



**Pflanzenforschung für eine
nachhaltige Bioökonomie**

**Forschungs-, Technologie-
und Handlungsbedarf**

Bernd Müller-Röber, Carl-Albrecht Bartmer, Andreas J. Büchting,
Hannelore Daniel, Hans Kast, Michael Metzloff, Dirk Prüfer,
Chris-Carolin Schön, Ulrich Schurr

Berichte aus dem BioÖkonomieRat

Pflanzenforschung für eine nachhaltige Bioökonomie

Forschungs-, Technologie-
und Handlungsbedarf

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie. Detaillierte bibliografische Daten sind im Internet abrufbar über:
<http://dnb.d-nb.de>

ISBN 978-3-942044-52-3 (Druckausgabe)
ISBN 978-3-942044-53-0 (Online-Version)
ISSN 2191-1797

Diese Publikation ist auch als Download verfügbar unter:
<http://www.biooekonomierat.de>

Alle Rechte vorbehalten.

Die in diesem Positionspapier geäußerten Ansichten und Meinungen sind nicht durch den BioÖkonomieRat (BÖR) autorisiert. Für die Inhalte sind ausschließlich die aufgeführten Mitglieder der Arbeitsgruppe Pflanze verantwortlich.

© BioÖkonomieRat, 2010

Geschäftsstelle
Mauerstraße 79 E
10117 Berlin

IMPRESSUM

Herausgeber: Bernd Müller-Röber

Redaktion: Elke Witt (wiss. Mitarbeiterin, Geschäftsstelle BÖR)

Konzept und Gestaltung: psz Kommunikation, Patrick Imhof

Satz: Piccobello, Richard Weis

Die Arbeitsgruppe Pflanze dankt den Kollegen Prof. Dr. Andreas Graner, Prof. Dr. Barbara Reinhold-Hurek und PD Dr. Matthias Fladung für ihre Beiträge zu den Themenfeldern Genbanken, Stickstofffixierung sowie Forstgenetik und den externen Gutachterinnen und Gutachtern für ihre wertvollen Hinweise zu dem vorliegenden Papier.

Besonderer Dank gilt dem Bundesministerium für Bildung und Forschung als Mittelgeber sowie acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften für die administrative Begleitung.

Inhaltsverzeichnis

1. Pflanzen sind die Grundlage allen Lebens und die zentrale Säule der Bioökonomie	1
2. Standortbestimmung	4
2.1 Ausbildung, Forschung und Entwicklung	4
2.2 Ökonomische Bedeutung	6
3. Ziele	8
3.1 Verdoppelung der Erträge bis 2050	8
3.2 Effiziente und nachhaltige Land- und Ressourcennutzung	10
3.3 Anpassung von Pflanzeninhaltsstoffen und von Technologien der Pflanzennutzung	12
4. Strategien	14
4.1 Instrumente und infrastrukturelle Maßnahmen	14
4.1.1 Interdisziplinäre Forschungs- und Entwicklungsprojekte	14
Beschleunigung des Zuchtfortschritts	14
Entwicklung einer deutschen Gentechnikplattform „Weizen“	15
Erhöhung der Pflanzenresistenz gegen biotische und abiotische Stressoren	16
Effiziente Nutzung von Pflanzen	17
Forstgenetik	17
Genbanken	17
„Blue-Sky“-Forschung	19
4.1.2 Technologieplattformen	19
Genomforschung	20
Phänotypisierung	21
Integration hochdimensionaler Daten	22
4.1.3 Kompetenzzentren	23
4.2 Stärkere Vernetzung	24
4.2.1 Einrichtung eines übergreifenden Forschungsprogramms	24
4.2.2 Verbesserung der translationalen Forschung	25
4.3 Aus- und Weiterbildung	26
4.3.1 Ausbau der Vernetzungsmöglichkeiten zwischen Pflanzen- und Agrarwissenschaften	27
4.3.2 Durchlässigkeit der Studienangebote für weitere Disziplinen	27
4.3.3 Anpassung der Lehreraus- und -fortbildung an bioökonomische Anforderungen	28
4.3.4 Verbesserung der Bachelorstudiengänge an Universitäten und Fachhochschulen	28
4.3.5 Ausbildung des landwirtschaftlichen Unternehmernachwuchses	29

Inhaltsverzeichnis

5. Gesellschaftliche und globale Handlungsfelder	30
5.1 Pflanzenforschung in ihrer internationalen Dimension	30
5.2 Pflanzenforschung im gesellschaftlichen Kontext	30
5.3 Rechtliche Rahmenbedingungen	31
6. Zusammenfassung und Ausblick	33
Literatur	34

1. Pflanzen sind die Grundlage allen Lebens und die zentrale Säule der Bioökonomie

Die pflanzliche Photosynthese ist die Grundlage allen Lebens auf der Erde. Sie wandelt CO₂ und Sonnenlicht in Sauerstoff und Biomasse um und liefert so die stoffliche Basis, auf die Menschen, Tiere und die Mehrzahl der Mikroorganismen für ihre Atmung und Ernährung angewiesen sind. Darüber hinaus stellt die Nutzung der Pflanzen und ihrer Produkte für den Menschen die größte natürliche Ressource für eine nachhaltige Entwicklung dar. Die Menschheitsgeschichte ist eng verknüpft mit der Fähigkeit des Menschen, sich die Ressource Pflanze erfolgreich zu erschließen. Mit der neolithischen Revolution begann der systematische Anbau von Pflanzen für die Gewinnung von Nahrungs- und Futtermitteln. Aber auch als Energie- und Stofflieferanten waren und sind Pflanzenprodukte für den Menschen bedeutsam. Pflanzen bildeten den Ausgangspunkt fossiler Brennstoffe wie Erdöl oder Kohle, sie sind Grundlage für nachwachsende Bau- und Rohstoffe wie Holz oder Textilfasern und nachwachsende Brennstoffe wie Biogas oder andere Biokraftstoffe. Nicht zuletzt stellen Pflanzeninhaltsstoffe eine wichtige Quelle für chemische Rohstoffe in der Lebensmittel-, Chemie-, Pharma- und Kosmetikindustrie dar.

Über züchterische Selektion erfolgte die Anpassung der ursprünglichen Wildarten entsprechend menschlichen Anforderungen und Bedürfnissen an verschiedenste Umweltbedingungen. Durch diese Aktivitäten wurde im Laufe der Jahrtausende eine große Vielfalt an Kulturpflanzensorten hervorgebracht. Von der Land- über die Forstwirtschaft, vom Köhlerwesen über die Züchtung spezieller „Energiepflanzen“ bis zur Entwicklung moderner Bioraffinerien hat eine stetige Anpassung der Pflanzen wie auch der Technologien zu ihrer effizienten Nutzung stattgefunden. Neben der Qualität der pflanzlichen Erzeugnisse wurde insbesondere die Produktivität im Pflanzenbau beständig gesteigert. Durch die Gestaltung von Fruchtfolgen, züchterischen Fortschritt, die Einführung des Kunstdüngers, chemischen Pflanzenschutz bis hin zu landtechnischen Innovationen ließen sich enorme Steigerungen der Ernteerträge erzielen.

Die ökonomische Bedeutung des modernen Pflanzenbaus ergibt sich aus seiner elementaren Funktion in der Wertschöpfungskette „Ernährung“, im Bereich regenerativer, biogener Energieträger und als industrieller Rohstoff (Abb.1). Die deutsche Landwirtschaft erzeugt aus Saatgut, Düngemitteln und Pflanzenschutzmitteln im Wert von ca. 4,8 Mrd. Euro (2008) Agrarprodukte im Wert von 25 Mrd. Euro (StatBA, 2010). Die in den letzten Jahrzehnten erzielten Produktivitätssteigerungen im Pflanzenbau und in der Verarbeitung kamen weitgehend der Volkswirtschaft und damit dem Verbraucher zugute. Vergleicht man z. B. den Anteil der Konsumausgaben für Ernährung aus dem Jahr 1970 (24,5 %) mit dem entsprechenden Anteil aus 2009 (14,4 %), so ergeben sich daraus Einsparungen für die Volkswirtschaft von nahezu 200 Mrd. Euro (zu heutigen Preisen) (Destatis, 2010).

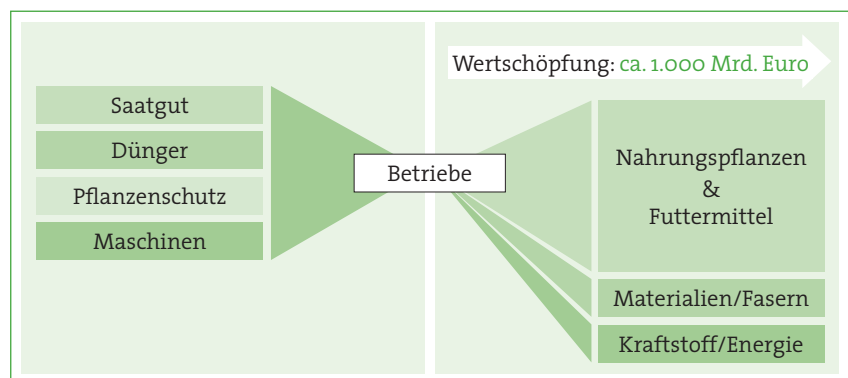


Abbildung 1: Wertschöpfung agrarischer Produktionsketten in Europa

Die zukünftige Entwicklung der Kulturpflanzen wird durch große Herausforderungen geprägt sein. Die Weltbevölkerung wird in den nächsten 40 Jahren auf ca. 9 Milliarden Menschen anwachsen (UN, 2008). Viele von ihnen, insbesondere in den heutigen Schwellenländern, werden einen höheren Lebensstandard anstreben, wodurch die Nachfrage nach höherwertigen Lebensmitteln und Fleisch weiter ansteigen wird. Allein mit den heutigen Produktionsmöglichkeiten und Nutzungswegen wird diese nicht zu befriedigen sein. Verschärfend kommt hinzu, dass weltweit zunehmend wertvoller Ackerboden durch Ausdehnung von Siedlungsflächen und infrastrukturelle Maßnahmen, Erosion, Auswirkungen des Klimawandels sowie eine nicht nachhaltige Nutzung verloren geht. So werden in Deutschland nach wie vor täglich ca. 100 ha Boden durch Siedlung und Verkehr belegt (BÖR, 2009).

Sollen Pflanzen in Zukunft vermehrt als nachwachsende Lieferanten von Energie und Rohstoffen genutzt werden, erhöht sich die Konkurrenz mit der Produktion von Lebensmitteln im Wettbewerb um die begrenzten Anbau- bzw. Weideflächen sowie um Wasser und Nährstoffe. Agrarische und industrielle Produktion verbrauchen zudem nicht nur beträchtliche Energiemengen, sondern geben auch Emissionen, wie z. B. klimaschädigende Gase, an die Umwelt ab. Politische und strukturelle Defizite in verschiedenen landwirtschaftlich genutzten Regionen der Welt tragen zu Versorgungsproblemen und Umweltschäden wie Erosion, Eutrophierung von Gewässern oder Nitratbelastung von Grundwasser maßgeblich bei. Diese zu beheben, gehört daher ebenfalls in den Kanon an Maßnahmen für die Zukunftssicherung der Weltbevölkerung.

Angesichts dieser Herausforderungen gilt es,

- mit Hilfe der Forschung eine Pflanzenproduktion zu etablieren, die bis zum Jahr 2050 in der Lage ist, die Ernährung der Weltbevölkerung sicherzustellen,
- dabei die natürlichen Ressourcen effizient zu nutzen und zugleich auch deren zukünftiges Bestehen für die nachfolgenden Generationen zu sichern und
- zur Etablierung von nachhaltigen biobasierten Technologien in der Industrie und Energiewirtschaft und damit zur Reduzierung der Abhängigkeit von fossilen Rohstoffen beizutragen.

Um diese visionären Ziele zu erreichen, erfordern pflanzliche Produktionssysteme von morgen optimierte Pflanzenvarietäten mit besserer Anpassung an Anbau- und Umweltbedingungen und höheren Erträgen bei gleichzeitig vermindertem Ressourcenbedarf (Abb. 2). Diese sind mit dem Einsatz nachhaltiger Produktionsverfahren zu kombinieren. Auch müssen Ernteverluste minimiert und die umfassende Nutzung aller Pflanzenteile weiter verbessert werden; dies gilt auch für die folgenden Verarbeitungsketten zur Lebens- und Futtermittelherstellung, zur stofflichen Nutzung und zur Energieerzeugung. Die Synthese von weiteren chemischen Rohstoffen und Wirkstoffen in Pflanzen ist für eine hohe Wertschöpfung in der Bioökonomie ebenfalls anzustreben. Um diese Ziele in ihrer Gesamtheit zu erreichen, bedarf es einer leistungsfähigen Pflanzenwissenschaft, einer effektiven anwendungsnahen Forschung und der kohärenten Entwicklung agrarischer Produktionssysteme unter Einbettung von Forschungsfeldern der Boden-, Wasser- und Umweltwissenschaften, des Ingenieurwesens und der Verfahrenstechnik sowie einer engeren Interaktion mit den Sektoren, welche die Biomasse als Rohstoff nutzen.

In ihrer zentralen Bedeutung für die Ernährung und die Bewahrung von Lebensräumen und natürlichen Ressourcen kommt den Pflanzen und somit auch der Pflanzenforschung eine prominente Rolle in der Bioökonomie zu. Eine wesentliche Voraussetzung dafür, dass diese Rolle auch in Zukunft ausgefüllt werden kann, ist die Sicherung von gut ausgebildetem Nachwuchs, um das Niveau der Forschung und Entwicklung sowie die Fähigkeit zur Anwendung neuer Technologien in Deutschland aufrechtzuerhalten. Dafür ist es nicht allein ausreichend, die Ausbildungswege und -inhalte an die Erfordernisse der modernen Pflanzenforschung und -nutzung anzupassen. Vielmehr ist es auch notwendig, schon frühzeitig in den Schulen die Attraktivität der entsprechenden Themen- und Arbeitsfelder zu vermitteln, um engagierte Nachwuchskräfte für diese Aufgabe zu gewinnen.

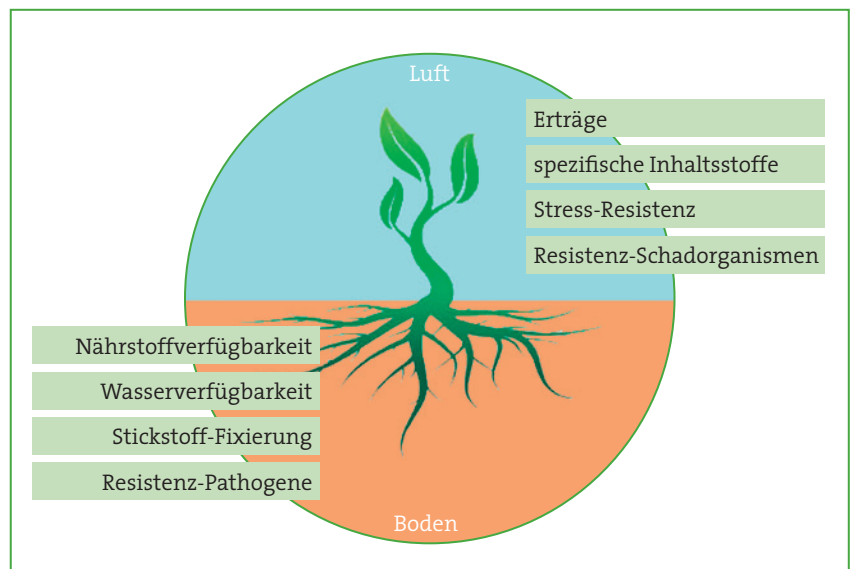


Abbildung 2: Ziele der pflanzenzüchterischen Maßnahmen

2. Standortbestimmung

2.1 Ausbildung, Forschung und Entwicklung

Um das Potenzial der Pflanze auf allen Ebenen der Wertschöpfungskette effektiv zu nutzen, bedarf es einer möglichst umfassenden und – soweit möglich – quantitativen Kenntnis über Pflanzen, ihren Aufbau, ihre Entwicklung sowie ihre Funktionsweisen und Anpassungsmechanismen unter verschiedenen Umweltbedingungen. Wir müssen die genetischen und chemischen, die physiologischen und ökologischen Grundlagen des Pflanzenwachstums kennen, um hier optimierend eingreifen zu können. Dies alles ist jedoch allein noch nicht ausreichend für eine effektive Nutzung von Pflanzen im Sinne der Bioökonomie. Zahlreiche weitere Forschungsgebiete, die von den Ingenieurs- über die Computerwissenschaften bis hin zu den Ernährungswissenschaften oder die Bioethik reichen, liefern wichtige Beiträge zur modernen Pflanzennutzung. Da es zu weit führen würde, jeden dieser Bereiche aufzuführen, wird im Folgenden nur auf den Stand der deutschen Studien- und Forschungslandschaft in den spezifischen Schwerpunktgebieten der Pflanzen- und Agrarwissenschaften eingegangen.

In Deutschland wird Pflanzenwissenschaft an über 30 Universitäten gelehrt, die auch aktiv Forschung in diesem Bereich betreiben. Zehn Universitäten und 11 Fachhochschulen bieten den Studiengang der Agrar- bzw. Landwirtschaft an. Im Fach Biologie werden im deutschsprachigen Raum rund 600 Masterstudiengänge angeboten, wovon 49 direkt oder indirekt den Agrarwissenschaften zugeordnet werden können¹. In den Universitäten werden pflanzenwissenschaftliche Studiengänge von mathematisch-naturwissenschaftlichen Fakultäten, agrarwissenschaftliche dagegen von landwirtschaftlichen Fakultäten angeboten. Aus der strikten Trennung der beiden Studiengänge resultiert traditionell eine Kluft zwischen grundlagen- und anwendungsorientierten Studieninhalten. Die Folgen sind offenkundig: Vielen Fachkräften der Pflanzenwissenschaften fehlen grundlegende Kenntnisse der Agrarwissenschaften und vice versa. Hierdurch wurden und werden gerade im Bereich der angewandten Pflanzenwissenschaften oftmals Entwicklungen an den Interessen und Bedürfnissen der Agrarwirtschaft – und damit letztlich auch der verarbeitenden Industrie und der Verbraucher – vorbei vorangetrieben. Das Innovationsforum Pflanze verweist daher auf die Notwendigkeit der Einrichtung leistungsfähiger Innovationsketten von der Landwirtschaft über die verschiedenen Industriezweige bis zum Endverbraucher (IP, 2009).

Die mangelnde Verknüpfung von Inhalten der Pflanzen- und Agrarwissenschaften schlägt sich auch in der Ausbildung künftiger Lehrerinnen und Lehrer nieder. Diese obliegt ausschließlich den biologischen Fachbereichen. Agrarwissenschaftliche Zusammenhänge werden daher nur mangelhaft thematisiert und finden im Unterricht an den Schulen kaum oder gar keine Berücksichtigung. Berufsbegleitende Fort- und Weiterbildungsmaßnahmen für Lehrer im Bereich der Pflanzen- und Agrarwissenschaften werden von den Universitäten nur vereinzelt angeboten.

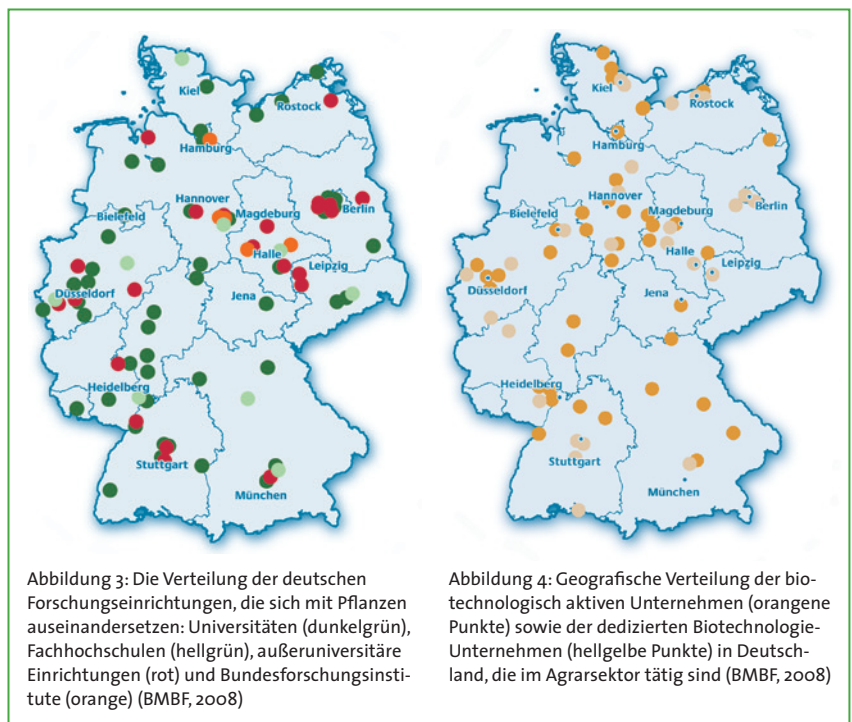
Neben den Universitäten betreiben 25 Institute der Großforschungseinrichtungen (Fraunhofer-Gesellschaft, Helmholtz-Gemeinschaft, Leibniz-Gemeinschaft, Max-Planck-Gesellschaft), das Julius Kühn Institut und Johann Heinrich von Thünen Institut als Bundesforschungsinstitute sowie verschiedene Landesforschungsanstalten der einzelnen Bundesländer Pflanzen- und Agrarforschung (Abb. 3). Die Arbeit der staatlichen Forschungsein-

¹ Eine detaillierte Übersicht über die Studiengangsinhalte, Abschlüsse und Universitätsstandorte findet sich in: vBio, 2010.

richtungen wird zu einem großen Teil aus Mitteln der Bundesministerien für Bildung und Forschung und für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz sowie durch Fördermittel der einzelnen Bundesländer finanziert und durch internationale Forschungsmittel (z. B. der EU) und der Industrie ergänzt.

Industrielle Forschung wird in Deutschland in großem Umfang auf den Gebieten Saatzüchtung, Pflanzenschutz und Biotechnologie betrieben. Zwei der weltweit führenden Pflanzenschutzunternehmen, BASF und Bayer, mit jährlichen Forschungsaufwendungen von jeweils mehr als 1 Mrd. Euro, haben hier ihren Sitz. BASF investierte 2009 allein in die Pflanzenschutz-Forschung im Bereich Plant Science 355 Mio. Euro. Bayer Crop Science plant, bis 2018 15 Mrd. Euro in Forschung und Infrastruktur für das Biotechnologie- und Saatgutgeschäft zu investieren (BASF, 2009; Bayer, 2009a; b). Im Saatgutsektor mit seiner traditionell hohen Forschungsquote von 16 % (bezogen auf den Umsatz (BDP, 2010)) gibt es neben weltweit tätigen Unternehmen eine große Zahl von regional bedeutenden mittelständischen Unternehmen. Im Bereich der Biotechnologie finden sich internationale Großunternehmen neben innovativen Start-ups (Abb.4).

Auf dem Gebiet der Grundlagenforschung an Pflanzen gehört Deutschland weltweit zu den führenden Ländern. Gemessen an der Anzahl der begutachteten Publikationen stand Deutschland im Jahr 2008 weltweit auf Platz 3 der Publikationslisten, gemessen an der Zahl der Zitationen liegt die deutsche Pflanzenforschung sogar gemeinsam mit Großbritannien auf Platz 1. Die Agrarwissenschaften belegen im selben Jahr, gemessen an der Anzahl der Publikationen, den 5. Rang (SJR, 2007). Trotz aller wissenschaftlichen Exzellenz sind jedoch deutliche Mängel hinsichtlich der Verknüpfung von Grundlagen- und angewandter Forschung sowie dem notwendigen Transfer der Forschungsergebnisse in den Bereich der wirtschaftlichen Nutzung offensichtlich. Hierauf weisen auch das BMBF (BMBF, 2008) und das Innovationsforum Pflanze (IP, 2009) hin. Dieses Manko versuchen Aktivitäten des BMBF, wie das Förderprogramm GABI (Genomanalyse im biologischen System Pflanze) bzw. dessen Nachfolgeprogramm zur „Förderung der Pflanzenbiotechnologie der Zukunft“ zu überwinden. Hier werden grundlagen- und anwendungsorientierte Forschungsprojekte aus verschiedenen Disziplinen sowie Kooperationsprojekte mit Unternehmen gefördert (BMBF, 2010).



Insgesamt ist die Forschung in Deutschland gekennzeichnet durch exzellente, aber räumlich und disziplinar fragmentierte Expertise auf den für die Bioökonomie relevanten Gebieten. Diese gilt es zu bündeln und auf die strategischen Ziele und Themenfelder der Bioökonomie auszurichten.

2.2 Ökonomische Bedeutung

Die enorme Bedeutung der Pflanze für die deutsche Wirtschaft lässt sich an verschiedenen Kennzahlen wie der in Anspruch genommenen Fläche, den Arbeitsplätzen, Produktionswerten und Umsatzzahlen ablesen. So wurde in Deutschland im Jahr 2008 mehr als die Hälfte der gesamten Landesfläche landwirtschaftlich genutzt. Von diesen ca. 19 Mio. ha entfielen allein 12 Mio. ha auf den Ackerbau, und ca. 5 Mio. ha auf Graslandnutzung durch die Viehwirtschaft. Weitere 30 % der Landesfläche sind bewaldet, wobei von den etwa 11 Mio. ha Wald 7 Mio. ha forstwirtschaftlich genutzt werden (StatBA, 2009b).

Auch für den Arbeitsmarkt spielt die Pflanze eine große Rolle. Allein in der Landwirtschaft waren 2007 ca. 1,2 Mio. Arbeitskräfte beschäftigt. Hinzu kommen noch einmal ebenso viele Arbeitskräfte in der Forst- und Holzwirtschaft (Bd.-Reg, 2009) sowie ca. 400.000 Beschäftigte im Bereich des Gartenbaus und den sich anschließenden Dienstleistungen (BMELV, 2009a). Noch nicht berücksichtigt sind hier die Arbeitsplätze im Bereich der Lebensmittelproduktion (534 Tsd. Beschäftigte) und der sich anschließenden Dienstleistungen wie Transport und Verkauf.

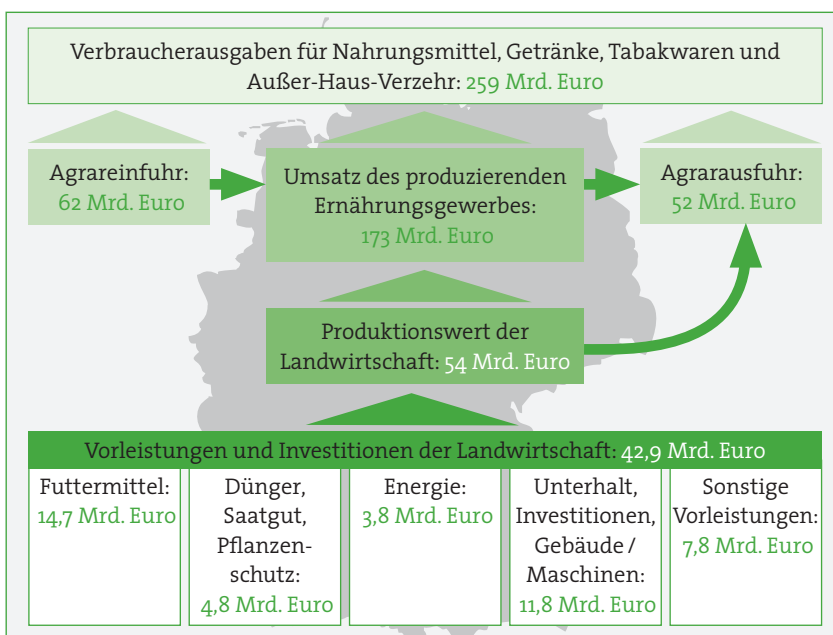


Abbildung 5: Agribusiness in Deutschland 2008 (StatBA, 2010)

Die volkswirtschaftliche Bedeutung der Pflanze spiegelt sich auch in Produktionswert, Umsatz und Wertsteigerung wider. Die deutsche Landwirtschaft erzeugt aus Saatgut, Düngemitteln und Pflanzenschutzmitteln im Wert von ca. 4,8 Mrd. Euro (2008) in 362.000 Betrieben pflanzliche Agrarprodukte im Wert von 25 Mrd. Euro (StatBA, 2009a). Die Außenhandelsbilanz im Agrarsektor ist relativ ausgeglichen, da Exporten in Höhe von 52 Mrd. Euro Importen im Wert von 62 Mrd. Euro gegenüberstehen (Abb. 5). Der überwiegende Teil der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion geht direkt oder indirekt (als Futtermittel) in die Lebensmittelindustrie, die daraus Nahrungsmittel im Wert von 173,3 Mrd. Euro herstellt.

Dies zeigt das enorme Potenzial der Wertschöpfung durch die Veredelung und Verarbeitung landwirtschaftlicher Produkte.

Rund 70 % des Gesamtumsatzes durch die Verarbeitung pflanzlicher Rohstoffe entfallen auf die Bereiche Lebens- und Futtermittel, 20 % auf den Sektor Energie zur Herstellung von Biotreibstoffen und Biogas, die verbleibenden 10 % auf die stoffliche Nutzung. Die in den beteiligten Wertschöpfungsketten verarbeitete Biomasse kann nur anteilig in Deutschland produziert werden. Daher werden beispielsweise von den 3,6 Mio. t industriell genutzter Agrarrohstoffe 64 % importiert (nova, 2010).

Im europäischen Vergleich steht Deutschland in Bezug auf den Produktionswert seiner pflanzlichen Erzeugung insgesamt an vierter Stelle (Abb. 6), obwohl es in vielen Bereichen der Land- und Forstwirtschaft einen Spitzenplatz einnimmt: In der Raps- und Kartoffelproduktion lag Deutschland 2007 EU-weit an erster Stelle, in der Getreide- und Zuckerrübenproduktion an zweiter Stelle hinter Frankreich. Es erzielte zudem die größte Schnittholzmenge innerhalb der Europäischen Union und im Bereich der Rundholzerzeugung lag die deutsche Forstwirtschaft hinter Schweden auf dem zweiten Platz (Eurostat, 2009).

Auch in Zukunft kann durch Agrarforschung und Pflanzenzüchtung eine höhere Produktivität und damit ein hoher ökonomischer Gesamtnutzen generiert werden. Hierzu wird auch die Entwicklung von modernen Technologien beitragen, wie sich an zwei aus der Forschung hervorgegangenen Projekten beispielhaft zeigen lässt, die bereits erfolgreich Anwendung in der Wirtschaft gefunden haben: Durch die Forschungsk Kooperation der Universität Hohenheim mit der KWS Saat AG wurde die Doppel-Haploiden-Technologie für die Kulturart Mais erarbeitet, wodurch das Unternehmen eine führende Rolle auf dem Gebiet erlangte. Aus einem Genforschungsprojekt des Max-Planck-Instituts (MPI) für molekulare Pflanzenphysiologie entstand in Kooperation mit BASF das Unternehmen metanomics, das zusammen mit metanomics Health weltweit führend auf dem Gebiet des „metabolic profiling“, einer Schlüsseltechnologie zur Genfunktionsanalyse, ist.

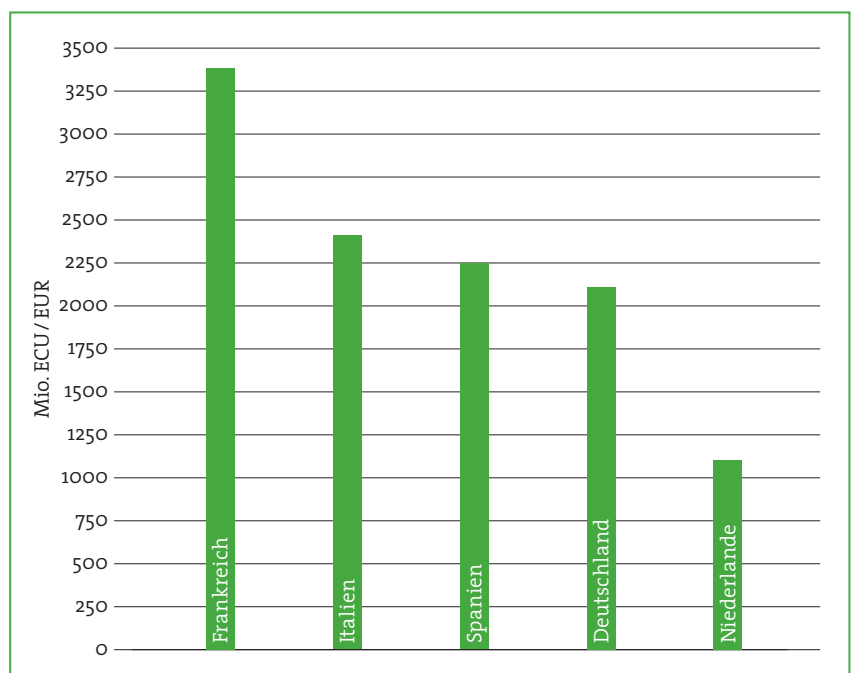


Abbildung 6: Die Top-Fünf-Länder der EU-27: Produktionswert pflanzliche Erzeugung zu Herstellerpreisen, 2009 (EU, 2010)

3. Ziele

Aus heutiger Sicht lassen sich im Bereich der Pflanzennutzung drei große visionäre Aufgaben formulieren, die das Potenzial aufweisen, neue Antworten auf die Herausforderungen des 21. Jahrhunderts bereitzustellen:

- Die Verdoppelung der Ernteerträge bis 2050,
- Die effiziente und nachhaltige Gestaltung der Ressourcennutzung,
- Die Anpassung von Pflanzeninhaltsstoffen an den technischen und ernährungsbezogenen Bedarf sowie die Optimierung von Technologien der Pflanzennutzung.

Diese drei Themenfelder sind in vielfältiger Weise miteinander verknüpft. Als visionäre Aufgaben sind sie nur zu meistern, wenn die vorhandenen Kräfte gebündelt und neue mobilisiert, wenn bestehende Strukturen angepasst und neue geschaffen werden. Dabei ist es grundsätzlich notwendig, das Zusammenspiel und die Effizienz aller in der Pflanzenproduktion und -verarbeitung relevanten Faktoren zu verbessern. Jedoch sehen die Autoren den wichtigsten Schlüssel, um die gesteckten Ziele zu erreichen, in der gezielten züchterischen Anpassung der genetischen Leistungsfähigkeit der Pflanzen. Während auf vielen anderen Gebieten in den letzten Jahren schon bedeutende Fortschritte erzielt werden konnten, liegen derzeit auf diesem Gebiet die größten Chancen für zukünftige Erfolge. Daneben gilt es zu untersuchen, inwieweit Ertragssteigerungen durch die Integration züchterischer und pflanzenbaulicher Maßnahmen, wie Fruchtfolgegestaltung, Humuswirtschaft oder Vermeidung von Bodenverdichtung, erreicht werden können (siehe auch Hüttl et al., 2010). Die zielgerichtete Entwicklung von verbesserten Pflanzeigenschaften, der Einsatz neuer Züchtungsmethoden und die Förderung nachhaltiger Produktionsverfahren dürfen nicht als alternative oder sogar konkurrierende Maßnahmen angesehen werden. Stattdessen müssen sie im Hinblick auf die zu erreichenden Ziele als sich ergänzende Handlungsmöglichkeiten wahrgenommen und stärker miteinander verknüpft werden.

3.1 Verdoppelung der Erträge bis 2050

Das Wachstum der Weltbevölkerung, die Veränderung der Ernährungsgewohnheiten, der steigende Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen als Energieträger und zur stofflichen Nutzung stellen nicht zuletzt deswegen globale Herausforderungen dar, weil sie zu einer stark steigenden Nachfrage nach Agrarprodukten führen. Allein die Sicherung der Welternährung erfordert eine Steigerung der Ernteerträge bis 2050 um mindestens 70% (FAO, 2009a). Um darüber hinaus Kapazitäten für die Nutzung von Agrarprodukten im Energie- und Rohstoffsektor zu schaffen, ist zusätzliche Biomasse erforderlich (GABI, 2009; Oetker, 2007). Dieser Bedarf ist unter den Bedingungen einer weltweit stagnierenden oder sich gar reduzierenden Anbaufläche sowie der sich in Folge des Klimawandels verändernden Produktionsbedingungen zu decken (Sc, 2009).

Produktivitätssteigerungen in den erforderlichen Dimensionen sind jedoch möglich. Dies zeigt das Beispiel der für Mitteleuropa bedeutendsten Nutzpflanze Winterweizen: Im Zeitraum von 1960 bis 1990 wurde der Hektarertrag mehr als verdoppelt. Dies ist sowohl auf züchterischen Fortschritt als auch auf die Optimierung von Düngung, Pflanzenschutz und Anbaumethodik zurückzuführen. Allerdings stagniert der Ertrag seit etwa einem Jahrzehnt (Breulmann, 2008; NIAB, 2008), obwohl im Bereich der Weizenzüchtung weitere Fortschritte verzeichnet werden konnten (Ahlemeyer et al., 2010). Angesichts der globalen Herausforderungen ist es deshalb notwendig, unter Einsatz modernster Erkenntnisse und Technologien alle wesentlichen Einflussfaktoren von Bodenzustand, Saatgut, Dünger und Pflanzenschutz bis zur Ernte und Verarbeitung zu untersuchen und weiterzuentwickeln. Dabei gilt es insbesondere, die genetisch determinierte Leistungsfähigkeit unserer wichtigsten Nutzpflanzen zu verbessern und in Produktion auf dem Acker umzusetzen. Neue Methoden und Erkenntnisse aus der Genomforschung und der Bio- und Gentechnik sind dabei als Werkzeuge für die Züchtung von besonderer Bedeutung. Darüber hinaus sind Innovationen entlang der gesamten Produktionskette erforderlich. Durch eine solche umfassende Vorgehensweise wird gewährleistet, dass neben der Steigerung der Flächenerträge eine effiziente, aber zugleich nachhaltige Nutzung der eingesetzten Ressourcen wie Boden, Wasser, Energie oder Kapital erfolgt.

Für Mitteleuropa sollte eine Fokussierung auf Weizen eine hohe Priorität einnehmen, da dieser hier die wirtschaftlich bedeutendste Kulturpflanze darstellt. Zugleich scheint seine konventionelle Produktivitätsentwicklung an Grenzen zu stoßen; es ist daher notwendig, neue, möglichst wirkungsvolle Strategien der Produktionssteigerung zu entwickeln (Ahlemeyer et al., 2010; NIAB, 2008).

Um das Ziel einer Verdoppelung der Ernteerträge zu erreichen, bieten sich drei Strategien an, die parallel zu verfolgen sind: Die Entwicklung eines wirtschaftlich wettbewerbsfähigen Hybridsystems für Weizen, die Verbesserung der Stresstoleranz sowie die Ertragssteigerung durch Optimierung von Pflanzenphysiologie und Stoffwechsel.

Bei Getreidearten wie Mais oder Reis hat die Einführung von Hybridsorten zu verstärktem züchterischen Fortschritt (z.B. Größenwachstum, Vitalität) und in der Folge erheblichen Ertragszuwächsen geführt. Bei Weizen steht dies noch aus. Daher sind neuartige Konzepte für die Hybridzüchtung notwendig, was die Entwicklung neuer Sterilitätssysteme und heterotischer Genpools einschließt.

Neben den Ertragsgrenzen bestehender Pflanzensorten limitieren Ernteverluste die Produktivität im Pflanzenbau. Dabei sind biotischer und abiotischer Stress die bedeutendsten externen Faktoren der Ertragsminderung. Die gezielte Bekämpfung von Schädlingen und Krankheiten, bei Weizen handelt es sich vor allem um Pilzbefall, ist mit spezifischen Wirkstoffen, durch Resistenzzüchtung und durch gentechnische Verfahren möglich. Abiotische Umweltfaktoren wie Trockenheit, Hitze oder Kälte erfordern dagegen geeignete genetisch determinierte Toleranzen, die identifiziert und gegebenenfalls mit Hilfe transgener Ansätze in die Züchtungsprogramme integriert werden müssen.

Darüber hinaus ermöglichen das Verständnis von Stoffwechselfvorgängen und die Identifizierung von ertragslimitierenden Engpässen gezielte genetische Maßnahmen zur Ertragssteigerung. Durch Nutzung der genetischen Vielfalt mit Hilfe moderner marker- oder sequenzbasierter Züchtungsverfahren, vor allem aber durch gentechnische Optimierung ent-

sprechender Schlüsselgene, lässt sich erstmals der Pflanzenertrag über wissenschaftliche züchterische Maßnahmen signifikant beeinflussen.

Die am Beispiel Weizen gewonnenen Erkenntnisse können bei anderen wichtigen Nutzpflanzen ebenfalls zum Einsatz kommen und zur Steigerung der Erträge bei optimaler Ressourceneffizienz führen. Dies gilt insbesondere auch für Kulturpflanzen, die überwiegend in Ländern der Dritten Welt angebaut werden.

3.2 Effiziente und nachhaltige Land- und Ressourcennutzung

Der Erhalt der begrenzten natürlichen Ressourcen stellt ein ebenso vorrangiges Ziel dar wie die Steigerung der Erträge. Nur wenn beide gesichert sind, kann die Nahrungsmittel-, Rohstoff- und Energieversorgung der Menschheit langfristig gewährleistet werden. Für die Pflanzenproduktion unmittelbar notwendige Ressourcen wie Böden, Wasser und Nährstoffe müssen dauerhaft in hoher Qualität verfügbar sein. Entsprechend sind Maßnahmen zu ergreifen, die gleichzeitig eine Nutzung von Agrarflächen ermöglichen und dazu beitragen, deren Ökosystemfunktionen, die über die Produktion hinausgehen, zu erhalten (EA, 2005; 2003).

Über 70% der anthropogenen Nutzung der Ressource Süßwasser erfolgt im Bereich der Landwirtschaft (WB, 2010; FAO, 2002; WRI, 2005). Durch Veränderungen des Klimas und infolge des steigenden Bedarfs an pflanzlichen Produkten wird der Bewässerungslandbau zukünftig noch an Bedeutung zunehmen. Um dieser Herausforderung in angemessener Weise zu begegnen, müssen alle bestehenden Handlungsoptionen wissenschaftlich fundiert analysiert und in die Praxis überführt werden. Hierzu gehört das Ergreifen von züchterischen Maßnahmen zur Generierung von Pflanzen mit reduziertem Wasserverbrauch ebenso wie die Anpassung von Pflanzen an die Wasserverfügbarkeit an verschiedenen Standorten. Darüber hinaus werden verbesserte Daten und Modelle über den genauen Wasserbedarf von Pflanzen zur optimalen Ertragserzeugung benötigt („more crop per drop“). Dies muss mit einer besseren Vorhersage der zeitlichen und räumlichen Wasserverfügbarkeit und mit auf Effizienz optimierten Bewässerungstechniken kombiniert werden. Bei allen Maßnahmen ist ein integrierter Ansatz zu verfolgen, der die Funktion des gesamten Ökosystems beachtet. So sind z. B. Pflanzen, die mit salzhaltigem Wasser bewässert werden, nur dann sinnvoll einsetzbar, wenn nicht durch Versalzung des Bodens langfristig die Landnutzung unmöglich gemacht wird. Auch die Wasserqualität ist ein wesentlicher Faktor, einerseits im Hinblick auf die Nutzbarkeit für die Pflanzenproduktion sowie andererseits hinsichtlich der Auswirkung des Pflanzenanbaus auf die Qualität des Grundwassers. Nachweislich bieten Pflanzen mit erhöhter, z. T. auch durch transgene Ansätze hervorgerufener Pathogenresistenz hervorragende Möglichkeiten, um das Einbringen von Pflanzenschutzmitteln in die Umwelt zu minimieren bzw. die von ihnen ausgehende Belastung zu verringern (NAS/NRC, 2010). Daneben besteht jedoch auch weiterhin die Notwendigkeit zur Erforschung und Entwicklung neuer Pflanzenschutzmittel sowie neuer Applikationstechniken. Für die Pflanzengesundheit wie auch für eine Verbesserung der Nährstoffversorgung lassen sich zunehmend auch satellitengestützte Diagnoseverfahren einsetzen.

Nährstoffe müssen möglichst effizient zur Ertragsbildung genutzt und Verluste aus dem agrarischen Produktionssystem reduziert werden. Dadurch zu erzielende Einsparungen im Düngemiteleinsatz führen gleichermaßen zu ökonomischen Vorteilen wie zu einer Reduzierung der Belastung des Grundwassers und angrenzender Ökosysteme. Um dies zu erreichen, sind sowohl die Pflanzen in ihrer Nährstoffaufnahme und -verwertung als auch die Produktionssysteme insgesamt effizienter zu gestalten. Der Nährstoff Phosphat ist in diesem Zusammenhang von besonderer Bedeutung, da die konzentrierten Lagerstätten in den kommenden 40–70 Jahren erschöpft sein werden (Cordell et al., 2009), eine hohe Pflanzenproduktivität ohne ausreichende Phosphatversorgung aber nicht möglich ist. Daher müssen unproduktive Phosphateinträge in das Agrarökosystem minimiert und die Nährstoffzufuhr möglichst eng an den tatsächlichen Bedürfnissen der Pflanze ausgerichtet werden.

Optimierte Ressourcennutzung bedeutet auch, den Energieaufwand für die Pflanzenproduktion möglichst gering zu halten. Wesentliche Beiträge können hier insbesondere auf dem Gebiet des Stickstoffeinsatzes geleistet werden. Die züchterische oder gentechnische Optimierung stickstofffixierender Pflanzen wäre hier ebenso anzustreben wie der Einsatz von Pflanzen, die mit möglichst geringem Einsatz von N-Dünger hohe Erträge liefern. Weitere Möglichkeiten der Energieeinsparung liegen in der Verbesserung von Produktions- und Ernte-technik.

Eine besondere Herausforderung stellt der Klimawandel und die damit verbundene Erhöhung der Durchschnittstemperaturen dar. Unter diesen Bedingungen haben C_4 -Pflanzen wie Mais oder Zuckerrohr Vorteile gegenüber C_3 -Pflanzen wie Weizen oder Reis. Deshalb sollte untersucht werden, ob C_3 -Nutzpflanzen mit dem Stoffwechselweg der C_4 -Photosynthese ausgestattet werden können, über den diese natürlicherweise nicht verfügen (z.B. C_4 -Reis; siehe auch Kap. 4.1.1. Blue-Sky-Forschung). Dies stellt eine gewaltige wissenschaftliche Herausforderung, aber auch eine enorme Chance dar. Gleichzeitig muss durch geeignete Maßnahmen der Landnutzung sichergestellt werden, dass der Beitrag der Pflanzenproduktion zur Emission von CO_2 , die u. a. durch Herstellung von Düngemitteln oder Transport entsteht, und anderen Treibhausgasen wie z. B. Lachgas (Distickstoffmonoxid) minimiert wird. Hier sind entsprechende Gegenmaßnahmen zu entwickeln und zu implementieren.

Die Biodiversität von Kultur- und Wildarten ist eine wesentliche Grundlage sowohl zur Erhaltung der Ökosystemfunktionen als auch zur Züchtung neuer Pflanzensorten. Daher muss sie bewahrt und der Nutzung zugänglich gemacht werden. Hierzu ist sowohl der Erhalt von genetisch diversem Pflanzenmaterial notwendig als auch dessen genetische und funktionelle (phänotypische) Charakterisierung. Es müssen molekulare und biochemische Mechanismen erforscht werden, um die genetische Basis einer Nutzpflanzenart über den unmittelbaren Genpool hinaus erweitern zu können. In diesem Zusammenhang sind auch Untersuchungen durchzuführen, die sich der funktionellen Biodiversität und deren Auswirkungen auf die Interaktionen von Organismen widmen. So gilt es, nicht nur die Vielfalt der Gene an sich zu erfassen, sondern insbesondere auch deren Rolle für die Ausbildung der Diversität von Stoffwechselwegen, Strukturen und Funktionen von Pflanzen in der Interaktion mit ihrer biotischen und abiotischen Umwelt zu verstehen. So sind z. B. im Bereich des Pflanzenanbaus die Auswirkungen einer Erweiterung des Fruchtartenspektrums sowie eines Mischanbaus zu untersuchen. Auch die Frage nach dem Mindestanteil naturnaher Flächen zum Erhalt von

Wildpopulationen, die sich auch positiv auf die Ökosystemleistungen eines Anbaugebiets auswirken können (Tschardt et al., 2005), sollte in diesem Zusammenhang aufgegriffen werden. Nur auf der Basis eines tiefgreifenden Verständnisses kann die natürliche Vielfalt genetischer Ressourcen für eine effiziente und nachhaltige Ressourcennutzung eingesetzt werden.

3.3 Anpassung von Pflanzeninhaltsstoffen und von Technologien der Pflanzennutzung

Neben der Steigerung der Produktivität unserer Kulturpflanzen liegt eine weitere Zukunftsaufgabe der Pflanzenforschung darin, Sorten und Varietäten für die verschiedenen Verwendungszwecke in Ernährung und Industrie zu selektieren und optimal anzupassen. Für den Selektionsprozess kann bereits heute auf vielfältige regional genutzte Kulturpflanzensorten mit diversen primären und sekundären Inhaltsstoffen zurückgegriffen werden, die oft aber nur wenig charakterisiert sind. Zur besseren Auswahl der Sorten eignet das sich ständig wachsende, hoch sensitive Methodenspektrum der molekularen und biochemischen Analytik. Diese Techniken erlauben die quantitative und qualitative Charakterisierung pflanzlicher Inhaltsstoffe mit hoher Relevanz für die Ernährung von Mensch und Tier oder für die industrielle Verwertung.

Biotechnologische Ansätze in der züchterischen Selektion erlauben es z. B. gezielt wertvolle Pflanzenmerkmale zu verändern, die in der menschlichen und tierischen Ernährung eine wichtige Rolle spielen. Aktuelle Beispiele dafür sind die Erhöhung des Pro-Vitamin-A-Gehalts im sogenannten „Golden Rice“, die Einführung von Genen für die Synthese von Omega-3-Fettsäure in Ölpflanzen oder die Steigerung des Carotinoid-Gehalts in Gemüse und Obst. Die Bedeutung der biotechnologischen Veränderung von pflanzlichen Inhaltsstoffen wird unter dem Aspekt eines steigenden Ernährungsbewusstseins im Sinne von „Functional Food“ weiter an Bedeutung gewinnen.

Die Biotechnologie wird auch wesentlich dazu beitragen, das Spektrum der industriellen Nutzung pflanzlicher Inhaltsstoffe zu erweitern. Cellulose, Lignin, Stärke, pflanzliche Öle und Faserstoffe werden bereits heute in großem Umfang von der Industrie verarbeitet. Die wirtschaftliche Verwertung der weltweit anfallenden gewaltigen Mengen an Cellulose und Lignin ist jedoch aufgrund technologischer Hürden noch beschränkt. Eine biotechnologische Produktion cellulose- und ligninspaltender Enzyme in industriellem Maßstab wird die zukünftige Erschließung dieses häufigen und von seiner chemischen Komplexität her besonders interessanten nachwachsenden Rohstoffes ermöglichen. In ähnlicher Weise konnten beispielsweise bereits durch die Veränderung des Cellulosegehalts in der Baumwollfaser (z. B. in der Baumwoll-Sorte „FiberMax“ der Firma Bayer) qualitative Merkmale der Baumwolle, wie hohe Strapazierfähigkeit bei Erhalt weicher Struktur, deutlich verbessert werden. Andere aktuelle Forschungsansätze zielen auf die Modifizierung der Öl- und Fettsäurezusammensetzung in industriell genutzten Ölpflanzen z. B. zur optimalen Nutzung pflanzlicher Öle in der Biodiesel-Produktion. Eine Verringerung des Ligningehaltes in Holz, das für die Papierproduktion genutzt wird, ist ebenfalls bereits Gegenstand der Forschung. Die gezielte Veränderung von Gehalt oder Zusammensetzung von Stärke, insbesondere in der Kartoffel und im Reis, hat

bereits eine Anpassung an die Ernährungs- oder industrielle Nutzung ermöglicht. Ein aktuelles Beispiel dafür ist die von der Firma BASF entwickelte Kartoffelsorte „Amflora“, in der die Stärke vollständig aus Amylopektin besteht und die somit für eine effizientere Herstellung von Papier, Textilien oder Klebstoff geeignet ist.

Mit dem Ziel, die Nutzung aller Pflanzenteile zu erhöhen und effizienter zu machen, werden gegenwärtig verschiedene Konzepte zur Mehrfachnutzung pflanzlicher Rohstoffe diskutiert. In einer Kaskadennutzung würden aus der Biomasse zuerst die für die Nahrung oder Industrie wertvollen Inhaltsstoffe gewonnen und anschließend die verbleibende Biomasse energetisch und/oder werkstofflich genutzt werden. In einer Koppelnutzung würden verschiedene Teile der Pflanze zur Produkt- oder Energieerzeugung herangezogen. Eine Mehrfachnutzung muss durch eine maßgeschneiderte Zusammensetzung der Inhaltsstoffe in den verschiedenen Pflanzenteilen unterstützt werden. Ob sie sich technologisch und ökonomisch realisieren lässt, hängt jedoch sowohl von der Erweiterung unseres Verständnisses der genetischen und physiologischen Vernetzung verschiedener Pflanzenorgane und -gewebe („Systembiologie“) als auch von der Umsetzbarkeit in der landwirtschaftlichen Praxis ab. So erfordert z. B. die gegenwärtige Praxis in der Landwirtschaft die Nutzung von nach der Ernte verbleibenden Pflanzenresten in der Nutztierhaltung und zum Erhalt des Nährstoffgehalts im Boden.

Darüber hinaus sollte auch die Weiterentwicklung integrierter Pflanzenproduktionssysteme besondere Aufmerksamkeit erhalten. Neben der züchterischen Fokussierung auf Ertrag und Toleranz gegenüber biotischen und abiotischen Stressoren spielen Fruchtfolgeaspekte, energieeffizientere und schonendere Bodenbearbeitungssysteme, exaktere Aussaatverfahren, bedarfsgerechtere und im Wurzelbereich platzierende Düngesysteme, auf die Einzelpflanzen fokussierte Pflanzenschutzmaßnahmen und verlustärmere, leistungsfähigere Erntetechniken eine bedeutende Rolle in der Anpassung von Pflanzenbau und -nutzung (siehe hierzu auch: Hüttl et al., 2010). Dabei werden Erkenntnisse der Sensortechnik sowie elektronische Kontroll- und Steuersysteme die praktische Bewirtschaftung grundlegend verändern. Selbststeuernde Maschinen könnten in letzter Konsequenz fahrerlos agieren.

4. Strategien

Die Arbeit an den drei großen visionären Aufgaben kann, wenn sie konsequent und zielgerichtet angegangen wird, zu einer Win-Win-Situation führen, in der nicht nur die deutsche Wirtschaft durch neue Produkte und effektivere Produktionsweisen profitiert: Durch den Export des entwickelten Know-hows können auch neue globale Standards gesetzt werden, deren Implementierung zu besseren Lebensbedingungen für große Teile der Weltbevölkerung führen können. Und nicht zuletzt wird auch die deutsche Forschungslandschaft durch das Besetzen neuer Themen an Profil gewinnen. Um dies zu realisieren, bedarf es jedoch struktureller Anpassungen der heutigen Forschungs- und Technologielandschaft in Deutschland an die Erfordernisse einer modernen Bioökonomie. Dabei lassen sich drei Handlungsfelder ausmachen:

- Die Verbesserung der Bedingungen für die Grundlagen- und angewandte Forschung durch die Etablierung neuer Instrumente und infrastruktureller Maßnahmen
- Die verstärkte Vernetzung von öffentlichen Forschungs- und Entwicklungseinrichtungen und Wirtschaftsunternehmen
- Die Anpassung der Aus- und Weiterbildung an die Anforderungen der bioökonomisch ausgerichteten Forschung und Entwicklung

4.1 Instrumente und infrastrukturelle Maßnahmen

Im Bereich der Forschung erfordert die Umsetzung der strategischen Schlüsselthemen der Bioökonomie Maßnahmen zur Optimierung der vorhandenen Forschungsinstrumente sowie der Infrastruktur. Notwendig sind:

- Interdisziplinäre Forschungs- und Entwicklungsprojekte im Verbund von Wissenschaft und Wirtschaft über die gesamte Wertschöpfungskette vom Saatgut bis zu den Endprodukten
- Technologieplattformen, die langfristig wissenschaftliche und technologische Grundlagen sowie die notwendige Infrastruktur bereitstellen. Sie sind für die erfolgreiche Durchführung der themenspezifischen Forschungs- und Entwicklungs-Programme notwendig, so z. B. für die Genotypisierung, die Phänotypisierung oder auf dem Gebiet der Bioinformatik.
- Kompetenzzentren, die über verschiedene Ebenen der Bioökonomie integrierend wirken und sicherstellen, dass die benötigte fachliche Expertise aus unterschiedlichen Disziplinen und Sektoren (Pflanzen, Mikrobiologie, Verfahrenstechnik etc.) für die Forschungs- und Entwicklungsprojekte zu neuen Nutzungspfaden gebündelt wird

4.1.1 Interdisziplinäre Forschungs- und Entwicklungsprojekte

Beschleunigung des Zuchtfortschritts

Die züchterische Verbesserung wichtiger Merkmalskomplexe der pflanzlichen Produktion ist eine zentrale Aufgabe agrarischer Forschung und Entwicklung. Der Innovationskraft der

Pflanzenzüchtung kommt somit eine herausragende Rolle für die Realisierung oben genannter Ziele zu. Zur Beschleunigung des züchterischen Fortschritts und zur Erhöhung der Züchtungseffizienz ist der Einsatz neuer Technologien unabdingbar. Mittels Hochdurchsatz-Sequenzierungs- und Genotypisierungs-Technologien wird zukünftig die genombasierte Analyse wichtiger Merkmalskomplexe nicht nur an Modellorganismen, sondern direkt an Nutzpflanzen möglich sein.

Analytische Verfahren, die die Realisierungen der genetischen Information auf den Ebenen von Transkripten, Proteinen und Metaboliten analysieren (Omics-Verfahren), gestatten systemische Lösungsansätze, die die Pflanze in ihrer Ganzheit betrachten. Auch das Verständnis und die Beeinflussung molekularer Mechanismen, die über die DNA-basierten Mechanismen hinaus die Realisierung der genetischen Information kontrollieren (sogenannte epigenetische Mechanismen), gewinnen zunehmend an Bedeutung. Die Verknüpfung dieser umfassenden molekularen Informationen mit der phänotypischen Ausprägung wichtiger Merkmalskomplexe der pflanzlichen Produktion ist somit ein entscheidendes Charakteristikum züchterischer Strategien der Zukunft. Voraussetzung dafür ist die parallelisierte Entwicklung von technologischem Know-how und theoretischen Grundlagen. Innovative Technologieplattformen zur Generierung molekularer und phänotypischer Daten sowie bioinformatische und genetisch-statistische Methoden für die Vorhersage des genetischen Leistungspotenzials von Kulturpflanzen werden in Zukunft die wichtigste Basis für die wissenschaftsbasierte Züchtungsforschung und die Beschleunigung des Zuchtfortschritts bilden.

Entwicklung einer deutschen Gentechnikplattform „Weizen“

Die deutsche Weizenzüchtung gilt weltweit als führend. Viele kleine und mittlere Unternehmen (KMU) sorgen mit ihren Zuchtprogrammen für eine breite genetische Variabilität, die zu vielen neuen Sorten führt. Leider ist die Innovationskraft von einzelnen KMU eher begrenzt und wird zudem durch die aktuelle Nachbauproblematik (siehe Kap. 5.3) noch verschlechtert. Folglich können einzelne Unternehmen nur sehr beschränkt in teure Zukunftstechnologien wie die „Grüne Gentechnik“ investieren. Zugleich wird die Gentechnik in anderen Regionen der Welt, wie z. B. den USA oder China, als Zukunftstechnologie vorangetrieben und als Kernelement weiteren Fortschritts gesehen. Demzufolge investieren große multinationale Konzerne (z. B. Monsanto, Syngenta, Dupont) verstärkt in Weizenzüchtung und Gentechnik. Wichtige agronomische Merkmale mit Klimarelevanz stehen dabei im Fokus: Stickstoffnutzungseffizienz, Wassernutzungseffizienz, Trockentoleranz, Ertrag. Diese Entwicklung wird langfristig auch Europa betreffen.

Aufgrund der langen Zeiträume von bis zu 15 Jahren, die für die Entwicklung neuer Merkmale (Traits) erforderlich sind, sollte eine Initiative in Deutschland gestartet werden, welche die Voraussetzungen für gentechnisch entwickelte Innovationen schafft (z. B. routinemäßige Transformation, Sequenzierung, Entwicklung eines Hybridsystems etc.). Andernfalls ist zu erwarten, dass der Weizenanbau in Deutschland seine Vorzüglichkeit verliert und sich der Anbau in andere Länder verlagert. Ziel muss es daher sein, solide und dauerhaft tragfähige wissenschaftliche und methodische Grundlagen für die deutschen Weizenzüchter zu schaffen, die es ermöglichen, genomorientierte und gentechnische Ansätze in Weizen für wichtige agronomische Eigenschaften zu entwickeln.

Erhöhung der Pflanzenresistenz gegen biotische und abiotische Stressoren

Pilze als Krankheitserreger tragen zu erheblichen Ernteaufschlägen bei allen Nutzpflanzen bei, wenn nicht Fungizide zum Schutz oder zur Krankheitsbekämpfung eingesetzt werden. Die klassische und die markergestützte Züchtung bringen immer wieder Pflanzensorten hervor, die ein gewisses Maß an Resistenz gegenüber pflanzenpathogenen Pilzen aufweisen. Allerdings bietet diese Resistenz in der Regel nur wenige Jahre Schutz, da sich durch die Co-Evolution von Wirt und Krankheitserreger meist schon in kurzer Zeit neue Pathotypen entwickeln und durchsetzen.

Seit vielen Jahren wird die Interaktion zwischen pathogenen Pilzen und Wirtspflanzen intensiv auch auf molekularer Ebene erforscht. Ein Durchbruch, der die züchterische, inklusive gentechnische Nutzung der gewonnenen Erkenntnisse zur Erzeugung dauerhafter Pilz-Resistenz in Pflanzensorten ermöglicht, ist bislang allerdings nicht erzielt worden.

Aufgrund der ökonomischen Bedeutung in der Landwirtschaft wird vorgeschlagen, eine konzertierte Aktion aller Experten auf diesem Gebiet zu initiieren, um das bisherige Wissen zu bündeln und auf dieser Basis neue Wege zur Züchtung von Pflanzen zu finden, die dauerhafte Resistenz gegen pathogene Pilze aufweisen und damit einen hohen Ertrag auch ohne den Einsatz von Fungiziden gewährleisten.

Neben Pilzen muss die Bekämpfung anderer Krankheitserreger (u. a. Bakterien, Viren) und Schädlinge (Nematoden, Insekten) weiterhin im Blickfeld der Forschung bleiben. Insbesondere im Zusammenhang mit klimatischen Veränderungen ist zu erwarten, dass sich auch die Pathogenitätsspektren regional verändern. Diesem Aspekt muss durch die Forschung und Züchtung Rechnung getragen werden.

Neben biotischen spielen abiotische Umweltfaktoren eine wesentliche – oft ertragslimitierende – Rolle in der Landwirtschaft. Trockenheit, hohe Temperaturen und Akkumulation von Salz im Boden stellen eine erhebliche Bedrohung für die Pflanzenproduktion dar. Dabei wirken sich schädigende Umweltfaktoren unterschiedlich stark auf die verschiedenen Kulturpflanzen und Sorten aus. Auch der Zeitpunkt, zu dem der abiotische Stress auf die Pflanze trifft (Samenkeimung, Sprosswachstum, Blütenbildung, Samenansatz) und die Dauer der Stresswirkung determinieren in erheblichem Maße den Grad der Schädigung und der Ertragsdepression. Die Forschung muss dieser Differenziertheit der Stresswirkung Rechnung tragen und in deutlicherem Maße als bisher die Besonderheiten der Situation im Feld ins Visier nehmen. Zahlreiche molekulare und biochemische Schlüsselemente der Reaktion auf abiotischen Stress und der Ausbildung von Toleranzmechanismen wurden in den vergangenen Jahren zumeist anhand von Modellpflanzen unter Laborbedingungen entdeckt. Jedoch fehlt bisher weitestgehend ein systematischer und breit angelegter Ansatz zur Evaluierung dieser im Labor charakterisierten Toleranzmechanismen für den landwirtschaftlichen Anbau unter wechselnden und in unterschiedlichen Kombinationen auftretenden Stresssituationen. Hinzu kommt, dass Gene, die die Stresstoleranz im Feld determinieren, möglicherweise unter Standardbedingungen im Labor bisher nicht gefunden wurden. Hier besteht dringender Forschungsbedarf, der sich auch verstärkt den Besonderheiten der Kulturpflanzen zuwenden muss.

Effiziente Nutzung von Pflanzen

Das Biomassepotenzial von Pflanzen ist gegenwärtig weder quantitativ noch qualitativ voll ausgeschöpft. Durch gezielte Eingriffe in die Genetik von Pflanzen können viele Prozesse dahingehend beeinflusst werden, dass sie Inhaltsstoffe in großer Menge bzw. in einer gewünschten Zusammensetzung produzieren. Mit zunehmenden Kenntnissen von Gensequenzen und Genfunktionen wird dabei die Pflanzenzüchtung, unterstützt von gentechnischen Ansätzen, eine Schlüsselrolle spielen können. Es wird zudem erwartet, dass in Zukunft durch neue technische Verfahren die Bestandteile von Pflanzen effizienter voneinander getrennt werden können. Damit bieten Pflanzen eine interessante Alternative für die Produktion von wertgebenden Substanzen.

Ziel der weiteren Züchtung sollte es sein, Konzepte zu entwickeln, die zur simultanen und nachhaltigen Nutzung von Pflanzen als Quelle von Nahrungsmitteln, Futtermitteln, Energie sowie wertgebenden Inhaltsstoffen führen, um sowohl zusätzliche Wertschöpfung in der Landwirtschaft zu generieren als auch die genetischen Ressourcen sinnvoll und gezielt zu nutzen.

Forstgenetik

Der Wissenschaftliche Beirat Agrarpolitik beim Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz empfiehlt der deutschen Bioenergiepolitik, sich unter Klimaschutzaspekten auf Energielinien zu konzentrieren, bei denen sich CO₂-Vermeidungskosten von unter 50 Euro/t CO₂-Äquivalent erreichen lassen (BMELV, 2007). Dazu gehören unter anderem die kombinierte Strom- und Wärmeerzeugung auf Basis von Hackschnitzeln und die Co-Verbrennung von Hackschnitzeln in bestehenden Großkraftwerken. Hierfür bietet die Produktion von schnellwachsenden Baumarten wie Pappel oder Weide im kurz- und mittelfristigen Umbau (Kurzumtriebsplantagen) die Chance einer ressourceneffizienten Ausweitung der Produktionskapazitäten. Leider stehen bisher nur wenige, züchterisch optimierte Klone von Bäumen zur Verfügung, die den Ansprüchen einer gezielten Züchtung (Domestikation) genügen.

Sowohl für die energetische als auch für eine effiziente stoffliche Nutzung in der Papierindustrie oder als Rohstofflieferanten für die chemische Industrie (Bäume produzieren eine Vielzahl von industriell nutzbaren sekundären Pflanzenstoffen wie phenolische oder isoprenoide Verbindungen, ätherische Öle u. v. m.) müssen völlig neue, leistungsfähige Sorten von Pappel oder Weide gezüchtet werden. Unter Anwendung neuartiger Züchtungsmethoden, basierend auf molekulargenetischen und biotechnologischen Verfahren, kann die Züchtungseffizienz erhöht sowie die Züchtungszeit verkürzt werden. Dies ermöglicht sowohl eine in der Geschwindigkeit mit Kulturpflanzen vergleichbare Forstpflanzenzüchtung als auch eine an der späteren Nutzung orientierte und optimierte Auswahl („Feuer, Papier oder Rohstoffe“) an Pflanzmaterialien.

Genbanken

Der züchterische, durch Kreuzung und Selektion erzielbare Fortschritt bei der Entwicklung leistungsfähiger Kulturpflanzensorten wird entscheidend durch die im Zuchtmaterial vorhandene genetische Diversität und die damit zur Verfügung stehende Vielfalt neuer Gen-/Allel-Kombinationen bestimmt. Durch die im Zuchtprozess betriebene Auslese (Entfernung) nicht erwünschter Genotypen werden dem züchterisch genutzten Genpool jedoch ständig

Allele entzogen und er verarmt an Diversität. Damit einhergehend reduziert sich die Zahl bzw. die Frequenz der möglichen neuen Gen-/Allel-Kombinationen und der Züchtungserfolg sinkt. Um nachhaltig hohe Zuchtfortschritte erzielen zu können, muss dem Abfluss an Allelen durch den gezielten Zufluss genetischer Variabilität entgegengewirkt werden. Gleichzeitig liegt in der Erschließung bisher ungenutzter genetischer Diversität auch der Schlüssel für die weitere Verbesserung von Kulturpflanzen.

Weltweit werden Kulturpflanzen und ihre verwandten Wildarten als pflanzen genetische Ressourcen in umfangreichen Ex-situ-Genbanken erhalten (FAO, 2009b). Der züchterische Nutzwert einer Genbankakzession ergibt sich aus dem Gehalt vorteilhafter Gene/Allele, deren positiver Effekt sich bei vielen agronomisch wichtigen – in der Regel quantitativ vererbten Merkmalen (z.B. Ertrag) – allerdings erst a posteriori, d. h. in der Kombination mit adaptiertem (d. h. züchterisch vorbearbeitetem) Erbgut einer Pflanze, zeigt und erschließt. Daher sind für eine effiziente Erschließung von Genbankressourcen für die züchterische und biotechnologische Nutzung besondere Untersuchungsstrategien zu entwickeln und anzuwenden.

Vor dem Hintergrund der technologischen Fortschritte auf den Gebieten der Hochdurchsatz-Sequenzierung (Genotypisierung), Phänotypisierung und Gen-/Allel-Funktionsanalyse kann die Zusammenführung der entsprechenden Informationsstränge einen Quantensprung in der Nutzung pflanzen genetischer Ressourcen bewirken. Zur Realisierung dieses Potenzials sind Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten in drei Bereichen essenziell:

Durch die Entwicklung und Charakterisierung neuartiger Populationen (z. B. strukturierte Core-Kollektionen, NAM-, MAGIC-Populationen) wird die systematische Aufklärung der Struktur und Funktion agronomisch relevanter Gene ermöglicht. Dazu sind neben den experimentellen Methoden neuartige Verfahren zur Analyse großer Datensätze und zur Assoziationskartierung zu entwickeln, die eine verbesserte Erkennung der Beziehungen quantitativ vererbter Merkmalskomponenten mit den zugrunde liegenden Genen/Allelen ermöglichen.

Zum anderen müssen die Voraussetzungen geschaffen werden, um für bereits bekannte Gene durch „allele mining“ die Träger neuer Allele zu identifizieren, um auf diesem Weg eine Verbesserung der untersuchten Eigenschaften zu erleichtern. Auf diese Weise wird eine schnelle Sichtung umfangreicher Genbankbestände, die mehrere Tausend Muster umfassen können, im Labor ermöglicht.

Ein dritter Bereich ist die Entwicklung von Hochdurchsatz-Screeningverfahren (z. B. mit Hilfe von Einzelzellen oder Zellkulturen), in denen auf der Basis der Kenntnis molekularer Prozesse Gene/Allele gesucht werden können (z. B. über Durchmusterung geeigneter molekularer Banken), die Stoffwechsel- oder Signalübertragungsprozesse beeinflussen oder verändern oder mit bekannten Komponenten dieser Prozesse interagieren.

Eine entscheidende Voraussetzung für die skizzierte, wissensbasierte Nutzung pflanzen genetischer Ressourcen ist der Aufbau einer geeigneten Infrastruktur. Diese beinhaltet die Erweiterung klassischer Samensammlungen in sogenannte Biobanken. In diesen können, neben der gärtnerischen Erhaltung des Materials und der Bereitstellung von Saatgut, der Aufbau von Populationen für die genetischen Analysen sowie die Erhebung und Zusammenführung aller mit dem Material verbundenen Informationen erfolgen. Die Erweiterung der wichtigsten Genbank-Sammlungen zu Biobanken beinhaltet daher (i) die Generierung einer den Samensammlungen entsprechenden Ressource molekularer Proben (DNA, RNA, Proteine, Metabolite), (ii) die Etablierung leistungsfähiger Strukturen zur Re-Sequenzierung, zur

molekularen/biochemischen Analyse und zur Phänotypisierung der einzelnen Akzessionen sowie (iii) den Aufbau einer IT-Infrastruktur, die den Zugang zu Sequenz-, Molekularbiologie-, Biochemie- und Phänotypdaten sowie deren bioinformatische Analyse ermöglicht.

„Blue-Sky“-Forschung

Neben etablierten Forschungs- und Entwicklungskonzepten sollten hoch innovative, ergebnisoffene und gegenwärtig mit geringer Erfolgchance eingestufte Forschungsprojekte initiiert und gefördert werden. Ein Beispiel hierfür ist die C_3 - C_4 -Konversion: Einige Pflanzenarten, die sogenannten C_4 -Pflanzen, zu denen z. B. Mais oder Zuckerrohr gehören, zeichnen sich dadurch aus, dass ihre Photosyntheseleistung an höhere Temperaturen und Trockenheit angepasst ist. Dies führt zu einer Erhöhung der Ertragsleistung solcher Pflanzen unter diesen Bedingungen. Die C_4 -Photosynthese basiert auf einer besonderen Blattanatomie und einem speziellen Stoffwechselprozess zur Fixierung von CO_2 . Ein detailliertes genetisches und molekulares Verständnis dieses Mechanismus könnte langfristig dazu genutzt werden, wichtige C_3 -Kulturpflanzen, wie etwa den Reis, durch molekulare Züchtung oder gentechnische Verfahren in C_4 -Pflanzen zu konvertieren. Letztendlich ist dies auch ein Schritt, um die landwirtschaftliche Leistungsfähigkeit in Regionen aufrechtzuerhalten, die als Folge des Klimawandels mit steigenden Temperaturen und Trockenheit zurechtkommen müssen.

Ein weiterer Bereich für eine solche Blue-Sky-Forschung ist die Stickstoff-Fixierung. Schon lange bekannt ist das Phänomen der Stickstoff-Fixierung in Leguminosen durch Knöllchenbakterien. Nicht-Leguminosen, zu denen bedeutende Nutzpflanzen wie Weizen, Reis und Mais gehören, benötigen zur Sicherstellung eines hohen Ertrages stickstoffhaltige Düngemittel, die teuer sind und zur Gewässerverunreinigung sowie zur Bildung von klimabeeinflussendem Lachgas beitragen. Die bereits vor langer Zeit formulierte Idee, die Mechanismen der Stickstoff-Fixierung auf Getreidepflanzen zu übertragen, konnte jedoch bis heute trotz erheblichen Erkenntnisfortschritts nicht realisiert werden und wird auch auf absehbare Zeit aufgrund der Komplexität des gesamten Prozesses nicht umsetzbar sein. Hingegen scheint die genetische Optimierung der Stickstoff-Fixierung in Leguminosen selbst inzwischen ein durchaus gangbarer Weg. Darüber hinaus weiß man heute, dass mehrere Getreidesorten in ihren Wurzeln Bakterien, sogenannte Endophyten, beherbergen (Hurek et al., 2003; Krause et al., 2006). Für einige Gräser inklusive Zuckerrohr konnte gezeigt werden, dass die Pflanzen von bakteriell fixiertem Stickstoff profitieren. Über die zugrunde liegenden Mechanismen ist bisher jedoch wenig bekannt. Eine Optimierung der wurzelassoziierten Stickstofffixierung für Getreide bietet Möglichkeiten zur künftigen Düngereinsparung.

4.1.2 Technologieplattformen

Um die hochgesteckten neuen Züchtungsziele zu erreichen, muss eine Vielzahl von Informationen über Pflanzen gesammelt und ausgewertet werden (Abb. 7). Technologieplattformen gewährleisten langfristig die Verfügbarkeit der notwendigen wissenschaftlichen und technologischen Grundlagen und Infrastruktur. Hier werden die benötigten Instrumente und Methoden entwickelt und der Forschungs-Community für die Durchführung der themenspezifischen Forschungs- und Entwicklungs-Programme zur Verfügung gestellt. Dies ist ins-

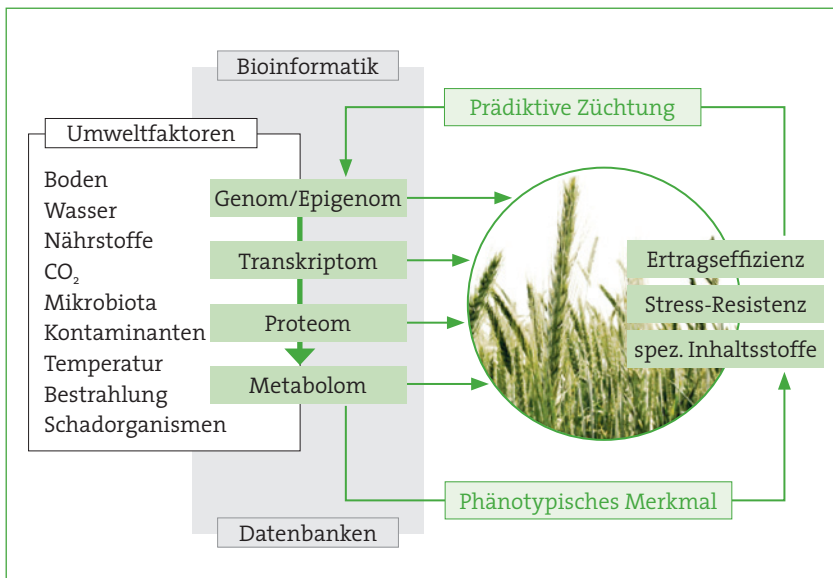


Abbildung 7: Systembiologie der Pflanze zum Erreichen neuer Züchtungsziele

Verfahren vielfach erhöhte Datengenerierung in kürzeren Zeiteinheiten mit stark verringerten Kosten ermöglichen. Dadurch ist es nun ökonomisch vertretbar geworden, im Anschluss an die bereits durchgeführte Sequenzierung der Genome einiger Modellpflanzen die Totalsequenzierung unserer wichtigsten Kulturpflanzenarten voranzutreiben und vergleichende Re-Sequenzierungen von verwandten Sorten und Varietäten in nahezu unbeschränkter Anzahl durchzuführen. Es ist vorauszusehen, dass bereits in wenigen Jahren die DNA-Sequenzierung das Verfahren der Wahl in der molekularen Pflanzenzüchtung sein wird und heute gängige Verfahren, wie die Markierung von Genomen mit molekularen Markersequenzen (z.B. „single nucleotide polymorphisms“), ersetzt wird. Die Generierung der vollständigen DNA-Sequenzen unserer Kulturpflanzen ist nicht nur von hohem Wert für die Grundlagenforschung zum Verständnis der Struktur, Dynamik und Evolution der Pflanzengenome, sondern sie ist auch von großer Relevanz für die angewandte Pflanzenzüchtung und damit generell für die Agrarwissenschaften. All die Pflanzeigenschaften („Traits“), die bereits derzeit und zukünftig verstärkt im Fokus der Pflanzenzüchtung stehen, wie Toleranz gegenüber biotischen und abiotischen Stressfaktoren, verbesserte Wasser- und Nährstoffnutzung oder generell erhöhte Produktivität, sind Eigenschaften, die nicht durch einzelne Gene, sondern durch komplexe Gen-Netzwerke genetisch unterlegt sind. Nur durch die aus der DNA-Sequenzanalyse resultierende Kenntnis aller Gene einer Pflanze wird es möglich sein, diese Netzwerke aufzudecken und gezielt zu beeinflussen, sei es durch modellierungsgestützte Züchtung („predictive breeding“) oder durch gentechnische Modifikation („genetic engineering“). Die Ausfallrate auf dem Weg von der Testung biotechnologischer Lösungsansätze hin zur Verbesserung der genannten Pflanzeigenschaften ist derzeit noch hoch. Grund dafür ist, dass die biologische Funktion vieler Gene nicht oder nur vage bekannt ist und die zugrunde liegenden Gen-Netzwerke von wenigen Ausnahmen abgesehen nur in Ansätzen verstanden sind. Die Kenntnis

besondere für die drei aktuellen Schlüsselbereiche der Pflanzenforschung mit hohem Infrastruktur- und Investitionsaufwand notwendig: die Genomforschung, die Phänotypisierung und die Bioinformatik.

Genomforschung

Die Geschwindigkeit des Erkenntnisfortschritts in der molekularen Analyse der Genome höherer Organismen, einschließlich Pflanzen, hat in den letzten Jahren extrem zugenommen. Das ist insbesondere auf die Einführung neuartiger DNA-Sequenzierungsverfahren zurückzuführen, die eine im Vergleich zu früheren

der Genom-Sequenzen unserer Kulturpflanzen wird es zukünftig ermöglichen, empirische Lösungsansätze durch wissenschaftsbasierte Lösungsansätze zu ersetzen und damit die Effizienz der Pflanzenzüchtung deutlich zu erhöhen.

Die rasante Technologieentwicklung in der Genomforschung erfordert eine nationale Koordinierung und Ressourcenbündelung sowie eine hohe internationale Kooperationsbereitschaft. Weltweit existieren bereits Genomforschungszentren, in denen DNA-Sequenzanalysen mittels Hochdurchsatzverfahren durchgeführt werden. In diesen Zentren werden DNA-Sequenzierungen auch in Kombination mit anderen „Omics“-Verfahren für verschiedenste Organismen oder für spezifische Organismusgruppen als Forschungsprojekt oder Service-Leistung durchgeführt (z.B. im Beijing Genomics Centre in Shenzhen, China, oder im Plant Genome Centre in Norwich, Großbritannien). Aufgrund der Aktivitäten zahlreicher Institutionen der Pflanzen- und Agrarforschung in Deutschland, in denen verschiedenste Expertisen bereits existieren, bietet sich für Deutschland die Etablierung von pflanzenspezifischen Genomzentren an. In diesen Zentren sollte neben der reinen Sequenzierung von pflanzlichen Genomen und Genomabschnitten auch die bioinformatische Aufbereitung der Daten erfolgen. Darüber hinaus müssen diese Zentren eng mit Institutionen zusammenarbeiten, welche die Korrelation der Sequenzinformation mit Merkmalausprägungen vornehmen können. Zu diesen Institutionen zählen in starkem Maße Züchtungsunternehmen und ihre Forschungspartner.

Phänotypisierung

Der Phänotyp einer Pflanze entsteht in der Interaktion zwischen ihren genetisch determinierten Eigenschaften (Genotyp) und der zeitlichen Abfolge der vielfältigen Umwelteinflüsse, denen sie während der Entwicklung ausgesetzt ist.

Phänotypisierung bedeutet die möglichst exakte, vorrangig nicht invasive, quantitative und in der Zukunft auch automatisierte Merkmalerfassung bei Pflanzen. Dabei muss die Umwelt und deren zeitliche und räumliche Charakteristik ebenfalls möglichst präzise quantifiziert oder simuliert werden. Mit Hilfe der Phänotypisierung werden Daten generiert, welche die Korrelation von molekularbiologischen Daten aus Sequenzierung und Omics-Technologien mit der phänotypischen Ausprägung von komplexen Pflanzenmerkmalen wie z. B. dem Ertrag ermöglichen. Somit ist die Phänotypisierung ein Werkzeug, um komplexe pflanzliche Eigenschaften auf molekularer Ebene verstehen und verbessern zu können und ein Hilfsmittel, um über Präzisionszüchtung und Modellierung komplexer Merkmale zu einer besser voraussagbaren Form der Züchtung zu gelangen. Die Hochdurchsatzphänotypisierung wird zudem unmittelbar in der Selektion eingesetzt. Verfahren zur Phänotypisierung unter Feldbedingungen ermöglichen den Züchtern die schnellere, robustere und präzisere Erfassung von Merkmalen – oftmals mit nichtinvasiven Verfahren.

Bislang hat die Entwicklung von Methoden und Konzepten zur quantitativen Analyse pflanzlicher Merkmale unter dem Einfluss der Umwelt mit der rasanten Entwicklung der genetischen und molekularen Grundlagen der Pflanzenforschung nicht ausreichend Schritt gehalten. Deshalb gilt es, die „Phänotypisierungs-Forschung“ zu stärken und die führende Rolle Deutschlands in diesem Zukunftsfeld langfristig zu festigen. Ein Deutsches Pflanzen-Phänotypisierungs-Netzwerk (DPPN) sollte bereits bestehende Aktivitäten bündeln und koor-

dinieren, neue Entwicklungen anstoßen und in der Interaktion von Wissenschaft und Wirtschaft auf höchstem Niveau weiterentwickeln. Das DPPN sollte insbesondere die folgenden Arbeitsfelder adressieren:

- Entwicklung und Erprobung von präzisen Verfahren sowie Modellierungsansätzen zur Analyse der Pflanzenentwicklung unter kontrollierten Bedingungen und unter Feldbedingungen im Hochdurchsatz
- Aufbau eines Netzwerkes von Phänotypisierungs-Plattformen und Versuchsstationen, welche ihre Einrichtungen und Kompetenzen Kooperationspartnern aus Wissenschaft und Wirtschaft zur Verfügung stellen
- Entwicklung (bio)informatischer Werkzeuge zur Erfassung, Aufbereitung, Auswertung und Interpretation phänotypischer Daten und zur Verkopplung mit genotypischen Informationen
- Entwicklung (bio)informatischer Werkzeuge zur Erfassung und Interpretation von Standort- und Bestandsdaten

Neben Beiträgen zur Lösung dieser Herausforderungen sind erhebliche Spin-off-Effekte für die Agrartechnik und Sensorik zu erwarten.

Integration hochdimensionaler Daten

In den Pflanzenwissenschaften führen technologische Innovationen wie die Sequenzierungstechniken der nächsten Generation, Hochdurchsatz-Präzisionsphänotypisierung in automatisierten Plattformen oder Untersuchungen komplexer Expressions-, Protein- und Metabolitenprofile zu einem Paradigmenwechsel. Sie erlauben die molekulare und phänotypische Analyse von Individuen und Beständen in bisher nicht vorstellbarer Dimensionalität. Der aus diesen Daten resultierende Erkenntnisgewinn bezüglich der Ausprägung komplexer Merkmale wie Ertragsbildung und Ressourceneffizienz bildet eine wesentliche Grundlage für die stetige Weiterentwicklung unserer Nutzpflanzen. Ein effizientes Management dieser Daten, ihre Integration und Bereitstellung und vor allem ihre Interpretation und Nutzung für problemorientierte, hypothesengetriebene Forschung und Entwicklung gehören daher zu den zentralen Aufgaben der wissensbasierten Bioökonomie.

Hierbei kommt der Bioinformatik eine zentrale Rolle zu. Die Schaffung von Datenmanagementsystemen, um die generierten Daten zu speichern, zu strukturieren und für die Auswertung und Interpretation zugänglich zu machen, ist essenziell. Dabei gilt es nicht nur, die exponentiell wachsenden Datenmengen zu bewältigen, sondern auch der sehr großen Heterogenität der Datenstrukturen Rechnung zu tragen. Um diesen Aufgaben gerecht zu werden, ist der Aufbau von parallelisierten Einspeisungs-, Bereitstellungs- und Analysepipelines erforderlich. Werkzeuge zur Visualisierung und Sichtung der Daten müssen entwickelt werden. Angesichts der enormen Datenmengen liegt eine der größten Herausforderungen darin, effiziente Strategien zur Reduzierung der Datenkomplexität und -menge, z. B. von Primärdaten der Sequenzanalyse, durch geeignete Methoden der Datenreduktion und Datenkompression zu entwickeln.

Parallel zum Datenmanagement müssen neue effiziente, statistisch-mathematische Ansätze der Datenanalyse entwickelt werden. In der genetischen Analyse komplexer Merkmale

wie Ertrag oder Ressourceneffizienz mittels Genomanalyse und Präzisionsphänotypisierung entstehen hochdimensionale Daten, für deren optimale Nutzung die kontinuierliche Weiterentwicklung statistischer Analysemethoden notwendig ist. Dies gilt in gleichem Maße für die prädiktive Züchtung hoch angepasster Pflanzen.

Die Integration und vergleichende Bewertung der Daten und Ergebnisse aus Forschungs- und Entwicklungsvorhaben unterschiedlicher Disziplinen (z. B. Molekularbiologie, Physiologie, Züchtung) sowie von Modell- und Nutzpflanzen ist die Basis für eine interdisziplinäre, translationale Forschung. Bereits heute gibt es eine Vielzahl von individuellen Datensätzen mit molekularer und phänotypischer Information, biologische Ressourcen und Analysetools, deren optimale Nutzung erst durch das Zusammenführen dieser Daten gewährleistet wird. Dies erfordert innovative bioinformatische Konzepte zur Etablierung von Wissensbanken (knowledge bases), die die Verknüpfung individueller Datenbanken gewährleisten und somit auch die Integration heterogener Daten aus der Sequenzierung, Genotypisierung, Phänotypisierung, aus der Evaluierung genetischer Ressourcen und aus der Beschreibung von Ökosystemen leisten. Hierfür sind funktionelle Modelle und Simulationsansätze essenziell.

Die bioinformatische Infrastruktur in Deutschland ist bislang noch nicht in hinreichender Weise ausgebaut. Um die Pflanzenwissenschaften und den Aufbau einer Bioökonomie umfassend mit Werkzeugen und Analysemethoden der Bio- und Züchtungsinformatik zu unterstützen, sollte im Rahmen konkreter Forschungsprojekte eine vernetzte, abgestimmte, anwendungsorientierte Infrastruktur aufgebaut und bereitgestellt werden. Dabei muss gewährleistet sein, dass die Entwicklung der bioinformatischen Kompetenz in experimentelle und datenerzeugende Strukturen eingebettet ist und dass die notwendige Verknüpfung zur Anwendung gegeben ist.

4.1.3 Kompetenzzentren

In der Bioökonomie müssen verschiedene Disziplinen und Sektoren miteinander interagieren, die bislang nur wenig Kontakt hatten. So sind beispielsweise Verknüpfungen von Pflanzenwissenschaften mit den Ingenieurwissenschaften, aber auch der Mikrobiologie notwendig, um innovative Pfade der Konversion und Wertschöpfung von Biomasse für die stoffliche und energetische Nutzung zu erzielen. Hierzu sollen interdisziplinäre Kompetenzzentren mit regionalem oder lokalem Schwerpunkt eingerichtet werden. Sie stellen sicher, dass die benötigten fachlichen Expertisen aus unterschiedlichen Disziplinen und Sektoren für die jeweiligen Forschungs- und Entwicklungsprojekte gebündelt werden. In solchen Kompetenzzentren können insbesondere Ansätze bearbeitet werden, die eine Kopplung der verschiedenen Sektoren der Bioökonomie erfordern. Beispielsweise wäre es durch eine enge Verzahnung von Verfahrenstechnik und Pflanzenforschung möglich, neue Konzepte zur Abstimmung zwischen Biomasse-Prozessierung und Biomasseproduktion zu entwickeln. Auch ließen sich hier „weiße“ und „grüne Biotechnologie“ effizient miteinander verbinden, um z. B. Ansätze zur gerichteten Evolution, wie sie in mikrobiologischen Systemen möglich sind, mit pflanzenbiotechnologischen Ansätzen zu verknüpfen. Integrative Kompetenzzentren erfüllen in besonderem Maße die wichtige Aufgabe der Übersetzung biologischen Wissens in und für die Ingenieurwis-

senschaften und vice versa. Integrale Ausbildungsgänge z. B. von Pflanzenwissenschaftlern, Mikrobiologen, Agrarwissenschaftlern, Ingenieuren und Wirtschaftswissenschaftlern sind weitere Aufgaben, denen sich diese Zentren in besonderer Weise widmen müssen.

4.2 Stärkere Vernetzung

Zur erfolgreichen Etablierung der Bioökonomie bedarf es einer Vernetzung verschiedener Forschungs- und Entwicklungseinrichtungen. Interdisziplinäre, fachübergreifende Ansätze sind für die erfolgreiche Umsetzung von Forschungsprojekten in die Praxis essenziell. Dafür gilt es insbesondere, eine Integration von Bio- und Agrarwissenschaften mit den anderen mathematisch-naturwissenschaftlichen Disziplinen, den Ingenieurwissenschaften und den Wirtschafts- und Sozialwissenschaften zu schaffen. Die Forschung in Deutschland ist gekennzeichnet durch exzellente, aber räumlich und fachlich fragmentierte Expertise auf den für die Bioökonomie relevanten Gebieten. Diese gilt es zu bündeln und auf die strategischen Ziele und Themenfelder auszurichten. Dabei müssen die einzelnen Akteure ihre Rollen in Forschung und Lehre sowie in der Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Wirtschaft ausfüllen und synergistisch wahrnehmen, indem z. B. die relevanten Aktivitäten/Akteure in Wissenschaft und Wirtschaft durch strategisch ausgerichtete Verbundprojekte zusammengefasst werden. Auch Projektförderung und institutionelle Forschung sind aufeinander abzustimmen.

Die AG Pflanze des BioÖkonomieRats empfiehlt folgende konkrete Maßnahmen für eine Verstärkung der disziplinären, interdisziplinären und translationalen Vernetzung:

4.2.1 Einrichtung eines übergreifenden Forschungsprogramms

Um die Aktivitäten der Projektförderung, der Technologieplattformen und der integrativen Kompetenzzentren abzustimmen und auf Basis einer gemeinsam von Wissenschaft, Wirtschaft und Politik entwickelten Strategie zu koordinieren, soll ein übergreifendes Forschungsprogramm etabliert werden. In dieses sind bereits bestehende relevante Forschungsprogramme und -sektoren einzubeziehen. Ziel ist es, integrative Konzepte für die Bioökonomie zu entwickeln und Synergien zwischen den beteiligten Einrichtungen zu schaffen und zu nutzen. Das Programm soll ebenfalls Kommunikations- und Strategieforen mit Forschungs- und Industriebereichen in der Bioökonomie enthalten wie Ernährung, Energie, Chemie und Pharma. Auf deren Basis sind bestehende Konzepte weiterzuentwickeln und neue Strukturen zur Beratung von Politik und Wirtschaft mit dem Ziel der strategischen Kooperation, der Kommunikation von Ergebnissen und der Diskussion von Perspektiven der Bioökonomie auszubauen. Um alle bereits vorhandenen Kapazitäten aus Forschung, Entwicklung und wirtschaftlicher Nutzung zielorientiert zusammenzuführen und effektiv einzusetzen, ist es notwendig, dieses Forschungsprogramm ressortübergreifend, unter Beteiligung von BMBF, BMELV und weiteren Ressorts, zu gestalten. Ein professionelles Projektmanagement, z. B. unter Federführung des BMBF, ist dabei zu gewährleisten.

Zugleich sollten auch Strukturmaßnahmen ergriffen werden, die es ermöglichen, die einzelnen Forschungsprojekte untereinander zu koordinieren und mit der Wirtschaft zu vernetzen. Hierzu sollte auf bereits erfolgreich etablierte Förderprogramme wie das deutsche Pflanzengenomforschungs-Programm GABI (Genomanalyse im biologischen System Pflanze) aufgebaut werden. Dieses wird seit 1999 vom BMBF gemeinsam mit der Privatwirtschaft als „Public-Private-Partnership“ gefördert. Neben seiner Brückenfunktion zwischen Forschung und Privatwirtschaft hat sich GABI in den letzten Jahren darüber hinaus zu einem wichtigen Instrument der Vernetzung nationaler und internationaler Forschung entwickelt. Mit den bereits ausgebildeten Vernetzungs- und Förderungsstrukturen bietet GABI eine gute Grundlage für den Aufbau einer für die Etablierung des pflanzlichen Bereichs der Bioökonomie notwendigen übergeordneten Struktur zur Steuerung und Koordination übergreifender Forschungs- und Entwicklungsprojekte und sollte daher verstetigt und ausgebaut werden.

4.2.2 Verbesserung der translationalen Forschung

Bioökonomieforschung ist ein Beispiel für die sogenannte translationale Forschung, einer weiterführenden bzw. orientierten Grundlagenforschung an der Schnittstelle zur angewandten Forschung. Sie ist darauf ausgerichtet, auf wissenschaftlichen Erkenntnissen aufbauend konkrete Anwendungsziele bzw. einen wirtschaftlichen, gesellschaftlichen oder kulturellen Nutzen zu realisieren. Hierzu ist eine schnelle Überführung der Befunde und Erkenntnisse aus der Grundlagenforschung über Wissenstransferketten in die anwendungsorientierte Forschung notwendig (IP, 2009).

Ein entscheidender Grund für die bislang nur unzureichend erfolgende Übersetzung von Forschungsergebnissen in praktische Anwendungen liegt in der starken Fokussierung der Grundlagenforschung auf Modellorganismen, wie z. B. Ackerschmalwand (*Arabidopsis thaliana*). Hinzu kommt, dass die unter standardisierten Versuchsbedingungen gewonnenen Ergebnisse und darauf adaptierte Methoden der Simulation und Modellierung oft nicht ohne Weiteres auf die Situation im Feld übertragbar sind. Die Arbeit an solchen Systemen bietet jedoch den Vorteil, dass effiziente Arbeitswerkzeuge, wie biologische Marker, Genomsequenzen, Transformationstechniken etc., bereits etabliert sind und beständig weiterentwickelt werden. Auf diese Weise lassen sich grundlegende biologische Mechanismen aufklären und publizierbare Ergebnisse innerhalb von überschaubaren Zeiträumen generieren. Jedoch weichen die erzielten Ergebnisse unter Umständen deutlich von Effekten ab, die unter den komplexen Bedingungen außerhalb von Laborszenarien beobachtet werden. So haben die an Modellpflanzen erzielten Ergebnisse häufig nur eingeschränkte Relevanz für zentrale Aspekte der Bioökonomie, wie z. B. den pflanzlichen Ertrag.

Die Forschung an Nutzpflanzen anstelle von Modellpflanzen ist jedoch für viele Forscher bislang nur wenig attraktiv. Die Arbeitsbedingungen sind erschwert, da z. B. selten effiziente Arbeitswerkzeuge zur Verfügung stehen oder lange Generationszyklen die Gewinnung von Forschungsergebnissen in die Länge ziehen. Zugleich werden in Begutachtungen Forschungsinitiativen zu Nutzpflanzen oft als nur wenig innovativ eingeschätzt, wenn ähnliche Fragestellungen bereits anhand von Modellpflanzen untersucht wurden. Dies ist schon al-

lein deswegen kurzfristig, weil der Merkmalsausprägung in komplexen Genomen differenzielle Ursachen zugrunde liegen können. Darüber hinaus werden dadurch morphologische und physiologische Spezifika der Nutzpflanzen ignoriert. Bei der Arbeit im Feld besteht zudem oft ein starker öffentlicher Druck, der insbesondere bei der Untersuchung von gentechnisch veränderten Nutzpflanzen in der Zerstörung der Feldexperimente resultiert. Dennoch müssen sich die mit der Nutzpflanzenforschung befassten Wissenschaftler mit den gleichen Erfolgskriterien messen lassen wie Wissenschaftler, die mit den Organismen, Werkzeugen und Methoden der reinen Grundlagenforschung arbeiten.

Eine Stärkung der translationalen Forschung ließe sich erreichen, wenn die Arbeit an Modellpflanzen als „enabling technology“ für die Nutzpflanzenforschung angesehen würde. Auch ist die Entwicklung von neuen Ressourcen für Untersuchungen an Nutzpflanzen verstärkt zu fördern und der Innovationscharakter von Proof-of-concept-Projekten anzuerkennen. Beispiele hierfür könnten die forcierte Förderung von Genomsequenzanalysen wichtiger Kulturpflanzenarten darstellen oder die Resequenzierung regionaler Varietäten. Forschungsprojekte an Nutzpflanzen sind längerfristig (>3 Jahre) auszurichten und die Kriterien zur Projektbegutachtung und -evaluation den speziellen Bedingungen der Nutzpflanzenforschung entsprechend anzupassen. Darüber hinaus ist die Forschungsförderung dahingehend anzupassen, dass die Einbeziehung von Kulturpflanzen in frühe Phasen der Forschung gefördert und gewürdigt wird, um einen schnellen Transfer der Ergebnisse in die Anwendung zu gewährleisten. Zudem ist die verbesserte Zusammenarbeit von Forschung und Politik notwendig, um in der Bevölkerung ein Bewusstsein für die Notwendigkeit und die Bedeutung von Pflanzenforschung zu wecken (siehe auch Kap 5.2).

Ein zusätzliches Hemmnis für die Umsetzung von Forschungsergebnissen bis zur Produktreife liegt in der immer weiter abnehmenden Verfügbarkeit von Versuchsflächen. Weil an vielen Agrarhochschulstandorten die Versuchstätigkeit zum Erkenntnisgewinn und zur Demonstration aus finanziellen Gründen eingeschränkt wird, empfiehlt sich bei der Anlage von Versuchen die Kooperation. Sinnvoll erscheint die Schaffung eines effizienten, gut ausgestatteten Forschungsnetzwerks möglichst in Zusammenarbeit mit der forschenden Wirtschaft.

Der zeitlich befristete Austausch von Experten zwischen akademischen und kommerziellen Institutionen ist für den Aufbau einer funktionierenden translationalen Forschung unentbehrlich und fördert das Verständnis und eine Netzwerkbildung zwischen Persönlichkeiten aus beiden Bereichen und deren Institutionen. Darüber hinaus müssen Rahmenbedingungen geschaffen werden, die einer Berufung von herausragenden Wissenschaftlern aus der Agrarindustrieforschung an die Hochschulen förderlich sind und diese attraktiv machen.

4.3 Aus- und Weiterbildung

Eine wesentliche Erfolgsvoraussetzung für die Entwicklung und Umsetzung strategischer Ziele in der Bioökonomie sind exzellent ausgebildete und innovativ denkende Fachkräfte. Dies erfordert entsprechende Bildungsangebote in allen Bereichen der beruflichen Aus- und Weiterbildung. Besonderes Augenmerk ist auf die Qualifikation von Nachwuchs im Bereich

der Agrarunternehmen zu richten, von der Industrie bis zu Betriebsleitern und Mitarbeitern in landwirtschaftlichen Unternehmen. Für die einzelnen Bildungs- und Ausbildungsträger besteht folgender Handlungsbedarf:

4.3.1 Ausbau der Vernetzungsmöglichkeiten zwischen Pflanzen- und Agrarwissenschaften

Die Einbindung bioökonomischer Aspekte in die moderne Lehre erfordert die kooperative Zusammenarbeit unterschiedlicher Wissensdisziplinen der Pflanzenforschung (IP, 2009), um eine Ausbildung wissenschaftlicher Fachkräfte zu gewährleisten, in deren Rahmen sowohl die Anforderungen der Agrarmärkte als auch die Bedürfnisse der Verbraucher angemessen vermittelt werden. Ein wesentliches Ziel zukünftiger Bildungspolitik muss daher in einer stärkeren regionalen und/oder überregionalen Vernetzung bestehender Studiengänge der Pflanzen- und Agrarwissenschaften liegen. Die intensiviertere Verzahnung von grundlegenden und angewandten Forschungsinhalten würde der Entwicklung der Bioökonomie in Deutschland neue Impulse geben und somit zu einer nachhaltigen Verbesserung dieses Wissens- und Wirtschaftszweiges beitragen.

Die meisten deutschen Hochschulen, die pflanzenwissenschaftliche Studiengänge anbieten, berücksichtigen dabei agrarwissenschaftliche Fragestellungen nicht. Eine Schlüsselrolle in der Umsetzung wesentlicher Ziele der Bioökonomie nehmen somit Universitäten ein, die Pflanzen- und Agrarwissenschaften lehren. Der seit langem angebotene Studiengang „Agrarbiologie“ der Universität Hohenheim bildet bereits eine Brücke zwischen beiden Bereichen. Auch an der TU München wird schon seit zehn Jahren die Konvergenz der Bio- und Agrarwissenschaften in Forschung und Lehre in der Matrixstruktur der gemeinsamen Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan vorangebracht. Solche Modelle müssen gefördert und auf weitere Hochschulen und Universitäten übertragen werden. Ein weiterer, relativ leicht zu organisierender und ergänzend unbedingt notwendiger Lösungsansatz kann in einer thematisch abgestimmten Vernetzung von Studiengängen zwischen einzelnen Hochschulen gesehen werden. So könnten beispielsweise durch die Bündelung unterschiedlicher Expertisen in den Pflanzen- und Agrarwissenschaften gemeinschaftliche Seminarveranstaltungen (z. B. Sommerschulen, Austauschprogramme, überregionale Graduiertenschulen und -kollegs) durchgeführt werden, die den Studierenden ein weitaus umfassenderes Lehrangebot bieten und somit den wesentlichen Aspekten der Bioökonomie Rechnung tragen.

4.3.2 Durchlässigkeit der Studienangebote für weitere Disziplinen

Eine Harmonisierung ist auch für weitere pflanzenwissenschaftliche Themenfelder wünschenswert, z. B. durch eine bessere inhaltliche Vernetzung von Lehrinhalten der biologisch-grundlagenorientierten und biotechnologisch-anwendungsbezogenen Studiengänge einiger Universitäten. Bedarf besteht auch an einer Öffnung in Richtung anderer Naturwissenschaften, wie z. B. der Bioinformatik und mathematisch/statistischer Studiengänge sowie zu den

Ingenieurwissenschaften. An diesen Schnittstellen ist die Zahl an offensichtlich fächer- und fakultätsübergreifenden Studiengängen gering. Eine Vernetzung ist jedoch umso wichtiger, als die Bewältigung aktueller und künftiger Herausforderungen den Einsatz moderner, interdisziplinärer Ausbildungskonzepte und Forschungsansätze erfordern wird. Exemplarisch seien hier die Entwicklung und Anwendung von Konzepten zur energetischen und stofflichen Nutzung pflanzlicher Biomasse genannt, zu deren Erarbeitung wesentliche Teile der Biologie, Chemie und Ingenieurwissenschaften interdisziplinär vernetzt werden müssen. Erste Synergien könnten durch gemeinschaftliche Studienangebote erzielt werden. Langfristig sollte jedoch auch über die Einrichtung interdisziplinär aufgestellter Institute an hierfür geeigneten Universitäten nachgedacht werden, die dann Forschung und Lehre zu fächerübergreifenden Themengebieten in der erforderlichen Breite anbieten können.

4.3.3 Anpassung der Lehreraus- und -fortbildung an bioökonomische Anforderungen

Ein dringender Handlungsbedarf besteht zudem in der Aus- und Fortbildung von Lehrern. Aus Sicht der Pflanzenforschung wäre besonders wünschenswert, dass bei der Ausbildung zukünftiger Biologielehrer auch die Grundlagen der Agrarwissenschaften vermittelt werden. Dies bedarf jedoch einer teilweisen Überarbeitung der biologischen Lehrkonzepte an vielen deutschen Universitäten und der Anpassung bestehender Rahmenlehrpläne für die Schulen. Gleichmaßen sollte zukünftig mehr Wert auf berufsbegleitende Fortbildungsmaßnahmen für Lehrer gelegt werden. Um eine möglichst große Zahl an Lehrern zu erreichen, könnten Fortbildungsmaßnahmen in Form von E-Learning Modulen angeboten werden, bei denen Lehrern auch Lehrmaterialien für den Unterricht zur Verfügung gestellt werden. In den Universitätsstädten würde es sich darüber hinaus anbieten, zusätzliche Veranstaltungen zu aktuellen Themen der Pflanzen- und Agrarforschung an den jeweiligen Hochschulen durchzuführen. Die Teilnahme an solchen Fortbildungsangeboten sollte für alle weiteren bioökonomierelevanten Berufsgruppen offen sein. Zur Umsetzung dieser Maßnahmen bedarf es jedoch einer massiven Unterstützung durch die Politik, die mittels Entwicklung geeigneter Förderprogramme klare Signale setzen könnte.

4.3.4 Verbesserung der Bachelorstudiengänge an Universitäten und Fachhochschulen

Gegenwärtig weisen Bachelorstudiengänge an den Universitäten und Fachhochschulen meist deutliche Unterschiede auf. Entsprechen beispielsweise die praxisnahen Bachelorstudiengänge vieler Fachhochschulen weitgehend den Anforderungen der Industrie, so gilt dies nicht in gleicher Weise für die universitäre Bachelorausbildung. Im Gegensatz dazu erfüllen Bachelorstudiengänge der Fachhochschulen meist nicht die wissenschaftlichen Qualitätskriterien der Universitäten, wodurch die Aufnahme von FH-Absolventen in universitäre Masterstudiengänge deutlich erschwert, wenn nicht sogar unmöglich wird. Als Lösung dieser Problematik wurde bereits eine Angleichung der Bachelorstudiengänge an Universitäten und Fachhoch-

schulen vorgeschlagen, welche zu einem ausbalancierten Verhältnis von grundlagenorientierten und angewandten Lehrinhalten führen soll. Demgegenüber steht jedoch die Wahrung der erprobten und international gelobten, sogar kopierten Eigenständigkeit der Universitäten und Fachhochschulen, die bewusst zu unterschiedlichen Profilen und somit unterschiedlichen Tätigkeits- und Verantwortungsfeldern der jeweiligen Absolventen im Arbeitsmarkt führt. Demnach müssen alternative Lösungsansätze gefunden werden, die unter Wahrung der gewünschten Unterschiede zwischen den Institutionen eine höhere Durchlässigkeit und Anschlussfähigkeit in den gestuften Studiengängen ermöglichen.

Eine zentrale Aufgabe der modernen Bildungspolitik ist die Überprüfung des langfristigen Lernerfolgs als Kompetenzerwerb und gegebenenfalls die zeitnahe Nachbesserung der Studienangebote, um die akademische und berufliche Qualifikation der Absolventen zu optimieren. Die über die Bologna-Regeln hinausgehende Festlegung auf dreijährige Bachelorstudiengänge in Deutschland hat die Entwicklung einer Berufsqualifikation der Bachelorabsolventen an Universitäten erschwert und die Situation an Fachhochschulen teilweise durch Kürzung oder gar Wegfall des Praxissemesters sogar verschlechtert. Ebenso hinderlich ist die von der Kultusministerkonferenz (KMK) vorgenommene zeitliche Begrenzung des Umfangs der Bachelorarbeit, die eine experimentelle Abschlussarbeit – bisher ein international hochgeschätztes Qualitätsmerkmal der deutschen Ausbildung! – vielfach unmöglich macht. Hier ist ein Umdenken dringend und zwingend erforderlich.

Mit ihren Beschlüssen vom 4. Februar 2010 hat die KMK die starre Festlegung der Studienumfänge gelockert. Wir empfehlen dringend, auch die festen Grenzen für den Umfang von Abschlussarbeiten aufzugeben oder zumindest in eine Soll-Vorschrift zu ändern, die Abweichungen bei entsprechender Begründung zulässt.

4.3.5 Ausbildung des landwirtschaftlichen Unternehmensnachwuchses

Die Ausbildung des landwirtschaftlichen Unternehmensnachwuchses wird sich verändern. Neben ökonomischen Fähigkeiten auf liberalisierten Agrar-, Energie- und Industrierohstoffmärkten ist das Wissen um die Ansprüche und Steuerungsmöglichkeiten in Pflanzenproduktionssystemen komplexer denn je. Aufbauend auf eine profunde pflanzenbauliche Ausbildung ist die Vermittlung von Managementfähigkeiten und technischem Wissen zur Nutzung von IT-Entwicklungen in der Landwirtschaft unverzichtbar. Zusätzlich sollten kommunikative Fähigkeiten Gegenstand eines vielstufigen Ausbildungssystems sein. Eine Differenzierung der landwirtschaftlichen Berufsausbildung zwischen Betriebsleitern und Mitarbeitern wird so wichtig wie die bedarfsgerechte Fokussierung universitärer Ausbildung. Der Fortbildung kommt wegen der schnellen Entwicklung beim Stand des Wissens und der Technik eine wichtige Bedeutung zu. Angebote öffentlicher Bildungsträger und privater Anbieter sind sinnvoll zu koordinieren. Ausbildungsordnungen sollten in diesem Sinne länderübergreifend einer grundlegenden Reform unterzogen werden.

5. Gesellschaftliche und globale Handlungsfelder

5.1 Pflanzenforschung in ihrer internationalen Dimension

Die Pflanzenforschung in Deutschland steht erfolgreich im internationalen Wettbewerb und findet dort ihre Anerkennung. Für ihre weitere gedeihliche Entwicklung gilt es, zusätzliche Synergien durch Forschungsk Kooperationen innerhalb Europas und mit anderen Kontinenten zu erschließen und eine Konkurrenzsituation auf jenen Gebieten auszuschließen, in denen andere bereits größere Kompetenzen und Ressourcen aufweisen.

Im Rahmen der globalen Ernährungssicherung trägt Deutschland innerhalb der Weltgemeinschaft jedoch auch die Verpflichtung zur Bewahrung natürlicher Ressourcen (u. a. der genetischen Vielfalt von Pflanzen) sowie zu Hilfestellungen, insbesondere für Entwicklungsländer mit weniger Ressourcen und Forschungskapazitäten. Im Leitbild der Optimierung von Leistung und Ernteertrag bei minimalem Ressourceneinsatz für regionale und globale Produktionsräume der unterschiedlichsten Klimazonen der Welt haben Grundlagen- wie Anwendungsforschung besondere Aufgaben zu erfüllen. Bisher gibt es in Deutschland dazu nur wenige gezielte Forschungsanstrengungen. Daher sollte eine Planungsgruppe eingerichtet werden, die innerhalb eines Zeitraums von zwei Jahren Modelle und Strategien für eine verbesserte internationale Vernetzung auf dem Gebiet der Optimierung von Pflanzenproduktionssystemen für Schwellen- und Entwicklungsländer erarbeitet. Durch Förderung neuer bilateraler bzw. multinationaler Forschungs- und Ausbildungsprogramme, die den Bedürfnissen regionaler Pflanzenproduktion (z. B. in ariden Zonen) gerecht werden, sollen geeignetere Pflanzen generiert, optimierte Produktionssysteme implementiert sowie ein effektiver Wissenstransfer in die Bedarfsländer ermöglicht werden.

5.2 Pflanzenforschung im gesellschaftlichen Kontext

Pflanzenwissenschaftliche Forschung und Entwicklung sowie die zukünftige agrarische Produktion sind zentrale Säulen einer erfolgreichen Bioökonomie. Wie die Vergangenheit lehrt, wird ihr Erfolg letztlich aber auch von der gesellschaftlichen Akzeptanz der eingesetzten Techniken und Verfahren bestimmt werden.

Der Diskurs um die „Grüne Gentechnik“ belegt einen bestehenden und tiefgründigen Vertrauenskonflikt zwischen den Menschen und der Wissenschaft (Arlt, i.E.). Eine erfolgreiche Implementierung neuer Verfahren der pflanzlichen Produktion im Kontext der Bioökonomie erfordert daher auch prioritär vertrauensbildende Maßnahmen. Die Wissenschaft steht hier in der Pflicht, am Dialog zu einem neuen gesellschaftlichen Konsens aktiv zu partizipieren und muss dazu alle wichtigen Fragen schlüssig und nachvollziehbar beantworten. Zugleich müssen wissenschaftliche Stellungnahmen auch vonseiten der Politik ernst genommen werden und sich in Entscheidungsprozessen nachvollziehbar niederschlagen.

Wenngleich verstärkte Aufklärung und Wissensvermittlung bedeutsam sind, wird die Akzeptanz letztlich aber davon abhängig sein, dass die neuen Anwendungen für den Konsumenten emotional nachvollziehbar werden. Die bereits weit fortgeschrittene Entfremdung der Menschen von der agrarischen Produktion sowie der Lebensmittelbe- und -verarbeitung ist hier allerdings nicht förderlich. Profunde naturwissenschaftliche Kenntnisse ebenso wie das Wissen zur pflanzlichen Produktion und der Lebensmittelherstellung sind daher verstärkt

in der schulischen Ausbildung, einer adäquaten Lehrerbildung sowie der Fort- und Weiterbildung zu vermitteln.

Die Kommunikation zur Bedeutung der Pflanzenwissenschaften und -produktion für die Lösung der globalen Ernährungs-, Energie-, Klima- und Wasserprobleme muss so erfahrbar gestaltet sein, dass sie breite Bevölkerungsgruppen erreicht. Dazu könnten beispielsweise „anfassbare“ Schaugärten mit gentechnisch veränderten Pflanzen und Erläuterungen zu deren Nutzen beitragen. Beispiele hierfür sind die seit 2004 vom MPI für Molekulare Pflanzenphysiologie in Potsdam unter dem Motto „Komm ins Beet“ durchgeführten Feldführungen und der 2008 eingerichtete Schaugarten in Üplingen in der Magdeburger Börde sowie die beispielhaften Initiativen am Kölner MPI für Züchtungsforschung an Pflanzen. Gleichfalls gehört dazu, dass das Themenfeld verstärkt im „politischen Raum“ behandelt und aktiv im Interesse aller mitgestaltet wird. Politik darf sich nicht opportunistisch dieser Verantwortung entziehen, sondern muss Lösungskompetenz vermitteln und Rahmenbedingungen schaffen, die einer verantwortungsbewussten ökonomischen und ökologischen Entwicklung dienlich sind, die berechnete Anliegen von Menschen berücksichtigt und das Vertrauen in die Wissenschaft wieder festigt.

Derzeit verstärken auch ungelöste Fragen der rechtlichen Rahmenbedingungen (Kap. 5.3), aber auch ein fehlendes Verständnis in der Öffentlichkeit für die Bedeutung des Schutzes geistigen Eigentums Vorbehalte gegen moderne Biowissenschaften in der Bevölkerung. Dies betrifft insbesondere die Themen Patentschutz (z. B. mit den Problemfeldern der Monopolisierung oder der Schaffung von Abhängigkeiten) und Gentechnikrecht (z. B. in der Frage der Koexistenzregelung). Somit ist es wichtig, dass diese Aspekte geregelt und auch in der Kommunikation in geeigneter Form adressiert werden.

5.3 Rechtliche Rahmenbedingungen

Wissenschaftlicher Fortschritt und die Nutzung dieses Fortschritts zur Optimierung von Produktentwicklung und Produkteigenschaften müssen durch die rechtlichen Rahmenbedingungen gefördert und geschützt werden. Derzeit gibt es viele Felder, die einer Klärung bedürfen und Handlungsbedarf aufzeigen.

- Im Bereich der Pflanzenzüchtung ist unter Beibehaltung des Artikel 53 EPÜ (EPÜ, 1973) die Koexistenz von Patent- und Sortenschutz anzustreben, um einerseits die Gewährleistung des Schutzes von technischen Erfindungen und andererseits den Schutz von Pflanzensorten durch den Sortenschutz zu gewährleisten. Der Sortenschutz enthält ein sogenanntes Züchterprivileg hinsichtlich der uneingeschränkten Nutzung von geschützten Sorten zur Entwicklung von neuen Sorten und deren grundsätzlich freien Vermarktung. Dies gilt es beizubehalten, da es den anzustrebenden Züchtungsfortschritt fördert.
- Regelungen, die kalkulierbare Rückflüsse in die Züchtung für erbrachte Innovationsleistungen sicherstellen, müssen auch den sogenannten Nachbau umfassen. Der Begriff Nachbau bedeutet in diesem Zusammenhang, dass Landwirte einen Teil ihrer Ernte zurückhalten, um ihn im nächsten Jahr wieder als Saatgut zu verwenden.

- Als problematisch ist bislang die Regelung der Koexistenz der drei verschiedenen Anbauformen konventionelle Landwirtschaft, Landwirtschaft unter Nutzung gentechnisch verbesserter Sorten und ökologischer Landbau anzusehen. Durch die seit Jahren ausstehende Entscheidung zu Saatgutschwellenwerten herrscht Rechtsunsicherheit mit erheblichen wirtschaftlichen Folgeschäden für Landwirte wie Züchter.
- In Bezug auf die Zulassung von gentechnisch veränderten Kulturpflanzen sollte die Risikobewertung und abschließende Entscheidung auf rein wissenschaftlicher Grundlage durch die EFSA länderübergreifend erfolgen. Eine nachrangige politische Entscheidung über den Anbau könnte bei den Mitgliedsstaaten der EU liegen.

Zur erfolgreichen Einführung neuer Verfahren und Produkte am Markt sind auch geeignete ökonomische und institutionelle Rahmenbedingungen eine wesentliche Voraussetzung. Diese gilt es frühzeitig bei Forschungs- und Entwicklungsprojekten in die Überlegungen einzubeziehen.
- Die Verwertungsorientierung und die Ausrichtung an Universitäten, wissenschaftlichen Fortschritt auch wirtschaftlich zu nutzen, darf nicht die Freiheit der Wissenschaft beeinträchtigen und zu lähmenden Verwaltungsarbeiten führen.
- Investitionen in Forschung und Entwicklung setzen wettbewerbsfähige Rahmenbedingungen voraus, dazu zählen insbesondere auch steuerliche und finanzielle Anreize. Im Vergleich zu einer großen Zahl der OECD-Länder fehlt in Deutschland eine steuerliche Förderung von Forschungs- und Entwicklungs-Ausgaben z. B. durch „tax credits“ sowie Unterstützung von Unternehmensneugründungen etwa durch Entlastung bei Sozialabgaben („Young Innovative Company“-Status) oder durch zinsgünstige Anschubfinanzierung.

6. Zusammenfassung und Ausblick

Pflanzen haben als Lieferanten von Lebens- und Futtermitteln sowie als Energie- und Rohstoffquelle das Potenzial, zur Lösung der drängenden globalen Herausforderungen des 21. Jahrhunderts beizutragen. Eine bioökonomische Nutzung von Pflanzen kann dabei multiple Bereiche umfassen und auf vielen Ebenen greifen. Zu den visionären Aufgaben im Bereich Pflanzennutzung zählen aus heutiger Sicht:

- Die Verdoppelung der Erträge bis 2050,
- Eine effiziente und nachhaltige Land- und Ressourcennutzung sowie
- Die Anpassung von pflanzlichen Inhaltsstoffen an den technischen und ernährungsrelevanten Bedarf sowie die Verbesserung von Technologien der Pflanzennutzung.

Für die Realisierung einer führenden wissenschaftlichen wie wirtschaftlichen Wettbewerbsposition Deutschlands in der bioökonomischen Pflanzennutzung und unter Berücksichtigung unserer internationalen Verpflichtung gegenüber der Weltgemeinschaft zum Aufbau globaler Ernährungssicherheit und Bewahrung natürlicher Ressourcen erscheinen folgende strukturelle Anpassungen der derzeitigen deutschen Forschungs- und Technologielandschaft sinnvoll und notwendig:

- Die stärkere disziplinäre, interdisziplinäre und translationale Vernetzung
- Der Auf- und Ausbau einer Infrastruktur mit Technologieplattformen im Bereich Pflanze zur Sicherung des technologischen Fortschritts und der Verfügbarkeit für themenbezogene Forschung sowie die Einrichtung und Erweiterung von nationalen Kompetenzzentren
- Die stärkere Verzahnung von pflanzen- und agrarwissenschaftlichen Studiengängen und die Verbesserung der Durchlässigkeit zwischen benachbarten bioökonomie relevanten Fächern im Bereich der Aus- und Weiterbildung
- Die Stärkung der Kommunikation zur Aufklärung und zur Schaffung einer Aufgeschlossenheit gegenüber dem technischen Fortschritt im Agrar- und Ernährungsbereich sowie eines emotional erfahrbaren Nutzens
- Die internationale Dimension der bioökonomischen Forschungs- und Technologieentwicklung erfordert Forschungsprogramme mit dem Ziel des Wissenstransfers, die den regionalen Bedürfnissen gerecht werden
- Die Forschung auf dem Gebiet der pflanzlichen Bioökonomie steht vor solch großen Herausforderungen, dass sie nur in einer nationalen sowie internationalen Vernetzung erfolgreich sein kann. Ein solches Netzwerk lebt von der Kompetenz der einzelnen Forschungscluster sowie deren Verknüpfung untereinander. Dies soll dazu beitragen, die in Deutschland vorhandenen Kompetenzen zu stärken und gleichzeitig mit anderen, internationalen Exzellenzclustern zu verknüpfen.
- Eine regelmäßige Evaluierung erscheint sinnvoll und notwendig, um einen hohen Effizienzgrad zu gewährleisten

Mit der Realisierung dieser Maßnahmen wird Deutschland das technologische Know-how sichern und weiterentwickeln, das es in die Lage versetzen wird, einen wesentlichen Beitrag zur Bewältigung der globalen Herausforderungen zu leisten. Der Transfer dieses Wissens wird zur Verbesserung der Lebensbedingungen der Weltbevölkerung führen können. Zugleich werden neue wettbewerbsfähige Produkte und optimierte Produktionsweisen zur Stärkung der deutschen Wirtschaft beitragen.

Literatur

Ahlemeyer, J. und Friedt, W. (2010): Zwischenbericht zum Projekt „Zuchtfortschritt bei Winterweizen“.

Arlt, M. (i. E.): Beitrag zur Diskussion neuer biotechnologischer Entwicklungen am Beispiel der Pflanzenbiotechnologie. BioÖkonomieRat.

BASF (2009): BASF Bericht 2009. BASF.

Bayer (2009a): Bayer CropScience beschleunigt Ausbau des Biotech- und Saatgutgeschäfts mit Investitionen von rund 3,5 Milliarden Euro bis 2018. Bayer.

Bayer (2009b): Geschäftsbericht 2009. Bayer.

Bd.-Reg (2009): Waldbericht der Bundesregierung 2009. Bundesregierung.

BDP (2010): Pflanzenzüchter erkennen globale Verantwortung. Bundesverband Deutscher Pflanzenzüchter.

BMBF (2008): Pflanzen als Rohstoffe für die Zukunft. Neue Wege für Landwirtschaft, Ernährung, Industrie und Energie. Bundesministerium für Bildung und Forschung.

BMBF (2010): Bekanntmachung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung von Richtlinien zur Förderung der Pflanzenbiotechnologie der Zukunft im Rahmenprogramm „Biotechnologie – Chancen nutzen und gestalten“. Bundesministerium für Bildung und Forschung.

BMELV (2007): Nutzung von Biomasse zur Energiegewinnung. Wissenschaftlicher Beirat Agrarpolitik beim Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz.

BMELV (2009a): Der Gartenbau. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz.

BMELV (2009b): Erzeugung, Vorleistungen und Wertschöpfung des Wirtschaftsbereichs Landwirtschaft. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz.

BÖR (2009): Der Wettbewerb um Bodenfläche – Wege zu einem abgestimmten Flächennutzungskonzept. BioÖkonomieRat.

Breulmann, P. (2008): „Ackerbau: Wo bleiben die Ertragssteigerungen?“ Betriebswirtschaft – Was sagen die Zahlen? DLG Wintertagung.

Cordell, D.; Drangert, J.-O. und White, S. (2009): The story of phosphorus: Global food security and food for thought. Global Environmental Change, 19(2), S. 292-305.

Destatis (2010): Private Konsumausgaben und verfügbares Einkommen im 1. Vierteljahr 2010. Destatis.

EA (2003): Ecosystems and Human Well-Being: A framework for assessment. Millennium Ecosystem Assessment.

EA (2005): Ecosystems and Human Well-Being: A framework for assessment: Synthesis. Millennium Ecosystem Assessment.

EU (2010): Pflanzliche Erzeugung – Herstellungs und Erzeugerpreisen – [tag00054]; Produktionswert zu Herstellungspreisen. Europäische Kommission Eurostat.

EPÜ (1973): Artikel 53 – Ausnahmen von der Patentierbarkeit. Europäisches Patentamt.

Eurostat (2009): Europa in Zahlen – Eurostat Jahrbuch 2009. Eurostat.

FAO (2002): Water: source of food security. Food and Agricultural Organisation of the United Nations, Regional Office for Asia and the Pacific.

FAO (2009a): The state of food and agriculture – Livestock in the balance. Food and Agricultural Organisation of the United Nations.

FAO (2009b): The State of the World's Plant Genetic Resources for Food and Agriculture. Food and Agricultural Organization of the United Nations: <http://www.fao.org/agriculture/crops/core-themes/theme/seeds-pgr/sow/en/>.

GABI (2009): GABI2oXL. Ertrag, Qualität, Nachhaltigkeit. GABI.

Hurek, T. und Reinhold-Hurek, B. (2003): Azoarcus sp. strain BH72 as a model for nitrogen-fixing grass endophytes. *J Biotechnol*, 106(2-3), S. 169-78.

Hüttl, R.; Born, H.; Eckelmann, W.; Frede, H.-G.; Fritz, R.; Hülsbergen, K.-J.; Isermeyer, F.; Makeschin, F.; Quinckhardt, M.; Schneider, B.U.; Seppelt, R.; Varenholt, F. und von Braun, J. (2010): Boden, Wasser und Landnutzung – Herausforderungen, Forschungs-, Technologie- und Handlungsbedarf. BioÖkonomieRat. www.biooekonomierat.de.

IP (2009): Petersberger Thesen zur Zukunft der Pflanzenforschung. GABI – Innovationsforum Pflanze.

Krause, A.; Ramakumar, A.; Bartels, D.; Battistoni, F.; Bekel, T.; Boch, J.; Bohm, M.; Friedrich, F.; Hurek, T.; Krause, L.; Linke, B.; McHardy, A.C.; Sarkar, A.; Schneiker, S.; Syed, A.A.; Thauer, R.; Vorholter, F.J.; Weidner, S.; Puhler, A.; Reinhold-Hurek, B.; Kaiser, O. und Goesmann, A. (2006): Complete genome of the mutualistic, N₂-fixing grass endophyte *Azoarcus* sp. strain BH72. *Nat Biotechnol*, 24(11), S. 1385-91.

NAS/NRC (2010): Impact of Genetically Engineered Crops on Farm Sustainability in the United States. The National Academies of Sciences, Board on Agriculture and Natural Resources.

NIAB (2008): A contemporary analysis of the contribution of breeding to crop improvement. National Institute of Agricultural Botany.

nova (2010): Entwicklung von Förderinstrumenten für die stoffliche Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen in Deutschland. nova-Institut.

Oetker, A. (2007): Das Innovationsfeld Pflanze in der Hightech-Strategie für Deutschland. Forschungsunion Wirtschaft-Wissenschaft.

Sc (2009): Reaping the benefits: science and the sustainable intensification of global agriculture. The Royal Society.

SJR (2007): SCImago Journal & Country Rank. SCImago: <http://www.scimagojr.com>.

StatBA (2009a): Produktionswert des Bereichs Landwirtschaft. Statistisches Bundesamt/Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz.

StatBA (2009b): Statistisches Jahrbuch 2009. Statistisches Bundesamt.

StatBA (2010): Situationsbericht 2010. Statistisches Bundesamt/BMELV.

Tscharntke, T.; Klein, A.M.; Kruess, A.; Steffan-Dewenter, I. und Thies, C. (2005): Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity – ecosystem service management. *Ecology Letters*, 8, S. 857-74.

UN (2008): World population prospects: the 2008 revision population database. <http://esa.un.org/unpp>.

vBio (2010): Master-Bio: Startseite. Verband Biologie, Biowissenschaften & Biomedizin in Deutschland: <http://www.master-bio.de/>.

WB (2010): World Development Report 2010: Development and Climate Change. World Bank.

WRI (2005): The wealth of the poor: managing ecosystems to fight poverty. World Resources Institute.

Mitglieder der Arbeitsgruppe Pflanze

Prof. Dr. Bernd Müller-Röber (Sprecher)

Professor für Molekularbiologie, Max-Planck-Institut für Molekulare Pflanzenphysiologie und Universität Potsdam

Carl-Albrecht Bartmer

Präsident Deutsche Landwirtschaftliche Gesellschaft (DLG e.V.)

Dr. Dr. h.c. Andreas J. Büchting

Vorsitzender des Aufsichtsrats KWS SAAT AG

Prof. Dr. Hannelore Daniel

Lehrstuhl für Ernährungsphysiologie, Technische Universität München

Dr. Hans Kast

Berater für die BASF Plant Science Company GmbH

Dr. Michael Metzloff

Leiter der Forschungsgruppe Crop Productivity am Bayer Innovationszentrum Gent

Prof. Dr. Dirk Prüfer

Professor für Biochemie und Biotechnologie der Pflanzen, Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und Angewandte Ökologie und Universität Münster

Prof. Dr. Chris-Carolin Schön

Lehrstuhl für Pflanzenzüchtung, Technische Universität München

Prof. Dr. Ulrich Schurr

Leiter Institut für Chemie und Dynamik der Geosphäre (ICG), Forschungszentrum Jülich

Prof. Dr. Wiltrud Treffenfeldt

Direktorin für Bioprozessentwicklung, Dow AgroSciences LLC, Indianapolis, USA

