

Beitrag der Pflanzenforschung zur Deckung des Rohstoffbedarfs der Bioökonomie

Vorbemerkung

Biobasierte Rohstoffe sind die wichtigste Grundlage der Bioökonomie. Bei zunehmender Bedeutung der Bioökonomie können die verschiedenen Verwertungsrichtungen (food, feed, fibre, fuel, flowers, fun) in eine noch stärkere Erzeugungs- und Nutzungskonkurrenz geraten. Eine Rohstoffstrategie soll dem Primat „food first“ folgen. Sie hat außerdem die nachhaltige Nutzung der Ressourcenbasis (Boden, Wasser, Nährstoffe, Biodiversität) zu gewährleisten und sollte im Einklang mit gesellschaftlichen Bedarfsvorstellungen stehen. Um diese Ziele zu erreichen, muss die Verwertung der biobasierten Rohstoffe effizienter und bedarfsgerechter gestaltet werden. Wichtigstes Ziel aber ist, die nachhaltige Produktion biobasierter Rohstoffe zu stärken. Eine besondere Rolle kommt dabei der Pflanzenforschung zu.

Über die BÖRMEMOS

BÖRMEMOS fassen in komprimierter Form Einschätzungen des Rates zu zentralen Aspekten der Bioökonomie zusammen. Sie erheben nicht den Anspruch, eine umfassende Abhandlung dieser Sachverhalte zu liefern. Vielmehr stellen sie eine fokussierte und allgemein verständliche Betrachtung des jeweiligen Gebietes und dessen Bezug zur Bioökonomie dar. Die BÖRMEMOS sind als pointierter Beitrag zur öffentlichen Debatte konzipiert. Sie sind Bestandteil einer Serie von Analysen, die der Bioökonomierat veröffentlichen wird. Ihre theoretische Basis haben sie in umfassenderen Hintergrundpapieren, die ebenfalls auf der Homepage des Rates veröffentlicht sind. BÖRMEMOS werden gemeinsam mit BÖR-Hintergrund-Papieren begutachtet (Peer Review). Während dieses Prozesses werden sie als vorläufig gekennzeichnet und die Autoren genannt. Das vorliegende Memo zur Landwirtschaft wurde vorläufig am 4.6.2014 veröffentlicht und nach dem Durchlaufen des oben beschriebenen Prozesses vom Rat auf der 10. Sitzung am 14.11.2014 endgültig verabschiedet.



Die Pflanzenforschung kann einen wichtigen Beitrag leisten, den steigenden Bedarf an biobasierten Rohstoffen zu decken.

Wachsende Nachfrage

Es ist davon auszugehen, dass die Nachfrage nach Biomasse deutlich steigen wird. Die Weltbevölkerung wird bis zum Jahr 2050 auf 9,6 Milliarden Menschen anwachsen [5]. Damit wird der Bedarf an Nahrungsmitteln um 60% (2011 gegenüber 2050) steigen [6]. Der Pro-Kopf-Fleischkonsum wird im gleichen Zeitraum zunehmen [7]. Für andere Verwertungszweige, wie die stoffliche und energetische Nutzung, könnte sich das Angebot damit weiter verringern. Die industrielle Verwertung biobasierter Rohstoffe wird sich moderat ausdehnen [8] – auch wenn angesichts der aktuellen Rohölpreise ein umfassender Rohstoffwandel nicht unmittelbar bevorsteht [9]. In Deutschland sind heute rund 13% der Rohstoffe in der Chemie biologischer Herkunft [10]. Sie werden vor allem zu hochwertigen Spezialchemikalien verarbeitet. Der Anbau von Biomasse als erneuerbarer Energieträger wurde im vergangenen Jahrzehnt stark ausgedehnt, angeregt durch politische Maßnahmen und durch einen Preisanstieg fossiler Energieträger. Bei hohen Energiepreisen ist zu erwarten, dass die Marktmechanismen weltweit für eine weitere Expansion der Bioenergie sorgen. Auch die Produktion nicht essbarer gartenbaulicher

Überblick & Kernaspekte

Definition: Bioökonomie ist die wissensbasierte Erzeugung und Nutzung biologischer Prozesse, um Produkte, Verfahren und Dienstleistungen in allen wirtschaftlichen Sektoren im Rahmen eines zukunftsfähigen Wirtschaftssystems bereitzustellen.

- Weltweit werden rund 14,4 Milliarden Tonnen Biomasse (Trockenmasse inkl. Forstprodukte) genutzt. Davon entfallen 11 Mrd. Tonnen auf Nahrungs- und Futtermittel, 2,4 Mrd. Tonnen für energetische und 1 Mrd. Tonnen für die stoffliche Nutzung. [1]
- Das Wachstum der landwirtschaftlichen Erzeugung verlangsamt sich. So ist die weltweite Produktion von Biomasse zwischen 2003 und 2012 um durchschnittlich 2,1% pro Jahr gewachsen. Für den Zeitraum zwischen 2013 und 2022 werden nur noch Wachstumsraten von 1,5% pro Jahr erwartet. [2]
- Derzeit sind rund 870 Millionen Menschen auf der Welt chronisch unterernährt. [3]
- Im Jahr 1960 lag die weltweite landwirtschaftliche Nutzfläche bei 0,44 Hektar pro Kopf. Im Jahr 2025 werden dies lediglich noch 0,17 Hektar sein. [4]

Produkte (Zierpflanzen, Ziergehölze) stellt in manchen Regionen einen wichtigen Teil des finanziellen Ertrags im landwirtschaftlichen Sektor dar. Die Pflanzenforschung kann einen wichtigen Beitrag leisten, den steigenden Bedarf an biobasierten Rohstoffen zu decken.

Zielsetzung: Angebot steigern

Um die Erträge landwirtschaftlicher Kulturen insgesamt zu steigern, gibt es grundsätzlich zwei Möglichkeiten: die Ausweitung von Ackerflächen unter Einbeziehung bislang nicht kultivierter Böden oder eine weitere Steigerung der Erträge auf den bisher bewirtschafteten Flächen. Ob die weltweite landwirtschaftlich genutzte Fläche von etwa 1,5 Milliarden Hektar überhaupt ausgeweitet werden kann, ist derzeit umstritten. Es besteht die Gefahr, dass die Inkulturnahme von zusätzlicher Anbaufläche mit einer weiteren Erhöhung von Treibhausgasen, dem Verlust von Ökosystemen, einer Einschränkung der Biodiversität und Gefährdung wichtiger genetischer oder anderer Ressourcen (Wasser, Boden) sowie dem Verlust menschlichen Lebensraums verbunden ist. Daher ist es sinnvoll, den wachsenden Bedarf an pflanzlicher Biomasse auch künftig, wie dies bereits seit Jahrzehnten der Fall ist, in erster Linie durch eine Steigerung

der Erträge zu decken und nicht durch eine Ausdehnung der bewirtschafteten Fläche. Dabei müssen Nachhaltigkeitskriterien eingehalten werden. Diese angebotsseitige Strategie (nachhaltige Produktionssteigerung) gilt es durch Strategien auf der Verwendungsseite zu flankieren, unter anderem mit dem Ziel einer Verringerung des Warenverderbs bei Transport und Lagerung. Deutschland sollte versuchen, diese Doppelstrategie sowohl im Inland als auch im Rahmen von Entwicklungszusammenarbeit umzusetzen.

Ziele einer modernen Pflanzenforschung

Um die Produktivität in der Pflanzenproduktion steigern zu können, werden von der Pflanzenzüchtung Sorten mit höheren Erträgen, besserer Anpassungsfähigkeit an verschiedene Anbau- und Umweltbedingungen bei gleichzeitig vermindertem Ressourcenbedarf verlangt. Eine wichtige Rolle spielt hierbei die Resilienzforschung, da sie die Toleranz eines Systems (etwa eines Biotops oder des Bodens) gegenüber biotischen oder abiotischen Stressfaktoren und Störungen, wie Trockenheit, Nässe oder Krankheits- und Schädlingsbefall, erhöht. Die Resilienz ist eng verbunden mit der Fähigkeit biologischer Systeme, sich selbst zu regulieren und sich nach störenden Eingriffen wieder zu erholen. Die Pflanzenzüchtung hat es geschafft und ist immer noch im Stande eine jährliche Ertragssteigerung von 1% bis 2% zu erreichen und zugleich eine Effizienzsteigerung zu realisieren. Trotz dieser kontinuierlichen Produktivitäts- und Effizienzsteigerungen bleibt die Ressourcennutzung im Pflanzenbau aber weiterhin stark optimierungswürdig. Beispielsweise gelangt derzeit nur ein Fünftel des Phosphors über die Pflanze in die Nahrung. Über die Intensivierung der Züchtung phosphat-effizienter Sorten und innovativer mikrobiologischer Systeme kann die Nährstoffeffizienz verbessert werden. Weiterhin haben sich in der Vergangenheit Züchtungsforschung und Pflanzenzüchtung auf wenige Kulturpflanzenarten konzentriert. Insbesondere Pflanzen mit interessanten sekundären Inhaltsstoffen wurden unzureichend bearbeitet. Das hat die Verfügbarkeit interessanter Rohstoffe für die Bioökonomie eingeschränkt. Darüber hinaus beeinträchtigen verengte Fruchtfolgen die Resilienz von Agrarökosystemen. Ein verstärkter Anbau zusätzlicher Kulturen, ist jedoch nur zu erwarten, wenn der Markt die Leistungen dieser Kulturarten und damit die dafür benötigten züchterischen Anstrengungen honoriert.

Werkzeuge der modernen Pflanzenforschung

Für neue Ansätze zur Verbesserung der Ertragsleistung und Ertragsstabilität ist ein detailliertes Verständnis der physiolo-

gischen Abläufe erforderlich, welche die einzelnen agronomischen Merkmale beeinflussen. Von der Keimungsphysiologie bis zur Ertragsbildung an vegetativen oder generativen Pflanzenteilen und der Interaktion der Pflanze mit ihrer Umwelt spielen im zeitlichen Ablauf viele verschiedene physiologische Prozesse eine Rolle. Die nutzbare genetische Variation in der Pflanzenzüchtung wird bislang über den Phänotyp oder über dazu passende molekulare Marker adressiert. Um das Potenzial der Variation auf der physiologischen Ebene zu nutzen, müssen Faktoren, wie zum Beispiel Schlüsselenzyme, innerhalb der zur Verfügung stehenden genetischen Vielfalt identifiziert werden, um die Merkmalsausprägung maßgeblich zu beeinflussen. Parallel zur physiologischen Charakterisierung tragen Hochdurchsatzmethoden wie Proteom- und Expressionsanalysen sowie Sequenzdaten dazu bei, neue Sorten auf molekularer Ebene zu beschreiben. Diese interdisziplinären Ansätze werden durch die wachsenden Möglichkeiten der Informationstechnologien (Big Data) unterstützt. Im Hinblick auf die zunehmende Knappheit natürlicher Ressourcen müssen gleichzeitig auch verstärkt züchterische Maßnahmen zur Generierung von Nutzpflanzen mit erhöhter Stresstoleranz, geringen Ansprüchen und hohem Nahrungswert ergriffen werden, also mit einer erhöhten Effizienz in Bezug auf Wasser- und Nährstoffaufnahme. Die Entwicklung und Anwendung neuer biotechnologischer Methoden zur gezielten Einbringung spezifischer Pflanzenmerkmale sind für die Realisierung dieser Züchtungsziele unverzichtbar. Diese Methoden müssen allerdings einhergehen mit einem tieferen Verständnis der Pflanze in Wechselwirkung mit ihrer Umwelt und den Möglichkeiten, diese direkt und indirekt zu beeinflussen, damit die Veränderungen optimal zur Ausprägung kommen.

Prädiktive Präzisionszüchtung

Entscheidend für die nachhaltige Verbesserung der Ertragsleistung und -stabilität ist die kontinuierliche Steigerung des Züchtungserfolgs. Moderne Methoden der Präzisionszüchtung integrieren klassische phänotypische Merkmale und genetische Information. Anders als in der klassischen Züchtung kann der Kreuzungserfolg bereits mit der molekularbiologischen Analyse des Keimlings im Labor überprüft werden. Das beschleunigt den Prozess. Die große bevorstehende Herausforderung bleibt die vollständige Integration der genom-basierten und der klassischen phänotypischen Selektion in einheitlichen Zuchtprogrammen. Der Erfolg einer Züchtung liegt in der Steigerung des Ertrags, der Ertragsstabilität, der Ressourceneffizienz und der Resistenz gegen biotische und abiotische Stressfaktoren.

Exkurs: Mais

Mit einem Ertrag von 883,5 Millionen Tonnen ist Mais die wichtigste landwirtschaftliche Nutzpflanze weltweit. Dies entspricht rund einem Viertel der Weltgetreideproduktion. Maiskörner sind besonders energiehaltig. Rund zwei Drittel ihres Feuchtgewichtes entfallen auf Kohlenhydrate. Dementsprechend wird Mais vor allem als Futtermittel verwendet, zunehmend aber auch als Energieträger in Biogasanlagen oder zur Herstellung von Bioethanol, Biodiesel oder als Rohstoff für die Chemieindustrie, die aus Maisstärke Kunststoffe wie Polylactid (PLA) herstellt. Seit dem Jahr 1950, als die ersten Maiszuchtprogramme gestartet wurden, hat sich die Anbaufläche in Deutschland um den Faktor 500 ausgeweitet. Grund dafür sind Züchtungserfolge, mit denen der Mais an die hiesigen Umweltbedingungen angepasst wurde. Wichtige Zuchtziele waren dabei die Kältetoleranz oder die Anpassung an unterschiedliche Regionen und Böden. Den Landwirten stehen heute mehr als 400 verschiedene Maissorten zur Verfügung. Ein Schlüssel zur Ertragssteigerung war die Hybridzucht, die zu einem Wachstum der Pflanze und Kolben führt. Die Zucht eines Maishybriden ist in Deutschland zum ersten Mal im Jahr 1965 gelungen. Mittlerweile ist der Maisanbau in Deutschland so verbreitet, dass ihn Kritiker als Gefahr für die biologische Vielfalt in der Landwirtschaft sehen. Im Koalitionsvertrag der schwarz-roten Bundesregierung wird passend dazu eine „Vermaisung“ der Landschaft kritisiert. Seit 2012 stagniert die Anbaufläche von Mais in Deutschland.

Pre-breeding

Voraussetzung für eine erfolgreiche Tier- und Pflanzenzüchtung ist der Zugang zu genetischer Diversität. Um den züchterischen Fortschritt zu beschleunigen, muss zum einen der Zugang zu genetischen Ressourcen gesichert und zum anderen die Erschließung und Nutzung der natürlichen genetischen Vielfalt intensiv gefördert werden. Es ist daher wichtig, dem vorgelagerten Prozess des „Pre-breeding“ in der Züchtung mehr Aufmerksamkeit zu schenken, um die genetischen Variationen aus dem Genpool der Arten zu erfassen und für die Züchtung nutzbar zu machen. Genbanken und Netzwerke sorgen dafür, dass die genetische und biologische Vielfalt erhalten wird. Neue Möglichkeiten der molekularen Beschreibung genetischer Ressourcen können den Prozess des Pre-breeding erleichtern und beschleunigen. Dazu gehört neben einer phänotypischen Evaluierung

und Beschreibung der genetischen Ressourcen der Einsatz biotechnologischer, molekularer, populationsgenetischer und quantitativ genetischer Verfahren. Zudem werden gute, öffentlich zugängliche Datenbanken benötigt, in denen die in den Genbanken lagernden „Rohstoffe“ und ihre Eigenschaften möglichst umfassend beschrieben werden. Neben verschiedenen Ressourcen der Hauptfruchtarten enthalten Genbanken auch Proben von in der Vergangenheit genutzten, aber zur Zeit wenig bearbeiteten Kulturarten, die für die Bioökonomie zum einen durch eine größere Auswahl an verwertbaren Inhaltsstoffen, zum anderen durch eine Verbreiterung der Fruchtfolge und damit zu einer höheren Systemresilienz von Bedeutung sind.

Phytomedizin und Pflanzenschutz

Trotz aller Technologien zum Pflanzenschutz gehen derzeit weltweit bis zu 40% der Ernteerträge durch Schadorganismen verloren [11], welche die Qualität der Ernteerzeugnisse erheblich beeinträchtigen. Es ist heute bereits erkennbar, dass heimische und bereits eingeschleppte Schadorganismen (pflanzenpathogene Viren, Bakterien, Pilze, Schadinsekten, Konkurrenzpflanzen) aufgrund veränderter klimatischer Bedingungen in Zukunft stärkere Bedeutung erlangen werden. Des Weiteren ist mit dem stetig steigenden globalen Handel mit Pflanzen, Pflanzenteilen und Pflanzenprodukten auch ein steigendes Risiko der Ein- und Verschleppung gefährlicher Schaderreger verbunden. Zeitgleich wird europaweit angestrebt und über Rechtssetzung vorgegeben, die Verwendung chemisch-synthetischer Pflanzenschutzmittel auf ein „notwendiges Maß“ zu reduzieren und als kritisch betrachtete Wirkstoffe gänzlich aus der Verwendung herauszunehmen. Die biobasierte Wirtschaft wird Wege finden müssen, dieser Entwicklung wirksam zu begegnen. Die zu erwartenden Probleme sind zu vielschichtig, als dass sie allein von der Resistenzzüchtung gelöst werden könnten. Dringend erforderlich sind deshalb innovative Forschungs- und Entwicklungsansätze in der Phytomedizin zur Schaffung nachhaltiger und ökologisch verträglicher Lösungen, um Qualität und Ertragsleistungen der Kulturpflanzen nachhaltig und möglichst in resilienten Systemen wirksam zu schützen. Dazu gehört auch die Beeinflussung des Lebensraums der Nutzpflanze, um die Bedingungen für die Pflanze zu verbessern und die der Schaderreger negativ zu beeinflussen. Dies sollte unter Einbeziehung einer Vielzahl von biotischen und abiotischen Faktoren des Standorts geschehen. Dies sind Bereiche, in denen aufgrund der Komplexität der Wirknetze erhebliche Forschungsdefizite bestehen.

Empfehlungen

In ihrem Kern ist die Bioökonomie ein sich selbst erneuerndes Kreislaufsystem auf Basis erneuerbarer Rohstoffe, das mit Sonnenenergie im Wesentlichen als externem Beitrag auskommt. Nachhaltigkeit wird dadurch erreicht, dass sich dieses System ohne Hinzunahme nicht-erneuerbarer Stoffe oder der Ausweitung von Produktionsfaktoren wie etwa zusätzlicher Flächen trägt. Neue Technologien – nicht zuletzt in der Landwirtschaft – sind notwendig, um sich diesem Idealzustand schrittweise zu nähern. Nach Ansicht des Bioökonomierates bestehen folgende politische Handlungsfelder, mit denen die Pflanzenforschung in Deutschland gestärkt werden kann, so dass sie einen wertvollen Beitrag zur Entwicklung einer Bioökonomie leisten kann:

- **Steigerung der Produktion:** Die Steigerung der nachhaltigen Produktion zielt darauf ab, den landwirtschaftlichen Ertrag und damit die Leistung zu steigern. Gleichzeitig muss negativen Umweltwirkungen entgegengewirkt, also der Ressourcenfußabdruck reduziert werden. Von zentraler Bedeutung ist dabei der schonende beziehungsweise effiziente Umgang mit den begrenzt verfügbaren Ressourcen Boden, Wasser, Nährstoffen und Energie. Die Förderpolitik ist an diese sich ändernden Bedingungen anzupassen – auch im Sinne einer besseren Abstimmung der Förderinstrumente und -ziele. Deshalb ist verstärktes Engagement in Forschung und Entwicklung zur nachhaltigen Steigerung der Produktion biobasierter Rohstoffe sowie zum stärkeren Schutz vor Verlusten an Produktqualität und Erträgen anzuraten. In der Pflanzenforschung sollten genomische und phänotypische Selektion kombiniert werden und innovative nachhaltige Systeme der Phytomedizin unterstützen.
- **Nutzung und Erhaltung der Biodiversität:** Die genetische Diversität ist der Rohstoff für die Züchtung leistungs- und anpassungsfähigerer Pflanzensorten. In diesem Zusammenhang sollten eine Genomforschung und Phänotypisierung unter kontrollierten Bedingungen gefördert werden, um die genetische Vielfalt zu evaluieren, die in entsprechenden Datenbanken vorhanden ist. Genetische Daten sollten der Öffentlichkeit und Züchtung zugänglich gemacht werden. Dazu gehört auch eine praktikable Auslegung der Convention on Biological Diversity (CBD) und des zugehörigen Nagoya-Protokolls. Darüber hinaus sollten neue biostatistische Verfahren für das Pre-breeding gefördert werden. Förderung ist insbesondere wichtig für die bisher vernachlässigten Kulturarten, die sowohl zur Vielfalt des Rohstoffangebots als auch zur Resilienz der Systeme beitragen

können. Ebenso ist die genetische Diversität, beispielsweise antagonistischer oder symbiontischer Mikro- und Makroorganismen, für die Evaluierung, Erforschung und Nutzung biologischer Abwehrsysteme (Antagonisten und Mikroorganismen) gegen biotische oder abiotische Stresskomponenten von großer Bedeutung.

- **Verständnis des Systems Pflanze:** Mit Hilfe der prädiktiven Züchtung kann es gelingen, die Erkenntnisse aus Genomforschung, Phänotypisierung und integrativer Bio- und Züchtungsinformatik in Bezug auf konkrete biologische Fragestellungen zusammenzuführen. Dies ist die Grundlage dafür, das biologische System Pflanze besser zu verstehen und Züchtungserfolg besser vorherzusagen. Neue physikalische und molekularbiologische Verfahren zur Phänotypisierung, die Entwicklung anwenderfreundlicher Bioinformatik-Programme und Datenbanken sowie die Entwicklung biostatistischer Verfahren sollten daher gefördert werden. Hierzu sollten die bestehenden Versuchsstationen und ein langfristig und breit angelegtes Feldversuchsnetzwerk finanziell besser ausgestattet werden. Neben dem System Pflanze per se gilt es außerdem, die trophischen Systeme der Organismen in realen Pflanzenbausystemen weiter zu erforschen, um durch eine gezielte und nachhaltige Beeinflussung von Agrarökosystemen die Ressourceneffizienz der Pflanze zu verbessern. Die so gewonnenen Erkenntnisse müssen auch in die Formulierung von Züchtungszielen einfließen.
- **Zusammenarbeit von Wirtschaft und Wissenschaft:** Die Forschung in der Bioökonomie zahlt sich dann aus, wenn die in der Forschung entwickelten Technologien und Innovationen als Produkte oder Verfahren am Markt ankommen oder Grundlage wirtschaftlich erfolgreicher Produkte werden. Die Grundlagenforschung in Deutschland ist international wettbewerbsfähig aufgestellt. Unzureichend ist dagegen die Übertragung der neuen Erkenntnisse aus der Grundlagenforschung in die Wirtschaft und die Schritte der Entwicklung, die zwischen Forschung und Nutzung unabdingbar erforderlich sind. Im Bereich der Pflanzenzüchtung wie auch in der Phytomedizin sind erfolgreiche Netzwerke etabliert. Dieses Public-Private-Partnership-Konzept sollte von der Grundlagen- bis hin zur angewandten Forschung gestärkt werden. Dazu ist der finanzielle und rechtliche Rahmen verlässlich zu gestalten. Förderprogramme sollten zwischen den verschiedenen Ressorts abgestimmt werden.

Fazit

Angesichts einer abzusehenden steigenden Nachfrage nach biobasierten Rohstoffen steht nicht nur die Pflanzenforschung, sondern auch die Landwirtschaft vor neuen Herausforderungen. Ertragssteigerungen und Verlustminimierungen sind notwendige Voraussetzungen für den Erfolg einer Bioökonomie. Deutschland kann mit den vorstehend beschriebenen Maßnahmen – vor allem aber technologischen Entwicklungen – einen Beitrag dazu leisten, die weltweite Nachfrage an Biomasse in Quantität und Qualität zu decken. Diese Strategie muss in all ihren Komponenten jedoch auf eine ganzheitliche Nachhaltigkeit ausgerichtet sein und sollte daher ökologische, ökonomische, technologische und soziale Belange berücksichtigen. Aus ökologischer Perspektive geht es darum, durch eine nachhaltige Nutzung die für die Bioökonomie so wichtigen aber begrenzten Georessourcen Boden, Wasser, Nährstoffe und die Vielfalt von Pflanzen, Tieren und Mikroorganismen für kommende Generationen zu erhalten.

Endnoten

- [1] Wirsenius et. al. (2007). Global use of agricultural biomass.
- [2] OECD (2013). Agricultural Policy Monitoring and Evaluation.
- [3] FAO, (2011). World Hunger Report 2011.
- [4] FAO (2009). Resource Outlook to 2050.
- [5] United Nations (2012). World Population Prospects: The 2012 Revision.
- [6] FAO (2012). World Agriculture Towards 2030/2050. The 2012 Revision.
- [7] Godfray et al. 2010, S. 2770; von Witzke/Noleppa/Schwarz 2008, S. 11 f.
- [8] FNR (2014) Marktanalyse Nachwachsende Rohstoffe
- [9] Bioökonomierat. (2014) MEM002 – Chemieindustrie: Wettbewerbsfähigkeit und Bioökonomie
- [10] VCI. (2014). Rohstoffbasis der chemischen Industrie.
- [11] Oerke et. al. (2006), Crop Losses to Pests
- [12] Statistisches Bundesamt

Weiterführende Literatur

- 1) Bioökonomierat (2010) Empfehlungen des Bioökonomierats 02, Prioritäten in der Bioökonomie-Forschung
- 2) DFG Senatskommission für Agrarökosystemforschung (2014): Nachhaltige ressourceneffiziente Erhöhung der Flächenproduktivität – Zukunftsoptionen der deutschen Agrarökosystemforschung.