanzen auf sich vereinen sollen. Kontakte der HS OS in alle Welt halfen, geeignete Ausgangssorten zu bekommen. Bei der nachgezogenen F1-Generation geht es dann darum, die besten Apfelbäume auszuwählen. Jahr um Jahr bewerten die Züchter Geschmack, Resistenzen, Erträge. Insgesamt sind rund 300 Kreuzungsansätze im Programm. In langen Reihen stehen die Neuzüchtungen auf Versuchsfeldern bei der ZIN und an der HS OS. Und bereits im Jahr 2016 konnten die Züchter für die erste Apfelsorte einen Sortenschutzantrag beim Bundessortenamt stellen.

Das Thema Allergie hatten sie zunächst gar nicht auf dem Radar. „Erst als wir 2012 erfuhren, dass Leute an der TUM wichtige Apfelallergene messen können, haben wir das sofort mit ins Programm genommen“, erklärt Dierend. ▶

„Als wir 2012 erfuhren, dass Leute an der TUM wichtige Apfelallergene messen können, haben wir das sofort mit ins Programm genommen.“ Werner Dierend

Auf dem Selektionsfeld der Züchtungsinitiative Niederelbe werden u. a. die allergenarmen Äpfel gezüchtet: Von vielen Bäumen (im Bild unten) werden jedes Jahr die besten selektiert, die anderen gerodet. So bleiben am Ende die Mutterbäume für die neuen Sorten übrig (im Bild oben Mitte).



Von weißen Erdbeeren zum Apfel

Auch Schwab fand erst über eine Querverbindung zur Allergenforschung, tüftelte ab 2003 an der TUM zunächst zu Aroma- und Farbstoffen in Früchten. Es waren Arbeiten der Biochemikerin Prof. Cecilia Emanuelsson an der schwedischen Universität Lund, die ihn auf die Fährte von Allergenen brachten. Emanuelssons Gruppe konnte ab 2004 nachvollziehen, dass manche weißen Erdbeersorten sehr wenig eines Fra a 1 genannten Proteins aufweisen (der Name leitet sich vom wissenschaftlichen Namen der Kulturerdbeere ab – *Fragaria ananassa*). Und dass Patienten mit Erdbeerallergie weiße Sorten oft besser vertrugen – nicht, weil die keinen Farbstoff mehr enthalten, sondern nur geringe Mengen an Fra a 1. Dieses Protein gilt heute als das wichtigste Allergen in Erdbeeren. Zugleich ist es Mitglied einer Allergenfamilie mit Vertretern in vielen Pflanzen, unter anderem auch in Tomaten, Pflaume oder Kirsche. Das Pendant in Birkenpollen heißt Bet v 1 (für *Betula verrucosa*, die Hängebirke). Und im Apfel ist es das Protein Mal d 1 (für *Malus domestica*).

Welche Funktion diese Proteine für Pflanzen haben, ist genauso offen wie die Frage, warum das Immunsystem mancher Menschen just auf Mitglieder dieser Proteinfamilie besonders reagiert. Dafür erklärt die hohe Ähnlichkeit der Eiweiße untereinander die häufigen Kreuzreaktionen bei

Lebensmittelallergikern: Wer eine entsprechende Veranlagung hat, so die gängige Hypothese, hat in Mittel- und Nordeuropa ein hohes Risiko, eine Sensibilisierung auf Bet v 1 in Birkenpollen zu entwickeln. Der Schritt zur Kreuzreaktion auf Lebensmittel ist dann nicht mehr weit. So haben 50 bis 75 Prozent der Birkenpollenallergiker in Mittel- und Nordeuropa auch noch eine Allergie gegen Apfel und weitere Früchte.

Schwabs Gruppe verfügte seit 2012 über ein Serum gegen Allergene wie Fra a 1 und entwickelte damit Messverfahren für die ganze Proteingruppe – so genannte ELISA (Englisch für Enzyme-linked Immunosorbent Assay). Schon vor Jahren konnte sein Team damit zeigen, dass sich Erdbeeren und Tomatensorten massiv in den Gehalten der Allergene unterscheiden können. Das machte konzeptionell die Türe auf, bei Züchtungen nach Sorten zu fahnden, die möglichst wenig der Allergene produzieren. Das Projekt „allergikerfreundlicher“ Apfel ist mit das erste, das versucht, das Konzept umzusetzen. Seit 2016 arbeiten ZIN, HS OS und TUM mit Geldern des Bundeslandwirtschaftsministeriums im Projekt ALL-ARM „Züchtung allergenarmer Äpfel“ zusammen. Seither landet Probe auf Probe im Labor bei Romer und Chebib.



In den Labors von Schwab in Freising findet die Analysearbeit statt. Hier wird getestet, wie viele Allergene die Apfelproben noch enthalten.

In die 96 Vertiefungen auf den Mikrotiterplatten kommt das Protein Mal d 1. Dann pipettieren die Forscherinnen Extrakte aus den Apfelproben und einen Antikörper hinzu, der an Mal d 1 bindet.

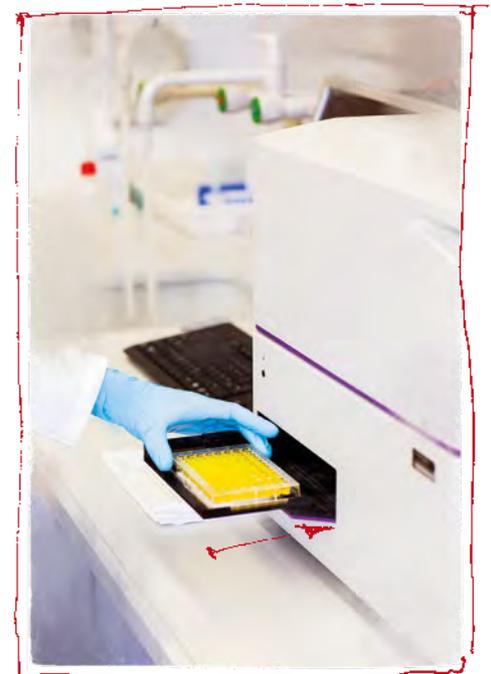
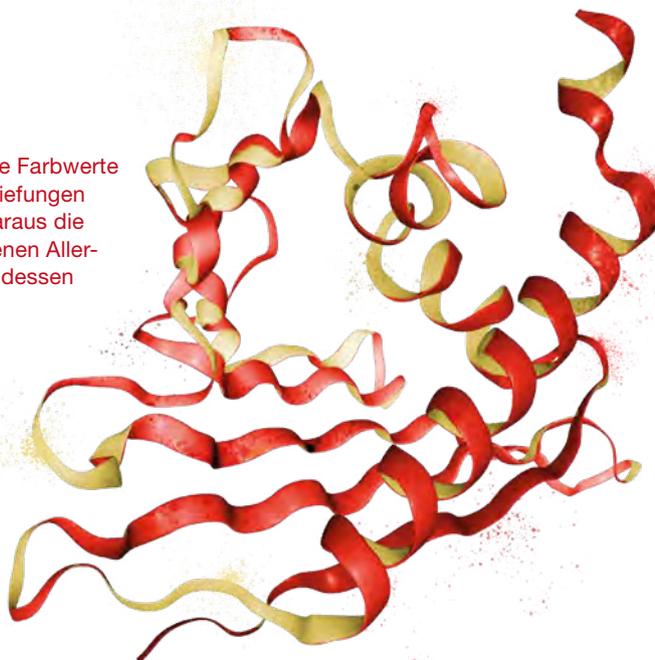


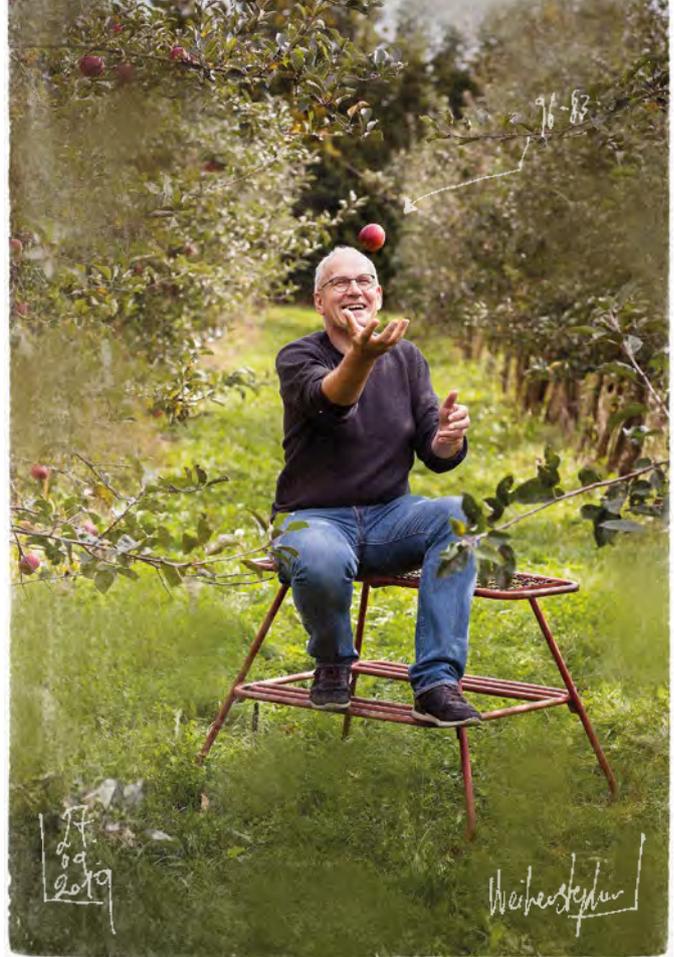
Verdrängungswettbewerb in der Titerplatte

Für die Analytik nutzen die beiden handelsübliche Mikrotiterplatten. Zunächst kommt immer die gleiche, genau definierte Menge hochreinen Proteins Mal d 1 in jede der 96 Vertiefungen der Platte, neudeutsch Well. Dann pipettieren die Forscherinnen Extrakte aus den Apfelproben und einen Antikörper hinzu, der an Mal d 1 bindet. Der Antikörper bindet sowohl an die Mal d 1 Proteine auf der Platte als auch an die Proteine aus dem Apfel. So lange, bis ein Gleichgewicht erreicht ist. ▶



Die Maschine liest die Farbwerte in den einzelnen Vertiefungen aus und errechnet daraus die Menge des vorhandenen Allergens Mal d 1 (rechts dessen Proteinstruktur).





Prof. Wilfried Schwab

Er ist Professor für Biotechnologie der Naturstoffe an der TUM in Weihenstephan. Der gebürtige Franke, Jahrgang 1961, studierte Lebensmittelchemie an der Universität Würzburg, wurde dort 1989 promoviert. Anschließend ging er für ein Jahr an das Institute of Biological Chemistry der Washington State University in Pullman, USA, wechselte für drei Jahre zur Hoechst AG und AgrEvo in Frankfurt und kam 1994 wieder nach Würzburg, wo er sich 1999 habilitierte. 2003 erhielt er eine Stiftungsprofessur an der TUM, fünf Jahre später richtete ihm die Universität die Professur auf Dauer ein. Schwab schließt Gentechnik in der Pflanzenzüchtung nicht aus, plädiert aber dafür, erst einmal das zu nutzen und zu selektieren, was in der heutigen Sortenvielfalt bei Obst und Gemüse steckt. Er ist verheiratet und hat zwei Kinder.



Krusallergene

Nach der Sortenzulassung könnte ab 2025 der allergikerfreundliche Apfel in ausgewählten Läden zu finden sein.

“Allergenfrei können wir nicht versprechen. Es werden Apfelsorten sein, die ‘allergiker-freundlich’ sind.”

Wilfried Schwab

Tests mit Probanden

Man muss kein Prophet sein, um Kandidaten für allergikerfreundliche Äpfel unter letzteren zu vermuten. Doch Schwab hat gleich noch eine Mahnung gegen zu große Vereinfachung. Man wisse, dass der Gehalt an Mal d 1 nicht 1:1-Rückschlüsse auf das Allergierisiko im Einzelfall erlaube. Denn hinter dem Terminus Mal d 1 stehen Dutzende an Varianten dieser Proteine, die je nach Apfelsorte unterschiedlich häufig vorkommen können. Auch deutet sich an, dass Patienten sehr individuell nur auf einzelne Varianten reagieren. Der Antikörpertest im Labor der TUM erfasst weitgehend alle Varianten als Summenwert, sagt damit aber nichts über die Anteile von Varianten aus.

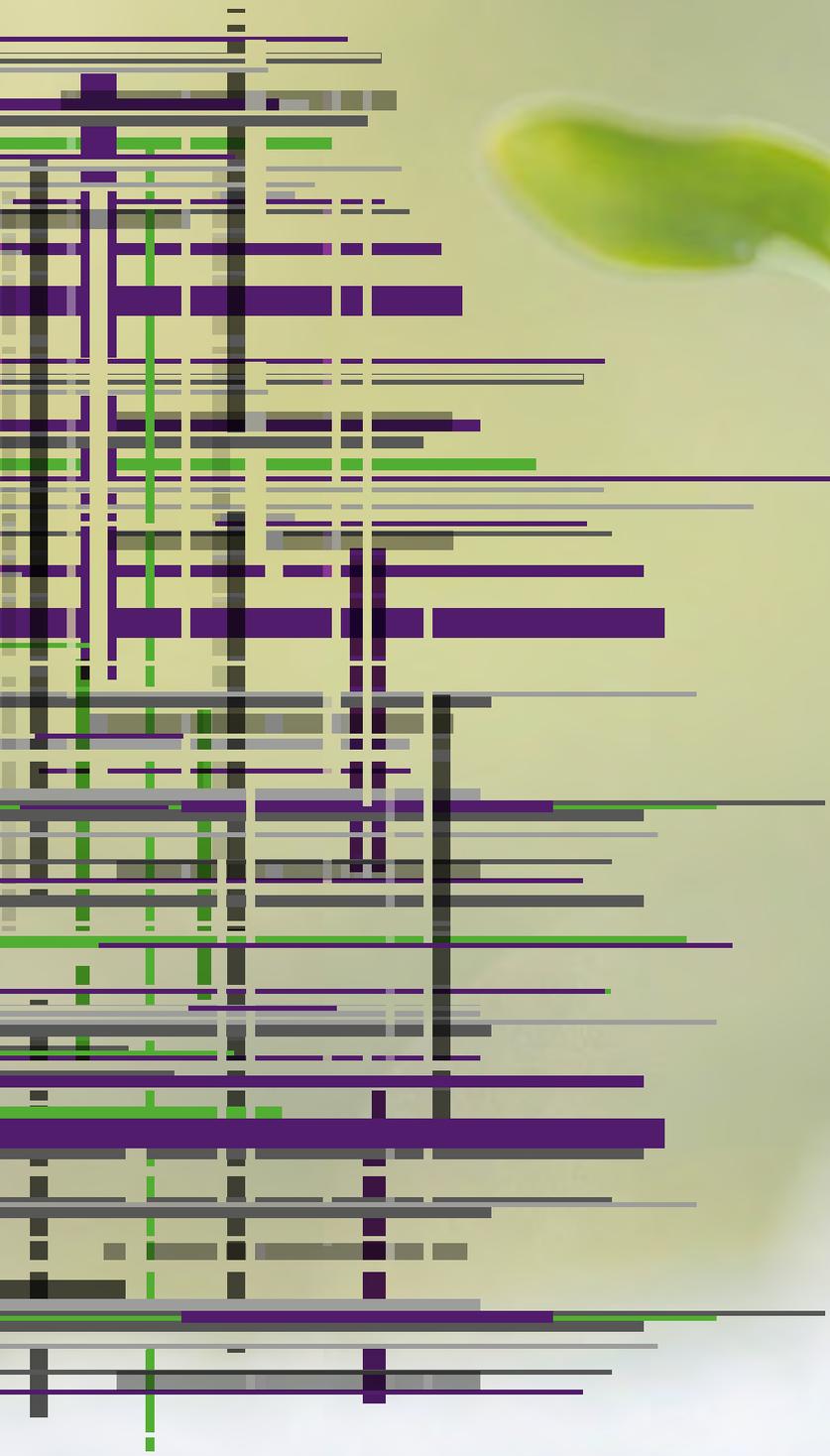
Komplettiert wird das Projekt deshalb durch Tests mit Probanden, die seit 2018 am Allergie-Centrum der Berliner Charité (Prof. Dr. Karl-Christian Bergmann) regelmäßig Apfelvarietäten mit niedrigem Mal d 1-Gehalt aus dem Züchtungsprojekt verkosten. Bitte 30 Gramm Apfel essen, danach notieren, ob und wie stark es zu allergischen Reaktionen kommt. Wenn es eben ging, danach nochmal 100 Gramm probieren und nochmal notieren. Diese Daten werden zeigen, welche Neuzüchtungen wirklich zumindest für möglichst viele Betroffene „allergikerfreundlich“ sind.

In Nord- und Mitteleuropa wohlgemerkt. Denn für Südeuropa müsste ein weiteres Forschungsprojekt her. Die gesamte Proteingruppe von Mal d 1 und Co. hat dort keine große Bedeutung für Lebensmittelallergien. Der vermutliche Grund: Birken wachsen in Spanien und Italien eher selten, eine Erstsensibilisierung durch Birkenpollen und anschließende Kreuzreaktion auf Mal d 1 und Co. findet nicht statt. Dabei gibt es auch im Süden viele Menschen mit Lebensmittelallergien, allerdings reagieren sie auf andere Eiweiße. Aber richtig, das wäre jetzt eine andere Story.

Bernhard Epping

Der entscheidende Kniff: Je mehr Mal d 1 in einer Apfelprobe steckt, desto mehr Antikörper binden diese Moleküle selbst. Am Ende macht eine Farbreaktion quantifizierbar, wie viele Antikörper noch verblieben sind. Daraus lässt sich zurückrechnen, wie viel Mal d 1 im Apfel gewesen sein muss. Das alles ist durchaus mühsames Handwerk: Pipettieren, waschen, puffern, färben – „Wir sind mit jeder Titerplatte einige Stunden beschäftigt und können mit ihr zwölf Proben analysieren“, berichtet Chebib. Der letzte Schritt geht schnell, eine Maschine liest die Farbwerte aller 96 Wells der Platte aus, der Computer rechnet um nach dem Motto: In der Probe von Baum P98, geerntet am 10.10.2018 sind ... ja und?

Nein, konkrete Einzelwerte werden heute nicht verraten. Aber es gibt eine Übersicht: Die Variabilität bei den Neuzüchtungen ist enorm. Um den Faktor 400 können die Werte differieren – von vergleichsweise hohen 40 Mikrogramm Mal d 1 je Gramm Frischgewicht bis zu gerade noch 0,1 Mikrogramm je Gramm frischen Apfels.



Link

plantbreeding.wzw.tum.de

Das Team analysiert statt einzelner Gene ganze DNA-Profile: Es vergleicht dazu viele Maislinien und sucht in den Profilen nach Mustern, die sich vorteilhaften Eigenschaften zuordnen lassen.



Intelligente Pflanzenzüchtung: Die Suche nach der Nadel im Heuhaufen

Es ist ein kompliziertes – und heute meist noch völlig unbekanntes – Puzzle aus verschiedenen Genen, das für bestimmte Eigenschaften von Pflanzen verantwortlich ist. Ein interdisziplinäres Team um Prof. Chris-Carolin Schön nutzt an der TUM School of Life Sciences in Weihenstephan Methoden des maschinellen Lernens, um Millionen von Kombinationen auszuwerten. Damit suchen sie nach den besten Genen für besonders leistungsfähige Maispflanzen.

Sie wollen eine stilvolle Deckenleuchte fürs Wohnzimmer? Oder interessieren sich für E-Bikes, Smartphones, ein spannendes Hörbuch? Das Internet listet für jede Suchanfrage eine große Auswahl der gewünschten Produkte auf, häufig gefolgt von dem Hinweis: „Kunden, die diesen Artikel angesehen haben, kauften auch...“. Die empfohlenen Angebote passen meist erstaunlich gut zu den eigenen Vorlieben. Das gelingt, weil täglich Abermillionen Suchanfragen gesammelt und mit persönlichen Angaben der Internetnutzer abgeglichen werden – von der Schuhgröße über den Wohnort bis zum jüngsten Reiseziel. Mathematische Algorithmen durchforsten diesen gigantischen Datenpool nach auffälligen Verknüpfungen und nutzen wiederkehrende Muster. So lässt sich das Kaufverhalten der Kundinnen und Kunden erforschen und beeinflussen.

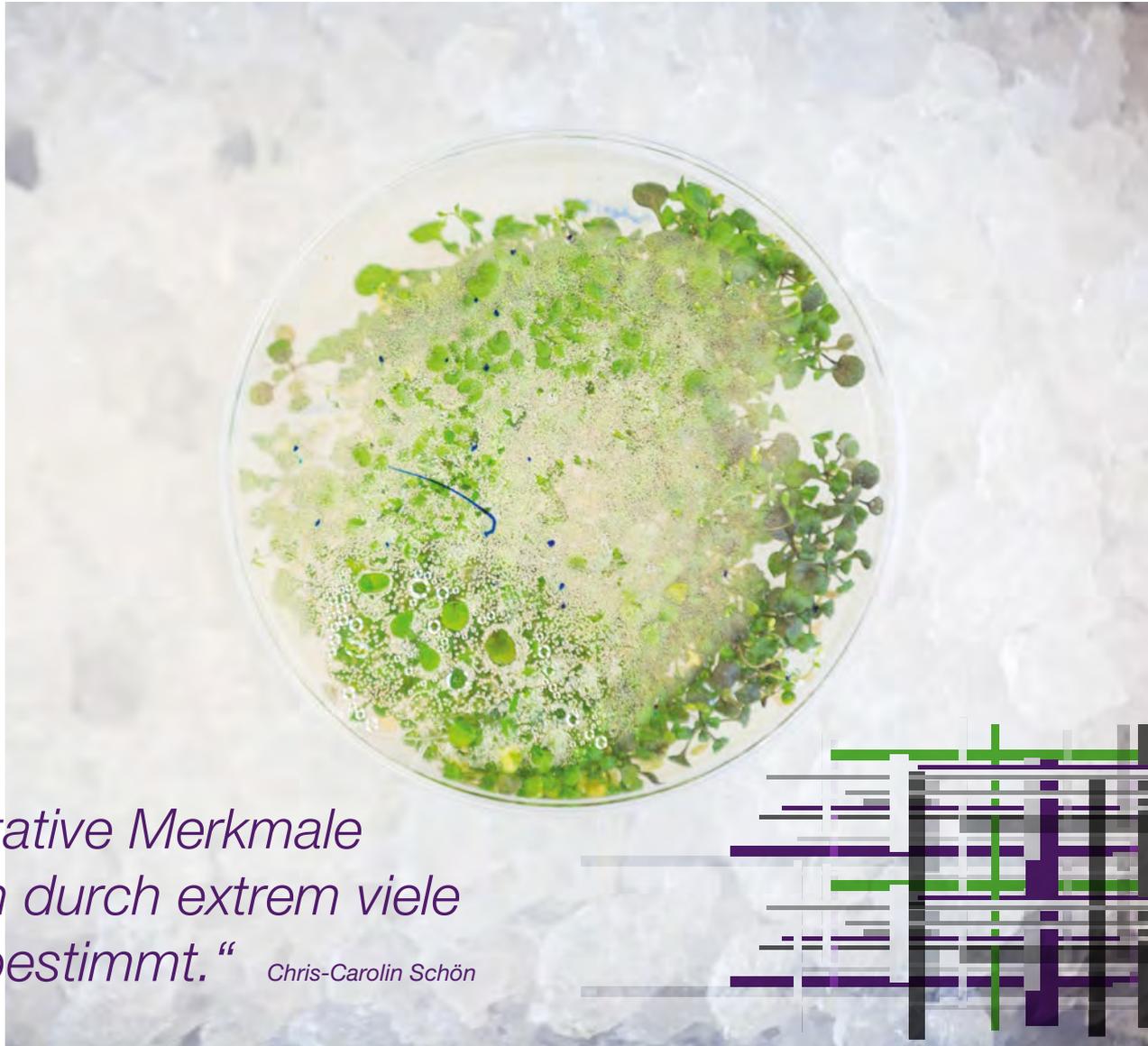
„Wir arbeiten mit ähnlichen mathematischen Modellen, um damit die Eigenschaften neuer, unbekannter Pflanzenlinien vorherzusagen“, erklärt Prof. Chris-Carolin Schön. Die Professorin für Pflanzenzüchtung erforscht am Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt der TUM wichtige Nutzpflanzen wie Mais und Sonnenblumen. „Sie sollen auch in Zeiten des Klimawandels gut gedeihen und hohe Erträge bringen“, betont die Agrarwissenschaftlerin. „Wir brauchen robuste und ans jeweilige Klima angepasste Sorten, um die Ernährung einer wachsenden Weltbevölkerung zu sichern und dabei den Einsatz von Wasser, Energie und Agrochemikalien so gering wie möglich zu halten.“



Aus drei regional verbreiteten Maislandrassen haben die Forscherinnen und Forscher knapp tausend Linien produziert, die dann genetisch analysiert wurden.

An den jungen Pflanzen maßen sie bei jeder Maislinie Kältetoleranz und frühe Jugendentwicklung: wichtige Eigenschaften für den umweltgerechten Anbau.





„Quantitative Merkmale werden durch extrem viele Gene bestimmt.“ *Chris-Carolin Schön*

Schön und ihr Team untersuchen neben Mais noch andere wichtige Nutzpflanzen wie Roggen und Sonnenblumen.

Bildquelle: Tom Freudenberg/TUM; Grafiken: edlundsepp

Mais gehört weltweit zu den wichtigsten Kulturarten zur Erzeugung von Lebensmitteln, Viehfutter und Biogas. Allerdings bringt sein Anbau in Mitteleuropa ökologische Probleme mit sich: Weil er spät ausgesät wird und anfangs wegen seines hohen Wärmebedürfnisses langsam wächst, drohen Bodenerosion und die Auswaschung von Nährstoffen. Zudem werden die jungen Maispflänzchen leicht von Wildkräutern überwachsen, was den Einsatz von Herbiziden notwendig macht.

„Diesen Problemen könnten wir mit neuen, kältetoleranten Züchtungen entgegenwirken, die einen früheren Aussaattermin und eine schnellere Jugendentwicklung zu Beginn der Vegetationsperiode ermöglichen“, erklärt Schön. Auch auf den Blühzeitpunkt komme es an, so die Agrarwissenschaftlerin: „Um sommerlichen Trockenzeiten zu entgehen, sollten die Pflanzen früh zu blühen beginnen – allerdings nicht zu früh, denn das geht auf Kosten des Ertrags. Den optimalen Zeitpunkt zu treffen, ist kompliziert.“

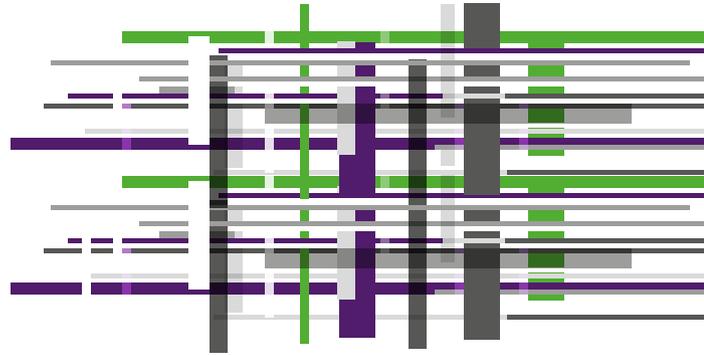


Jugendentwicklung, Robustheit, Blühzeitpunkt und Ertrag sind typische quantitative Merkmale. Will heißen: Es gibt fließende Übergänge zwischen schnell oder langsam wachsenden, robusten oder anfälligen, früh oder spät blühenden, ertragreichen oder -armen Pflanzen. Welche genetischen Faktoren die Ausprägung dieser Merkmale steuern, ist bis heute unklar. „Wir kommen immer mehr zu der Erkenntnis, dass quantitative Merkmale durch extrem viele Gene bestimmt werden, die in komplizierter Weise miteinander wechselwirken. Deshalb analysieren wir statt einzelner Gene inzwischen ganze DNA-Profile. Dazu vergleichen wir die Profile möglichst vieler unterschiedlicher Maislinien und suchen darin nach Mustern, die sich vorteilhaften Eigenschaften zuordnen lassen“, erläutert die Professorin.

Für die Charakterisierung von Pflanzenmerkmalen gilt dasselbe Prinzip wie für die Vorhersage von Kundenwünschen: Je größer der Datensatz, umso präziser die Prognosen, die sich daraus ableiten lassen. Deshalb haben die Weihenstephaner Pflanzenzüchter aus drei ursprünglich regional verbreiteten Maislandrassen knapp tausend Linien produziert. Proben aus jeder dieser Linien wurden an ein deutsches Speziallabor geschickt, das umfangreiche DNA-Profile erstellt hat. „So kennen wir jetzt von jeder Linie 600.000 Datenpunkte entlang des Genoms“, erklärt Armin Hölker. Der Agrarwissenschaftler hat sich während seiner Masterarbeit intensiv mit Methoden der Pflanzenzüchtung vertraut gemacht. Nun arbeitet er als Doktorand im Labor von Schön daran, aus den genetischen Daten der Maislinien Rückschlüsse auf ihre züchtungsrelevanten Merkmale zu ziehen.

„Es geht darum abzuschätzen, welchen Beitrag jede einzelne genetische Komponente zum Ertrag oder zu anderen züchtungsrelevanten Merkmalen leistet“, erläutert Hölker. Damit diese Abschätzung gelingt, braucht er von möglichst vielen Maislinien neben dem DNA-Profil auch die Messdaten über das zugehörige Erscheinungsbild einer jeden Linie. Deshalb wurden von allen genetisch charakterisierten Maislinien am Versuchsgut Roggenstein der TUM insgesamt mehr als 80.000 Pflanzen ausgesät.

◀ **Am Versuchsgut Roggenstein der TUM** wurden von den knapp 1000 genetisch charakterisierten Maislinien insgesamt mehr als 80.000 Pflanzen ausgesät, um das Erscheinungsbild einer jeden Linie zu prüfen.



Ähnliche Versuche gab es verteilt von Norddeutschland bis Nordspanien auch an zehn weiteren Standorten. Nachdem die Saat ausgekeimt war, hatten Hölker und seine Kollegen alle Hände voll zu tun: „Wir haben bei jeder einzelnen Maislinie Kältetoleranz und frühe Jugendentwicklung gemessen, dazu noch weitere agronomische Merkmale wie Standfestigkeit, Blühzeitpunkt, Kolbenreife, Ertrag und maximale Wuchshöhe.“

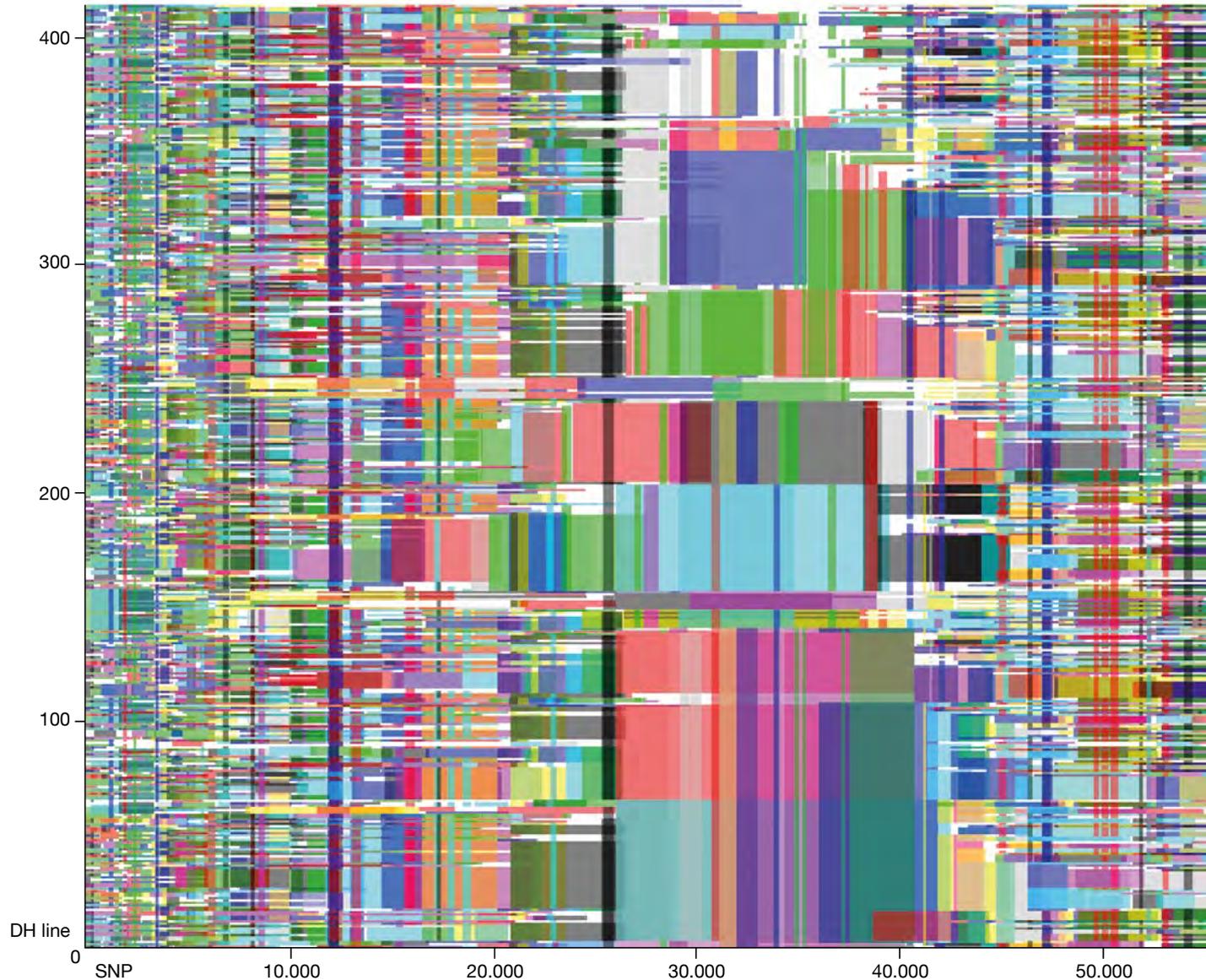
Dieser umfangreiche Satz an Messdaten bildete zusammen mit den zugehörigen DNA-Profilen jeder Maislinie die Datenmatrix für Hölkers mathematisches Modell. Mit statistischen Methoden trifft es Aussagen darüber, welche DNA-Profile mit hohen Erträgen, einer schnelleren Jugendentwicklung oder sonstigen quantitativen Merkmalen einhergehen. „Training“ nennt der Doktorand diesen Prozess. Denn anhand des Datensatzes „lernt“ das Modell, die Gendaten mit den im Feldversuch gemessenen Eigenschaften abzugleichen und möglichst präzise zuzuordnen. Im nächsten Schritt muss es sich dann an den DNA-Profilen von Maislinien mit unbekanntem Erscheinungsbild bewähren. Denn genau das ist ja der Sinn der Sache: Die intelligenten Prognosemodelle sollen an die Stelle der aufwändigen Merkmalerfassung treten. „So können wir künftig bei tausenden unbekanntem Maislinien allein anhand ihrer genetischen Daten beurteilen, ob sie sich für die Züchtung neuer, besser angepasster Sorten eignen. Das spart Zeit und Geld“, erklärt Hölker. ▶

Genomische Selektion: Das Gesamtbild im Blick

Das Maisgenom besteht aus 2,3 Milliarden DNA-Bestandteilen alias Nukleotiden, die sich auf zehn Chromosomen verteilen. Nur ein Bruchteil dieser Nukleotide hat sich zu kodierenden Einheiten zusammengefunden, die wir als Gene bezeichnen. Der weitaus größte Teil hat keine oder eine bislang nicht bekannte kodierende Funktion.

Dennoch lassen sich auch diese Nukleotide zur Vorhersage bestimmter Eigenschaften nutzen. Denn ihre Gesamtheit und Abfolge bildet in jeder Maislinie ein spezielles Muster, das sich von demjenigen in allen anderen Maislinien unterscheidet. Im Bild unten sind mehr als 70.000 identifizierte genomische Marker (waagrechte Achse) aus einer Maislandrasse mit 409 Individuen (senkrechte Achse) zu sehen. Der dargestellte genomische Bereich stellt das gesamte Chromosom 1 dar (insgesamt hat Mais 10 Chromosomen).

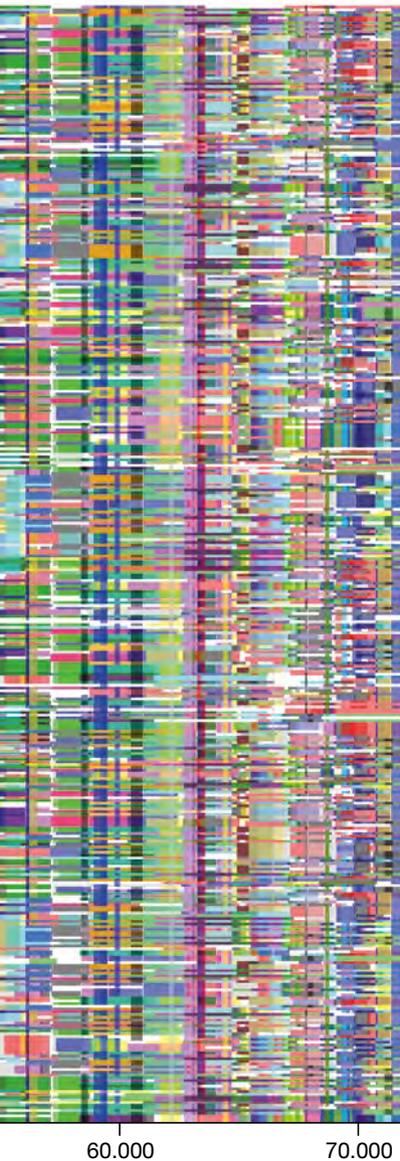
Kennt man das Nukleotid-Muster einer besonders ertragreichen oder trockenoleranten Maislinie, dann werden Pflanzen mit ähnlichem Muster sehr wahrscheinlich ähnlich ertragreich oder trockenolerant sein. Somit kann man allein anhand solcher Muster in einer Vielzahl von Pflanzen mit unbekanntem Erscheinungsbild jene Varianten aufspüren, welche die erwünschten Eigenschaften tragen. Die Vorteile dieses Verfahrens – man bezeichnet es als genomische Selektion – sind offensichtlich: Man kann damit ertragreiche von weniger ertragreichen Pflanzen unterscheiden und selektieren, ohne zuvor ihr Erscheinungsbild im Feldversuch zu begutachten.



Der umfangreiche Trainingsdatensatz aus DNA-Profilen und Merkmalsbeschreibungen eignet sich nicht nur dazu, die Qualitäten unbekannter Pflanzenlinien vorherzusagen. „Der Charme dabei ist: Dieselben Daten helfen uns auch dabei, die genetischen Mechanismen hinter bestimmten Eigenschaften aufzuklären“, erklärt Schön: „Dabei betrachten wir den Mais als Modellpflanze und beantworten daran grundlegende Fragen, die sich auch bei allen anderen Kulturpflanzen stellen: Wie gehen Pflanzen mit Trockenstress um? Wachsen trockenresistente Pflanzen auch unter optimalen Bedingungen gut und liefern hohe Erträge? Was wir herausbekommen, ist für alle Pflanzenzüchter von Interesse – ob sie nun nach neuen Sorten von Zuckerrüben, Wei-

zen oder Sonnenblumen suchen.“ Sicherlich könne man mit neuen Pflanzensorten nicht den Klimawandel stoppen, räumt die Forscherin der TUM ein. Dennoch sei es immens wichtig, nachhaltige Methoden der Nahrungsmittelproduktion zu entwickeln, so die Agrarwissenschaftlerin: „Wenn wir es schaffen, den Input an Nährstoffen, Pflanzenschutzmitteln, Energie und Wasser zu reduzieren, dann ist schon viel gewonnen!“

■ *Monika Offenberger*



Prof. Chris-Carolin Schön

Sie studierte Allgemeine Agrarwissenschaften an der Universität Hohenheim und schloss an der Oregon State University, USA, 1990 mit dem Master of Science ab. 1993 wurde sie an der Universität Hohenheim promoviert und wirkte anschließend drei Jahre lang als Koordinatorin neuer Technologien bei der KWS SAAT SE. Zwischen 1996 und 2007 war sie Leiterin der Landessaatzuchtanstalt der Universität Hohenheim und habilitierte sich im Fach Pflanzenzüchtung. Als Gastwissenschaftlerin forschte sie am Molecular Plant Breeding CRC in Adelaide, Australien. Seit 2007 ist sie Ordinaria für Pflanzenzüchtung an der TUM. 2009 erhielt sie zudem einen Ruf an die Universität für Bodenkultur Wien, 2015 an die Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf.

Link

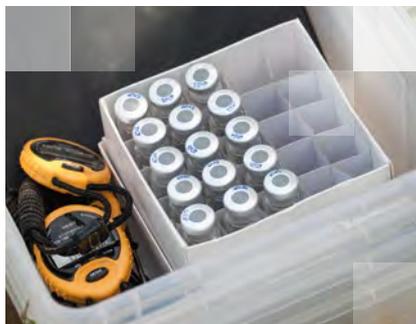
www.oekolandbau.wzw.tum.de

Schutz des Grundwassers ohne Ertrags- einbußen

Das „Bergfeld“ – ein 13 ha (130 000 m²) großer Ackerschlag in der Versuchsstation Roggenstein der TUM. Dargestellt ist eine Ertragskarte, die im 10 x 10 Meter-Raster unterschiedliche Ertragszonen des Schlages zeigt. Datengrundlage: Ertragsfassung mit Sensoren.



Viel hilft viel, das gilt beim Düngen nicht generell: Gute Ernten hängen von verschiedenen Faktoren ab, und zu viel Stickstoffdünger belastet vor allem das Grundwasser. Prof. Kurt-Jürgen Hülsbergen und Dr. Franz-Xaver Maidl vom Wissenschaftszentrum Weihenstephan haben es sich zur Aufgabe gemacht, den Landwirten digitale Werkzeuge an die Hand zu geben, mit denen sie die optimale Düngermenge bestimmen können. So ermöglichen es die Forscher der TUM, gute Erträge zu erwirtschaften und trotzdem das Grundwasser nicht zu stark mit Nitrat zu belasten.

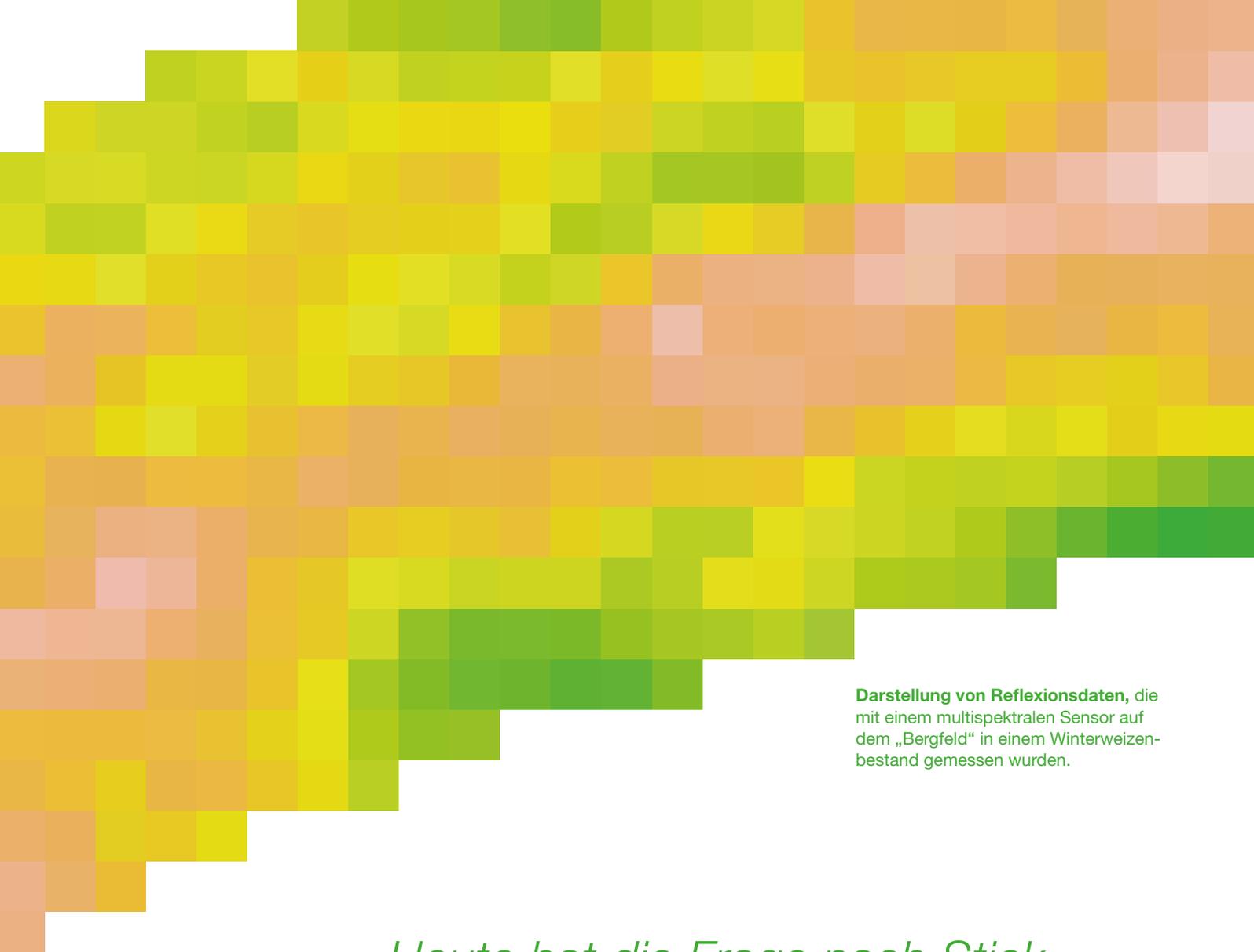


Die weiße Haube, die dicht auf dem Boden aufgesetzt wird, dient zur Messung der Lachgasmenge, die der Boden abgibt. Mit der Pumpe (rechts) werden Probenröhrchen (oben) gefüllt, die anschließend im Labor analysiert werden.



Man könnte sagen, sie arbeiten im Auge des Sturms. Prof. Kurt-Jürgen Hülsbergen und Dr. Franz-Xaver Maidl erforschen die effiziente Stickstoffnutzung in der Landwirtschaft und sind damit in einem hochaktuellen Feld unterwegs. Im Juni 2018 verurteilte der Europäische Gerichtshof Deutschland wegen der Verletzung der EU-Nitratrichtlinie. Diese verpflichtet, einen Grenzwert von 50 Milligramm pro Liter Grundwasser einzuhalten. Seit 2008 wird dieser Grenzwert hierzulande jedoch jedes Jahr an mindestens 16,9 % der Messstellen überschritten. Die Landwirtschaft ist der wichtigste Verursacher hoher Nitrat-

konzentrationen im Grundwasser. Mittlerweile hat Deutschland seine Düngeverordnung zwar überarbeitet, aber es zeichnet sich ab, dass dies nicht ausreichen wird. Hülsbergen leitet am Wissenschaftszentrum Weihenstephan den Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme. Der Agrarwissenschaftler beschäftigt sich seit über 20 Jahren mit dem Stickstoffmanagement in der Landwirtschaft. Über die Jahre entstand das Modell RE-PRO, ein digitales System, das computergestützt die Stoff- und Energieflüsse landwirtschaftlicher Betriebe analysiert, bewertet und optimiert.



Darstellung von Reflexionsdaten, die mit einem multispektralen Sensor auf dem „Bergfeld“ in einem Winterweizenbestand gemessen wurden.

„Heute hat die Frage nach Stickstoffeffizienz Konjunktur, aber das war nicht immer so.“

Kurt-Jürgen Hülsbergen

Bildquellen: Kurt Bauer; Grafiken: edlundsepp (Quelle: TUM)

Der Professor und sein Team erfassen dazu zum Beispiel Daten zu Nutzfläche, Pflanzenertrag, Tierhaltung, Bodenqualität, Mineraldüngung und Gülle und entwickeln daraus Modelle von Stoffkreisläufen, die – im Fall von Stickstoff – Überschüsse oder Mängel aufzeigen und Hinweise auf Maßnahmen zur Verbesserung liefern. Eine solche könnte die Anpassung der Mineraldüngermenge an die Gülleausbringung sein, denn dort, wo Gülle verwendet wird, vermindert sich entsprechend der Bedarf an zusätzlichem Stickstoffdünger.

In den Analysealgorithmen steckt Wissen aus jahrelangen Feldexperimenten: Wie wirken sich Düngerart, -menge und der Düngezeitpunkt auf Ertrag und Produktqualität aus? Wie viel Stickstoff entweicht in die Luft oder ins Wasser? Welchen Einfluss haben Bodeneigenschaften und Witterung auf den Stickstoffumsatz im Boden? „Im Rückblick bin ich froh, dass wir so viele Jahre an dem Thema Stickstoffmanagement drangeblieben sind“, sagt Hülsbergen. „Heute hat die Frage nach Stickstoffeffizienz Konjunktur, aber das war nicht immer so.“



Ein Online-Tool für digitales Nährstoffmanagement

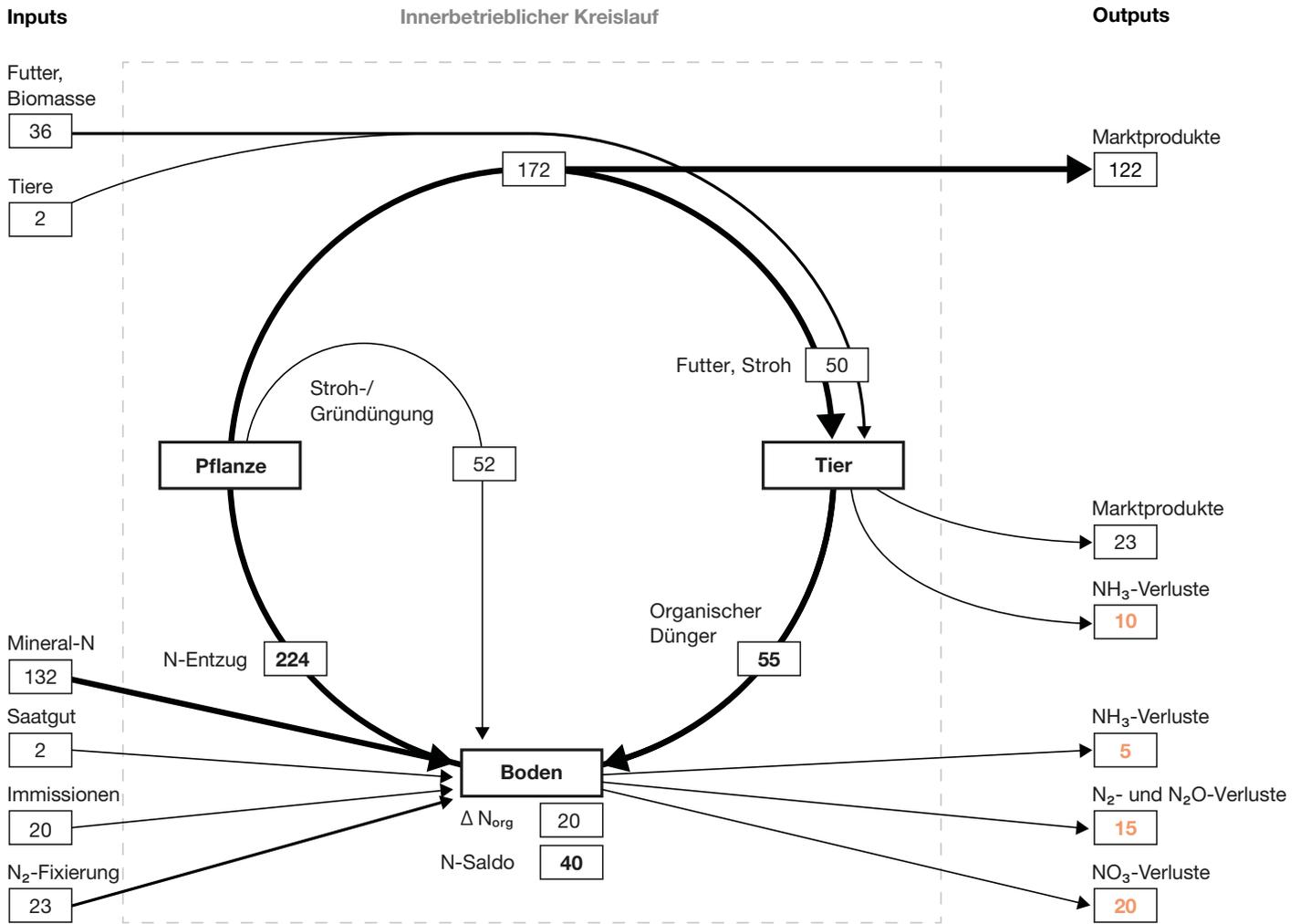
Das Modell REPRO profitiert auch von den Fortschritten in der Sensortechnik. Je stärker sich die Landwirtschaft digitalisiert und mit Methoden des Precision Farming – wie man heute den Präzisionsackerbau nennt, der auch Unterschiede innerhalb der Felder berücksichtigt – arbeitet, desto mehr Daten liegen vor. Das erfordert neue IT-Lösungen, um verschiedenste Datenquellen in das Gesamtsystem zu integrieren. Aktuell bauen die Forscher REPRO zu einem Nährstoffmanagement-System aus, das sie Web-Man nennen. Dieses digitale Tool soll nun in die praktische Anwendung gehen. Mit ihm sollen speziell geschulte Landwirte oder Berater Betriebe analysieren und Optimierungsmaßnahmen ausarbeiten. Es richtet sich gleichermaßen an ökologische und konventionell wirtschaftende Betriebe. Die Deutsche Bundesstiftung Umwelt und die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung fördern diese Arbeiten.

Web-Man berechnet nicht nur Stoffkreisläufe, sondern enthält leistungsfähige Algorithmen zur Datenauswertung, die Informationen als Grundlage für Entscheidungen generieren. Es berät damit die Anwender und macht konkrete Optimierungsvorschläge. Heute ist es noch ein Prototyp, anhand dessen Hülsbergen und seine Spezialisten die Bauern beraten. „Wir können die Landwirte ja nicht mit den Ergebnissen alleine lassen“, so der Professor. Gleichzeitig arbeiten aber am Lehrstuhl IT-Spezialisten, die auf Basis von Expertenwissen und künstlicher Intelligenz automatische Entscheidungsalgorithmen entwickeln. Weitere Informatiker gestalten gemeinsam mit den Agrarexperten nutzerfreundliche und selbsterklärende Bedienoberflächen, sodass die Nutzer das fertige Tool auch unabhängig von den Forschern bedienen können. ▶

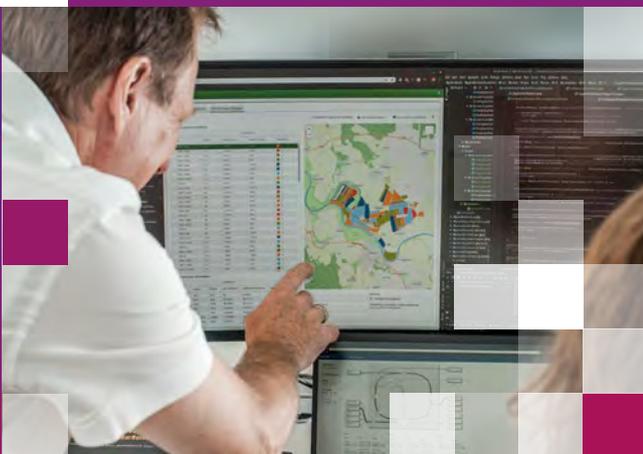


Um die Bodenwerte in ihren Datenbanken stets auf dem neuesten Stand zu halten, entnehmen die Forscher regelmäßig Bodenproben mit einem kleinen Bohrer. Die Bohrkern werden anschließend analysiert.





Oben: Der Stickstoffkreislauf in einem landwirtschaftlichen Versuchsbetrieb, berechnet mit dem Modell REPRO: Die Zahlen geben jeweils die Stickstoffmenge in Kilogramm pro Hektar und Jahr an. Rote Zahlen bezeichnen Werte mit Verbesserungsbedarf. **Unten:** Hülsgen demonstriert am Computer das digitale Werkzeug Web-Man. Das gepixelte Bild zeigt den Stickstoff-Saldo auf dem Bergfeld Roggenstein 2018.

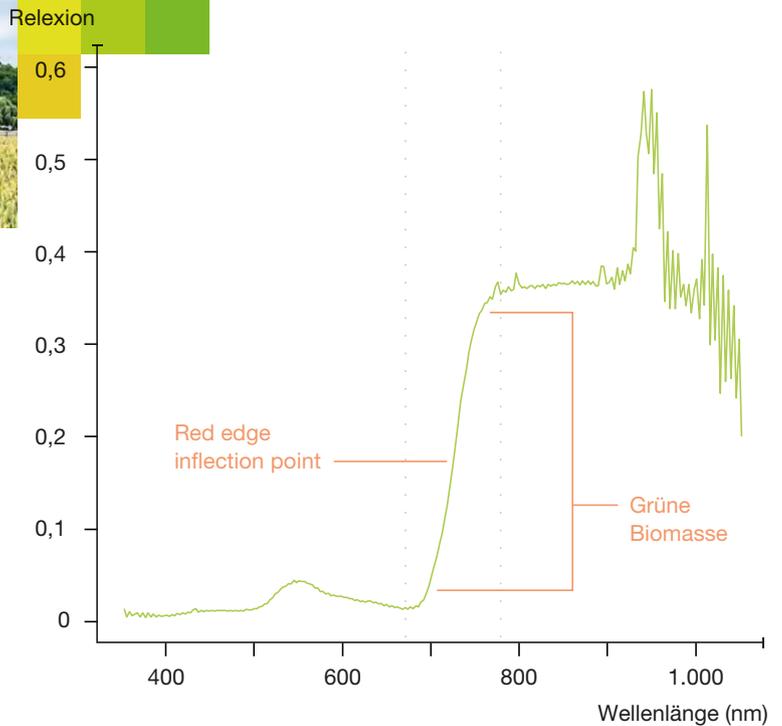


„Wir können die Landwirte ja nicht mit den Ergebnissen alleine lassen.“

Kurt-Jürgen Hülsgen



Vorne messen, hinten streuen: Sensoren am Gestänge vorne am Traktor erfassen die aktuellen Reflexionswerte, der Computer verrechnet sie in Echtzeit und steuert mit den Werten punktgenau den hinten angebrachten Düngestreuer. Unten das Reflexionsspektrum eines Pflanzenbestandes.



Wie Sensoren den Düngbedarf von Pflanzen erkennen

Kommerzielle Sensoren für bedarfsgerechte Düngung messen das Licht, das von Pflanzen reflektiert wird. Sie arbeiten mit nur zwei bis vier Wellenlängen, die sich für wenige Nutzpflanzen eignen. Maidl will die Technik auf weitere Pflanzen, zum Beispiel Mais, und andere Pflanzeigenschaften ausweiten. Jede Pflanze hat ein anderes Reflexionsspektrum, das sich im Lauf des Wachstums verändert und von Wetter und Tageszeit abhängt. Unterschiedliche Wellenlängen erlauben die Erfassung verschiedener Pflanzeigenschaften. Maidls multispektraler Sensor misst 220 verschiedene Wellenlängen und erfasst die gesuchten Eigenschaften für verschiedene Pflanzen, Tageszeiten und Witterungen genau. Die Grundlagen dafür erarbeitet er mithilfe der Spektralmessungen in den umfangreichen Versuchspartzellen. Gleichzeitig bestimmt er auf dem Feld Biomasse und Ertrag sowie im Labor den Stickstoffgehalt der Pflanzen, im Fall von Getreide auch den Proteingehalt im Korn. Über die Jahre entstand so ein riesiger Datenschatz. Aus der Korrelation verschiedener Spektralmessungen und Pflanzenanalysen leitet Maidl sozusagen Fingerabdrücke für die jeweilige Pflanze und den gefragten Parameter ab. Darauf beruhen dann die jeweiligen Düngelgorithmen.

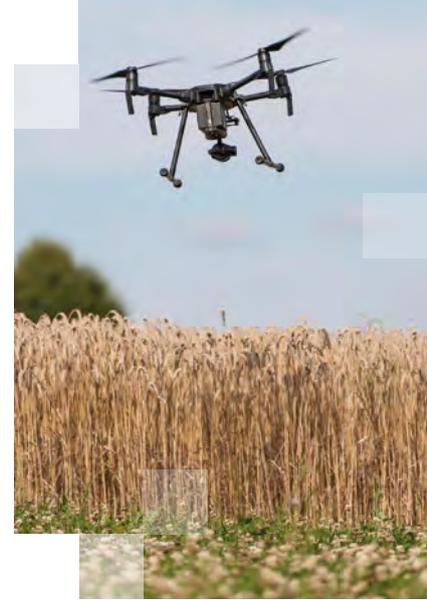
Mit Precision Farming Stickstoff einsparen

Parallel zur Entwicklung von Web-Man erforscht Hülsbergens Mitarbeiter Maidl einen sensorgestützten Ansatz zur effizienten Stickstoffnutzung nach dem Motto „Frag’ die Pflanze, was sie braucht“. Er misst den Stickstoff-Ernährungsstatus der Pflanzen direkt und berechnet daraus die optimale Düngermenge – unter Berücksichtigung des Wachstumsstadiums, der Bodengüte und der angestrebten Produktqualität. Seine Technologie wird derzeit in Web-Man integriert.

Die Grundlage für das Verfahren ist das Reflexionsverhalten der Pflanzen. Sie absorbieren sichtbares Licht für die Photosynthese und reflektieren den langwelligeren, nah-infraroten Spektralbereich sehr stark. Misst man das reflektierte Licht spektral aufgelöst, ergeben sich für verschiedene Wellenlängen unterschiedliche Reflexionswerte. Aus diesen Reflexionskurven kann man bestimmte Parameter wie die Menge an Biomasse oder die Stickstoffaufnahme berechnen.



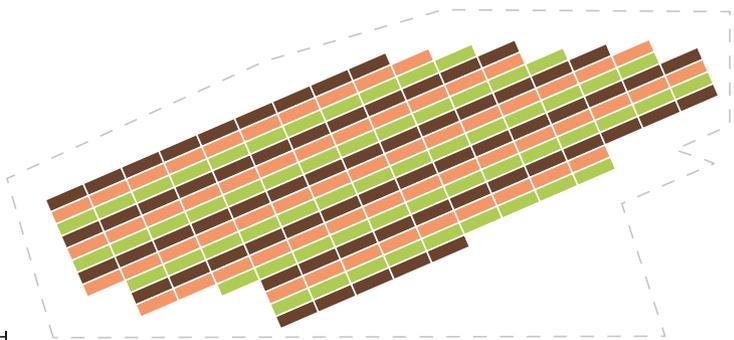
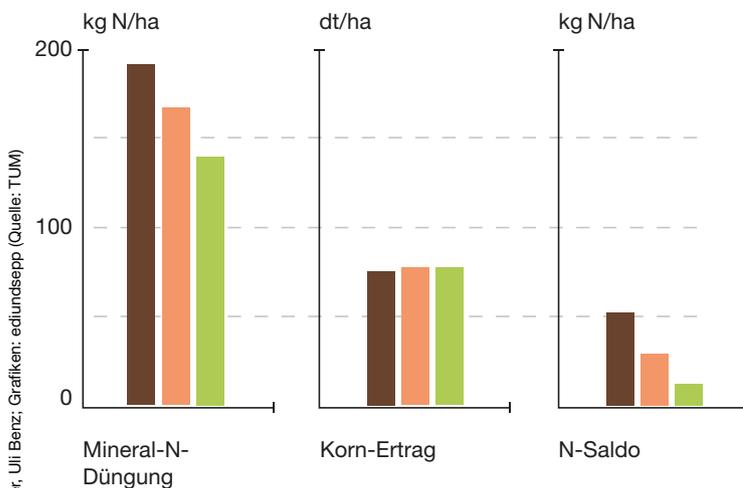
Diese Technik wird heute teilweise schon genutzt, meist auf Basis von satellitengestützten Messungen. Maidls Lösung hingegen ist viel direkter, nämlich ein am Traktor montiertes und mit der Düngevorrichtung gekoppeltes System. Es arbeitet sehr viel präziser – auch weil Mess- und Düngzeitpunkt übereinstimmen. Man bestimmt in einem Arbeitsgang den Stickstoffgehalt der Pflanze, berechnet in Echtzeit die richtige Düngermenge und bringt sie punktgenau aus. Dieses Vorgehen eröffnet den Weg zu einer sehr viel genaueren Dosierung des Düngers als bisher. Heute berechnen Landwirte die Düngermenge für ein Feld oder einen Schlag in der Regel pauschal aus dem durchschnittlichen Ertrag und der mittleren Bodengüte. In Wirklichkeit jedoch variieren Bodeneigenschaften, Ertragspotenzial und Düngbedarf kleinräumig auch innerhalb eines Feldes. An Stellen, die vom Mittelwert des Feldes abweichen, bekommen die Pflanzen deshalb zu viel oder zu wenig Dünger. Überschüssiger Stickstoff bleibt im Boden zurück, reichert sich über die Jahre an und entweicht irgendwann in die Umwelt, etwa ins Grundwasser. Sensorgestütztes Düngen schafft hier Abhilfe: Versuche mit Wintergerste in der Versuchsstation Roggenstein erzielten mit fast einem Viertel weniger Stickstoff den gleichen Ertrag. Ähnliche Ergebnisse erreichten die Wissenschaftler bei Winterweizen und Winterraps.



Auch durch die Überfliegung mit Drohnen lassen sich Erträge gut erfassen. Die Drohne kann dabei Sensoren, eine optische oder eine Wärmebildkamera tragen.

Sensormessungen geben Bauern Sicherheit

Die Ansätze der Weihenstephaner Forscher überzeugen auch Praktiker, beispielsweise im Forschungsprojekt „Hohenthann“ im Landkreis Landshut. Die Region hat viele intensive Tierhaltungsbetriebe und kämpft wegen der hohen Güllemengen mit steigenden Nitratgehalten im Grundwasser. Hülsbergen und Maidl analysierten in Betrieben, die für den Standort typisch sind, die Stickstoffflüsse. Sie zeigten auf, wo und warum Nitrat in die Umgebung entweicht und leiteten Maßnahmen zum Grundwasserschutz ab, etwa über den Zeitpunkt der Gülleausbringung oder über eine Modifikation des Tierfutters. Zusätzlich liefen Feldversuche mit sensorgestützter Düngung. Sie erwies sich als leistungsfähiges Instrument, um die Stickstoffeffizienz zu erhöhen. Die Messungen zeigten, dass Böden, die jahrelang gegüllt wurden, viel Stickstoff liefern. Man muss dort den zusätzlichen Dünger deutlich reduzieren, um die Nitrat-Grenzwerte einzuhalten.



Wie sehr die sensorgestützte teilflächenspezifische Düngung die Stickstoffeffizienz von Winterweizen verbessern kann, zeigt sich für das Bergfeld Roggenstein: Der Vergleich belegt, dass bei gleich bleibendem Ertrag bei herkömmlicher Düngung der Düngerverbrauch am höchsten ist und am Ende am meisten Stickstoff im Boden zurückbleibt. Besser ist es, differenziert zu düngen, und mit sensorgesteuerter Düngung sind die Werte am besten.

Bildquellen: Kurt Bauer, Uli Benz; Grafiken: edlundsepp (Quelle: TUM)

herkömmliche Düngung
Mapping
Sensor

„Mit einem passenden Düngealgorithmus hätten die Landwirte keine Ertragseinbußen, und die Gesellschaft würde von der guten Wasserqualität profitieren.“

Kurt-Jürgen Hülsbergen

Auch hier ist das Bergfeld Roggenstein zu sehen. Die Farbwerte stehen für die Stickstoff-Aufnahme der Pflanzen im Jahr 2018.

Fruchtfolgen optimieren

Vor einem ganz anderen Problem stehen viele Biobauern: Sie verwenden organische Dünger wie Gülle und Stallmist, aber keinen Stickstoff aus Mineraldünger. Die Biorichtlinien begrenzen zudem die Zahl der Tiere pro Hektar landwirtschaftlicher Nutzfläche. So wird Stickstoff zum knappen Gut, der häufig den Ertrag limitiert. Es kommt also auf einen effizienten Umgang mit dem Nährstoff an.

Ein wichtiges Instrument sind in diesem Fall Leguminosen, also Pflanzen wie Rotklee, Luzerne oder Sojabohnen, die

Stickstoff im Boden fixieren. Dort durchläuft er Mineralisierungsprozesse, die ihn für die folgenden Nutzpflanzen aufnahmefähig machen. Ein Teil des Stickstoffs wird dabei langfristig im Humus gebunden. Je nach Bodenbeschaffenheit und Witterungsverlauf geschieht das unterschiedlich schnell. Die Pflanzen wiederum nehmen je nach Wachstumsstadium unterschiedlich viel Stickstoff auf. Die Herausforderung ist also, Fruchtfolge und organische Düngung so abzustimmen, dass unter Berücksichtigung der ablaufenden Bodenprozesse die Nutzpflanze immer optimal versorgt ist. Ein Modell, das diese Prozesse beschreibt und geeignete Düngealgorithmen für den ökologischen Landbau enthält, gibt es bisher noch nicht. Hülsbergen und Maidl wollen sie als zusätzliche Module in Web-Man integrieren.

Dr. Franz-Xaver Maidl

Wenn er nicht an der TUM forscht, bewirtschaftet Maidl in Niederbayern den ehemals elterlichen Bauernhof. „Der Hof ist auch so eine Art Versuchstation,“ meint er. Man merke sofort, welcher Ansatz für Landwirte wichtig und in der Praxis umsetzbar sei. „Den weiten Bogen von der Grundlagenforschung bis hin zur Anwendung auf dem Feld bekommt man nur hin, wenn man viel Kontakt zur Praxis hat.“ In der Gemeinde ist Maidl ein gefragter Mitbürger. Viele holen sich Rat, aktuell zum Beispiel wegen Neuerungen in der Düngeverordnung.

Maidl hat an der TUM Agrarwissenschaften studiert und über Stickstoffdynamik im Boden promoviert. Ein Forschungsprojekt am DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt), das mithilfe von Flugzeugmessungen den Ernährungsstatus von Pflanzen erfassen sollte, erregte seine Aufmerksamkeit und brachte ihn zu seinem Forschungsthema, der sensorgestützten, bedarfsgerechten Düngung. Ein von ihm entwickeltes und patentiertes System ist in den Sensoren Isaria und Crop Sense auf dem Markt.





Prof. Kurt-Jürgen Hülsbergen

Hülsbergen stammt von einem Bauernhof in der Magdeburger Börde und studierte Agrarwissenschaften an der Universität Halle-Wittenberg. Nach der Promotion 1990 baute er dort das Fach Ökologischer Landbau mit auf. 2002 habilitierte er sich und wurde 2003 an den Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme am Wissenschaftszentrum Weihenstephan der TUM berufen. Mit dem Umzug nach Freising wechselte der Forscher in eine völlig anders strukturierte Landwirtschaft: „In Bayern ist die durchschnittliche Schlaggröße 1,8 Hektar, zuhause gibt es Schläge mit 50 bis 150 Hektar. Ein Feld dort ist das Vielfache eines ganzen Betriebes hier.“ Hülsbergen wohnt in der Hallertau und hat die Arbeit quasi vor dem Fenster: „Auch beim Hopfen ist Nitrat ein Riesenthema.“

Grundwasserschonendes Nährstoffmanagement

Die Forscher treibt an, „dass wir mit unserer Arbeit viel Stickstoff einsparen und die Umwelt entlasten können“, erklärt Hülsbergen. „Mit einem passenden Düngealgorithmus hätten die Landwirte keine Ertragseinbußen, und die Gesellschaft würde von der guten Wasserqualität profitieren.“ Man könnte noch weiter gehen und die Düngealgorithmen nicht auf Ertrag, sondern auf Trinkwasserschutz optimieren. Das Modell kann solche Szenarien durchspielen und die jeweiligen Ertragsverluste aufzeigen. Daraus könnte man dann mögliche Kompensationen für die Landwirte ableiten.

Für die nächste Bauergeneration sind solche Konzepte vielleicht schon selbstverständlich. Zumindest tun Maidl und Hülsbergen einiges dafür, indem sie sich stark in der Lehre engagieren. „Viele studieren heute Agrarwissenschaft, weil sie mithilfe moderner Technologien die Welt verbessern wollen“, beobachtet Hülsbergen. „Das passt uns gut, denn wir wollen die Studierenden für eine umweltverträgliche Landwirtschaft begeistern. Digitalisierung und Precision Farming sind dafür wichtige und innovative Ansätze.“

■ *Christine Rüth*

Stickstoff in der Landwirtschaft

Pflanzen brauchen Stickstoff zum Wachsen und können ihn nur in bestimmten Formen – überwiegend als Ammonium oder Nitrat – aufnehmen. Mineraldünger liefert direkt pflanzenverfügbaren Stickstoff, der schnell aufgenommen wird. In Gülle, Mist und Kompost ist der Stickstoff überwiegend organisch gebunden. Er bleibt über Jahre oder Jahrzehnte im Boden und wird langsam mineralisiert. Leguminosen binden Stickstoff aus der Luft, fixieren ihn im Boden und stellen ihn so den Folgekulturen zur Verfügung. Ist zu viel organisch gebundener Stickstoff, beispielsweise aus Gülle, vorhanden, reichert er sich über Jahrzehnte im Boden an. Der Überschuss-Stickstoff kann in Grundwasser, Flüsse und Seen gelangen. So gefährdet er Ökosysteme und Trinkwasser. Aus der Gülle entweicht Ammoniak, das sich in der Luft verteilt und so Gebiete „düngt“, in denen dies nicht erwünscht ist. So trägt Stickstoff auch zum Artensterben bei. Zusätzlich wird er durch bestimmte Umsetzungsprozesse in Form von Lachgas freigesetzt. Dieses ist ein hochwirksames Treibhausgas und deshalb schon in kleinsten Mengen kritisch.





„Vertical Farming ist ein Kind der Hightechwelt des Silicon Valley.“

Ist dieser Indoor-Anbau von Pflanzen eine Möglichkeit, die Welt vor Hunger zu bewahren, oder doch nur eine modische Spielerei in Innenstädten? Die Kultur- und Sozialanthropologin Dr. Mascha Gugganig hat sich mit den Aspekten außerhalb der technischen Fragen auseinandergesetzt.

Link

www.mcts.tum.de/people/mascha-gugganig

Frau Gugganig, was genau versteht man unter Vertical Farming?

Mascha Gugganig: Der Begriff wird sehr weit verwendet, und unterschiedliche Leute verbinden damit ganz unterschiedliche Dinge. Ich unterscheide grob drei Formen: Erstens eine Art Black Box, wie sie Dickson Despommier, der als Begründer der Bewegung gesehen wird, weitestgehend in seinem Buch „The Vertical Farm“ 2010 propagiert. Sie ist ein scheinbar gänzlich kontrolliertes Wachstumssystem, unabhängig von äußeren Einflüssen. Zweitens das semi-kontrollierte System. Hier geht es um den Anbau von Nahrung in vertikal gestapelten Paneelen, auf vertikal geneigten Flächen oder in anderen integrierten Strukturen, in denen Umweltfaktoren kontrolliert werden können. Und drittens das adaptive System. Hier steht die Energieeffizienz im Vordergrund, also etwa die Nutzung bisher verschwendeter Energieflüsse wie der Abwärme von Kühlhäusern für das Pflanzenwachstum. Oft werden solche Anlagen in vorhandene Strukturen wie Gebäude gänzlich oder teilweise integriert.



Was sind die Vorteile von Vertical Farming gegenüber herkömmlichen Anbaumethoden?

MG: Da gibt es einige: Eine ganzjährige Produktion in hoher Dichte, ohne wetterbedingte Ernteausfälle. Pestizide, Herbizide oder Dünger sind überflüssig, wobei hier auch laufend Studien durchgeführt werden, wie schädlingsfrei solche Systeme wirklich gehalten werden können. Es braucht 70 bis 95 Prozent weniger Wasser als konventioneller Anbau und verkürzt die Transportwege zu den urbanen Konsumenten. Vertical Farming wird darüber hinaus als eine Chance gesehen, der Natur Flächen zurückzugeben. Das ist aber zu simpel, denn es ist kein Weg aus den Monokulturen, die wir aktuell haben. Im Endeffekt macht Vertical Farming das Gleiche, nur eben in geschlossenen Räumen.

Wo liegen die Nachteile?

MG: Es ist bis jetzt umstritten, wie energie- und kosteneffizient solche Systeme wirklich sind. An diesem Punkt scheiterten in der Branche schon viele Start-ups. Abgesehen von Japan, wo es staatliche Finanzierungen gibt, steckt in der Branche hauptsächlich Geld aus dem Silicon Valley. Große Investoren haben die Nahrungsmittelindustrie als Spielfeld entdeckt. Da muss man sich fragen: Wie nachhaltig ist das?

Welche Wurzeln hat das Vertical Farming?

MG: Der Mikrobiologe Dickson Despommier von der Columbia University forderte 2010, Pflanzen in Hochhäusern anzubauen. Der Untertitel seines Buchs „Feeding the World in the 21st Century“ hat dazu beigetragen, dass seither um Vertical Farming ein Hype entstanden ist. Technisch fußt diese neue Form der Nahrungsproduktion auf den Errungenschaften der Gewächshausindustrie und auch der Cannabisindustrie. Sie ist ein Kind der Hightechwelt des Silicon Valley. Mit der klassischen Landwirtschaft hat sie eigentlich gar nichts zu tun.



Sie wird auch nicht die Antwort auf die globale Ernährungsfrage sein?

MG: Nein, aber die Fragestellung ist auch problematisch, denn sie suggeriert ‚eine‘ Antwort auf ‚die‘ globale Ernährungsfrage. Die geschlossenen Systeme eignen sich bisher nur für Salat, Tomaten und Kräuter. Getreide lässt sich zwar anbauen, macht aber aus ökonomisch nachhaltiger Sicht keinen Sinn. Der Vermarktungslogan „Feeding the World“ war ein Fehler. Das sagen auch viele aus der Branche selbst. Der Wirbel um die neue Technologie war in diesem Zusammenhang unberechtigt. Heute steht Vertical Farming auch als Yuppie-Trend in der Kritik, weil reiche Städter damit Basilikum oder Rucola veredeln. ▶



Wie steht es um die Akzeptanz bei den Konsumenten?

MG: Es gibt schon Ansätze zu einer tiefer gehenden Auseinandersetzung. Gemeinsam mit einem Industriepartner aus Holland und dem European Food Information Council (EUFIC) haben wir 2017 ein Bürgerbeteiligungsforum entwickelt und sind damit im Deutschen Museum in München und dem Londoner Science Museum auf BesucherInnen zugegangen. Dort ergab sich vielfach, was ich einen Bildungsmoment nenne. Menschen tauschten sich nicht nur über Vertical Farming aus, sondern über das landwirtschaftliche System im Allgemeinen. Ist Vertical Farming wirklich so viel künstlicher und technischer als unsere Landwirtschaft? Woher kommen denn unser Salat und unsere Tomaten? Unmengen von Obst und Gemüse stammen aus weit entfernten Gewächshäusern. Die meisten Leute wissen gar nicht, was dort passiert. Sind die besser oder schlechter?



Welchen Einfluss haben die Konsumenten auf das Vertical Farming?

MG: In der Branche gibt es, bis auf wenige Ausnahmen, eher ein Interesse, Vertical-Farming-Produkte zu verkaufen als Vertical Farming zu demokratisieren, das heißt, einer breiteren öffentlichen Diskussion auszusetzen. Es gibt gewisse Aspekte der Demokratisierung, etwa über den Trend zur Etablierung von Ernährungsstadträten. Solche Räte fragen sich, wie man die Nahrungsmittelproduktion in der Stadt attraktiver und zugänglicher machen kann. Ich glaube aber, es muss von der Wissenschaft, der Industrie und der Politik generell mehr Bereitschaft dazu geben, dieses Zukunftsthema publik zu machen. Vertical Farming steckt noch sehr in den Kinderschuhen, aber es hat viel Potenzial. Eine Nische könnte zum Beispiel sein, in Zeiten zunehmender Wetterumschwünge über solch kontrollierte Produktion Puffer zu schaffen. Das sollte dann aber im Dialog mit der Landwirtschaft passieren, und den gibt es noch zu selten.

Das Interview führte Karsten Werth

Es gibt vier verschiedene Arten, Pflanzen zu kultivieren.



Dr. Mascha Gugganig

Die Kultur- und Sozialanthropologin legt einen Schwerpunkt auf die Wissenschafts- und Technikforschung im Bereich Nahrung, Landwirtschaft und Umwelt. Sie ist seit 2016 als Postdoc an der TUM in der Forschungsgruppe „Innovation, Society and Public Policy“ am Munich Center for Technology in Society (MCTS) tätig. Als Teil des paneuropäischen Konsortiums EIT Food, einer Innovationsinitiative der EU, leitete sie das Projekt „Cultivating Engagement“, bei dem es unter anderem um Bürgerbeteiligung im Kontext von Vertical Farming ging. Ihr jetziges Forschungsprojekt untersucht nachhaltige Landwirtschaft in der EU und die Rolle von Innovation und Technologie.

Sonnenlicht



1 im Freien

Garten- oder Ackerbau im Freien mit natürlichem Licht und Wasser.

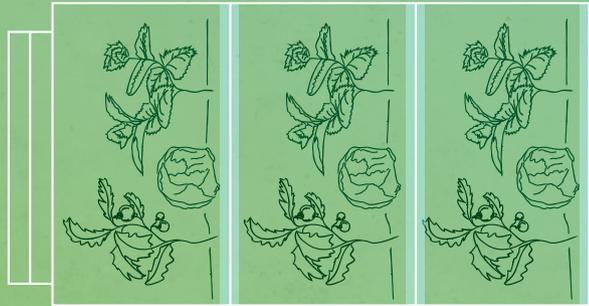
Sonnenlicht



2 Gewächshaus

Anbau im Gewächshaus mit künstlicher Bewässerung. Oft wird hier auch künstliche Beleuchtung eingesetzt.

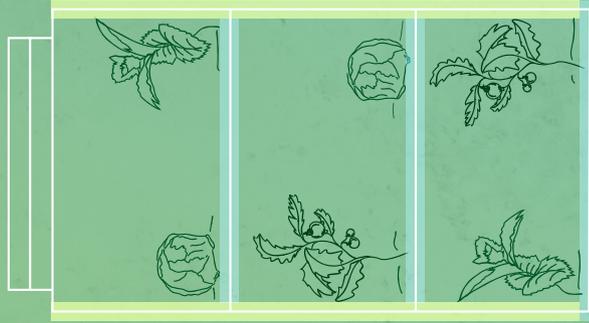
Sonnenlicht



3 Indoor Farming

Indoor Farming – neuerdings werden Nahrungsmittel auch in geschlossenen Gebäuden angebaut. Sie benötigen künstliche Beleuchtung und Bewässerung.

Sonnenlicht



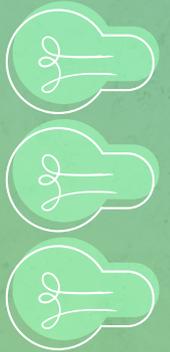
4 Agricultural Lighting Facade

Beim Vertical Farming sollen die Pflanzen hinter den Fenstern von Wohn- und Bürogebäuden wachsen. So erhalten sie Licht von außen, müssen aber künstlich bewässert werden.

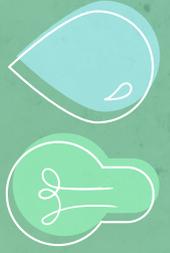
Künstliche Beleuchtung und Bewässerung



Künstliche Beleuchtung und Bewässerung



Künstliche Beleuchtung und Bewässerung



Multifunktionale Fassaden: Lichtinszenierung und Lebens- mittelproduktion

In den Städten ist Platz knapp. Mit einem neuen Konzept lässt sich der Raum hinter Fenstern und Fassaden gleich mehrfach nutzen: für die ästhetische Beleuchtung von Gebäuden und zum Heranziehen von frischem Gemüse.

Weltweit wachsen die Städte und damit auch ihr Hunger. Fast 100 Kilo frisches Gemüse konsumiert ein Bundesbürger im Jahr. Um eine Millionenstadt zu versorgen, müssen 100 000 Tonnen pro Jahr herangeschafft werden – oft über hunderte von Kilometern.

„Da wäre es doch naheliegend, das Gemüse dort zu kultivieren, wo die Verbraucher sind“, sagt Ferdinand Ludwig, Professor für Green Technologies in Landscape Architecture an der TUM. „Man würde Transportkosten bzw. Energie sparen, gleichzeitig bekämen die Verbraucher erntefrische Produkte.“ Eine echte Win-win-Situation also.

Nur wohin mit dem frischen Grün? „Unser Projekt Agricultural Lighting Facade begann genau mit dieser Frage“, erinnert sich seine Mitarbeiterin Dr. Mariana Yordanova. „In den Städten ist Platz knapp und teuer, man muss Flächen für den Anbau finden, die bisher nicht genutzt werden. Und da sind wir auf Fenster gestoßen. In Geschäfts-, Büro- und Verwaltungsgebäuden gibt es Millionen davon.“

In ihrer Doktorarbeit musste die Architektin und Klima-Designerin echte Pionierarbeit leisten. Bisherige Ansätze des „Vertical Farming“ beschränkten sich darauf, eine Massenproduktion von Pflanzen in eigens dafür errichteten, mehrstöckigen und meist fensterlosen Gebäuden zu ermöglichen. Das kostet Platz und Energie für Beleuchtung und Klimatisierung. „Wir hingegen integrieren in unserem neuen Konzept den Gemüseanbau in unterschiedliche Gebäudetypen und nutzen so weit wie möglich natürliches Licht“, betont Yordanova. „Wenn eine zusätzliche Beleuchtung notwendig ist, so ist diese minimal und kann gleichzeitig als ästhetische Fassadenbeleuchtung benutzt werden, die ohnehin in Städten als selbstverständliches Zeichen von Urbanität und Modernität wahrgenommen wird.“

„Man muss Flächen für den Anbau finden, die bisher nicht genutzt werden.“

Mariana Yordanova

Doch reicht die normale Fassadenbeleuchtung wirklich aus, um das Wachstum der Pflanzen zu fördern? Im Gewächshauslaborzentrum der TUM in Dürnast bei Weihenstephan fanden Ludwig und Yordanova ideale Bedingungen für ihre Experimente sowie die Unterstützung der Gartenbauwissenschaftler. Über mehrere Monate wurde mit verschiedenen Hydrokultursystemen, Temperaturen und Lichtspektren, Lichtintensitäten und Salatsorten experimentiert.

*„Es wäre doch naheliegend,
das Gemüse dort zu kultivieren,
wo die Verbraucher sind.“* Ferdinand Ludwig

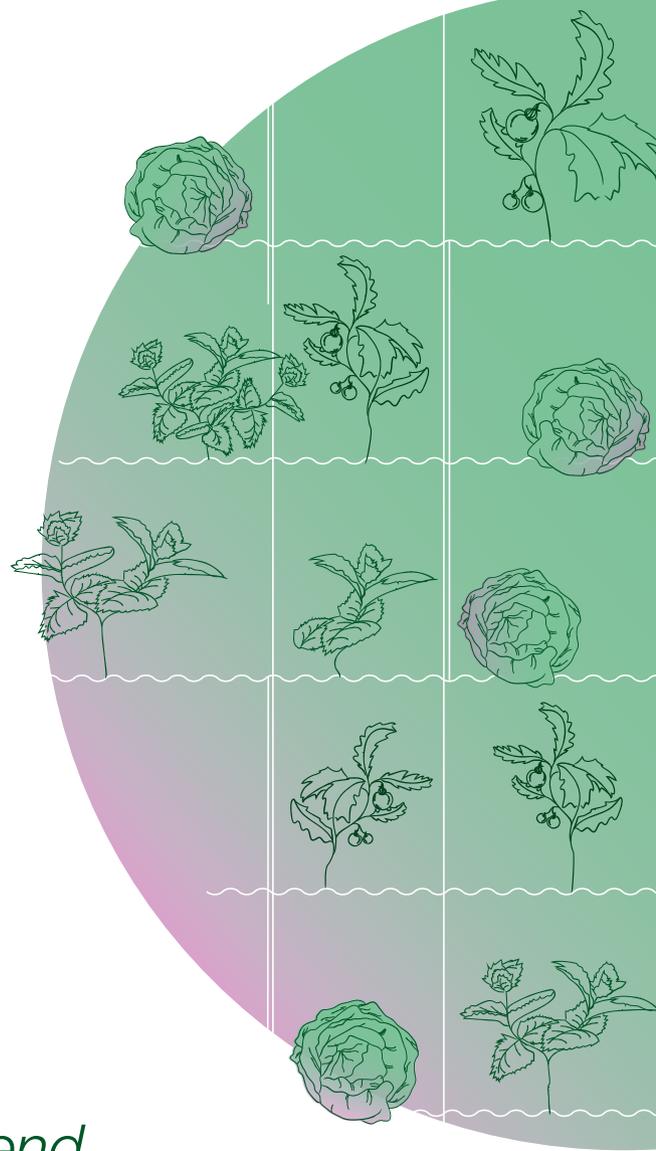
Die Ergebnisse will das Architektenteam jetzt nutzen, um ein marktreifes System zu entwickeln, mit dem sich der Raum hinter Fensterfronten für den Gemüseanbau nutzen lässt: Es wird aus schmalen, platzsparenden Regalen bestehen, die sich bis zur Decke stapeln lassen, sowie einer funktionsfähigen und wartungsarmen Bewässerung. Die integrierte Beleuchtung, die sich nur dann automatisch zuschaltet, wenn das natürliche Licht nicht ausreicht, soll ein behagliches Raumklima erzeugen. Gleichzeitig wollen die Forscher untersuchen, welche und wie viele Fenster eines Gebäudes sich für die Begrünung eignen – wichtig ist dabei, dass der Anblick der beleuchteten Pflanzen von den Nutzern der Räume als angenehm und ästhetisch empfunden wird. „Ein weiterer Schwerpunkt wird das Design sein“, betont Yordanova. „Die Regale sollen geradlinig und funktional gestaltet und zu einem integralen Bestandteil der

Fassadenstruktur werden.“

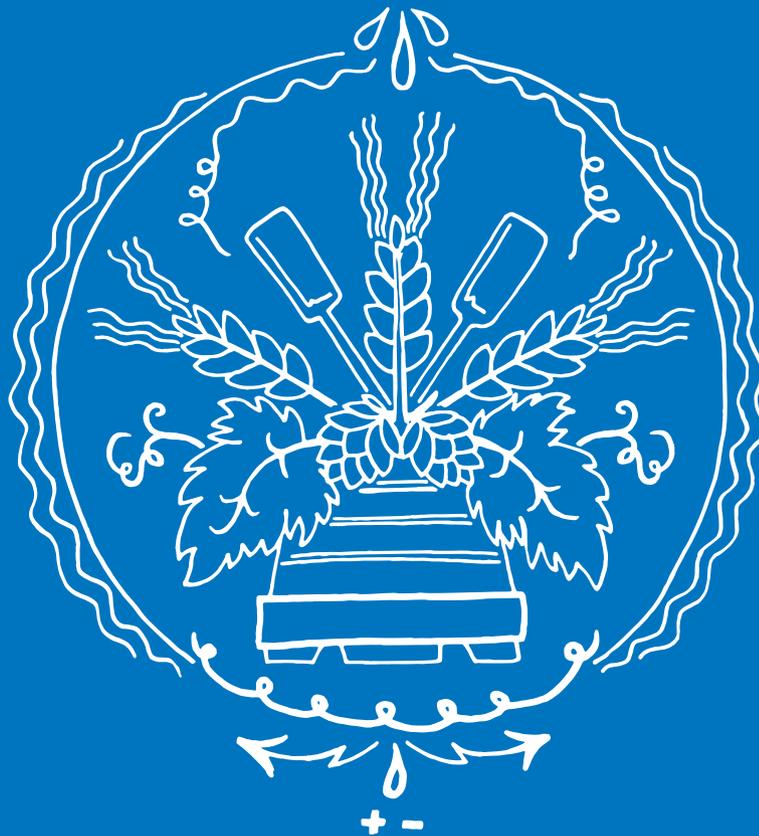
Wichtig ist auch, dass der Aufwand für die Pflege der Fassaden-Gärten gering ist: Beleuchtung und Bewässerung werden automatisiert, nur pflanzen und ernten müssen Menschen: Das könnten in Wohngebäuden die Anwohner sein, in Bürohäusern die Mitarbeiter oder das Kantinenpersonal und in Supermärkten, wo der Salat hinter den Schaufensterscheiben gedeihen könnte, die Kunden.

„Das Konzept ist auf jeden Fall zukunftsfähig“, resümiert Ludwig, der interdisziplinäre Lösungen an der Schnittstelle von Naturwissenschaften, Ingenieurwissenschaften, Landschaftsarchitektur und Stadtplanung erforscht. „Zur Ernährung einer wachsenden Weltbevölkerung wird man langfristig neue Flächen für die Nahrungsmittelproduktion finden müssen – Glasfassaden und Fensterfronten sind dafür hervorragend geeignet.“ ■

Monika Weiner



Auf dem Weg zur Brautarkie





Dr. Karl Glas und seine Arbeitsgruppe sind Experten für Wassermanagement in Brauerei- und Lebensmittelbetrieben. Vom Design chemischer und biologischer Eigenschaften der Ressource Wasser bis zur Lösung komplexer Reinheitsfragen sind sie auf der Suche nach Optimierungspotenzialen in den Betrieben. Aktuell wollen sie kleinen und mittleren Brauereien dabei helfen, ihr Abwasser mit mikrobiellen Brennstoffzellen energieautark zu reinigen. Die deutschlandweit erste Pilotanlage in der Brauerei- und Getränkeindustrie ging im Herbst 2019 in einer großen deutschen Brauerei in Betrieb.

Link

www.molekulare-sensorik.de/index.php?id=55



Angesichts steigender Kosten steigt auch der Druck auf Brauereien, Energie und Wasser effizienter zu nutzen, und mit ihm das Interesse an innovativen Lösungen.



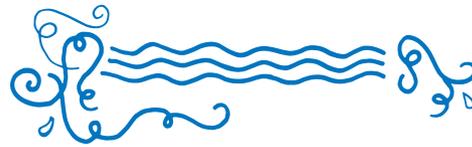
Wasser ist nicht gleich Wasser. Das weiß wohl kaum jemand besser als Dr. Karl Glas, der Leiter der Arbeitsgruppe Wassertechnologie (AGW) am Lehrstuhl für Lebensmittelchemie und Molekulare Sensorik der TUM in Freising. Ob als Rohstoff für die Produktion oder als Betriebs- und Abwasser in der Lebensmittel- und Getränkeindustrie – Wasser gibt es mit einer großen Vielfalt von Eigenschaften.



Welches Wasser soll es sein?

„Wir sprechen von Wasserdesign“, sagt Glas und fragt: „Wie kann ich mein Wasser so designen, dass es top-sauber ist oder genau für einen bestimmten Einsatzzweck passt? Das ist der Kern unserer Arbeit. In der Getränke- und Lebensmittelindustrie muss das Wasser keimfrei sein, und andere, bereits im Wasser enthaltene oder im Betrieb ins Wasser eingetragene Stoffe wie Pestizide, Kalk, Kupfer, Desinfektionsmittel etc. müssen raus.“ Die AGW forscht in diesem Zusammenhang an innovativen Lösungen in der Sensorik, Filtration und Desinfektion. Das Prozesswasser in der Brauindustrie, Glas' Spezialgebiet, kommt im Betrieb in verschiedenen Aggregatzuständen vor: als Heißwasser, Kaltwasser oder Dampf – in allen muss es Trinkwasserqualität haben und entsprechend aufbereitet sein.

Wasser ist darüber hinaus ein wichtiger Faktor, wenn es um die Wirtschaftlichkeit von Betrieben und deren Einfluss auf die Umwelt geht. „Die Industrie hat hier noch viel Potenzial bei der Einsparung von H₂O und CO₂“, betont Glas. Der gebürtige Augsburgener hat seine Wurzeln in der Praxis. Über sich selbst und das Wasser sagt er: „Ich habe zwar Brauwesen studiert, bin aber nicht der typische Brauer, den man sich vielleicht vorstellt, in Lederhose und mit einem Bier in der Hand. Mir ist das Wasser wichtiger. Wasser ist spannend, denn es ist wissenschaftlich, es ist technisch, es ist politisch, es ist kulturell. Wasser ist immer interessant, und die Wasserchemie ist nicht einfach – Gott sei Dank, so haben wir etwas zu forschen!“



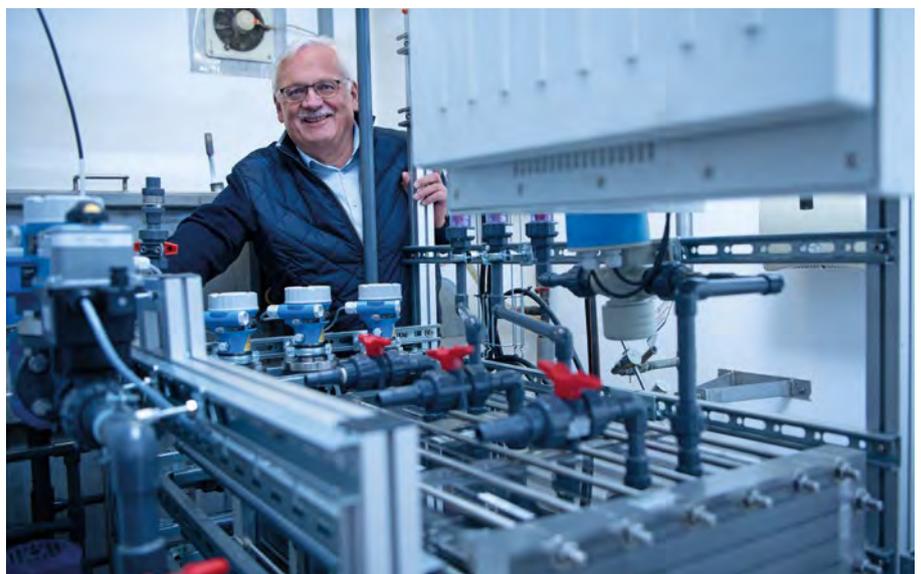
An der Schnittstelle von Wasser, Energie und Umwelt

Die AGW setzt an der Schnittstelle von Wasser, Energie und Umwelt in der Getränke- und Lebensmittelindustrie an. Ihr Forschungsspektrum umfasst die Entwicklung neuer Verfahren zur Aufbereitung von Trink- und Abwasser, zum anlagen- und prozessorientierten Management von Energie- und Stoffströmen sowie Fragestellungen zur Mikrobiologie und Hygiene. Sie nutzt dabei Methoden zur Simulation von chemisch-physikalischen Prozessen, zur Analyse neuer Materialien oder zur Abstraktion und Modellierung von Anlagen- und Prozessstrukturen.

Die chemische und biologische Beschaffenheit des Wassers ist bei der Bierherstellung fundamental. Innerhalb des Brauprozesses gibt es keinen Abschnitt, der nicht von der Zusammensetzung des Wassers beeinflusst würde. Da Brauereien und Getränkebetriebe ihr Rohwasser entweder aus öffentlichen Leitungsnetzen oder eigenen Brunnen beziehen, muss seine Aufbereitung sowohl gesetzlichen als auch brautechnischen Kriterien entsprechen. Aufgrund geografischer und geologischer Gegebenheiten unterscheiden sich etwa die Parameter Wasserhärte und Alkalinität teils erheblich voneinander. ▶

„Die Industrie hat hier noch viel Potenzial bei der Einsparung von H₂O und CO₂.“

Karl Glas



Glas mit der in Zusammenarbeit mit der TU Freiberg entwickelten, neuartigen Pilotanlage zur Abwasserreinigung, die im Oktober 2019 in Betrieb ging.

Die Brauindustrie will effizienter werden

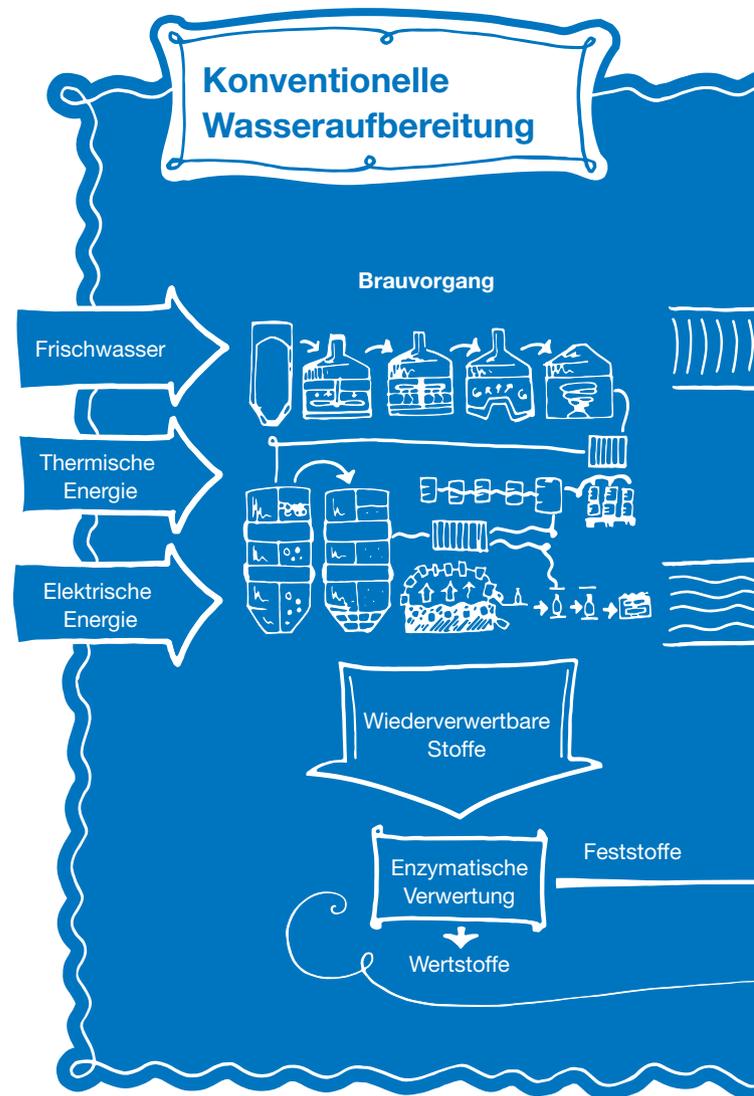
Glas ist, nicht zuletzt aufgrund seiner langen Beratungstätigkeit, sehr gut mit der Brauwirtschaft vernetzt. Das von seiner Arbeitsgruppe veranstaltete zweitägige „Weihestephaner Seminar für Wassertechnologie“ etwa bietet jedes Jahr ein Forum zum Austausch zwischen Wissenschaftlern und Unternehmern über Entwicklungen in der Wassertechnologie.

Die Brauindustrie in Deutschland ist ein kostengetriebenes Geschäft mit enger Gewinnmarge. Sie besteht zu 90 Prozent aus kleinen bis mittleren Betrieben und hängt von fossilen Brennstoffen und externem Strombezug ab. Ein volatiler Energiemarkt, steigende Energie- und Rohstoffpreise sowie das wachsende Interesse der Verbraucher an ökologisch nachhaltigen Produkten sind die Herausforderungen von heute. So steigt auch der Druck, Energie und Wasser effizienter zu nutzen, und mit ihm das Interesse der Industrie an innovativen Lösungen. Selbst in modernsten Anlagen fallen zum Beispiel pro produziertem Liter Bier zwei Liter Abwasser an. Spätestens wenn das Wasser spürbar teurer wird, würden auch die deutschen Bierbrauer versuchen, ihr Abwasser komplett so aufzubereiten, dass es wieder in den Produktionskreislauf kann, prognostiziert Glas.



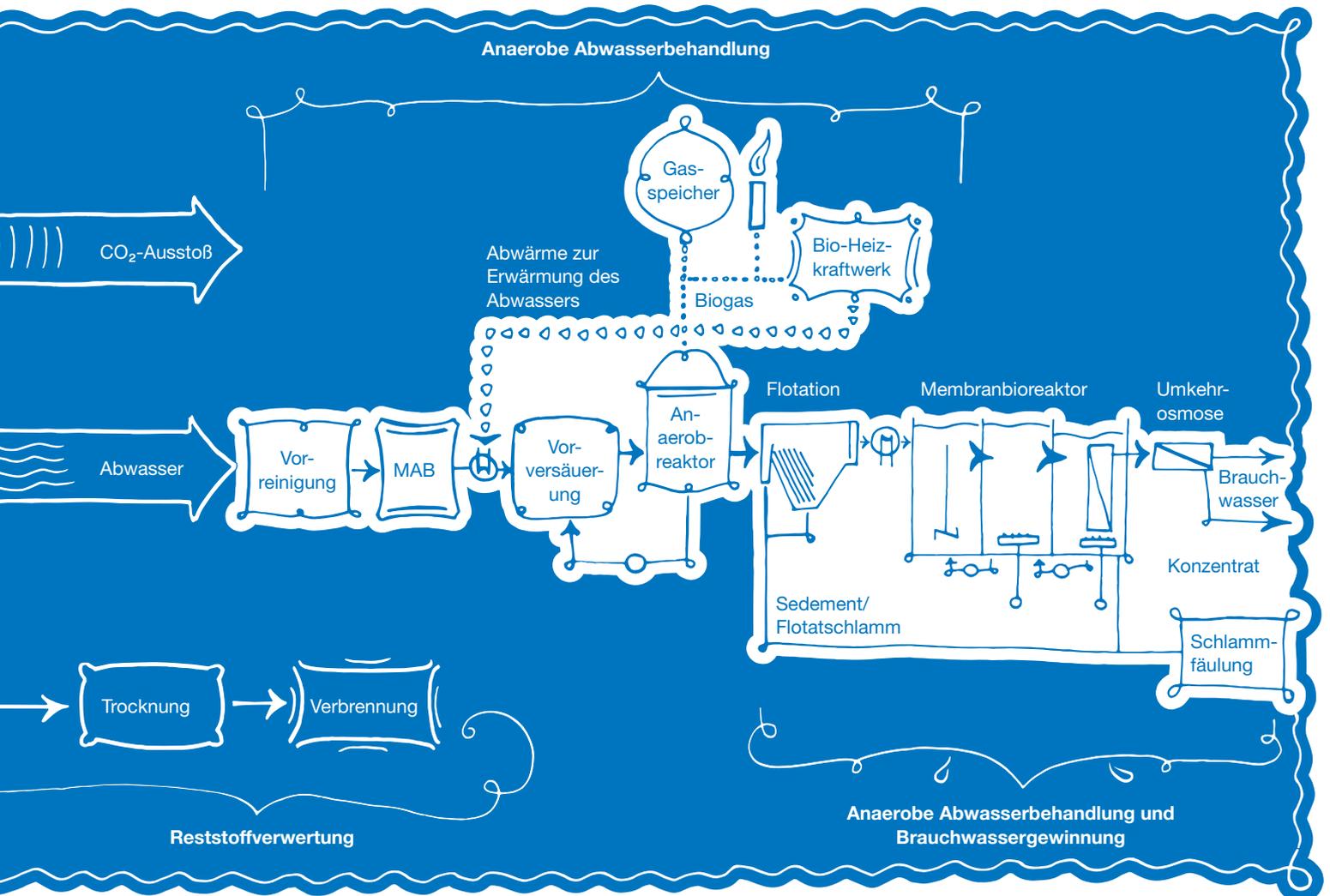
Kleine und mittlere Betriebe im Fokus

Die AGW entwickelt derzeit mit einem Partner der TUM ein Modellierungs- und Simulationswerkzeug, das eine standardisierte, anlagenübergreifende Analyse und Prognose



der Energie- und Medienverbräuche von Prozessketten ermöglicht. Getränkeproduzenten und Anlagenherstellern soll damit erstmalig ein ganzheitliches Werkzeug zum Erschließen bisher verborgener Einsparpotenziale zur Verfügung stehen. Das Streben nach Autarkie war für Glas und seine Arbeitsgruppe der Ausgangspunkt für dieses und andere aktuelle Projekte. In einer Machbarkeitsstudie („BrauTark“) betrachteten sie zuvor die Energie- und Stoffströme einer Brauerei. Die Forscher haben das Potenzial der Ströme identifiziert, die Möglichkeiten einer energetischen Nutzung untersucht und anschließend Wege zur Substitution konventioneller Energieträger durch erneuerbare Energien aufgezeigt.

„Brauen ist energieintensiv“, gibt Glas zu bedenken. „Wenn Sie brauen, kochen Sie erstmal Würze. Das kostet satte Energie. Bei kleineren Brauereien ist naturgemäß die Effizi-



enz nicht so hoch wie bei den großen, die kontinuierlich produzieren. Eine typische kleine Brauerei hat wöchentlich nur ein bis zwei Sudtage und muss so immer wieder von neuem den Sud anwärmen. Sie kann es sich in der Regel auch nicht leisten, eine Abwasseraufbereitungsanlage zu bauen.“ Solche Betriebe haben Misch- und Ausgleichsbecken, in denen die Schmutz- und Frachtspitzen und die ph-Werte des Wassers vergleichmäßigt werden, bevor man das Abwasser an die Kommune abgibt. Nicht selten ist dann ein Starkverschmutzer-Zuschlag fällig. So wird auch das Abwasser zum Kostenfaktor. „Eine Verbesserung brächten autarke Anlagen. Der kleinere oder mittlere Betrieb könnte zum Beispiel von Montag bis Mittwoch eine Charge CO₂-frei produzieren und sein Abwasser die nächsten Tage in aller Ruhe über eine Brennstoffzelle abbauen und dabei noch Strom gewinnen“, erklärt Glas. ▶



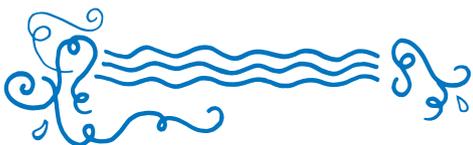
Pro Liter Bier fallen gut zwei Liter Abwasser an. Große Brauereien reinigen es bisher in Anaerobanlagen (also Anlagen, die ohne Sauerstoff arbeiten) mit einer Biogasgewinnung. Das aktuelle Projekt „Brew-Cell“ ersetzt den hier weiß unterlegten Teil durch eine Brennstoffzelle.

Brew-Cell: neue Perspektiven zur Energieintegration

Die Abwasserbehandlung bei gleichzeitiger Gewinnung elektrischer Energie durch den Einsatz mikrobieller Brennstoffzellen (MFC) soll nun der Industrie neue Perspektiven eröffnen. In der Regel reinigen große Betriebe bisher Abwasser in Anaerobanlagen (also Anlagen, die ohne Sauerstoff arbeiten) mit einer Biogasgewinnung. Das aktuelle Projekt „Brew-Cell“ zeigt, wie man das Ganze in kleinerem Maßstab mit Brennstoffzellen bewerkstelligen kann. Es wird im Zentralen Innovationsprogramm Mittelstand durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie gefördert. Zunächst wählten die Forscher für die Mikroorganismen geeignete Abwasserströme aus und führten dann mit verschiedenen MFC-Bauarten grundlegende Experimente im Labormaßstab durch. Vertragen „die kleinen Helferlein“, wie Glas sie nennt, bestimmte Desinfektionsmittel nicht? Ist das Abwasser für sie „fett“ genug? Nur, wenn auch hier das Design stimmt, kommt man zu guten Ergebnissen. Parallel hat die AGW auf Basis eines mathematischen Modells eine Software entwickelt, die bei Entscheidungen zu Design, Prozessauslegung und -fahrweise an optimalen Betriebspunkten hilft. Daraus leiteten sie ein Konzept zur Einbindung der MFC in die Energiewirtschaft der Brauerei ab. ▶

„Wasser ist spannend, denn es ist wissenschaftlich, es ist technisch, es ist politisch, es ist kulturell.“

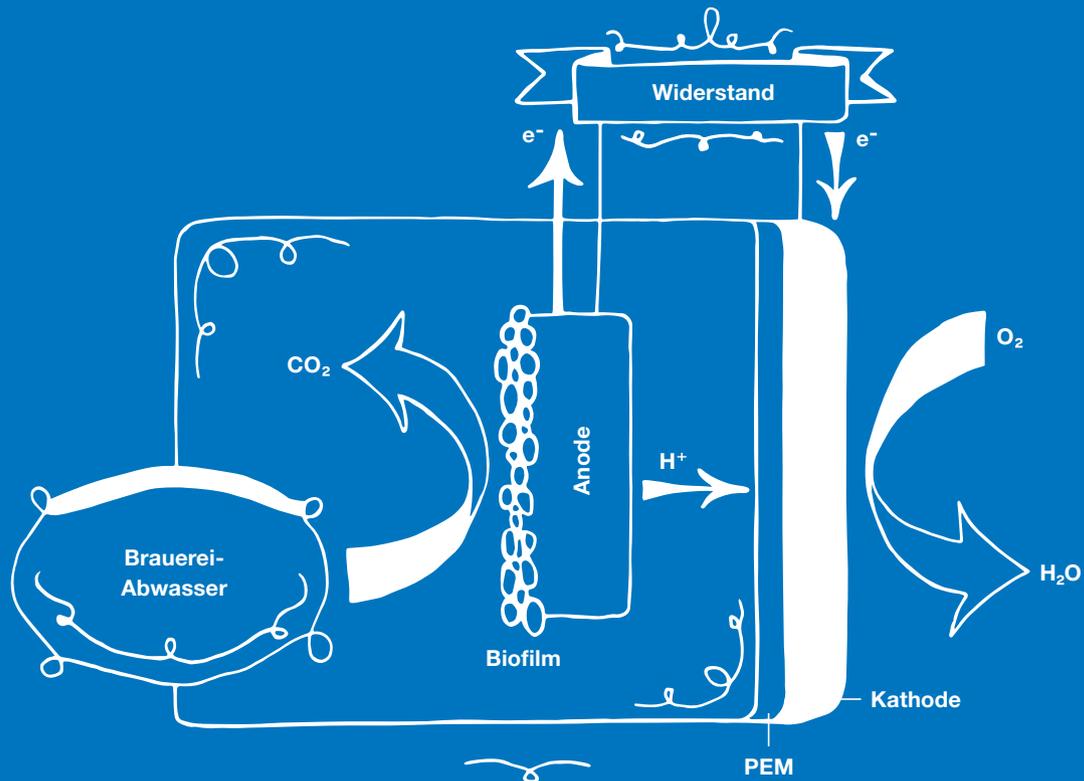
Karl Glas





Bildquelle: Stefan Hopf; Grafiken: edlundsepp

Im Ein-Liter-Maßstab bereits erfolgreich im Labor erprobt, beginnen nun die Tests in der 100-Liter-Pilotanlage. Vor allem werden nun die Einzelheiten der Prozessführung bei der Abwasserreinigung durchgespielt.



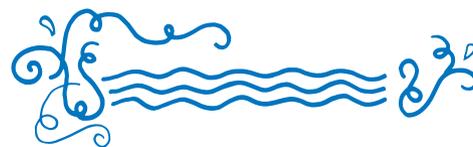
Das Konzept von Brew-Cell

Die Brennstoffzelle zur Abwasserreinigung stellt einen völlig neuen Ansatz dar. Er ermöglicht es, gleichzeitig das Abwasser zu reinigen und Elektrizität zu erzeugen. Exoelektrogene Bakterien haben die Fähigkeit, organische Stoffe im Abwasser zu verwerten und die dadurch gewonnenen Elektronen an eine Elektrode abzugeben. Der auf der Anode vorhandene Biofilm oxidiert dabei Substrat, wobei Elektronen und Protonen frei werden. Elektronen werden an die Anode abgegeben und fließen über einen externen Widerstand weiter zur Kathode. Dort wird unter Anwesenheit der zuvor gewonnenen Protonen (H^+) Sauerstoff zu Wasser reduziert.

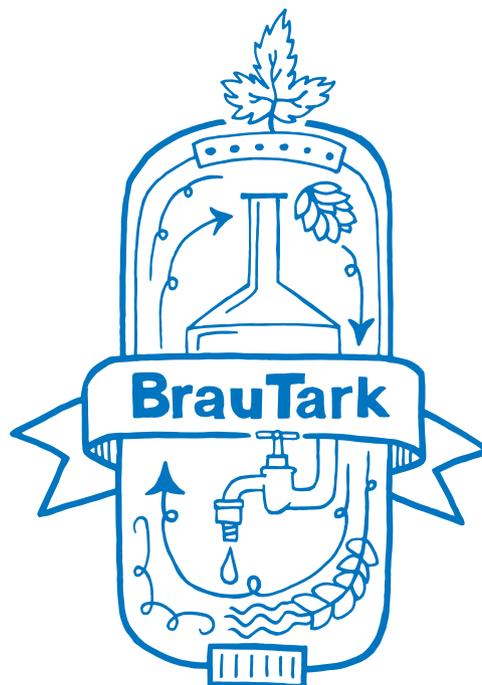


Dr. Karl Glas

Er studierte an der TUM Brauwesen und Getränketechnologie und promovierte 1988 mit Auszeichnung über Brauereiabwasserinhaltsstoffe. Kurz darauf übernahm er die Leitung der Abteilung „Sonder- und Umweltanalytik“ am Forschungszentrum für Brau- und Lebensmittelqualität Weihenstephan. Von 2006 bis 2014 war er wissenschaftlicher Leiter des Competence Pool Weihenstephan und zwischen 2010 und 2015 Leiter Wissenschaft/Forschung bei der Bayerischen Forschungstiftung in München. Seit 2014 ist er in seiner aktuellen Position als Leiter der Arbeitsgruppe Wassertechnologie am Lehrstuhl für Lebensmittelchemie und Molekulare Sensorik der TUM tätig, seit 2015 in Vollzeit. Er berät seit 30 Jahren im In- und Ausland Betriebe der Brau- und Getränkeindustrie im Bereich „Wasser und Umwelt“.



Durch den Einsatz verschiedener Regelkonzepte ließen sich auch die jeweiligen Auswirkungen auf das Prozessverhalten bestimmen. „Vor gut zwei Jahren begann unsere Arbeit mit den Brennstoffzellen. Wir haben im Labor mit Prototypen im Ein-Liter-Maßstab experimentiert. Im Herbst 2019 ging dann in einer großen deutschen Brauerei eine um den Faktor 100 vergrößerte Pilotanlage in Betrieb.“ Hier sollen Parameterstudien Erkenntnisse zur weiteren Hochskalierung solcher Anlagen und zur Umsetzung in anderen Industriebereichen bringen. Es müssen noch viele Details geklärt werden, auf diesem Weg zur Brautarkie. Die Pilotanlage der Freisinger Forscher wird dabei helfen, wertvolle Erfahrungen zu sammeln. ■ *Karsten Werth*



Autoren

Dr. Markus Bernards ist seit mehr als 20 Jahren als Wissenschaftsjournalist und Wissenschaftskommunikator tätig und lebt in Frankfurt am Main. Er studierte Molekularbiologie in Köln und arbeitete für einen medizinischen Fachverlag, ein Biotech-Unternehmen, eine Agentur für Wissenschaftskommunikation sowie für Forschungseinrichtungen und Universitäten einschließlich der TUM.

Claudia Doyle arbeitet als Journalistin für Print und Radio und widmet sich hauptsächlich den Themen Gesundheit, Ökologie und gutes Bier. Sie hat an der Universität Leipzig Biochemie studiert. Anschließend absolvierte sie die Deutsche Journalistenschule in München und erwarb gleichzeitig den Masterabschluss Journalismus an der LMU.

www.writingaboutscience.de

Dr. Bernhard Epping Der gebürtige Kölner studierte Biologie in Mainz, Tübingen und Sao Paulo. Aktuell wohnt er in Rottenburg am Neckar. Seit seiner Promotion an der Universität Tübingen 1993 schreibt er für Printmedien und legt Wert auf eine saubere Schilderung von Fakten sowie eine ordentliche Trennung von Journalismus und PR.

Dr. Monika Offenberger hat an der LMU München Biologie studiert. Sie promovierte über Brutssubstrate heimischer Drosophiliden an der LMU München. Seit 30 Jahren schreibt sie als freie Wissenschaftsjournalistin für Tageszeitungen, Magazine, Buchverlage und Forschungseinrichtungen über Themen aus Umwelt, Naturschutz und Lebenswissenschaften.

monika.offenberger@mnet-mail.de

Dr. Brigitte Röthlein ist seit vielen Jahren als wissenschaftliche Autorin für Zeitschriften, Fernseh- und Radiosender sowie für Zeitungen tätig. Sie hat ein Diplom in Physik und einen Dokortitel in Sozialwissenschaften. Ihr Hauptinteresse liegt in der Grundlagenforschung.

www.roethlein-muenchen.de

Dr. Christine Rüth betreibt in Regensburg ein Büro für Wissenschafts- und Technologiekommunikation. Die Physikerin arbeitet seit zehn Jahren als Redakteurin und Autorin für Wissenschaftsinstitutionen und Technologieunternehmen. Ihr Hauptinteresse gilt der angewandten Forschung und der Übertragung von neuen Technologien in die Praxis.

rueth@christinerueth.de

Monika Weiner ist freie Journalistin. Seit ihrem Studium der Geologie an der LMU München arbeitet sie für verschiedene Zeitungen, populärwissenschaftliche Zeitschriften und Rundfunkanstalten. Ihre Berichterstattung konzentriert sich auf die Auswirkungen von Entdeckungen und neuen Technologien.

en.monika-weiner.de

Dr. Karsten Werth ist freiberuflicher Wissenschaftsjournalist mit Sitz in München. Er studierte Zeitgeschichte und Amerikanistik und promovierte über das US-Weltraumprogramm der 1960er Jahre. Anschließend sammelte er Erfahrungen bei verschiedenen Industrie- und Medienunternehmen in den USA, Kanada und Deutschland, unter anderem als Chefredakteur einer PR-Agentur.

karsten.werth@gmx.de



Impressum

Faszination Forschung

Das Wissenschaftsmagazin der Technischen Universität München, gefördert durch die Exzellenzinitiative des Bundes und der Länder

Herausgeber

Prof. Dr. Thomas F. Hofmann,
Präsident der Technischen Universität München

Redakteurinnen

Dr. Brigitte Röthlein, Tina Heun-Rattei

Bildredakteurin

Andrea Klee

Übersetzung und Lektorat

Baker & Company, München

Gestaltung und Layout

ediundsepp Gestaltungsgesellschaft, München

Autoren in dieser Ausgabe

Dr. Markus Bernards, Claudia Doyle, Dr. Bernhard Epping,
Dr. Monika Offenberger, Dr. Brigitte Röthlein, Dr. Christine Rüth,
Monika Weiner, Dr. Karsten Werth

V.i.S.d.P.

Dr. Ulrich Marsch

Fotografen

Kurt Bauer, Uli Benz, Arne Dierend, Juli Eberle, Astrid Eckert,
Wolfgang Filser, Tom Freudenberg, Magdalena Jooss, Stefan Hopf,
Franziska Schrödinger

Redaktionsanschrift

Technische Universität München,
Corporate Communications Center,
80290 München

Webseite

www.tum.de/faszination-forschung

E-Mail

faszination-forschung@zv.tum.de

Druck

Druckerei Joh. Walch GmbH & Co. KG, Augsburg

Auflage

58.800

ISSN: 1865-3022

Erscheinungsweise

Zweimal jährlich

Erscheinungsdatum für diese Ausgabe

Februar 2020

Zum Sprachgebrauch

Nach Artikel 3 Abs. 2 des Grundgesetzes sind Frauen und Männer gleichberechtigt. Alle Personen- und Funktionsbezeichnungen im Magazin beziehen sich in gleicher Weise auf Frauen und Männer.

Nothing is so perfect that
you can't improve it.

Whether down under or down your street, our ideas make life more convenient, more practical and safer. Because as one of the world's leading specialty chemicals companies, we lend products their special properties. For instance, adhesives get their adhesive power, washing detergents their washing power and lightweight designs their lightweight components from us. But above all, our customers get creative solutions from us – for better products that ultimately you love to buy.

.....
www.better-with-evonik.com



Faszination Forschung 24 | 2020

TEEM



