DIE ZEITSCHRIFT DES SENATS DER BUNDESFORSCHUNGSINSTITUTE

FORSCHUNGS Report

ERNÄHRUNG · LANDWIRTSCHAFT · VERBRAUCHERSCHUTZ

Schwerpunkt: Pflanzen als Nachwachsende Rohstoffe

Alternativen zu Tierversuchen

Krankheitserreger schnell erkennen

Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz

1/2009

Guten Tag!

Echte Mode-Enthusiasten und Liebhaber des extravaganten Chics sollten in diesem Jahr nicht nur die Catwalks in Mailand und Paris auf ihrer Liste haben, sondern auch Köln. Dort, auf der Holzmesse „Interzum", wurden im Mai exklusive Kleider aus Stoff und Furnierholz, entworfen von Modedesignerinnen der Fachhochschule Bielefeld, präsentiert. Natürlich gibt es langlebigere Verwendungsmöglichkeiten für Holz, und es gibt praktischere Materialien zur Herstellung von Jacken, Kleidern und Hosen. Aber die Präsentation dokumentierte die enorm vielfältigen Einsatzbereiche von Holz und anderen nachwachsenden Rohstoffen. Der Phantasie sind (fast) keine Grenzen gesetzt.

„Bio" ist nicht gleich „Öko"

In letzter Zeit wurde in der Öffentlichkeit vor allem die energetische Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen diskutiert, sei es als Biomasse in Biogasanlagen oder als Ersatz für erdölbasierte Kraftstoffe in Form von Bioethanol oder Biodiesel. Was auf den ersten Blick sinnvoll erscheint, zum Beispiel hinsichtlich des Klimaschutzes, offenbart beim näheren Hinsehen durchaus seine Tücken. „Bio" ist hier nicht in jedem Fall gleich „Öko": positive Klimabilanzen können ins Negative kippen, vermehrte Flächennutzung kann zu Lasten wertvoller Biotope und der Biodiversität gehen, und dies vor allem in Entwicklungs- und Schwellenländern.

Dennoch bergen Pflanzen als nachwachsende Rohstoffe ein immenses Potenzial, das genutzt und ausgebaut werden sollte – nicht nur im Bereich der Energiegewinnung. Zwar ist dort am offensichtlichsten, dass auf diese Weise fossile Rohstoffe eingespart werden können. Doch auch in anderen Bereichen kann die Nutzung nachwachsender Rohstoffe indirekt zur Schonung endlicher Ressourcen beitragen, etwa wenn erdölbasierte Kunststoffe durch entsprechende pflanzliche Produkte ersetzt werden. Außerdem bietet der Anbau nachwachsender Rohstoffe den Landwirten eine vom Lebens- und Futtermittelsektor unabhängige Einkommensalternative.

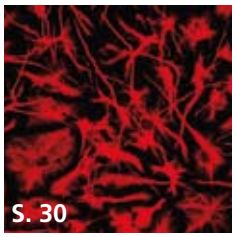
Bei uns ist Holz der mengenmäßig wichtigste nachwachsende Rohstoff, der sowohl energetisch als auch stofflich vielfältig genutzt wird. Gerade der langlebige Wertstoff Holz hat das Potenzial, CO_2 aus der Atmosphäre über Jahrzehnte bis Jahrhunderte zu binden und so dem Ausstoß von klimarelevanten Treibhausgasen entgegenzuwirken.

Um das Potenzial der Pflanzen als nachwachsende Rohstoffe weiter zu erschließen, ist technische Innovation gefragt. Wie Sie an den Beiträgen im Themenschwerpunkt dieses Heftes erkennen können, ist dies ein Schwerpunkt der Arbeiten unserer Forschungsinstitute, ebenso wie die kompetente Beratung der politischen Entscheidungsträger, wenn es z.B. um zukunftsweisende Entscheidungen zur Ausgestaltung von Förderprogrammen geht. Gerade hier wird der Wert der Ressortforschungseinrichtungen besonders deutlich, denn Sie leisten eine unabhängige Beratung, die sich auf wissenschaftliche Erkenntnisse und eigene Forschungsergebnisse stützt.

Ich wünsche Ihnen eine anregende Lektüre, auch bei den Beiträgen außerhalb des Schwerpunkts, die mindestens ebenso spannend sind.

Mit besten Grüßen

Prof. Dr. Dr. h.c. Thomas C. Mettenleiter
Präsident des Senats der Bundesforschungsinstitute



Berichte aus der Forschung

Biogas – effizient erzeugen und nachhaltig nutzen ____ 4

Klimaeffizienter Anbau von Energiepflanzen ____ 8

Streit um die Bioenergie – was steckt dahinter? ____ 12

WaxyGerste – stark als Stärkelieferant
Neue Chancen für eine alte Getreideart ____ 16

Pflanzen als Bio-Fabriken ____ 19

Goldene Zeiten für Zucker
Goldkatalysatoren veredeln Zucker zu Industrie-Produkten ____ 22

Bioenergie – Transparenz durch Standards und Zertifizierung? ____ 26

Alternativen zu Tierversuchen
Durch neueste Technologien lassen sich Experimente mit Tieren verringern ____ 30

DNA-Mikroarrays in der Diagnostik von Zoonosen
Krankheitserreger schnell und genau erkennen ____ 33

Mehr Sicherheit für die Verbraucher
Arbeitsgruppe Analytik betreibt Spurensuche in Lebens- und Futtermitteln ____ 36

Verbesserte Nachweismethode für Gluten
Mehr Sicherheit für Zöliakiekranke ____ 39

Portrait

20 Jahre ZEBET im BfR
Den Tierschutz im Labor verbessern ____ 42

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR)
Fördern, beraten, koordinieren ____ 44

Deutsches BiomasseForschungsZentrum (DBFZ)
Forschung für die Energie der Zukunft ____ 46

Schlaglichter ____ 48

Impressum ____ 50

Der Forschungsbereich ____ 51

Biogas – effizient erzeugen und nachhaltig nutzen

Monika Heiermann, Bernd Linke, Michael Klocke, Volkhard Scholz, Phillip Grundmann (Potsdam)

Für den künftigen Mix aus erneuerbaren Energien kann Biogas, ein energiereiches Gas mit 50–65 % Methan, einen bedeutenden Beitrag leisten. Schon heute liefern etwa 4.000 landwirtschaftliche Biogasanlagen elektrischen Strom für etwa drei Millionen Haushalte. Durch die Erschließung bisher ungenutzter Potenziale organischer Reststoffe aus der Landwirtschaft sowie den maßvollen Anbau von Energiepflanzen kann die Effizienz der Biogaserzeugung und -verwertung noch deutlich gesteigert werden. Das Ziel der interdisziplinären Forschergruppe „Biogas" am Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim (ATB) ist es daher, durch innovative Forschungsansätze Optimierungspotenziale entlang der gesamten Wertschöpfungskette zu erschließen und in effiziente Biogastechnologien und -verfahren umzusetzen.

Hochwertige Silagen notwendig

Biogaspflanzen werden zurzeit auf etwa 3 % der Ackerfläche Deutschlands angebaut und gemeinsam mit organischen Reststoffen aus der Tierhaltung zu Biogas vergoren.

Eine Reihe von Faktoren beeinflusst die aus Biogaspflanzen erreichbare Methanausbeute. Neben Anbau und Ernte spielt die Konservierung und Lagerung des Pflanzenmaterials eine entscheidende Rolle. Die Silierung als übliche Form der Konservierung von Ganzpflanzen für die kontinuierliche, ganzjährige Beschickung der Biogasanlage wirkt sich auf die Menge und chemische Zusammensetzung des pflanzlichen Substrats aus. Es kommt also darauf an, die für die Methanbildung wertgebenden Inhaltsstoffe in der Silage zu erhalten. Durch gutes Silagemanagement, die Wahl geeigneter Pflanzenarten und Erntetermine sowie siliertechnische Maßnahmen wie Anwelken,

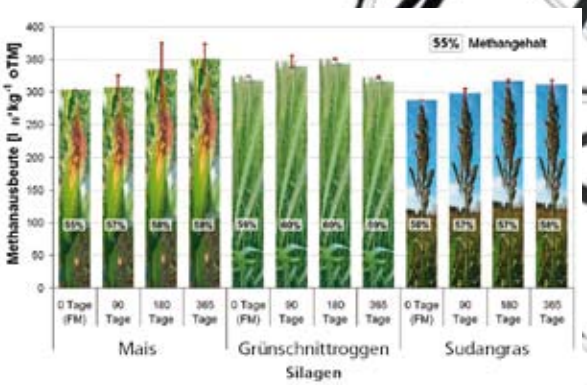


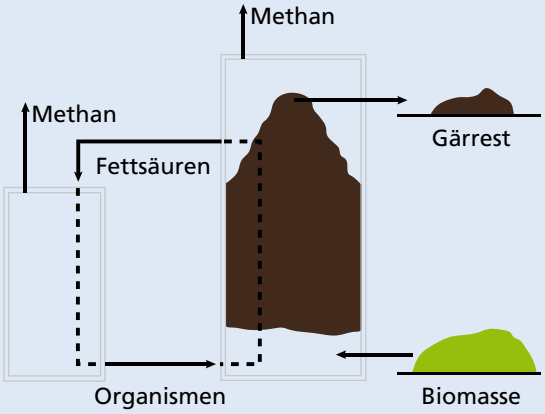
Abb. 1: Methanausbeuten von Mais-, Grünschnittroggen- und Sudangrashybrid-GPS nach unterschiedlicher Lagerdauer im Modell-Silo

kurze Häcksellängen und Zusatz von Siliermitteln können Qualitätsverluste zwar nicht vollständig vermieden, aber deutlich verringert werden.
Aktuelle Ergebnisse aus dem BMELV-gefördertem Verbundprojekt EVA („Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands") zeigen, dass sich gut konservierte Silagen unter anaeroben Bedingungen über einen langen Zeitraum lagern lassen, ohne dass sich die Methanausbeute vermindert (Abb. 1). Auch der Zusatz von Siliermitteln kann die Qualität der Biomasse für die Biogasproduktion sichern und verbessern.
Auch künftig werden sich die ATB-Wissenschaftler mit der Qualitätssicherung von Silagen beschäftigen: Im Fokus stehen dabei der Einsatz von neuen Siliermitteln, die gleichzeitige Silierung mehrerer Pflanzenarten (Mischsilagen) sowie die Auswirkungen von Unkrautbesatz auf die Bereitstellung von Substrat für die Biogasproduktion. Die in Labor- und Praxisversuchen erzielten Ergebnisse sollen in Empfehlungen für die Praxis einmünden.

Ein neuer technologischer Ansatz

Die Biogasgewinnung in der Landwirtschaft erfolgt heute überwiegend in vollständig durchmischten Fermentern, in denen je nach Belastung und Substratzusammensetzung 50–80 % der eingetragenen organischen Substanz zu Biogas umgesetzt werden. Für die Durchmischung des Fermenterinhaltes werden jedoch etwa 5–10 % des aus dem Biogas produzierten Stroms benötigt. Hinzu kommt, dass in solchen Fermentern die langsamste Teilreaktion des mikrobiologischen Abbaus die Gesamtleistung der Biogasbildung bestimmt. Dies ist zum Beispiel für Substrate mit hohem Rohfasergehalt die Hydrolyse der Makromoleküle, während für Rohstoffe mit hohem Stärke- und Zuckergehalt die Umsetzung der gebildeten organischen Säuren durch eine zu geringe Konzentration methanbildender Mikroorganismen zum begrenzenden Faktor werden kann. Deshalb wurde am ATB mit Unterstützung durch die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) ein neuer technologischer Ansatz zur Biogasgewinnung entwickelt, der substratspezifisch einsetzbar ist, sich durch eine hohe Prozessstabilität auszeichnet und im Vergleich zum Rührfermenter eine deutliche Leistungssteigerung ermöglicht.
Die Biogasproduktion erfolgt dabei in zwei in Reihe geschalteten Fermentern, die durch einen Prozesswasserkreislauf verbunden sind (Abb. 2). Die zu vergärenden Substrate werden mit Hilfe eines Feststoffeintrages in den unteren Teil des ersten Fermeters kontinuierlich eingebracht, wandern durch das sich bildende Biogas nach oben und können als fester Gärrest ausgetragen werden. In diesem Aufstromfermenter findet vor allem die Hydrolyse/Versäuerung der organischen Verbindungen statt. Die hier gebildeten organischen Säuren und der Wasserstoff werden mit dem Prozesswasser in den nachgeschalteten Methanreaktor eingetragen. Hierfür eignet sich ein klassischer Festbettreaktor aus der anaeroben Abwasserreinigung. Alternativ kann auch ein Wirbelbettreaktor mit magnetischen Partikeln für die Ansiedlung von methanbildenden Mikroorganismen verwendet werden. Mit Hilfe eines Magnetabscheiders lassen sich die mikrobiellen Leistungsträger im Reaktor halten und sorgen so für höhere Leistung. Dieses gemeinsam mit der Berliner Humboldt-Universität entwickelte System wird zurzeit am ATB erprobt.

Abb. 2: Schema des Aufstromverfahren zur Biogasgewinnung, bestehend aus dem Aufstromreaktor (rechts), dem Methanreaktor (links) und einer Kreislaufführung der Flüssigphase



Spezialisten am Werk: Methanbildende Archaeen

Nur wenige, hoch spezialisierte Mikroorganismen sind in der Lage, Methan zu bilden. Diese Fähigkeit findet sich ausschließlich bei Vertretern der Gruppe der Archaea. Diese Organismen wurden früher als Bakterien angesehen, unterscheiden sich aber durch eine Reihe von physiologischen und strukturellen Merkmalen deutlich

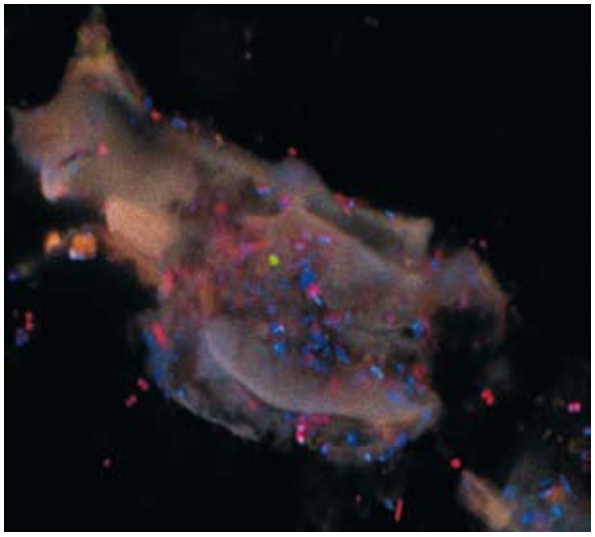


Abb.3: Fluoreszenz-mikroskopische Aufnahme von einem Partikel aus einer Biogasanlage mit mikrobiellem Besatz

Biogas boomt – aufgrund des novellierten Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) ist zu erwarten, dass im Jahr 2009 etwa 800 neue Biogasanlagen errichtet werden.

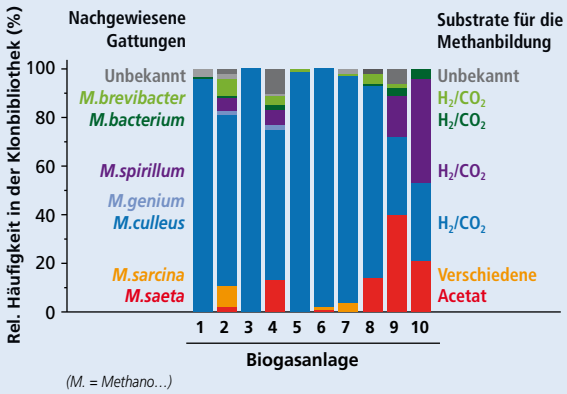
von diesen. Bisher sind drei unterschiedliche Stoffwechselwege zur Methansynthese bekannt:

1. Molekularer Wasserstoff (H_2) wird genutzt, um Kohlendioxid schrittweise zu Methan zu reduzieren (hydrogenotrophe Methanogenese);
2. Acetat (CH_3COOH) wird zu Kohlendioxid oxidiert, die verbleibende Methylgruppe wird zu Methan reduziert (acetoklastische oder acetotrophe Methanogenese);
3. Methylverbindungen werden zu Methan reduziert, entweder durch die Oxidation von molekularem Wasserstoff oder Methanol (CH_3OH).

Am ATB wurde im Rahmen eines durch die FNR geförderten Projektes untersucht, welche Methanbildner vorrangig in landwirtschaftlichen Biogasanlagen zu finden sind. Der Nachweis der methanbildenden Mikroorganismen erfolgte dabei auf Ebene der DNA, wodurch eine kulturunabhängige und zugleich eindeutige Identifizierung der Mikroorganismen möglich wurde. Die Analyse der archaeellen 16S rDNA Nukleotidsequenz erbrachte einen Überblick über die Diversität der in Biogasanlagen vorliegenden Methanbildner (Abb. 4). In nahezu allen untersuchten Biogasanlagen wurden vorrangig Archaeen der Ordnungen Methanomicrobiales und Methanobacteriales nachgewiesen. Insbesondere Vertreter der Gattung Methanoculleus wurden gefunden. Acetat verwertende Methanbildner wurden dagegen wesentlich seltener nachgewiesen. Lediglich in zwei Biogasreaktoren fanden sich größere Anteile von Nukleotidsequenzen der Gattung Methanosaeta. Die unterschiedlich zusammengesetzten archaellen Lebensgemeinschaften lassen darauf schließen, dass die Substrate in den Biogasanlagen auf verschiedenen Wegen zu Methan umgesetzt

Kosten lassen sich senken, wenn die Bereitstellung von Biomasse optimiert wird.

Abb. 4: Biodiversität methanbildender Archaeen in landwirtschaftlichen Biogasanlagen



werden. Jedoch konnte bisher kein Zusammenhang zwischen der Struktur der Archaea-Biozönose und der jeweiligen Substrate festgestellt werden. Auch die Verweilzeit der Substrate oder der Raumbelastung des Reaktors scheinen sich nicht auszuwirken. Vielmehr kommen bestimmte chemische Parameter wie die Ammonium- und Acetatkonzentration zum Tragen. Wie sich diese Faktoren genau auf die methanogene Population in landwirtschaftlichen Biogasanlagen auswirken, wird derzeit am ATB untersucht.

Brennstoffzellen für Biogas nutzen

Um das Anwendungspektrum von Biogas zu erweitern, werden am ATB seit 2002 Untersuchungen zum Einsatz von Brennstoffzellen durchgeführt. In enger Zusammenarbeit mit Partnern aus Industrie und Forschung wurde ein 1 kW-Brennstoffzellensystem für Biogas entwickelt und getestet (Abb. 5). Mit diesem aus einer Polymer-Elektrolyt-Membran-Brennstoffzelle (PEMFC) und einem Dampf-Reformer bestehenden System konnte nachgewiesen werden, dass Biogas für Brennstoffzellen geeignet ist, dass der üblicherweise hohe CO_2-Anteil im Biogas kaum Leistungseinbußen verursacht und dass bei optimaler Auslegung des Systems Wirkungsgrade von deutlich über 40 % erreichbar sind. Im Biogas enthaltene Spurengase, insbesondere CO und H_2S, können jedoch den Katalysator schädigen und damit die Standzeit der Brennstoffzellen beeinträchtigen. In verschiedenen Labor- und Praxisfermentern wurden daher zahlreiche Biogasproben analysiert und die Gehalte an Kohlenmonoxid und verschiedenen Schwefelverbindungen bis in den einstelligen ppm-Bereich bestimmt.

Abb. 5: Brennstoffzellen-Versuchsstand für den Betrieb mit Biogas

Auf Grundlage dieser Ergebnisse werden in naher Zukunft aussichtsreiche Brennstoffzellen-Membranen hinsichtlich ihrer Standzeit in einem Einzeller-Versuchsstand untersucht. Nach gezielter Beimischung der verschiedenen Spurengase wird der Verschleiß der Zellen bestimmt. Auf dieser Grundlage können geeignete Gasreinigungsverfahren ausgewählt bzw. entwickelt werden. Dies ist Voraussetzung für eine Erprobung der Biogas-Brennstoffzelle im großtechnischen Maßstab, die für die kommenden Jahre vorgesehen ist.

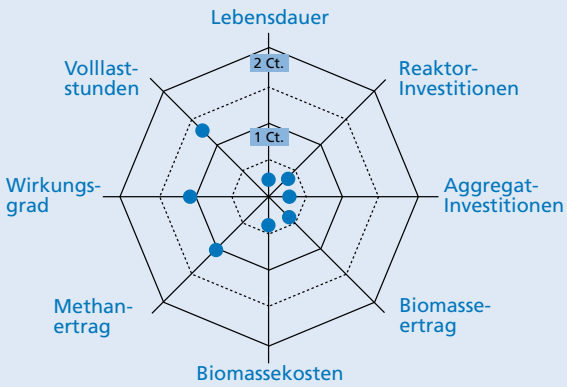


Abb. 6: Senkung der Stromgestehungskosten aus Biogas bei einer 10 %igen Verbesserung der Anlagenparameter Lebensdauer, spezifische Investitionen, Biomasseertrag und Kosten, Methanertrag, Verstromungswirkungsgrad oder Anlagenauslastung (in €-Cent pro kWh).

Die Wirtschaftlichkeit von Biogasanlagen verbessern

Biogas boomt weiter. Aufgrund des novellierten Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) ist zu erwarten, dass im Jahr 2009 etwa 800 neue Biogasanlagen mit einer elektrischen Leistung von 200 Megawatt errichtet werden. Die Wirtschaftlichkeit von Biogasanlagen zu verbessern, ist daher eine vorrangige Forschungsaufgabe. Das ATB hat einige Stellschrauben, mit denen sich die Produktionskosten für Biogas senken lassen, aus betriebsökonomischer Sicht untersucht.
Potenziale zur Kosteneinsparung werden vor allem in der Verringerung der spezifischen Anlageninvestitionen gesehen, in der besseren Auslastung einzelner Anlagenkomponenten, der Steigerung der Methanerträge und einer Verbesserung der Wirkungsgrade bei der Verstromung (Abb. 6). Kosten lassen sich auch senken, wenn die Bereitstellung von Biomasse optimiert wird – entscheidende Faktoren sind hier Menge und Qualität. Die Substratkosten pro erzeugter kWh lassen sich zudem durch die Wahl des Erntezeitpunkts erheblich senken. Hierbei sollte nicht nur das spezifische Methanbildungspotenzial, sondern auch die Erntemenge pro Hektar berücksichtigt werden.
Infolge ungleich hoher Kosteneinsparungseffekte sind die Investitionsspielräume für einzelne Optimierungsmaßnahmen sehr unterschiedlich. Weiterführende Untersuchungen sollen daher klären, welche wirtschaftlichen Auswirkungen die verfügbaren bzw. in Entwicklung befindlichen Optimierungen haben. ■

ATB Agrartechnik Bornim
Dr. Monika Heiermann, Prof. Dr. Bernd Linke, Dr. Michael Klocke, Dr. Volkhard Scholz, Dr. Phillip Grundmann, Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim, Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam. E-Mail: blinke@atb-potsdam.de

Fachagentur nachwachsende Rohstoffe e.V.

Klimaeffizienter Anbau von Energiepflanzen

Jürgen Kern, Hans Jürgen Hell

Mit dem kontinuierlichen Anstieg der Kohlendioxid-Konzentration in der Erdatmosphäre zeichnet sich ein Klimawandel ab, der heute kaum noch in Frage gestellt wird. Neben Kohlendioxid spielt vor allem Lachgas (N_2O) eine besondere Rolle, dessen Treibhausgaspotenzial etwa 300mal höher ist als das von CO_2. Ein erheblicher Teil des freigesetzten Lachgases stammt aus der Landwirtschaft. Durch eine angepasste Düngung von Energie liefernden Pflanzen lässt sich die Emission von Treibhausgasen verringern.

Nachwachsende Rohstoffe – ein Weg aus der Energie- und Klimakrise?

Der Anbau von nachwachsenden Rohstoffen hat in den letzten Jahren neue Möglichkeiten für eine CO_2-neutrale Energiebereitstellung geschaffen. Während einjährige Kulturen wie Roggen (Abb. 1), Weizen und Hanf vorwiegend stofflich und zur Biogasproduktion genutzt werden, sind mehrjährige Gehölzkulturen wie Pappel und Weide (Abb. 2) in Form von Holzhackschnitzel oder Holzpellets vornehmlich für die thermische Verwertung bestimmt.

Entscheidend für die Frage, welche Kultur als Energielieferant ange-

Abb. 1: Winterroggen mit Begleitflora

Abb. 2: Frühjahrsaustrieb bei Weide nach einjähriger Pflanzung auf neu angelegten Parzellen

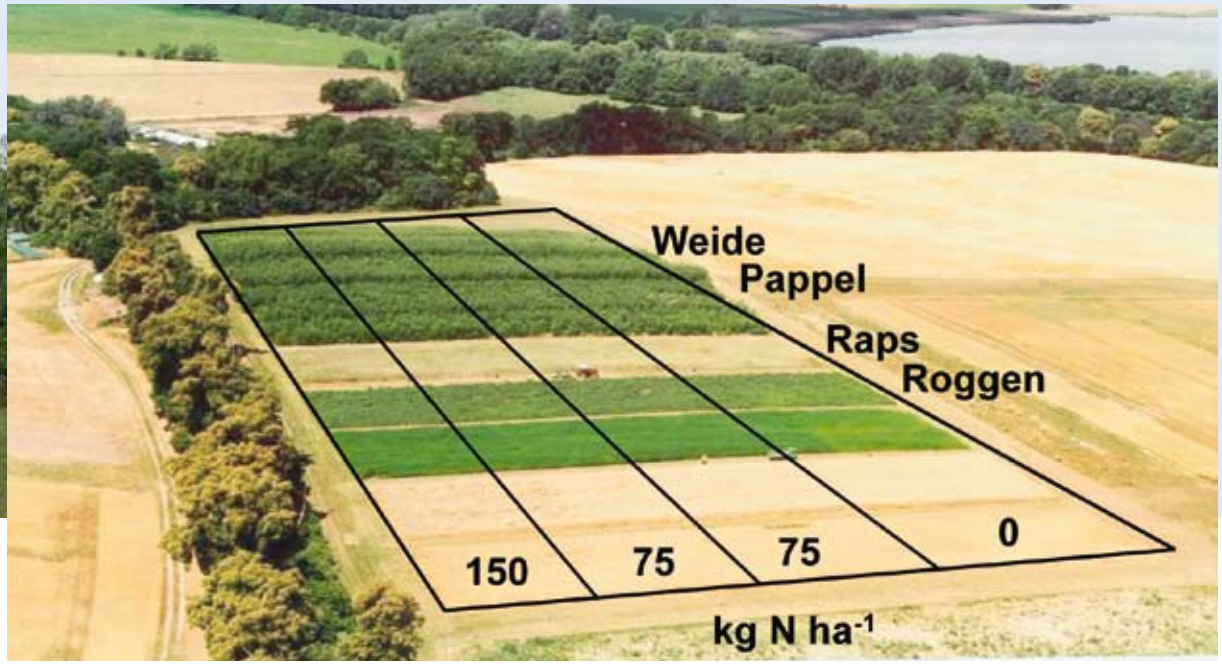


Abb. 3: Luftaufnahme der seit 1994 bestehenden Energieplantage des ATB

baut werde sollte, ist die energetische Effizienz, also das Verhältnis der gewonnenen und nutzbaren Energie zum Energieaufwand, der zur Biomasseproduktion erforderlich ist. Dies lässt sich im Rahmen einer Ökobilanzierung abschätzen, die möglichst die gesamte Wertschöpfungskette von der Flächenanlage über die Bestandesführung bis hin zur Ernte und dem Nacherntebereich abbilden sollte. Um den Anbau von nachwachsenden Rohstoffen rentabel zu gestalten, arbeitet der Landwirt im Allgemeinen auf den maximalen Biomasseertrag hin. Dies kann durch den Einsatz von Düngemitteln und Pflanzenschutzmitteln erreicht werden, zumindest für Ackerbaukulturen mit ausreichender Wasserversorgung. Dabei stellt sich aber die Frage, wann der Punkt erreicht ist, an dem die positive CO_2-Bilanz von Biofestbrennstoffen durch die mit der Düngung verbundenen direkten und indirekten Treibhausgasemissionen aufgehoben wird.

Stickstoffdüngung und Lachgasemission

Ein wichtiger Faktor bei der Erzeugung von nachwachsenden Rohstoffen ist der Einsatz von mineralischen Stickstoffdüngemitteln. Schon seine Produktion im Haber-Bosch-Verfahren ist ausgesprochen energieaufwändig, führt also zur Freisetzung von CO_2. Außerdem kommt es sowohl bei der Herstellung stickstoffhaltiger Düngemittel als auch bei der Anwendung im Pflanzenbau zu direkten N_2O-Emissionen. Um diese Einflüsse zu beschreiben, wurde am Leibniz-Institut für Agrartechnik Bornim (ATB) seit Mitte der 1990er Jahre eine der inzwischen ältesten Energieplantagen in Deutschland angelegt. Verschiedene einjährige und mehrjährige Kulturen werden hier auf lehmigem Sandboden angebaut. In drei verschiedenen Düngungsstufen (0 kg N, 75 kg N, 150 kg pro Hektar und Jahr) wachsen auf 624 m² großen Parzellen Pappel und Weide im Kurzumtrieb sowie als Fruchtfolge Roggen, Raps und andere Getreidekulturen im jährlichen Schnitt (Abb. 3). Neben den Ertragserhebungen wurde für einen Zeitraum von vier Jahren (2003–2006) die N_2O-Emission auf diesen Flächen gemessen (Abb. 4).

Mehrjährige Gehölzkulturen wie Pappel und Weide sind vornehmlich für die thermische Verwertung bestimmt, z. B. in Form von Holzpellets

Saisonale Effekte, die die Temperaturabhängigkeit der Bodenmineralisation widerspiegeln, führen zu verstärkten Lachgasfreisetzungen während der Vegetationsperiode. Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass für einige Wochen nach der Ausbringung des mineralischen Stickstoffdüngers stark erhöhte N_2O-Emissionen auftreten können. In allen Parzellen zeichnete sich eine deutliche Abhängigkeit zwischen Düngungsintensität und N_2O-Emission ab (Abb. 5). Insgesamt höher waren die N_2O-Emissionen auf den Böden mit einjährigen Kulturen, also solchen, die einer intensiveren Bodenbearbeitung und damit einer erhöhten Mineralisation unterlagen. Nach Abzug des N_2O-Emissionswertes aus der Nulldüngung ergibt sich der so genannte düngungsinduzierte Emissionsfaktor, der in unserer vierjährigen Studie zwischen 0,5 und 1,8 % lag. Vom Weltklimarat (IPCC) wird der Orientierungswert 1 % angegeben, was soviel bedeutet, dass durchschnittlich 1 % des applizierten Düngerstickstoffs als N_2O verloren geht. Beim Einsatz von 150 kg N pro Hektar und Jahr kam es mit Ausnahme der Weidenkultur zur Überschreitung dieses Orientierungswerts. Deshalb ist bei der Produktion von Biofestbrennstoffen grundsätzlich ein geringer Stickstoffbedarf der Kultur und somit eine niedrige Zufuhr an mineralischem Stickstoffdünger anzustreben.

Abb. 4: Messhauben zur Erfassung der N_2O-Emissionen in Kurzumtriebsplantagen

Genügsame Kurzumtriebsplantagen

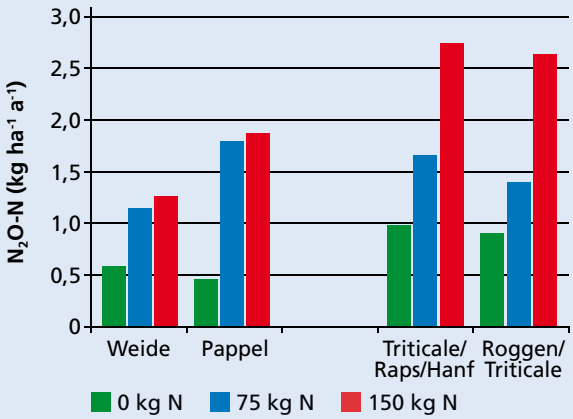
Während für die überwiegende Zahl der einjährigen Energiepflanzen Untersuchungen über den Mineraldüngerbedarf vorliegen, ist der Kenntnisstand zur Düngung von Kurzumtriebsplantagen noch gering. Im Vergleich zu den Qualitätsanforderungen an Lebens- und Futtermittel – das betrifft vor allem deren Proteingehalt – werden an Energiepflanzen nur geringe Anforderungen gestellt. Das kommt dem Anbau von Kurzumtriebsgehölzen wie Pappel und Weide entgegen, denn deren Stickstoffgehalte liegen in der Regel unter denen von einjährigen Kulturen. Damit ist zusätzlich der positive Effekt verbunden, dass bei ihrer Verbrennung deutlich geringere Emissionen des Treibhausgases NO_x entstehen.

Um das Düngungsmanagement in Kurzumtriebsplantagen zu optimieren, müssen noch die Zusammenhänge zwischen Stickstoffdüngung, Holzertrag und bodenbürtiger N_2O-Emission beim Anbau der Gehölze geklärt werden. Vor diesem Hintergrund wurde im Herbst 2008 im Rahmen eines FNR-Forschungsprojekts eine neue Kurzumtriebsplantage mit Pappel *(Populus maximovizcii x P. nigra)* und Weide *(Salix viminalis)* angelegt. Das Ziel ist dabei, bei reduzierten Düngemittelgaben (0, 25, 50 und 75 kg N pro Hektar und Jahr) die Ertragsentwicklung sowie die Auswirkungen auf die Umwelt zu erfassen. Neben den düngungsinduzierten Lachgasemissionen wird die Nitratauswaschung sowie der Einfluss der Mykorrhiza (Symbiose zwischen Pilzen und Feinstwurzeln) und der Begleitvegetation in einer randomisierten Blockanlage in Abhängigkeit vom Alter des Bestands untersucht.

Im ersten Vegetationsjahr wurden weder bei Pappeln noch bei Weiden signifikante Wachstumsunterschiede zwischen den unterschiedlichen Düngestufen festgestellt. Hingegen wirkte sich eine verminderte Konkurrenz durch die Begleitflora deutlich positiv auf die Biomasseproduktion aus.

In den nächsten Jahren wird sich zeigen, ob die mobilisierbaren Bodennährstoffe sowie der Stoffeintrag mit dem Regenniederschlag zur Versorgung der Pappeln und Weiden mit Stickstoff ausreichen.

Abb. 5: Mittlere Stickstoffflüsse in Form von N_2O auf der Energieplantage des ATB von 2003–2006



In diesem Fall könnte auf eine mineralische Stickstoffdüngung ganz verzichtet werden.

Bewertung der CO_2-Einsparung durch Energiepflanzen

Durch die thermische Umwandlung von nachwachsenden Rohstoffen lassen sich fossile Ressourcen einsparen. Unter Berücksichtigung der vorgelagerten Prozesskette, der Produktion von Stickstoffdüngemittel sowie dem relativ unbedeutenden Einsatz von Kraftstoffen im Feld ergibt sich das günstigste Bild für Pappel und das ungünstigste für Raps (Abb. 6). Mit einer hohen Biomasseproduktion von durchschnittlich 9,1 t Trockengewicht pro Jahr, was umgerechnet 16,3 t CO_2-Äquivalenten entspricht, schneidet Pappel im Vergleich

Bäume können als CO_2-Senken dienen.

zu den anderen untersuchten Kulturen am besten ab. Dabei ist der positive Effekt der Kohlenstofffestlegung im Boden-Wurzel-Bereich nicht einbezogen. Wenn die anbaubedingten N_2O-Emissionen in die CO_2-Bilanz eingehen, dann verringert sich auf der anderen Seite die CO_2-Einsparung um 19–47 % gemessen an der gesamten Kohlenstoffmenge, die in der pflanzlichen Biomasse festgelegt ist. Bei dieser Betrachtung handelt es sich um die wesentlichen Faktoren, die mit der Stickstoffdüngung zusammenhängen. Die Berücksichtigung weiterer Faktoren wie zum Beispiel die Trocknung, die Lagerung und der Transport des Ernteguts führt zu weiteren Abzügen.

Ausblick

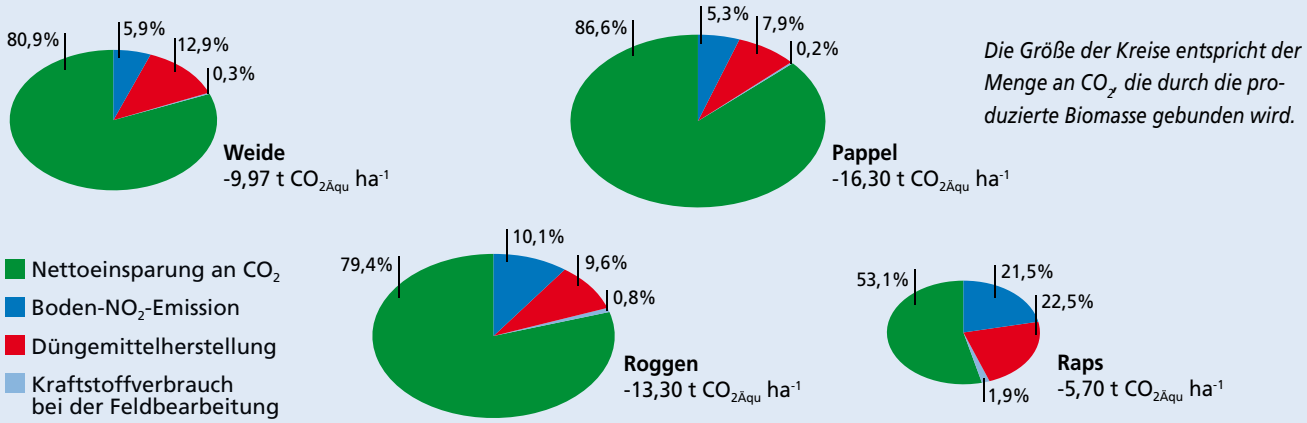
Die Produktion von nachwachsenden Rohstoffen eröffnet neue Perspektiven für die nachhaltige Nutzung von Energieressourcen. Dabei muss allerdings zwischen verschiedenen Anbausystemen und Kulturen unterschieden werden. Als besonders energieeffizient zeichnet sich für unseren Klimabereich die Produktion von verholzter Biomasse in Kurzumtriebsplantagen ab. Durch den geringen Bedarf an mineralischem Stickstoff werden nur geringe Treibhausgas-Emissionen verursacht, was das CO_2-Einsparpotenzial von Kurzumtriebsgehölzen erhöht.

Im Vergleich zu anderen europäischen Staaten ist in Deutschland die Fläche für Kurzumtriebsplantagen mit etwa 2.000 ha noch verhältnismäßig klein. Ein Grund dafür dürfte die mittelfristige Kapitalbindung sowie die langfristige Flächenbindung sein. Für den Landwirt wird dadurch die Rentabilität im Vergleich zu ackerbaulicher Nutzung schwer kalkulierbar. Ein weiteres Hemmnis für die Etablierung von Kurzumtriebsplantagen ist die derzeitige Rechtslage: In Deutschland werden in fast allen Bundesländern Kurzumtriebsplantagen auf landwirtschaftlichen Flächen als Wald angesehen. Damit ist eine für den Flächeneigentümer nicht vertretbare Wertminderung seiner Fläche verbunden. Mit der bevorstehenden Novellierung des Bundeswaldgesetzes wird dieses Problem aber ausgeräumt werden. Die neu eingeführte Flächenprämie von 300 € pro Hektar für Kurzumtriebsplantagen, die auf landwirtschaftlichen Nutzflächen angelegt werden, kann weitere Impulse für dieses Anbausystem geben. ■

ATB Agrartechnik Bornim

Dr. Jürgen Kern, Prof. Dr. Hans Jürgen Hellebrand, Dr.-Ing. Volkhard Scholz und Antje Balasus, Leibniz-Institut für Agrartechnik Bornim e.V., Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam.
E-Mail: jkern@atb-potsdam.de

Abb. 6: Treibhausgasbilanz beim Einsatz von Stickstoffdüngemittel in Höhe von 150 kg N ha^{-1} a^{-1} zur Produktion nachwachsender Rohstoffe (Angaben in CO_2-Äquivalenten)



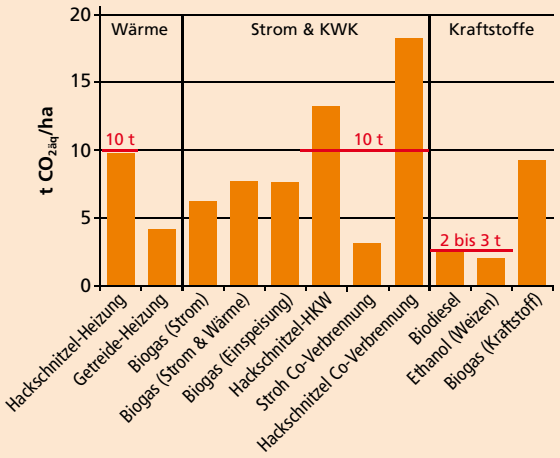
Streit um die Bioenergie – was steckt dahinter?

Folkhard Isermeyer (Braunschweig)

In den vergangenen 15 Jahren hat die deutsche Politik umfangreiche Förderprogramme für die Bioenergie aufgelegt. Die Wirtschaft reagierte und dehnte die Bioenergieproduktion auf landwirtschaftlichen Flächen rasant aus. Angesichts der weltweit anziehenden Agrarpreise warnten in den letzten Jahren allerdings zahlreiche Institutionen vor überzogenen Expansionszielen. Ein Gutachten des Wissenschaftlichen Beirats Agrarpolitik des BMELV empfiehlt den politischen Entscheidungsträgern, die deutsche Bioenergie-Politik zu fokussieren und auf die Ziele „Technologieführerschaft" und „Beitrag zum Klimaschutz" auszurichten.

In der Bundesrepublik werden heute bereits 12 % der verfügbaren Agrarfläche für die Erzeugung von Bioenergie genutzt. Auch die EU hat mittlerweile ehrgeizige Ziele, erneuerbare Energieformen voranzubringen: Der Anteil regenerativer Energie am Gesamtenergieverbrauch soll von 9 % (2005) auf 20 % (2020) steigen, der Anteil speziell im Transportsektor von 1 % (2005) auf 10 % (2020). Insbesondere das letztgenannte Teilziel hat einen engen Bezug zur landwirtschaftlichen Bioenergie; während nämlich die regenerative Strom- und Wärmeproduktion aus vielen Quellen gespeist werden kann (z.B. Biogas, Holzverbrennung, Wasserkraft, Solarenergie, Windenergie), kommen für den Straßentransport bis 2020 im Wesentlichen nur Biodiesel und Bioethanol in Betracht.

Abb. 1: Netto CO_2äq-Vermeidung pro Hektar bei unterschiedlichen Bioenergie-Linien



Quelle: Zimmer et al., vTI Braunschweig, 2008

Auch in anderen Teilen der Welt, besonders in den USA, nahm die Produktion von Bioethanol und Biodiesel seit 2000 einen rasanten Aufschwung. Die USA haben inzwischen Brasilien überholt und sind weltgrößter Ethanolproduzent. Weitere Länder, vor allem in Amerika und in Asien, haben weit reichende Expansionsziele formuliert.

Als jedoch 2007/08 weltweit die Agrarpreise in die Höhe schossen und die „Tortilla-Krise" (Proteste der mexikanischen Bevölkerung gegen hohe Maispreise) für Aufsehen sorgte, meldeten sich zahlreiche Institutionen zu Wort, die auf die Risiken der Bioenergie-Förderung hinwiesen und vor überzogenen Expansionszielen warnten. Das mündete in zahllosen Debatten zum Thema „Tank oder Teller".

Das Bioenergie-Gutachten des Wissenschaftlichen Beirats

In dieser Zeit legte auch der Wissenschaftliche Beirat für Agrarpolitik beim BMELV ein umfassendes Gutachten vor, in dem er verschiedene Bioenergie-Linien vergleichend untersuchte. In diesem Gutachten ging es vorrangig um die Frage, wie gut sich die verschiedenen Linien für den Klimaschutz eignen. Die Analyse führte zu dem Ergebnis, dass einige Linien sehr gut geeignet sind, andere hingegen weniger gut – und dass ausgerechnet die weniger gut geeigneten Linien gegenwärtig am stärksten gefördert werden.

Exemplarisch verdeutlicht Abbildung 1 die großen Unterschiede zwischen den untersuchten Linien, bei denen es sich ausnahmslos um Bioenergie von landwirtschaftlichen Flächen handelt – Bioenergie aus Waldflächen wurde nicht untersucht. In der Abbildung wird dargestellt, wie viel Treibhausgas-Emissionen eingespart werden können, wenn ein Hektar Agrarfläche für die jeweilige Bioenergie-Linie genutzt wird. Das Potenzial der besten Linien liegt bei 10 t CO_2-Äquivalente pro Hektar; einige andere Linien bleiben weit dahinter zurück, weil sie entweder zu geringe Energieerträge je Hektar bringen oder weil bei der Bioenergie-Erzeugung auf den Agrarflächen oder im Konversionsprozess zu viele Treibhausgas-Emissionen entstehen. Relativ günstig schneiden zum einen die Biogas-Linien ab, weil sich hier die hohen Maiserträge je Hektar positiv auswirken. Die Biogas-Linien haben allerdings den gravierenden Nachteil, dass sie sehr hohe Subventionen je Hektar erfordern. Am besten sind deshalb jene Bioenergie-Linien zu beurteilen, in denen schnellwachsende Bäume (Weiden, Pappeln) in Kurzumtriebsplantagen genutzt werden. Hier wird bei sehr niedrigem Subventionsbedarf ein hoher Klimaschutzbeitrag erzielt.

Aus Sicht des Klimaschutzes gelangte der Beirat deshalb zu der Empfehlung, die bisherige Bioenergie-Politik grundlegend zu überdenken: weniger Gewicht auf die Biokraftstoffe, die ja bisher im Zentrum der Bioenergiepolitik stehen, und dafür deutlich mehr Gewicht auf schnellwachsende Hölzer, die bisher eher stiefmütterlich behandelt worden sind.

Das Kernargument, welches erfahrungsgemäß gegen solch einen Kurswechsel vorgetragen wird, lautet: Erdöl ist knapper als Kohle, und wegen der besonderen Knappheit bei Flüssigkraftstoffen sollten die Biokraftstoffe im Zentrum der Bioenergie-Politik bleiben. Bei diesem Argument geht es nicht um Klimapolitik, sondern um Versorgungssicherung – ebenfalls ein wichtiges Politikziel. Gegenwärtig leistet allerdings die landwirtschaftliche Bioenergie aus heimischer Erzeugung mit etwa einem Prozent nur einen sehr geringen Beitrag zur Versorgungssicherung (Abb. 2), und das, obwohl bereits mehr als 10 % der Agrarfläche Deutschlands hierfür eingesetzt werden. Es ist evident, dass auch eine Ausdehnung auf 30 % der Agrarfläche immer noch keinen nennenswerten Beitrag leisten würde, sofern der Bioenergie-Mix nicht geändert wird. Deshalb hat der Beirat der Politik empfohlen, ihre Prioritätensetzung zu überprüfen: Wenn letztlich nicht die Klimapolitik, sondern die Versorgungssicherung für den Transportsektor höchste Priorität hat, wäre ein Schwenk zur Bioenergie-Linie „Silomais – Biogas – Direkteinspeisung – Erdgasfahrzeuge" zu empfehlen, weil hier die größten Kraftstoffmengen je Hektar erzielt werden können. Noch sinnvoller wäre es allerdings, den Verbrauch von Heizöl zu reduzieren (u. a. durch klimapolitisch sinnvolle Produktion von Energieholz und dessen Einsatz in Heizkraftwerken, s. o.) und die dadurch eingesparten Heizölmengen dem Transportsektor als Dieselkraftstoff zuzuführen.

Reaktionen auf das Gutachten

In einigen Kritiken, die insbesondere aus der Bioenergie-Wirtschaft kamen, wurde das Beiratsgutachten in die Kategorie „Stellungnahme gegen Bioenergie" eingeordnet. Diese Einordnung ist offenkundig falsch. Zwar hat der Beirat darauf hingewiesen, dass sich die Bioenergie in der langfristigen Perspektive möglicherweise nur als eine „Brückentechnologie" auf dem Weg ins Solarzeitalter erweisen wird, da sie im Vergleich zur Solarenergie einige grundlegende Nachteile aufweist. Zugleich hat er aber deutlich gemacht, dass die Solarenergie technisch und wirtschaftlich noch einen weiten Entwicklungsweg zurückzulegen hat und deshalb in den nächsten Jahrzehnten nur einen geringen Teil der Energieversorgung übernehmen kann. Da für die absehbare Zukunft also ein weltweiter Boom der Bioenergie zu erwarten ist, hat der Beirat der deutschen Politik empfohlen, ihre Bioenergie-Politik konsequent auf die Ziele „Technologieführerschaft" und „Beitrag zum Klimaschutz" auszurichten. Für die Bioenergieerzeugung am Standort Deutschland hat er herausgearbeitet, welche Bioenergielinien sich besonders gut eignen und deshalb verstärkt gefördert werden sollten. Insgesamt handelt es sich also keineswegs um ein Gutachten gegen die Bioenergie, sondern um ein Gutachten für eine zielgerichtetere Bioenergiepolitik.

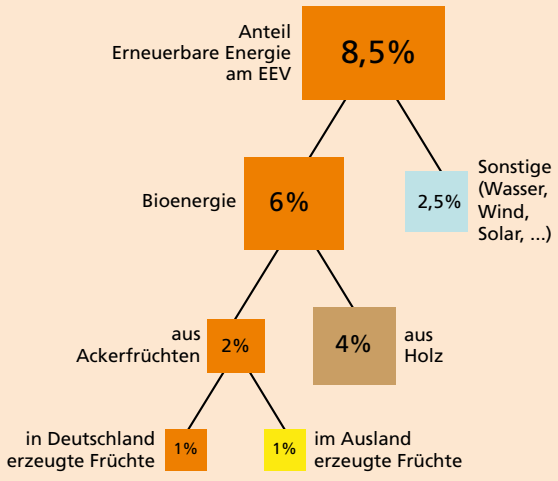
Mehrere Empfehlungen des Gutachtens sind bei der zwischenzeitlich erfolgten Weiterentwicklung der Bioenergiepolitik aufgegriffen worden, wobei der Stellenwert eines einzelnen Gutachtens angesichts der Fülle der Beiträge, die insgesamt in ein Gesetzgebungsverfahren einfließen, vermutlich gering ist. Auf der Linie des Beiratsgutachtens liegen insbesondere folgende Entwicklungen:

- Deutliche Reduzierung der äußerst ehrgeizigen Ausbauziele für Biokraftstoffe, die die Bundesregierung im Herbst 2007 formuliert hatte;
- Deutlicher Ausbau der Förderung der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK);
- Fokussierung der Förderung von Biogasanlagen auf die Verwendung von Reststoffen, insbesondere Gülle.

Einige „Baustellen" sind jedoch nach wie vor offen.

Abb. 2: Beiträge verschiedener Segmente der regenerativen Energien zur Energieversorgung Deutschlands, 2007

(Gerundete Werte, in % des End-Energieverbrauchs)



Quelle: Isermeyer, vTI Braunschweig, 2008

Baustelle Biogasförderung

Die Bundesregierung hat die Biogasförderung im Rahmen der jüngsten Novelle des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) in zahlreichen Punkten verändert. Der Vorschlag des Beirats, den Fokus auf die Gülleverwendung zu legen, wurde umgesetzt, der Vorschlag zur Abschaffung des so genannten NaWaRo-Bonus jedoch nicht. Dadurch ergab sich in der Summe eine deutliche Anhebung der Gesamtförderung.
Für eine ausgewählte 500 kW Biogasanlage wird die Wirkung dieser Politikänderung in Abbildung 3 dargestellt. Es zeigt sich, dass die Zahlungsbereitschaft für Mais durch die EEG-Novelle deutlich angestiegen ist. Der Betreiber einer Biogasanlage, der über ausreichend Gülle verfügt, kann künftig für den Mais bis zu 39 €/t (ab Feld) bezahlen, rund 50 % mehr als bei der früheren Regelung. Bei einem Ertrag von 45 t/ha Maissilage steigt somit die Zahlungsbereitschaft für die Fläche um ca. 600 €/ha.
Für Vieh haltende Betriebe kann diese Entwicklung positive und negative Wirkungen haben. Positiv kann sich auswirken, dass (a) die Gülle vom Kostenfaktor zum Wertstoff mutiert, (b) die Grundrente der eigenen Agrarflächen steigt und (c) die Investition in eine eigene Biogasanlage eine rentablere Option darstellt. Insbesondere für Rindviehhalter, die in ihrem Kerngeschäft (Viehhaltung) wachsen wollen, überwiegen jedoch die negativen Folgen, da die Nutzungskonkurrenz auf den Agrarflächen wächst und somit die Pacht- bzw. Futterkosten stark zunehmen. Die für den Güllebonus vorgeschriebene Mindestmenge von 30 % entschärft die Flächenkonkurrenz kaum; für eine 500 kW Anlage reduziert sich der Flächenbedarf durch den Einsatz von 30 % Gülle lediglich um 12 ha bzw. 5 %.
In einer geschlossenen Volkswirtschaft würde solch eine biogasbedingte Kostensteigerung der Flächennutzung, wenn sie bei vielen Landwirten auftritt, über erhöhte Produktpreise für Fleisch und Milch auf die Verbraucher überwälzt werden. Die deutsche Landwirtschaft agiert jedoch nicht in einer geschlossenen Volkswirtschaft, sondern steht in einem scharfen internationalen Wettbewerb, der einseitige nationale Preissteigerungen durch internationalen Handel zunichte macht. Deshalb besteht die Sorge, dass eine allzu hohe nationale Biogas-Förderung in Deutschland eine allmähliche Abwanderung von Teilen der deutschen Tierproduktion auslösen könnte – es sei denn, die anderen Nationen passen sich der hohen deutschen Biogas-Förderung an. Ob dies geschehen wird, muss einstweilen offen bleiben. Zweifel sind angebracht: Der staatlich festgesetzte Preis für deutschen Biogas-Strom aus güllebasierten kleineren Anlagen übersteigt den Großhandelspreis für Strom um mehr als das 4-fache; bezogen auf einen Hektar Silomais entspricht dies einem Subventionsäquivalent von weit über 2.000 €. Bisher scheinen die meisten Länder noch nicht bereit zu sein, ihren Energieverbrauchern derartige Mehrkosten zuzumuten.

Abb. 3: Wirtschaftlichkeit einer 500 kW-Biogasanlage vor und nach der EEG-Novelle (Ackerbauregion, 70 % Mais, 30 % Gülle, 30 % Wärmenutzung)

	Altes Düngerpreisniveau (0,6 €/kg N; 0,7 €/kg P_2O_5; 0,4 €/kg K_2O)		Neues Düngerpreisniveau (0,8 €/kg N; 0,9 €/kg P_2O_5; 0,9 €/kg K_2O)[4]	
	EEG 2004	EEG 2009	EEG 2004	EEG 2009
Erlöse	697.000 €	837.000 €	723.000 €	863.000 €
Gewinn[1]	- 52.000 €	88.000 €	- 26.000 €	114.000 €
ZB Mais[2]	23 €	36 €	26 €	39 €
ZB Gülle[3]	- 12 €	21 €	- 6 €	27 €

[1] Bei 24 €/t Mais ab Halm (32 €/t im Silo) u. Gülle kostenfrei; [2] Zahlungsbereitschaft (ZB) frei Feld bei kostenfreier Gülle; [3] Zahlungsbereitschaft (ZB) frei Anlage bei 24 €/t Mais ab Halm (32 €/t im Silo); [4] Annahme zum Düngewert: 50 % N-Ausnutzung

Quelle: de Witte, vTI Braunschweig, 2008

M. Welling

Bei Biogasanlagen sollte besonders die Verwendung von Gülle oder anderen Reststoffen gefördert werden.

Baustelle Importzertifizierung

Die europäischen Regierungen halten am Ziel fest, die Beimischung von Biokraftstoffen EU-weit durchzusetzen und die Beimischungsziele im Zeitablauf zu erhöhen. Da die biogenen Flüssigkraftstoffe ebenso wie die zu ihrer Herstellung benötigten Agrarrohstoffe zumeist gut transportabel sind, greifen die Mineralölkonzerne zur Deckung der politisch festgelegten Beimischungsziele in großem Umfang auf kostengünstige Importe zurück. Damit wird seitens der EU-Kommission ausdrücklich gerechnet. Die Politik hätte aufgrund der WTO-Bestimmungen auch gar keine Handhabe, diese wirtschaftliche Anpassung generell zu unterbinden.
Mit Sorge musste die Politik dann aber im vergangenen Jahr zur Kenntnis nehmen, dass immer mehr Berichte über Abholzungen des Regenwaldes die Runde machen, in denen ein kausaler Zusammenhang mit dem zunehmenden Flächenbedarf infolge der Bioenergie-Expansion hergestellt wurde. Unstrittig ist: In jenen Fällen, in denen der vermehrte Einsatz von Biokraftstoffen tatsächlich zu Waldrodungen in Übersee führt, ist der Bioenergieeinsatz klimaschädlich. Strittig ist jedoch, wie eng der Zusammenhang zwischen Bioenergie-Expansion und Urwaldrodungen tatsächlich ist. Hier liegt derzeit eine wichtige Aufgabe für die agrarökonomische Forschung.
In Reaktion auf die anhaltende Kritik hat sich die Politik daran gemacht, ein Zertifizierungssystem zu etablieren, das eine positive Treibhausgas-Bilanz der verwendeten Biokraftstoffe gewährleisten soll. Inzwischen liegt der Entwurf einer EU-Richtlinie vor, der diesbezüglich zwei Stoßrichtungen enthält: Zum einen sollen Biokraft-

stoffe, bei deren Erzeugung viele Treibhausgas-Emissionen anfallen, allmählich eliminiert werden. Zum anderen sollen Biokraftstoffe, deren Agrarrohstoffe von sensiblen Anbauflächen stammen, nicht auf die Beimischungsziele angerechnet werden.

Wenn für die Produktion von Biokraftstoffen Tropenwald gerodet wird, führt dies zu einer negativen Klimabilanz.

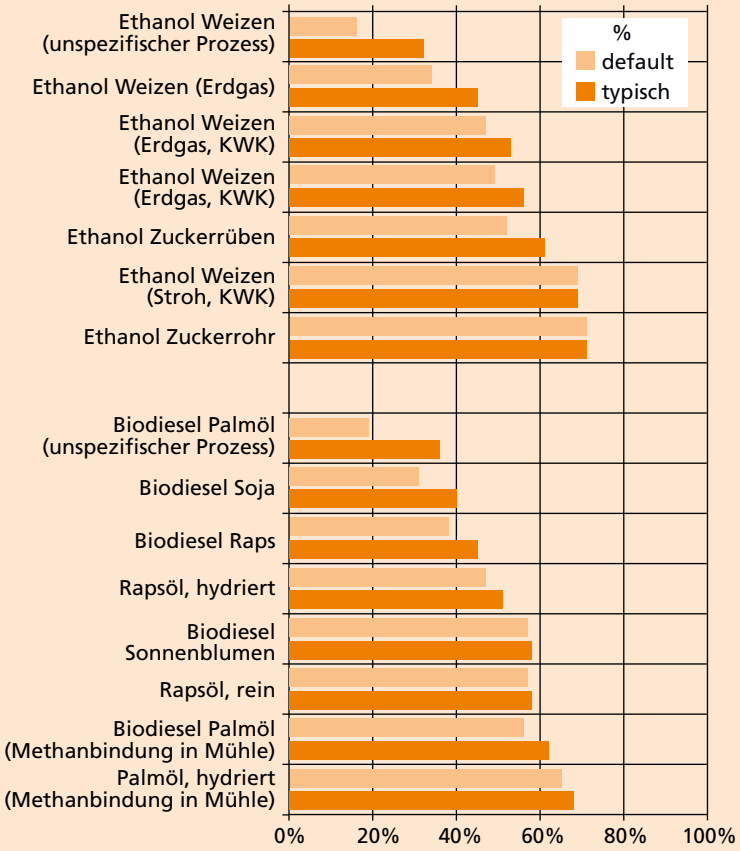
Die Abbildung 4 zeigt, dass verschiedene Biokraftstoffe – je nach Rohstoffbasis und Konversionsprozess – in sehr unterschiedlichem Maße für den Klimaschutz geeignet sind. Besonders günstig schneiden einige der Import-Kraftstoffe ab, die auf Basis von Zuckerrohr und Palmöl hergestellt werden. Die EU-Richtlinie sieht vor, die Mindestanforderungen für die Reduktion von CO_2-Emissionen durch Biokraftstoffe zunächst auf 35 % festzulegen und für die Zeit ab 2017 auf 50 bzw. 60 % anzuheben. Für Mineralölfirmen, die den relativ ungünstigen „voreingestellten" Standardwerten entgehen wollen, wird die naheliegende Anpassung darin bestehen, ihre Zulieferketten für das Bioenergiesegment komplett zertifizieren zu lassen. Dadurch können sie zugleich sicherstellen, dass die Rohstoffe nicht von sensiblen Flächen stammen.

Die Bundesregierung verfolgt mit der geplanten Reform des Biokraftstoffquotengesetzes einen Ansatz, der sich in einem wichtigen Punkt von der geplanten EU-Richtlinie abhebt: Der Gesetzentwurf sieht vor, dass die mengenmäßige Beimischungsverpflichtung um so niedriger liegt, je günstiger die Treibhausgas-Bilanz der eingesetzten Biokraftstoffe ausfällt. Damit werden größere Anreize zur Verwendung der klimapolitisch günstigsten Biokraftstoffe gegeben. Ein Nachteil könnte darin bestehen, dass der Aufwand für die Zertifizierung noch weiter steigt, da im Prinzip jeder Prozentpunkt Treibhausgas-Emissionsminderung in jeder einzelnen Biokraftstoff-Charge einen geldwerten Vorteil bedeutet und dementsprechend überprüft werden müsste. Die Gefahr, dass sich das globale Zertifizierungssystem zu einem bürokratischen Ungetüm entwickelt, ist nicht von der Hand zu weisen.

Das Kernproblem der Importzertifizierung liegt jedoch ganz woanders, nämlich bei der Kontrollierbarkeit der durch die Bioenergie-Expansion verursachten indirekten Landnutzungsänderungen. Mit der Zertifizierung wird ja nur sichergestellt, dass die in Europa verbrauchte Import-Bioenergie von Flächen stammt, die schon seit langem mit Ölpalmen, Zuckerrohr etc. bebaut sind und insofern in der jüngeren Vergangenheit keinen klimawirksamen Landnutzungsänderungen unterzogen wurden. Die durch unsere Bioenergie-Expansion ausgelösten Knappheiten führen jedoch zu Preissteigerungen auf den Weltagrarmärkten, die überall in der Welt – also auch an Orten, die von der Zertifizierung überhaupt nicht erreicht werden – eine klimaschädliche Umwandlung von Grünland- oder Waldflächen zugunsten der Ackernutzung auslösen können. Dieses Problem ließe sich nur durch eine erdumspannende Zertifizierung der gesamten Weltagrarwirtschaft (Nahrungsmittel, Futtermittel, nachwachsende Rohstoffe) lösen. Solch ein erdumspannendes System ist zwar grundsätzlich denkbar, doch würde es praktisch – wenn überhaupt – wohl erst nach Jahrzehnten wirksam funktionieren.

Fazit: Solange noch kein wirksames Mittel gegen Urwaldrodung und Grünlandumbruch existiert, sollten die Expansionsziele für die Bioenergie mit Augenmaß festgesetzt und international abgestimmt werden. ■

Abb. 4: Treibhausgas-Einsparung ausgewählter Biokraftstoffe: Voreingestellte („default") Werte und typische Werte



THG-Einsparungen in Prozent der THG-Emissionen der substituierten fossilen Kraftstoffe (z. B. Benzin, Diesel). Alle Werte gelten für das Szenario „keine zusätzlichen $CO_{2äq}$-Emissionen durch Landnutzungswandel".

Quelle: EU-Richtlinie zur Förderung der Nutzung von Energien aus erneuerbaren Quellen 2009, 26.03.2009

Prof. Dr. Folkhard Isermeyer,
Johann Heinrich von Thünen-Institut,
Institut für Betriebswirtschaft,
Bundesallee 50, 38116 Braunschweig.
E-Mail: folkhard.isermeyer@vti.bund.de

WaxyGerste – stark als Stärke lieferant

Neue Chancen für eine alte Getreideart

Gisela Jansen und Frank Ordon (Quedlinburg)

Gerste wird bislang vorwiegend im Futter- und Nahrungsmittelsektor verwendet – Wintergerste in erster Linie als hochwertiges Tierfutter und Sommergerste hauptsächlich zur Herstellung von Braumalz. Mit einer waxyWintergerste steht nun erstmals in Deutschland eine Gerstensorte mit besonderen Stärkeeigenschaften zur Verfügung, die viel versprechende Perspektiven für technische Nutzungen aufweist. Damit bieten sich neue Ansätze für die stoffliche Verwertung von Gerste als nachwachsender Rohstoff.

Gerste ist die älteste bekannte Getreideart, deren Nachweis bis auf 10.500 v. Chr. zurückgeht. Heute ist sie europa- und weltweit eine der bedeutendsten Kulturarten. Mit fast 2 Mio. ha ist sie nach Weizen das am häufigsten angebaute Körnergetreide in Deutschland.
In der Landwirtschaft wird die relativ kurze Vegetationszeit von Gerste geschätzt, wodurch sie eine ideale Vorfrucht ist. Darüber hinaus stellt sie im Vergleich zu Weizen nicht so hohe Ansprüche an den Boden, so dass sie in ganz Europa problemlos angebaut werden kann.

Was ist waxyGerste?

Die Hauptkomponente im Gerstenkorn ist – wie bei anderen Getreidearten auch – Stärke. Dieses aus vielen Glucose-Einheiten zusammengesetzte Makromolekül besteht im Wesentlichen aus den beiden Komponenten Amylose (lineare, schraubig gewundene Ketten aus Glucose-Bausteinen) und Amylopektin (stark verzweigte Ketten) (Abb. 1). Übliche Getreidesorten enthalten rund 25 % Amylose und 75 % Amylopektin.
Durch eine natürliche spontane Mutation in einem Gen, das für die Bildung von Amylose verantwortlich ist, hat sich in der waxyGerste dieses Verhältnis so verändert, dass der Amyloseanteil nur noch bei etwa 5 % und der Amylopektingehalt dementsprechend bei rund 95 % liegt. Die Bezeichnung „waxy" stammt ursprünglich vom durchsichtigen, wachsähnlichen Aussehen des Endosperms.
Mit der Zulassung einer waxyGerstensorte im Jahr 2008 steht erstmalig in der EU eine konventionell gezüchtete Wintergerste zur Verfügung, deren Stärke fast ausschließlich aus Amylopektin besteht. Dies ist von besonderem Interesse, da bei vielen industriellen Anwendungen das stark verzweigte Amylopektin benötigt wird. Eine technische Trennung in die Einzelkomponenten ist bei üblichen Stärken schwierig und nur mit großem Energieaufwand und hoher Abwasserbelastung möglich. Somit stellt dieses auf natürlichem Wege in der Pflanze erzeugte fast reine Amylopektin ein hervorragendes Ausgangsmaterial für eine Vielzahl von Produkten dar.

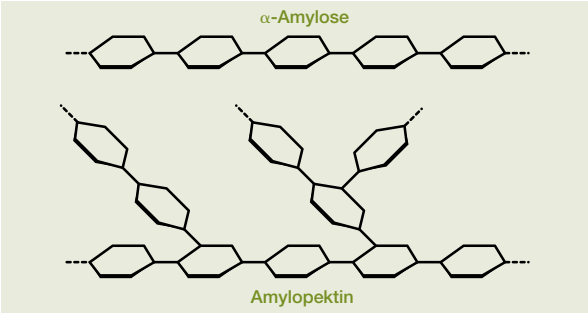
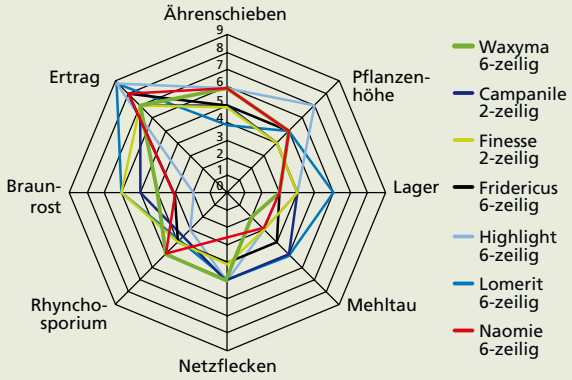


Abb. 1: Stärke besteht aus unverzweigten Amylose- und verzweigten Amylopektin-Ketten

Vorteile der waxyGerste

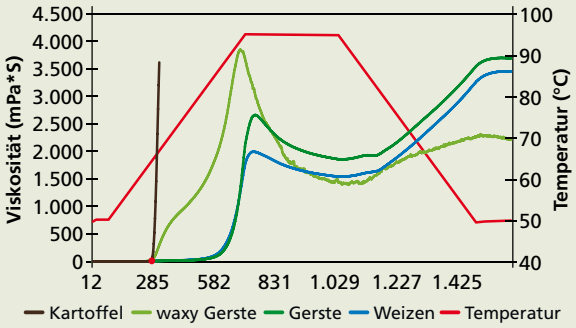
Die waxyGerstensorte `Waxyma` verfügt über einen hohen Kornertrag, der vergleichbar mit herkömmlichen Wintergersten ist. Sie ist

Abb. 2: Sortenleistung von `Waxyma` im Vergleich



Quelle: DIECKMANN seeds

Abb. 3: Verkleisterungsverhalten von ‚Waxyma' im Vergleich



Quelle: JKI

standfest und weist gute bis sehr gute Resistenzen gegen verbreitete Gerstenkrankheiten auf (Abb. 2).

Die Veränderungen in den Hauptkomponenten der Stärke führen zu neuen physikalischen und chemischen Eigenschaften, so dass ein gesteigertes wissenschaftliches und wirtschaftliches Interesse an diesem „wachsigen" Getreide besteht. Eine wesentliche physikalische Eigenschaft der Stärke ist ihr Vermögen, beim Erhitzen mit Wasser einen Kleister zu bilden. Daraus ergeben sich diverse Möglichkeiten für einen industriellen Einsatz als Klebstoff oder Bindemittel, aber auch vielfältige Anwendungen als Dickungsmittel in der Lebensmittelindustrie. Die Eigenschaften von Stärkekleistern werden zum einen durch das Verhältnis von Amylose zu Amylopektin und zum anderen durch das unterschiedliche Molekulargewicht der beiden Fraktionen bestimmt. Die isolierte Stärke der waxyGerste weist eine wesentlich höhere Kleisterviskosität auf als Stärken aus herkömmlichen Getreidearten. Der Anstieg der Viskosität beginnt bereits bei deutlich niedrigeren Temperaturen (Abb. 3). Weiterhin neigen diese Stärkekleister durch das Fehlen von Amylose weniger zur Retrogradation, das heißt sie gehen nicht in eine kristalline Form über und binden somit das Wasser dauerhaft.

Der hohe Anteil an ß-Glucanen und das hohe Wasserbindevermögen des waxyGerstenmehls eröffnen dieser speziellen Gerste auch Anwendungsmöglichkeiten in der Lebensmittelindustrie. ß-Glucane zählen zu den ernährungsphysiologisch besonders wertvollen Ballaststoffen. Ihre weitreichenden gesundheitsfördernden Eigenschaften sind durch umfassende medizinische Studien belegt. WaxyGerste enthält bis zu 50 % mehr ß-Glucane als sonstige Wintergersten. Durch die niedrige Retrogradationsneigung, den aromatisch fruchtigen Geschmack der waxyGerste und der helleren Farbe des entspelzten Korns, des Mehls und der Graupen ist eine vielfältige Verwendung als Rohstoff für helle, ballaststoffreiche Lebensmittel denkbar (Abb. 4).

JKI

ıtspelzte waxyGerstenkörner

Der Weg zur innovativen Nutzung

Das technische Potenzial für die Anwendung von Stärke und Stärkeprodukten ist keineswegs erschöpft und kann durch eine Gerste mit neuartigem Inhaltsstoffprofil wesentlich erweitert werden. Aus diesem Grund werden in einem dreijährigen Entwicklungs- und Forschungsverbund von sechs Partnern aus Wissenschaft und Wirtschaft stoffliche Anwendungen für waxyGerste erschlossen. „Innovative Gerstensorten als nachwachsender Rohstoff", so lautet der Titel des Forschungsprojektes, das vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) gefördert wird.

Die enge Zusammenarbeit von wissenschaftlichen Instituten, privater Pflanzenzüchtung und verarbeitender Industrie strebt den Aufbau einer kompletten Wertschöpfungskette für waxyGerste an. Beteiligt an dem Forschungsverbund sind die GEA Westfalia Separator Process GmbH, die Jäckering Mühlen- und Nährmittelwerke, das Deutsche Institut für Lebensmitteltechnik (DIL), das Institut für Lebensmittel- und Umweltforschung (ILU) und das Institut für Resistenzforschung und Stresstoleranz des Julius Kühn-Institutes (JKI)

JKI

Abb. 5: Trockenstressversuch mit waxyGersten unter dem Shelter

Jäckering Mühlen- und Nährmittelwerke GmbH

Abb. 6: Feinstvermahlung im Ultrarotor

Institut für Lebensmittel- und Umweltforschung e.V.

Abb. 8: Erosionsschutz- und Begrünungsmaterial ROFA®

sowie als assoziierte Projektpartner Kampfmeyer Food Innovation GmbH und Solvay GmbH. Die Projektkoordination liegt bei dem Züchterhaus DIECKMANN Seeds.

Im Verbund werden optimierte Eigenschaftsprofile für waxyGerste als nachwachsender Rohstoff erarbeitet. Zur Bestimmung wichtiger Qualitätsparameter an ganzen Körnern sollen Schnellmethoden entwickelt werden und diese wiederum in die Züchtung neuer Gerstensorten mit speziellen Inhaltsstoffprofilen einfließen. Gleichzeitig wird die Qualitätsstabilität von waxyGerste in Anbauversuchen (verschiedene Standorte, Düngungs- und Fungizidbehandlungen) und in Stressversuchen (Temperatur- und Trockenstress, Abb. 5) geprüft.

Für waxyGerste soll eine Vermahlungstechnologie entwickelt werden, die den direkten Einsatz eines „maßgeschneiderten" Mehls in der Industrie (Abb. 6), unter anderem in der Papierindustrie, ermöglicht. Gleichzeitig wird nach einem Mahlverfahren gesucht, das ein geeignetes Mehl für die Stärkeproduktion liefert, wobei auf nasstechnischem Wege eine Trennung in Stärke, Proteine, Fasern und lösliche Komponenten erfolgt. Der Rohstoff sowie die hergestellten Mehle und Stärken werden auf ihre funktionalen Eigenschaften untersucht und somit die potenziellen Einsatzfelder der waxyGerste ermittelt. Um die Eignung als Biowerkstoff zu überprüfen werden Werkstoffmuster hergestellt und diese für eine spezifische Anwendung analysiert. Im Blick ist dabei die Herstellung von Bindemitteln (Lehmbau, Pappenindustrie), Porosionsmitteln (Schleifmittel), Dämmstoffen (Baustoffe, Abb. 7), Erosionsschutz/Begrünungsmaterial (Landschafts- und Gartenbau, Abb. 8), Derivatisierung (Bau-Chemie).

Institut für Lebensmittel- und Umweltforschung e.V.

Abb. 7: Schüttdämmstoff Ceralith® als Wärmedämmstoff und Ausgleichsschüttung

Chancen für Landwirtschaft und Verbraucher

WaxyWintergerste ist als preiswertes und in ganz Europa problemlos anzubauendes Getreide ein interessanter Rohstoff für neue technische Anwendungen.

Bislang wird Gerste in Deutschland kaum als Stärkepflanze oder als nachwachsender Rohstoff in der stofflichen Verwertung genutzt. Mit der neuen waxyGerste sind jedoch sehr gute Voraussetzungen für eine ökonomisch und ökologisch vorteilhafte Anwendung als heimischer Rohstoff vorhanden. Zusätzlich wäre eine erhöhte Wertschöpfung über den Vertragsanbau für die Landwirtschaft gegeben. ■

Dipl.-Chem. Gisela Jansen, Dir. u. Prof. PD Dr. Frank Ordon, Julius Kühn-Institut, Institut für Resistenzforschung und Stresstoleranz, Erwin-Baur-Str. 27, 06484 Quedlinburg.
E-Mail: frank.ordon@jki.bund.de

» Danksagung:

Wir bedanken uns für die Bereitstellung von Fördermitteln im Projekt „Innovative Gerstensorten als Nachwachsender Rohstoff" (08NR193) durch das BMELV über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe.

Beteiligte Einrichtungen	Ansprechpartner
DIECKMANN Seeds, DIECKMANN GmbH & Co. KG	Karin Dieckmann
Jäckering Mühlen- und Nährmittelwerke GmbH	Thomas Roick
GEA Westfalia Separator Process GmbH	Willi Witt
JKI, Institut für Resistenzforschung und Stresstoleranz	Gisela Jansen
Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik e.V.	Ute Bindrich
Institut für Lebensmittel- und Umweltforschung e.V.	Uwe Lehrack

Pflanzen als Bio-Fabriken

Rüben werden zum Pharmawirkstoff-Produzenten

Monika Schreiner, Angelika Krumbein (Großbeeren) und Iryna Smetanska, Dietrich Knorr (Berlin)

Immer mehr neue Medikamente und funktionelle Lebensmittel sind heutzutage so genannte Bio-Pharmaceuticals und Bio-Nutraceuticals, die in biologischen Systemen hergestellt werden. Die Nachfrage nach entsprechenden Wirkstoffen steigt stetig an. Daher hat das Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau Großbeeren/Erfurt e.V (IGZ) in Zusammenarbeit mit der Technischen Universität Berlin ein Biomanufacturing-Verfahren zur Gewinnung solcher Wirkstoffe entwickelt – und rechnet sich große Chancen für den Markt der Zukunft aus.

Dabei konzentrieren sich die Forschungsarbeiten auf die sekundären Pflanzenstoffe. Mehr als 30.000 Substanzen sind bisher bekannt. Zwar dienen sie nicht unmittelbar dem Wachstum der Pflanze. Sie können aber dennoch wichtige Funktionen besitzen. Beispielsweise dienen sekundäre Pflanzenstoffe als effektive chemische Abwehrstoffe gegen Schadinsekten und Pathogene. Andere Sekundärmetabolite locken als Farb- und Aromastoffe pollenverbreitende Insekten an. Lange Zeit wurden sekundäre Pflanzenstoffe als unbedeutend für die Ernährung abgetan. Schlagartig erhöhte sich jedoch das Interesse an diesen pflanzlichen Substanzen, als Anfang der 90er Jahre mehr über ihr gesundheitsförderndes Potenzial beim Menschen bekannt wurde. Das Spektrum der ihnen zugeschriebenen Wirkungen ist beachtlich: Es reicht von der Stimulierung des Immunsystems bis zur Senkung des Krebsrisikos.

Glucosinolate im Blickpunkt

Im Mittelpunkt der Untersuchungen stehen die Glucosinolate, typische Sekundärmetabolite der Kreuzblütlerartigen *(Brassicales)*, zu der alle Brassica-Gemüsearten wie Brokkoli, Rosenkohl, Rucola, Radies und Rüben gehören, aber auch Kräuter wie Wasser- und Kapuzinerkresse und Obst wie beispielsweise Papaya. Basierend auf der chemischen Struktur ihrer Seitenketten werden die Glucosinolate in verschiedene Klassen wie aliphatische Glucosinolate, aromatische

Glucosinolate und Indolglucosinolate eingeteilt. Derzeit sind etwa 120 Glucosinolate bekannt, doch nur bei einigen Glucosinolaten bzw. bei deren Hydrolyseprodukten konnten funktionelle Effekte nachgewiesen werden. Diese Abbauprodukte entstehen bei der Zerstörung der Gewebestruktur – also zum Beispiel beim Zerkauen. Nachweislich antikanzerogen wirksam sind die Abbauprodukte der aliphatischen Glucosinolate Glucoraphanin und Sinigrin und der beiden aromatischen Glucosinolate Glucotropaeolin und Gluconasturtiin. Auch die Indolglucosinolate sollen hier genannt werden, auch wenn die antikanzerogene Wirkung ihrer Hydrolyseprodukte teils kontrovers diskutiert wird.

Biomanufactoring mit Signalmolekül-Applikation

Um pflanzliche Inhaltsstoffe zu gewinnen, wird die Pflanze üblicherweise geerntet, das Pflanzenmaterial zerkleinert sowie mechanisch und enzymatisch aufgeschlossen – ein zeit- und materialaufwändiges Verfahren. Ziel der Untersuchungen war daher die Entwicklung eines Biomanufacturing-Verfahrens, mit dem sich Glucosinolate aus Wurzelexsudaten (= Ausscheidungen der Wurzel) isolieren lassen. Die Pflanzenwurzeln dienen nicht nur der Nährstoffaufnahme, sie sind auch in der Lage, eine Vielzahl von Verbindungen inklusive verschiedener sekundärer Pflanzenstoffe in die Wurzelumgebung auszuscheiden. Ist die Exsudatkonzentration hoch, können Glucosinolate über weniger aufwändige Reinigungs- und Konzentrationsstufen gewonnen werden als bei der Extraktion aus der Pflanzengewebe. Die Verwendung von Wurzeln lebender Pflanzen zur Gewinnung der Glucosinolate besitzt zudem den Vorteil, dass die kultivierten Pflanzen kontinuierlich und nicht nur einmalig verwendet werden können.

Für die Versuche wurden Teltower Rüben *(Brassica rapa L. ssp. rapa f. teltowiensis)* ausgewählt, da diese Brassica-Art innerhalb von nur 30 Tagen ein sehr großes Wurzelsystem ausbildet (Abb. 1). Damit ist eine Grundvoraussetzung für eine hohe Exsudat- und damit Glucosinolatproduktion gegeben. Darüber hinaus weist diese Speiserübe relativ hohe Konzentrationen an dem funktionell wirksamen Gluconasturtiin auf. Die Pflanzen wurden im sogenannten aeroponischen System angezogen (Abb. 2). Dabei werden die Wurzeln ständig über angefeuchtete Luft mit Nährstoffen versorgt. Die Nährstofflösung wird als feuchter Staub in kurzen Intervallen, für gewöhnlich Intervalle von wenigen Minuten, aufgesprüht.

Abb. 1: Wurzelentwicklung von Brassica rapa im aeroponischen System innerhalb von 30 Tagen

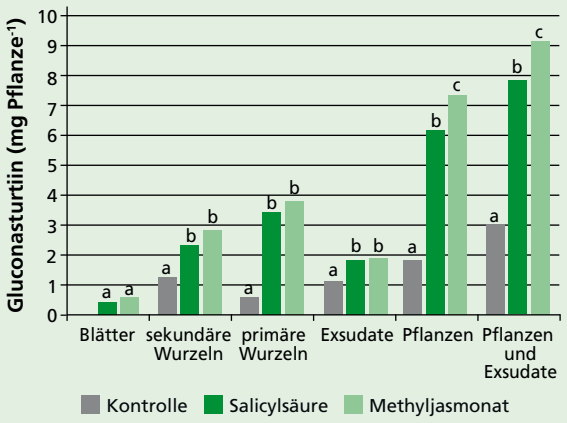
Abb. 2: Wurzelentwicklung von Rübenpflanzen (Brassica rapa) im aeroponischen System

Um die Glucosinolatgehalte im Wurzelexsudat zu erhöhen, wurden die Pflanzen im 2-Blatt-Stadium mit Salicylsäure oder Methyljasmonat behandelt. Diese Signalmoleküle werden normalerweise von den Pflanzenzellen bei Pathogenbefall oder mechanischer Verletzung gebildet und lösen Signalkaskaden aus, an deren Ende die Induktion verschiedener Verteidigungsantworten steht, wie Zellwandverstärkungen, Bildung von PR(pathogenesis-related)-Proteinen, aber auch die Synthese von sekundären Pflanzenstoffen wie Glucosinolate. Auch die künstliche Anwendung von Salicylsäure und Methyljasmonat kann die Glucosinolat-Biosynthese in den Pflanzen anregen.

Gluconasturtiin-Anreicherung im pflanzlichen System

Die Versuche ergaben, dass sowohl Salicylsäure als auch Methyljasmonat die Gehalte an Gluconasturtiin erhöhen, und zwar in allen Pflanzenorganen und auch im Wurzelexsudat. Die Kontrollpflanzen wiesen einen Gesamtglucosinolatgehalt von 3,0 mg pro Pflanze auf, wobei alle Pflanzenorgane als auch das Exsudat erfasst wurden. Dieser stieg auf 7,8 mg pro Pflanze nach einer Salicylsäure-Behandlung und sogar auf 9,1 mg pro Pflanze nach einer Methyljasmonat-Behandlung an (Abb. 3).

Abb. 3: Gluconasturtiin-Gehalt in den Organen und dem Exsudat von Rübenpflanzen *(Brassica rapa)* nach 30 Tagen Kultivierung

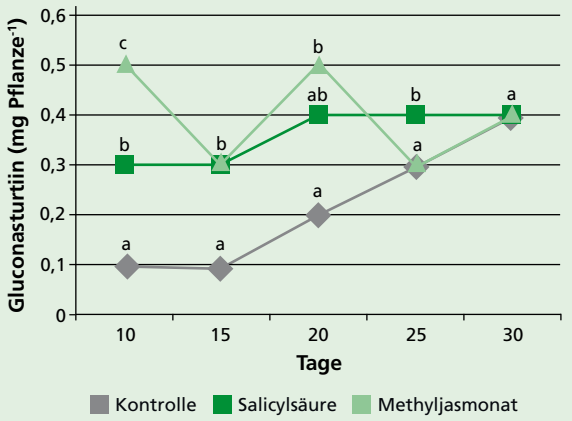


Dieser Anstieg war insbesondere in den primären und sekundären Wurzeln der Pflanzen beachtlich (Abb. 3). Das ist entscheidend, denn hier werden überwiegend die Glucosinolate synthetisiert, die dann von der Wurzel ausgeschieden werden und somit entscheidend die Glucosinolatkonzentration im Exsudat bestimmen.

In den Exsudaten der Kontrollbehandlung betrug der Gluconasturtiingehalt 1,1 mg pro Pflanze und stieg auf 1,8 bzw. 1,9 mg pro Pflanze nach der Applikation mit Salicylsäure bzw. Methyljasmonat. Dies bedeutet einen 60 bzw. 70 %igen Anstieg im Vergleich zur Kontrolle.

Während Glucunasturtiin vor einer Applikation der Signalmoleküle nur in den Wurzeln nachweisbar war, trat es nach der Verabreichung

Abb. 3: Gluconasturtiin-Gehalt im Wurzelexsudat während der Kultivierung (30 Tage)



auch in den Blättern auf. Dieser interessante Effekt deutet darauf hin, dass die induzierte Abwehreaktion als systemische Antwort das gesamte Pflanzensystem betrifft und alle Pflanzenorgane einschließt.

Aus Pflanzen gewonnene Pharmaceuticals und Nutraceuticals

Das am IGZ entwickelte Biomanufacturing-System, bei dem Rübenpflanzen als lebende Glucosinolatproduzenten genutzt werden, liefert Wurzelexsudate, hochangereichert mit antikanzerogen wirksamen Gluconasturtiin, die als Ausgangsbasis für pflanzliche Pharmaceuticals oder Nutraceuticals Verwendung finden können. Durch die Applikation von Salicylsäure und Methyljasmonat konnten die Gehalte an Gluconasturtiin im Wurzelexsudat annähernd verdoppelt werden.

Das Biomanufacturing-System zur Gewinnung von Glucosinolaten aus den Wurzeln nach vorhergehender Signalmolekül-Applikation ist mittlerweile patentiert worden (PCT/EP2007/000788). Als nächstes soll nun in einem vom Bundesministerium für Bildung und Forschung finanzierten Projekt ein Bio-Pharmaceutical oder Bio-Nutraceutical mit pflanzenbasierten Glucosinolaten entwickelt werden. Dieser Schritt erfolgt in Zusammenarbeit mit der Technischen Universität Berlin, dem Deutschen Institut für Ernährungsforschung und der Charité. Dabei sollen spezifische Glucosinolate im Hinblick auf ihre potenzielle Funktion in der Prävention von Darmkrebs charakterisiert werden. ■

Prof. Dr. Monika Schreiner, Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau Großbeeren/Erfurt e.V., Theodor-Echtermeyer-Weg 1, 14979 Großbeeren.
E-Mail: schreiner@igzev.de

Prof. Dr. Iryna Smentanska, Technische Universität Berlin, Institut für Lebensmitteltechnologie und Lebensmittelchemie, Königin-Luise-Str. 22, 14195 Berlin.

Goldene Zeiten für Zucker

Goldkatalysatoren veredeln Zucker zu Industrie-Produkten

Elena Grünewald, Ulf Prüße und Klaus-Dieter Vorlop (Braunschweig)

Der Forschung gelingt es immer wieder, altbekannte Gegebenheiten aus einer ungewohnten Perspektive zu betrachten und dabei völlig neue, vorher unbekannte Eigenschaften des Gewohnten und Alltäglichen zu entdecken. So zeigte auch das Edelmetall Gold seine überraschende Seite. Am Institut für Agrartechnologie und Biosystemtechnik des Johann Heinrich von Thünen-Instituts (vTI) wurde in den letzten Jahren die Katalyse mit Gold zur Konversion (Umwandlung) von nachwachsenden Rohstoffen intensiv untersucht. Es ergaben sich hervorragende Resultate, die nicht nur von akademischem Interesse, sondern auch von hohem praktischem Wert sind.

Gold, wie jeder es kennt

Gold zählt seit jeher zu den von Menschen am meisten geschätzten Metallen. Es zeichnet sich durch auffällige Farbe, Glanz und hohe Korrosionsbeständigkeit aus. Dabei lässt es sich dank seiner leichten Formbarkeit gut verarbeiten. Diese Eigenschaften sind für die traditionelle Verwendung von Gold bei der Schmuckherstellung, als Münzmetall und als Bestandteil von Legierungen ausschlaggebend. Metallisches Gold ist äußerst unreaktiv und hatte deshalb bis vor kurzem, im Gegensatz zu Edelmetallen wie Platin oder Palladium, keine Bedeutung in der Katalyse.

Klein, aber oho

Reines massives Gold hat eine gelbe Farbe („goldgelb"). Bereits im 17. Jahrhundert war aber bekannt, dass das fein verteilte Gold (sog. Goldkolloide) in Abhängigkeit von der durchschnittlichen Größe und Form der Goldpartikel als rot, blau oder violett erscheinen kann. Dies fand auch praktische Anwendungen, zum Beispiel wurde das Pigment Goldpurpur bei der Herstellung von Goldrubinglas und Emaille eingesetzt.

Erst viel später fanden die Wissenschaftler heraus, dass sich auch weitere physikalische und chemische Eigenschaften von Gold drastisch ändern, wenn die Goldpartikel extrem klein werden. Bei einer Verkleinerung der Goldteilchen kommt es beispielsweise zu einem starken Absinken des Schmelzpunktes und zu einem allmählichen Verlust der für Metalle typischen Eigenschaften wie zum Beispiel elektrischer Leitfähigkeit. Außerdem können die winzigen Goldpartikel mit anderen Molekülen verstärkt in Wechselwirkung treten, was Voraussetzung für die katalytische Aktivität ist. In den späten 1980er Jahren wurde zum ersten Mal eine hohe katalytische Wirkung von Gold beobachtet. Seitdem ist die Katalyse mit Gold Gegenstand intensiver Forschung.

Abb. 1: Trägermaterial (links) und Goldkatalysator (rechts)

Grundsätzlich sollte ein Katalysator für industrielle Anwendungen nicht nur die Fähigkeit haben, eine bestimmte chemische Reaktion extrem zu beschleunigen (also aktiv zu sein) und die Bildung eines einzigen gewünschten Produktes zu fördern (selektiv zu sein), sondern er muss auch eine hohe Lebensdauer aufweisen und sich leicht von dem Reaktionsmedium abtrennen lassen. Bei den Goldkatalysatoren im Besonderen kommt die Forderung nach winzigen Partikeln noch hinzu. Am vTI wurde ein neues Verfahren entwickelt, um einfach und kostengünstig Katalysatoren mit solchen Goldpartikeln herzustellen. Es handelt sich dabei um so genannte Trägerkatalysatoren. Bei dieser Art von Katalysatoren wird die aktive Komponente (Gold) in Form von kleinen Partikeln auf einem unreaktiven, mechanisch stabilen Material (Träger) fest fixiert (Abb. 1 und 2).
Abbildung 1 zeigt links das Trägermaterial (in diesem Fall Aluminiumoxid-Pulver) und rechts daneben einen fertigen Goldkatalysator. Der Katalysator ist im Gegensatz zu dem Träger fliederfarben. Diese Färbung lässt bereits beim bloßen Hinsehen auf die Größe der vorliegenden Goldteilchen schließen. Abbildung 2 zeigt eine Aufnahme des Katalysators nach Vergrößerung im Elektronenmikroskop: Sichtbar sind winzige, fest auf dem Träger fixierte Goldpartikel, die dem Katalysator seine Farbe verleihen.

Abb. 2: Elektronenmikroskopische Aufnahme eines Goldkatalysators (Gold auf Aluminiumoxid). Die Goldpartikel sind mit Pfeilen markiert.

Perfekte Lösung für eine alte Aufgabe

Schon seit langem befasst sich die Forschung mit der chemisch-katalytischen Oxidation von Zuckern zu den entsprechenden „Zuckersäuren". Diese Art von organischen Säuren stellt eine wertvolle Stoffklasse dar, die zahlreiche direkte Anwendungsmöglichkeiten bietet und auch für die Synthese weiterer Produkte von Interesse ist. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurden erste systematische Untersuchungen zur Zuckeroxidation mit Luftsauerstoff an Platin-Katalysatoren durchgeführt. Auch später war dieses Thema Gegenstand intensiver Forschungsarbeiten, jedoch gelang es sehr lange nicht, hinreichend gute Ergebnisse zu erzielen. Die Hauptschwierigkeiten waren unzureichende Geschwindigkeit der katalysierten Reaktion, das Auftreten unerwünschter Nebenprodukte und kurze Lebensdauer der verwendeten Edelmetallkatalysatoren. Der Weg zur Lösung dieser Probleme eröffnete sich erst in den letzten Jahren, als Goldkatalysatoren zur Konversion von Kohlenhydraten eingesetzt wurden. Schlüssel zum Erfolg war die Entwicklung eines neuen Herstellungsverfahrens für Goldkatalysatoren am Institut für Agrartechnologie und Biosystemtechnik des vTI. Jetzt war es möglich, verschiedenste Zucker (Mono-, Di- und Oligosaccharide, z. B. Glucose, Galactose, Xylose, Lactose, Maltose), die zur Klasse der Aldosen gehören, mit Sauerstoff an Goldkatalysatoren zu entsprechenden Aldonsäuren zu

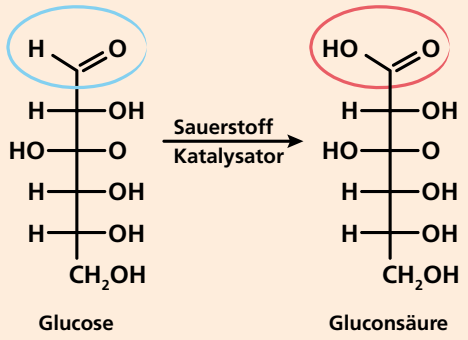
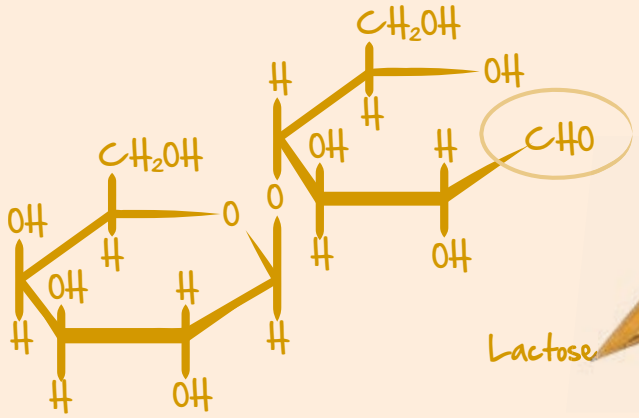


Abb. 3: Zuckeroxidation am Beispiel der Umsetzung von Glucose zu Gluconsäure



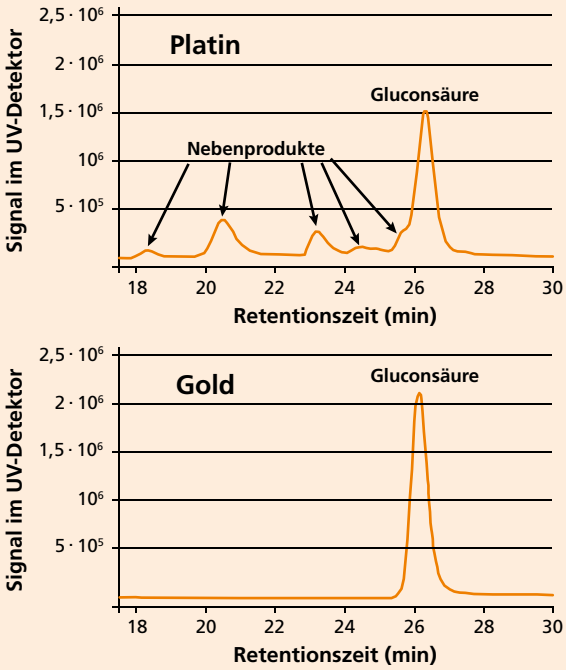


Abb. 4: HPLC-Chromatogramm der Reaktionslösung nach der Oxidation der Glucose mit einem Platin- (oben) und einem Goldkatalysator (unten)

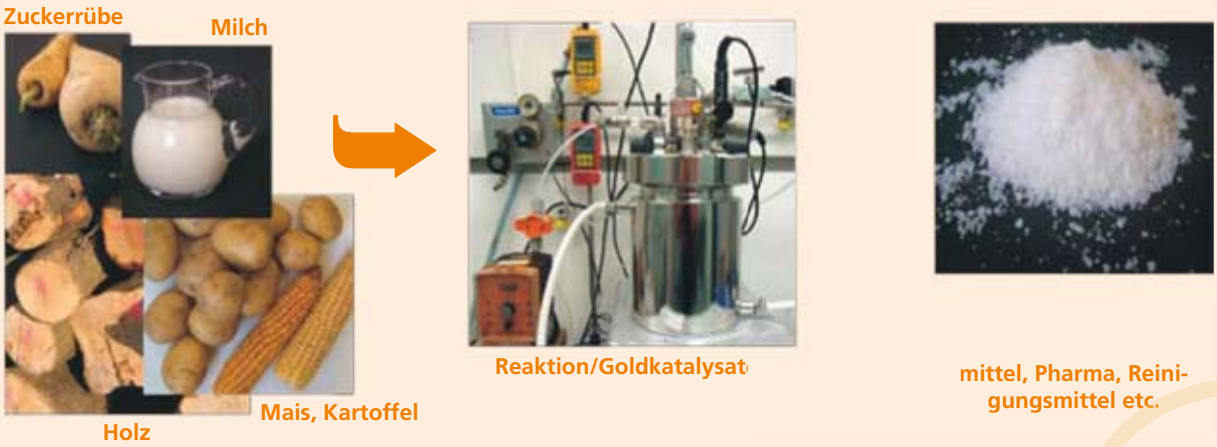
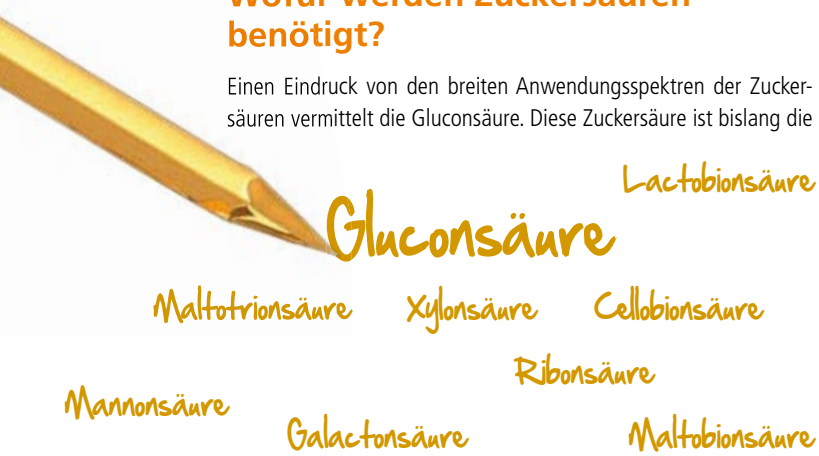


Abb. 5: Grüne Chemie: Veredelung von nachwachsenden Rohstoffen in einem umweltfreundlichen Prozess

oxidieren (Abb. 3) – und zwar mit praktisch 100 % Selektivität. Dabei sind Goldkatalysatoren robust und äußerst langlebig.
In Abbildung 4 wird die Selektivität als einer der Vorteile von Gold im Vergleich zu anderen Edelmetallkatalysatoren (hier am Beispiel von Platin) veranschaulicht. Die Grafiken zeigen Analysenergebnisse von zwei Reaktionslösungen nach der Oxidation von Glucose mit Sauerstoff mit Hilfe eines Platin- und eines Goldkatalysators. Das HPLC-Chromatogramm (engl.: high performance liquid chromatography) der goldkatalysierten Reaktionslösung weist nur ein Signal auf, das dem gewünschten Produkt Gluconsäure entspricht. Im Chromatogramm der Lösung, die aus der platinkatalysierten Reaktion hervorging, sind zusätzliche Signale zu erkennen, was auf unerwünschte Nebenprodukte der Reaktion hinweist. Das bedeutet, dass Gold als Katalysator bei der Oxidation von Glucose zu Gluconsäure – im Gegensatz zu Platin – sehr selektiv ist.
Somit konnten durch die Forschung mit Goldkatalysatoren am vTI die früheren Probleme beim Einsatz der herkömmlichen Edelmetallkatalysatoren gelöst und ein neues universelles, technisch anwendbares Verfahren entwickelt werden.

Wofür werden Zuckersäuren benötigt?

Einen Eindruck von den breiten Anwendungsspektren der Zuckersäuren vermittelt die Gluconsäure. Diese Zuckersäure ist bislang die einzige, die in größerem Umfang (100.000 Tonnen pro Jahr) produziert wird – und zwar ausschließlich mit Hilfe eines biotechnologischen Verfahrens aus dem Grundstoff Glucose (Traubenzucker).
Gluconsäure wird hauptsächlich als Abbindeverzögerer für Beton verwendet. Gluconsäure und ihre Salze Gluconate werden außerdem in der Kosmetik- und Lebensmittelindustrie als Säureregulatoren und Stabilisatoren eingesetzt. Eisengluconat ist für die dunkle Farbe der künstlich eingefärbten „schwarzen" Oliven verantwortlich. Gluconate werden sehr gut vom Organismus resorbiert. Diese Eigenschaft nutzt die Pharmazie beispielsweise in Medikamenten gegen Spurenelementmangel: Eisen, Zink und Calcium gelangen leichter in die Blutbahn, wenn sie als Komplexe mit Gluconsäure angeboten werden. Des Weiteren wird Gluconsäure als mildes Reinigungsmittel für Industrie und Haushalt, als Rost-Entferner und als Hilfsmittel in der Textil- und Papierindustrie verwendet.
Auch andere Zuckersäuren könnten zahlreiche Anwendungen in vielen Lebensbereichen finden. Bislang existierten aber keine geeigneten technischen Verfahren zu ihrer Herstellung (der kostengünstige biotechnologische Weg ist auf Gluconsäure beschränkt). Hier eröffnet das neu entwickelte goldkatalytische Verfahren völlig neue Perspektiven.



Hier stimmt die Chemie!

Bei dem derzeit zur kommerziellen Produktion von Gluconsäure verwendeten Verfahren der weißen Biotechnologie wird die Glucose mit Hilfe von Mikroorganismen oder aus ihnen isolierten Enzymen umgesetzt. Diese Biokatalysatoren haben eine hohe Umsetzungsgeschwindigkeit und sind äußerst selektiv. Das bedeutet, dass diese Art von Katalyse sehr effektiv ist. Allerdings ist die Produktivität relativ gering. Die größte Herausforderung ist aber die Isolierung und aufwendige Reinigung des Reaktionsproduktes: Die Fermentationsbrühe enthält neben dem gewünschten Produkt auch Enzyme oder Zellen und ihre Stoffwechselprodukte, die entfernt werden müssen. Durch die am vTI erzielten Ergebnisse auf dem Gebiet der Goldkatalyse gibt es nun endlich eine hervorragende Alternative zu dem bio-

Abb. 6: Pilotreaktor zur Zuckeroxidation bei der Südzucker AG

technologischen Weg. In der Oxidation von Glucose zur Gluconsäure stehen die Goldkatalysatoren den Biokatalysatoren in nichts nach. Das chemisch-katalytische Verfahren hat die gleichen Vorteile wie die biotechnologische Route und ist ihr in einigen Punkten sogar überlegen: der chemisch-katalytische Prozess ist sehr sauber und effizient (die Produktivität ist im Vergleich zu dem biotechnologischen Prozess bis zu zehnmal höher). Außerdem lässt sich der Katalysator sehr leicht abtrennen, und zusätzliche Reinigungsschritte sind gar nicht erforderlich. All das ermöglicht zusätzliche Einsparungen im Produktionsprozess. Ein weiterer Vorteil ist, dass der gleiche Katalysator auch für die Herstellung einer Vielzahl anderer industriell interessanter Zuckersäuren eingesetzt werden kann.

Damit ist das Verfahren ein perfektes Beispiel für die „grüne Chemie" (Abb. 5): Ausgehend von unterschiedlichen nachwachsenden Rohstoffen wie Zuckerrüben, Mais, Kartoffeln, Holz und Milch werden hier in einem umweltfreundlichen Prozess unter Verwendung von Wasser als Lösemittel und Sauerstoff als Oxidationsmittel mit Hilfe von Goldkatalysatoren wertvolle Produkte mit zahlreichen Anwendungsmöglichkeiten hergestellt.

Die inzwischen patentierte Entwicklung wird derzeit in die Praxis umgesetzt. Nach erfolgreichen Tests in einer Pilotanlage (Abb. 6) plant die Südzucker AG bereits weitere Schritte. So kann man davon ausgehen, dass den verschiedenen Zuckern in absehbarer Zeit eine „goldene Zukunft" bevorsteht.

Vielversprechende Aussichten

Im Rahmen eines anderen Projektes werden goldhaltige Katalysatoren auch zur Oxidation von Alkoholen und Fettalkoholderivaten eingesetzt. Ein Schwerpunkt ist dabei die Oxidation von Fettalkoholethoxylaten. Die korrespondierenden Säuren finden vielfältige Anwendungen beispielsweise in Flüssigwaschmitteln und Geschirrspülmitteln. Abbildung 7 zeigt ein Beispiel für die Oxidation von Fettalkoholethoxylaten.

Erste Untersuchungsergebnisse am vTI zeigen, dass Gold- und gold-

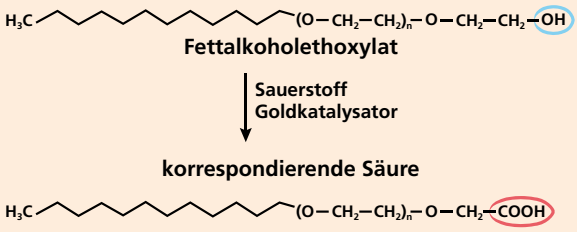


Abb. 7: Oxidation von Fettalkoholethoxylaten

basierte Katalysatoren auch hier sehr gute Eigenschaften, wie beispielsweise eine nahezu hundertprozentige Selektivität, aufweisen. Damit zeichnet sich ab, dass es auch für Fettalkohole gute Aussichten auf eine „goldene Zukunft" gibt.

Fazit

Durch die hier beschriebenen Forschungsergebnisse konnte gezeigt werden, dass nicht nur Enzyme und Mikroorganismen, sondern auch maßgeschneiderte Katalysatoren auf Goldbasis in der Lage sind, unter milden Reaktionsbedingungen hochselektive und hocheffiziente Umsetzungen zu erzielen. ■

vTI Johann Heinrich von Thünen-Institut

Dipl.-Chem. Elena Grünewald, Dr. Ulf Prüße und Prof. Dr. Klaus-Dieter Vorlop, Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Institut für Agrartechnologie und Biosystemtechnik, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig.
E-Mail: klaus.vorlop@vti.bund.de.

» Info:
Die obigen Projekte wurden und werden von der Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe und den Firmen Südzucker AG und Clariant Deutschland GmbH gefördert.

Bioenergie – Transparenz durch Standards und Zertifizierung?

Uwe Meier und Falko Feldmann (Braunschweig)

U. Meier

In der Bioenergie sehen viele Befürworter eine Teillösung gegen den Klimawandel und eine wichtige klimarelevante Ergänzung zu Mineralölprodukten und Gasimporten. Als verhängnisvolle Fehlentwicklung, die zur Zerstörung der Regenwälder, gewaltsamen Vertreibung von Bevölkerungsgruppen, zum Anstieg der Treibhausgase und des weltweiten Hungers führen wird, sehen Kritiker die Bioenergie. Beide Standpunkte in dieser stark polarisierenden Debatte verdienen Beachtung. Entscheidend ist, wo und unter welchen Bedingungen Pflanzen für Bioenergie angebaut werden. Können hier zertifizierte Produktionsverfahren nach Umwelt- und Menschenrechtsstandards weiterhelfen?

Der großflächige Anbau von Energiepflanzen, zum Beispiel Zuckerrohr in Brasilien oder Ölpalmen in Indonesien, kann durchaus problematische Auswirkungen für Umwelt und Menschen haben, etwa wenn Biomasseproduktion den Anbau von Lebens- und Futtermitteln verdrängt, der dann wiederum in sensible Naturräume ausweicht oder wenn Kleinbauern von ihren Feldern vertrieben werden. Dem Endprodukt Palmöl oder Ethanol sieht man es nicht an, wie es produziert wurde. Also soll versucht werden, überprüfbare Standards für Produktionsflächen und -verfahren zu etablieren, deren Einhaltung durch eine freiwillige und glaubwürdige Zertifizierung dokumentiert werden soll.

TransFair

Seit Jahren bekannte zertifizierte Produkte im Lebensmittelbereich sind zum Beispiel Bananen und Kaffee.

Für die Produktion von Nahrungsmitteln gibt es bereits seit etwa 10 Jahren Zertifizierungsverfahren, die auf bestimmten Nachhaltigkeitsstandards fußen. So werden auf Wunsch der Produzenten und des Handels die Produktion von Südfrüchten, Kartoffeln, Gemüse, Blumen, Tee, Kaffee, Fleisch und Zuchtfisch zertifiziert. In Kürze werden alle landwirtschaftlichen Produkte zertifiziert werden können. Die Entwicklung schreitet rasch voran, denn auch die Zertifizierung ist ein Markt.

Wissenschaftlich belastbare Ergebnisse über den Nutzen, die Effizienz und vor allem die Glaubwürdigkeit dieser Systeme fehlen bisher. Angesichts der großen Chancen der Zertifizierung durch Normensetzung und Kontrolle, aber auch der Risiken sowie der Komplexität der Problematik, die nur durch internationale Rahmensetzung gelöst werden kann, ergeben sich folgende Fragen: Kann eine Zertifizierung die in sie gesetzten sozio-ökonomischen und ökologischen Erwartungen erfüllen, kann sie für Transparenz sorgen? Oder wird die Zertifizierung als „green washing" missbraucht werden, wie heute schon vielfach behauptet wird? Wie ist es um die Kontrollen bestellt? Betrachten wir am Beispiel des Bioenergie-Marktes zunächst die wesentlichen Risiken, die durch Standardsetzung und Zertifizierung entschärft werden sollen.

Zuckerrohr – wichtigste Pflanze zur Gewinnung von Bioethanol

Rocío Juárez

Risiken …

… für die Ernährung

Die rasch ansteigende Nachfrage nach Bioenergie führt zu einem erhöhten Flächenbedarf. Künftig ist mit einer deutlichen Verschärfung der Landnutzungskonkurrenz zu rechnen. Um den Nahrungsbedarf einer wachsenden Weltbevölkerung zu decken, muss die globale Nahrungsmittelproduktion nach Angaben der FAO bis 2030 um rund 50 % gesteigert werden. Der künftige Flächenbedarf für die Nahrungsmittelproduktion wird dabei nicht zuletzt durch den flächenintensiven Futteranbau zur Fleischproduktion bestimmt. Der Konkurrenzdruck um die limitierte Fläche wird auch auf die Nahrungsmittelpreise durchschlagen, was insbesondere die Menschen betreffen wird, die in absoluter Armut leben.

… für die Artenvielfalt

Die verstärkte Nachfrage nach Agrarprodukten zur Ernährungssicherung, zu Futterzwecken und zur Energiegewinnung kann einerseits durch die Intensivierung der Produktion, andererseits durch die Erschließung neuer Agrarflächen auf Kosten natürlicher Ökosysteme befriedigt werden. Letzteres ist derzeit die wichtigste Ursache für die Reduzierung der biologischen Vielfalt. Dies geschieht beispielsweise, indem tropische Wälder gerodet oder Moore trockengelegt werden.

… für den Klimaschutz

Bei der Umwandlung natürlicher Ökosysteme in neue Anbauflächen werden Treibhausgase freigesetzt. Die Klimaschutzwirkung der Bioenergienutzung ist also davon abhängig, ob Ökosysteme mit hoher Kohlenstoffspeicherung (z.B. Wälder, Moore) umgenutzt werden. Insofern kann der Anbau von Energiepflanzen auf diesen Flächen zu einer Verschärfung des Klimawandels beitragen.

… für kleinbäuerliche Strukturen und indigene Bevölkerung

Der rasch wachsende Flächenbedarf für den Anbau nachwachsender Rohstoffe verschärft in vielen Ländern die sozialen Konflikte um Land. Diese äußern sich zumeist in der Vertreibung von Kleinbauern oder der Umwandlung von Flächen, die bisher indigenen

Der Anbau von Energiepflanzen kann zu einer Verschärfung des Klimawandels beitragen.

Die rasch ansteigende Nachfrage nach Bioenergie führt zu einem erhöhten Flächenbedarf, das geht zu Lasten der Nahrungsmittelproduktion und reduziert biologische Artenvielfalt, z.B. durch die Rodung tropischer Regenwälder..

Gemeinschaften oder Landlosen als Existenzgrundlage dienten. Die Zerstörung kleinbäuerlicher Strukturen kann sowohl die Lebensgrundlagen von Menschen vernichten, als auch ökologisch sensible Gebiete zerstören, weil die verdrängte Bevölkerung in diesen ihre neuen Lebensgrundlagen suchen wird, sofern sie nicht in städtische Räume abwandert.

Zertifizierungssysteme

Als Zertifizierung werden Verfahren bezeichnet, mit deren Hilfe die Einhaltung bestimmter Prinzipien, Standards oder Kriterien für Produktionsprozesse oder Dienstleistungen nachgewiesen werden kann. Konkret heißt das, dass sich ein Unternehmen verpflichtet, vorgegebene Standards oder Kriterien, Gesetze und verbindliche internationale Regelungen einzuhalten, dass es Transparenz gewährleistet und an einer Überprüfung durch eine unabhängige Kommission teilnimmt. Nach erfolgreicher Prüfung (Audit) erhält das Unternehmen für seine Produkte als Bestätigung ein entsprechendes – oft zeitlich befristetes – Zertifikat.
Neu sind Zertifizierungen in der Agrar- und Forstwirtschaft nicht. In der Regel gingen die Impulse für diese Verfahren nicht von den Produzenten aus, sondern vom Handel und von zivilgesellschaftlichen Organisationen. Der Handel hatte Interesse daran, ein mit Garantien (Qualität, Umwelt, Menschenrechte) versehenes Produkt auf dem Weltmarkt zu kaufen; die zivilgesellschaftlichen Organisationen wollen mindestens die Agenda 21 und die Konventionen der ILO (International Labour Organisation) von der Wirtschaft glaubwürdig umgesetzt sehen. Leistungsstarke internationale Systeme wie GLOBALGAP sind vom Lebensmittelhandel nach der BSE-Krise entwickelt worden. Agroindustrielle Organisationen und verarbeitende Industrie erarbeiteten das Roundtable on Sustainable Palm Oil (RSPO) oder das Pan European Forest Certificates (PEFC). Zivilgesellschaftliche Organisationen sind das Forest Stewardship Council (FSC), die Fairtrade Labelling Organisation (FLO) oder die Rainforest Alliance (RA), die eingegliedert ist in das weltweit agierende Sustainable Agricultural Network (SAN). Ferner produziert der Ökologische Landbau traditionell nach Standards und Kriterien, deren Einhaltung überprüft wird.
Allen vorhandenen Zertifizierungssystemen gemeinsam ist die zielorientierte Einflussnahme auf den Produktionsprozess durch Produktionskriterien, die durch transparente Produktionsverfahren überprüfbar sind. Gemeinsam ist allen Systemen ferner, dass an ihnen freiwillig teilgenommen wird. In einigen landwirtschaftlichen Bereichen (Obst, Gemüse, Chip-Kartoffeln) sorgt der Marktdruck jedoch inzwischen dafür, dass Produkte ohne Zertifizierung schwerer absetzbar werden.

Imaflora, Brasil

Vorbereitung der Zuckerrohpflanzung. Die Konkurrenz um Agrarflächen für den Anbau von Nahrungs-, Futter- und Energiepflanzen wird künftig zunehmen.

Nachhaltigkeitsnachweis für Bioenergie nach ISCC

Den Risiken beim internationalen Energiepflanzenanbau soll durch Regelungen auf nationaler und EU-Ebene begegnet werden. Um dieses Ziel erfolgreich umzusetzen, muss zunächst sichergestellt sein, dass der Ausbau der Bioenergienutzung tatsächlich einen Beitrag zum Klimaschutz leistet und die oben skizzierten Risiken minimiert werden. Dieses wird durch verbindlich einzuhaltende Nachhaltigkeitsstandards geschehen, deren Einhaltung durch das Instrument der Zertifizierung überprüft wird.
Für die angestrebte nachhaltige Biomasseproduktion ist die Standardentwicklung im Rahmen des ISCC-Projekts (International Sustainability and Carbon Certification) fast abgeschlossen. ISCC wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz und der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) entwickelt und befindet sich bereits in der Erprobungsphase.

dpa

Ölpalmen-Plantage; rechts: Fruchtstand der Ölpalme

Imaflora, Brasil

ISCC
International Sustainability & Carbon Certification

Das System sieht eine Zertifizierung zur Sicherung ökologischer und sozialer Standards bei der Biomasseproduktion vor und soll nicht nur die Verwendung von Biomasse im Biokraftstoffsektor berücksichtigen. Das umfangreiche Regelwerk, das sich auch an GLOBALGAP orientiert, beinhaltet unter anderem die Verpflichtungen zur Transparenz und zur Einhaltung nationaler und ratifizierter internationaler Gesetze und Abkommen. Die Einhaltung von Umweltstandards im Bereich Boden, Wasser, Abfall und Pflanzenschutzmittel wird gefordert, Brandrodungen sind verboten und die Bewahrung natürlicher Ressourcen und Biodiversität ist Pflicht. Die Sozialstandards betreffen hauptsächlich die ILO-Kriterien.
Die Europäische Richtlinie zu Erneuerbaren Energien soll ab Januar 2010 gelten. Danach sollen Unternehmen über ihre Aktivitäten Bericht erstatten müssen:

- zum Schutz von Boden, Wasser und Luft,
- zur Restaurierung degradierter Flächen,
- zur Vermeidung von Wassernutzung in trockenen Gebieten und
- zur Vermeidung von negativen sozialen Auswirkungen.

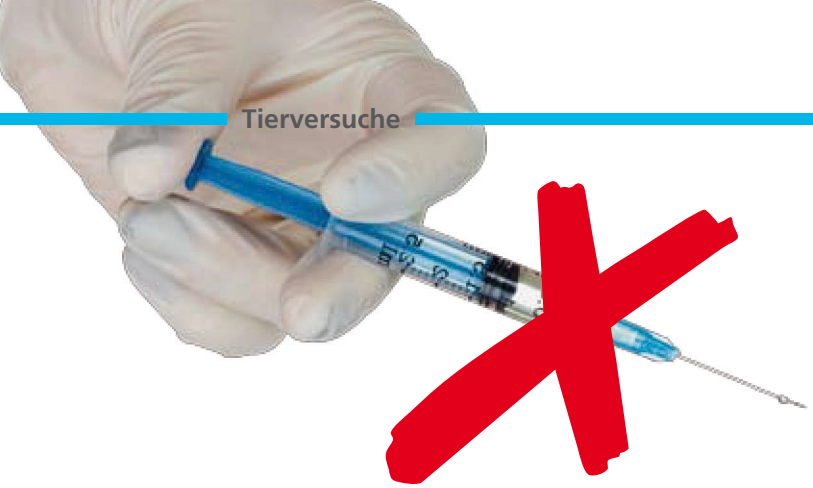
Glaubwürdigkeit

Glaubwürdigkeit muss sich ein Zertifizierungssystem erarbeiten. Grundbedingung ist, dass die Versprechungen eingehalten werden. Wird mit dem Produkt ein Vorteil für die Umwelt versprochen und nicht eingehalten, stellt das die Glaubwürdigkeit der Zertifizierung in Frage. Das Risiko des Glaubwürdigkeitsverlustes ist bei der Bio-Treibstoffproduktion besonders hoch, weil kaum Erfahrungen vorliegen und der Marktdruck hoch ist.
Transparenz und offene Kommunikation des Unternehmens sind der Schlüssel für Glaubwürdigkeit und gesellschaftliche Akzeptanz des Produktes und seiner Herstellung. Zur Glaubwürdigkeit tragen auch freiwillige Leistungen des Unternehmens bei. Hierzu zählen die Veröffentlichung der historischen Entwicklung des Unternehmens und das öffentliche Bekennen von ökologischen und sozialen Fehlhandlungen der vergangen Jahre. Aus den dokumentierten ökologischen und sozialen Leistungen in den Jahren vor der Zertifizierungsdiskussion lässt sich die Glaubwürdigkeit des Produzenten ebenso ableiten.
Die Durchführung der Zertifizierung, also die Überprüfung vor Ort, ob die Standards eingehalten werden, und die anschließende Bewertung der Ergebnisse, ist eine Schwachstelle des gesamten Zertifizierungssystems. Die Inspektoren sollten aus verschiedenen Fachbereichen kommen (Soziales, Medizin, Agrar), sollten sich in der Kultur des Landes und der Sprache auskennen und möglichst gute Kontakte zu örtlichen und unabhängigen zivilgesellschaftlichen Organisationen haben. Allein die Tatsache, dass der wirtschaftliche Erfolg eines Unternehmens von wenigen Inspektoren abhängt, weist auf Korruptionsanfälligkeit des Systems hin. Mögliche Abhängigkeiten zwischen Zertifizierungsunternehmen und ihren Kunden sollten ausgeschlossen werden. Sinnvoll wäre es, wenn die Agrarunternehmen nicht immer von derselben Organisation zertifiziert würden.

Forschung

Die Erfahrungen und Erkenntnisse seit der Einführung von Zertifizierungen im internationalen Agrarbereich deuten insgesamt auf positive Auswirkungen für Mensch und Natur hin. Belastbare Untersuchungsergebnisse liegen darüber allerdings nicht vor. Es sollten daher belastbare Erkenntnisse durch internationale, interdisziplinäre Forschung erfolgen, die sowohl zertifizierungsbegleitend ist als auch grundlegende Erkenntnisse zu den sozio-ökonomischen und ökologischen Auswirkungen in den Anbauländern erarbeitet. Ansätze hierzu entstehen derzeit unter anderem im Julius Kühn-Institut (JKI), wo die fachliche Grundlage von Zertifizierungssystemen im Pflanzenbau bewertet werden soll. Auch der nationale Aktionsplan zur „Nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln" (NAP) der Bundesregierung sieht Zertifizierungen im Pflanzenschutz vor. ■

Dr. Uwe Meier und Dr. Falko Feldmann, Julius Kühn-Institut, Institut für Pflanzenschutz im Gartenbau und Forst, Messeweg 11/12, 38104 Braunschweig.
E-Mail: uwe.meier@jki.bund.de und falko.feldmann@jki.bund.de



Alternativen zum Tierversuch

Durch neueste Technologien lassen sich Experimente mit Tieren verringern

Barbara Grune, Daniel Butzke und Andrea Seiler (Berlin)

Im Jahr 2007 wurden in Deutschland über 2,6 Millionen Wirbeltiere in Tierexperimenten und zu wissenschaftlichen Zwecken verwendet. Gegenüber dem Vorjahr ist das ein Anstieg um mehr als 90.000 Tiere. Die stärksten Zunahmen wurden im Bereich der Grundlagenforschung verzeichnet. Zudem erwarten Experten, dass im Rahmen der neuen Europäischen Chemikalienverordnung REACH die Zahl der Versuchstiere EU-weit zunehmen wird. An der ZEBET (Zentralstelle zur Erfassung und Bewertung von Ersatz- und Ergänzungsmethoden zum Tierversuch) des Bundesinstituts für Risikobewertung (BfR) in Berlin wird nach Möglichkeiten gesucht, Tierversuche durch Alternativmethoden zu ersetzen oder zumindest die Zahl der Versuchstiere zu verringern. Dabei sind die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler auf ganz unterschiedlichen Gebieten fündig geworden.

Im Tierschutzgesetzt heißt es: „Bei der Entscheidung, ob Tierversuche unerlässlich sind, ist insbesondere der jeweilige Stand der wissenschaftlichen Erkenntnisse zugrunde zu legen und zu prüfen, ob der verfolgte Zweck nicht durch andere Methoden oder Verfahren erreicht werden kann." Die Prüfung und Entwicklung solcher Alternativen ist Aufgabe der ZEBET in Berlin. Dabei wird das **3R-Konzept** zugrunde gelegt. Darunter sind alle wissenschaftlichen Methoden zu verstehen, die mindestens eine der drei Anforderungen erfüllen:

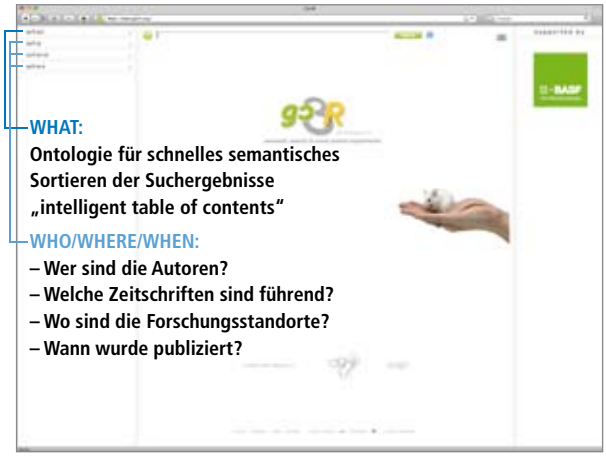
- durch die Anwendung der Methode werden Tierversuche ersetzt („**R**eplacement");
- die Zahl der Versuchstiere wird reduziert („**R**eduction");
- das Leiden und die Schmerzen der Versuchstiere werden vermindert („**R**efinement").

Eine neuartige Suchmaschine für das Internet

Das Internet bietet eine unendliche Fülle von Informationen, darunter auch viele Hinweise auf mögliche Alternativmethoden zu Tierversuchen. Dennoch ist es schwierig, aus dieser Fülle die passenden Informationen zu extrahieren. Vor dieser Herausforderung stehen sowohl Wissenschaftler als auch Behördenvertreter, die damit beauftragt sind, die Unerlässlichkeit von Tierversuchsvorhaben zu prüfen. Millionen potenziell relevanter Dokumente sind über Internet, Patentdatenbanken und Literaturdatenbanken verstreut. Recherchen zu Alternativ-

methoden sind auch und gerade im Zeitalter des Internets zeitraubend und mühsam. Aufgrund der Vielfalt und der täglich anwachsenden Menge an Informationen stoßen die herkömmlichen Suchmaschinen, die im Freitext oder mit Suchbegriffen aus einem festen Vokabular (Thesaurus) recherchieren, an ihre Grenzen. Einen Ausweg aus dieser Problematik verspricht „Go3R", die weltweit erste wissensbasierte Suchmaschine für Alternativmethoden zu Tierversuchen. Entwickelt wurde sie von der ZEBET im Verbund mit Wissenschaftlern der Technischen Universität Dresden und der Transinsight GmbH (Dresden). Im April 2008 wurde die Beta-Version der Suchmaschine unter www.GO3R.org im Internet kostenfrei zur Verfügung gestellt.

Die technische Basis der semantischen Suchmaschine Go3R ist spezifisches Expertenwissen, abgelegt in Form einer Ontologie. Die Ontologie ist ein Netzwerk von hierarchisch organisierten „Konzepten" (Themengebieten), die repräsentativ für ein definiertes Forschungsgebiet stehen. Diese „Konzepte" enthalten Informationen über synonyme Begriffe und natürlichsprachliche Definitionen. Die



Semantische Suche in Go3R / Startseite

Ontologie beschreibt die relevanten Begriffe eines Themengebietes und stellt Beziehungen zwischen den Begriffen her. Eine semantische Suchmaschine nutzt diese inhaltlichen Beziehungen. Sie erweitert Suchanfragen mit einfachen Begriffen durch das Herstellen von Beziehungen zu anderen relevanten Begriffen. Was hier für Außenstehende sehr abstrakt klingt, lässt sich durch ein Gedankenspiel verdeutlichen, in dem es darum geht, einen bestimmten Presseartikel zu einer Thematik aus der schier unüberschaubaren Menge aller Beiträge der gängigen Tageszeitungen herauszufiltern (s. Kasten).

Innerhalb einer großen Menge von Suchergebnissen ist es mit Go3R möglich, die Ergebnismenge mit ein paar „Klicks" auf die für den Suchenden relevanten Aspekte einzuschränken. Die präsentierten Suchergebnisse werden automatisch in die Kategorien der 3R-Ontologie vorsortiert. Der Nutzer erhält die Liste der Suchergebnisse zusammen mit einem „intelligenten Inhaltsverzeichnis". Durch Klicken auf ein Konzept des Inhaltsverzeichnisses werden dem Nutzer die dazugehörigen Publikationen präsentiert.

Sucht ein Nutzer zum Beispiel nach Publikationen zur Thematik „eye irritation" und gibt diesen Suchbegriff ein, zeigt ihm Go3R unter anderem die folgenden Kategorien an:

„eye irritation" →
- **Substances, Preparations & Products**
  - **Drugs**
  - **Cosmetics**
- **Animal Experiments**
- **Diseases & Symptoms**
- **Product Testing & Assessment**
- **Toxicity Testing Strategy, 3Rs**
  - **Mechanistic Test**
  - **In Vitro Test Battery**
  - **Integrated Testing Strategy**
  - **Tiered Testing Strategy**

Der Nutzer entscheidet sich zum Beispiel für die Kategorie „Toxicity Testing Strategy, 3Rs". Im nächsten Schritt grenzt er seine Recherche mit einem Klick auf die Kategorie „In vitro Test Battery" ein. Auf diese Weise hat er aus einer großen Menge von Informationen mit zwei Klicks die für ihn relevanten Publikationen herausgefiltert.

Als Prototyp sucht Go3R Beta in der bekannten Literaturdatenbank „PubMed". Es ist vorgesehen, dass Go3R das gesamte Internet, darunter auch diverse Literatur- und Patentdatenbanken, durchsucht und somit eine weit reichende Menge von Informationen in einer einzigen Suchmaschine zusammenfasst. Bereits heute erweitert Go3R die Suche auf Synonyme des Suchbegriffes; sucht ein Nutzer zum Beispiel nach "eye irritation", sucht die Suchmaschine automatisch auch nach "ocular safety".

Die semantische Suchmaschine Go3R enthält einen "3Rs-relevant-Filter", mit dem sie die Dokumente markiert, die Informationen zu Alternativmethoden enthalten.

Ein „semantisches" Gedankenspiel

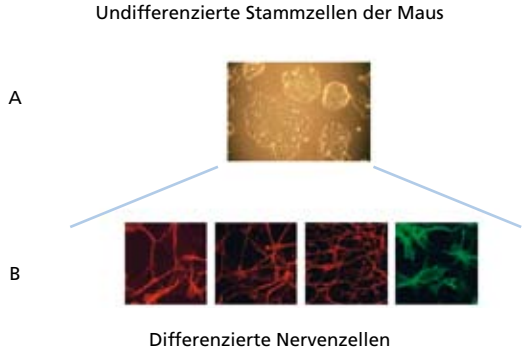
Stellen Sie sich einmal vor, Sie wären am Wochenende zufällig von einem Journalisten in der Fußgängerzone angesprochen worden, der eine Umfrage zum Thema „beliebteste Politiker" durchführt. Am Montag wollen Sie nun gerne den Artikel in der Zeitung lesen. Dummerweise haben Sie vergessen, sich den Namen des Journalisten und die Tageszeitung zu notieren, in welcher der Artikel erscheinen soll. Was tun? Sich alle Zeitungen des Tages besorgen und dann diesen meterhohen Stapel in mühseliger Kleinarbeit durchmustern? Eine nahezu unmögliche Aufgabe!

Stellen Sie sich nun vor, sie hätten eine ganze Schar von Mitarbeitern, die für Sie alle Tageszeitungen durchmustert und jeden einzelnen Artikel in Ordnern mit bestimmten Oberbegriffen abgelegt haben. In dem für Sie vorbereiteten Schrank (Go3R-Inhaltsverzeichnis) gäbe es dann zum Beispiel einen Ordner zum Thema „Persönlichkeiten der Gegenwart", mit dem Unterordner „Politiker". Nun wäre es leicht für Sie, den gesuchten Artikel zu identifizieren, denn der Umfang der in Frage kommenden Artikel wäre wesentlich geringer. Das ganze Wissen Ihrer vielen Mitarbeiter (Expertenwissen) würde sich in der Art und Weise spiegeln, wie die Artikel bestimmten Thematiken zugeordnet und in Ordnern abgelegt worden sind (Ontologie).

Durch manuell klassifizierte Beispieldokumente wird der Filter Rahmen des Forschungsprojektes stetig verbessert.

Embryonale Stammzellen statt Versuchstiere

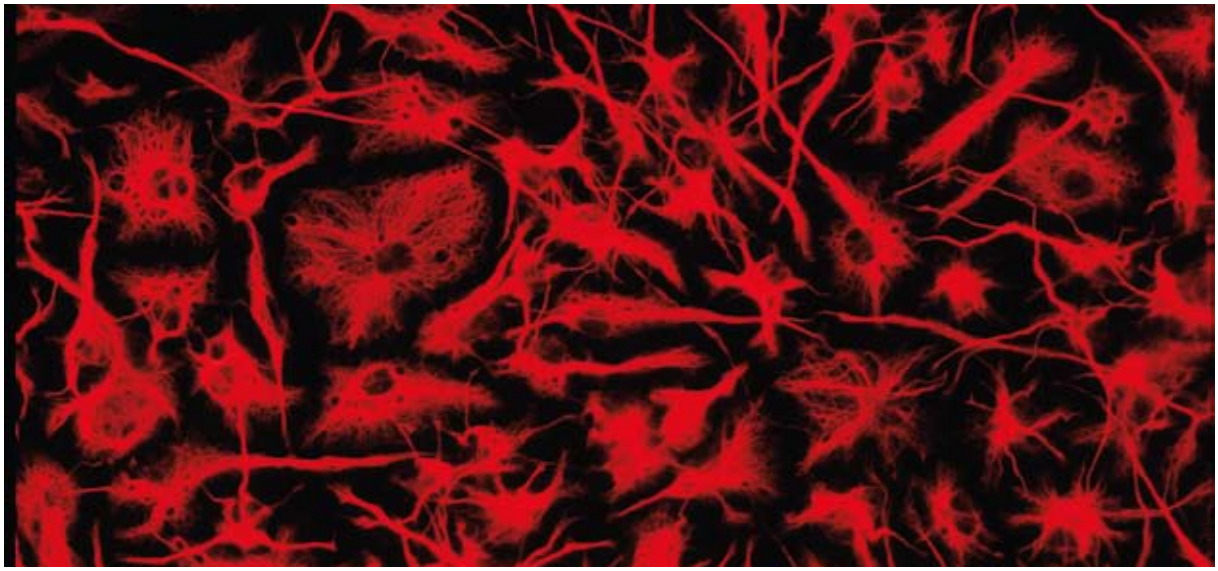
ZEBET im BfR sucht nicht nur innovative Wege im Informatio dickicht, um bereits vorhandene Methoden aufzuspüren, sie e wickelt auch selbst neue Alternativen zu Tierversuchen.
So zum Beispiel, um zu prüfen, ob bestimmte Chemikalien Entwicklung des Nervensystems beeinträchtigen können – ei besondere Gefahr für Kinder. Entwicklungsneurotoxizität lau der entsprechende Fachbegriff. Er beschreibt die möglichen fur tionellen und morphologischen Effekte auf das sich entwickeln Nervensystem der Nachkommen, die durch Exposition während d Schwangerschaft und der frühen Entwicklungsphase nach der Geburt auftreten können. Entwicklungsneurotoxizität gehört zu den schwerwiegendsten Nebenwirkungen, die eine Chemikalie oder ein Arzneimittel aufweisen kann.
Die Prüfung auf entsprechende Eigenschaften erfolgt traditionell im Tierversuch. Für den Test an nur einer Substanz sind bisher bis zu 140 Muttertiere und 1000 Jungtiere, in der Regel Ratten, nötig. Die Versuche sind außerdem sehr zeit- und kostenintensiv. Im BfR bei der ZEBET ist nun eine neue, vielversprechende Alternativmethode entwickelt worden, bei der nicht mehr Ratten, sondern embryonale Stammzellen der Maus verwendet werden. Bei der neuen Methode werden Stammzellen, die in der Zellkultur zu verschiedenen Typen von Nervenzellen ausdifferenzieren (Neurone, Astrozyten und Oligodendrozyten), mit den zu prüfenden Stoffen behandelt. Dabei zeigt sich ein eventuelles entwicklungsneurotoxisches Potenzial der Chemikalien, und es kann beurteilt werden, ob Stoffe die Entwicklung von Nervenzellen schädigen. Dies geschieht zum Beispiel anhand ausgewählter spezifischer neuronaler Markerproteine, die in der Lage sind, stellvertretend die neurale Entwicklung in der Zellkulturschale abzubilden. Lässt sich im Vergleich zum unbehandelten Kontrollansatz keine veränderte Ausbildung der neuronalen Markerproteine feststellen, geht man davon aus, dass möglicherweise kein entwicklungsneurotoxisches Potential vorliegt.
Das neue Verfahren könnte dazu beitragen, die Zahl der Tierversuche auf diesem Gebiet zu reduzieren. ■



Differenzierung in Nervenzellen aus embryonalen Stammzellen der Maus.

(A) Kolonien von undifferenzierten Stammzellen in der Phasenkontrastdarstellung. (B) Nervenzellen in der Immunfluoreszenzfärbung. Die differenzierten Zellen wurden mit Antikörpern gegen neuronale Markerproteine markiert.

Dr. Barbara Grune, Dr. Daniel Butzke, Dr. Andrea Seiler, Bundesinstitut für Risikobewertung, ZEBET, Diedersdorfer Weg 1, 12277 Berlin. E-Mail: zebet@bfr.bund.de



Aus embryonalen Stammzellen der Maus differenzierte Astrozyten, Immunfluoreszenzfärbung des astrozytenspezifischen Proteins GFAP.

DNA-Mikroarrays in der Diagnostik von Zoonosen

Krankheitserreger schnell und genau erkennen

Konrad Sachse (Jena)

In den letzten Jahren sind Infektionen, die vom Tier auf den Menschen übertragen werden, in den Mittelpunkt der Aufmerksamkeit gerückt. Man bezeichnet sie auch als Zoonosen. Das Spektrum der Zoonoseerreger reicht von Bakterien wie Salmonellen, Brucellen und Chlamydien über Viren wie FSME, SARS und „Vogelgrippe" bis zu Parasiten wie Toxoplasmen, Fuchsbandwurm und Trichinellen. Eine entscheidende Voraussetzung für die rechtzeitige Erkennung und eine effektive Bekämpfung von Infektionen – sowie letztlich auch für die wirksame Behandlung von Erkrankten – ist eine leistungsfähige Labordiagnostik.

Die Grenzen der konventionellen Diagnostik

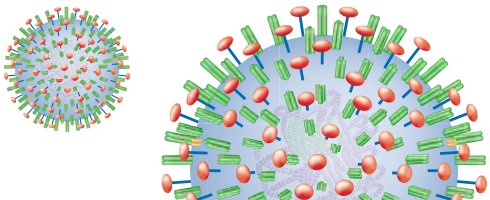
Für die wachsende Bedeutung zoonotischer Erkrankungen werden eine Reihe von Faktoren verantwortlich gemacht, wie die Ausweitung des internationalen Tierhandels, die allgemeine Klimaerwärmung in Mitteleuropa, die große Zahl der Haushalte mit Haus- und Heimtieren und die Reisefreudigkeit der Menschen.

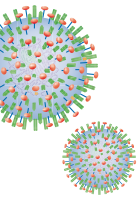
An die Diagnostik mikrobieller Infektionskrankheiten werden in der heutigen Zeit hohe Anforderungen gestellt. So muss eine immer größere Anzahl von Proben in immer kürzerer Zeit bearbeitet werden, wobei die Anforderungen an den Informationsgehalt der Befunde weiter steigen. Daneben haben die weltweiten Forschungsaktivitäten in den letzten Jahrzehnten auch das mikrobiologische Wissen enorm erweitert. Mit dem Auftreten neuer Zoonosen wurden neue Krankheitserreger entdeckt und bereits bekannte Erreger wurden nach eingehender genetischer Charakterisierung reklassifiziert oder umbenannt.

In dieser Situation stößt die konventionelle mikrobiologische Diagnostik immer häufiger an ihre Grenzen. Es genügt in vielen Fällen nicht mehr, eine Erkrankung anhand eines Antikörper-Titers zu diagnostizieren, da erhöhte Titer auch bei nicht klinisch Erkrankten, sogenannten inapparenten Ausscheidern, vorkommen können. Die Differenzierung und Identifizierung von Bakterienarten über biochemische Tests wie Zuckerfermentation und enzymatische Aktivitäten liefert nicht immer eindeutige Ergebnisse, da die Variabilität der Stämme innerhalb einer Art erstaunlich groß sein kann. Konventionelle Tests können oft nicht zwischen genetisch eng verwandten Erregern oder gar zwischen Stämmen innerhalb der gleichen Art unterscheiden, die durchaus ein unterschiedliches Potenzial an krank machender Wirkung besitzen können. Die bloße Identifizierung der involvierten Bakterienart oder des Virus ist für eine wirksame Behandlungsstrategie meist nicht mehr ausreichend. Stattdessen will der behandelnde Arzt oder Tierarzt wissen, um welchen Serotyp oder Genotyp es sich handelt und welche Virulenzfaktoren in dem betreffenden Erregerstamm ausgebildet werden. Zusätzlich ist zu beachten, dass eine Reihe von Bakterien und Viren im Labor nur sehr schwer oder überhaupt nicht anzüchtbar sind.

Neue Möglichkeiten durch molekulare Diagnostik

Da der Nachweis und die Charakterisierung von Mikroorganismen neben den klassischen mikrobiologischen Verfahren auch sehr effektiv über das Erbgut, das heißt DNA bzw. RNA, durchgeführt werden können, fanden molekulardiagnostische Verfahren in den letzten Jahren verstärkt Eingang in die klinische Diagnostik. Hier hat die Polymerase-Kettenreaktion (PCR) eine zentrale Bedeutung erlangt. Dieses schnelle und hoch empfindliche Verfahren beruht auf der millionenfachen Vervielfältigung charakteristischer Genomabschnitte.





Damit wurde es möglich, den Erreger direkt in klinischen Proben wie Speichel, Nasensekret, Blut oder Biopsiematerial zu identifizieren und auf das oft aufwändige und langwierige Anzüchten auf Kulturmedien zu verzichten. Inzwischen steht den Diagnostiklabors mit der Echtzeit-PCR auch ein Hochdurchsatzverfahren zur Verfügung, das die Untersuchung von Dutzenden Proben innerhalb eines Tages ermöglicht. Mit den PCR-Methoden konnte eine bis dahin unerreichte Spezifität erlangt werden, weil der Nachweis auf charakteristischen und für den jeweiligen Erreger einzigartigen Nukleinsäuresequenzen beruht.

Allerdings kann mit einem PCR-Test in der Regel nur ein einzelner Erreger oder ein genetisches Merkmal diagnostiziert werden. Das bedeutet, dass in jedem Diagnostiklabor eine größere Anzahl von Nachweismethoden vorgehalten werden muss und gegebenenfalls mehrere Tests durchzuführen sind, bis der jeweilige Mikroorganismus aus der Probe identifiziert werden kann. Wenn dann noch eine Feindifferenzierung notwendig ist, die auf einzelnen Punktmutationen im Erbgut beruht, stößt auch die PCR an die Grenzen ihrer Leistungsfähigkeit.

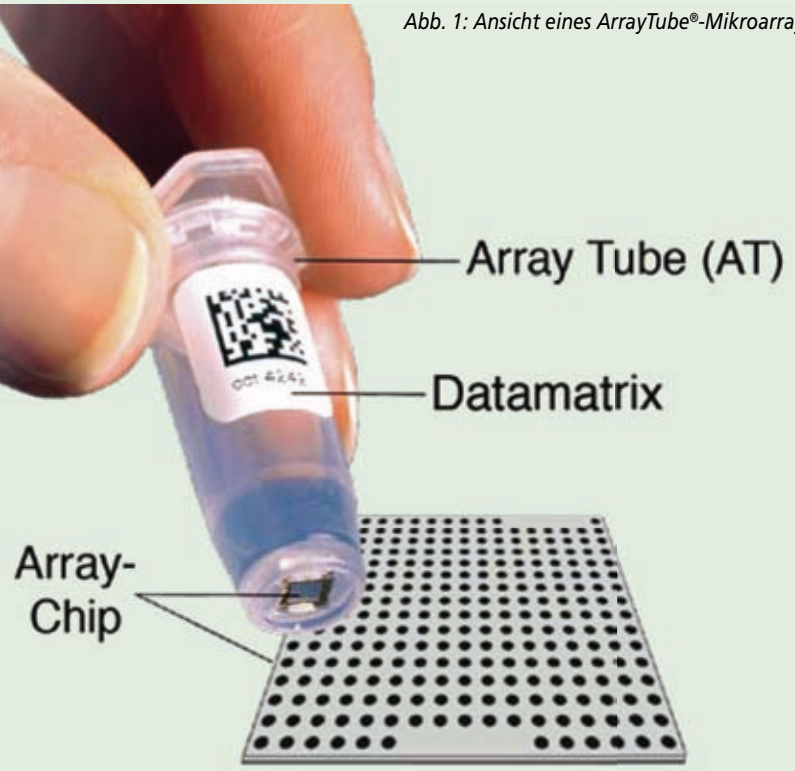
DNA-Mikroarrays – die neue Dimension

Um noch mehr Informationen über den Krankheitskeim aus einem einzigen diagnostischen Ansatz zu gewinnen, hat sich die Forschung in den letzten Jahren mit der weiteren Leistungssteigerung, Parallelisierung und Miniaturisierung der Nachweismethoden beschäftigt. Zunehmend werden DNA-Chips, in der Fachsprache DNA-Mikroarrays genannt, auch für diagnostische Zwecke entwickelt.

Am Friedrich-Loeffler-Institut entstanden neue Mikroarraytests zum Nachweis von Zoonoseerregern, wie zum Beispiel *Chlamydophila psittaci* (Erreger der Papageienkrankheit), *Burkholderia mallei* (Melioidose) und des aviären Influenzavirus H_5N_1 („Vogelgrippe"). Dazu wurde das ArrayTube®-Gerätesystem eingesetzt, welches DNA-Chips benutzt, die in ein kleines Kunststoffgefäß („Eppendorf-Hütchen") integriert sind (s. Abb. 1). Die Chips sind nur 2 x 2 mm groß und bestehen aus einer Spezialglasunterlage, auf die mehrere Hundert Sonden als winzige Pünktchen von ca. 80 Mikrometer Durchmesser aufgebracht werden können. Bei den Sonden handelt es sich um kurze Nukleinsäureströnge, deren Sequenzen so ausgewählt wurden, dass sie komplementär zu den Erkennungssequenzen der jeweiligen Krankheitserreger sind. Der Test beginnt mit der Vervielfältigung und Markierung der Erreger-DNA aus dem Probenmaterial. Der hoch spezifische Nachweis der Mikroorganismenart erfolgt dadurch, dass komplementäre DNA-Stränge der Erreger-DNA an die jeweilige Sonde binden. Um die Bindungsereignisse sichtbar zu machen, bedient man sich eines enzymatisch aktiven Makromoleküls (Streptavidin-Peroxidase-Konjugat), welches an die von der Sonde gebundene Erreger-DNA andockt und dabei eine Schwärzung erzeugt. Wenn die klinische Probe auf dem Mikroarray ein positives Signal erzeugt, erlaubt dies eine sofortige Aussage, um welchen Erreger es sich handelt.

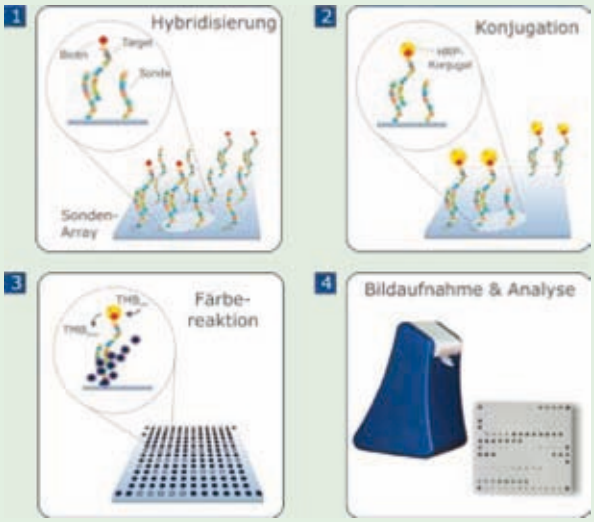
Der Ablauf eines DNA-Mikroarray-Nachweistests ist in Abbildung 2 schematisch dargestellt.

Abb. 1: Ansicht eines ArrayTube®-Mikroarrays



CLONDIAG GmbH, Jena

Abb. 2: Schematische Darstellung der wichtigsten Schritte eines Erregernachweises mittels DNA-Mikroarraytest.



1) Spezifische Bindung der Proben-DNA (Target) an die Oligonukleotid-Sonde,
2) Andocken des Enzymkonjugats,
3) Anfärben der Bindungskomplexe mittels Präzipitationsreaktion,
4) Optische Messung der Signalstärken und Ausgabe des Untersuchungsergebnisses.

Das Mikroarray-System wurde in Zusammenarbeit mit der Firma CLONDIAG GmbH entwickelt. Die CLONDIAG GmbH ist ein Technologieunternehmen aus Jena, das neuartige diagnostische Tests und Verfahren auf der Grundlage unternehmenseigener Technologien entwickelt. Das 1998 gegründete Unternehmen beschäftigt rund 100 Mitarbeiter. Seit März 2006 ist es Teil von Inverness Medical Innovations (Waltham, Mass, USA), des weltweit führenden Anbieters von diagnostischen Schnelltests.

Benötigte man mit konventionellen Methoden (ELISA, Anzüchtung des Erregers) etwa 2–5 Tage für die Diagnostik, liegt heute das Ergebnis innerhalb von rund 8 Stunden vor und ist außerdem wesentlich genauer. Jetzt ist es sehr viel schneller möglich, den Ausgangspunkt der Infektion aufzuspüren, eine Ausbreitung der Krankheit zu verhindern und die Erkrankung bei Mensch und Tier rasch zu bekämpfen.

Anwendungen in der Praxis

Mittlerweile konnten die Mikroarray-basierten Methoden in beträchtlichem Umfang zur Lösung praktischer diagnostischer Probleme im Zusammenhang mit Tierseuchenausbrüchen und Erkrankungsfällen bei Kontaktpersonen eingesetzt werden. So war beispielsweise ein Ausbruch der Ornithose („Papageienkrankheit") bei Nutzgeflügel in Sachsen-Anhalt und Thüringen im Mai und Juni 2005 Anlass für die Entwicklung eines Chlamydien-Mikroarrays. Zunächst ging es darum, den Erreger *Chlamydophila psittaci* in Tiermaterial aus den erkrankten Geflügelbeständen bzw. Ziervögelhaltungen nachzuweisen. Sobald der Verdacht aufkam, dass sich Personen angesteckt haben könnten, die mit diesen Tieren Kontakt hatten, wurden die Mikroarraytests auch an deren Rachenspülwasser oder Biopsiematerial durchgeführt. Tatsächlich hatten sich bei dem erwähnten Ausbruch in den betroffenen Tierbeständen zahlreiche Personen infiziert, davon sieben so schwer, dass sie stationär behandelt werden mussten.

Um noch detailliertere Information über die Identität des Krankheitskeimes zu erlangen, wurde vor kurzem eine zweite Generation des Chlamydienchips entwickelt. Dieser enthält einen zusätzlichen Sektor mit weiteren Gensonden, wodurch neben der Identifizierung eine gleichzeitige Genotypisierung des Infektionsstammes durchgeführt wird. Diese Information liefert Anhaltspunkte über den Verlauf der Infektionskette und die Gefährlichkeit des Erregerstammes. Eine Zusammenstellung solcher Testergebnisse ist in Abbildung 3 dargestellt.

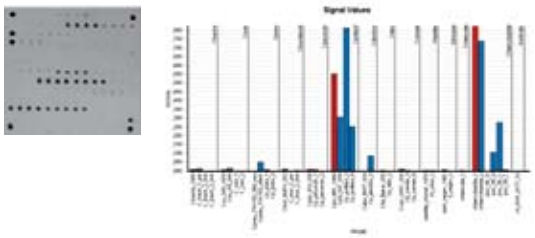
Der Einsatz der DNA-Mikroarraytests ermöglicht es, detaillierte Daten über den jeweiligen Krankheitserreger innerhalb kurzer Zeit in kompakter Form zu erhalten. Dadurch konnten die notwendigen Maßnahmen zur Behandlung und Bekämpfung zügig eingeleitet werden. Das Friedrich-Loeffler-Institut, Bundesforschungsinstitut für Tiergesundheit, überführte so zusammen mit einem Industriepartner seine Forschungsergebnisse unmittelbar und zeitnah in die Praxis.

Die dabei gesammelten Erfahrungen zeigen ferner, dass die hier verwendete, in Deutschland entwickelte und hergestellte Mikroarraytechnik inzwischen so weit ausgereift ist, dass sie auch in Laboratorien eingesetzt werden kann, die veterinär- oder humanmedizinische Routinediagnostik betreiben. Damit wird eine solche hoch informative Chip-Technologie weltweit erstmals praxistauglich für für die Routinediagnostik einsetzbar. Es zeichnet sich bereits ab, dass in der Humanmedizin großes Interesse besteht, diese Technologie auch für andere Erkrankungen einzusetzen, zum Beispiel bei chronischen Atemwegserkrankungen. ■

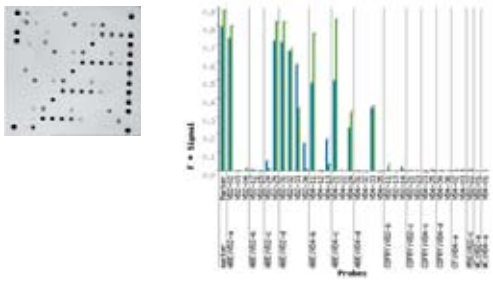
Dr. Konrad Sachse, Friedrich-Loeffler-Institut, Institut f. Molekulare Pathogenese, Naumburger Str. 96a, 07743 Jena. E-Mail: konrad.sachse@fli.bund.de

Abb. 3: Einsatz von DNA-Mikroarrays zur schnellen Diagnostik von Chlamydieninfektionen

Kloakentupfer eines erkrankten Sittichs

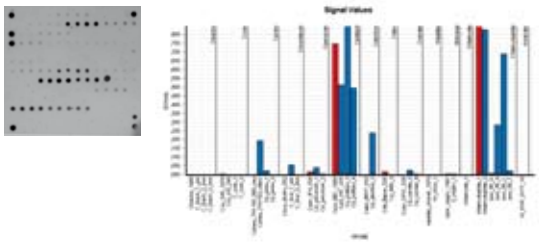


Identität des Erregers: *Chlamydophila psittaci*

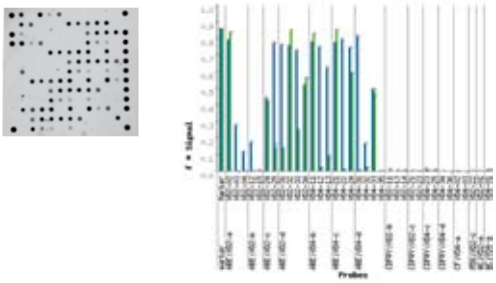


Genotypisierung: *Genotyp A-VS1*

Lungenbiopsie eines erkrankten Patienten



Identität des Erregers: *Chlamydophila psittaci*



Genotypisierung: *Genotyp A-6BC*

Gezeigt sind jeweils die vergrößerte Ansicht des angefärbten Mikroarrays und das dazu gehörige Balkendiagramm der Signalintensitäten. Aus dem Vergleich der Genotypisierungsmuster in der unteren Reihe folgt, dass sich Mensch und Tier aus unterschiedlichen Quellen infiziert haben.

Mehr Sicherheit für die Verbraucher

Arbeitsgruppe Analytik betreibt Spurensuche in Lebens- und Futtermitteln

Iris Lehmann (Karlsruhe) und Fredi Schwägele (Kulmbach)

Wieviel Ziegenfleisch steckt in der Schweinswurst? Nimmt die Dioxin-Belastung in Lebensmitteln zu oder schon ab? Stammt das leuchtende Rot der Paprika-Lyoner vom Gewürz oder ist ein verbotener Azofarbstoff die Ursache? Wo Politik und Verbraucher unsicher sind, kann die Arbeitsgruppe Analytik im Max Rubner-Institut (MRI) weiterhelfen. Mit modernstem hochempfindlichem Gerät ausgestattet, spüren die Wissenschaftler am Standort Kulmbach wertvollen wie unerwünschten Inhaltsstoffen in der ganzen Palette der Lebens- wie auch der Futtermittel nach.

Die Technik in der Analytik schreitet ständig fort. Längst ist es möglich, Spuren der verschiedensten Substanzen in Materialien aller Art nachzuweisen. Doch trivial ist diese Suche nicht. Für Außenstehende sehen die grauen Kästen in modernen Analytik-Laboren alle gleich aus, und auch die Gerätebezeichnung hilft nicht wirklich weiter, gleichgültig, ob die Profis dabei vom ICP-MS (Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometer) oder – vergleichsweise verständlich – vom GC (Gaschromatografen) sprechen. Damit aus dem wilden Zick-Zack der Kurven, die die Geräte ausspucken, der zweifelfreie und selektive Nachweis einer bestimmten Substanz wird, womöglich sogar eine eindeutige Aussage über deren Menge im Produkt, sind viel Erfahrung und Geduld nötig.

Instrumentelle Analytik auf engem Raum

Am Standort Kulmbach des Max Rubner-Instituts widmet sich ein festes Team aus erfahrenen Wissenschaftlern, fallweise und projektbezogen ergänzt durch wechselnde Projektmitarbeiter und junge Nachwuchskräfte aus den Universitäten, in der Arbeitsgruppe Analytik einer ganzen Reihe unterschiedlichster Analytik-Herausforderungen. Aufgabe der im Frühjahr 2008 eingerichteten Gemeinschaftseinrichtung des MRI ist es, produktübergreifend spezielle analytische Fragestellungen bei Lebensmitteln zu bearbeiten, die von den Instituten des MRI mangels entsprechender apparativer Voraussetzungen nicht gelöst werden können. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, dass sich aus einer produktübergreifenden Behandlung der Fragestellungen wertvolle Synergie-Effekte für das gesamte MRI ergeben.

Referenzmaterialien für Dioxin-Nachweis

Ein wichtiges Ziel der Analytik-Arbeitsgruppe ist es, Referenzmaterialien zu erarbeiten und bereitzustellen. So etwa die Referenzmaterialien, mit denen überprüft werden kann, ob das Lebens- und Futtermittelrecht in der Europäischen Union in Hinblick auf die Belastung mit Polychlorierten Biphenylen (PCB) und Dioxinen eingehalten wird. Am Kulmbacher MRI-Standort wurden dafür Brühwurstkonser-

ven auf zwei Kontaminationsniveaus angefertigt. Auf mit PCB- und Dioxin-Standardverbindungen dotierte Materialien verzichteten die Wissenschaftler, sondern verwendeten durch Umwelteinflüsse belastetes Fleisch. Das Wissen über die Belastungssituation für die Vorauswahl des hierfür verwendeten Fleisches bezogen sie aus dem ebenfalls am Standort durchgeführten Forschungsprojekt „Statuserhebung zu Dioxinen und PCB in Futter- und vom Tier stammenden Lebensmitteln". Ein anschließender Test ergab eine sehr gute Homogenität der Referenzmaterialien und stellt belastbare Ergebnisse bei Laborvergleichsuntersuchungen in Aussicht. Grundsätzlich besteht am MRI die Möglichkeit, Referenzmaterialien für unterschiedlichste Kontaminanten, Rückstände und Allergene herzustellen.

Risiken finden und ausschalten

Ein weiteres zentrales Untersuchungsziel der Arbeitsgruppe Analytik ist der Übergang unerwünschter Stoffe innerhalb der Lebensmittelketten, der sogenannte „Carry-over". Erst wenn detailliert bekannt ist, an welchen Stellen einer Futter- oder Lebensmittelkette ein Kontaminations-Risiko etwa mit Umweltchemikalien besteht, können Wege gefunden werden, diesen Eintrag zu vermeiden.

Ebenfalls die ganze Lebensmittelkette im Blick haben die Wissenschaftler bei dem vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) finanzierten Projekt „FreshScan". Hauptziel von FreshScan ist die Entwicklung innovativer Konzepte zur prozessbegleitenden Charakterisierung von Lebensmitteln. Am MRI Kulmbach werden die Referenzanalysen zur Bestimmung der Fleischbeschaffenheit durchgeführt. Immerhin kann sich die Beschaffenheit von Fleischerzeugnissen auf dem Weg von der Produktion über die Lagerung und den Transport bis zum Verbraucher stark verändern. Interessant sind hier die Temperatur während des ganzen Prozesses, die Art der Verpackung und die Lagerzeit. Das MRI arbeitet im Rahmen dieses Projekts mit mehreren Partnern zusammen und führt vor allem (bio)chemische und physikalische Referenzmessungen am Produkt durch. Unter anderem werden biogene Amine mit Hilfe der HPLC-Technik (Hochdruck-Flüssigkeitschromatografie) analysiert. Am Ende soll die Entwicklung schneller, nicht invasiver optischer Messverfahren in Kombination mit einem Mikrochip zur Online-Aufnahme von Lagerungs-Parametern wie Zeit und Temperatur stehen.

Azofarbstoffe: längst verboten, nicht verschwunden

Die Suche nach konkret benannten Schadstoffen in Lebensmitteln gehört zu den ständigen Aufgaben der AG Analytik. Ein Problem sind etwa die sogenannten Sudanfarbstoffe, auch als Azofarbstoffe bekannt. Es handelt sich dabei um Farbstoffe ausschließlich synthetischer Herkunft. Obwohl Sudanfarbstoffe keine Zulassung als Zusatzstoffe haben, wurden sie immer wieder in bestimmen Lebensmitteln festgestellt, etwa in scharfem Chilipulver, das von Ländern außerhalb der Europäischen Union eingeführt wurde. Diese Substanzen mit einem breiten Spektrum an ansprechenden Farben stehen im Verdacht, Mutationen auszulösen und krebserregend zu sein. Zwar lassen sich die Substanzen in Gewürzen, Soßen oder auch Palmöl bis zu einer sehr geringen Nachweisgrenze aufspüren, doch für eiweißreiche erhitzte Produkte war dies bisher weit problematischer. Im Rahmen eines Forschungsprojektes ist es der AG Analytik jedoch gelungen, eine adäquate Analytik für die gefährlichen Substanzen zu entwickeln. Nachdem eine Modell-Lyoner hergestellt war, versuchten die Wissenschaftler mit Hilfe der Hochdruckflüssigkeitschromatografie in Verbindung mit einem UV/VIS-Spektrometer, das wiederum einem Massenspektrometer vorgeschaltet war, sowohl

Die Arbeitsgruppe Analytik (v.l.n.r.): Dr. Sabine Andrée, Direktor und Professor Dr. Fredi Schwägele (Leiter der Arbeitsgruppe), Dr. Wolfgang Jira, Joanna Bestry (nicht mehr am Institut), Dr. Rainer Scheuer, Dr. Manfred Gensler, Dr. Karl-Heinz Schwind

Der Proteinaufschluss nach Kjeldahl hat ein breites Anwendungsfeld

Der automatische Probengeber der GC-MS wird gestartet

den qualitativen Nachweis der Farbstoffe als auch eine quantitaive Bestimmung durchzuführen. Der qualitative Nachweis gelang, allerdings war die Wiederfindungsrate in der Wurst nicht optimal. Aber da Sudanfarbstoffe selbst in kleinsten Mengen in Lebensmitteln verboten sind, ist dies letztlich nicht von Belang.

Ziege in der Schweinswurst

Angesichts der BSE-Problematik stellte sich den Kulmbacher Wissenschaftlern schon vor Jahren eine weitere Aufgabe: die exakte Zuordnung der verwendeten tierischen und pflanzlichen Inhaltsstoffe zu der jeweiligen Spezies. Wieviel Ziegenfleisch ist in der als Ziegenprodukt ausgelobten Salami, stammt der Rehbraten vom afrikanischen Springbock, wie viel Rind ist im Rinderhack und wie viel Erbsenmehl findet sich im Fleischprodukt? Zum Einsatz kommen hier DNA-analytische Methoden. Mit Hilfe der PCR (Polymerase-Kettenreaktion) gelang den Wissenschaftlern eine eindeutige und zuverlässige Identifizierung von zum Beispiel bis einem Prozent Ziegenfleischanteil in den Fleischerzeugnissen aller Erhitzungsstufen einschließlich von Tropenkonserven. Es konnte Tierart-übergreifend festgestellt werden, dass das PCR-Verfahren ein hochspezifisches, sensitives und – wenn es mit der erforderlichen Erfahrung eingesetzt wird – auch robustes Instrument darstellt, die Tierspezies von Fleisch zu identifizieren und gegebenenfalls Verfälschungen in Fleischerzeugnissen nachzuweisen. Mit einem Primersystem gelang es sogar, das Fleisch des Bisons vom nah verwandten Rind zu unterscheiden. Und theoretisch – aber wegen fehlendem Referenzmaterial noch nicht geprüft – scheint das System sogar in der Lage zu sein, das Fleisch des europäischen Bisons, dem Wisent, von dem der amerikanischen Form, dem Bison, zu unterscheiden.

Azofarbstoffe in roter Paprikawurst? Diese Substanzen stehen im Verdacht, Mutationen auszulösen und krebserregend zu sein.

Jodzufuhr per Kuh und Huhn

Doch das MRI ist nicht nur Fälschern auf der Spur: Die Analytik leistet auch einen wichtigen Beitrag für die gesunde Ernährung der Bevölkerung. So stellte sich dem Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) die Frage, ob es möglich ist, die Jod-Versorgung der Menschen auch über tierische Produkte zu verbessern, wenn die Tiere eine entsprechende Jod-Zufuhr bekommen würden. Oder ob eventuell – bei hohen Jodzulagen im Futter – sogar unerwünscht hohe Jodkonzentrationen in Lebensmitteln die Folge sein könnten. Bei einem Fütterungsversuch, der vom Friedrich-Loeffler-Institut (FLI) in Braunschweig durchgeführt wurde, zeigte sich, dass insbesondere die Jod-Konzentration in Milch und Eiern beeinflussbar war. Für das Projekt wurden am MRI Jodanalysen an mehr als 7.000 Proben (Futter, Milch, Eier, Fleisch, Organe, Blutserum, Kot, Harn) mit Hilfe des ICP-MS und (bei einem Teil der Milchproben) zusätzlich mit einer jodselektiven Elektrode durchgeführt. ■

Iris Lehmann, Max Rubner-Institut, Haid-und-Neu-Str. 9, 76131 Karlsruhe. E-Mail: iris.lehmann@mri.bund.de
Dir. u. Prof. Dr. Fredi Schwägele, Max Rubner-Institut, E.-C.-Baumann-Str. 20, 95326 Kulmbach.

Verbesserte Nachweismethode für Gluten

Mehr Sicherheit für Zöliakiekranke

Benedict Geßendorfer, Herbert Wieser
und Peter Köhler (Garching)

Menschen, die an Zöliakie leiden, müssen ein Leben lang auf den Verzehr von Produkten aus Roggen, Weizen, Gerste und auch Hafer verzichten, da die darin enthaltenen Speicherproteine (Gluten) eine schwere Schädigung der Dünndarmschleimhaut verursachen. Die einzige Therapie ist eine lebenslange Diät, bei der die tägliche Aufnahme von Gluten unter 20 mg liegen sollte. Dies bedeutet für die Betroffenen, dass sie eine große Palette von Lebensmitteln wie Brot, Teigwaren und Bier nicht konsumieren dürfen. Für dietätische glutenfreie Lebensmittel ist ein Höchstwert von 20 mg Gluten pro kg Lebensmittel vorgeschrieben. Um diesen Wert genau bestimmen zu können, müssen allerdings geeignete Referenzsubstanzen zur Verfügung stehen.

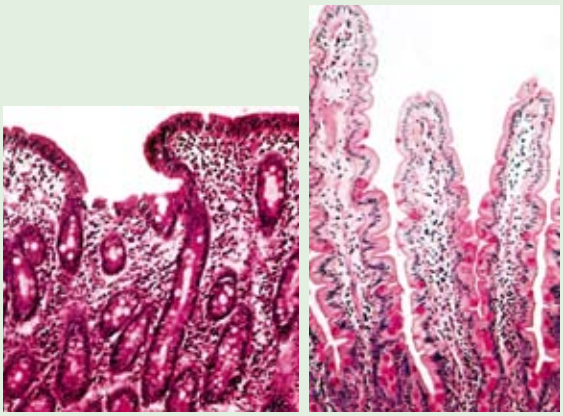
Zöliakie

Bei der Zöliakie, beim Erwachsenen auch als „Einheimische Sprue" bezeichnet, handelt es sich um eine chronisch-entzündliche Erkrankung im Bereich des Dünndarms. Sie beruht auf einer lebenslangen Intoleranz gegenüber den Speicherproteinen des Weizens (Gliadine und Glutenine), der Gerste (Hordeine), des Roggens (Secaline) und möglicherweise auch des Hafers (Avenine). Diese Proteine werden im Zusammenhang mit Zöliakie auch als „Gluten" bezeichnet. Da bei der Verarbeitung von Weizenmehl das Gluten dafür sorgt, dass der Teig elastisch bleibt und Flüssigkeit gebunden wird, wird es auch als Klebereiweiß bezeichnet.

Für die Schädigung der Dünndarmschleimhaut sind nicht die Speicherproteine selbst verantwortlich, sondern deren Bruchstücke (Peptide), die im Verdauungstrakt gebildet werden. Besonders die Proteinabschnitte, die reich an den Aminosäuren Prolin und Glutamin sind, können von Protein abbauenden Enzymen des Magens und Darms nicht vollständig verdaut werden.

Wenn nun diese Peptide aus mehr als acht Aminosäureresten bestehen, lösen sie bei Zöliakie-Patienten eine entzündliche Immunreaktion aus: Die Peptide dringen in das lymphatische Gewebe ein, werden dort von zöliakiespezifischen Zellen gebunden und stimulieren T-Lymphozyten, die daraufhin die Entzündung und Zerstörung der Darmzotten herbeiführen.

Die zurzeit einzig mögliche, aber auch notwendige therapeutische Maßnahme ist eine strikte glutenfreie Diät. Die tägliche Aufnahme



Gewebeschnitt atrophischer Dünndarmschleimhaut (li.) – zum Vergleich: normale Dünndarmschleimhaut (re.)

Deutsche Zöliakie Gesellschaft e.V.

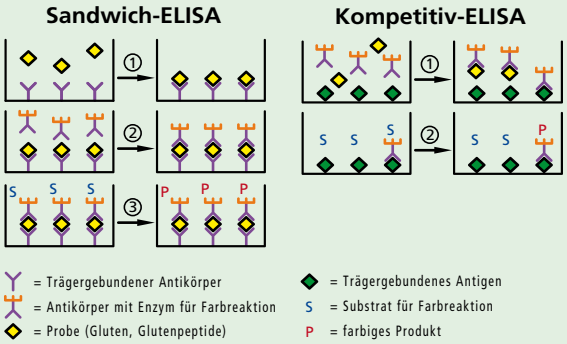
von Gluten sollte unter 20 mg liegen, welches in etwa dem hundertsten Teil einer Brotscheibe entspricht. Dies bedeutet für den Betroffenen den Verzicht auf sämtliche Gerste-, Weizen-, Roggen-, und Haferprodukte. Sie müssen auf „glutenfreie Lebensmittel" zurückgreifen, die zum Beispiel aus Mais, Hirse oder Reis hergestellt werden. Dietätische glutenfreie Lebensmittel unterliegen dem „Codex Alimentarius Standard for Special Dietary Use for Persons Intolerant to Gluten"; sie dürfen einen Höchstwert von 20 mg Gluten pro kg Lebensmittel nicht überschreiten. Als Gluten werden dabei nicht nur intakte Speicherproteine gesehen, sondern auch deren Bruchstücke (Peptide). Dies bezieht sich insbesondere auf Lebensmittel, die durch Fermentation hergestellt werden, wie zum Beispiel Bier oder Malztrunk, da hierbei die im Rohstoff enthaltenen Proteine teilweise oder vollständig in Peptidfragmente gespalten werden. Daher sind auch solche Lebensmittel nicht glutenfrei und für Zöliakiekranke ungeeignet.

Immunchemischer Nachweis von Gluten

Die Bestimmung der Glutengehalte in Lebensmitteln erfolgt heute in den meisten Fällen mittels einer immunchemischen Nachweismethode, dem ELISA (Enzyme Linked Immunosorbent Assay). Ein ELISA ist ein analytischer Test, der sich die spezifische Wechselwirkung zwischen einem Antigen und seinem Antikörper zunutze macht, um die Konzentration von einem der beiden zu bestimmen. Hierbei bedient man sich eines Enzyms als Marker. Dadurch kann die Konzentration des Antigens über den Substratumsatz bestimmt werden.

Generell können zwei wesentliche ELISA-Systeme unterschieden werden (Abb.1). Bei dem Sandwich-ELISA dockt das zu bestimmende Protein (Antigen) mit seiner Bindungsstelle (Epitop) an den Antikörper, der sich im Testsystem befindet, an. Die quantitative Erfassung dieser Komplexe erfolgt durch Zugabe eines weiteren Antikörpers, der durch Markierung mit einem Enzym durch eine Farbreaktion sichtbar gemacht werden kann. Damit der zweite Antikörper an den primären Antigen-Antikörper-Komplex binden kann, muss das zu bestimmende Antigen mindestens zwei spezifische Bindungsstellen aufweisen, was bei hochmolekularen Proteinen in der Regel der Fall ist. Bei dem Kompetitiv-ELISA wird kein enzymmarkierter Antikörper, sondern ein enzymmarkiertes Antigen zugegeben. Dieses konkurriert mit dem nicht-enzymmarkierten Antigen aus der entsprechenden Lebensmittelprobe um die Bindungsstelle am Antikörper. Über eine Kalibrierkurve kann der Verdrängungsgrad und damit seine Konzentration bestimmt werden. Bei dieser Variante des ELISA muss also nur ein Epitop vorliegen. In der Regel weisen niedermolekulare Peptide diese strukturellen Eigenschaften auf. Daher können beide Methoden für die Quantifizierung von intaktem Gluten verwendet werden, für die Quantifizierung von Glutenabbauprodukten ist allerdings nur der Kompetitiv-ELISA geeignet, weil die Peptide aus dem Gluten in der Regel so kurz sind, dass sie nur eine Bindungsstelle für die Wechselwirkung mit dem Antikörper aufweisen.

Abb. 1: Schematische Darstellung eines Sandwich- und eines Kompetitiv-ELISA



Zu beachten ist weiterhin, dass der verwendete Antikörper sowohl im Sandwich- als auch im Kompetitiv-ELISA nur einen Teil des Glutens detektiert. Nachgewiesen werden nur die sogenannten Prolamine, bei denen es sich um diejenigen Speicherproteine handelt, die in wässrigen Alkoholen löslich sind und einen hohen Gehalt an den Aminosäuren Glutamin und Prolin aufweisen. Diese werden beim Weizen als Gliadin, bei der Gerste als Hordein und beim Roggen als Secalin bezeichnet. Unberücksichtigt bleiben die in wässrigen Alkoholen unlöslichen Speicherproteine, die sogenannten Gluteline. Da Gluten die Summe aus Prolaminen und Glutelinen darstellt und im Weizen das Verhältnis dieser beiden Fraktionen etwa gleich ist, wird vereinbarungsgemäß die Prolaminkonzentration mit dem Faktor 2 multipliziert, um auf den Glutengehalt zu kommen.

Um die bei der Messung der Farbreaktion erhaltenen Intensitäten in Konzentrationen umzurechnen, ist es erforderlich, den ELISA-Test zu kalibrieren. Dazu werden definierte Konzentrationen einer geeigneten Referenzsubstanz analysiert und die erhaltenen Ergebnisse in Form einer Kalibrierfunktion dargestellt. Aus dieser kann bei der Analyse von Proben die gemessene Farbintensität direkt in eine Konzentration umgerechnet werden. Dabei ist zu beachten, dass die Referenzsubstanz mit den zu bestimmenden Verbindungen identisch oder ihnen möglichst ähnlich ist, um bei der Probe und der Referenz dieselbe Abhängigkeit zwischen Signalintensität und Konzentration zu erhalten. Für die Bestimmung von Gluten in Lebensmitteln steht bisher als Referenzsubstanz das sogenannte PWG-Gliadin zur Verfügung (PWG: Prolamin Working Group). Dabei handelt es sich um die intakten Gliadine der wichtigsten europäischen Weizensorten, weshalb diese Referenzsubstanz für die Bestimmung von intakten Gluten mit dem Sandwich-ELISA geeignet ist. Für die Quantifizierung von teilweise abgebautem Gluten, wie sie in fermentierten Lebensmitteln vorkommen, steht eine Referenzsubstanz bisher allerdings nicht zur Verfügung. Daher war das Ziel der dargestellten Untersuchungen die Entwicklung einer geeigneten Referenz für den Kompetitiv-ELISA.

Entwicklung einer geeigneten Referenz für den Kompetitiv-ELISA

Um eine Referenz für den Kompetitiv-ELISA herzustellen, wurden die Prolamin-Fraktionen der Speicherproteine aus Weizen, Gerste und Roggen verwendet. Gliadin, Hordein und Secalin wurden zunächst aus den entsprechenden Getreidemehlen durch Extraktion mit wässrigem Ethanol isoliert und anschließend mittels zweier

Enzyme (Pepsin und Trypsin) in Peptide gespalten, um die bei der Herstellung fermentierter Lebensmittel ablaufenden Abbaureaktionen nachzuahmen. Die erhaltenen Peptidgemische (Hydrolysate) wurden in gefriergetrockneter Form gelagert und für die folgenden Untersuchungen eingesetzt. Zunächst wurden über die Bestimmung der Stickstoffgehalte die enthaltenen Mengen an Peptid ermittelt. Dieser Peptidgehalt entsprach der vor dem Abbau vorliegenden Proteinmenge und war damit die Grundlage der Bestimmung des Glutengehaltes in fermentierten Lebensmitteln.

Bevor die neuen Referenzen an fermentierten Lebensmittelproben zum Einsatz kamen, wurden der Sandwich- und der Kompetitiv-ELISA verglichen, wobei in beiden Tests PWG-Gliadin als Referenz eingesetzt wurde. Als „Proben" dienten die intakten Prolamine aus Weizen, Roggen und Gerste sowie deren Hydrolysate, die später als neue Referenzen verwendet werden sollten. Um die beiden Methoden vergleichen zu können, wurden die mit intaktem Gliadin ermittelten Messwerte auf 100 gesetzt. Die erhaltenen Daten sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tab. 1: Prolaminäquivalente von intakten Prolaminfraktionen und von Prolaminhydrolysaten (40 µg Protein bzw. Peptid pro Milliliter Lösung), bestimmt mittels Sandwich- und Kompetitivem ELISA

Referenz	Prolaminäquivalte Sandwich-ELISA [1]	Prolaminäquivalte Kompetitiver ELISA [1]
Gliadin [2]	=100,0 ± 4,5	=100,0 ± 6,1
Secalin	112,2 ± 6,5	104,8 ± 4,2
Hordein	117,4± 2,7	114,0 ± 6,9
Gliadinhydrolysat [3]	39,8 ± 1,6	62,9 ± 4,0
Secalinhydrolysat [3]	43,7 ± 1,8	72,7 ± 7,1
Hordeinhydrolysat [3]	40,4 ± 4,3	74,8 ± 6,3

[1] Mittelwert aus drei Bestimmungen ± Standardabweichung, [2] PWG-Gliadin; Äquivalente auf 100,0 gesetzt, [3] Hydrolyse mit Pepsin und Trypsin

Es zeigte sich, dass der Kompetitiv-ELISA insbesondere im Hinblick auf die Quantifizierung der Hydrolysate deutlich empfindlicher war als der Sandwich-ELISA. So konnten hier durchschnittlich etwa 70 % der Referenz wiedergefunden werden, im Sandwich-ELISA nur etwa 40 %. Ein Vergleich der verschiedenen Hydrolysate untereinander zeigte zusätzlich auch einen generell besseren Nachweis der Peptide aus Roggen und Gerste im Vergleich zu denen aus Weizen.

Glutengehalt in fermentierten Getränken

Um zu überprüfen, inwieweit ein Nachweis der Peptide in Lebensmitteln möglich ist, wurden verschiedene fermentierte Getränke untersucht. Als Testmaterial dienten die aus Gerstenmalz hergestellte Bionade®, zwei glutenfreie Biere, ein Malzgetränk, sowie ein aus Roggen- und Weizenbrot hergestellter Brottrunk. Der Glutengehalt dieser vier Getränke wurde sowohl mittels Sandwich-ELISA als auch mittels Kompetitiv-ELISA bestimmt. Als Referenz wurde für den

Tab. 2: Glutengehalte verschiedener Getränke, bestimmt mittels Sandwich- und Kompetitivem ELISA [1]

Getränk	Glutengehalt [mg/kg] Sandwich-ELISA [2]	Glutengehalt [mg/kg] Kompetitiver ELISA [3]
Bionade®	< 4,0	< 4,6
Malztrunk	20,5 ± 1,4	32,3 ± 1,8
Brottrunk	25,4 ± 1,2	36,0 ± 2,2
Glutenfreies Bier 1	< 4,0	15,6 ± 0,8
Glutenfreies Bier 2	nicht bestimmt	8,1 ± 1,1

[1] Mittelwert aus drei Bestimmungen ± Standardabweichung, [2] Referenzsubstanz: PWG-Gliadin, [3] Referenzsubstanz: Mit Pepsin und Trypsin hydrolysiertes Hordein

Sandwich-ELISA PWG-Gliadin und für den Kompetitiv-ELISA das hergestellte Hydrolysat aus Gerste (Hordeinhydrolysat) verwendet. Tabelle 2 zeigt die ermittelten Glutengehalte. Die Ergebnisse zeigten, dass Gluten in den fermentierten Lebensmitteln mit dem Kompetitiv-ELISA deutlich empfindlicher nachgewiesen wurde als mit dem Sandwich-ELISA. So waren die mittels Kompetitiv-ELISA gemessenen Mengen der Kleberabbaupodukte (Glutenpeptide) sowie die daraus berechnete Menge an Gluten gegenüber dem Sandwich-ELISA signifikant erhöht. Weiterhin wurde deutlich, dass die als glutenfrei bezeichneten Biere tatsächlich keine Glutengehalte oberhalb des Grenzwertes aufwiesen, was auch für die aus Gerstenmalz hergestellte Bionade galt. Brottrunk und Malztrunk, die als konventionelle Lebensmittel vermarktet werden, waren nicht glutenfrei.

Neben dem etablierten Sandwich-ELISA mit PWG-Gliadin als Referenz zur Bestimmung von intaktem Gluten steht nun eine neue Referenz für die Bestimmung von teilweise abgebautem Gluten zur Verfügung. Die hergestellten enzymatischen Hydrolysate der Prolamine aus Weizen, Gerste und Roggen bieten in Kombination mit dem kommerziell erhältlichen Kompetitiv-ELISA einen sehr empfindlichen Nachweis von partiell hydrolysiertem Gluten in fermentierten Lebensmitteln. Dies bedeutet mehr Sicherheit für Zöliakiekranke, da der Glutengehalt in fermentierten Lebensmitteln nun zuverlässiger als zuvor bestimmt werden kann. Vorteile sind aber auch für Lebensmittelhersteller denkbar. Bisher wurden fermentierte Lebensmittel auf Weizen-, Gersten- oder Roggenbasis häufig vorsorglich als glutenhaltig eingestuft, da es keine Möglichkeit gab, den Glutengehalt zu ermitteln. Mit der verbesserten Analytik ist dies nun möglich. Auf diese Weise könnte sich die Palette an geeigneten Lebensmitteln erweitern und den Speisezettel von Zöliakiekranken bereichern. ■

Benedict Geßendorfer, Dr. Herbert Wieser und Prof. Dr. Peter Köhler, Deutsche Forschungsanstalt für Lebensmittelchemie, Lichtenbergstraße 4, 85748 Garching.
E-Mail: peter.koehler@lrz.tum.de

» Danksagung:
Die Autoren bedanken sich bei der Leibniz-Gemeinschaft für die finanzielle Unterstützung des Projektes.

Die ZEBET arbeitet daran, Tierversuche zu ersetzen, die Zahl der Versuchstiere zu reduzieren oder das Leiden von Versuchstieren zu vermindern.

20 Jahre ZEBET im BfR

Den Tierschutz im Labor verbessern

Seit nunmehr 20 Jahren ist ZEBET, die Zentralstelle zur Erfassung und Bewertung von Ersatz- und Ergänzungsmethoden zum Tierversuch, die Ansprechstelle in Deutschland für alle Fragen, wie Tierversuche so gestaltet werden können, dass die Zahl der eingesetzten Tiere und ihre Belastung im Versuch möglichst niedrig sind. Beantwortet wird hier auch die Frage, ob der Tierversuch mit Hilfe von Ersatzmethoden sogar ganz umgangen werden kann. Darüber hinaus tragen die ZEBET-Wissenschaftler mit eigenen technischen Entwicklungen dazu bei, das Leiden von Versuchstieren im Dienst der Sicherheit des Menschen zu vermindern.

Tierversuche sind auch heute noch bei einer Reihe von wissenschaftlichen Fragestellungen nötig. Zumeist geht es um die Entwicklung neuer Arzneistoffe und medizinischer Therapien und um die Prüfung der Sicherheit solcher Produkte, bevor sie am Menschen angewandt werden. Ein weiteres Feld, auf dem Tierversuche gesetzlich vorgeschrieben sind, ist die Prüfung der gesundheitlichen Auswirkungen von Chemikalien. Auch in der biologischen Grundlagenforschung werden Versuchstiere eingesetzt.

Dieses Streben nach Sicherheit für Patienten und Verbraucher sowie nach wissenschaftlicher Erkenntnis muss den im Grundgesetz verankerten Tierschutzgedanken berücksichtigen (Artikel 20a: „Der Staat schützt auch in Verantwortung für die künftigen Generationen die natürlichen Lebensgrundlagen und die Tiere …"). Im deutschen Tierschutzgesetz wurde festgelegt, dass Tierversuche nur durchgeführt werden dürfen, „wenn der verfolgte Zweck nicht durch andere Methoden oder Verfahren erreicht werden kann." Ganz im Sinne dieses Gesetzes recherchieren Wissenschaftler, bevor sie einen Tierversuch durchführen, ob nicht eine Ersatzmethode existiert, welche die gestellte Frage ebenso gut oder vielleicht sogar besser beantwortet als der Tierversuch. Damit sie dabei auch fündig werden, hat die Bundesregierung im Jahr 1989 die „Zentralstelle zur Erfassung und Bewertung von Ersatz- und Ergänzungsmethoden zum Tierversuch", kurz ZEBET, ins Leben gerufen. Der Auftrag dieser Institution, die am Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) in Berlin beheimatet ist, besteht darin,

1. Ersatzmethoden zum Tierversuch zu entwickeln bzw. deren Entwicklung durch die Vergabe von Forschungsmitteln zu stimulieren,
2. die Aussagekraft und den Einsatzbereich solcher Ersatzmethoden zu validieren (wissenschaftlich zu überprüfen) und ihre behördliche Anerkennung zu fördern,
3. recherchierenden Wissenschaftlern alle nötigen Informationen über in Frage kommende Ersatz- und Ergänzungsmethoden in einer Datenbank frei zur Verfügung zu stellen.

Im Reagenzglas ein Höchstmaß an Komplexiztät simulieren

Bei der Entwicklung von Ersatzmethoden kommt innovative Spitzentechnologie aus den Bereichen Zell- und Gewebekultur, Immunologie und Molekularbiologie zum Einsatz. Dabei müssen die ZEBET-Mitarbeiter stets einen „wissenschaftlichen Spagat" vollführen: Einerseits müssen die entwickelten in-vitro-Techniken („im Reagenzglas") so robust und praktikabel sein, dass sie in Labors mit unterschiedlichen

Standards erfolgreich eingesetzt werden können. Andererseits müssen sie ein Höchstmaß an Komplexität abbilden – denn nur dann können sie anstelle des Tierversuchs herangezogen werden. In den letzten 20 Jahren ist es den ZEBET-Wissenschaftlern gelungen, eine ganze Reihe von Ersatzmethoden zu entwickeln, die in europäische Richtlinien oder sogar solche der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) übernommen wurden.
Auch die neuen Ideen anderer Methoden-Entwickler werden auf ihrem Weg von der Ausgangsprozedur bis hin zur behördlich anerkannten Ersatzmethode von den ZEBET-Wissenschaftlern begleitet und gegebenenfalls optimiert. Dem aufwendigen Prozess der Validierung (wissenschaftliche Überprüfung) folgt die wissenschaftliche Empfehlung und behördliche Anerkennung.

Möglichen Alternativen auf der Spur

Ist eine Ersatzmethode anerkannt, findet sie Eingang in die amtlichen Regelwerke, zum Beispiel die Bestimmungen über zulässige Testmethoden in der EU. Doch bereits im Vorfeld haben Wissenschaftler die Möglichkeit, sich über Methoden zu informieren, die noch im Stadium der Entwicklung oder der Validierung sind.
Dazu dient die online zugängliche Datenbank AnimAlt-ZEBET, in der Wissenschaftler, Mitarbeiter von Genehmigungsbehörden und auch alle anderen Personen kostenfrei Informationen über ein breites Spektrum geeigneter Ersatzmethoden abrufen können. In dieser Datenbank liegt das aktuelle Wissen aus dem Bereich der Entwicklung und Validierung von Alternativmethoden in konzentrierter Form vor.

Das 3R-Prinzip für Ersatz- und Ergänzungsmethoden

ZEBET verwendet den Begriff der Ersatz- und Ergänzungsmethoden entsprechend dem Prinzip der „3R" von Russel & Burch (1959). Darunter sind alle wissenschaftlichen Methoden zu verstehen, die mindestens eine der drei Anforderungen erfüllen:

- durch die Anwendung der Methode werden Tierversuche ersetzt („**R**eplacement");
- die Zahl der Versuchstiere wird reduziert („**R**eduction");
- das Leiden und die Schmerzen der Versuchstiere werden vermindert („**R**efinement").

Nationales Referenzlabor für Alternativmethoden

Die europäische Richtlinie zum Schutz von Versuchstieren (86/609/EWG), die auch dem deutschen Tierschutzgesetz zugrunde liegt, befindet sich zurzeit im Stadium der Revision. Ein wichtiger Neuerungsvorschlag der Europäischen Kommission ist die EU-weite Einrichtung von nationalen Referenzlaboren für Alternativmethoden. Dabei ist ein Aufgabenprofil vorgesehen, das dem der ZEBET entspricht. Dieser Vorschlag der Kommission würdigt damit auf die denkbar anerkennendste Art und Weise den in 20 Jahren erzielten Erfolg der Institution ZEBET. ■

Dr. Daniel Butzke, Bundesinstitut für Risikobewertung, ZEBET, Diedersdorfer Weg 1, 12277 Berlin. Internet: www.bfr.bund.de/cd/1433. E-Mail: zebet@bfr.bund.de

Auswertung des Embryonalen Stammzelltests am Mikroskop

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR)

Fördern, beraten, koordinieren

Im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) treibt die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) seit 1993 als institutioneller Zuwendungsempfänger des BMELV die Nutzung land- und forstwirtschaftlicher Rohstoffe voran. Sie koordiniert alle Aktivitäten rund um nachwachsende Rohstoffe in Deutschland, von der Forschungsförderung über die Beteiligung an EU-Projekten bis hin zur Beratung unterschiedlichster Zielgruppen.

Die FNR organisiert eigene Veranstaltungen, publiziert zwei Schriftenreihen, betreut Wettbewerbe und unterhält mehrere Internetportale. Die Einrichtung ist in Gülzow, Mecklenburg-Vorpommern, angesiedelt und hat zurzeit 55 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter.

Die Ziele

Seit den 80er Jahren setzt sich die Bundesregierung dafür ein, dass nachwachsende Rohstoffe stärker genutzt werden. Dazu ist intensive Forschung nötig, denn trotz der Fortschritte in den letzten Jahren gibt es sowohl bei der energetischen als auch bei der stofflichen Nutzung einen erheblichen Rückstand gegenüber den fossilen Konkurrenten aufzuholen.

Dienstgebäude der FNR in Gülzow

Mit der Unterstützung von Forschung und Markteinführung will die Bundesregierung:

- nachhaltig Rohstoffe und Energie bereitstellen,
- die Umwelt durch besonders ökologische Produkte entlasten,
- die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Land- und Forstwirtschaft sowie der ihr vor- und nachgelagerten Bereiche stärken.

Förderung

Auf Basis des Förderprogramms „Nachwachsende Rohstoffe" und der Förderrichtlinie „Demonstrationsvorhaben Bioenergie" unterstützt die FNR jährlich rund 300 Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsprojekte zu nachwachsenden Rohstoffen. Ziel ist es, heimische nachwachsende Rohstoffe voranzubringen, damit sie, wo möglich, fossile Ressourcen sinnvoll und effektiv ersetzen, vor allem aber auch innovative neue Anwendungen ermöglichen. Über Förderschwerpunkte, deren thematische Ausrichtung die FNR in intensiver Abstimmung mit Wissenschaft und Wirtschaft auslotet, werden Projekte gezielt angestoßen.

Beratung

Die FNR steht sowohl Bund, Ländern, Industrie, Land- und Forstwirtschaft als auch Privatpersonen als Beratungseinrichtung zur Verfügung.

Gerade die Verbraucherinformation spielt eine große Rolle. Denn trotz zunehmender Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen als Energieträger und Ausgangsmaterial einer breiten Produktpalette bedarf es einiger Aufklärung. Vielleicht könnte man sogar sagen: Gerade weil die Nachfrage zunimmt, steigt das Bedürfnis nach Information; die Fragen werden spezifischer und teilweise auch kritischer. Die FNR deckt alle Bereiche ab: Von der grundlegenden

Holz ist der mengenmäßig wichtigste nachwachsende Rohstoff, der sowohl energetisch als auch stofflich vielfältig genutzt wird.

Aufklärung, die mit Kinderbüchern und Lehrmaterialien bereits im Kindergartenalter ansetzt, bis hin zu Fachinformationen über Forschungsergebnisse. Einen besonderen Schwerpunkt bildet seit 2003 die Bioenergieberatung, die sich anwendungsbezogen an Betreiber, Planer, Investoren und Verbraucher wendet, die selbst Energie aus Biomasse erzeugen und nutzen möchten.

Die Bioenergieberatung der FNR:
www.bio-energie.de
info@bio-energie.de
03843/6930-199

Die Beratung Bauen und Wohnen wendet sich an Bauherren, Architekten und ausführende Handwerksbetriebe, die die zahlreichen innovativen Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen beim Hausbau oder bei der Innenausstattung nutzen wollen. Die Vorteile für Gesundheit, Wohnqualität und Umwelt liegen auf der Hand. Größeres Vertrauen in Haltbarkeit und Handhabbarkeit von Naturbaustoffen soll durch kompetente Beratung geschaffen werden.

Die Bauberatung der FNR:
www.natur-baustoffe.info
info@natur-baustoffe.info
03843/6930-180

EU-Projekte

Auch auf internationaler Ebene hat das Thema Nachwachsende Rohstoffe in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen, in vielen Staaten der Europäischen Union werden entsprechende Forschungsprojekte gefördert. Um einen Austausch über Ländergrenzen hinweg zu verbessern und die europäische Forschung in diesem Bereich zu unterstützen, betreut die EU-Gruppe der FNR eine Reihe transnationaler Projekte. Beispielsweise werden gemeinsam staatenübergreifende Forschungs- und Entwicklungsvorhaben gefördert oder Empfehlungen für die nachhaltige Bereitstellung von Biomasse erarbeitet.

Die FNR informiert auf zahlreichen Messen rund ums Thema nachwachsende Rohstoffe.

Auch die Arbeit europäischer Initiativen wie der Europäischen Technologieplattform Biokraftstoffe (European Biofuels Technology Platform) wird durch ein bei der FNR und anderen europäischen Partnern angesiedeltes Sekretariat unterstützt. ■

Nicole Paul, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V., Hofplatz 1, 18276 Gülzow.
E-Mail: n.paul@fnr.de, Internet: www.fnr.de

Forschung im Biogaslabor

Deutsches BiomasseForschungsZentrum (DBFZ)

Forschung für die Energie der Zukunft

Die weltweite Energienachfrage wird bis zum Jahr 2030 voraussichtlich um das anderthalbfache ansteigen. Damit steigt auch die Bedeutung von Biomasse als umweltfreundlicher und klimaverträglicher Energieträger. Das birgt viele Herausforderungen, denen sich die mehr als 100 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Deutschen BiomasseForschungsZentrums (DBFZ) stellen.

Die energetische Nutzung von Biomasse ist eine wesentliche Säule der künftigen Energieversorgung. Die weiterentwickelte Nutzung der Bioenergie soll wichtige Beiträge zum Klimaschutz, zur Sicherheit der Energieversorgung und zur Wertschöpfung insbesondere im ländlichen Raum leisten. Um die Forschung zur energetischen Nutzung der Biomasse zu stärken, wurde im Februar 2008 das Deutsche BiomasseForschungsZentrum (DBFZ) als gemeinnützige GmbH mit Sitz in Leipzig gegründet. Alleingesellschafter des DBFZ ist die Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz.

Das DBFZ widmet sich der Frage, wie man die Potenziale der Bioenergie, die aus Biomasse hergestellt wird, am effizientesten nutzen kann – und zwar unter technischen, ökonomischen und ökologischen Aspekten. Um Antworten zu finden, sind die Wissenschaftler unter anderem auf der Suche nach verbesserten Prozessen und Verfahren zur Herstellung und Umwandlung von festen, flüssigen und gasförmigen Bioenergieträgern. Hierfür werden am DBFZ Experimente und praktische Versuche im Labor und Technikum sowie Potenzialanalysen, Machbarkeitsstudien und andere Systembetrachtungen durchgeführt.

Die Forscher verfolgen dabei das Ziel, die Umwandlung von Biomasse in Bioenergie technisch einfacher und sicherer, ökologisch unbedenklicher, ökonomisch vielversprechender und in der Bevölkerung akzeptabler zu machen. Daneben berät das DBFZ private und öffentliche Einrichtungen.

Die Arbeit in den einzelnen Bereichen

Konkret arbeiten die Wissenschaftler des DBFZ interdisziplinär in den Bereichen Bioenergiesysteme, Biogastechnologie, Biokraftstoffe, Biomasseverbrennung, Thermo-chemische Prozesstechnik und Internationales.

Der Bereich „Bioenergiesysteme" untersucht unter anderem Biomassepotenziale in unterschiedlichen geografischen Maßstäben. Zusätzlich werden Möglichkeiten einer nachhaltigen Nutzung im Vergleich zu anderen erneuerbaren Energien bewertet.

Die Hauptziele der Forschungstätigkeit im Bereich „Biogastechnologie" sind die Verbesserung der technischen, wirtschaftlichen und ökologischen Effizienz der Biogasproduktion und -nutzung. So gilt

es, den Methanertrag aus den unterschiedlichsten Substraten bzw. Substratgemischen zu erhöhen und die Verluste im Verlauf der gesamten Bereitstellungskette von der Substraterzeugung bis zur Konversionsanlage zu minimieren.

Forschungsgegenstand im Bereich „Biokraftstoffe" sind Fragestellungen rund um die verschiedenen Biokraftstoff-Optionen. Wesentliche Aufgaben sind Prüfstandsuntersuchungen sowie die Analyse und Bewertung der Produktion und Nutzung heutiger und zukünftiger Biokraftstoffe. Im Fokus stehen dabei die technisch-ökonomische Umsetzbarkeit sowie umweltrelevante Aspekte im Kontext der derzeitigen und zukünftigen Nachhaltigkeitsziele.

Der Bereich „Biomasseverbrennung" trägt mit seiner Forschungsarbeit zu einer energieeffizienteren, ökologisch verträglichen und ökonomisch besser darstellbaren Wärmebereitstellung aus biogenen Festbrennstoffen bei. Hier wird unter anderem untersucht, wie die Ressourcenbasis zur Bereitstellung von biogenen Festbrennstoffen verbreitert werden kann. Zusätzlich müssen die heute marktgängigen Verbrennungsanlagen optimiert und neue Geräte für die sich ändernden Anforderungen (z.B. kleinerer Leistungsbereich) entwickelt werden.

Im Bereich „Thermo-chemische Prozesstechnik" werden Verfahren, Prozesse und Anlagen zur Umwandlung von fester Biomasse in Wärme, Strom sowie flüssige und insbesondere gasförmige Brennstoffe weiterentwickelt und optimiert.

Der Bereich „Internationales" verfolgt das Ziel, Forschungs- und Entwicklungsprojekte mit ausgewählten Ländern durchzuführen, um die Möglichkeiten und Grenzen, Biomasse zur Energiegewinnung unter unterschiedlichen Rahmenbedingungen verstärkt zu nutzen, besser zu verstehen.

Nimmt man die Klimaschutzziele ernst, muss die Energieversorgung der Zukunft zu einem guten Teil durch regenerative Energien sichergestellt werden – Biomasse ist dabei national und global eine wesentliche Option. Mit seinen Arbeiten will das DBFZ dazu beitragen, die Biomasse zunehmend mehr im Energiesystem sowohl in Deutschland als auch weltweit zu verankern – und zwar nachhaltig. Das bedeutet, dass Biomasse zukünftig technisch effizienter, umweltfreundlicher und kostengünstiger zu Bioenergie umgewandelt werden muss. Hierbei ist das DBFZ auf einem guten Weg: Bereits im Gründungsjahr 2008 hat es insgesamt 108 Forschungsprojekte erfolgreich umgesetzt. ■

Der Sitz des DBFZ in Leipzig

Antje Sauerland, Deutsches Biomasse-ForschungsZentrum gGmbH, Presse- und Öffentlichkeitsarbeit, Torgauer Str. 116, 04347 Leipzig.
E-Mail: antje.sauerland@dbfz.de, Internet: www.dbfz.de

Biomasseverbrennung

Johann Heinrich von Thünen-Institut

Neuartiges Freilandlabor für Bäume

Mit dem ‚Drylab' lassen sich künftige klimatische Bedingungen simulieren

Am 9. Juni 2009 wurde in Eberswalde am Institut für Waldökologie und Waldinventuren des Johann Heinrich von Thünen-Instituts (vTI) das neue Freiland-Trockenlabor „Drylab" eingeweiht – ein Experimentallabor, mit dem sich unter Freilandbedingungen untersuchen lässt, wie junge Waldbäume auf Trockenheit reagieren. Damit können die Wissenschaftler eine wichtige Auswirkung des Klimawandels – zunehmende Sommertrockenheit – simulieren.

Das Drylab besteht aus einer Anlage von acht Bodensäulen mit jeweils 2 m² Oberfläche, die ebenerdig in das Freiland eingelassen sind. In jede Bodensäule können mehrere junge Bäume gepflanzt werden. Mithilfe eines verschiebbaren, lichtdurchlässigen Daches lassen sich kontrollierte Trockenheitsbedingungen herstellen. Unter der Erde verbirgt sich jede Menge HighTech: Feuchtigkeitssensoren messen an zahlreichen Punkten den Wassergehalt im Boden. In 64 Röhrchen können spezielle Kameras auf und ab fahren, um das Wurzelwachstum sichtbar zu machen. Besonders hiervon erhoffen die Wissenschaftler einen echten Erkenntniszuwachs, denn die Reaktion der Feinwurzeln auf Trockenheit ist bislang wenig erforscht.

M. Welling

Das „Drylab" in Eberswalde. Das sensorgesteuerte Dach schiebt sich bei Regen automatisch über die jungen Bäume.

Für den ersten Versuchsdurchgang wird das Drylab mit jungen Rotbuchen aus verschiedenen europäischen Regionen bestückt. Institutsleiter Prof. Dr. Andreas Bolte: „Die Rotbuche ist bei uns die wichtigste Baumart in naturnahen Wäldern und spielt für künftige Aufforstungen eine zentrale Rolle. Mit dem Versuch wollen wir testen, welche Buchenherkünfte am besten mit den Klimaverhältnissen der Zukunft zurechtkommen." Gerade junge Bäume hätten eine besondere Aussagekraft, da sie am schnellsten wüchsen, aber auch mit ihrem flachen Wurzelsystem am empfindlichsten seien. Der Versuch ist auf mehrere Jahre angelegt.

Mit der 200.000 Euro teuren Anlage lassen sich realitätsnahe Aussagen zur zukünftigen Gefährdung heutiger Wälder machen und Strategien zur Anpassung an die erwarteten Klimaänderungen entwickeln. Die Ergebnisse sind von zentralem Interesse für die deutsche Forstwirtschaft und für forstpolitische Entscheidungen des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV). ■

Johann Heinrich von Thünen-Institut

Experten diskutierten über „Pflanzenkohle"

Hydrothermale Carbonisierung: Dieser etwas sperrige Begriff bezeichnet ein Verfahren, mit dem sich landwirtschaftliche Reststoffe wie beispielsweise Zuckerrübenblätter unter Druck und hohen Temperaturen zu einer Art Kohle umwandeln lassen. Die so genannte „Pflanzenkohle" kann zur Energiegewinnung, als Grundstoff für die chemische Industrie oder auch zur Bodenverbesserung eingesetzt werden. Wie realistisch sind diese Anwendungsfelder in der Praxis? Darüber diskutierten am 5. März 2009 auf Einladung des Johann Heinrich von Thünen-Instituts (vTI) rund 150 Experten auf einer Fachveranstaltung im Berliner Bundespresseamt.

Das seit längerem bekannte Verfahren zur Herstellung von Kohle aus Biomasse ist prinzipiell beschrieben. Auf der Tagung informierten Wissenschaftler über technische Aspekte der hydrothermalen Carbonisierung und Unternehmen stellten erste Erfahrungen mit dem Verfahren vor. Während bei der Kompostierung von Pflanzenabfällen ein Großteil des in der Biomasse enthaltenen Kohlenstoffs als CO_2 in die Atmosphäre entweicht, wird bei der „Verkohlung" praktisch der gesamte Kohlenstoff in dem Produkt gebunden. Kann die „Pflanzenkohle" damit einen nennenswerten Beitrag leisten, den Ausstoß klimarelevanter Gase in die Atmosphäre zu verringern? Um diese Frage zu beantworten, muss man zunächst einen Überblick über die Größenordnungen bekommen. Professor Frank Schuchardt vom vTI in Braunschweig nannte Zahlen: Rund 36 Millionen Tonnen Kohlenstoff fallen in Deutschland alljährlich als organische Reststoffe aus der Land- und Forstwirtschaft, der Landschaftspflege und der Lebensmittelindustrie an. Etwa 10 Prozent davon kämen nach seiner Einschätzung für die „Verkohlung" Frage. Das entspricht 1,6 Prozent des jährlichen CO_2-Ausstoßes von Deutschland. Doch ob dieses Biomasse-Potenzial tatsächlich zur Verfügung steht, hängt davon ab, ob sich dieser Verwertungsweg wirtschaftlich trägt und auch, ob die Carbonisierung eine hinreichend vorteilhafte Ökobilanz aufweist. Die Tagung machte deutlich, dass auch andere wesentliche Fragen, zum Beispiel zur potenziellen Bildung schädlicher Nebenprodukte oder zum Bodenschutz, zu klären sind, bevor die hydrothermale Carbonisierung eine größere praktische Bedeutung erlangen kann. ■

Johann Heinrich von Thünen-Institut

Carsten Thoroe 65 Jahre

Nach Vollendung seines 65. Lebensjahres ist Prof. Dr. Carsten Thoroe, Gründungspräsident des Johann Heinrich von Thünen-Instituts (vTI), Ende Juni in den Ruhestand getreten. Er hat dem jungen Forschungsinstitut in den ersten anderthalb Jahren seines Bestehens ein eigenständiges Profil

M. Welling

vTI-Gründungspräsident
Prof. Dr. Carsten Thoroe

gegeben und entscheidend dazu beigetragen, es mit einer guten Perspektive in der Forschungslandschaft zu verankern.

Carsten Thoroe hat sich als Agrar- und als Forstökonom einen Namen gemacht. Er war 20 Jahre Leiter des Instituts für Ökonomie der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft (BFH) und über mehrere Amtsperioden auch deren Leiter. Von seinem umfassenden Fachwissen profitierten zahlreiche Gremien und Beiräte, in denen er Mitglied war, wie der wissenschaftliche Beirat des Bundeslandwirtschaftsministeriums oder das Präsidium des Senats der Bundesforschungsanstalten. Aufgrund seiner großen Erfahrung und Integrität wurde Prof. Thoroe gebeten, 2008 als kommissarischer Präsident den Aufbau des vTI zu gestalten. Mit Tatkraft und Umsicht nahm er diese Aufgabe an. Er verstand es, die unterschiedlichen Arbeits- und Verwaltungsstrukturen der Teileinheiten zu bündeln und das junge Forschungsinstitut strategisch gut aufzustellen. Die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des vTI danken ihm für die geleistete Aufbauarbeit und wünschen ihm einen spannenden neuen Lebensabschnitt. ■

Max Rubner-Institut

Zusammenspiel von Genen, Stoffwechsel und Ernährung

Wie funktionieren Gene des Fettstoffwechsels, welche Bedeutung haben sie für die Volkskrankheiten Fettleibigkeit, Alterszucker oder Bluthochdruck? Mit diesen Fragen haben sich Wissenschaftler der Christian-Albrechts-Universität und des Max Rubner-Instituts (MRI) in Kiel im Rahmen eines vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Verbundprojekts befasst. Im Fokus standen die komplexen Wechselwirkungen zwischen den Nahrungsfetten, dem Fettstoffwechsel und den Gesundheitsrisiken. Wichtige Ergebnisse des siebenjährigen Projekts wurden im März 2009 auf einem Symposium vorgestellt.

Die Mediziner und Ernährungswissenschaftler untersuchten unter anderem ein Gen, das durch die Zusammensetzung des Nahrungsfettes reguliert wird. „Je nachdem, welche Fettsäuren aufgenommen werden, ist das Gen mehr oder weniger aktiv", erläuterte Professor Frank Döring von der Abteilung Molekulare Prävention der Uni Kiel. Bei Menschen mit Altersdiabetes ist die Regulation dieser Genaktivität gestört. Das durch dieses Gen produzierte Acyl-CoA-bindende Protein (ACBP) kommt in nahezu allen menschlichen Zellen vor und hat vielfältige Funktionen im Fettstoffwechsel. Durch die Störung von ACBP ist der zelluläre Fettstoffwechsel verändert und die Insulinwirkung herabgesetzt. Wissenschaftler des MRI haben in praktischen Studien nachgewiesen, dass sich die Aktivität des Gens nach dem Bedarf richtet, der durch die Nahrungsfette festgelegt wird. Dieses Regulationsprinzip erklärt, warum der Mensch im Normalfall mit einer unterschiedlichen Menge von Fett umgehen kann, ohne dass dadurch der Stoffwechsel beeinträchtigt wird.

Eine weitere Entdeckung des Verbundprojekts ist ein Substrat, das am Ende in ein funktionelles Lebensmittel als eine Art „Fettbremse" eingebaut werden könnte. Der Extrakt aus *Tabebuia impetiginosa* (Lapacho-Tee), einem Baum aus Mittel- und Südamerika – verabreicht nach einer fettreichen Mahlzeit – senkte im Versuch bei Ratten die Blutfette deutlich.

Diese und zahlreiche weitere Ergebnisse sind von den Kieler Wissenschaftlern in international hochrangigen Fachzeitschriften veröffentlicht worden. „Im nächsten Schritt geht es darum, den Nutzen unserer Forschung der allgemeinen Bevölkerung zugänglich zu machen", so die Sprecher des Netzwerkes. ■

Forschungsinstitut für die Biologie landwirtschaftlicher Nutztiere

Rindercode geknackt

Einem internationalen Forscherteam in 25 Ländern ist es gelungen, das Erbgut des ersten Nutztiers, der Kuh, zu entschlüsseln. An der sechsjährigen Forschungsarbeit beteiligten sich auch Molekularbiologen des Forschungsinstituts für die Biologie landwirtschaftlicher Nutztiere (FBN) in Dummerstorf bei Rostock. Das FBN war die einzige deutsche Einrichtung im Bereich der Nutzierforschung, die daran mitwirkte. Die entschlüsselte Genstruktur des Rindes soll unter anderem neue Erkenntnisse zur Verbesserung der Fleisch- und Milchproduktion sowie zur Züchtung krankheitsresistenter Tiere ermöglichen. Die Entzifferung des Erbgutes der Kuh gilt als ein Meilenstein in der Tiergenetik.

Die Arbeitsgruppe am FBN, die an der Aufklärung der molekularen Ursachen für Milchleistung, Fleischqualität, Krankheitsresistenz und Futterverwertung beim Rind forscht, steuerte aus verschiedenen Forschungsprojekten gewonnene Daten, unter anderem über Gene des Fettstoffwechsels und Gene aus so genannten „gene deserts" (Genwüsten), bei.

Wie das Forscherteam im Fachmagazin „Science" berichtet, umfasst das Rindergenom rund 22.000 Gene, wobei etwa 80 Prozent dieser Gene auch bei anderen Säugetierarten vorkommen. Ein Genomvergleich machte zudem deutlich, dass das Rindergenom dem menschlichen Erbgut wesentlich ähnlicher ist als dem Erbgut von Mäusen oder Ratten.

Allerdings weist das Rindergenom auch Unterschiede in seiner Architektur im Vergleich zum Erbgut anderer Säugetiere auf. Sie konnten bei Genen gefunden werden, die für das Immunsystem, die Milchbildung und die Verdauung bedeutsam sind. Beispielsweise haben Rinder im Vergleich zum Menschen mehr Schutzgene gegenüber Krankheitserregern entwickelt, was auch bei der Erforschung menschlicher Krankheiten von Bedeutung sein könnte.

Das Wissen um die Struktur des Rindergenoms und dessen Variabilität kann in der

Tierzucht gezielt zur Selektion genetisch vorteilhafter Milch- und Fleischrinder genutzt werden. ■

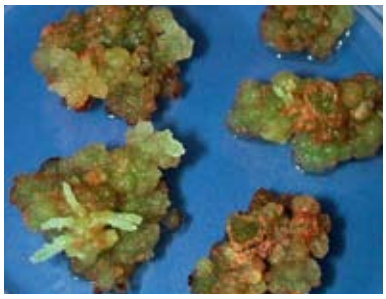
Julius Kühn-Institut

Frischzellenkur für Blaue Süßlupine

Erfolgreich Zellen von Wildformen und aktuellen Lupinen-Sorten verschmolzen

Die Blaue Süßlupine ist eine heimische Eiweißpflanze, die alle Voraussetzungen mitbringt, um künftig Soja- oder Hühnereiweiß in Teig- und Wurstwaren, in Saucen oder sogar in Eiscremes zu ersetzen. Leider hinkt die Lupine, was den Ertrag betrifft, anderen Fruchtarten hinterher. Ein Forschritt in der Züchtung wird dadurch gehemmt, dass alle heutigen „süßen" Blaulupinen-Sorten von ähnlichen Pflanzeneltern abstammen. Eine Lösung des Problems wäre eine genetische Frischzellenkur durch Kreuzung mit wilden Verwandten. Doch dafür sind die Barrieren zwischen Wild- und Zuchtform bereits zu hoch. Ein Ausweg ist die künstlich erzwungene Hochzeit von Zellen im Reagenzglas, Protoplastenfusion genannt. Genau solch eine Protoplastenfusion ist Wissenschaftlern des Julius Kühn-Instituts (JKI) in Groß Lüsewitz geglückt. Über ihren Erfolg berichteten sie in der Märzausgabe der Fachzeitschrift „Plant Cell, Tissue and Organ Culture".

„Um die Gene beider Partner zu vereinen, haben wir Zellen ohne ihre Zellwand aus dem Pflanzengewebe gewonnen, um danach in einem elektrischen Feld die Verschmelzung der Elternzellen herbeizuführen", sagt Dr. Karin Sonntag. Die Wissenschaftlerin nutzte für die Protoplastenfusion Zellen aus Gewe-



K. Sonntag

Im Nährmedium der Petrischale beginnen die Zellhaufen, Sprosse zu bilden

ben von sieben etablierten Sorten, die sie mit Wildtypen aus drei verschiedenen Herkünften zusammenbrachte. „Von den vielen Kombinationen hatten nur wenige Erfolg", berichtet Sonntag. Nur zwei der Kulturformen hatten sich mit einer Wildform im Reagenzglas „verheiraten" lassen. Die Forscher konnten drei Zellhaufen erzeugen, die Gene beider eingesetzter Elternzellen in sich trugen. Aus diesen in der Petrischale entwickelten Zellhaufen wieder grüne Sprosse zu kultivieren, sei die größte Herausforderung gewesen. Bis zum züchterischen Einsatz der Protoplastenfusion ist es jedoch noch ein weiter Weg, denn die regenerierten Sprosse müssen noch dazu gebracht werden, im künstlichen Nährmedium auch Wurzeln zu schlagen. Die Zukunft wird zeigen, ob die Zell-Paarungen auch von Bestand sind. ■

Friedrich-Loeffler-Institut

Neues über Herpesviren

Herpesviren gehören zu den komplexesten viralen Krankheitserregern. Einige von ihnen lösen Tierseuchen aus, die zu hohen wirtschaftlichen Einbußen führen können, beispielsweise das Koi-Herpesvirus bei Fischen oder das Bovine Herpesvirus 1 beim Rind. Im April 2009 fand das 3. Veterinary Herpesvirus Symposium der „European Societey for Veterinary Virology" in Greifswald statt, organisiert vom Friedrich-Loeffler-Institut (FLI).

„Wie infizieren Herpesviren die Zellen ihrer Wirtstiere und wie läuft ihre Vermehrung in diesen Zellen ab? Antworten auf diese grundlegenden Fragen helfen uns, Impfstoffe

M. Welling.

Fortschritte bei der Virenbekämpfung: Die Aujeszkysche Krankheit ist seit 2003 bei Schweinen in Deutschland kein Thema mehr.

gegen die Erreger zu entwickeln und landwirtschaftliche Nutztiere vor Infektionen zu schützen", umriss der Präsident des FLI, Prof. Dr. Thomas Mettenleiter, den Rahmen der Tagung. Die Grundlagenforschung am Pseudorabiesvirus, das die Aujeszkysche Krankheit beim Schwein auslöst, ermöglichte die Entwicklung und den erstmaligen Einsatz eines Markerimpfstoffes im Rahmen eines groß angelegten Bekämpfungsprogramms. Seit 2003 ist Deutschland frei von dieser Tierseuche, die früher zu hohen Verlusten führte. Derzeit soll nach dem gleichen Muster das Bovine Herpesvirus 1 in Deutschland ausgerottet werden. Hierzu werden ebenfalls Markerimpfstoffe eingesetzt. Die Sanierung der Bestände ist in einigen Regionen Bayerns bereits abgeschlossen und steht in weiteren Bundesländern kurz vor dem Ende. Auch bei der in den letzten Jahren seuchenhaft aufgetretenen Koi-Herpesvirus-Infektion von Zier- und Nutzkarpfen steht die Bekämpfung im Vordergrund. Hierzu wurden Fortschritte in der Diagnostik und der Impfstoffentwicklung präsentiert.

Ein Charakteristikum der Tagung war die enge Verknüpfung der Grundlagenforschung mit der Praxis. ■

IMPRESSUM

FORSCHUNGSREPORT
Ernährung – Landwirtschaft – Verbraucherschutz
1/2009 (Heft 39)

Herausgeber:
Senat der Bundesforschungsinstitute im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz

Schriftleitung & Redaktion:
Dr. Michael Welling
Geschäftsstelle des Senats der Bundesforschungsinstitute
c/o Johann Heinrich von Thünen-Institut,
Bundesalle 50,
38116 Braunschweig
Tel.: 0531 / 596-1016
Fax: 0531 / 596-1099
E-Mail:
michael.welling@vti.bund.de

Redaktionsbeirat:
Dr. Stefan Kühne,
JKI Kleinmachnow

Konzeption, Satz und Druck:
AgroConcept GmbH
Clemens-August-Str. 12–14
53115 Bonn
Tel.: 0228 / 969426-0
Fax: 0228 / 630311

Internet-Adressen:
www.forschungsreport.de
www.bmelv-forschung.de

Bildnachweis:
Sofern nicht anders bei den Bildern angegeben, liegen die Rechte bei den Autoren, den Forschungseinrichtungen oder bei AgroConcept.

Erscheinungsweise:
Der ForschungsReport erscheint zweimal jährlich

Nachdruck, auch auszugsweise, mit Quellenangabe zulässig (Belegexemplar erbeten)

Möchten Sie den Forschungs-Report kostenlos abonnieren? Dann wenden Sie sich einfach an die Redaktion.

ISSN 1863-771X

Druck auf Papier mit Recyclinganteil

Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz

Das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) unterhält einen Forschungsbereich, der wissenschaftliche Grundlagen als Entscheidungshilfen für die Ernährungs-, Landwirtschafts- und Verbraucherschutzpolitik der Bundesregierung erarbeitet und damit zugleich die Erkenntnisse auf diesen Gebieten zum Nutzen des Gemeinwohls erweitert (www.bmelv.de, Rochusstr. 1, 53123 Bonn, Tel.: 0228/529-0). Dieser Forschungsbereich wird von vier Bundesforschungsinstituten sowie dem Bundesinstitut für Risikobewertung gebildet und hat folgende Aufgaben:

Julius Kühn-Institut (JKI), Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen:
Selbständige Bundesoberbehörde und Bundesforschungsinstitut mit im Pflanzenschutzgesetz, Gentechnikgesetz, Chemikaliengesetz und hierzu erlassenen Rechtsverordnungen festgelegten Aufgaben. Beratung der Bundesregierung und Forschung in den Bereichen Pflanzengenetik, Pflanzenbau, Pflanzenernährung und Bodenkunde sowie Pflanzenschutz und Pflanzengesundheit. Die Forschung umfasst die Kulturpflanze in ihrer Gesamtheit und schließt die Entwicklung ganzheitlicher Konzepte für den Pflanzenbau, die Pflanzenproduktion bis hin zur Pflanzenpflege ein. Zu den gesetzlichen Aufgaben zählen u. a.: Mitwirkung bei der Zulassung von Pflanzenschutzmitteln und Biozidprodukten, Prüfung von Pflanzenschutzgeräten, Beteiligung bei pflanzengesundheitlichen Regelungen für Deutschland und die EU, Mitwirkung bei der Genehmigung zur Freisetzung und zum Inverkehrbringen gentechnisch veränderter Organismen (Erwin-Baur-Straße 27, 06484 Quedlinburg, Tel.: 03946/47-0, www.jki.bund.de).

Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei:
Selbstständige Bundesoberbehörde und Bundesforschungsinstitut. Die Forschungsarbeiten haben das Ziel, für die Land-, Forst- und Holzwirtschaft sowie die Fischerei Konzepte einer nachhaltigen und wettbewerbsfähigen Land- bzw. Ressourcennutzung zu entwickeln. Erarbeitung wissenschaftlicher Grundlagen als politische Entscheidungshilfen, insbesondere auf den Gebieten Ländliche Räume, Wald und Fischerei. Wahrnehmung deutscher Verpflichtungen und Interessen in internationalen Meeresnutzungs- und -schutzabkommen, Koordination und Beteiligung bei Monitoringaufgaben zum Zustand der Wälder, Aufgaben im Rahmen des Strahlenschutzvorsorgegesetzes und des Bundeswasserstraßengesetzes (Bundesallee 50, 38116 Braunschweig, Tel.: 0531/596-0, www.vti.bund.de).

Friedrich-Loeffler-Institut (FLI), Bundesforschungsinstitut für Tiergesundheit:
Selbstständige Bundesoberbehörde und Bundesforschungsinstitut mit im Tierseuchengesetz und Gentechnikgesetz festgelegten Aufgaben. Forschung und Beratung des BMELV insbesondere auf den Gebieten der Tiergesundheit, der Tierernährung, der Tierhaltung, des Tierschutzes und der tiergenetischen Ressourcen (Südufer 10, 17493 Greifswald-Insel Riems, Tel.: 038351/7-0, www.fli.bund.de).

Max Rubner-Institut (MRI), Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel:
Selbstständige Bundesoberbehörde und Bundesforschungsinstitut. Im Rahmen des vorbeugenden gesundheitlichen Verbraucherschutzes Erarbeitung wissenschaftlicher Grundlagen einer gesunden und gesunderhaltenden Ernährung mit hygienisch einwandfreien und qualitativ hochwertigen Lebensmitteln pflanzlichen und tierischen Ursprungs sowie Untersuchung der Bestimmungsgründe des Ernährungsverhaltens und Durchführung des Nationalen Ernährungsmonitoring (NEMONIT). Aufgaben im Rahmen des Agrarstatistikgesetzes und des Strahlenschutzvorsorgegesetzes (Haid-und-Neu-Str. 9, 76131 Karlsruhe, Tel.: 0721/6625-0, www.mri.bund.de).

Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR):
Eine bundesunmittelbare rechtsfähige Anstalt des öffentlichen Rechts, deren Hauptaufgaben in der Bewertung bestehender und dem Aufspüren neuer gesundheitlicher Risiken, der Erarbeitung von Empfehlungen für die Risikobegrenzung und der Kommunikation über alle Schritte der Risikoanalyse liegen. Forschung wird auf diesen Feldern auch im Bereich der Risikokommunikation durchgeführt. Schwerpunkte sind dabei biologische und chemische Risiken in Lebens- und Futtermitteln sowie Risiken, die durch Stoffe und Produkte hervorgerufen werden können. Daneben werden Ersatzmethoden für Tierversuche für den Einsatz in der Toxikologie entwickelt (Thielallee 88–92, 14195 Berlin, Tel.: 01888/412-0, www.bfr.bund.de).

Einrichtungsübergreifende wissenschaftliche Aktivitäten des BMELV-Forschungsbereiches werden durch den **Senat der Bundesforschungsinstitute** koordiniert, dem Vertreter aller Forschungseinrichtungen angehören. Der Senat wird von einem Präsidium geleitet, das die Geschäfte des Senats führt und den Forschungsbereich gegenüber anderen wissenschaftlichen Institutionen und dem BMELV vertritt (Geschäftsstelle des Senats der Bundesforschungsinstitute, c/o vTI, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig, Tel.: 0531/596-1016, www.bmelv-forschung.de).

Forschungseinrichtungen der Leibniz-Gemeinschaft (WGL)
Darüber hinaus sind sechs Forschungseinrichtungen der Wissenschaftsgemeinschaft G. W. Leibniz (WGL) dem Geschäftsbereich des BMELV zugeordnet:
Deutsche Forschungsanstalt für Lebensmittelchemie (DFA) (Lichtenbergstr. 4, 85748 Garching, Tel.: 089/28914170, www.dfal.de);
Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. (ATB), (Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam-Bornim, Tel.: 0331/5699-0, www.atb-potsdam.de);
Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau Großbeeren/Erfurt e. V. (IGZ) (Theodor-Echtermeyer-Weg 1, 14979 Großbeeren, Tel.: 033701/78-0, www.igzev.de);
Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V. (Eberswalder Straße 84, 15374 Müncheberg, Tel.: 033432/82-0, www.zalf.de);
Forschungsinstitut für die Biologie landwirtschaftlicher Nutztiere (FBN) (Wilhelm-Stahl-Allee 2, 18196 Dummerstorf, Tel.: 038208/68-5, www.fbn-dummerstorf.de);
Leibniz-Institut für Agrarentwicklung in Mittel- und Osteuropa (IAMO) (Theodor-Lieser-Str. 2, 06120 Halle/S., Tel.: 0345/2928-0, www.iamo.de).

Senat der Bundesforschungsinstitute im Geschäftsbereich
des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz