

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	3
Zusammenfassung	4
Vorbemerkung	6
1 Bioökonomie für eine nachhaltige Zukunft	8
2 Die Bioökonomiestrategie der Bundesregierung	12
2.1 Leitlinien der Bioökonomiestrategie	14
2.2 Ziele und Umsetzung der Bioökonomiestrategie	17
2.3 Bioökonomie als Beitrag zu Nachhaltigkeit.	17
2.4 Globale Herausforderungen, ganzheitliche Lösungsansätze	18
2.5 Bioökonomie als Entwicklungsstrategie	19
3 Forschungsförderung für eine nachhaltige Bioökonomie	20
3.1 Ausrichtung der Forschungsförderung	24
3.2 Bausteine zur Umsetzung der Forschungsförderung	26
3.2.1 Biologisches Wissen als Schlüssel der Bioökonomie	26
3.2.2 Konvergierende Technologien und disziplinübergreifende Zusammenarbeit	30
3.2.3 Grenzen und Potenziale.	30
3.2.4 Transfer in die Anwendung	31
3.2.5 Bioökonomie und Gesellschaft	33
3.2.6 Globale Forschungsk Kooperationen.	34
4 Handlungsfelder zur Verbesserung der Rahmenbedingungen für eine nachhaltige Bioökonomie	36
4.1 Minderung des Flächendrucks	39
4.2 Nachhaltige Erzeugung und Bereitstellung biogener Rohstoffe	41
4.3 Aufbau und Weiterentwicklung bioökonomischer Wertschöpfungsketten und -netze	42
4.4 Markteinführung und Etablierung biobasierter Produkte, Verfahren und Dienstleistungen	42
4.5 Nutzung des Bioökonomie-Potenzials für die Entwicklung ländlicher Räume	44
4.6 Nutzung der Digitalisierung für die Bioökonomie	45
4.7 Politische Kohärenz	47
5 Übergreifende Instrumente	48
5.1 Einrichtung eines beratenden Gremiums unter breiter gesellschaftlicher Beteiligung	50
5.2 Bund-Länder-Zusammenarbeit	51
5.3 Europäische und internationale Zusammenarbeit	52
5.4 Kommunikation und Dialog	53
5.5 Qualifikation und Fachkräfte	54
5.6 Bioökonomie-Monitoring	54
Schlussbetrachtung und Ausblick	56
Glossar	58
Endnoten	62

Liebe Leserinnen und Leser,

das Streben nach einer nachhaltigen Lebens- und Wirtschaftsweise ist zu einem wichtigen Antrieb für Veränderungen in Gesellschaft, Wirtschaft und Politik geworden. Allen ist klar, dass die nächsten Jahre entscheidend sein werden, um die Weichen für eine nachhaltige und wirtschaftlich erfolgreiche Entwicklung zu stellen. Die Bundesregierung hat deshalb zahlreiche Initiativen auf den Weg gebracht, um künftigen Herausforderungen innovativ begegnen zu können. Die Nationale Bioökonomiestrategie fügt sich in diese Aktivitäten ein. Eine biobasierte Wirtschaft soll einen wesentlichen Beitrag dazu leisten, die Ziele für eine nachhaltige Entwicklung der Agenda 2030 zu erreichen.

Der Wandel hin zur Bioökonomie eröffnet gewaltige Chancen! In den kommenden Jahrzehnten wird sich die Art zu wirtschaften weltweit ändern, um diese auf eine nachhaltigere Grundlage zu stellen. Wer hierfür Konzepte, Technologien und Verfahren liefert, wird auf den entsprechenden Märkten der Zukunft erfolgreich sein. Die Bioökonomie ist darüber hinaus ein Instrument zur Stärkung der ländlichen Räume. Dort findet ein wesentlicher Teil der Wertschöpfung statt. Mit der neuen Bioökonomiestrategie wollen wir Deutschland als Land der Innovationen stärken und zu einem Vorreiter in der Entwicklung zukunftsweisender Ansätze machen.

Die Bioökonomie birgt große Potenziale. Dabei werden biologische Ressourcen, Prozesse und Systeme so erzeugt, erschlossen und genutzt, dass ein wesentlicher Beitrag geleistet wird, um uns von fossilen Rohstoffen wie Kohle, Erdöl und Erdgas unabhängig zu machen. Gleichzeitig ermöglichen wissenschaftliche und technologische Fortschritte ganz neue bioökonomische Anwendungen, die über den Ersatz von klimaschädlichen fossilen Rohstoffen weit hinausgehen. Die Grundlagen für diese Fortschritte haben wir nicht zuletzt mit der Nationalen

Forschungsstrategie Bioökonomie 2030 und der Nationalen Politikstrategie zur Bioökonomie geschaffen. Auf diesen Erfolgen baut die neue Bioökonomiestrategie auf.

Die Bioökonomie erstreckt sich über alle wirtschaftlichen Sektoren. Sie ist zentral für die globale Ernährungssicherung und stellt nachwachsende Rohstoffe für vielfältige Anwendungsbereiche bereit. Zu ihrer interdisziplinären Werkzeugkiste gehören nicht nur biotechnologische Verfahren, sondern auch Konzepte aus den Ingenieurs- und Datenwissenschaften. Biobasierte Produkte für Industrie und Verbraucher sollen sich am Markt behaupten. Aufgrund ihrer natürlichen Eigenschaften sind diese Produkte zudem in der Regel besonders dafür geeignet, in Stoffkreisläufe integriert zu werden. Die Weiterentwicklung der Bioökonomie ist deshalb ein entscheidender Faktor einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft. Sie ist zentral dafür, künftig effizienter zu wirtschaften und den Ressourcenverbrauch zu verringern.

Mit dieser Ausrichtung leistet die Nationale Bioökonomiestrategie einen wichtigen Beitrag, die Ziele für eine nachhaltige Entwicklung der Agenda 2030 zu erreichen. Rund ein Dutzend dieser „Sustainable Development Goals“ (SDGs), auf die sich die Staatengemeinschaft 2015 in New York verständigt hat, adressiert die Bioökonomie direkt. Damit stellen die SDGs den zentralen Bezugsrahmen für die deutsche Bioökonomiestrategie dar.

Politik kann Wege aufzeigen und Weichen stellen. Der Wandel zu einer nachhaltigen Wirtschaftsweise wird aber nur mit einer breiten gesellschaftlichen Unterstützung gelingen. Hierzu werden wir im Rahmen der neuen Strategie die Gesellschaft frühzeitig einbinden und den Austausch mit all jenen suchen, die das Zukunftsthema Bioökonomie mitgestalten wollen.

Ihr Bundesministerium für Bildung und Forschung

Ihr Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft

Zusammenfassung

Nachhaltigkeit und Klimaschutz sind die zentralen Themen des 21. Jahrhunderts. Die Menschheit ist an einem Punkt angekommen, an dem eine weitere Übernutzung von Ressourcen die Biosphäre erheblich zu schädigen droht. Um die Lebensgrundlagen für Menschen, Tiere und Pflanzen zu erhalten, muss der Ressourcenverbrauch auf ein ökologisch verträgliches Maß reduziert werden. Gleichzeitig gilt es, einer wachsenden Weltbevölkerung wirtschaftlichen Wohlstand und das Recht auf Entwicklung zu ermöglichen.

Die Bioökonomie hat das Ziel, Ökonomie und Ökologie für ein nachhaltiges Wirtschaften zu verbinden. In der Definition der Bundesregierung umfasst die Bioökonomie die Erzeugung, Erschließung und Nutzung biologischer Ressourcen, Prozesse und Systeme, um Produkte, Verfahren und Dienstleistungen in allen wirtschaftlichen Sektoren im Rahmen eines zukunftsfähigen Wirtschaftssystems bereitzustellen. Bioökonomische Innovationen vereinen biologisches Wissen mit technologischen Lösungen und nutzen die natürlichen Eigenschaften biogener Rohstoffe hinsichtlich ihrer Kreislauffähigkeit, Erneuerbarkeit und Anpassungsfähigkeit. Die Bioökonomie birgt das Potenzial, neuartige Produkte und Verfahren hervorzubringen, um Ressourcen zu schonen und Wohlstand zu schaffen.

Mit der Nationalen Bioökonomiestrategie legt die Bundesregierung die Leitlinien und Ziele ihrer Bioökonomie-Politik fest und benennt Maßnahmen für deren Umsetzung. Die Strategie baut auf der „Nationalen Forschungsstrategie Bio-Ökonomie 2030“ und der „Nationalen Politikstrategie Bioökonomie“ auf und bündelt die politischen Aktivitäten in einem kohärenten Rahmen. Mit der Strategie werden die Voraussetzungen geschaffen, um Deutschlands Vorreiterrolle in der Bioökonomie zu stärken und die Technologien und Arbeitsplätze von morgen zu entwickeln. Gleichzeitig bekennt sich die Bundesregierung mit der Strategie zu ihrer globalen Verantwortung in der international vernetzten Bioökonomie.

Zwei übergeordnete Leitlinien flankieren die Ziele und Maßnahmen der Nationalen Bioökonomiestrategie. Die erste Leitlinie verweist auf biologisches Wissen und fortschrittliche Technologien als Pfeiler eines zukunftsfähigen, nachhaltigen und klimaneutralen Wirtschaftssystems. Die zweite Leitlinie zielt auf die Rohstoffbasis der Wirtschaft, die durch biogene Ressourcen nachhaltig und kreislauffähig ausgerichtet werden soll.

Die Bioökonomiestrategie der Bundesregierung adressiert ein breites Spektrum an Zielen auf unterschiedlichen ge-

sellschaftlichen Ebenen und in allen wirtschaftlichen Sektoren, die sich in sechs gemeinsamen strategischen Zielen zusammenfassen lassen:

1. Bioökonomische Lösungen für die Nachhaltigkeitsagenda entwickeln
2. Potenziale der Bioökonomie innerhalb ökologischer Grenzen erkennen und erschließen
3. Biologisches Wissen erweitern und anwenden
4. Ressourcenbasis der Wirtschaft nachhaltig ausrichten
5. Deutschland zum führenden Innovationsstandort der Bioökonomie ausbauen
6. Gesellschaft einbinden, nationale und internationale Kooperationen intensivieren

Für die strategischen Ziele werden konkrete Umsetzungsziele in der Forschungsförderung, der Gestaltung von Rahmenbedingungen und bei übergreifenden Instrumenten festgelegt. Forschung ist der Schlüssel, um die Potenziale der Bioökonomie zu erkennen und zu erschließen. Die Schwerpunkte der künftigen Forschungsförderung werden in den Bausteinen Biologisches Wissen als Schlüssel der Bioökonomie, Konvergierende Technologien und disziplinübergreifende Zusammenarbeit, Grenzen und Potenziale, Transfer in die Anwendung, Bioökonomie und Gesellschaft sowie Globale Forschungsk Kooperationen liegen.

Zur Verbesserung der Rahmenbedingungen für die Bioökonomie werden politische Handlungsfelder beschrieben, auf denen die Bundesregierung in den kommenden Jahren konkrete Maßnahmen ergreifen wird. Das betrifft die Minderung des Flächendrucks, die Sicherstellung der nachhaltigen Erzeugung und Bereitstellung biogener Rohstoffe, den Aufbau und die Weiterentwicklung bioökonomischer Wertschöpfungsketten und -netze, Instrumente zur Markteinführung und Etablierung biobasierter Produkte, Verfahren und Dienstleistungen, die Sicherstellung politischer Kohärenz, die Nutzung des Bioökonomie-Potenzials für die Entwicklung ländlicher Räume sowie die Nutzung der Digitalisierung für die Bioökonomie.

Um der Bioökonomie als umfassendem Ansatz gerecht zu werden, setzt die Bundesregierung übergreifende Instrumente zur Umsetzung der Strategie ein. Dazu gehören die Einrichtung eines Beratungsgremiums, die Zusammenarbeit des Bundes mit den Ländern, europäische und internationale Zusammenarbeit, Maßnahmen zur Kommunikation und für einen offenen Dialog mit gesellschaftlichen Gruppen, Maßnahmen zur Förderung von Qualifikation und Fachkräften sowie die Etablierung eines Bioökonomie-Monitorings.

Die Bioökonomiestrategie der Bundesregierung

Politische Leitlinien und Ziele

Leitlinie 1

Mit biologischem Wissen und verantwortungsvollen Innovationen zu einer nachhaltigen, klimaneutralen Entwicklung

Leitlinie 2

Mit biogenen Rohstoffen zu einer nachhaltigen, kreislauforientierten Wirtschaft

Gemeinsame strategische Ziele für Forschungsförderung und politische Rahmensetzung

1

Bioökonomische Lösungen für die Nachhaltigkeitsagenda entwickeln

2

Potenziale der Bioökonomie innerhalb ökologischer Grenzen erkennen und erschließen

3

Biologisches Wissen erweitern und anwenden

4

Ressourcenbasis der Wirtschaft nachhaltig ausrichten

5

Deutschland zum führenden Innovationsstandort der Bioökonomie ausbauen

6

Gesellschaft einbinden, nationale und internationale Kooperationen intensivieren

Umsetzung

Forschungsförderung

Rahmenbedingungen

Übergreifende Instrumente

Vorbemerkung

Die Bundesregierung unterstützt den Wandel von einer weitgehend auf fossilen Rohstoffen basierenden Wirtschaft zu einer stärker auf erneuerbaren Ressourcen beruhenden, rohstoffeffizienteren und kreislaforientierten Wirtschaft. Bereits im Jahr 2010 hat sie sich mit der „Nationalen Forschungsstrategie BioÖkonomie 2030“¹ zur Vision bekannt, eine an natürlichen Stoffkreisläufen orientierte, nachhaltige biobasierte Wirtschaft zu schaffen. Mit der im Jahr 2013 vorgelegten „Nationalen Politikstrategie Bioökonomie“² wurden Ziele und Maßnahmen definiert, um diesen Strukturwandel auch durch die Anpassung der Rahmenbedingungen zu unterstützen.

Die Bundesregierung hält an ihrer Vision fest. Sie intensiviert die Anstrengungen zur Umsetzung einer nachhaltigen Bioökonomie, indem sie die bisherigen Maßnahmen bündelt, weitere Politikstrategien berücksichtigt und in der neuen Strategie zusammenführt. Dabei werden die verschiedenen Teilziele harmonisiert und die korrespondierenden Maßnahmen noch enger miteinander verzahnt. Mit ihrer Bioökonomiestrategie formuliert die Bundesregierung die Aufgaben für Politik und Forschung in den kommenden Jahren und benennt Herausforderungen für Wirtschaft und Gesellschaft auf dem Weg zu einer Bioökonomie. Aufbauend auf den seit dem Jahr 2010 unternommenen Schritten und

unter Berücksichtigung neuer Erkenntnisse und aktueller Entwicklungen bekennt sich die Bundesregierung zum Ausbau einer biobasierten Wirtschaft und setzt neue Schwerpunkte, um die vielfältigen Potenziale der Bioökonomie im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung konsequent zu erschließen und Fehlentwicklungen zu vermeiden.

Die neue Strategie ist das Ergebnis eines umfassenden Agenda-Prozesses, in den der Fortschrittsbericht zur Nationalen Politikstrategie Bioökonomie³, die Evaluation der bisherigen Forschungsstrategie⁴, Empfehlungen des bis 2019 amtierenden Bioökonomierates der Bundesregierung⁵ sowie Erfahrungen mit Bioökonomiestrategien auf europäischer und internationaler Ebene Eingang gefunden haben. Der Prozess umfasste Konferenzen, Workshops und Konsultationen, an denen Vertreterinnen und Vertreter aus Wirtschaft, Forschung, Politik und Zivilgesellschaft beteiligt waren. Dieser partizipative Ansatz soll fortgeführt werden, um auch in der Umsetzung der Strategie ein weites Spektrum von Meinungen und Sichtweisen berücksichtigen zu können. Dafür wird die Bundesregierung ein unabhängiges, breit aufgestelltes Beratungsgremium berufen, das unter Einbindung aller relevanten Gruppen einen Fahrplan mit konkreten Umsetzungsschritten entwirft, der kontinuierlich fortgeschrieben wird.



1



Bioökonomie für eine nachhaltige Zukunft





Die Bioökonomie zielt darauf ab, mit neuen Lösungen zur Bewältigung der großen Herausforderungen des 21. Jahrhunderts beizutragen. Im Folgenden werden Definition und Zielsetzung der Bioökonomie erläutert.

In der Definition der Bundesregierung umfasst die Bioökonomie die Erzeugung, Erschließung und Nutzung biologischer Ressourcen, Prozesse und Systeme, um Produkte, Verfahren und Dienstleistungen in allen wirtschaftlichen Sektoren im Rahmen eines zukunftsfähigen Wirtschaftssystems bereitzustellen.

Die Bioökonomie zielt darauf, Lösungen zur Bewältigung der großen Herausforderungen des 21. Jahrhunderts zu liefern. Sie thematisiert die Grundfragen der Welt von morgen:

- Wie können Ernährungs- und Ressourcensicherheit für eine steigende Weltbevölkerung sichergestellt und gleichzeitig Klima, Umwelt und biologische Vielfalt geschützt werden?
- Wie können Ökologie und Ökonomie miteinander verbunden und die damit einhergehenden Chancen und Herausforderungen ausgewogen verteilt werden?
- Wie kann unser Wirtschaftssystem so transformiert werden, dass es nachhaltig ist und künftigen Wohlstand sichert?
- Wie kann die Bioökonomie möglichst schnell und wirksam zur Erfüllung der internationalen Klimaschutzziele des Übereinkommens von Paris beitragen?

Mit dem Ausbau der Bioökonomie werden die Ressourcenbasis der Wirtschaft nachhaltig ausgerichtet und fossile Rohstoffe ersetzt. Die Substitution dieser nur begrenzt verfügbaren und klimaschädlichen Rohstoffe kann ein Schritt in Richtung Nachhaltigkeit sein, wenn die dafür benötigte Biomasse unter Berücksichtigung ökologischer und ethischer Kriterien produziert und effizient eingesetzt wird. Biologisches Wissen und fortschrittliche Technologien ermöglichen es, neuartige und ressourcenschonende Verfahren und Produkte zu entwickeln und dadurch Wertschöpfungsketten zu erweitern und miteinander zu vernetzen. Bioökonomische Innovationen vereinen biologisches Wissen mit technologischen Lösungen und stellen die natürlichen Eigenschaften biogener Rohstoffe hinsichtlich Kreislauffähigkeit, Erneuerbarkeit, CO₂-Bilanz und Anpassungsfähigkeit in den Dienst eines nachhaltigen Wirtschaftens.

Der Maßstab für den Nutzen und den Mehrwert biobasierter Produkte und Verfahren ist deren Beitrag zu einer nachhaltigen und klimaneutralen Wirtschaftsweise. Angesichts des Überschreitens planetarer Belastungsgrenzen – insbesondere mit Blick auf den Verlust der Artenvielfalt, den Klimawandel, Störungen im Stickstoffkreislauf und den Verlust fruchtbarer Böden – wird gerade von der Bioökonomie ein Beitrag zu einem Umsteuern in Richtung einer nachhaltigen Entwicklung erwartet.

Die seit den 1980er Jahren geführte Diskussion um den Begriff der Nachhaltigkeit hat gezeigt, dass sich die drei Dimensionen von Nachhaltigkeit – ökonomisch, ökologisch und sozial – nicht gegeneinander aufrechnen lassen, sondern voneinander abhängen. Eine an natürlichen Stoffkreisläufen orientierte, die Leistungen von Ökosystemen zugleich nutzende wie schützende Art des Wirtschaftens muss gleichzeitig wettbewerbsfähig sein und Arbeitsplätze sichern. Die Bioökonomie versteht sich als Beitrag zur anhaltenden Diskussion um die konkrete Ausgestaltung nachhaltiger Entwicklung und orientiert sich dabei an den Nachhaltigkeitszielen der „Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung“ der Vereinten Nationen, wie im Folgenden (Abschnitt 2.3) näher dargelegt wird.

Grundpfeiler einer nachhaltigen Bioökonomie ist vor diesem Hintergrund die verantwortungsvolle Erzeugung, Erschließung und Nutzung biogener Roh- und Reststoffe. Dabei hat die Sicherung der weltweiten Ernährung stets Vorrang, und es müssen ethische Prinzipien und gesellschaftlich anerkannte Ziele wie Umwelt-, Landschafts- und Tierschutz berücksichtigt werden.

Ausschlaggebend für die Zuordnung eines Produktes, eines Verfahrens oder einer Dienstleistung zur Bioökonomie sind die eingesetzten biologischen Ressourcen. In der Bioökonomie werden Rohstoffe, die in der Land-, Forst- und Meereswirtschaft, in der Fischerei und Aquakultur oder der mikrobiellen Produktion erzeugt werden, sowie biogene Rest- und Abfallstoffe genutzt. Zu den Ressourcen der Bioökonomie gehört darüber hinaus das Wissen über biologische Prozesse und Systeme für neue Anwendungen sowie die Erschließung von Rohstoffquellen durch biologische Verfahren.

Nachhaltige Wirtschaft

klimateutral & kreislaforientiert



2



Die Bioökonomiestrategie der Bundesregierung





Die Bundesregierung setzt sich mit ihrer Bioökonomiestrategie für eine nachhaltige Erschließung und Nutzung biologischer Ressourcen sowie umwelt- und naturschonender Produktionsverfahren in allen Wirtschaftsbereichen ein. Das Kapitel beschreibt die Leitlinien, strategischen Ziele und Umsetzungsziele.

Eine nachhaltige, biobasierte Wirtschaftsweise ist eine wesentliche Grundlage für die Zukunft unserer Gesellschaft. Die Bundesregierung setzt sich mit ihrer Bioökonomiestrategie für eine nachhaltige Erschließung und Nutzung biologischer Ressourcen und umwelt- und naturschonende Produktionsverfahren in allen Wirtschaftsbereichen ein. Zukunftsfähiges Wirtschaften erfordert einen verantwortungsvollen Umgang mit unseren natürlichen Ressourcen. Nur so können die Lebensgrundlagen für kommende Generationen bewahrt werden. Die Herausforderungen des 21. Jahrhunderts sind immens: Bis zum Ende dieses Jahrhunderts müssen voraussichtlich rund 11 Milliarden Menschen bei begrenzten Nutzflächen ausreichend und gesund ernährt werden. Der Klimawandel macht zunächst eine schnelle und deutliche Senkung der Treibhausgasemissionen und in einem zweiten Schritt Treibhausgasneutralität bis 2050 erforderlich. Der weltweit zunehmende Verlust an Naturräumen, Wäldern, landwirtschaftlich nutzbaren Böden, Bodenfruchtbarkeit und Biodiversität verlangt nach Gegenmaßnahmen. Hinzu kommen die Endlichkeit fossiler Rohstoffe, eine steigende Rohstoff-

nachfrage und politische Unsicherheiten, die sich im Markt widerspiegeln werden.

Obwohl diese Faktoren als Treiber in Richtung Nachhaltigkeit wirken, ist die Entwicklung einer gesellschaftlich akzeptierten Bioökonomie kein Selbstläufer, sondern bedarf vorausschauender Steuerung, Unterstützung und Regulierung. Dabei werden die Forschung, geeignete wirtschaftliche und rechtliche Rahmenbedingungen, der Dialog mit und die Beteiligung von gesellschaftlichen Gruppen sowie internationale Kooperationen eine wichtige Rolle spielen.

Die vorliegende Bioökonomiestrategie zeigt Maßnahmen und Wege auf, wie künftigen Herausforderungen begegnet werden kann und welche Prioritäten gesetzt werden sollen. Hierbei werden alle eventuell zusätzlichen Ausgaben, die sich aus der Bioökonomiestrategie ergeben, durch Prioritätensetzung aus vorhandenen Mitteln der zuständigen Einzelpläne gegenfinanziert und ohne zusätzliche Haushaltsbelastungen umgesetzt.

2.1 Leitlinien der Bioökonomiestrategie

Zwei übergeordnete Leitlinien flankieren das Ziel, die Potenziale der Bioökonomie zu erschließen und im Sinne der Nachhaltigkeit und der Klimaziele zu nutzen. Sie dienen als Grundlage aller Maßnahmen zur Umsetzung der neuen Bioökonomiestrategie.

Leitlinie 1: Mit biologischem Wissen und verantwortungsvollen Innovationen zu einer nachhaltigen, klimaneutralen Entwicklung

Die ständige Erweiterung biologischen Wissens eröffnet neue Möglichkeiten für Innovationen und nachhaltige Lösungen und treibt den Wandel zu einer biobasierten Wirtschaft voran. Es gelingt zunehmend, neue biobasierte Technologien und Produkte zur Verfügung zu stellen. Die darauf gerichtete Nachfrage wird zukünftig sowohl seitens der Industrie als auch bei Verbraucherinnen und Verbrauchern weiter steigen. Technologische Fortschritte, etwa durch die Digitalisierung und neue Verfahrenstechniken, ermöglichen es, das biologische Wissen stetig auszubauen und für Innovationen zu nutzen. Biologie und Technologie können dabei zu einer neuen, nachhaltigen Form des Produzierens verschmelzen.

Damit sich diese vielversprechenden Perspektiven im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung manifestieren, muss biologisches Wissen verknüpft werden mit der Forschung über die sozialen und ökologischen Systeme, in die die Bioökonomie eingebettet ist. Sozioökonomische Prozesse, wie Konkurrenz um knappe Ressourcen, Bevölkerungswachstum oder sich verändernde Wertvorstellungen, Lebensstile und Konsummuster, haben Folgen für den Wandel zu einer Bioökonomie, der diese seinerseits beeinflusst. Solche Wechselwirkungen müssen sowohl in der Forschung als auch bei der politischen Gestaltung des Transformationsprozesses bedacht werden. Das gilt besonders für Fragen, die ethische Grundsätze und gesellschaftliche Werte betreffen, beispielsweise wenn es um den Einsatz neuer Technologien, den Zugang zu Ressourcen, globale Verteilungsgerechtigkeit oder den Wert von Natur geht. Daher ist es wichtig, dass eine offene Diskussion mit breiter gesellschaftlicher Beteiligung stattfindet, in der mögliche Entwicklungspfade der Bioökonomie beleuchtet werden, um Chancen und Herausforderungen abzuwägen und Prioritäten festlegen zu können.

Bioökonomische Innovationen können einen wesentlichen Beitrag zu einer nachhaltigen Zukunft leisten. Dafür wird es allerdings nicht ausreichen, nur die Entwicklung biobasierter Produkte und Verfahren zu fördern. Entscheidend ist, dass die Bioökonomie gesellschaftlich erwünschte Leis-

tungen erbringt. Dazu gehören ressourcen- und umweltschonende Lösungen, die einen nachhaltigeren Konsum befördern.

Leitlinie 2: Mit biogenen Rohstoffen zu einer nachhaltigen, kreislauf- orientierten Wirtschaft

Biogene Rohstoffe verfügen über Eigenschaften, die sie besonders wertvoll und vorteilhaft machen. Im Gegensatz zu fossilen Rohstoffen sind sie erneuerbar. Eine Begrenzung ergibt sich jedoch durch die Verfügbarkeit von für die Biomasseproduktion nötigen Flächen. Aufgrund ihrer chemisch-physikalischen Beschaffenheit sind biogene Rohstoffe in besonderer Weise geeignet, um in Kaskaden oder Kreisläufen genutzt zu werden. Das schließt sowohl eine stoffliche Verwendung als auch die Kompostierung ein. Am Ende einer Nutzungskette kann Biomasse auch energetisch verwendet werden. Dabei wird im Prinzip nicht mehr Kohlendioxid freigesetzt als während der Wachstumsphase der Atmosphäre entzogen wurde, auch wenn für eine exakte Bilanz die zusätzliche Konversions- und Transportenergie berücksichtigt werden muss. Biogene Ressourcen und biobasierte Produkte können somit eine klima- und ressourcenschonende Alternative zu fossilen Rohstoffen und Erzeugnissen darstellen. Biogene Materialien, wie beispielsweise Bau- und neue Werkstoffe für langlebige Industriegüter, entziehen und binden zudem für lange Zeiträume CO₂ aus der Atmosphäre. Die Bundesregierung unterstützt entsprechende Produkt- und Prozess-

entwicklungen im Rahmen ihrer Förderprogramme, um damit zu einer nachhaltigeren, effizienten und klimaneutralen Ressourcennutzung beizutragen.

Die Bioökonomie substituiert aber nicht nur fossile durch nachwachsende Rohstoffe. Sie ermöglicht auch die Entwicklung neuer Produkte und Verfahren in ganz verschiedenen Sektoren. Das volle Potenzial der Bioökonomie zu erschließen bedeutet, traditionelle Wertschöpfungsketten zu öffnen und zu erweitern oder gegebenenfalls zu ersetzen. Dem Leitgedanken der Kaskaden- und Kreislaufnutzung folgend sollen Wertschöpfungsketten zu neuartigen und effizienten Wertschöpfungsnetzen verknüpft werden. Durch Verarbeitungsschritte vor Ort ergeben sich zukunftsweisende Entwicklungsperspektiven, insbesondere für ländliche Räume.

Damit die Bioökonomie diese positiven Effekte mit Blick auf Klima, biologische Vielfalt, Umwelt und Wohlfahrt erzielt, ist es unabdingbar, dass die zugrunde liegenden biogenen Ressourcen nachhaltig erzeugt werden. Angesichts begrenzter Flächen kann die Produktion von Biomasse nicht beliebig ausgeweitet werden. Nötig sind nachhaltige Ertragssteigerungen auf den vorhandenen landwirtschaftlichen Flächen sowie ein möglichst effizienter und verantwortungsbewusster Einsatz der so erzeugten Rohstoffe. In Betracht kommen darüber hinaus auch neue Produktionssysteme, in denen Biomasse beispielsweise in einer technischen Umgebung oder auch auf degradierten Flächen erzeugt wird. Sofern Nutzungskonkurrenzen entstehen, hat die Ernährungssicherheit stets Priorität. Zugleich muss Biodiversität geschützt und die Ökosystemleistung des Waldes als Senke für Treibhausgase gestärkt werden.



Das Algen Science Center am Forschungszentrum Jülich forscht an Algen als Basis für Treibstoffe in der Luftfahrtindustrie.

Ziele der Bioökonomiestrategie

Gemeinsame strategische Ziele und zugehörige Umsetzungsziele für die Forschungsförderung und die politische Rahmensetzung

1

Bioökonomische Lösungen für die Nachhaltigkeitsagenda entwickeln

› Bioökonomie an den Zielen für nachhaltige Entwicklung der Agenda 2030 der Vereinten Nationen (SDGs) ausrichten



- › Ernährung für eine nachwachsende Weltbevölkerung sichern
- › Durch klimaneutrale Produktion zum Erreichen des 1,5 °C-Ziels beitragen
- › Biodiversität schützen, erhalten und nutzen

2

Potenziale der Bioökonomie innerhalb ökologischer Grenzen erkennen und erschließen

- › Produktionssysteme in ökosystemaren Zusammenhängen verstehen
- › Zielkonflikte und Wechselwirkungen erforschen
- › Ökonomie und Ökologie in ganzheitlichen Ansätzen integrieren
- › Umfassendes Monitoring etablieren, Biomasseströme messen und bewerten, vergleichende Nachhaltigkeitsbilanzierungen vornehmen

3

Biologisches Wissen erweitern und anwenden

- › Biologische Systeme verstehen und modellieren
- › Neuartige Produktionsorganismen für Agrarsysteme und Industrie entwickeln
- › Innovative Verfahrenskonzepte für biobasierte Produktionssysteme entwickeln und etablieren
- › Digitalisierung, Künstliche Intelligenz, Nanotechnologie, Miniaturisierung, Robotik, Automatisierung als konvergierende Technologien für die Bioökonomie nutzen
- › Interdisziplinäre Zusammenarbeit stärken
- › Infrastruktur für Forschung und Technologietransfer ausbauen

4

Ressourcenbasis der Wirtschaft nachhaltig ausrichten

- › Biogene Rohstoffe nachhaltig erzeugen und bereitstellen
- › Landwirtschaftlich nutzbare Böden schützen und Bodenfruchtbarkeit erhalten
- › Biogene Rohstoffe und Nebenerzeugnisse nutzen
- › Abhängigkeit von fossilen Rohstoffen reduzieren
- › Potenzial der Bioökonomie für die Entwicklung ländlicher Räume nutzen
- › Neuartige Kreisläufe der Erzeugung, Verarbeitung und Verwertung biogener Ressourcen u. a. im urbanen Raum entwickeln

5

Deutschland zum führenden Innovationsstandort der Bioökonomie ausbauen

- › Transfer stärken und wirtschaftliches Potenzial der Bioökonomie für Geschäftsmodelle, Arbeitsplätze und Einkommensmöglichkeiten in allen wirtschaftlichen Sektoren nutzen
- › Markteinführung biobasierter Produkte, entsprechender Verfahren und Dienstleistungen beschleunigen
- › Neuartige Wertschöpfungsketten etablieren
- › Start-ups, kleine, mittlere und mittelständische Unternehmen fördern
- › Cluster und Modellregionen fördern

6

Gesellschaft einbinden, nationale und internationale Kooperationen intensivieren

- › Breit aufgestelltes Beratungsgremium einrichten
- › Dialog mit allen interessierten Gruppen der Gesellschaft führen
- › Gesellschaftswissenschaften in der Bioökonomie-Forschung stärken
- › Europäische und internationale Zusammenarbeit ausbauen

2.2 Ziele und Umsetzung der Bioökonomiestrategie

Flankiert durch die beiden Leitlinien adressiert die Bioökonomiestrategie der Bundesregierung ein breites Spektrum an Zielen auf unterschiedlichen gesellschaftlichen Ebenen und in allen wirtschaftlichen Sektoren. Die Ziele werden im vorliegenden Kapitel im Zusammenhang dargelegt und

in den folgenden Kapiteln zur Forschungsförderung und zu den Rahmenbedingungen näher erläutert. Die Übersicht auf Seite 16 fasst die gemeinsamen strategischen Ziele und die entsprechenden Umsetzungsziele zusammen.

2.3 Bioökonomie als Beitrag zu Nachhaltigkeit

Das übergeordnete Ziel der Nachhaltigkeit teilt die Bioökonomie mit anderen Initiativen, die jeweils spezifische Aspekte auf dem Weg zu mehr Nachhaltigkeit adressieren. Die Bundesregierung hat in den vergangenen Jahren diverse Maßnahmen auf den Weg gebracht, um Nachhaltigkeit als Querschnittsaufgabe über Politikfelder und Wirtschaftssektoren hinweg zu verankern. Mit der „Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie“⁶ bekennt sich die Bundesregierung zur Förderung einer nachhaltigen Entwicklung als grundlegendem Ziel und Maßstab ihres Regierungshandelns. In umfassender Weise steckt sie klare Ziele für die politische Umsetzung der Nachhaltigkeitsagenda der Vereinten Nationen. Wichtige Aspekte werden auch in eigenen Programmen etwa zum Klimaschutz⁷, zu Ressourceneffizienz und Kreislaufwirtschaft⁸, zur Nachhaltigkeitsforschung⁹ oder zur biologischen Vielfalt¹⁰ behandelt. Als übergreifende Innovationsstrategie definiert die „Hightech-Strategie 2025“¹¹ ein eigenes Handlungsfeld und verschiedene Missionen zum Thema Nachhaltigkeit. Die Nationale Bioökonomiestrategie der Bundesregierung steht in einer Reihe mit diesen Initiativen und fördert die Stärkung einer biobasierten Wirtschaft als wesentlichen Beitrag ihrer Politik für Nachhaltigkeit.

Auch auf internationaler Ebene gewinnt das Thema Nachhaltigkeit zunehmend an Bedeutung. Es gibt verstärkte Bemühungen, politische Maßnahmen abzustimmen und zu koordinieren. Mit der Verabschiedung der „Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung“¹² im Jahr 2015 hat die internationale Staatengemeinschaft im Rahmen der Vereinten Nationen 17 Ziele für nachhaltige Entwicklung (Sustainable Development Goals – SDG) mit 169 Unterzielen festgelegt. Die Bioökonomie adressiert zahlreiche Teilaspekte dieser umfassenden UN-Entwicklungsziele. Besonders hervorzuheben sind die erwarteten Beiträge zu SDG 2 „Kein Hunger“, SDG 3 „Gesundheit und Wohlergehen“, SDG 6 „Sauberes Wasser und Sanitäreinrichtungen“, SDG 7 „Be-

zahlbare und saubere Energie“, SDG 8 „Menschenwürdige Arbeit und Wirtschaftswachstum“, SDG 9 „Industrie, Innovation und Infrastruktur“, SDG 11 „Nachhaltige Städte und Gemeinden“, SDG 12 „Nachhaltige/r Konsum und Produktion“, SDG 13 „Maßnahmen zum Klimaschutz“, SDG 14 „Leben unter Wasser“ sowie zu SDG 15 „Leben an Land“.

Die Bedeutung der Bioökonomie für die Umsetzung der Nachhaltigkeitsziele wird als sehr hoch eingeschätzt. Das spiegelt sich unter anderem in zahlreichen politischen Initiativen, die in letzter Zeit ergriffen wurden, wider. Einige Bundesländer in Deutschland haben in den letzten Jahren eigene Bioökonomiestrategien entwickelt. Seit dem Jahr 2012 gibt es zudem eine Bioökonomiestrategie in der Europäischen Union. Diese wurde im Jahr 2018 überarbeitet.¹³ Dabei wurden mit der stärkeren Betonung von Nachhaltigkeit und Kreislauffähigkeit neue Schwerpunkte gesetzt, während die fünf Ziele der ursprünglichen Strategie – Ernährung sichern, natürliche Ressourcen nachhaltig bewirtschaften, Abhängigkeit von nicht-nachhaltigen Rohstoffen verringern, Kampf gegen und Anpassung an den Klimawandel, Wettbewerbsfähigkeit steigern und Arbeitsplätze sichern und schaffen – bekräftigt wurden. Die deutsche Bioökonomiestrategie greift diese Zielstellungen auf.

Die zunehmende Bedeutung der Bioökonomie ist nicht auf Deutschland und Europa beschränkt. Mittlerweile gibt es weltweit rund 50 Staaten, die Bioökonomiestrategien entwickelt haben. Die Programme unterscheiden sich, abhängig von den national zur Verfügung stehenden biogenen Ressourcen sowie den politischen, sozialen und technologischen Rahmenbedingungen. Sie verdeutlichen damit die große Spannweite der Bioökonomie. Der Trend zeigt, dass immer mehr Länder große Hoffnungen in die Potenziale bioökonomischer Lösungen setzen. Er zeigt aber auch, dass die Entwicklung der Bioökonomie auf internationa-

le Kooperation angewiesen ist, um die übergreifenden Ziele zu erreichen. Dabei ergeben sich vielfältige Chancen zum Austausch, zur bestmöglichen Verknüpfung bewährter Praktiken und zur Koordination der gesamten Umset-

zungen. Die Zusammenarbeit – sowohl innerhalb Deutschlands und in der Europäischen Union als auch mit weiteren internationalen Partnern – wird die Bundesregierung in den kommenden Jahren intensivieren.



2.4 Globale Herausforderungen, ganzheitliche Lösungsansätze

Unsere gegenwärtige Art und Weise zu produzieren und zu konsumieren stößt global an ihre Grenzen oder hat diese bereits überschritten. Die Konsumbedürfnisse einer wachsenden und immer anspruchsvoller werdenden Weltbevölkerung werden sich ohne einen grundsätzlichen Kurswechsel auf Dauer nicht befriedigen lassen, ohne unsere Lebensgrundlagen zu zerstören. Das gilt umso mehr, als die Folgen des Klimawandels und der Übernutzung von Ressourcen zunehmend spürbar werden und die Spielräu-

me künftiger Generationen einschränken. Unser Wirtschaftssystem muss nachhaltig und damit zukunftsfähig ausgerichtet werden.

Das Ziel, Lösungen für die großen gesellschaftlichen Herausforderungen zu erarbeiten und eine nachhaltigere Wirtschaftsweise zu fördern, erfordert einen ganzheitlichen Blick. Gefragt sind nachhaltige Lösungen, die Alternativen zu bisherigen Produktionsformen und Konsum-

mustern anbieten, indem sie systemische Zusammenhänge berücksichtigen. Dabei geht es sowohl um Wechselwirkungen zwischen biologischen Systemen und ihrer Umwelt als auch um die Rolle abiotischer Rohstoff- und Energiekomponenten. Unterschiedliche Perspektiven müssen verbunden und Wechselwirkungen auf allen Ebenen beachtet werden. Das reicht von Organismen über Ökosysteme bis hin zum planetaren Klimahaushalt.

Besonders wichtig als Teil dieser ganzheitlichen Betrachtung ist es, bei allen Maßnahmen neben den ökologischen Auswirkungen auch die sozialen und wirtschaftlichen Effekte zu berücksichtigen. Das schließt Fragen nach der Zukunft unseres Wirtschaftssystems im Allgemeinen ebenso ein wie Fragen nach den Folgen von Digitalisierung und demographischer Entwicklung für den Arbeitsmarkt und künftige Beschäftigung im Besonderen. Angesichts der Komplexität der Herausforderungen und der Vielzahl von damit verbundenen Zielstellungen sind Zielkonflikte unvermeidlich. Systemisches Denken und ganzheitliche Ansätze helfen dabei, solche Konflikte zu erkennen und auf

Basis wissenschaftlicher Erkenntnisse zu mindern. Im besten Falle können Win-win-Situationen entstehen, indem Synergien geschaffen werden.

Dies beschränkt sich nicht auf den Kern der Bioökonomie. Ihr ganzes Potenzial entfalten bioökonomische Lösungen und Technologien im Zusammenspiel mit anderen Zukunftstechnologien. Angetrieben von der Digitalisierung und Fortschritten in Technologiefeldern wie der Mikroelektronik, der Nanotechnologie oder der Material- und Verfahrenstechnik eröffnen sich ganz neue Anwendungsmöglichkeiten, deren Reichweite noch nicht abzuschätzen ist. Gleichzeitig ergeben sich durch den breiten Horizont der Bioökonomie und ihre Orientierung an aktuellen gesellschaftlichen Themen auch zahlreiche Anknüpfungspunkte zu anderen Politik- und Forschungsfeldern. In der Bioökonomie werden Fragen adressiert, die auch für die Gesundheits- und Lebenswissenschaften, die Umweltethik, die Klimaforschung, die Ökosystemwissenschaften, die Materialforschung, Ressourceneffizienz, erneuerbare Energien oder die Industrie 4.0 von Bedeutung sind.

2.5 Bioökonomie als Entwicklungsstrategie

Die Bioökonomie ist ein sektorenübergreifendes Wirtschaftskonzept, das in den letzten Jahren immer mehr an Bedeutung gewonnen hat. Das lässt sich festmachen an einem steigenden Anteil biobasierter Produkte und Verfahren an der Wertschöpfung. Zahlreiche weitere biobasierte Innovationen, die sich durch verbesserte Eigenschaften gegenüber herkömmlichen fossilen Produkten auszeichnen, werden erdacht, entwickelt, erprobt oder schon eingesetzt. Anwendungsmöglichkeiten gibt es viele, beispielsweise im Bereich der technologieoffenen Züchtungsforschung, der Biopolymerforschung, in der enzymatischen Aufspaltung pflanzlicher Rohstoffe, in der Entwicklung hochwertiger Inhaltsstoffe auf der Grundlage von Mikroalgen, im Bereich der ökologischen und konventionellen Landwirtschaft, in der Herstellung von Plattformchemikalien, im Leichtbau mit biobasierten Verbundwerkstoffen, im Hausbau mit innovativen Konstruktions- und Dämmstoffen aus nachwachsenden Materialien, in der Anwendung von biobasierten Geotextilien zur Erosionsprävention, in der Medizintechnik oder etwa im Bereich der Biopharmazeutika und Wirkstoff-Forschung bis hin zur direkten Nutzung von CO₂ aus industriellen Prozessen als Kohlenstoffquelle.

Da nachwachsende Rohstoffe überwiegend in ländlichen Regionen gewonnen werden, eignet sich die Bioökonomie auch als Modell zur nachhaltigen Entwicklung des länd-

lichen Raums und strukturschwacher Regionen. Wenn es gelingt, die im Rahmen eines innovativen Bioökonomie-Konzepts notwendigen weiteren Verarbeitungsstufen biogener Rohstoffe im näheren Einzugsbereich oder direkt am Ort der Rohstoffgewinnung anzusiedeln, wird sich dies positiv auf die Wertschöpfung und die Arbeitsplätze im ländlichen Raum auswirken. Auch können Rest- und Abfallstoffe im Sinne der Kreislaufwirtschaft ohne zusätzlichen Transportaufwand in den landwirtschaftlichen Produktionsprozess zurückgeführt und möglichst wieder als Ausgangsstoffe eingesetzt werden. Die energetische Nutzung nachwachsender Rohstoffe kann in einigen Regionen, beispielsweise in abgelegenen ländlichen Räumen, die Energieversorgung sicherstellen, wenn andere erneuerbare Energiequellen nicht sicher und bedarfsgerecht zur Verfügung stehen. Dies gilt nicht zuletzt auch für dezentrale Energieversorgungssysteme.

Aufgrund des großen Innovationspotenzials, das bei einer Vielzahl von biogenen Rohstoffnutzungen in Verbindung mit dem Einsatz biotechnologischer Verfahren vorhanden ist, eröffnet die Förderung der Bioökonomie große Chancen für Deutschland, sich im internationalen Vergleich als Vorreiter und Innovationsstandort für die Wirtschaftszweige und Arbeitsplätze von morgen zu positionieren.

3



Forschungsförderung für
eine nachhaltige Bioökonomie



Forschung und Entwicklung sind ein wichtiger Treiber, um das Potenzial der Bioökonomie für eine nachhaltige Wirtschaft zu identifizieren, zu erschließen und zu nutzen. Das Kapitel fasst die im Rahmen der Bioökonomiestrategie geplanten Aktivitäten zur Forschungsförderung zusammen.

Forschung ist ein wichtiger Schlüssel, um die Potenziale der Bioökonomie zu identifizieren, zu erschließen und zu nutzen. Forschung zur Bioökonomie erstreckt sich auf die Erzeugung, Erschließung und Nutzung biologischer Ressourcen, Prozesse und Systeme, um die wissenschaftlichen und technischen Voraussetzungen dafür zu schaffen, nachhaltige Produkte, Verfahren und Dienstleistungen in allen wirtschaftlichen Sektoren im Rahmen eines zukunftsfähigen Wirtschaftssystems bereitstellen zu können. Unter biologischen Ressourcen werden in der Bioökonomie dabei nicht nur biogene Rohstoffe wie Pflanzen, Algen, Pilze, Insekten, Mikroorganismen oder Biomoleküle, sondern insbesondere auch das Wissen über biologische und ökologische Prozesse und Systeme verstanden. Wichtig ist dabei auch, die Leistungsfähigkeit und Belastungsgrenzen dieser Systeme zu erfassen. Bioökonomische Forschungsansätze haben das Ziel, die Entfaltung der bioökonomischen Potenziale zu ermöglichen. Das Verständnis biologischer Systeme bildet die Grundlage für die Entwicklung innovativer Produkte und Verfahren. Damit diese im Sinne der Nachhaltigkeitsagenda wirken, müssen sowohl bei der Herstellung der biogenen Rohstoffe als auch beim Einsatz biotechnologischer Verfahren übergreifende Zusammenhänge verstanden und damit verbundene Chancen und Risiken bedacht werden.

Durch die Nationale Forschungsstrategie BioÖkonomie 2030 wurden in den letzten Jahren wesentliche Schritte auf dem Weg zu diesem Ziel zurückgelegt. Auf diesen Erfolgen und den gewonnenen Erkenntnissen baut die Forschungsförderung der neuen Strategie auf.

Das biologische Wissen soll kontinuierlich erweitert und noch mehr als bisher über alle biologischen Ebenen – von den grundlegenden molekularen Prinzipien bis hin zum komplexen Zusammenspiel in Ökosystemen – zusammengebracht werden. Von besonderer Wichtigkeit ist dabei, die Bioökonomie als integrativen Forschungsbereich zu verstehen, in dem interdisziplinäre Forschung und systemische Lösungsansätze gestärkt und die Erkenntnisse über die Teilgebiete der Biowissenschaften hinaus mit anderen konvergierenden Wissenschafts- und Technologiebereichen zusammengeführt werden.

Ermöglicht wird dieser Wissensaufbau unter anderem durch eine Verknüpfung von bestehenden Verfahren und

auch traditionellem Wissen mit der Nutzung und Weiterentwicklung von Spitzentechnologien (Smart- und Hightech). Um auch vollkommen neuartige Zukunftstechnologien oder Sprunginnovationen zu generieren, muss Wissenschaft den Freiraum haben, auch ungewohnte Pfade einzuschlagen. Daher unterstützt die Bundesregierung noch stärker als bisher eine exzellente, technologieoffene Forschung, schafft Anreize und Freiräume für ganzheitliche Ansätze und intelligente Innovationsprozesse und setzt den Rahmen für eine verantwortungsbewusste Umsetzung unter Beachtung des Vorsorgeprinzips.

Erst auf dieser Basis – dem ständig wachsenden Wissen sowie technischen, gesellschaftlichen und systemischen Innovationen – kann das volle Potenzial der Bioökonomie erschlossen werden. Entscheidend für den Erfolg ist, fossile Rohstoffe nicht nur zu ersetzen, sondern insbesondere auch die Entwicklung neuartiger biobasierter Produkte und Verfahren voranzubringen und damit den Rohstoff- und Energiebedarf insgesamt zu reduzieren. Maßgeschneiderte bioökonomische Innovationen mit hoher Wertschöpfung und neuartigen Eigenschaften und Funktionalitäten ermöglichen es, neue Geschäftsfelder für Zukunfts- beziehungsweise Wachstumsmärkte zu begründen. Mit dieser Ausrichtung bildet die Bioökonomiestrategie einen wichtigen Pfeiler der von der Bundesregierung initiierten Agenda „Von der Biologie zur Innovation“.

Die Forschung trägt so dazu bei, den notwendigen Transformationsprozess in Richtung eines nachhaltigen Wirtschaftssystems voranzutreiben. Dies wird Auswirkungen auf die Art und Weise haben, wie in einer Volkswirtschaft produziert und gearbeitet wird. Diesen gesellschaftlichen Wandel mit all seinen Konsequenzen zu begreifen, ist daher ein wichtiger Teil der Forschung zur Bioökonomie. Dabei ist es unerlässlich, dass Forschungsförderung transparent ist und Formen der Partizipation einschließt, insbesondere wenn es um die Definition von Problemen und Wissenslücken, aber auch um die Entwicklung von Handlungsvorschlägen zu deren Beseitigung geht. Die Forschung schafft die Voraussetzungen dafür, den stattfindenden Wandel zu einer Bioökonomie den gesellschaftlichen Anforderungen und den Nachhaltigkeitszielen entsprechend zu gestalten.

Überblick der Forschungslandschaft zur Bioökonomie in Deutschland



Quelle: Forschungsumfrage Bioökonomie 2019, bioökonomie.de

3.1 Ausrichtung der Forschungsförderung

Die Forschungsförderung zur Bioökonomie folgt den eingangs dargelegten Leitlinien. Sie ist darauf gerichtet, die strategischen Ziele der Nationalen Bioökonomiestrategie zu erreichen.

Durch Forschung biologisches Wissen erweitern

Das Fundament der Bioökonomie ist das Wissen über biologische Prinzipien, Systeme und Verfahren. Die Bundesregierung will daher Forschung und Entwicklung konsequent vorantreiben und den kontinuierlichen Erkenntnisgewinn in den Biowissenschaften weiter stärken.

Das betrifft alle Ebenen biologischer Systeme, vom Molekül über ein- und vielzellige Organismen bis hin zu ihren Wech-

selwirkungen in Ökosystemen und mit der Umwelt. Für ein umfassendes Verständnis biologischer Systeme reicht es aber nicht aus, die verschiedenen Stufen einzeln zu betrachten. Erst durch das Zusammenspiel verschiedener Elemente und Ebenen bilden sich neue systemische Eigenschaften heraus. Um das Verständnis für diese komplexen Zusammenhänge weiter auszubauen, muss der Austausch zwischen den Biowissenschaften und konvergierenden Wissenschafts- und Technologiebereichen intensiviert werden.

Durch biologisches Wissen biobasierte Innovationen schaffen

Der Ausbau und die intelligente Nutzung und Vernetzung des biologischen Wissens bildet die Basis für Invention und Innovation in der Bioökonomie. Erst mit einem tieferen



Verständnis grundlegender Mechanismen des Lebens erschließt sich das enorme Potenzial biologischen Wissens für bioökonomische Innovationen. Dazu muss die Forschung von den Grundlagen über anwendungsorientierte Ansätze bis hin zu Pilotanlagen und Demonstratoren technologieoffen intensiviert werden. Kreative und mutige Ideen sollen dabei besonderen Freiraum erhalten.

Fortschritte beispielsweise in der Nanotechnologie, den Informationstechnologien sowie den Kognitions-, Material- und Ingenieurwissenschaften führen zu neuen Anwendungsfeldern in der Bioökonomie, während neues biologisches Wissen im Gegenzug diese Wissenschafts- und Technologiezweige inspiriert. Die sich daraus ergebenden Synergien bergen das Potenzial für nachhaltige wettbewerbsfähige Innovationen und die Entwicklung von neuartigen Schlüssel- und Zukunftstechnologien mit hohem wirtschaftlichem Wert. Beispiele für bioökonomische Innovationen sind passgenaue biologische Prozesse in der industriellen und landwirtschaftlichen Produktion, innovative Produkte mit neuartigen smarten Funktionalitäten sowie weitgehend geschlossene Stoffkreisläufe.

Die Digitalisierung übernimmt auch bei der Generierung biobasierter Innovationen eine Schlüsselfunktion und ist damit für den gesamten Innovationsprozess von entscheidender Bedeutung. Erst durch sie wird es möglich, die enormen Datenmengen über biologische Systeme nicht nur zu erfassen, sondern intelligent zu vernetzen und damit die Innovationskraft integrierter Systeme zu nutzen.

Durch biobasierte Innovationen natürliche Ressourcen schonen

Bei der Umsetzung von biobasierten Innovationen muss die Verfügbarkeit von natürlichen Ressourcen innerhalb ökologischer Grenzen berücksichtigt werden. Der Schutz und die nachhaltige und verantwortungsvolle Nutzung von Ökosystemen und ihren Leistungen für die Gesellschaft, wie beispielsweise der Erhalt der Biodiversität, die Bereitstellung von sauberem Wasser und gesunden Böden sowie die Klimaregulation, sind unverzichtbar.

Ziel der Forschungsförderung ist es, den derzeit noch hohen Verbrauch nicht erneuerbarer Ressourcen, wie fossile Energieträger und mineralische Rohstoffe, bedeutend zu minimieren. Biogene Ressourcen müssen effizient und nachhaltig produziert und genutzt werden. Zielkonflikte, etwa im Bereich der Land- und Ressourcennutzung, müssen dabei stets mitgedacht werden. Dies gilt sowohl für bioökonomische Innovationen in der Urproduktion (Land-, Forst-, Meereswirtschaft, Aquakultur) als auch in der Industrie.

Durch Ressourcenschonung Ökologie und Ökonomie verbinden

Die Bioökonomie bietet die Chance, Ökologie und Ökonomie miteinander zu verbinden. Um wirtschaftliche Prosperität und Ressourcenverbrauch zu entkoppeln, müssen alle Ressourcen effizient und nachhaltig genutzt und Energie- und Stoffströme im Sinne einer Kreislaufwirtschaft weitestgehend geschlossen werden. Den Ressourcendruck zu mindern, ist ökonomisch profitabel und ökologisch wertvoll.

Im Mittelpunkt bioökonomischer Forschung steht daher die ganzheitliche Betrachtung biobasierter Prozesse – von der Erzeugung des Rohstoffs über die Prozessierung und Konversion bis hin zum Produkt und dessen Verwendung nach der Nutzung. Die Rückgewinnung von Ressourcen wird ebenso adressiert wie die Wieder- oder Neuverwertung von Neben-, Rest- und Abfallströmen. Forschungsergebnisse sollen es ermöglichen, Wertschöpfungsketten über Sektoren hinweg zu möglichst ressourceneffizienten, ökologisch vorteilhaften und ertragreichen Wertschöpfungsnetzen zu verknüpfen.

Ansätze zur Koppel- und Kaskadennutzung tragen dazu bei, dass innovative Bereiche der Bioökonomie weiter mit bereits etablierten Wertschöpfungsketten zusammenwachsen. Der Aufbau solcher Wertschöpfungsnetze kann auch den Anschluss zu neuen Wirtschaftszweigen herstellen und so die Voraussetzung für eine nachhaltige Transformation zu einer leistungsstarken biobasierten Wirtschaft schaffen.

Durch bioökonomische Lösungen Nachhaltigkeit sichern

Das übergeordnete Ziel bei der Entwicklung einer biobasierten Wirtschaft ist Nachhaltigkeit. Die Komplexität der Bioökonomie macht es erforderlich, bei der Suche nach tragfähigen Lösungen die Zusammenhänge zwischen technischen, ökologischen, ökonomischen und gesellschaftlichen Faktoren zu berücksichtigen. Sobald die Nachhaltigkeitsziele in konkrete Maßnahmen übersetzt werden, entstehen häufig Zielkonflikte innerhalb und zwischen diesen Dimensionen. Damit solche Zielkonflikte frühzeitig erkannt und negative Effekte verhindert werden können, muss bioökonomische Forschung inter- und transdisziplinär sein und globale Entwicklungen fest im Blick behalten. Ganzheitliche Sichtweisen erfordern die Einbeziehung sowohl natur- und technikwissenschaftlicher als auch sozialwissenschaftlicher und ethischer Fragestellungen. Nur auf dieser Grundlage wird es gelingen, durch die Bioökonomie Nachhaltigkeit zu sichern.

3.2 Bausteine zur Umsetzung der Forschungsförderung

Die Ziele der Forschungsförderung zur Bioökonomie adressieren komplexe Fragestellungen und Herausforderungen. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, in systemischen Ansätzen zu arbeiten, die verschiedene Wissenschaftszweige und Wissensbereiche integrieren und zusammenführen. Die bioökonomische Forschung umfasst dabei sowohl Natur- und Technik- als auch Sozialwissenschaften und reicht von der Grundlagenforschung über angewandte Forschung bis zur experimentellen Entwicklung. Zudem entwickeln sich das biologische Wissen und die für die Bioökonomie relevanten Spitzentechnologien nicht immer kontinuierlich in Form von inkrementellen Innovationen, sondern nicht selten auch sprunghaft in Form disruptiver Innovationen weiter.

Die Struktur der Forschungsförderung muss diesen Anforderungen gerecht werden. Für die Umsetzung werden daher modulare Bausteine definiert, die die verschiedenen Aspekte der Bioökonomie abdecken. Sie konkretisieren Forschungsschwerpunkte und schaffen konstruktive Spielräume für Förderrichtlinien, mit denen spezifische Förderbedarfe in thematischer, methodischer oder konzeptioneller Hinsicht aufgegriffen werden. Sie ermöglichen es zudem, neue Erkenntnisse und aktuelle Entwicklungen aufzugreifen. Mit den ineinandergreifenden Bausteinen können die forschungspolitischen Ziele flexibel umgesetzt werden.

3.2.1 Biologisches Wissen als Schlüssel der Bioökonomie

Biologisches Wissen bildet die Grundlage für die Entwicklung von Schlüsseltechnologien und ermöglicht passgenaue bioökonomische Innovationen sowohl für etablierte Industrien als auch für neue Einsatzfelder und Branchen. Biologisches Wissen schafft die Voraussetzungen für nachhaltige Lösungen der Zukunft. Nachhaltigkeit bedeutet, dass die Lösungen ökologisch tragfähig, wirtschaftlich vorteilhaft und gesellschaftlich erwünscht sind. Um diesem umfassenden Nachhaltigkeitsanspruch gerecht zu werden, muss biologisches Wissen mit Wissen über ökosystemare, ökonomische und soziale Zusammenhänge verknüpft werden.

Eine zentrale Herausforderung der Forschung zur Bioökonomie besteht darin, das Wissen über biologische Prozesse,

ihre Regulation und weitere Wechselwirkungen zu vertiefen und zu integrieren. Die Notwendigkeit, ein umfassendes Systemverständnis zu entwickeln, betrifft alle Ebenen von elementaren biomolekularen Vorgängen bis hin zu ganzen Ökosystemen und globalen Kreisläufen. Erst auf dieser Basis kann ein ganzheitliches Verständnis der vielfältigen und dynamischen Prozesse in biologischen Systemen und ihrer Interaktion mit der Umwelt entwickelt werden.

Die Darstellung des Bausteins „Biologisches Wissen als Schlüssel der Bioökonomie“ folgt dieser Logik von der Erforschung grundlegender biologischer Prozesse bis hin zu planetaren Perspektiven.

Biologische Systeme verstehen und modellieren

Systembiologische Ansätze und die Zusammenführung der in den verschiedenen Teilbereichen wie Genomik, Epigenomik, Proteomik oder Metabolomik (englisch zusammenfassend als „omics“ bezeichnet) gewonnenen Daten über neuartige bioinformatische Instrumente und geeignete Infrastrukturen sollen verstärkt gefördert werden. Modellierungs- und Simulationsansätze können auf dieser Basis die zugrunde liegenden biologischen und ökologischen Systeme abbilden und so in ihrer Komplexität zugänglich machen. Durch die Entwicklung neuer integrativer Ansätze soll das modulare Wissen aus den Omics-Bereichen auf den verschiedenen hierarchischen Ebenen biologischer Systeme vernetzt werden. Systemeigenschaften, also Eigenschaften, die sich nicht aus den einzelnen Systemelementen heraus erklären oder ableiten lassen, werden auf diese Weise erfassbar. Das Ziel ist, die Systembiologie nicht nur als Schlüssel für künftige Technologien der Biowissenschaften, sondern auch der Bioökonomie insgesamt auszubauen.

Besondere Bedeutung kommt hier beispielsweise der Erschließung des Epigenoms von Pflanzen, des Mikrobioms der pflanzlichen Wurzel oder der Stoffwechselnetzwerke von Mikroorganismen zu. Modelle, die imstande sind, verlässliche Aussagen darüber zu treffen, wie Regulationsmechanismen in lebenden Zellen und Wechselwirkungen zwischen biologischen Systemen und der Umwelt funktionieren, können auch relevante Erkenntnisse für neue nachhaltige Lösungen generieren.

Bausteine der Forschungsförderung

1

Biologisches Wissen als Schlüssel der Bioökonomie

- › Biologische Systeme verstehen und modellieren
- › Neuartige Produktionsorganismen für Primärproduktion und Industrie
- › Innovative biotechnologische Verfahrenskonzepte für biobasierte Produktionssysteme
- › Biogene Ressourcen nachhaltig erzeugen

2

Konvergierende Technologien und disziplinübergreifende Zusammenarbeit

- › Inter- und Transdisziplinarität fördern
- › Nanotechnologie, Miniaturisierung, Digitalisierung, Automatisierung und Künstliche Intelligenz für die Bioökonomie nutzen

3

Grenzen und Potenziale

- › Druck auf ökologische Grenzen mindern
- › Nachhaltige Potenziale erkennen und erschließen
- › Bioökonomie-Monitoring etablieren, Bioökonomie quantifizieren und bewerten

4

Transfer in die Anwendung

- › Neue Wertschöpfungsnetze etablieren
- › Start-ups sowie kleine, mittlere (KMU) und mittelständischen Unternehmen unterstützen
- › Infrastrukturen für Forschung und Technologietransfer stärken
- › Nachwuchs und Qualifikation fördern

5

Bioökonomie und Gesellschaft

- › Wechselwirkungen und Zielkonflikte erforschen
- › Vergleichende Nachhaltigkeitsbilanzen und Zertifizierungssysteme entwickeln

6

Globale Forschungsk Kooperationen

- › Zusammenarbeit in Europa vorantreiben
- › Kooperationen mit außereuropäischen Partnern stärken

Neuartige Produktionsorganismen für Primärproduktion und Industrie

Eine der Grundbedingungen der Bioökonomie ist die nachhaltige Erzeugung von biogenen Rohstoffen und Produkten sowohl im Agrar- als auch im industriellen Bereich. Um diesem Anspruch gerecht zu werden und effizient und ressourcenschonend produzieren zu können, ist es eventuell notwendig, die Produktionsorganismen, also insbesondere Nutzpflanzen, aber zum Beispiel auch Insekten, Algen, Pilze oder Mikroorganismen, gezielt an die jeweiligen Umwelt-, Klima- und Produktionsbedingungen anzupassen. Dabei soll die Forschung methoden- und technologieoffen sein und in geschlossenen Systemen auch moderne molekularbiologische Ansätze mit einbeziehen.

Ertragsoptimierung, optimale Nährstoffnutzung, Resistenz oder Toleranz gegenüber Überschwemmungen, Hitze, Trockenheit oder Pflanzenkrankheiten/-schädlingen, Anpassung an die Bodenqualität sowie der Erhalt der genetischen Vielfalt sind wichtige Ziele der Züchtung für eine nachhaltige Pflanzenproduktion. Neben Kulturpflanzen kommt aber auch Insekten, Pilzen, Mikroorganismen und aquatischen Lebensformen wie Algen zunehmend Bedeutung in der modernen Bioökonomie zu. Von der Bundesregierung wird dies durch entsprechende Fördermaßnahmen unterstützt.

Die Erschließung neuer Organismen spielt eine wichtige Rolle in der industriellen Produktion und erweitert das Portfolio der klassischen Biotechnologie. Die Eigenschaften von industriell genutzten Mikroorganismen, wie Bakterien, Pilzen und Mikroalgen, können durch innovative

Methoden des Metabolic Engineering oder der Synthetischen Biologie gezielt an spezifische Produktionsbedingungen angepasst werden. Neben der Entwicklung resilienter und effizienter Produktionsstämme steht hier insbesondere auch eine Erweiterung des Produktspektrums im Fokus der Forschung. Forschungsansätze zur Entwicklung neuer Materialien und Produkte mit maßgeschneiderten, das heißt auf einen spezifischen Bedarf oder eine neue Funktion optimal zugeschnittenen Eigenschaften, wie beispielsweise vollständig kreislauffähige Biopolymere, neuartige Biopharmazeutika gegen Antibiotikaresistenzen oder umweltverträgliche Chemikalien, sollen gefördert werden. Damit soll eine optimale Anpassung an die Anforderungen des Marktes und der Umwelt ermöglicht werden. Um das Potenzial der Vielfalt mikrobieller Spezies und ihrer vielgestaltigen metabolischen Eigenschaften nutzbar zu machen, sollen bislang nicht genutzte, aber für die industrielle Produktion geeignete Mikroorganismen identifiziert und zu Plattformorganismen für die Biotechnologie weiterentwickelt werden.

Neben der Verwendung von maßgeschneiderten Mikroorganismen in der industriellen Produktion eröffnet die biotech-

nologische Forschung darüber hinaus Möglichkeiten, künstliche oder zellfreie Produktionssysteme für die Bioökonomie bereitzustellen. Solche Produktionssysteme erlauben zum Beispiel die Produktion von komplexen Antikörpern für spezifische medizinische Anwendungen oder von Wirkstoffen, die für Zellen toxisch sind. Artificielle Produktionssysteme stellen daher Ansätze dar, die das Anwendungspotenzial biobasierter Produktionsverfahren erheblich erweitern.

Innovative biotechnologische Verfahrenskonzepte für biobasierte Produktionssysteme

Im Sinne der Nachhaltigkeit müssen neben den für die biotechnologische Produktion verwendeten Organismen auch die Verfahren, in denen sie eingesetzt werden, ganzheitlich ausgelegt oder auch gänzlich neu gedacht werden. Die Entwicklung innovativer, effizienter und modularer Bioverfahrenskonzepte soll vorangetrieben werden, um so eine flexible Anpassung an verschiedene Standorte, Rohstoffe und Produkte zu ermöglichen.



Der Aufbau des Fraunhofer-Zentrums für chemisch-biotechnologische Prozesse in Leuna wurde vom BMBF und BMEL unterstützt.

Um Biomasse effizient aufzuschließen, aufbereiten und bedarfsgerecht für nachgelagerte Produktionsprozesse bereitstellen zu können, sind erhebliche Forschungsanstrengungen notwendig. Neuartige biotechnologische Verfahren sind die Voraussetzung dafür, die Nutzung biogener Reststoffe weiter zu optimieren und Neben- und Reststoffströme in werthaltige Produkte zu überführen. Neue Konzepte zur Koppel- und Kaskadennutzung müssen hierzu entwickelt und Bioraffinerie-Konzepte ganzheitlich optimiert werden.

In geschlossenen Reaktionsprozessen können Abfallströme, die heute noch nicht stofflich verwertet werden oder nicht genutzte Wertschöpfungspotenziale aufweisen, als ökologisch und ökonomisch vorteilhafte Rohstoffquelle für die Industrie und den Agrarbereich dienen. Hierzu zählen sowohl organische Abfälle als auch kommunale oder industrielle Abwässer oder industrielle Abgase. Die direkte Nutzung beispielsweise von Kohlendioxid oder dem in der Industrie anfallenden Synthesegas als Kohlenstoffquelle in industriellen Bioprozessen kann zukünftig einen Beitrag dazu leisten, eine weitgehende Treibhausgasneutralität in der industriellen Produktion zu erreichen. Darüber hinaus können wichtige Ressourcen wie seltene Metalle oder Phosphor durch maßgeschneiderte Biokatalysatoren rückgewonnen und Kunststoffe in ihre Grundbausteine zerlegt werden. Die Entwicklung von innovativen Methoden und Verfahren zur effizienten Aufarbeitung und Kreislaufnutzung dieser oft komplexen und toxischen Ausgangsstoffe soll gezielt vorangetrieben werden.

Biogene Ressourcen nachhaltig erzeugen

Die Land- und Forstwirtschaft ist ein zentraler Pfeiler einer biobasierten Wirtschaft. Gleichzeitig ist sie gefordert, den Ressourcen- und Flächenbedarf sowie Treibhausgasemissionen und den Verlust der biologischen Vielfalt zu reduzieren, wie aktuell die Berichte des Weltklimarates und des Weltbiodiversitätsrates zeigen¹⁴. Außerdem steht sie selbst durch die Auswirkungen des Klimawandels sowie Zielkonflikte wie beispielsweise Flächennutzungskonkurrenzen vor weiteren großen Herausforderungen.

Landwirtschaft ist lebensnotwendig, und sie wird eine weiter wachsende Weltbevölkerung ernähren müssen. Aber die agrarische Produktion ist auch ein gewichtiger Faktor für die Veränderung der Umwelt durch den Menschen. Das betrifft Landnutzung, Biodiversität, Wasserhaushalt, Nährstoffkreisläufe und den globalen Klimahaushalt. Das Bewusstsein ist gewachsen, dass man den Agrarsektor selbst als ökologisches System betrachten muss. Agrarische Produktion ist auf Ökosystemleistungen angewiesen und

muss selbst zur Wahrung dieser Ökosystemleistungen beitragen. Es ist erforderlich, Land- und Forstwirtschaft in einem ganzheitlichen Sinn als agrarökologische Systeme zu betrachten und durch Forschung das Verständnis ökosystemarer Zusammenhänge immer weiter auszubauen. Besonders gefragt sind ganzheitliche Sichtweisen, die agrarische Produktionssysteme nicht nur nach ihrem Ertrag, sondern auch nach ihren ökologischen Leistungen bewerten.

Letztlich geht es aber nicht nur um den Agrar- und Forstsektor. Große Teile terrestrischer und maritimer Ökosysteme sind durch menschliches Eingreifen grundlegend verändert worden. Es ist unverzichtbar, menschliche Eingriffe sowohl in spezifische Ökosysteme wie in globale Stoff- und Energiekreisläufe bei allen Überlegungen zu zukünftigen Technologien und Ressourcennutzungen zu berücksichtigen. Die Bioökonomie kann ein entscheidender Hebel sein, um sowohl in der Produktion von biogenen Rohstoffen als auch in industriellen Produktionsprozessen zu mehr Nachhaltigkeit zu gelangen. Dazu gehört auch, über gänzlich neue Formen der Erzeugung von biogenen Rohstoffen für stoffliche und energetische Zwecke nachzudenken.

Um die Land- und Forstwirtschaft innovativ und nachhaltig für die Zukunft aufzustellen, ist neben einer substanziellen, breit ausgerichteten Grundlagenforschung zum Verständnis der zugrunde liegenden biologischen und (agrar-)ökologischen Systeme auch die Entwicklung geeigneter, anwendungsorientierter Ansätze notwendig. Diese können auf Spitzen- und Schlüsseltechnologien beruhen, aber auch auf Konzepten, die vorhandene landwirtschaftliche Techniken und ökologische Anforderungen neu zusammenbringen.

Die agrarische Produktion kann außerdem durch die Entwicklung geeigneter nachhaltiger Anbau- oder Produktionssysteme, beispielsweise mit Hilfe neuartiger Smart-Farming-Ansätze, flexibel an regionale und standortspezifische Bedingungen angepasst werden. Von zentraler Bedeutung ist dabei, den Erhalt der Biodiversität und der Qualität von Böden und Wasser als Voraussetzung für Ökosystemleistungen anzuerkennen und in die Wertstellung biobasierter Produkte einzubeziehen.

Damit können die Weichen gestellt werden, um ressourceneffiziente, wettbewerbsfähige und gegenüber wechselnden Klima- und Umweltbedingungen resiliente innovative und nachhaltige Agrar- und Waldsysteme zu erhalten, die kontinuierlich eine ausreichende Versorgung mit biogenen Ressourcen sicherstellen. Die Forschungsförderung unterstützt insbesondere die Entwicklung von neuartigen kreislauforientierten und inputreduzierten Anbau- und Produktionssystemen, auch im Bereich des Ökolandbaus. Dies

können regional angepasste agrarische, forstliche oder auch aquatische Produktionssysteme in der Fläche sein, die eine geschlossene Stoffstromführung anstreben. Für versiegelte Flächen in urbanen oder periurbanen Bereichen sind auch alternative Produktionsformen denkbar, wie beispielsweise (modulare) hochtechnisierte Produktionssysteme, die in kontrollierter Umgebung mit einem geringen Flächen- und Energiebedarf und weitgehend geschlossenen Kreislaufsystemen, wie beim Vertical Farming, funktionieren.

Langfristig muss die Forschung vielfältige Anpassungsstrategien und Schlüsselinnovationen auf den Weg bringen, integrierte Lösungen identifizieren und Ressourcen bündeln, um damit Synergien zum Vorteil von Mensch und Umwelt zu schaffen und „Trade-offs“ zu reduzieren. Diese integrierten Lösungen vereinen technologische Ansätze mit standortangepassten Verfahren zu alternativen Konzepten im Sinne der Nachhaltigkeit.

3.2.2 Konvergierende Technologien und disziplinübergreifende Zusammenarbeit

Aussichtsreiche Ansatzpunkte für bioökonomische Innovationen finden sich besonders in systemischen sowie in inter- und transdisziplinären Ansätzen, die biologisches Wissen mit konvergierenden Technologien verbinden. Von großer Bedeutung für die Bioökonomie sind beispielsweise konvergierende Wissensgebiete und Technologien wie Nanotechnologie, Miniaturisierung, Digitalisierung, Automatisierung und Künstliche Intelligenz.

Die Nutzung von Synergien und Schnittstellen zwischen den unterschiedlichen Fachdisziplinen soll gerade im Hinblick auf die Erforschung und Entwicklung von Zukunftstechnologien weiter vorangetrieben werden. Für eine stärkere Vernetzung der Akteure und eine Etablierung disziplinübergreifender Zusammenarbeit sind geeignete Instrumente, wie beispielsweise virtuelle interdisziplinäre Zentren oder neue multidisziplinäre und sektorenübergreifende Förderkonzepte, zu entwickeln.

Die Digitalisierung hat für die Generierung und die Nutzung biologischen Wissens und bei der Vernetzung verschiedener Technologien eine wichtige Querschnittsfunktion. Mithilfe neuester Werkzeuge der Informatik und der Entwicklung computergestützter mathematischer Modelle können die in den modernen Biowissenschaften auf verschiedenen Skalierungsebenen rasant entstehenden großen Datenmengen intelligent ausgewertet werden. Damit können wertvolle Einsichten in die Funktionsweise biolo-

gischer Systeme gewonnen werden, die neue Dimensionen für die Nutzung des biologischen Wissens eröffnen. Voraussetzung für die effiziente und erfolgreiche Nutzung digitaler Daten ist dabei neben einer Harmonisierung der Daten auch die Unterstützung von effizienten Datenmanagementsystemen, die Weiterentwicklung von Schnittstellenkonzepten sowie die Entwicklung und Nutzung von Standards.

Auch im Bereich der Simulation und Modellierung hat die Digitalisierung ein hohes Innovationspotenzial für die Bioökonomie. Modelle können nicht nur zur Beschreibung biologischer Prozesse und Systeme dienen, sondern sollen vermehrt auch zur Folgenabschätzung, Voraussage und zum gezielten Design von effizienten und passgenauen bio-basierten Verfahren genutzt werden.

Für eine schnellere Entwicklung und eine bessere Überwachung und Steuerung biotechnologischer Produktionsverfahren wird der technologische Fortschritt in den Bereichen Smart Sensorik, Künstliche Intelligenz, Automatisierung, Miniaturisierung und Parallelisierung von Verfahrensprozessen sowie Hochdurchsatzanalysen unterstützt. Auch im Agrarbereich können entsprechende Technologieentwicklungen verstärkt eingesetzt werden, um beispielsweise die Interaktion von Böden, Mikroorganismen, Pflanzen und Umwelt zu analysieren oder um das Erscheinungsbild von Organismen schnell, genau und zerstörungsfrei zu erfassen.

3.2.3 Grenzen und Potenziale

Der Mensch hat schon immer in die Natur eingegriffen und seine Umwelt verändert. Seit der Industrialisierung tut er das in einem immer stärkeren Ausmaß, sodass natürliche Systeme aus dem Gleichgewicht geraten sind. Klimawandel, Artenverlust und bedrohte Ökosysteme sind die Folgen. Die Fortsetzung, Ausweitung und Beschleunigung der derzeitigen Produktion und Verwertung von Rohstoffen wird vor dem Hintergrund der Erkenntnisse der Berichte des Weltklimarates und des Weltbiodiversitätsrates von 2019 zu weiteren Umweltschäden, Biodiversitätsverlusten und zur Erhöhung der Treibhausgasemissionen führen. Die ökologischen Grenzen des Planeten werden zunehmend gefährdet und sind teilweise bereits überschritten.

Für die Bioökonomie bedeutet dies, dass sie einen Beitrag zur Einhaltung dieser Grenzen leisten muss. Von zentraler Bedeutung ist es daher, die Belastungsgrenzen der Ökosysteme zu kennen, die für die Bioökonomie wichtig sind. Die Potenziale der Bioökonomie zu erkennen und zu erschließen, setzt voraus, ihre Umwelt zu verstehen. Um sicherzu-

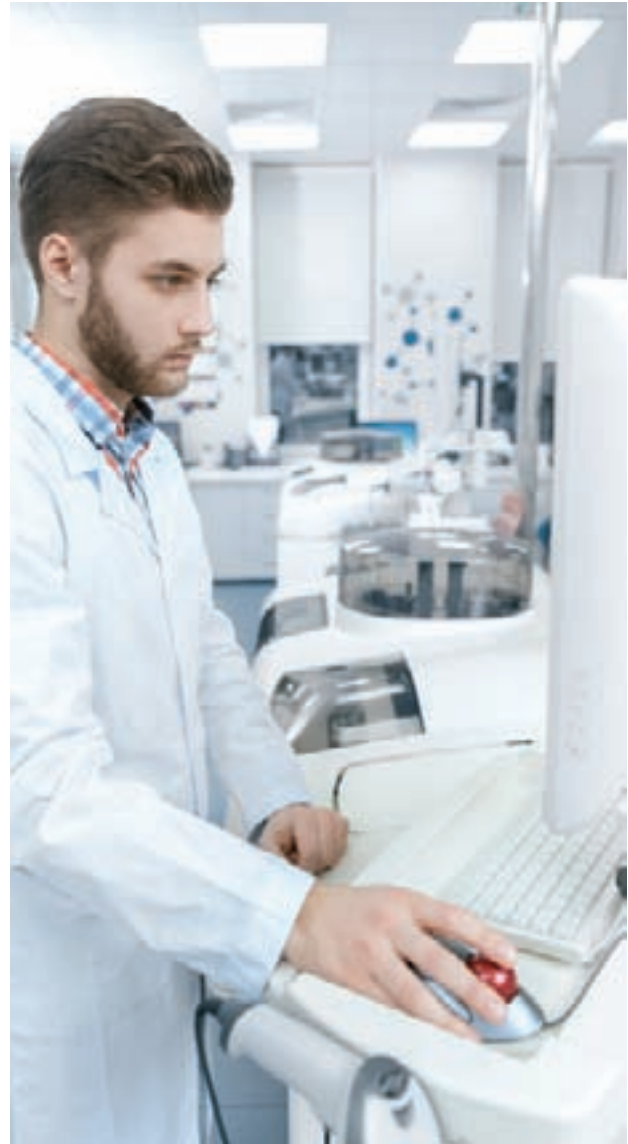
stellen, dass die Bioökonomie innerhalb der ökologischen Grenzen agiert und den Ressourcendruck nicht weiter erhöht, muss Wissen über ökosystemare Effekte und planetare Kreisläufe erweitert und verknüpft werden.

Quantifizierung der Bioökonomie

Ein wichtiges Instrument zur nachhaltigen Gestaltung der Bioökonomie ist die Messung und Beurteilung der genauen ökonomischen, ökologischen und sozialen Effekte biobasierter Wirtschaftens. Es werden Daten und Berechnungsmethoden benötigt, um feststellen zu können, welche Treibhausgasemissionen und welcher Verbrauch von Material, Energie, Wasser und Flächen verschiedener Qualitäten mit bestimmten Produktionsformen einhergehen, einschließlich der Auswirkungen auf die Biodiversität durch intensivierte Nutzung. Eine wichtige Rolle spielt die Bewertung der Verfügbarkeit von Biomasse – räumlich, zeitlich und nach der ökologischen Bedeutung differenziert – auf der einen und des Bedarfs an Biomasse auf der anderen Seite. Zu berücksichtigen ist hierbei der Biomassebedarf, der einer Nutzung entzogen ist, unter anderem für die CO₂-Fixierung und für den Biodiversitätsschutz. Es ist daher wichtig, Biomasseströme und -kreisläufe nachvollziehen und mit geeigneten Methoden abschätzen zu können.

Nur durch eine ganzheitliche Betrachtung unter Einschluss möglicher Alternativen können bestmögliche Lösungen im Sinne einer umfassend verstandenen Nachhaltigkeit gefunden werden. Bisher stehen die dafür nötigen Instrumente erst teilweise zur Verfügung. Mithilfe der Forschung sollen diese Lücken in den nächsten Jahren geschlossen werden. Dazu ist zunächst eine Indikatorentwicklung notwendig, die es erlaubt, alle Dimensionen der Bioökonomie zu erfassen und mit entsprechenden Kriterien zu hinterlegen. Bestehende und neu zu erschließende Daten müssen identifiziert und zusammengeführt werden. Nur wenn der Einsatz von Biomasse über den gesamten Lebenszyklus von der Produktion bis zur Wiederverwendung und die Anwendung bioökonomischer Verfahren mit all ihren Wirkungen und Rückkopplungseffekten gemessen oder präzise geschätzt werden können, ist eine ganzheitliche Bilanzierung möglich. Auf dieser Basis können auch umfassende und belastbare Folgenabschätzungen zu technischen, ökonomischen und ökologischen Entwicklungen in der Bioökonomie vorgenommen werden.

Um die wissenschaftlichen Voraussetzungen für eine solche Quantifizierung der Bioökonomie zu schaffen, wurde eine Pilotphase für ein umfassendes Monitoring gestartet. Diese Arbeiten sollen als übergreifendes Instrument der Bioökonomiestrategie fortgesetzt und ausgebaut werden (siehe auch Kapitel 5.6). Das Monitoring der Bioökonomie



soll es ermöglichen, die Entwicklung einer nachhaltigen Bioökonomie nachzuvollziehen. Es soll als Grundlage dienen, die politische Steuerung und Priorisierung zu überprüfen.

3.2.4 Transfer in die Anwendung

Es genügt nicht, biologisches Wissen zu erwerben und nachhaltige Technologien zu entwickeln. Nur wenn diese erfolgreich als Produkte und Prozesse in den Markt kommen, werden ihre positiven Effekte für Umwelt und Gesellschaft auch realisiert. Die Erfahrung zeigt: Nicht jede gute Idee setzt sich durch. Oftmals erscheinen die Risiken zu hoch oder es mangelt an Finanzierungsmöglichkeiten für die wesentlichen Schritte zwischen Idee und Markteinführung. Die Bundesregierung will verhindern, dass aussichtsreiche, bioökonomische Innovationen an diesen Hürden scheitern. Daher unterstützt sie erfolgversprechende

Innovationen bis hin zur Anwendung. Entscheidend ist, Schnittstellen zwischen Forschung und Anwendung zu schaffen und auszubauen und eine enge Verzahnung der Akteure im Innovationsprozess zu erreichen. Dazu werden Instrumente bereitgestellt, die die Validierung von Forschungsergebnissen für einen erfolgreichen Transfer in die Anwendung unterstützen.

Auch die unter Federführung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung und des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie neu gegründete Agentur für Sprunginnovationen unterstützt bahnbrechende Ideen auf dem Weg in die Anwendung und steht auch für bioökonomische Innovationen offen.

Neue Wertschöpfungsnetze etablieren

Zentral für den Transfer in die Anwendung ist eine enge Vernetzung der Akteure sowohl zwischen Forschung und Wirtschaft als auch zwischen verschiedenen Wirtschaftszweigen. Die Bundesregierung unterstützt eine frühe und transparente Einbindung von Unternehmen und Wirtschaftsexpertise in den Forschungs- und Entwicklungsprozess, denn diese gewährleistet eine ausreichende Orientierung an den Erfordernissen des Marktes. Ein entsprechendes Instrument sind Sondierungsphasen, welche dem eigentlichen Forschungsvorhaben vorgeschaltet werden. Es ist davon auszugehen, dass der zunehmende Einsatz biobasierter Verfahren und Produkte bestehende Wertschöpfungsketten verändert. In diesem Zuge entstehen häufig neue Wertschöpfungsnetze, da durch die komplexen Stoffgemische von Biomasse neben dem gewünschten Produkt oftmals Stoffnebenströme entstehen, die ihrerseits als Rohstoff für einen anderen Prozess dienen können. Um sowohl die Effizienz als auch die Wertschöpfung zu erhöhen, müssen alternative Nutzungswege für einzelne Bestandteile oder Nebenprodukte erforscht und erprobt werden. Das ist nur möglich, wenn Akteure zusammenarbeiten und Expertise aus verschiedenen Disziplinen gebündelt wird. Dasselbe gilt für die Kreislaufwirtschaft. Idealerweise wird bereits beim Produktdesign berücksichtigt, wie das Produkt nach Ende seines Nutzungszyklus weiterverarbeitet oder recycelt werden kann. Die Bundesregierung unterstützt eine entsprechende Vernetzung zwischen den Produzenten und Nutzern in einem Wertschöpfungsnetz beispielsweise durch die Förderung geeigneter Verbundprojekte oder die Etablierung von Clustern.

Förderung von Start-ups sowie von kleinen, mittleren (KMU) und mittelständischen Unternehmen

Start-ups und junge Unternehmen sind ebenso wie kleine, mittlere (KMU) und mittelständische Unternehmen wichtige Innovationstreiber und Innovationsträger für die Bioökonomie. Sie verfügen jedoch häufig über zu geringe Finanzierungsmöglichkeiten. Aufgrund der überdurchschnittlich langen Entwicklungszeiten und Innovationszyklen, die lebenswissenschaftliche Produktentwicklungen oft mit sich bringen, bedürfen sie einer gezielten Förderung, die über die Bedürfnisse in vielen anderen Branchen hinausgeht. Daher werden entsprechende Maßnahmen zur Förderung von kleinen, mittleren und mittelständischen Unternehmen sowie von Start-ups und Neugründungen weiterentwickelt. Das Zentrale Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie ist ebenfalls offen für Innovationen der Bioökonomie.

Infrastrukturen für Forschung und Technologietransfer

Eine erfolgreiche Überführung wissenschaftlicher Erkenntnisse in wettbewerbsfähige Produkte und Verfahren ist nur dann möglich, wenn die Anforderungen des Marktes und der Industrie, wie Rohstoffverfügbarkeit, technische Voraussetzungen, regulatorische Herausforderungen oder kostenrelevante Faktoren, frühzeitig im Forschungs- und Entwicklungsprozess bedacht werden. Es ist daher von hoher Bedeutung, Infrastrukturen für die bioökonomische Forschung zu schaffen, die noch effizienter als bisher eine anwendungsorientierte Zusammenarbeit auch über Disziplingrenzen hinweg ermöglichen. In den letzten Jahren konnten in dieser Hinsicht bereits wichtige Akzente gesetzt werden.

Zudem gilt es, Räume zu schaffen, die die gezielte Weiterentwicklung von wissenschaftlichen Erkenntnissen zu markt- und wettbewerbsfähigen Anwendungen ermöglichen. Demonstrations- und Reallabore bieten die Chance, Innovationen integriert in bereits etablierten Prozessen zu testen. Um das hohe Investitionsrisiko bei der Markteinführung biobasierter Produkte und Prozesse zu minimieren, sollte darüber hinaus die Möglichkeit geschaffen werden, Innovationen auch in größerem Maßstab in Pilotanlagen zu testen.

Nachwuchs und Qualifikation

Die komplexen und über Disziplinengrenzen hinausgehenden bioökonomischen Fragestellungen brauchen eine neue Qualität des systemischen Denkens und Handelns. Dazu werden hochqualifizierte Spezialistinnen und Spezialisten benötigt, die über ihr Fachwissen hinaus die Fähigkeit zu inter- und transdisziplinärer Zusammenarbeit bereits in Ausbildung und Studium erwerben. Aber auch begleitend im Beruf müssen Weiterqualifizierungsmaßnahmen angeboten werden. Unternehmerische Grundkenntnisse sollen früher als bisher vermittelt werden. Durch spezielle Preise und Fördermodule werden im Rahmen der Forschungsförderung Anreize für eine bioökonomische Karriereplanung in Wissenschaft oder Industrie geschaffen. Weitere übergreifende Instrumente finden sich im Abschnitt 5.5 „Qualifikation und Fachkräfte“.

3.2.5 Bioökonomie und Gesellschaft

Der Klimawandel, die demographische Entwicklung, die Versorgung einer wachsenden Weltbevölkerung mit hochwertigen Nahrungsmitteln und Rohstoffen, die Begrenztheit der planetaren Ressourcen und der Schutz der Biosphäre einschließlich der biologischen Vielfalt sind die großen gesellschaftlichen Herausforderungen unserer Zeit. Die Bewältigung dieser Herausforderungen wird nicht allein technisch gelingen, denn technologische Innovationen führen nicht immer zu den Lösungen, für die sie gedacht waren. Ein grundlegendes Verständnis für systemische Zusammenhänge und den globalen Wandel ist deshalb Voraussetzung für Lösungsstrategien, in die technologische Innovationen sinnvoll und erfolgreich eingebettet sind. Um diese gesellschaftlichen Transformationsprozesse und den sozio-technischen Wandel zu verstehen, bedarf es vermehrter sozial-, politik- und wirtschaftswissenschaftlicher Forschung.

Wechselwirkungen und Zielkonflikte erforschen

Mit der Bioökonomiestrategie übernimmt die Bundesregierung Verantwortung für eine nachhaltige Entwicklung. Bioökonomie muss zum Erreichen der übergreifenden politischen Ziele des Klimaschutzes und der nachhaltigen Entwicklung im Sinne der Agenda 2030 der Vereinten Nationen, zu denen sich die Bundesregierung verpflichtet hat, beitragen. Einzelne Ziele dürfen nicht auf Kosten anderer Ziele erreicht werden. Dies ist nur möglich, wenn wir unser Verständnis systemischer Zusammenhänge ständig erweitern – von Stoffkreisläufen in einzelnen Anbausyste-

men über die Funktionsweise von Ökosystemen bis hin zu planetaren Grenzen, die auch die aktuelle europäische Bioökonomiestrategie betont.

Für ein solches Wissen ist die Interdisziplinarität der Bioökonomie-Forschung von großer Bedeutung. Dies betrifft sowohl die Natur- und Technikwissenschaften als auch die Sozial-, Politik- und Wirtschaftswissenschaften gleichermaßen. Nur disziplinübergreifend können reale Probleme in ihrer Komplexität erfasst, Zusammenhänge und Zielkonflikte analysiert und nachhaltige Lösungen gefunden werden, die den gesellschaftlichen Bedürfnissen und Erwartungen entsprechen.

Die Nachhaltigkeit der gefundenen Lösungen hängt dabei nicht zuletzt von Wechselwirkungen zwischen den technischen Möglichkeiten und wirtschaftlichen, gesellschaftlichen und ökologischen Faktoren ab. Zu diesen Wechselwirkungen gehören auch Zielkonflikte, etwa im Bereich der Land- und Ressourcennutzung. Bei der Bioökonomie-Forschung geht es um eine neue, technologieoffene Form von Forschung und Entwicklung. Neue Technologien, auch Biotechnologien, können die bestehende Konkurrenz zwischen Schutz-, Nutzungs- und Vermarktungsinteressen weiter verschärfen. Daher ist es notwendig, aus einer übergreifenden Perspektive der Frage nachzugehen, welche Chancen und Risiken die Entwicklung und Verbreitung neuer Technologien haben können. Hierbei sind auch Themen wie der Wert von Ökosystemleistungen und Natur, der Zugang zu Ressourcen, Verteilungsgerechtigkeit und Suffizienz wichtig. Damit verknüpft sind in vielen Ländern der Erde ganz grundsätzliche Fragen zum Verhältnis von Menschenrechten, Demokratie und Naturschutz. Diese Themengebiete enthalten eine starke ethische Komponente. Ethische Prinzipien können dazu beitragen, Zielkonflikte in der Bioökonomie zu erkennen und Lösungen aufzuzeigen. Im Kontext der globalen Herausforderungen (Ernährung sichern, Klimawandel bekämpfen, Biodiversitätsverlust stoppen, Naturräume schützen) stehen vor allem Land und Boden, biologische Vielfalt und Wasser im Fokus des weltweiten Wettlaufs um den Zugang zu natürlichen Ressourcen. Je dynamischer der Ausbau der Bioökonomie verläuft, umso dringender müssen diese Fragen zum Gegenstand eigenständiger Forschung der Sozial-, Politik- und Wirtschaftswissenschaften gemacht werden, um zu nachhaltigen Lösungen zu gelangen.

Die Ergebnisse der Forschung sollen wichtige Beiträge zur Abschätzung der Potenziale der Bioökonomie, zu ihrer praktischen Ausgestaltung, zu ihren Folgewirkungen mit Blick auf verschiedene Aspekte der Nachhaltigkeit und damit auch hinsichtlich verfügbarer Handlungsoptionen liefern.

Vergleichende Nachhaltigkeitsbilanzen und Zertifizierungssysteme

Um zu optimalen Lösungen zu kommen, müssen vergleichende Nachhaltigkeitsbilanzen auf Basis umfassender Lebenszyklusanalysen erstellt werden, die zeigen, unter welchen Bedingungen biobasierte Produkte und entsprechende Verfahren anderen Lösungen überlegen sind. Das schließt sowohl konventionell-fossile Alternativen ein als auch solche, die auf dem Einsatz anderer erneuerbarer Rohstoffe beruhen. Entsprechende Forschungsvorhaben liefern unverzichtbare Entscheidungsgrundlagen für die fortlaufende Weiterentwicklung der Bioökonomie.

Die Entwicklung aussagekräftiger zusammenfassender Indikatoren kann außerdem als Grundlage für mögliche Zertifizierungssysteme dienen, die den Zusatznutzen und die Nachhaltigkeit biobasierter Produkte verdeutlichen und dadurch ihre Marktposition stärken. Auf dieser Basis können auch politische Entscheidungen zur Steuerung der Biomasseproduktion getroffen werden.

3.2.6 Globale Forschungsk Kooperationen

Der Wissensaustausch über Ländergrenzen hinweg setzt Synergieeffekte frei, sowohl für die beteiligten Kooperationspartner als auch für die Bioökonomie als Ganzes. Die Bundesregierung wird die Voraussetzungen weiter verbessern, um international voneinander zu lernen und miteinander zu forschen. Das Ziel ist, Nachhaltigkeit und Bioökonomie global zu denken und umzusetzen. Hiervon kann Deutschland als Wissenschafts-, Technologie- und Innovationsstandort profitieren. Eine Ausweitung und Verstärkung der internationalen Zusammenarbeit trägt der globalen Verantwortung Deutschlands Rechnung.

Die Grundlagen für diese Kooperationen sind gelegt. Die Bundesregierung hat den Aufbau von transnationalen Forschungsnetzwerken in den letzten Jahren intensiv gefördert und mit ihren Maßnahmen dazu beigetragen, dass deutsche Forschungseinrichtungen weltweit einen hervorragenden Ruf genießen. Als einschlägige Plattform für

den Austausch mit internationalen Expertinnen und Experten auch jenseits der Forschung hat sich der Global Bioeconomy Summit etabliert. Auf Initiative des 2012 bis 2019 amtierenden Bioökonomierates und gefördert von der Bundesregierung hat sich dieses hochrangig besetzte Gipfeltreffen zu einer Institution entwickelt, die wichtige Impulse für die Weiterentwicklung und Koordinierung verschiedener Bioökonomie-Ansätze liefert.

Zusammenarbeit in Europa

Die Bundesregierung wird die Kooperation im Bereich Forschung, Entwicklung und Innovation zur Bioökonomie im europäischen Umfeld weiterführen und sich für ihre Stärkung einsetzen. Der intensive Austausch mit EU-Staaten in entsprechenden Arbeitsgruppen – darunter dem Standing Committee on Agricultural Research (SCAR) und der States Representative Group der Bio-Based Industries Joint Undertaking (BBI JU) – ist ein zentraler Pfeiler dieses Engagements. Insgesamt wird die Bundesregierung die Entwicklung der Bioökonomie auf EU-Ebene im konstruktiven Dialog mit den Partnern aktiv begleiten und sich für eine erfolgreiche Umsetzung der europäischen Bioökonomiestrategie einsetzen.

Zusammenarbeit mit außereuropäischen Partnern

Über die Grenzen Europas hinaus wird auch die Zusammenarbeit mit außereuropäischen Kompetenzträgern weitergeführt und ausgebaut werden. Durch gezielte bilaterale Forschungsk Kooperationen mit ausgewählten Ländern werden Schwerpunkte gesetzt. Ebenso wird es internationale Maßnahmen geben, die grundsätzlich offen sind für Kooperationen deutscher Partner mit Partnern aus anderen Nationen. Die Bundesregierung ist überzeugt, dass jedes Land und jede Region einen individuellen Beitrag zur globalen Bioökonomie leisten kann, durch eine eigene Mischung aus Rohstoffen, Technologien, Wissen und Ideen. Durch Kooperationen können der Aufbau einer biobasierter Wirtschaft unterstützt und die individuellen Ansätze bestmöglich miteinander verzahnt werden.



4

§



Handlungsfelder zur Verbesserung
der Rahmenbedingungen für eine
nachhaltige Bioökonomie



Die Bioökonomie berührt als Querschnittsthema alle Wirtschaftssektoren und kann daher nur durch die sinnvolle und kohärente Verknüpfung verschiedener Politikbereiche adressiert werden. Im Folgenden werden die zentralen Handlungsfelder zur Verbesserung der politischen Rahmenbedingungen dargestellt.

Handlungsfelder für eine nachhaltige Bioökonomie zur Verbesserung der politischen Rahmenbedingungen



Die Bioökonomie berührt als Querschnittsthema alle Wirtschaftssektoren und kann daher nur durch die sinnvolle und kohärente Verknüpfung verschiedener Politikbereiche adressiert werden. Dazu gehören neben der bereits dargelegten Forschungspolitik (Kapitel 3) beispielsweise die Industrie- und Energiepolitik, die Agrar-, Forst- und Fischereipolitik sowie die Klima-, Umwelt- und Naturschutzpolitik. Die Bioökonomiestrategie bringt verschiedene Politikfelder zusammen und zeichnet einen Pfad für die Bioökonomie-Politik in Deutschland vor. Ziel dieser Politik ist die Ausgestaltung förderlicher Rahmenbedingungen, die den Über-

gang zu einer Bioökonomie unterstützen und zur Entschärfung der Ziel- und Nutzungskonflikte beitragen.

Die Politik gestaltet die Umsetzung der Bioökonomie durch ordnungsrechtliche Maßnahmen, Fördermaßnahmen, Kommunikation und Kooperationen. Die einzelnen Handlungsfelder sind so angelegt, dass sie die nachhaltige Entwicklung der Bioökonomie in Deutschland – definiert in den SDGs und in der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie – unterstützen und einen Beitrag entlang der Wertschöpfungsketten in der Bioökonomie (von der Rohstoffher-

gung über die Biomassenutzung, den Verarbeitungs- und Vermarktungsprozess, den Handel und den Verbraucher bis hin zur Nutzung von Rest- und Abfallstoffen) leisten. Dabei

sollen die Chancen der Digitalisierung genutzt, Kooperationen auf internationaler Ebene verstärkt und die Ausbildung und Lehre weiter unterstützt werden.

4.1 Minderung des Flächendrucks

Die mit Blick auf die globale Bevölkerungsentwicklung und die weltweit wachsende Nachfrage nach Lebensmitteln tierischer Herkunft zu erwartende verstärkte Nutzung biogener Ressourcen impliziert eine größere Flächeninanspruchnahme für deren Produktion, die theoretisch entweder über eine Ausdehnung von Produktionsflächen, eine Nutzungsintensivierung oder eine Kombination beider Maßnahmen erreicht werden kann. Außerdem können insbesondere eine effektive Verteilung erzeugter Lebensmittel oder eine verringerte Produktion tierischer Lebensmittel verbunden mit fleischarmerer Ernährung den Flächenbedarf mindern. Flächen werden aber auch für den Erhalt natürlicher Lebensräume und der Biodiversität sowie für andere Nutzungen benötigt. Zu letzterem zählen insbesondere der Siedlungs- und Infrastrukturausbau, der Abbau von abiotischen Rohstoffen (Kohle, Sand, Kies etc), aber auch die Flächeninanspruchnahme durch Erneuerbare-Energien-Anlagen. Selbst innerhalb der Biomasseproduktion entsteht eine Flächennutzungskonkurrenz mit Blick auf die Nutzung oder Verwertung der erzeugten Biomasse.

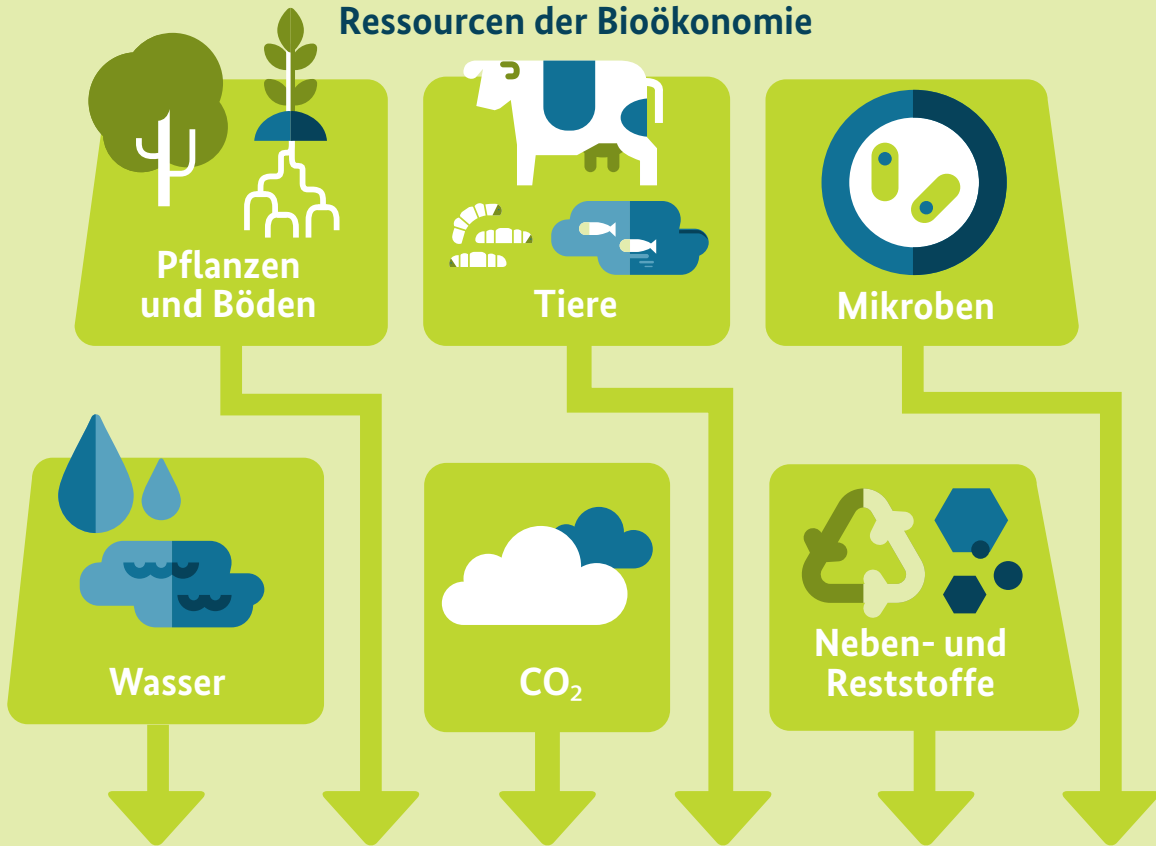
Die zu erwartende weitere Zunahme der Flächennutzungskonkurrenzen, auch im Hinblick auf Flächenansprüche zur Bereitstellung von Ökosystemleistungen (zum Beispiel Lebens- und Nahrungsflächen für Insekten oder Niederwild), stellt somit eine große Herausforderung dar. Sie kann gleichzeitig Chancen für verbesserte und ressourcenschonende Flächennutzungsformen eröffnen (zum Beispiel durch Paludikulturen). Zur Entschärfung der Flächennutzungskonkurrenzen setzt die Bioökonomie-Politik auf eine Kombination verschiedener Ansätze. Hierzu gehören Maßnahmen, die der Steigerung der Ressourceneffizienz dienen, indem sie beispielsweise durch die Implementierung von Infrastrukturen und Prozessschritten für die Trennung und Rückgewinnung von Sekundärstoffen oder durch die Anwendung von Verfahren für die Koppel- und Kaskadennutzung auf die allgemeine Reduzierung des Rohstoffeinsatzes abzielen. Darüber hinaus kann insbesondere der Einsatz biogener Ressourcen, die mit keinem oder nur geringem Flächenbedarf verbunden sind (zum Beispiel Abfall- und Reststoffnutzung) maßgeblich zur Minderung des Flächendrucks führen.

Einen weiteren Ansatz der Bundesregierung zur Minderung des Flächendrucks stellt die Rekultivierung degradierter, ungenutzter oder nicht effizient genutzter Flächen dar. Beispiele hierfür sind die nachhaltige Bewirtschaftung von Bergbaufolgefleichen oder Grenzertragsstandorten in der Landwirtschaft, wobei die hohe Bedeutung von Brachflächen oder extensiv genutzten Flächen für Umweltleistungen und Artenvielfalt zu beachten ist. Auch innerstädtische Flächen können für eine landwirtschaftliche oder gärtnerische Erzeugung (Urban Farming) genutzt werden. Nachhaltige Bewirtschaftung kann mit positiven Effekten, wie Vermeidung von Erosion und der Erhöhung der Biodiversität, einhergehen.

Einen weiteren Baustein der Minderung des Flächendrucks stellt neben der Nutzung alter Industriestandorte für neue industrielle Nutzungen in der Bioökonomie die nachhaltige Steigerung der Produktivität land- und forstwirtschaftlich genutzter Flächen dar, die mit der Wahrung von Biodiversität und Landschaftsbildern einhergehen muss. Durch Züchtung und Precision Farming kann eine ökonomisch wie ökologisch nachhaltige Steigerung der Flächenproduktivität erreicht werden. Dies wirkt der Steigerung des Flächenbedarfs entgegen. Darüber hinaus können Züchtungen durch Bereitstellung eines vielfältigen Arten- und Sortenspektrums sowie die Weiterentwicklung resilienter und ökologischer Anbausysteme zur Diversifizierung im landwirtschaftlichen Pflanzenbau beitragen, was sich positiv auf die Agrarbioidiversität auswirken kann. Die Bundesregierung wird ihre Aktivitäten im Bereich der Züchtung standort- und klimaangepasster, im Hinblick auf die Nährstoff- und Wassernutzung effizienter sowie gegenüber biotischem und abiotischem Stress resistenter beziehungsweise toleranter Pflanzensorten sowie zur Weiterentwicklung von ökologischen Anbausystemen weiterführen und auch mit Blick auf die Anpassung an den Klimawandel ausbauen.

Auch die Maßnahmen von Bund und Ländern zur Reduzierung der Flächeninanspruchnahme für Siedlungs- und Verkehrsflächen tragen dazu bei, den Druck auf die natürliche Ressource Boden zu verringern.

Ressourcen der Bioökonomie



Nachhaltige Nutzung



4.2 Nachhaltige Erzeugung und Bereitstellung biogener Rohstoffe

Von landwirtschaftlichen Flächen, aus Wäldern und Wasserökosystemen werden die für eine Bioökonomie wichtigsten biogenen Ressourcen bereitgestellt und durch biogene Rest- und Abfallstoffe ergänzt. Zur Erhaltung dieser natürlichen Lebensgrundlagen muss die Ressourcennutzung im Einklang mit den Zielen des Umwelt-, Klima- und Naturschutzes sowie mit den sozio-ökonomischen Nachhaltigkeitszielen erfolgen.

Dies erfordert weitere Anstrengungen, die sämtliche Faktoren der Produktionssysteme unter standortspezifischen Anforderungen und Nachhaltigkeitsaspekten berücksichtigen. Hier ist beispielsweise die Erhaltung gesunder und fruchtbarer Böden zu nennen. Ferner soll die effiziente Nutzung von Rest- und Abfallstoffen aus der Land- und Forstwirtschaft, aus industrieller Produktion und von privaten Haushalten weiter gesteigert werden.

Ein wichtiges Instrument zur Ausgestaltung einer nachhaltigen Landwirtschaft ist die Gemeinsame Agrarpolitik der EU (GAP). Durch die Reform der GAP sollte eine wesentlich stärker auf Nachhaltigkeit ausgerichtete Landwirtschaft in Europa angestrebt werden.

Die nachhaltige Bereitstellung biogener Rohstoffe soll aber auch national im Rahmen fachspezifischer Aktivitäten weiter gestärkt werden, die über die EU-Förderungen hinausgehen. Beispielsweise spielt der ökologische Landbau eine wichtige Rolle im Rahmen einer nachhaltigen Produktion von landwirtschaftlichen Erzeugnissen für die Ernährung. So soll der Anteil der Ökolandbau-Fläche an der Agrarfläche in Deutschland bis zum Jahr 2030 auf 20 Prozent gesteigert werden, auch um die steigende Nachfrage nach Ökoprodukten umfassender zu bedienen und um die Bandbreite der Erwerbsmöglichkeiten für landwirtschaftliche Betriebe zu erweitern.

Darüber hinaus soll die Nachhaltigkeit der Landwirtschaft im Rahmen nationaler Aktionspläne oder Strategien kontinuierlich verbessert werden. So sollen beispielsweise die Risiken der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln in der Landwirtschaft reduziert und das Tierwohl gesteigert wer-

den, ohne die Produktivität der deutschen Landwirtschaft zu beeinträchtigen. Die Vorgaben für die Düngung werden mit dieser Zielrichtung kontinuierlich an die Umwelterfordernisse und die entsprechenden europäischen Rechtsgrundlagen angepasst.

Die Forstwirtschaft ist ein weiteres Standbein der deutschen Bioökonomie. Sie stellt einen Großteil der in Deutschland verwendeten biogenen Rohstoffe bereit. Ein wichtiges Instrument zur Anpassung an den Klimawandel und zur Sicherung der Rohstoffversorgung ist – neben dem Waldumbau hin zu klimaangepassten Mischwäldern mit standortgerechten Baumarten – die Forstpflanzenzüchtung. Ziel der Bundesregierung ist es, eine an die zukünftigen Anforderungen angepasste, tragfähige Balance zwischen den steigenden Ansprüchen an den Wald und seiner nachhaltigen Leistungsfähigkeit zu entwickeln. Denn das Ziel einer nachhaltigen Nutzung des Waldes erfordert wirtschaftliche Leistungsfähigkeit, ökologische Verantwortung und soziale Gerechtigkeit.

Zur langfristigen Sicherung land- und forstwirtschaftlicher Produktion in Deutschland hat das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) in Zusammenarbeit mit den Bundesländern eine Agenda zur Anpassung von Land- und Forstwirtschaft sowie Fischerei und Aquakultur an den Klimawandel erarbeitet. Diese soll in den kommenden Aktionsplan zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel¹⁵ (DAS) integriert werden. Ziel ist es, Land- und Forstwirtschaft sowie Fischerei und Aquakultur so auf die erwarteten Klimaänderungen einzustellen, dass Risiken für Betriebe und Unternehmen gemindert werden, ohne dabei die Umwelt zu beeinträchtigen.¹⁶ Die zukünftige Verfügbarkeit von biogenen Rohstoffen wird einerseits stark von den Veränderungen abhängen, die der Klimawandel in Bezug auf die Produktionsbedingungen (Niederschlagsmenge und -verteilung, Durchschnittstemperaturen, Witterungsextreme etc) mit sich bringt, sie wird andererseits aber auch von der Anpassungsfähigkeit unserer Land- und Forstwirtschaft an die neuen Gegebenheiten bestimmt.

4.3 Aufbau und Weiterentwicklung bioökonomischer Wertschöpfungsketten und -netze

Die Entwicklung innovativer biobasierter Produkte, Verfahren oder Dienstleistungen, die gegenüber fossilbasierten Lösungen über zusätzliche positive Eigenschaften verfügen, ist ein wesentlicher Treiber einer biobasierten Wirtschaft und soll daher weiterhin unterstützt werden.

Oftmals kann die Entwicklung und Etablierung regionaler biogener Wertschöpfungsketten über die bessere Vernetzung etablierter Akteure einzelner Wertschöpfungsketten erreicht werden. Diese Vernetzung soll daher auch in Zukunft weiterhin unterstützt werden. In der Vergangenheit ist dies beispielsweise im Rahmen der Förderung von Bioökonomie-Clustern geschehen. Potenzial für innovative Wertschöpfungsketten sieht die Bundesregierung im verstärkten Einsatz biogener Rohstoffe aus aquatischen Systemen wie beispielsweise Algen, Cyanobakterien oder Wasserpflanzen. Auch mit dem Ziel der Verbreiterung der Rohstoffbasis der Bioökonomie soll in Zukunft insbesondere der Einsatz aquatischer Ressourcen vorangetrieben werden.

Neben der Etablierung neuer Wertschöpfungsketten sollen auch die bestehenden Wertschöpfungsketten der Bioökonomie optimiert werden, um den Rohstoffverbrauch zu verringern, Umwelt und Klima durch die Reduzierung der Inanspruchnahme nicht-regenerativer Rohstoffe zu schonen und um die Wirtschaftlichkeit der gesamten Wertschöpfungskette zu verbessern. Die Bundesregierung setzt zu diesem Zweck in erster Linie auf die technologische Weiterentwicklung bestehender sowie die Erprobung innovativer Produktionsverfahren. Auf betrieblicher Ebene und in nachgelagerten Logistikketten sollen organisato-

rische und technische Konzepte weiterentwickelt werden. Damit sollen Produktion, Lagerung und Erstverarbeitung nachwachsender Rohstoffe optimiert und somit eine effizientere Nutzung biogener Ressourcen erreicht werden. Dies kann sowohl die Erfassung von Sekundär- und Reststoffen als auch die Aufbereitung von land- und forstwirtschaftlich produzierten Rohstoffen zu qualitativ höherwertigen und wirtschaftlich zu transportierenden Zwischenprodukten unter Berücksichtigung von Nachhaltigkeitsaspekten betreffen.

Die mit der Optimierung einhergehenden Verbesserungen können oftmals durch die sinnvolle Verknüpfung einzelner Wertschöpfungsketten zu Wertschöpfungsnetzen weiter verstärkt werden, sodass es zu positiven Synergieeffekten kommen kann. Unter Anwendung des Gedankens der Ressourceneffizienz und der Nachhaltigkeit sollte – wo möglich und sinnvoll – eine Kaskaden- und Koppelnutzung angestrebt werden. Zur Steigerung der Ressourceneffizienz sollen in Verbindung mit der Kaskadennutzung verstärkt Anstrengungen unternommen werden, die verwendeten biogenen Rohstoffe so lange wie wirtschaftlich und technisch möglich im Stoffkreislauf zu halten. Dabei soll zunächst die Verwendungsmöglichkeit mit der höchsten Wertschöpfung weiterverfolgt werden. Besonderes Augenmerk liegt dabei auf der Erschließung neuer, wirtschaftlich attraktiver Nebenprodukte, die sich für eine Koppelnutzung eignen. Dabei gilt es, die Prinzipien des Kreislaufwirtschaftsgesetzes zur Schonung der natürlichen Ressourcen und die Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen zu berücksichtigen.

4.4 Markteinführung und Etablierung biobasierter Produkte, Verfahren und Dienstleistungen

Gegenüber fossilbasierten Erzeugnissen verfügen biobasierte Alternativen häufig über Vorteile für Klima und Umwelt, Ressourceneffizienz und Nachhaltigkeit. Dennoch ist die Markteinführung und Etablierung innovativer Produkte und Verfahren der Bioökonomie eine große Heraus-

forderung. Sie konkurrieren mit bereits am Markt etablierten Produkten, die über gewachsene Vermarktungswege, Bekanntheit und Infrastruktur verfügen. Obwohl die Bereitschaft von Verbraucherinnen und Verbrauchern, biobasierte Produkte zu kaufen, zuweilen so groß ist, dass sie



bereit sind, höhere Marktpreise zu zahlen, reicht die initiale Nachfrage nach biobasierten Produktalternativen häufig nicht aus, um diese wirtschaftlich produzieren zu können.

Durch die Einbeziehung von und den Dialog mit verschiedenen Akteuren einer biobasierten Wertschöpfungskette im Rahmen von bewährten Dialogprozessen wie Fachgesprächen, Workshops, Plattformen und Tagungen können Maßnahmen entwickelt und umgesetzt werden, um den verstärkten Einsatz bestimmter biogener Rohstoffe zu fördern. Ein Beispiel dafür ist die „Charta für Holz 2.0“¹⁷ des BMEL, die unter dem Motto „Klima schützen. Werte schaffen. Ressourcen effizient nutzen“ mit einem ganzheitlichen Ansatz auf eine stärkere Verwendung von Holz aus nachhaltiger Forstwirtschaft abzielt. Als Meilenstein im Klimaschutzplan 2050 schließt die Charta für Holz Aspekte der



Wertschöpfung und Ressourceneffizienz als mit dem Klimaschutz eng verbundene Themen mit ein.

Weitere wichtige Bestandteile, die die Marktetablierung biobasierter Produkte unterstützen, sind Information und Sensibilisierung von Verbraucherinnen und Verbrauchern über die konkreten Vor- und Nachteile dieser Produkte. Produktkennzeichnungen und gegebenenfalls Zertifizierungen schaffen Transparenz und stärken das Vertrauen in biobasierte Produkte. Auswahl und Bekanntmachung von guten Beispielen nachhaltiger biobasierter Rohstoffverwendungen mit Leuchtturmcharakter tragen dazu bei, die Öffentlichkeit für diese Themen zu sensibilisieren und zusätzliche Anreize für den Einsatz nachwachsender Rohstoffe zu schaffen. Auch in Zukunft wird die Bundesregierung daher Wettbewerbe wie den „HolzbauPlus-Wettbewerb“ ausloben, mit dem das BMEL die Aufmerksamkeit auf besonders nachhaltige Gebäude mit einer ganzheitlichen Materialwahl lenkt und in dessen Rahmen Projekte mit Holz im Zusammenspiel mit weiteren nachwachsenden Rohstoffen in Konstruktion, Dämmung und Ausbau prämiert werden.

Ein weiteres wichtiges Instrument zur Unterstützung der Marktetablierung biobasierter Produkte ist die öffentliche Beschaffung. Das Beschaffungsvolumen der öffentlichen Hand liegt nach Schätzungen bei mindestens 300 Milliarden Euro im Jahr. Eine stärkere Ausrichtung der öffentlichen Beschaffung auf biobasierte, nachhaltige Produkte kann die Etablierung solcher Produkte daher nachfrageseitig unterstützen. Marktmacht und Vorbildfunktion der öffentlichen Hand dienen dabei als Marktöffner.

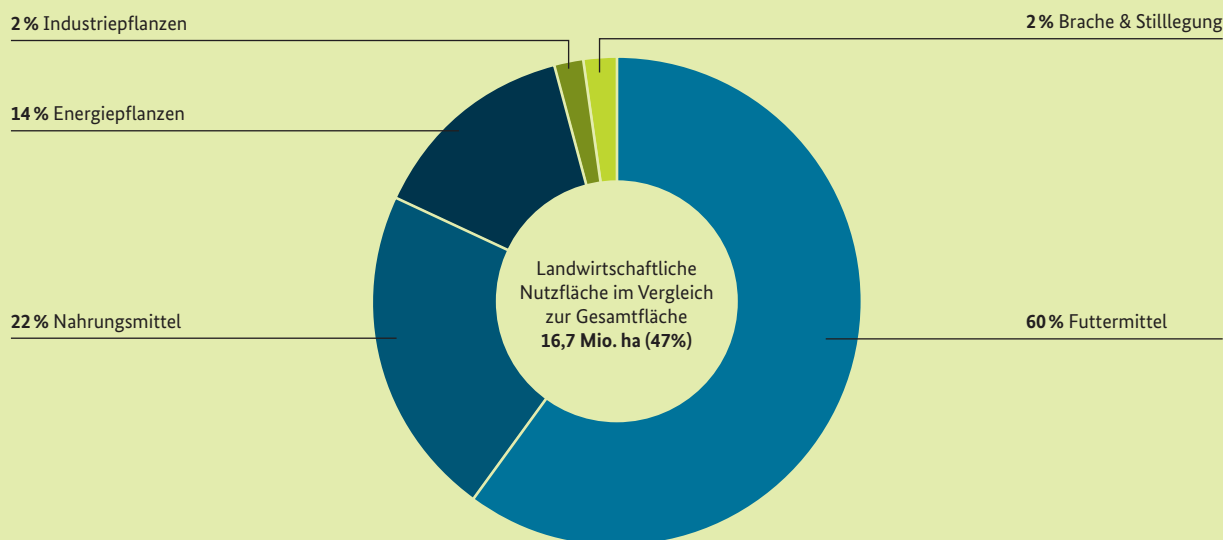
Die mit Mitteln des BMEL und der Landwirtschaftlichen Rentenbank durchgeführte „Deutsche Innovationspartnerschaft“ (DIP) ist ebenfalls ein Beispiel dafür, wie Produktentwicklungen erfolgreich zur Marktreife geführt werden können.

4.5 Nutzung des Bioökonomie-Potenzials für die Entwicklung ländlicher Räume

Der Großteil der Biomasse in Deutschland wird in ländlichen Räumen erzeugt beziehungsweise bereitgestellt und als Nahrungs- oder Futtermittel oder auch stofflich und energetisch verwendet. Ländliche Räume spielen daher eine zentrale Rolle in der Bioökonomie. Der weitere Ausbau der Bioökonomie in Deutschland birgt große Potenziale hinsichtlich Wertschöpfung, Arbeitsplätzen und damit zusammenhängend Lebensqualität im ländlichen Raum.

Regionale Bioökonomie-Potenziale unterscheiden sich je nach vorhandener Infrastruktur, verfügbaren Rohstoffen und den Kompetenzen der lokalen Akteure. Darüber hinaus finden die Weiterverarbeitung der biogenen Ressourcen und die damit verbundene Wertschöpfung bisher oftmals nicht an dem Ort ihrer Erzeugung statt. Stattdessen wird Biomasse teilweise über weite Strecken transportiert, um diese (oft zentral in großen Anlagen) zu verarbeiten, was unter ande-

Landwirtschaftliche Nutzfläche in Deutschland 2017



Quelle: FNR nach Statistischem Bundesamt, BMEL (2017)

rem mit transportbedingten CO₂-Emissionen verbunden ist. Im Rahmen des Ausbaus der Bioökonomie soll unter Einbindung lokaler Akteure und regionaler Verwaltungen die Entwicklung regionaler Bioökonomie-Konzepte unterstützt werden. Ein Fokus soll dabei insbesondere auf der lokalen Weiterverarbeitung biogener Rohstoffe zu höherwertigen Verarbeitungsstufen liegen. Dies kann dazu beitragen, Beschäftigung und Wertschöpfung in ländlichen Räumen zu schaffen und Transporte zu reduzieren. Auch die Unterstützung regionaler, an örtliche Gegebenheiten angepasster Vermarktungsformen für biobasierte Produkte kann helfen, regionale Wertschöpfung zu generieren. Die Basis für innovative Produktions- und Dienstleistungsprozesse, die häufig

die Grundlage für neue Geschäftsideen in der Bioökonomie darstellen, ist das Vorhandensein qualifizierter Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sowie moderner Infrastruktur und Nahversorgungsangebote vor Ort. Die Bundesregierung arbeitet gemeinsam mit Ländern und kommunalen Spitzenverbänden in der Kommission „Gleichwertige Lebensverhältnisse“ an diesbezüglichen Fragen. Zur Identifikation von Regionen mit bisher ungenutztem Potenzial für die Entwicklung bioökonomischer Wertschöpfungsketten soll eine Potenzialanalyse durchgeführt werden. Die Ergebnisse der Studie sollen als Grundlage für die Identifikation regional-spezifischer Maßnahmen dienen und in die Entwicklung regionaler Bioökonomiestrategien münden.

4.6 Nutzung der Digitalisierung für die Bioökonomie

Aufgrund ihres hohen Innovationspotenzials eröffnet die stärkere Implementierung der Digitalisierung entlang der gesamten Bioökonomie-Wertschöpfungskette die Möglichkeit, Prozesse zu optimieren. Die Verbindung der Bioökonomie mit der Digitalisierung schafft aber auch neuen Raum für innovative Geschäftsmodelle. Dies gilt für alle Bereiche der Produktion. Beispielsweise kann der Einsatz digitaler Innovationen im Bereich der land- und forstwirtschaftlichen

Produktion zu großen Einsparungen an Ressourcen wie Boden, Pflanzenschutzmitteln, Dünger und Energie führen. Dies führt zu Kostensenkungen und Effizienzsteigerungen und macht die Landwirtschaft somit konkurrenzfähiger und umweltfreundlicher. Großes Potenzial ergibt sich in diesem Zusammenhang durch den Einsatz von Sensortechnik, Big Data, schnellen Datenverbindungen oder Robotik bei der Erzeugung und Verarbei-



tung biogener Rohstoffe und im Rahmen der Präzisionslandwirtschaft.

Es gilt zu eruieren, wie digitale Techniken beispielsweise in den grünen Berufen optimal zum Schutz der Umwelt, des Tierwohls, der Biodiversität und für eine nachhaltige Entwicklung sowie zur Verbesserung des Tierschutzes und zur Arbeitserleichterung eingesetzt werden können, und welche Arten innovativer Geschäftsmodelle zukunftsfähig sind. Dies soll beispielsweise im Rahmen von digitalen Experimentierfeldern auf landwirtschaftlichen Betrieben erarbeitet werden. Das hierzu vorgesehene koordinierende Kompetenznetzwerk ist ein wichtiger erster Schritt.

Darüber hinaus ist es möglich, dass digital bereitgestellte Informationen über nachhaltige Produktionsweisen hel-

fen, das Bewusstsein der Verbraucherinnen und Verbraucher für nachhaltig erzeugte Produkte zu schärfen und so Kaufentscheidungen zu beeinflussen.

Grundlage der stärkeren Umsetzung digitaler Lösungen ist die Klärung offener Fragen in den Bereichen Datenschnittstellen, Open Data, Standardsetzungen, Kompatibilität und Datenplattformen sowie das Schaffen von Rechtssicherheit. Grundsätzlich ist dabei auch zu klären, inwiefern die Digitalisierung durch den entstehenden Energiebedarf Effizienzgewinne schmälert oder sogar überkompensiert (Reboundeffekt) und wie diese Problematik gelöst werden kann. Diese Fragen sollen insbesondere in ländlichen Räumen in Pilotprojekten untersucht und gelöst werden.

4.7 Politische Kohärenz

Die Rahmenbedingungen für den Wandel hin zu einer Bioökonomie werden stark durch Fachpolitiken auf regionaler, nationaler sowie internationaler Ebene geprägt. Diese variieren teilweise erheblich, was die Vermarktung marktfähiger biobasierter Produkte oftmals behindert und gegebenenfalls einen rohstoffspezifischen Wettbewerbsnachteil generieren kann. Insbesondere im Falle innovativer biobasierter Produkte oder Verfahren, die bisherige Standardverfahren ablösen könnten, werden eventuell vorkommende produktspezifische Vor- oder Nachteile in bestehenden Regelungen oftmals nicht berücksichtigt, da diese Vor- oder Nachteile bisher nicht relevant oder bekannt sind.

Neben regional unterschiedlichen rechtlichen Regelungen hinsichtlich Anbau und Verarbeitung biogener Rohstoffe oder des Inverkehrbringens, des Verzehrs oder des Einsatzes biobasierter Produkte für verschiedene Verwendungsbereiche variieren auch die Anforderungen an innovative biobasierte Produkte hinsichtlich ihrer Zulassung oder ihrer Nachhaltigkeit je nach Region oder Verwendungspfad.

Die Sicherstellung kohärenter politischer Rahmenbedingungen für den Wandel zu einer stärker biobasierten Wirtschaft erfordert eine engere Verzahnung von Politik und Strategien insbesondere in den Bereichen, in denen biobasierte Materialien erzeugt oder verarbeitet werden. Dies schließt sowohl die Land-, Forst- und Fischereiwirtschaftspolitik als auch Regelungen in den Bereichen Umwelt,

Bauen, Energie, biologische Vielfalt, Abfallwirtschaft, Ressourceneffizienz oder nachhaltige Finanzpolitik ein. Zu diesem Zweck wird die Abstimmung innerhalb der Bundesregierung auch künftig in der interministeriellen Arbeitsgruppe zur Bioökonomie (IMAG) weitergeführt. In der IMAG sollen die verschiedenen Aktivitäten der Bundesregierung zur Umsetzung der Bioökonomiestrategie koordiniert werden.

Darüber hinaus soll ein Gremium die Bundesregierung beraten, das über eine breite Expertise zu allen Dimensionen der Bioökonomie verfügt und verschiedene Perspektiven vereint (siehe auch 5.1). So sollen Synergieeffekte identifiziert und genutzt werden, um die Kohärenz politischer Entscheidungen über verschiedene Verwaltungsebenen hinweg sicherzustellen. Ferner soll der Austausch der Akteure auf verschiedenen Verwaltungsebenen (EU, Bund, Länder) wie auch mit Stakeholdern und Experten einzelner Branchen der Bioökonomie und mit Experten des Umwelt- und Naturschutzes verstärkt werden. Im Rahmen dieses Austauschs soll beispielsweise auch analysiert werden, ob die Markteinführung innovativer biobasierter Lösungen durch regulatorische Einschränkungen gehemmt ist und ob gegebenenfalls Diskriminierungen biobasierter Produkte oder Verfahren bestehen, die sich mit ordnungspolitischen und technischen Anpassungen beheben lassen. Weiterhin sollen die Biomasseströme und ihre Nutzungsarten bewertet und priorisiert werden.

5



Übergreifende Instrumente



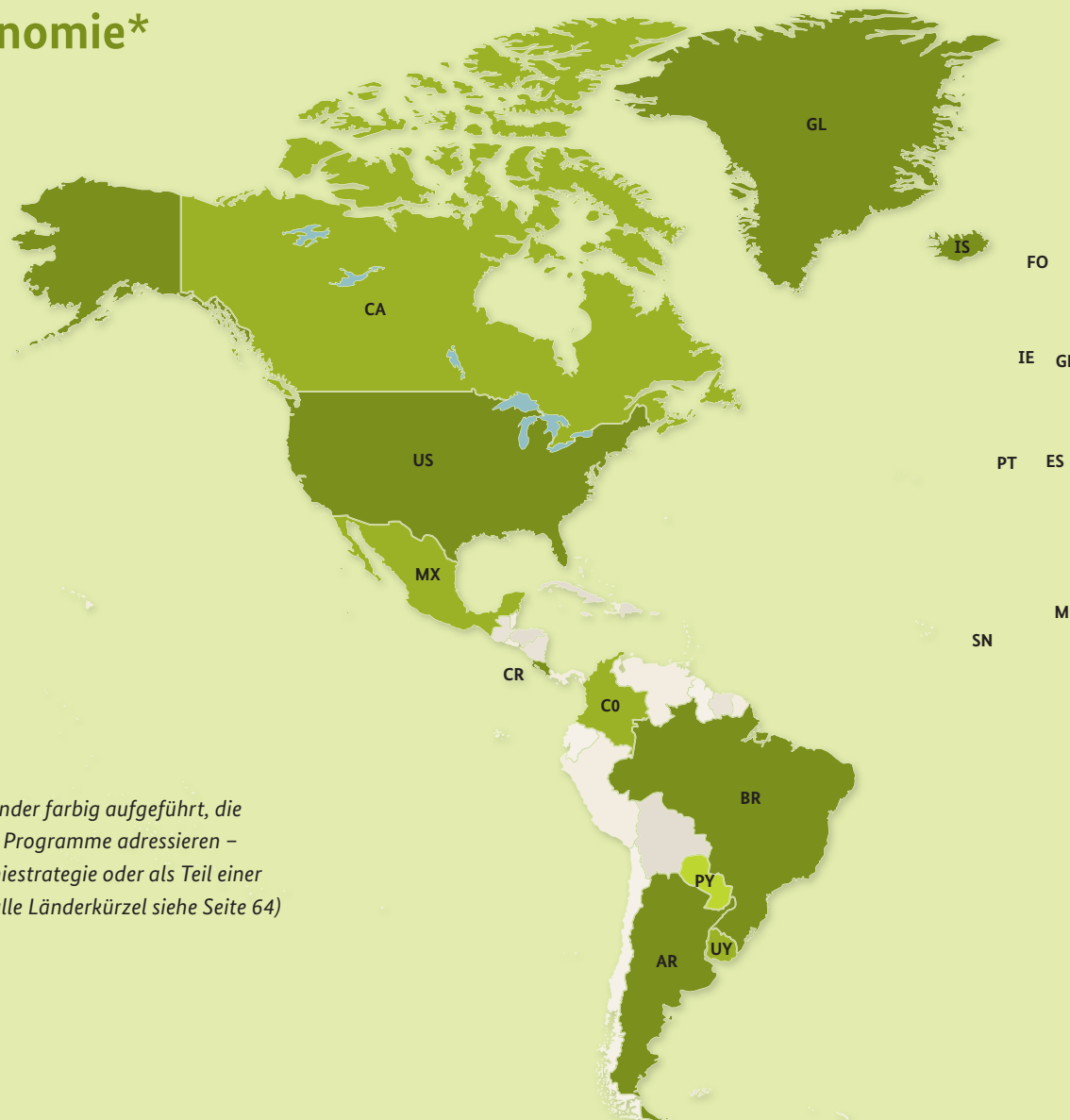
Neben den Maßnahmen zur Forschungsförderung und zur Verbesserung der Rahmenbedingungen plant die Bundesregierung weitere Aktivitäten zur Umsetzung der Bioökonomiestrategie.

5.1. Einrichtung eines beratenden Gremiums unter breiter gesellschaftlicher Beteiligung

Als Weiterentwicklung des in zwei Perioden von 2009 bis 2012 und 2012 bis 2019 amtierenden Bioökonomierates soll ein neues Gremium die Bundesregierung beraten, das über eine breite Expertise zu allen Dimensionen der Bioökonomie verfügt. Das Beratungsgremium soll möglichst viele Perspektiven auf die Bioökonomie abdecken und neben Fachleuten aus Wissenschaft und Industrie auch Vertreterinnen und Vertreter thematisch relevanter zivilgesellschaftlicher Organisationen umfassen. Zu seinen Aufgaben zählen die Erarbeitung von Empfehlungen und Stellungnahmen sowie die Förderung der öffentlichen Debatten zur Bioökonomie. Unter breiter Beteiligung der Zivilgesellschaft sollen insbesonde-

re auch Konflikte thematisiert werden, die bei der Umsetzung der mit der Bioökonomie verknüpften Nachhaltigkeitsziele auftreten können. Eine weitere Aufgabe des Gremiums wird es sein, in einem partizipativen Prozess Vorschläge und Empfehlungen für einen Umsetzungsplan der Nationalen Bioökonomiestrategie zu entwerfen und diese während der Laufzeit der Strategie kontinuierlich fortzuschreiben. Der Umsetzungsplan soll Empfehlungen für konkrete politische Maßnahmen enthalten und dabei aktuelle Entwicklungen berücksichtigen. Die Bundesregierung wird sich mit den Stellungnahmen auseinandersetzen und auf dieser Grundlage Schritte ergreifen, um die Ziele der Bioökonomiestrategie zu erreichen.

Länder mit politischen Aktivitäten in der Bioökonomie*



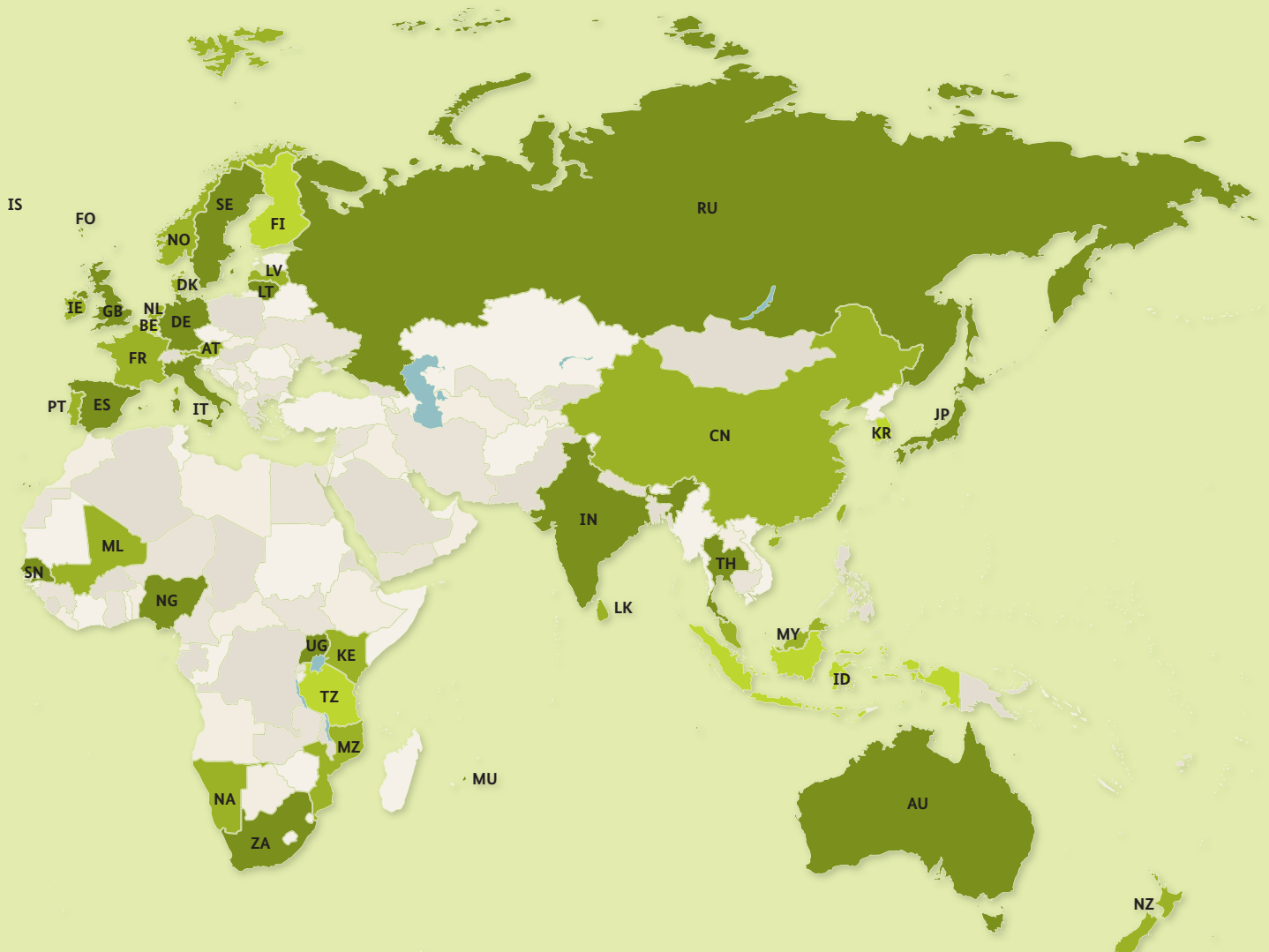
*Es werden in der Karte alle Länder farbig aufgeführt, die die Bioökonomie in politischen Programme adressieren – sei es als dedizierte Bioökonomiestrategie oder als Teil einer übergeordneten Maßnahme. (alle Länderkürzel siehe Seite 64)

5.2 Bund-Länder-Zusammenarbeit

Die Bundesregierung begrüßt, dass auf Ebene der Bundesländer eigenständige Bioökonomiestrategien entwickelt wurden, die auf die spezifischen Herausforderungen vor Ort eingehen und die Chancen der Bioökonomie ebenso für den ländlichen wie den urbanen Raum nutzen. Wichtig ist, dass alle Verwaltungsebenen in Austausch miteinander treten.

Die Nationale Bioökonomiestrategie profitiert von den Anstrengungen der Länder, eigene Strategien zu entwerfen, Förderinitiativen aufzulegen, landesspezifische Profile der Bioökonomie zu entwickeln sowie Cluster und regionale Netzwerke aufzubauen. Beispiele für erfolgreiche Initiativen

sind verschiedene Cluster, Kompetenzzentren und Modellregionen, die zum Thema Bioökonomie aufgesetzt wurden. Die Bundesregierung wird diese und weitere Maßnahmen im Rahmen einer Bund-Länder-Arbeitsgruppe abstimmen und koordinieren, um die weitere Entwicklung der Bioökonomie in Deutschland so effizient wie möglich zu gestalten.



5.3 Europäische und internationale Zusammenarbeit

Die Bioökonomie gewinnt weltweit an Bedeutung. Mehr als 50 Staaten haben zum Zeitpunkt des Erscheinens der vorliegenden Strategie eigene Bioökonomiestrategien aufgelegt. Dabei ist ein breites Portfolio an Ansätzen und Konzepten entstanden, die regionale und nationale Besonderheiten widerspiegeln. In der Bioökonomie ergeben sich Unterschiede schon durch die jeweiligen klimatischen und geografischen Bedingungen und die spezifische biologische Vielfalt. Dazu kommen Schwerpunkte in der Forschungs- und Industrielandschaft. Dies bedeutet für einzelne Regionen neue Entwicklungsmöglichkeiten und Optionen zur Spezialisierung. Erst im Zusammenspiel zwischen diesen Regionen ergibt sich die Effizienz des Gesamtsystems. Internationale Zusammenarbeit ist daher für das Gelingen einer nachhaltigen Bioökonomie unverzichtbar. Die ersten Schritte dazu wurden unternommen und die Bundesregierung hat den Aufbau dieser Zusammenarbeit in den vergangenen Jahren maßgeblich mit unterstützt.

Die internationale Zusammenarbeit – sowohl innerhalb der Europäischen Union als auch mit weiteren internationalen Partnern – wird im Rahmen der Umsetzung dieser Strategie weiter ausgebaut und intensiviert werden. Die Bundesre-

gierung wird dazu beitragen, die Bioökonomie und die mit ihrer Implementierung verbundenen Nutzungskonflikte im internationalen Kontext zu diskutieren, Akteure besser zu vernetzen, Erkenntnisse über Maßnahmen und Strategien auszutauschen und das Ziel der Etablierung einer nachhaltigen Bioökonomie mit strategisch wichtigen Partnern gemeinsam voranzubringen. Dafür werden bilaterale Kontakte und Kooperationen sowie das Engagement in multilateralen Prozessen oder Gremien intensiviert werden.

Die Kooperation zur Bioökonomie im europäischen Umfeld wird weitergeführt und gestärkt werden. Die Unterstützung der Bioökonomie ist ein Ziel, das viele Mitgliedstaaten der EU sowie die EU-Kommission im Rahmen dezidierter Strategien verfolgen. Die Bundesregierung wird sich aktiv für den Austausch zur Bioökonomie innerhalb der EU-Mitgliedstaaten sowie mit der EU-Kommission einsetzen und gemeinsame Aktivitäten unterstützen und steuern. Die Bundesregierung wird die Entwicklung der Bioökonomie auf EU-Ebene im konstruktiven Dialog mit den Partnern aktiv begleiten. Zentraler Pfeiler dieses Dialogs ist der Austausch mit EU-Staaten in entsprechenden Arbeitsgruppen. Darüber hinaus soll der Erfahrungs-



Bioökonomie ist das Thema des Wissenschaftsjahres 2020. Zum Auftakt hat das BMBF biobasierte Produkte auf der Grünen Woche gezeigt.

austausch zwischen den Mitgliedstaaten durch die Einrichtung einer informellen Gesprächsrunde zu nationalen Maßnahmen der Bioökonomie-Politik initiiert werden.

Durch internationale Kooperationen über Europa hinaus sollen individuelle Ansätze zur Etablierung der Bioökonomie bestmöglich miteinander verzahnt und ergänzt werden. Zudem sollen bilaterale Beziehungen dazu genutzt werden, das Ziel der Etablierung einer globalen Bioökonomie auch in multilateralen Formaten voranzutreiben.

Zur besseren internationalen Harmonisierung von Maßnahmen und Strategien zur Förderung einer nachhaltigen

Bioökonomie, zur Lösung der damit verbundenen Zielkonflikte und zur Verdeutlichung der Möglichkeiten hinsichtlich Klima-, Umwelt- und Ressourcenschutz wird sich die Bundesregierung dafür einsetzen, dass das Thema Bioökonomie künftig stärkere Beachtung in internationalen Prozessen findet. Beispiele hierfür sind die G20- und G7-Formate sowie die jährliche Vertragsstaatenkonferenz der UN-Klimarahmenkonvention (COP-Konferenzen). Im internationalen Austausch wird auch thematisiert werden, wie die Rohstoffbasis der Bioökonomie nachhaltig produziert und bereitgestellt werden kann. Auch die Zusammenarbeit mit der Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen (FAO) soll intensiviert werden.

5.4 Kommunikation und Dialog

Die demographischen Entwicklungen und das weltweite wirtschaftliche Wachstum führen zu einer erhöhten Nachfrage nach begrenzt verfügbarem Land und Biomasse. Die menschlichen Aktivitäten haben Auswirkungen auf Umwelt, Natur und Biodiversität und sollten in ihrer Unterschiedlichkeit dargestellt werden. Die Weltbevölkerung braucht eine gesunde und sichere Ernährung, Energie und Materialien, Arbeitsplätze, Wohnraum und Infrastruktur für Mobilität. Die Verbraucherinnen und Verbraucher haben durch ihre Konsumententscheidungen Einfluss darauf, wie diese Bedürfnisse gedeckt, welche Lebensmittel konsumiert, welche Energieformen in Haushalten verwendet und welche Produkte gekauft werden. Die Gesellschaft kann somit einen Beitrag zum Vorantreiben der Bioökonomie leisten.

Bisher bleibt die Bioökonomie als Gesamtkonzept in der deutschen Öffentlichkeit allerdings weitgehend unbekannt. Einzelne Elemente, wie die Digitalisierung der Landwirtschaft, moderne Züchtungsverfahren oder Anwendungsfelder der Synthetischen Biologie, stoßen auf Vorbehalte. Andere Elemente, wie die Produktion medizinischer Wirkstoffe oder die Substitution gesundheits- oder umweltschädlicher Chemikalien durch unbedenkliche biologische Stoffe, werden hingegen positiv aufgenommen.

Es ist wichtig, die gesellschaftlichen Anforderungen und Erwartungen an die Entwicklung der Bioökonomie zu berücksichtigen und wichtige Zukunftsthemen, aber auch mögliche Zielkonflikte und Risiken mit allen Beteiligten frühzeitig zu diskutieren und zu bewerten. Forschung muss offen und transparent sein. Die Ergebnisse staatlich geförderter Forschung sollen der Öffentlichkeit nach Möglichkeit unentgeltlich zur Verfügung stehen. Bildungseinrichtungen, wie Museen oder botanische Gärten, leisten

hier einen wertvollen Beitrag, ebenso wie bürgerwissenschaftliche Forschungsvorhaben. Erst eine gute Informationsbasis schafft die Voraussetzungen für eine informierte öffentliche Diskussion über die Bioökonomie.

Mit Blick hierauf hat das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie Ende 2018 eine Dialogplattform „Industrielle Bioökonomie“ mit Vertretern aus Industrie, Verbänden, Wissenschaft und Gesellschaft initiiert, bei der die Hindernisse und Probleme beim Umbau der Wirtschaft in eine nachhaltige biobasierte Wirtschaft diskutiert und gemeinsame Lösungsansätze entwickelt werden.

Der offene Dialog zwischen Öffentlichkeit, Wissenschaft und Politik über die Gestaltung der Bioökonomie muss weitergeführt und intensiviert werden. Wie bei allen tiefgreifenden Wandlungsprozessen gilt es, Impulse und Bedenken frühzeitig aufzugreifen und eine sachgerechte öffentliche Debatte zu unterstützen. Zur Einbeziehung zivilgesellschaftlicher Gruppen durch transparente Dialog- und Partizipationsprozesse nutzt die Bundesregierung verschiedene Formate. Wichtig ist der Austausch mit allen interessierten gesellschaftlichen Gruppen – sowohl den Pionieren und Befürwortern der Bioökonomie als auch mit denen, die verschiedenen Aspekten der Bioökonomie kritisch gegenüberstehen. Ziel des Dialogs ist es, Fehlentwicklungen früh zu entdecken und rechtzeitig entgegenzusteuern.

Das Infoportal zur Bioökonomie in Deutschland:
biooekonomie.de

5.5 Qualifikation und Fachkräfte

Die Bioökonomie erstreckt sich über alle wirtschaftlichen Sektoren und zahlreiche wissenschaftliche Disziplinen. Durch die Verknüpfung unterschiedlicher Felder und Wissensgebiete entstehen neue Möglichkeiten, aber auch neue Anforderungen an berufliche Qualifikationen. Benötigt werden Fachkräfte mit interdisziplinärer Expertise an den Schnittstellen von Nachhaltigkeit, Produktionsprozessen, Märkten und Konsum. Sie sind die Voraussetzung für Innovation und Wachstum und leisten einen notwendigen Beitrag zur nachhaltigen Bioökonomie in Deutschland.

Mit der Forschungsförderung zur Bioökonomie hat die Bundesregierung den Wissensaufbau und die interdisziplinäre Vernetzung in der Wissenschaft vorangetrieben. In über 2.000 Forschungsprojekten, die im Rahmen der Nationalen Forschungsstrategie Bioökonomie gefördert wurden, konnten viele junge Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler wertvolle Qualifikationen erwerben. Neben der Projektförderung sollten auch neue Aus- und Weiterbildungsangebote sowie Studiengänge an Berufs- und Fachschulen, Fachhochschulen und Hochschulen einschließlich Universitäten gezielt Inhalte der Bioökonomie anbieten. In gleicher Weise sind konvergierende Technologien in einer neu ausgerichteten bioökonomischen Ausbildung zu berücksichtigen.

Einen Schwerpunkt soll die Nutzung digitaler Technologien in der Züchtung und in der Land- und Forstwirtschaft einnehmen. Für Fach- und Führungskräfte des Agrarbe-

reichs sind daher Schulungs-, Weiterbildungs- und Beratungsangebote zu nachhaltiger Produktion, neuen Techniken und digitalen Anwendungen von hoher Bedeutung.

Die erfolgreiche Entwicklung und Implementierung der Bioökonomie erfordert die Integration verschiedener Forschungsdisziplinen. Dafür gibt es bereits eine ganze Reihe gelungener Beispiele. Im Rahmen der Bioökonomiestrategie sollen weitere Kooperationsmodelle entwickelt und implementiert werden, die die stärkere Vernetzung von Forschungseinrichtungen und Industrie fördern und so den Wissenstransfer in die Praxis und die Entwicklung interdisziplinärer Berufsbilder unterstützen.

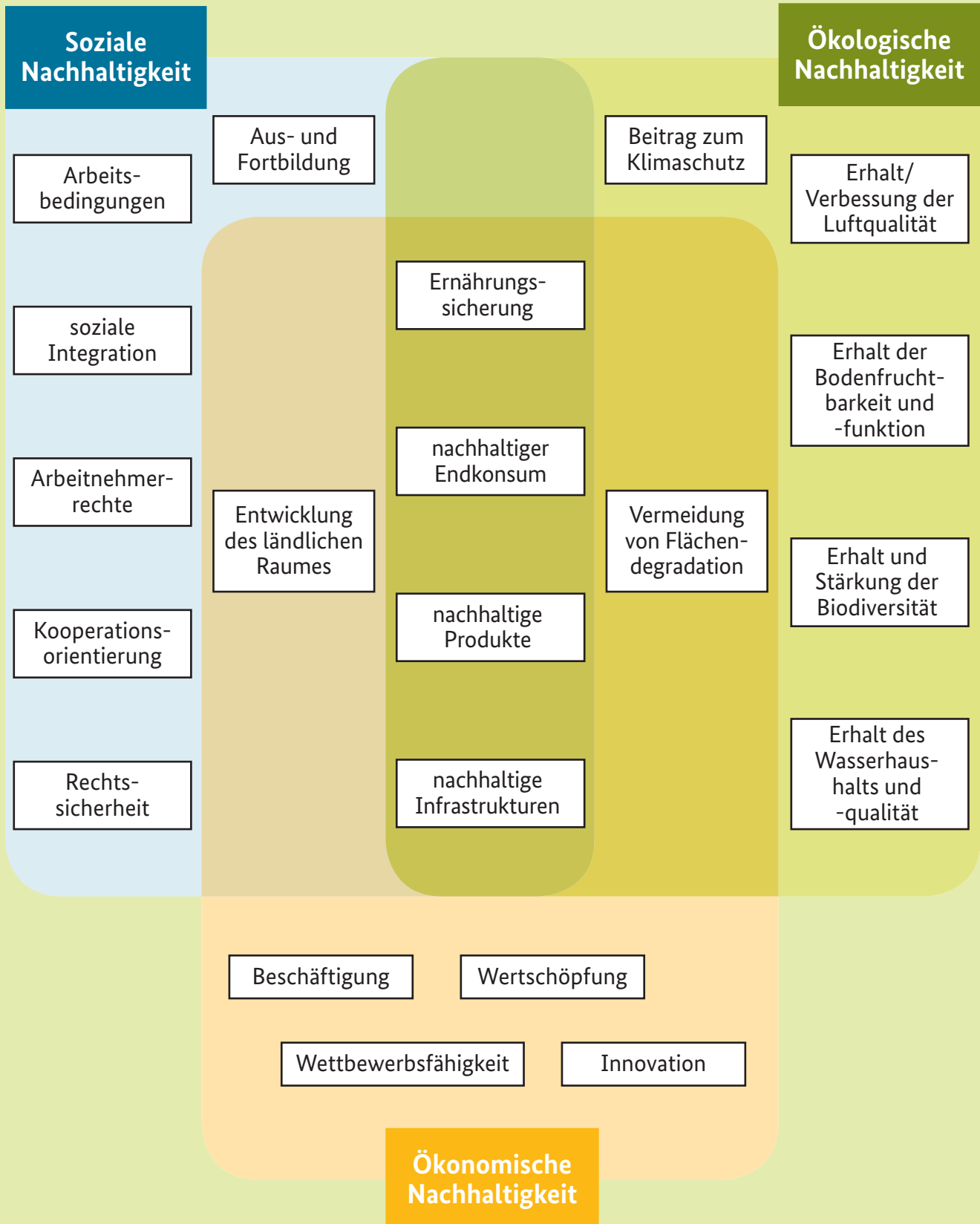
Eine wichtige Rolle spielt die Initiative „Bildung für nachhaltige Entwicklung“ (BNE) der UNESCO. Diese sieht in „Hochwertiger Bildung“ (SDG 4) eine Schlüsselfunktion für die Umsetzung aller übrigen 16 Nachhaltigkeitsziele. Denn durch Bildung für nachhaltige Entwicklung erwerben die Menschen Gestaltungskompetenzen zur Förderung einer nachhaltigen Entwicklung unserer Gesellschaft. Um BNE strukturell in allen Bildungsbereichen zu verankern, wurde daher 2017 der „Nationale Aktionsplan Bildung für nachhaltige Entwicklung“ von der Nationalen Plattform BNE verabschiedet¹⁸. Die Maßnahmen zur beruflichen Bildung für nachhaltige Entwicklung berücksichtigen die Aspekte der Bioökonomie sowohl in der Ausbildung als auch in der Weiterbildung des Bildungspersonals und des betrieblichen Managements.

5.6 Bioökonomie-Monitoring

Die Leitlinien und Ziele dieser Strategie zeigen, dass Bioökonomie den übergreifenden Zielen der nachhaltigen Entwicklung und des Klimaschutzes ebenso verpflichtet ist wie einer zukunftsfähigen Wertschöpfung in der Industrie, einer Stärkung des ländlichen Raums und der Erhaltung der biologischen Vielfalt. Dafür ist es wichtig, den richtigen Weg einzuschlagen. Den Transformationsprozess hin zu einer nachhaltigen, biobasierten und an natürlichen Kreisläufen orientierten Wirtschaftsweise zu beobachten, zu messen und bewertbar zu machen, ist eine wichtige Voraussetzung, um nicht einzelne Ziele auf Kosten anderer zu erreichen und Prioritäten richtig setzen zu können. Hierfür sind verlässliche Daten, umfassende Bilanzen und aussagekräftige Indikatoren erforderlich, die allen beteiligten Akteuren Orientierung bieten können.

Zu diesem Zweck hat die Bundesregierung 2016 ein umfassendes Bioökonomie-Monitoring initiiert. Das Monitoring ist nicht nur ein zentrales Instrument zur Begleitung und Bewertung der Strategie, sondern soll die Entwicklung der Bioökonomie insgesamt abbilden und gesichertes Wissen für praktische Zwecke bereitstellen. Die Arbeiten der laufenden Pilotphase sollen weitergeführt werden, um die Entwicklungstendenzen der Bioökonomie auch über längere Zeiträume zu überblicken und Abhängigkeiten und Wirkungen noch besser zu verstehen. Das Indikatoren-system wird deshalb im Austausch mit Expertinnen und Experten aus allen gesellschaftlichen Bereichen auf seine Relevanz überprüft und weiterentwickelt.

Ziele und Dimensionen der Bioökonomie



Schlussbetrachtung und Ausblick

Mit der vorliegenden Bioökonomiestrategie stellt die Bundesregierung die Weichen für die Politik der kommenden Jahre. Diese muss in Richtung einer ökonomisch, ökologisch und sozial nachhaltigen Entwicklung führen. Die Bioökonomie wird dabei eine wichtige Rolle spielen. Deutschland als wirtschafts- und finanzstarkes Land hat eine besondere Verantwortung, den anstehenden Transformationsprozess entschlossen anzugehen. Dadurch ergibt sich die Möglichkeit, eine Vorreiterrolle bei der Entwicklung der technologischen und gesellschaftlichen Innovationen der nachhaltigen Welt von morgen einzunehmen.

In der Bioökonomie-Forschung wird die Bundesregierung darauf achten, dass Forschungs- und Entwicklungsprojekte technologieoffen und stärker interdisziplinär ausgerichtet werden. Nur so lassen sich die vielfältigen Wechselwirkungen biologischer Systeme, bioökonomischer Prozessketten sowie deren Wirkungen auf Umwelt, Natur und Landschaft sowie Klima und Gesundheit besser verstehen, um auf dieser Grundlage Handlungsempfehlungen abzuleiten. Dies schließt verschiedene Wissenschaftsdisziplinen ebenso ein wie eine Reihe von Schlüsseltechnologien aus den Bereichen der Biotechnologie, Nanotechnologie, Digitalisierung, Automatisierung, Sensorik, Robotik und der Künstlichen Intelligenz. Dabei sollen sowohl Vorhaben der Grundlagenforschung und der experimentellen Entwicklung als auch anwendungsorientierte Forschungs- und Entwicklungsvorhaben weiter gefördert werden.

Eine aktive Unterstützung einer nachhaltigen Bioökonomie-Entwicklung erfordert dabei Maßnahmen, die über den Bereich von Forschung und Entwicklung hinausgehen. For-

schung und Innovation müssen sich in neuen Produktionsprozessen und marktfähigen Produkten niederschlagen. Neben Politik und Wissenschaft sind hierbei auch Unternehmen sowie Verbraucherinnen und Verbraucher als wesentliche Akteure gefragt. Ohne deren Bereitschaft, neue biobasierte Produkte zu entwickeln und anzunehmen, kann die Transformation zur Bioökonomie nicht gelingen.

Die Bundesregierung wird ihre Fachkommunikation fortsetzen, um die Leistungen der Bioökonomie greifbarer zu machen. Zusätzlich wird der Dialog zwischen Bürgerinnen und Bürgern, Wissenschaft, Wirtschaft und Politik über die Gestaltung der Bioökonomie – deren Chancen und Nutzen, aber auch mögliche Risiken und Probleme – offen weitergeführt und intensiviert.

Darüber hinaus will die Bundesregierung länderübergreifende Kooperationen zu bioökonomierelevanten Themen weiter ausbauen. Denn die Ausgestaltung einer nachhaltigen Bioökonomie kann insbesondere angesichts globaler Märkte und Handelsbeziehungen nur im internationalen Kontext gelingen.

Alle Maßnahmen, die die Bundesregierung in den kommenden Jahren auf den unterschiedlichen Feldern der Bioökonomie – Forschung, Land-, Forst-, Fischereiwirtschaft und Aquakultur, Umwelt, Klima, Industrie – ergreifen wird, werden auf ihre Wirksamkeit kontrolliert werden. Aufgrund der dynamischen Entwicklungen in der Bioökonomie ist es notwendig, die Ausrichtung der Strategie ständig zu überprüfen und gegebenenfalls weiterzuentwickeln. Dies erfolgt insbesondere durch die Fortschreibung des Umsetzungsplans.



Glossar

abiotisch | die unbelebte Natur betreffend; Vorgänge, Stoffe oder Umweltfaktoren, an denen Lebewesen nicht direkt beteiligt sind, z. B. Wasser, Licht, Gestein oder Metalle

Agrarökologie, agrarökologisch | Wissenschaftliches Teilgebiet der Ökologie, das landwirtschaftliche Produktion als Teil von Ökosystemen (u. a. mit Blick auf Ökosystemleistungen, Bodenfruchtbarkeit, Biodiversität) begreift und sich mit dem Verhältnis von Anbausystemen, Natur- und Ressourcenschutz befasst. Die Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen (FAO) versteht darunter auch ein praktisches Konzept zur Transformation der Landwirtschaft in einkommensschwachen Ländern, das traditionelle kleinbäuerliche Anbauformen und lokales Wissen mit Erkenntnissen und Methoden moderner Wissenschaft verbindet. Das Ziel ist, kleinbäuerlichen Betrieben ein Einkommen auf Basis lokaler Kreisläufe zu sichern und dabei weitgehend auf externen Input (synthetischer Dünger, Pestizide) zu verzichten.

Agrarproduktion | Produktion von Biomasse für die Erzeugung von Lebensmitteln oder für die stoffliche oder energetische Nutzung und industrielle Weiterverarbeitung zu anderen Produkten. Neben Zuchtpflanzen und -tieren kommt Insekten, Algen und weiteren marinen Lebensformen eine zunehmende Bedeutung in der modernen Agrarproduktion zu.

Agrarsystem | Gesamtheit aller zur Agrarproduktion gehörenden Faktoren – biotische und abiotische Ressourcen, Anbau- und Ernteverfahren, Einsatz von Technik und Energie, Umweltbedingungen, Beanspruchung von Ökosystemleistungen usw. – unter Einbeziehung aller vor- und nachgelagerten Wirtschaftsbereiche

artifizielle Produktionssysteme | Produktionssysteme, die biologische Prinzipien nachahmen, um gewünschte Produkte herzustellen. Im Vergleich zu klassischen biotechnologischen Verfahren werden keine Mikroorganismen als Produktionseinheiten verwendet oder allenfalls einzelne Komponenten davon.

Big Data | Große, wenig oder nicht strukturierte Datenmengen, die zu komplex oder zu heterogen sind oder sich zu schnell verändern, um sie mit herkömmlichen Methoden der Datenverarbeitung auswerten zu können. Big-Data-Technologien bezeichnen Verfahren, um aus solchen Datenmengen mit Hilfe von Algorithmen oder Künstlicher Intelligenz Informationen zu gewinnen. Große Mengen digitaler Daten fallen z. B. bei der Sequenzierung des Erbguts von Organismen an.

biobasiert | auf der Verwendung von Biomasse beruhend und/oder unter Nutzung biotechnologischer Verfahren erzeugt oder verarbeitet

biogen, biogene Rohstoffe | Auf Biomasse beruhend. Biogene Rohstoffe oder Ressourcen bezeichnen jede Art von Biomasse, also sowohl eigens angebaute nachwachsende Rohstoffe als auch jede andere Art von Biomasse, einschließlich biotischer Rest- und Abfallstoffe.

biologisch | das Leben, Lebewesen, organische Produkte und das Wissen darüber betreffend

Biomasse | Im engeren Sinn die durch Photosynthese gebildete organische Substanz; im weiteren Sinn die Stoffmenge aller pflanzlichen und tierischen Lebewesen und ihrer organischen Produkte. Auch Rest- und Abfallstoffe wie z. B. Bioabfälle aus Haushalten, der Tier- oder der Lebens- und Futtermittelproduktion zählen dazu. Auch fossile Rohstoffe sind ursprünglich aus Biomasse entstanden; die Bioökonomie beruht jedoch ausschließlich auf der Nutzung nicht fossiler Biomasse

Biopharmazeutika | mit Verfahren der Biotechnologie hergestellte Wirkstoffe, z. B. Hormone, Nukleinsäuren oder Antikörper

Biopolymere | Grundbausteine lebender Organismen, die aus mehreren Grundeinheiten aufgebaut sind. Beispiele für Biopolymere sind Proteine, Nukleinsäuren (DNA und RNA oder Mehrfachzucker (Polysaccharide)). Der Begriff beschreibt zudem technische Polymere, die biobasiert hergestellt wurden und/oder biologisch abbaubar sind (bspw. Biokunststoffe).

Bioraffinerie | Raffinerie auf Basis von Biomasse. Eine Bioraffinerie zeichnet sich durch ein integratives, multifunktionelles Gesamtkonzept aus, das Biomasse als vielfältige Rohstoffquelle für die nachhaltige Erzeugung eines Spektrums unterschiedlicher Zwischen- und Endprodukte (Chemikalien, Werkstoffe, Bioenergie inkl. Biokraftstoffe) unter möglichst vollständiger Verwendung aller Rohstoffkomponenten nutzt.

Biosphäre | Auch Biogeosphäre; bezeichnet den belebten Raum eines Planeten, oberhalb und unterhalb seiner Oberfläche, also in der Atmosphäre, im Boden und unter Wasser. Die Erde ist bislang der einzige bekannte Planet mit einer Biosphäre. Die Sphäre mit nachgewiesenem Leben reicht im Fall der Erde von etwa 5 km unter bis etwa 60 km über der Erdoberfläche.

Biotechnologie | Interdisziplinäre und anwendungsorientierte Wissenschaft an der Schnittstelle von Biologie, Medizin, Chemie und Ingenieurwissenschaften. Die Biotechnologie nutzt Organismen, Zellen oder Biomoleküle in technischen Anwendungen, um Produkte für unterschiedliche Branchen herzustellen oder neue Technologien zu entwickeln.

biotisch | von Lebewesen ausgehend

Epigenomik | Lehre von der Gesamtheit der epigenetischen Modifikationen an der Erbsubstanz einer Zelle und deren systematische Analyse mit Hilfe modernster molekularbiologischer Techniken

Epigenom | Gesamtheit chemischer Veränderungen der DNA eines Organismus, durch welche die Aktivität von Genen in Abhängigkeit von Umgebungsbedingungen dynamisch beeinflusst wird. Das Epigenom ist u. a. an der Entwicklung von Zellen und Geweben beteiligt. Epigenetische Änderungen beeinflussen nicht die DNA-Sequenz, können aber an Nachkommen vererbt werden.

Genom-Editierung/Genome Editing | Sammelbegriff für molekularbiologische Werkzeuge (z. B. CRISPR/Cas), mit denen DNA im Genom von Organismen editiert, also kopiert, verschoben oder entfernt werden kann

Genomik | Genomik analysiert den Chromosomensatz, also die Gesamtheit der DNA, einer Zelle bzw. eines Organismus.

Innovation, inkrementelle und disruptive | Unter inkrementellen Innovationen versteht man den Prozess der ständigen Optimierung einer Technologie, beispielsweise die Steigerung der Leistung und die Senkung des Verbrauchs von Verbrennungsmotoren. Disruptive Innovationen ersetzen eine Technologie durch eine andere, zum Teil mit Folgen für gesamte Sektoren oder Wertschöpfungsketten. Wann eine technische Erfindung zu einer disruptiven Innovation wird, ist schwer vorherzusehen. Disruptive Innovationen werden zuweilen auch als Sprunginnovationen bezeichnet.

Kaskadennutzung | Mehrfachnutzung von Biomasse über mehrere Stufen, um Rohstoffe oder daraus hergestellte Produkte so lange wie möglich im Wirtschaftssystem zu nutzen. In der Regel umfasst eine Nutzungskaskade dabei eine mehrfache stoffliche Nutzung mit abnehmender Wertschöpfung sowie eine abschließende energetische Nutzung oder eine Kompostierung des Rohstoffs.

konvergierende Technologien | Der Begriff bezeichnet das Zusammenwachsen verschiedener Technologien bzw. Technologie- und Wissensbereiche. Vielfach sind daran Querschnittstechnologien wie Nano-, Bio- und Informationstechnologien und -wissenschaften sowie im Weiteren die Kognitionswissenschaften beteiligt. Weiter gefasste, in der vorliegenden Strategie gemeinte Konzepte schließen eine deutlich größere Zahl an Wissenschaften und Technologien ein.

Koppelnutzung | Nutzung eines oder mehrerer Nebenprodukte, um eine nachhaltige und möglichst effektive Nutzung von Rohstoffen bei gleichzeitiger Steigerung der Wertschöpfung zu erreichen. Beispiele für eine Koppelnutzung sind die weitere Nutzung des in der Biodieselproduktion anfallenden Nebenproduktes Glycerin oder die weitere Verwendung des in der Bioethanolproduktion anfallenden Nebenproduktes Bagasse.

Kreislaufnutzung | Ressourcen und Güter werden über moderne Recyclingmethoden aufbereitet und wieder einer Verwertung zugeführt. Um einen möglichst hohen Wiederverwendungsgrad zu erreichen, sollte eine Kreislaufnutzung idealerweise bereits im Produktdesign mitberücksichtigt werden.

Metabolic Engineering | Gezielte molekularbiologische Veränderung des Stoffwechsels von Organismen mit dem Ziel, die Produktionsrate gewünschter Verbindungen zu steigern oder die Bildung unerwünschter Nebenprodukte zu verhindern.

Metabolomik | Forschungszweig, der den gesamten Stoffwechsel mitsamt den Zwischenprodukten in Zellen und Organismen untersucht

mikrobielle Produktion | Nutzung von Mikroorganismen für die biotechnologische Produktion

Mikrobiom | Das Mikrobiom umfasst die Gesamtheit aller Mikroorganismen der Erde. Mikrobiome werden häufig aber auch im Kontext einzelner Organe, Organismen oder Ökosysteme diskutiert. Im engeren Sinne sind damit alle den Menschen oder andere Lebewesen besiedelnden Mikroorganismen gemeint.

modulare Bioverfahrenskonzepte | Konzepte zur Entwicklung neuartiger Verfahren für biotechnologische Produktionsprozesse. Die Konzepte sehen vor, Bioverfahren in einzelne Prozessschritte (Module) zu zerlegen, die, abhängig von der Zielsetzung und den Rahmenbedingungen, schnell und flexibel zu unterschiedlichen Produktionsrouten kombiniert werden können.

Nachhaltigkeit | Nachhaltigkeit wurde mit dem 1987 für die Vereinten Nationen erstellten Brundtland-Bericht zu einem politischen Leitbegriff. Er beschreibt das Ziel, die Bedürfnisse gegenwärtiger Generationen zu befriedigen, ohne dabei künftigen Generationen die Chance zu nehmen, ihre Bedürfnisse nach eigenen Vorstellungen zu befriedigen. Nachhaltigkeit umfasst drei Säulen: ökonomische, ökologische und soziale Nachhaltigkeit. Insbesondere um die Vereinbarkeit von ökonomischer und ökologischer Nachhaltigkeit gibt es anhaltende Debatten.

nachwachsende Rohstoffe | land- und forstwirtschaftliche Rohstoffe, die für eine stoffliche oder energetische Nutzung eingesetzt werden

Ökologie, ökologisch | Teilbereich der Biologie, der sich mit den Wechselbeziehungen zwischen den Lebewesen und ihrer Umwelt befasst. Im Alltagsgebrauch bezeichnet „ökologisch“ auch den Einsatz für einen schonenden Umgang des Menschen mit seiner natürlichen Umwelt.

Ökosystemleistungen | Alle materiellen und nicht-materiellen Leistungen der Natur, von denen der Mensch profitiert. Zu den Ökosystemleistungen zählen z. B. die Biodiversität, Klimaregulation, gesunde Böden und sauberes Wasser.

Omics-Technologien | Omics-Technologien sind Hochdurchsatz-Methoden, mit denen sich z. B. die Gesamtheit der Gene (Genomik), der RNA (Transkriptomik), der Zwischenprodukte des Stoffwechsels, der Metaboliten (Metabolomik), der Proteine (Proteomik) oder Lipide (Lipidomik) eines biologischen Systems erfassen lässt. Die hochaufgelösten molekularen Profile biologischer Systeme ermöglichen neue Einblicke in den Ablauf molekularbiologischer Prozesse.

organisch | zum belebten Teil der Natur gehörend

Pflanzen-Phänotypisierung | Die Phänotypisierung ist ein Teilbereich der Pflanzenforschung, welche das Erscheinungsbild von Pflanzen quantitativ analysiert und vermisst. Dadurch soll es ermöglicht werden, Pflanzengenen bestimmte Merkmalsausprägungen zuzuordnen.

planetare Grenzen | Ökologische Grenzen, die sich daraus ergeben, dass die natürlichen Lebensräume und Ressourcen auf der Erde endlich sind und bestimmte Zeiträume benötigen, um sich zu regenerieren. Welche Grenzen es gibt und wo diese genau verlaufen, ist noch Gegenstand intensiver Diskussionen. Dass die Menschheit mit ihrer Wirtschaftsweise die Belastungsgrenzen der Erde und damit auch die eigenen Lebensgrundlagen zunehmend gefährdet, ist aber unumstritten.

Plattformorganismus | Mikroorganismus, der über molekularbiologische Verfahren für die Verwendung in biotechnologischen Prozessen optimiert wurde. Plattformorganismen zeichnen sich darüber hinaus dadurch aus, dass die entsprechenden industriellen Bioprozesse etabliert sind und die Organismen für die Herstellung verschiedener Produkte eingesetzt werden können.

Produktionsorganismen | Oberbegriff für Organismen wie Nutzpflanzen, Insekten, Algen, Pilze oder Mikroorganismen, die zur Herstellung von Biomasse oder spezifischen Inhaltsstoffen genutzt werden.

Proteomik | Verschiedene Verfahren zur Analyse des vollständigen Proteoms einer Zelle, eines Gewebes oder eines Organismus zu einem bestimmten Zeitpunkt. Im Gegensatz zur Genomik erfasst die Proteomik die tatsächlich vorhandenen Mengen aller Proteine.

Smart Farming | Smart Farming bezeichnet den Einsatz moderner Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) in der Landwirtschaft, um eine präzisere und ressourceneffizientere und damit produktivere und nachhaltigere Agrarproduktion zu erreichen.

Smart- und Hightech | umfasst Technologien und Methoden, die dem neusten technischen und wissenschaftlichen Stand entsprechen und als fortschrittlich und intelligent gelten

Suffizienz | Konzept einer Ökonomie, die das Nötige in ausreichendem Maß, unter möglichst geringem Energie- und Rohstoffverbrauch zur Verfügung stellt. Damit ist Suffizienz ein Gegenentwurf zu wachstumsorientierten Wirtschaftsmodellen und eine Erweiterung des Zieles, Rohstoffe möglichst effizient zu nutzen. Suffizienz ist nicht durch technologische Fortschritte zu erreichen, sondern setzt eine grundsätzliche Veränderung von Konsummustern voraus.

Synthetische Biologie | Der Begriff umfasst im engeren Sinne das Neu-Design und die Konstruktion von neuartigen biologischen Bauteilen, Zellen, Organismen oder auch von zellfreien biologischen bzw. biochemischen Systemen (z. B. synthetische Genome, Minimalzellen, Einsatz nicht natürlicher Aminosäuren). Im weiteren Sinne werden auch molekularbiologische Ansätze zum Re-Design bekannter Organismen unter diesem Begriff verstanden. Indem vermehrt computergestützte Design- und Modellierungsprozesse genutzt werden, gehen diese Ansätze dabei über die klassischen gentechnischen Verfahren hinaus.

Systembiologie | Die Systembiologie zielt darauf ab, zu einem umfassenden Verständnis der dynamischen Interaktionen zwischen den Komponenten eines biologischen Systems zu gelangen. Ziel ist es, das Verhalten des Systems als Ganzes zu verstehen und vorhersagen zu können. Hierfür werden mathematische Konzepte auf biologische Systeme angewandt.

systemisch | Systeme in ihrer Gesamtheit und ihre Wechselwirkungen untereinander betrachtend, von den grundlegenden molekularen Prinzipien bis hin zum komplexen Zusammenspiel in Ökosystemen

Wertschöpfungskette | Eine Wertschöpfungskette umfasst alle Stufen (Institutionen, Personen, Anlagen) des Transformationsprozesses, den ein Gut vom Rohstoff bis zum Endprodukt durchläuft.

Wertschöpfungsnetz | Verknüpfung von Wertschöpfungsketten, an deren Knotenpunkten Institutionen, Personen bzw. Produktionsverfahren über wechselseitige Stoff- und Informationsflüsse in Verbindung miteinander stehen. In der Bioökonomie tragen insbesondere Ansätze aus der Koppel- und Kaskadennutzung dazu bei, dass innovative Bereiche der Bioökonomie mit etablierten zu Wertschöpfungsnetzen zusammenwachsen.

zellfreie Produktionsverfahren | Zellfreie Produktionsverfahren stellen eine Alternative zur Produktion von biologischen Komponenten wie z. B. Enzymen dar, die durch lebende Zellen (z. B. Mikroorganismen) nicht oder nur sehr schlecht hergestellt werden können. Beispiele sind zellfreie Proteinbiosynthesen oder zellfreie biokatalytische Systeme.

Zielkonflikt | Zielkonflikte entstehen, wenn zwei oder mehr legitime Ziele verfolgt werden, deren gleichzeitige Erfüllung sich ausschließt oder deren Verfolgung zu konträren Effekten führt. Zielkonflikte können in einigen Fällen durch eine Hierarchisierung gelöst werden, die die konkurrierenden Ziele in eine Rangordnung bringt. So gilt für die Bioökonomie das Primat der Ernährungssicherung vor der industriellen Nutzung agrarischer Erzeugnisse. Vielfach ist eine solche Hierarchisierung – beispielsweise zwischen agrarischer Ertragssteigerung und Schutz biologischer Vielfalt – jedoch nicht einfach möglich, weil alle Ziele gleichermaßen legitim oder sogar unverzichtbar sind. Ein typisches Beispiel ist die Diskussion um den Begriff Nachhaltigkeit, der gleichermaßen ökologische, ökonomische und gesellschaftliche Ziele umfasst. Die Forschungsförderung im Rahmen der Bioökonomie orientiert sich daran, Zielkonflikte genau zu analysieren und durch intelligente Strategien und innovative Produktionsweisen zu entschärfen.

Zukunftstechnologien | neuartige Technologien, die ein hohes Innovationspotenzial aufweisen, sich aber zumeist noch auf der Ebene der Grundlagen- oder angewandten Forschung befinden

Endnoten

- 1 Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (2010): Nationale Forschungsstrategie BioÖkonomie 2030. Unser Weg zu einer bio-basierten Wirtschaft. Berlin. Online verfügbar unter http://www.bmbf.de/pub/Nationale_Forschungsstrategie_Biooekonomie_2030.pdf.
- 2 Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) (2014): Nationale Politikstrategie Bioökonomie. Nachwachsende Ressourcen und biotechnologische Verfahren als Basis für Ernährung, Industrie und Energie. Beschluss des Bundeskabinetts vom 17.7.2013. Berlin. Online verfügbar unter http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/BioOekonomiestrategie.pdf?__blob=publicationFile.
- 3 Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) (2016): Fortschrittsbericht zur Nationalen Politikstrategie Bioökonomie. Berlin. Online verfügbar unter https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/fortschrittsbericht-biooekonomie.pdf?__blob=publicationFile.
- 4 Fraunhofer ISI (2017): Evaluation der Nationalen Forschungsstrategie BioÖkonomie 2030. Abschlussbericht. Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung ISI. Karlsruhe. Online verfügbar unter <http://publica.fraunhofer.de/documents/N-445498.html>.
- 5 Bioökonomierat (BÖR) (2018): Thesen zur Gestaltung der Bioökonomiepolitik 2018. Online verfügbar unter http://biooekonomierat.de/fileadmin/Publikationen/empfehlungen/BO___Thesenpapier_final.pdf. Weitere Stellungnahmen finden sich unter: <https://biooekonomierat.de/publikationen>.
- 6 Bundesregierung (2018): Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie. Aktualisierung 2018. Online verfügbar unter: <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/975274/1546450/65089964ed4a2ab07ca8a4919e09e0af/2018-11-07-aktualisierung-dns-2018-data.pdf>.
- 7 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) (2016): Klimaschutzplan 2050. Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung. Online verfügbar unter: https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimaschutzplan_2050_bf.pdf;
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) (2019): Klimaschutzprogramm 2030 der Bundesregierung zur Umsetzung des Klimaschutzplans 2050. Online verfügbar unter https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimaschutzprogramm_2030_umsetzung_klimaschutzplan.pdf.
- 8 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) (2016): Deutsches Ressourceneffizienzprogramm II. Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen. Online verfügbar unter: https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/progress_ii_broschuere_bf.pdf.
- 9 Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (2016): Forschung für Nachhaltige Entwicklung. Online verfügbar unter: http://www.fona.de/mediathek/pdf/bmbf_fona3_2016_deutsch_barrierefrei.pdf.
- 10 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) (2007): Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt. Kabinettsbeschluss vom 7. November 2007. Berlin. Online verfügbar unter https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/nationale_strategie_biologische_vielfalt_2015_bf.pdf.
- 11 Bundesregierung (2018): Forschung und Innovation für die Menschen. Die Hightech-Strategie 2025. Hrsg. v. Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). Berlin. Online verfügbar unter <https://www.hightechstrategie.de/files/HTS2025.pdf>.
- 12 Generalversammlung der Vereinten Nationen (2015): Transformation unserer Welt: die Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung. Online verfügbar unter www.un.org/Depts/german/gv-70/band1/ar70001.pdf.
- 13 European Commission (2018): A sustainable Bioeconomy for Europe: strengthening the connection between economy, society and the environment. Updated Bioeconomy Strategy. Online verfügbar unter: https://ec.europa.eu/research/bioeconomy/pdf/ec_bioeconomy_strategy_2018.pdf.

- 14 Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2019): Climate Change and Land. An IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems (SRCCL). Online verfügbar unter <https://www.ipcc.ch/srccl-report-download-page/>.
- Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES) (2019): Report of the Plenary of the Inter-governmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on the work of its seventh session. Paris. Online verfügbar unter: https://www.ipbes.net/system/tdf/ipbes_7_10_add.1_en_1.pdf?file=1&type=node&id=35329.
- 15 Bundesregierung (2008): Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Vom Bundeskabinett am 17. Dezember 2008 beschlossen. Langfassung. Berlin. Online verfügbar unter https://www.bmu.de/fileadmin/bmuimport/files/pdfs/allgemein/application/pdf/das_gesamt_bf.pdf.
- 16 Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) (2019): Agenda: Anpassung von Land- und Forstwirtschaft sowie Fischerei und Aquakultur an den Klimawandel. Berlin. Online verfügbar unter https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Landwirtschaft/AMK-12-04-19-Agenda-Anpassung-Klimawandel.pdf?__blob=publicationFile.
- 17 Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2017): Klima schützen. Werte schaffen. Ressourcen effizient nutzen – Charta für Holz 2.0. Hrsg. v. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL). Berlin. Online verfügbar unter https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/ChartaHolz.pdf?__blob=publicationFile
- 18 Nationale Plattform Bildung für nachhaltige Entwicklung (Hrsg.) (2017): Nationaler Aktionsplan Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE). Der deutsche Beitrag zum UNESCO-Weltaktionsprogramm. Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). Berlin (UNESCO-Weltaktionsprogramm Bildung für nachhaltige Entwicklung). Online verfügbar unter https://www.bmbf.de/files/Nationaler_Aktionsplan_Bildung_f%c3%bcr_nachhaltige_Entwicklung.pdf.
- 19 Egenolf, Vincent; Bringezu, Stefan (2019): Conceptualization of an Indicator System for Assessing the Sustainability of the Bioeconomy. In: Sustainability 11 (2). DOI: 10.3390/su11020443.

Länderkürzel

AR	Argentinien
AT	Österreich
AU	Australien
BE	Belgien
BR	Brasilien
CA	Kanada
CN	China
CO	Kolumbien
CR	Costa Rica
DE	Deutschland
DK	Dänemark
ES	Spanien
FI	Finnland
FO	Färöer Inseln
FR	Frankreich
GB	Großbritannien
GL	Grönland
ID	Indonesien
IE	Irland
IN	Indien
IS	Island
IT	Italien
JP	Japan
KE	Kenia
KR	Südkorea
LK	Sri Lanka
LT	Litauen
LV	Lettland
ML	Mali
MU	Mauritius
MX	Mexiko
MY	Malaysia
MZ	Mosambik
NA	Namibia
NL	Niederlande
NO	Norwegen
NZ	Neuseeland
PT	Portugal
PY	Paraguay
RU	Russland
SE	Schweden
SN	Senegal
TH	Thailand
TZ	Tansania
UG	Uganda
US	Vereinigte Staaten
UY	Uruguay
ZA	Südafrika

Die Länderkürzel werden in der Weltkarte auf den Seiten 50–51 verwendet.

Impressum

Herausgeber

Bundesministerium
für Bildung und Forschung (BMBF)
Referat Nachhaltiges Wirtschaften; Bioökonomie
11055 Berlin

Bundesministerium
für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL)
Referat Bioökonomie, Stoffliche Biomassenutzung
10117 Berlin

Stand

März 2020

Text

BMBF und BMEL

Redaktionelle Unterstützung

PT Jülich

Gestaltung

Biocom AG, Berlin

Druck

Zarbock GmbH & Co. KG

Bildnachweise

Titelbild und alle Illustrationen: Florian Sänger; S. 2: BMBF/
Laurence Chaperon (Anja Karliczek), BPA_Steffen Kugler
(Julia Klöckner); S. 7: Science RF/stock.adobe.com; S. 15: FZ
Jülich; S. 24: Budimir Jevtic/stock.adobe.com; S. 28: Fraunhofer
Gesellschaft; S. 31: Nestor/stock.adobe.com; S. 35: Cavan Images/
stock.adobe.com; S. 43: Enrique del Barrio/stock.adobe.com;
S. 44: Ungvar/FreePik.com; S. 46: Budimir Jevtic/stock.adobe.
com; S. 50/51: pop_jop/istockphoto.com (Karte); S. 52: BMBF/
Wissenschaftsjahr 2020; S. 57: sushytska/stock.adobe.com

Diese Publikation wird als Fachinformation des Bundesministeriums für Bildung und Forschung und des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft kostenlos herausgegeben. Sie ist nicht zum Verkauf bestimmt und darf nicht zur Wahlwerbung politischer Parteien oder Gruppen eingesetzt werden.

