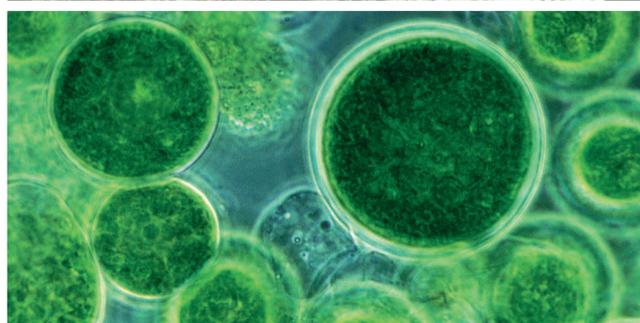
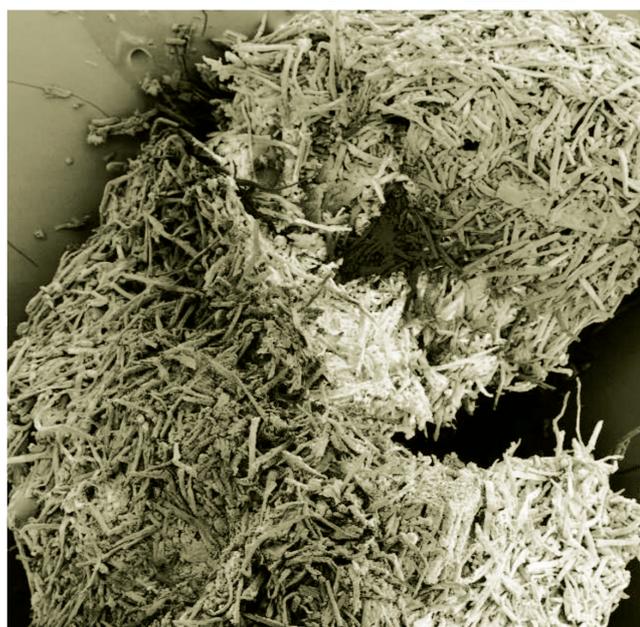
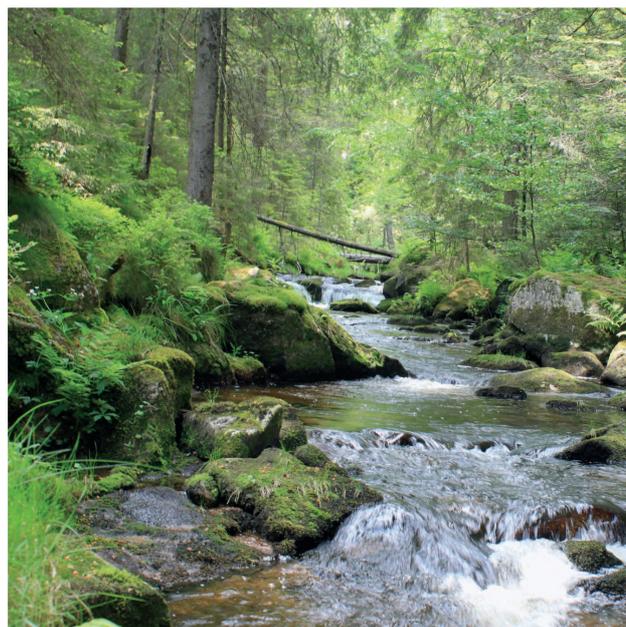


BIOÖKONOMIE IM SYSTEM AUFSTELLEN

Konzept für eine baden-württembergische
Forschungsstrategie »Bioökonomie«

– Stuttgart, Juli 2013 –



Bioökonomie im System aufstellen

Konzept für eine baden-württembergische
Forschungsstrategie „Bioökonomie“

Stuttgart, Juli 2013

Inhaltsverzeichnis	II
Abbildungsverzeichnis	1
Abkürzungsverzeichnis	3
Vorwort.....	1
Executive Summary.....	1
1 Einleitung	4
2 Zielsetzung und Arbeitsweise	8
3 Bioökonomie-Strategien.....	14
4 Bestandsaufnahme Forschungslandschaft Baden-Württemberg	22
4.1 Forschung für Rohstoffe und Ressourcen (Angebotsseite)	22
4.1.1 Agrar- und Pflanzenwissenschaften.....	22
4.1.2 Forstwissenschaften/Forstwirtschaft	27
4.1.3 Aquatische Biomasse	28
4.1.4 Biogene Reststoffe	30
4.2 Forschung für Produkte und Verwertung (Nachfrageseite)	32
4.2.1 Nahrungsmittelproduktion	32
4.2.2 Stoffliche Nutzung	34
4.2.3 Energetische Nutzung	36
4.3 Forschung zu ökologischen, gesellschaftlichen, ethischen, und ökonomischen Aspekten (Querschnittsfelder).....	40
4.3.1 Biodiversität.....	40
4.3.2 Wasser- und Bodenschutz.....	43
4.3.3 Ethik	45
4.3.4 Wirtschafts- und Sozialwissenschaften	47
5 SWOT-Analyse	50
5.1 Forschung für Rohstoffe und Ressourcen (Angebotsseite).....	50
5.1.1 Agrar- und Pflanzenwissenschaften.....	50
5.1.2 Forstwissenschaften/Forstwirtschaft	52
5.1.3 Aquatische Biomasse	53
5.1.4 Biogene Reststoffe	54
5.2 Forschung für Produkte und Verwertung (Nachfrageseite)	55
5.2.1 Nahrungsmittelproduktion	55
5.2.2 Stoffliche Nutzung	56
5.2.3 Energetische Nutzung	57

5.3 Forschung zu ökologischen, gesellschaftlichen, ethischen und ökonomischen Aspekten (Querschnittsfelder).....	58
5.3.1 Biodiversität.....	58
5.3.2 Wasser- und Bodenschutz.....	58
5.3.3 Ethik.....	59
5.3.4 Wirtschafts- und Sozialwissenschaften.....	61
6 Handlungsbedarf.....	63
6.1 Vorgehensweise zur Ermittlung des Handlungsbedarfs.....	63
6.1.1 Forschungsfeld Biogas.....	66
6.1.2 Forschungsfeld Lignozellulose.....	78
6.1.3 Forschungsfeld Mikroalgen.....	92
6.2 Strukturelle Maßnahmen.....	100
6.2.1 Bildung eines Kompetenzzentrums Modellierung der Bioökonomie Baden Württemberg.....	100
6.2.2 Strukturierte Graduiertenausbildung.....	104
6.2.3 Infrastrukturkonzept.....	108
7 Ausblick.....	112
8 Anhang.....	114
8.1 Strategiekreisteilnehmer.....	114
8.2 SWOT-Analysen.....	115
8.2.1 Bereich Agrarwissenschaften.....	115
8.2.2 Bereich Pflanzenwissenschaften.....	116
8.2.3 Bereich Forstwissenschaften/Forstwirtschaft.....	116
8.2.4 Bereich Biogene Reststoffe.....	117
8.2.5 Bereich Aquatische Biomasse.....	118
8.2.6 Bereich: Nahrungsmittelproduktion.....	119
8.2.7 Bereich Stoffliche Nutzung.....	120
8.2.8 Bereiche Energetische Nutzung.....	120
8.2.9 Bereich Biodiversität.....	121
8.2.10 Bereich Wasser- und Bodenschutz.....	122
8.2.11 Bereich Ethik.....	123
8.2.12 Bereich Wirtschafts- und Sozialwissenschaften.....	124
8.3 Bestandsaufnahme Forschungslandschaft Baden-Württemberg (siehe beigefügte CD).....	126
8.4 Kompetenzmatrix (siehe beigefügte CD).....	126
8.5 Nachhaltigkeitskriterien – Katalog.....	126
Quellenverzeichnis.....	129

Abbildung 1-1: Beschäftigung und Wertschöpfung bioökonomierelevanter Sektoren in der deutschen Wirtschaft	5
Abbildung 1-2: Wertschöpfungsketten einer Bioökonomie im System.....	6
Abbildung 2-1: Beispiele für Ressourcen und Wertschöpfungen einer sich wandelnden Bioökonomie	8
Abbildung 2-2: Relevante Forschungsbereiche für die Bioökonomie im System und Darstellung der Struktur des Strategiekreises	10
Abbildung 2-3: Inhaltliche und organisatorische Struktur und Ablauf des Strategieprozesses.....	12
Abbildung 3-1: Instrumente für Bioökonomien	15
Abbildung 3-2: Instrumente aus dem Aktionsplan Bioökonomie der EU	17
Abbildung 3-3: Empfehlungen des BioÖkonomieRats.....	18
Abbildung 3-4: Ziele der Nationalen Forschungsstrategie BioÖkonomie 2030	19
Abbildung 3-5: Instrumente der Bioökonomie auf Länderebene.....	20
Abbildung 4-1: Landkarte der verschiedenen Universitäten, Hochschulen für angewandte Wissenschaften und außeruniversitären Forschungseinrichtungen mit Kompetenzen im Bereich Bioökonomie.....	22
Abbildung 4-2: Grafische Darstellung der Kompetenzen im Bereich Agrar- und Pflanzenwissenschaften Baden-Württemberg.....	26
Abbildung 4-3: Grafische Darstellung der Kompetenzen im Bereich Forstwissenschaften/ Forstwirtschaft in Baden-Württemberg	28
Abbildung 4-4: Grafische Darstellung der Kompetenzen im Bereich Aquatische Biomasse in Baden-Württemberg.....	30
Abbildung 4-5: Grafische Darstellung der Kompetenzen im Bereich Biogene Reststoffe in Baden-Württemberg.....	32
Abbildung 4-6: Grafische Darstellung der Kompetenzen im Bereich Nahrungsmittelproduktion in Baden-Württemberg	34
Abbildung 4-7: Grafische Darstellung der Kompetenzen im Bereich Stoffliche Nutzung (Chemikalien und Materialien) in Baden- Württemberg.....	36
Abbildung 4-8: Grafische Darstellung der Kompetenzen im Bereich Energetische Nutzung in Baden-Württemberg.....	40
Abbildung 4-9: Grafische Darstellung der Kompetenzen im Bereich Biodiversität in Baden-Württemberg	42

Abbildung 4-10: Grafische Darstellung der Kompetenzen im Bereich Wasser- und Bodenschutz in Baden-Württemberg: beteiligte Institutionen und deren Kompetenz	45
Abbildung 4-11: Grafische Darstellung der Kompetenzen im Bereich der bioökonomierelevanten Ethikforschung in Baden-Württemberg.....	47
Abbildung 4-12: Grafische Darstellung der Kompetenzen im Bereich Wirtschafts- und Sozialwissenschaften in Baden-Württemberg.....	49
Abbildung 6-1: Struktur des Forschungsfelds Biogas.....	75
Abbildung 6-2: Wesentliche Elemente und Vernetzung innerhalb dieser Handlungsfelder	82
Abbildung 6-3: Prozesskette für die Herstellung von Produkten aus Mikroalgen.....	100
Abbildung 6-4: Modellierung der Bioökonomie im Gesamtsystem.....	101
Abbildung 6-5: Entwurf Kompetenzzentrum Modellierung der Bioökonomie.....	104
Abbildung 7-1: Beitrag der Forschungsbereiche zu den strategischen Forschungsfeldern.....	112

BBW-FORWERTS	Bioökonomie in Baden-Württemberg - Erforschung innovativer Wertschöpfungsketten
BHKW	Blockheizkraftwerke
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMELV	Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
BMU	Bundesministerium für Umwelt
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
BSc	Bachelor of Science
BtL	Biomass to Liquid
CarboMoG	Carbon Flow Model of Germany
COS	Centre for Organismal Studies
DFG	Deutsche Forschungsgemeinschaft
DVGW	Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches
EBI	Engler-Bunte-Institut
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
ERC	European Research Council (Europäischer Forschungsrat)
ESIM	European Simulation Model
EU	Europäische Union
FNR	Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe
Fraunhofer IGB	Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik
Fraunhofer ISE	Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme
FVA	Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg
GTAP	Global Trade Analysis Project
HfWU	Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen
HIP	Heidelberg Institute for Plant Science
IGVP	Institut für Grenzflächenverfahrenstechnik und Plasmatechnologie
IKFT	Institut für Katalyseforschung und -technologie
ITAS	Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse
ITC	Institut für Technische Chemie
IZEW	Internationales Zentrum für Ethik in den Wissenschaften

KIT	Karlsruher Institut für Technologie
KrWG	Kreislaufwirtschaftsgesetz
LCA	Life Cycle Assessment
LGF	Landesgraduiertenförderung
MRI	Max Rubner-Institut
MSc	Master of Science
MWK	Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst
PtG	Power-to-Gas-Technologie
SFB	Sonderforschungsbereich
SWOT-Analyse	Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats-Analyse
TIMES	The Integrated MARKAL EFOM System
TZW	Technologiezentrum Wasser
US	Universität Stuttgart
WESS	Water - Earth System Science
WiSo	Wirtschafts- und Sozialwissenschaften
WPC	Wood-Plastic-Composite
ZIRIUS	Zentrum für interdisziplinäre Risiko- und Innovationsforschung
ZSW	Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg

Vorwort

Bevölkerungswachstum, Klima-, Energie- und Rohstoffwandel sind die großen Herausforderungen zu Beginn des 21. Jahrhunderts. Die heute überwiegend auf die Nutzung fossiler Rohstoffe ausgerichtete Wirtschaft steht vor einem Wandel hin zu einer mehr biobasierten Wirtschaft, der Bioökonomie, die sich ganz wesentlich auf nachwachsende Rohstoffe anstelle von fossilen Rohstoffen, aber auch auf die Entwicklung neuer Technologien stützt.

Diese Herausforderungen sind so komplex, dass nachhaltige, interdisziplinäre aber auch transdisziplinäre Lösungsansätze benötigt werden, die über punktuelle Einzelansätze hinausgehen und insbesondere den Systemgedanken in den Fokus rücken. Wissenschaft, Wirtschaft, Gesellschaft und Politik sind hier gleichermaßen gefordert, sich an diesem Lösungsprozess mit Innovationen zu beteiligen.

Baden-Württemberg verfügt über eine exzellente Wissenschaftsszene und mit großem Abstand über das höchste Innovationspotenzial unter den Regionen der Europäischen Union. Mit einer F&E-Quote von 4,8% liegt Baden-Württemberg deutlich über der Marke von 3%, die in der EU-2020-Strategie als Ziel genannt wird. Baden-Württemberg



Prof. Dr. Thomas Hirth

Institut für Grenzflächenverfahrenstechnik und Plasmatechnologie IGVP, Universität Stuttgart und Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB

gilt weit über seine Grenzen hinaus auch international als Vorreiter bei der Entwicklung innovativer Technologien und als Land der Tüftler und Erfinder. All dies ist von entscheidender Bedeutung für den neuen Wirtschaftsbereich Bioökonomie, der sehr stark wissenschaftsbasiert und in hohem Maße von Forschungsanstrengungen abhängig ist.

Vor diesem Hintergrund entstand die Idee, das zukunftssträchtige Gebiet der Bioökonomie im Rahmen eines wissenschaftsgetriebenen Strategieprozesses erstmals als Gesamtsystem zu betrachten und in klar definierten Forschungsfeldern sowohl standort- als auch disziplinübergreifend zu strukturieren. Dazu hat sich, mit Unterstützung des Ministeriums für Wissenschaft, Forschung und Kunst (MWK), ein Kreis von

Experten aus Universitäten, Hochschulen und außeruniversitärer Forschungsinstitutionen zusammengefunden, um ein Konzept zu entwickeln, das Forschung und Lehre sowie Wissens- und Technologietransfer integriert.

Unser gemeinsames Ziel lautet deshalb „**Bioökonomie im System aufstellen**“. Wissenschaft und Forschung in Baden-Württemberg machen sich damit gemeinsam auf den Weg.

Als wissenschaftlicher Leiter des Strategiekreises möchte ich mich an dieser Stelle ganz herzlich beim Ministerium für Wissenschaft, Kunst und Forschung und bei allen Kolleginnen und Kollegen des Strategiekreises für die Unterstützung und konstruktive Zusammenarbeit bedanken.

Vor dem Hintergrund der Ressourcenknappheit, des Klimawandels und des globalen Bevölkerungswachstums stehen Forschung und Wirtschaft, insbesondere rohstoff- und energieintensive Wirtschaftszweige, vor einschneidenden Veränderungen, die sich auf die Gesellschaft als Ganzes auswirken. Die auf Nutzung fossiler Rohstoffe ausgerichtete Wirtschaft steht vor einem Wandel hin zu einer biobasierten Wirtschaft, der Bioökonomie, die sich auf nachwachsende Rohstoffe anstelle von fossilen Rohstoffen, aber auch auf die Entwicklung neuer Technologien stützt. Alle Teilbereiche der Bioökonomie sind stark wissensbasiert. Daher ist ihre Entwicklung in starkem Maße von Forschungsanstrengungen abhängig (BÖR, 2013).

Das Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst (MWK) Baden-Württemberg hat daher den Strategieprozess „Mit Bioökonomie die Zukunft gestalten“ angestoßen, um die baden-württembergischen Forschungseinrichtungen dabei zu unterstützen, sich entsprechend ihrer Stärken und Potenziale in diesem Bereich aufzustellen. Ein Strategiekreis Bioökonomie mit ausgewiesenen Wissenschaftlern der relevanten Fachbereiche, in dem alle baden-württembergischen Universitäten, die Forschung im Kontext Bioökonomie betreiben, vertreten sind, sollte die übergreifende Ausrichtung der Aktivitäten in Baden-Württemberg definieren und ein Forschungskonzept Bioökonomie entwickeln. Beteiligt sind Experten¹ aus den Agrar- und Pflanzenwissenschaften, den Forstwissenschaften, den Umwelt- und Ingenieurwissenschaften, aus den Sozial- und Wirtschaftswissenschaften, der Biodiversitätsforschung und der Ethikforschung. Ziel des Strategiekreises war die Erarbeitung einer Forschungsstrategie, die zeigt, wie Bioökonomie im System, d. h. sowohl unter Berücksichtigung natur- und ingenieurwissenschaftlicher wie auch ökologischer, ethischer, sozialer und ökonomischer Aspekte, in Baden-Württemberg aufgestellt werden kann. Zunächst wurden bioökonomierelevante Forschungsbereiche ermittelt und hinsichtlich der drei Bereiche Rohstoffe und Ressourcenbereitstellung, Produkte und Verwertung sowie der Zugehörigkeit zu den Querschnittsfeldern Ökologie, Ethik, Wirtschaft und Gesellschaft eingeteilt. Darauf aufbauend wurden die Kompetenzfelder, Stärken und Forschungsaktivitäten erfasst und der Handlungsbedarf ermittelt. Dabei wurden drei Forschungsfelder identifiziert, in denen die Forschungsaktivitäten aller Akteure im Bereich Bioökonomie gebündelt und Empfehlungen ausgesprochen werden können. Wichtiger Aspekt des Konzepts ist auch die Einbeziehung der Lehre in den adressierten Bereichen.

¹ Im vorliegenden Text wird auf eine geschlechtsspezifische Differenzierung, wie z.B. Teilnehmer/Innen, verzichtet. Entsprechende Begriffe gelten im Sinne der Gleichbehandlung für beide Geschlechter.

Die Auswahl der Forschungsfelder basiert auf folgenden Vorgaben:

- Forschungsfelder mit größtmöglichem Innovations- und Alleinstellungspotenzial auszuwählen - Sichtbarkeit von Forschung im Bereich Bioökonomie in Baden-Württemberg im Vergleich zu anderen Bundesländern erhöhen.
- Möglichst viele der in Baden-Württemberg bereits vorhandenen Forschungskompetenzen und Disziplinen unter einem thematischen Dach zu vereinen - Aufbau und Stärkung von Netzwerken.
- Forschungsfelder auswählen, deren Forschungsergebnisse ein hohes Potenzial für die Umsetzung in die baden-württembergische Wirtschaft aufweisen.
- Forschungsfelder mit unterschiedlicher zeitlicher Dimension einbeziehen - rasche Umsetzung und Nachhaltigkeit.

Nach diesen Kriterien wurden drei inhaltliche, in Bezug auf die zeitliche Dimension unterschiedlich schnell umsetzbare Forschungsfelder und dazu flankierend drei strukturelle Maßnahmen ausgewählt, die dem Ansatz „Bioökonomie im System aufstellen“ und dem Standort Baden-Württemberg aus Sicht des Strategiekreises am besten Rechnung tragen können.

Das Forschungsfeld Biogas zeigt Potenziale für eine kurzfristige Umsetzung von Innovationen. Die daran beteiligten Akteure verfügen bereits über hohes wissenschaftliches Know-how entlang der ganzen Wertschöpfungskette. Die technische Umsetzung ist im Land bereits weit fortgeschritten und bietet damit eine profunde Basis für Folgeinnovationen. Die Wahrnehmung des Forschungsfeldes im Wirtschaftsumfeld ist hoch und das Interesse an einer gemeinsamen Weiterentwicklung groß.

Das Forschungsfeld Lignozellulose zeichnet sich durch eine Vielzahl an hervorragenden Einzelkompetenzen aus, die mit breitgefächertem Know-how gemeinsam zur weiteren Entwicklung beitragen können. Im Gegensatz zum Forschungsfeld Biogas sind die Akteure und Kompetenzen noch nicht gebündelt. Damit zeigt dieses Forschungsfeld einen eher mittelfristigen Umsetzungscharakter. Ein Fokusthema für dieses Forschungsfeld ist somit die intensive Vernetzung. Die Wahrnehmung der Potenziale dieses Forschungsfeldes ist bei den zugehörigen Industrien noch wenig ausgeprägt.

Das Forschungsfeld Algen wurde vom Expertenkreis als das Themenfeld mit der langfristigen Perspektive bei gleichzeitig höchstem Innovationspotenzial ausgewählt. Hier existiert in Baden-Württemberg bereits eine hohe wissenschaftliche Kompetenz entlang der gesamten Wertschöpfungskette, jedoch gekoppelt mit einem großen Handlungsbedarf (Bioraffinerie). Da bislang hierfür noch keine technische Realisierung erfolgt ist und es damit bisher nur marginal Eingang in die Wirtschaft gefunden hat, ist es das Forschungsfeld mit dem höchsten Entwicklungsbedarf.

Mit der Festlegung übergreifend angelegter struktureller Maßnahmen für das Konzept sollen der systemische Charakter der Initiative unterstrichen und die erfassten Potenziale vollumfänglich in und für Baden-Württemberg ausgeschöpft werden. Die strukturellen Maßnahmen umfassen:

- Die Bildung eines Kompetenzzentrums Modellierung der Bioökonomie in Baden Württemberg, verbunden mit einer Auswahl und (Neu-)Kombination existierender Simulationsmodelle für bioökonomische Systeme. In der konsequenten Verfolgung dieser Maßnahme könnte ebenfalls ein exportfähiges „Produkt“ für Baden-Württemberg entstehen.
- Ein gemeinsam strukturiertes Graduiertenprogramm BBW-FORWERTS (Bioökonomie in Baden-Württemberg - Erforschung innovativer Wertschöpfungsketten), das auf die neuen ganzheitlich konzipierten Bedarfe und Potenziale bioökonomischer Forschung ausgelegt werden soll. Dies wäre weltweit ein Novum und damit ebenfalls ein Alleinstellungsmerkmal für Baden-Württemberg.
- Ein innovatives Infrastrukturnutzungskonzept als weitere wichtige strukturelle Säule des Ansatzes, das damit auch den Anspruch der Ressourceneffizienz im Blick hat. Die Konzeptidee beinhaltet die gemeinsame Nutzung bereits vorhandener und neu zu etablierender Infrastrukturen und damit gleichzeitig erstmals die Vernetzung auch auf der Ebene des wissenschaftlich-technischen Personals.

Die Gesellschaft als Ganzes, besonders jedoch die energie- und rohstoffintensiven Wirtschaftssektoren, stehen am Anfang des 21. Jahrhunderts vor der Aufgabe, den Strukturwandel von einer fossilbasierten zu einer mehr auf Biomasse basierenden, rohstoff- und energieeffizienten Wirtschaft zu vollziehen. Die globalen Herausforderungen des 21. Jahrhunderts - wie das weltweite Bevölkerungswachstum, die damit verbundene Ressourcenverknappung und der Klimawandel - erfordern einen nachhaltigen Umgang mit Ressourcen sowie deren stofflicher und energetischer Nutzung. In diesem Zusammenhang kommt einer **biobasierten Wirtschaft**, die als Bioökonomie bezeichnet wird, eine entscheidende Bedeutung zu.

Die **Bioökonomie** umfasst alle Industrien und alle wirtschaftlichen Sektoren, die biologische Ressourcen – Pflanzen, Tiere und Mikroorganismen, einschließlich Bioabfälle – produzieren, bewirtschaften oder auf andere Weise nutzen. Sie bezieht damit Wirtschaftsbereiche wie die Land- und Forstwirtschaft, den Gartenbau, die Fischerei und Aquakulturen, die Pflanzenzucht, das produzierende Ernährungsgewerbe, die Holz-, Papier-, Leder- und Textilindustrie, die Biotechnologie, Teile der chemischen Industrie, der Pharmaindustrie, der Energiewirtschaft und des Handels mit ein (BMBF, 2010; BÖR, 2010; EK, 2012a).

Die bedeutendsten **Ziele einer biobasierten Wirtschaft** oder Bioökonomie sind:

- für eine ausreichende und gesunde Ernährung aller Menschen zu sorgen,
- eine ressourcenschonende und wettbewerbsfähige Rohstoff- und Energieversorgung zu sichern und
- dabei das Klima und die Umwelt dauerhaft zu schützen (BMBF, 2010; BÖR, 2010; EK, 2012a).

Obwohl die verfügbare landwirtschaftliche Nutzfläche ständig abnimmt, besteht der Anspruch, mehr Biomasse international wettbewerbsfähig und auch unter Berücksichtigung ökologischer, sozialer und gesundheitlicher Belange zu produzieren. Bioökonomische Systeme beinhalten aktuell auch Alternativen, bei denen eine effizientere und gleichzeitig nachhaltigere Produktion und eine ganzheitliche Nutzung entlang von Wertschöpfungsketten im Vordergrund stehen.

Die deutsche Wirtschaft hat hierbei die Chance, sich in vielen Bereichen der Bioökonomie als **Technologieführer** zu positionieren, trägt aber auch eine internationale Verantwortung zur Mitgestaltung nachhaltiger Nutzungsformen und zur Verbreitung von Transformationswissen. Ein systemischer Ansatz ist daher notwendig, um angesichts des steigenden Bedarfs an biologischen

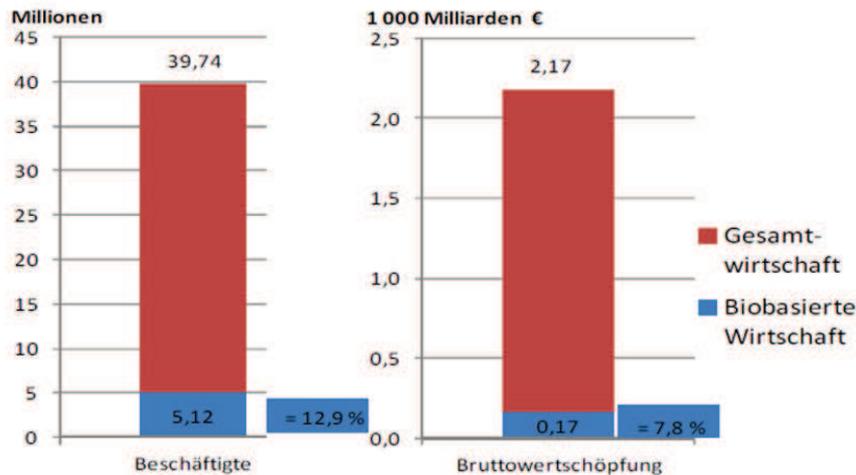


Abbildung 1-1: Beschäftigung und Wertschöpfung bioökonomierelevanter Sektoren in der deutschen Wirtschaft (BMELV, 2012; BÖR, 2010; vTI, 2012)

Ressourcen der drohenden Verschärfung von **Nutzungskonflikten**, z.B. zwischen der Nahrungsmittelproduktion, der Produktion biobasierter Rohstoffe und Energieträger sowie dem Naturschutz, entgegenzuwirken. Auf Bundesebene wird dieser Prämisse bereits mit der Perspektive einer „**wissensbasierten Bioökonomie**“ Rechnung getragen, die sich in der gezielten Förderung von Forschung und Innovation ausdrückt (BMBF, 2010). Große Potenziale für die internationale Wettbewerbsfähigkeit liegen in einer engeren Vernetzung der verschiedenen Sektoren einer biobasierten Wirtschaft mit einer starken und vielfältigen Forschungslandschaft. In Deutschland ist diese sowohl von privatwirtschaftlich organisierten Akteuren als auch von den zahlreichen Hochschulen, außeruniversitären Forschungseinrichtungen, Akademien sowie Instituten der Ressortforschung geprägt. Welche Chancen die Bioökonomie für den Technologie- und Wirtschaftsstandort Deutschland bietet, zeigen die Anteile von 12,9 % der Beschäftigten bzw. 7,8 % des Gesamtumsatzes, die bereits heute durch bioökonomierelevante Sektoren erzielt werden (siehe Abbildung 1-1).

Der nationale **Bioökonomierat** hat 2010 in seinen **Empfehlungen** an die Bundesregierung dazu aufgerufen, die „**Bioökonomie im System richtig aufzustellen**“. In einem solchen System werden alle relevanten Prozesse von der Produktion und Gewinnung von Biomasse auf Böden, in Gewässern und Kulturmedien über deren Verwertung und Verarbeitung bis zur Herstellung von Basisprodukten (Lebensmittel, Futtermittel, biobasierte Chemikalien, Biomaterialien und Energieträger) sowie der Rückgewinnung von Abfallstoffen in ihrer Gesamtheit betrachtet und an den zentralen Zielen ausgerichtet (siehe Abbildung 1-2). Darüber hinaus müssen geeignete Rahmenbedingungen geschaffen werden, die die Marktzulassung neuer Technologien und Produkte offen gestalten und den Wettbewerb stimulieren. Die Erzeugung von Wissen im Zukunftsfeld Bioökonomie sowie die Strukturen im Forschungsumfeld müssen sich an neuen Anforderungen wie der Transdisziplinarität und der internationalen Vernetzung über Sektorgrenzen hinweg orientieren. Insbesondere müssen Nachwuchswissenschaftler gewonnen und fundiert ausgebildet wer-

den, um dieses Forschungsfeld nachhaltig zu entwickeln. Die Gestaltung dieser komplexen Prozesse ist eine gemeinsame Aufgabe von Gesellschaft, Politik, Wirtschaft und Wissenschaft.

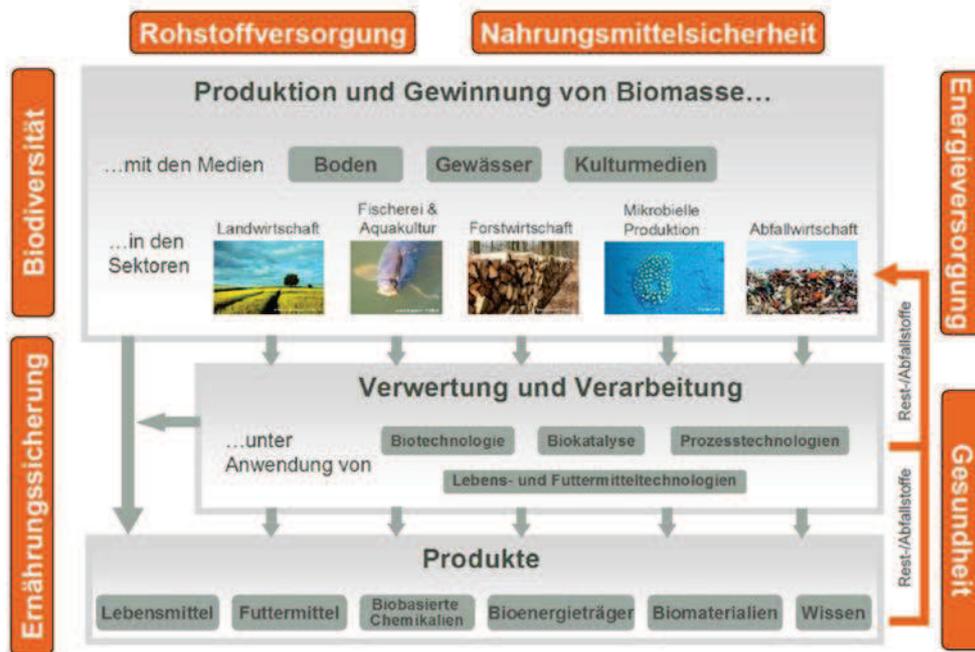


Abbildung 1-2: Wertschöpfungsketten einer Bioökonomie im System (BMBF, 2010; BÖR 2010, EK 2012a)

Auf diesen grundsätzlichen Überlegungen und Feststellungen basiert auch das Verständnis für die Entwicklung einer leistungsfähigen, im System aufgestellten **Bioökonomie für Baden-Württemberg**, das hierfür als innovationsstärkste Region in der Europäischen Union (StaLa, 2012) gute Voraussetzungen mitbringt.

Die **Wissenschaft in Baden-Württemberg im Bereich Bioökonomie** weist sich durch breit gefächerte Kompetenzen und langjährige Erfahrungen aus. Diese umfassen Natur-, Ingenieur-, Wirtschafts- und Sozial-, Agrar-, Forst-Umwelt- und Ernährungswissenschaften an universitären und außeruniversitären Forschungseinrichtungen. Das Zusammenwirken grundlagenorientierter und anwendungsbezogener Forschung trägt dabei im besonderen Maß zum Erfolg der baden-württembergischen Forschungseinrichtungen bei. Dasselbe gilt für die Sozial- und Wirtschaftswissenschaften und für die Ethik, welche für eine ganzheitliche Betrachtung und Bewertung der Bioökonomie unverzichtbar sind und daher wesentliche inter- und transdisziplinäre Querschnittsbereiche bilden.

Diese Potenziale gilt es für eine effiziente und nachhaltige Wertschöpfung sowie eine positive Beschäftigungsentwicklung, insbesondere in ländlichen Regionen, zu nutzen. Die **Bioökonomie-Forschung in Baden-Württemberg** kann wichtige Beiträge zur Bewältigung der globalen Herausforderungen, insbesondere als Impulsgeber für den Rohstoff- und Energiewandel, aber auch

im Hinblick auf die Entwicklung neuer biobasierter Stoffe und Materialien leisten. Die Sicherung einer qualitativ hochwertigen Ernährung ist für die Menschen sowohl im Land als auch weltweit von zentraler Bedeutung. Forschung und Entwicklung aus Baden-Württemberg kann hier einerseits die lokale Wertschöpfung steigern, andererseits auch einen wertvollen Beitrag zur nachhaltigen Sicherung der natürlichen Lebensgrundlagen auf globaler Ebene leisten. Die Bioökonomie bietet als Zukunftsmarkt die Chance, die **Innovationskraft** des Landes weiter zu stärken, seine **Technologieführerschaft** auszubauen und sich so den Herausforderungen einer nachhaltigen und damit auch umweltverträglicheren Wertschöpfung biologischer Ressourcen zu stellen. Die nationale und internationale Sichtbarkeit des Standorts Baden-Württemberg wird dadurch substantziell gesteigert. Eine für Baden-Württemberg spezifische Forschungsstrategie „Bioökonomie“ sollte die systemorientierten Empfehlungen aufgreifen und eine zukunftsweisende Forschungsförderung vor dem Hintergrund der landesspezifischen Chancen und Stärken etablieren.

2 Zielsetzung und Arbeitsweise

Auf Initiative des Ministeriums für Wissenschaft, Forschung und Kunst (MWK) und unter wissenschaftlicher Leitung von Prof. Dr. Thomas Hirth wurde 2012 ein „**Strategiekreis Bioökonomie**“ mit ausgewiesenen Wissenschaftlern der relevanten Fachbereiche (siehe Kapitel 8.1) ins Leben gerufen, um ein ganzheitliches **Konzept für die Bioökonomie-Forschung in Baden-Württemberg** zu entwickeln. Ziel war die Erarbeitung einer Forschungsstrategie, die das Themenfeld Bioökonomie in Wertschöpfungsketten und als Gesamtsystem betrachtet. Wirtschafts- und Sozialwissenschaften, relevante Aspekte der Umwelt-, Biodiversitäts- und der Ethikforschung, die in bisherigen Überlegungen zum Thema Bioökonomie nicht vollumfänglich berücksichtigt wurden, sollten von Anfang an ebenso wie die natur- und ingenieurwissenschaftlichen Fachbereiche in die Bearbeitung der Thematik einbezogen werden. Dadurch sollten die ökonomischen, sozialen und politischen Rahmenbedingungen der Bioökonomie sowie die Auswirkungen auf Gesellschaft und Umwelt frühzeitig mit berücksichtigt werden. Mögliche Interessenskonflikte und Spannungsfelder werden adressiert und können frühzeitig in einem sowohl interdisziplinären als auch transdisziplinären Ansatz bearbeitet werden.

Ausgangspunkt für die inhaltliche Strukturierung war eine Betrachtung des Status quo und der möglichen Perspektiven für die Zukunft.

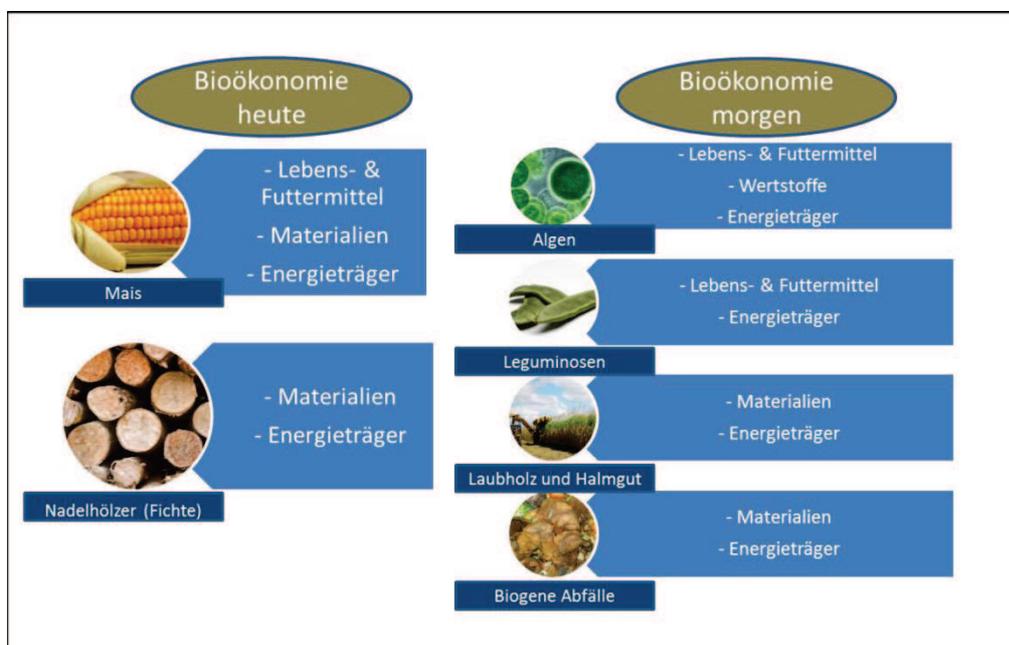


Abbildung 2-1: Beispiele für Ressourcen und Wertschöpfungen einer sich wandelnden Bioökonomie

Verschiedene Disziplinen und Standorte sollen besonders eng zusammenarbeiten, was angesichts der Komplexität des Themas Bioökonomie als unabdingbar einzuschätzen ist. Darüber hinaus sollen relevante und interessierte Partner aus der Wirtschaft einbezogen werden. Hierdurch soll die **strategische Position** der baden-württembergischen Forschungseinrichtungen im Forschungsbereich Bioökonomie und bei der Einwerbung von Drittmitteln verbessert werden, die Wirtschaft auf die Möglichkeiten neuer biobasierter Produkte und Verfahren aufmerksam gemacht und dadurch der Transfer von Ergebnissen der Forschung in die Wirtschaft beschleunigt werden. Außerdem soll erstmals eine **landesweite Vernetzung der Forschungseinrichtungen** unter einem gemeinsamen Forschungsfokus verwirklicht werden. Die Chance für Baden-Württemberg liegt in der Stärkung von Innovationskraft und Technologieführerschaft im Land einschließlich der Erhöhung der internationalen Sichtbarkeit.

Bereits zu Beginn der Initiative wurden Forschungsperspektiven und thematische Leitlinien für die Konzeptentwicklung identifiziert, die sich an Angebot und Nachfrage innerhalb einer biobasierten Wirtschaft orientieren (siehe Abbildung 2-2). Für die einzelnen Themenfelder wurden jeweils Sprecher aus dem Strategiekreis benannt, die die für das Themenfeld relevanten Akteure benannten und in thematischen Gruppen koordinierten (siehe Abbildung 2-2). Der systemorientierte Ansatz bezieht auf der Ressourcenseite land- und forstwirtschaftliche sowie aquatische Rohstoffe und biogene Abfälle ein, auf der Seite der Verwertung Nahrungsmittel, biobasierte Produkte sowie Bioenergieträger. Um eine ganzheitliche Herangehensweise zu ermöglichen, wurden die Querschnittsfelder Wirtschafts- und Sozialwissenschaften, Ethik, Wasser- und Bodenschutz sowie Biodiversität identifiziert und in alle strategischen Überlegungen einbezogen. Eng verknüpft mit den einzelnen Disziplinen ist die **Entwicklung von Bioökonomiesystemen in Modellen**, die der umfassenden Abbildung und prospektiven Bewertung von Prozessen dienen sollen. Ein derart breiter Ansatz wird bisher noch von keiner thematisch ähnlichen nationalen oder internationalen Initiative verfolgt und stellt somit ein Alleinstellungsmerkmal der baden-württembergischen Initiative dar.

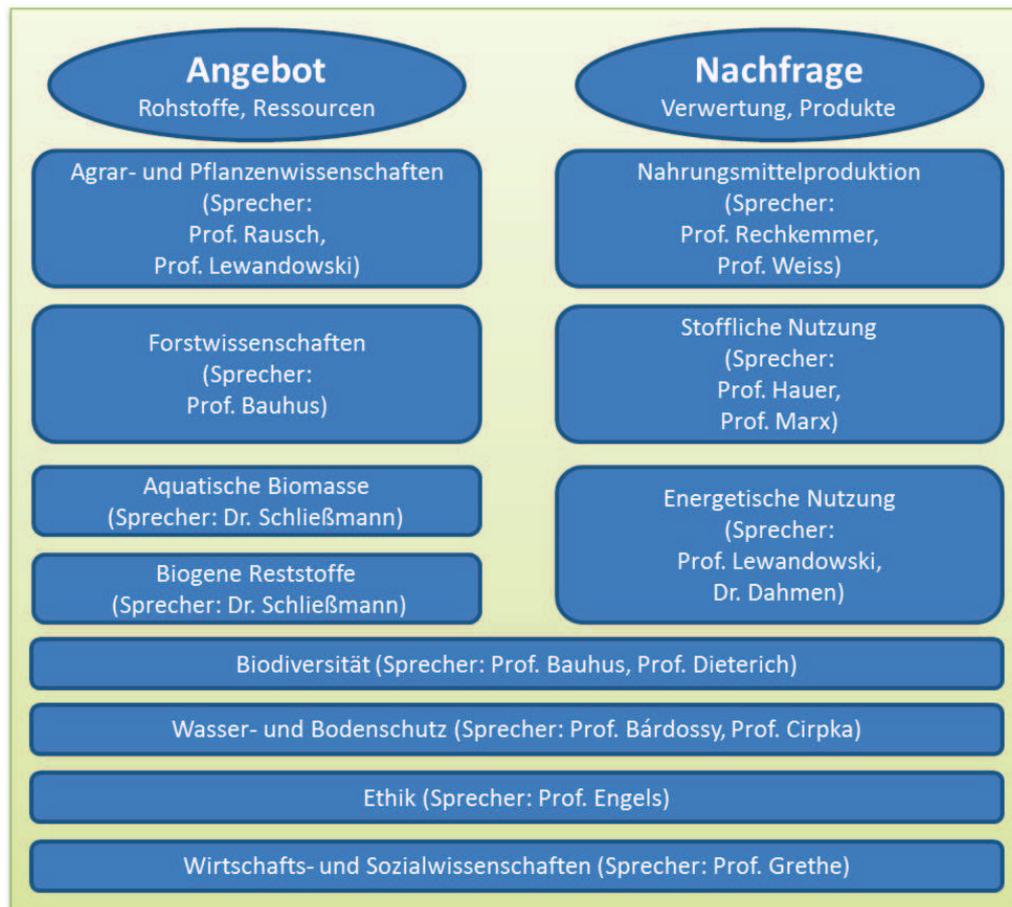


Abbildung 2-2: Relevante Forschungsbereiche für die Bioökonomie im System und Darstellung der Struktur des Strategiekreises

Der Strategiekreis Bioökonomie hat als Grundlage des strategischen Konzepts im ersten Schritt die wichtigen Akteure im Rahmen thematischer Bestandsaufnahmen erfasst und bildet damit die aktuelle „**bioökonomische Forschungslandschaft**“ **Baden-Württembergs** ab. Die Nennung der Einzelakteure erfolgte durch die Sprecher der thematischen Untergruppen sowie durch die Diskussion im Strategiekreis und bleibt auch weiterhin für Ergänzungen geöffnet. In Rücksprache mit den Themensprechern wurden wichtige Kompetenzen für die jeweiligen Themenfelder identifiziert, die von den Akteuren nach deren Einschätzung bewertet wurden. Die daraus entstandene Gesamtkompetenzmatrix spiegelt den Status quo im Bereich Bioökonomie in Baden-Württemberg wider, ermöglicht eine Einschätzung der heute bereits vorhandenen Kompetenzen und lässt erste Rückschlüsse auf zukünftige Bedarfslfelder und Potenziale zu. Gleichzeitig wird deutlich, welche Herausforderungen sich daraus ergeben, die „Bioökonomie im System aufzustellen“. Die **SWOT-Analysen** (SWOT: Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats) zeigen die Stärken und Schwächen in den einzelnen Themenfeldern sowie die Chancen und Risiken, mit denen die Forschung in diesen Bereichen zukünftig konfrontiert sein wird. Die Betrachtungen der Einzel-SWOTs lassen auch Rückschlüsse auf das Gesamtkonzept zu.

Aufbauend auf den Ergebnissen der Bestandsaufnahmen, der Kompetenzmatrix und der SWOT-Analysen identifizierte der Strategiekreis den **Handlungsbedarf** für die Bioökonomieforschung in Baden-Württemberg und verdichtete diesen in Form dreier wesentlicher Forschungsfelder. Die **Forschungsfelder** beschreiben kurz-, mittel- und langfristige Maßnahmen, um die Ziele einer systemischen Bioökonomie im Rahmen eines Forschungskonzepts zu erreichen. Für die Zusammenarbeit der verschiedenen Disziplinen und Standorte wurden **strukturelle Maßnahmen** erarbeitet, die langfristig zur Profilierung und zum stärkeren Zusammenhalt der Forschungslandschaft, aber auch der Lehre im Bereich Bioökonomie in Baden-Württemberg beitragen.

Besondere organisatorische Eckpunkte des Strategieprozesses bildeten im Anschluss an die einleitenden Schritte des MWK ab März 2012 mehrere Arbeitssitzungen des Strategiekreises, zahlreiche Gespräche, interne Treffen, Workshops und ausführliche Recherchearbeiten. Einen ersten Meilenstein des gemeinsamen Prozesses stellte ein Workshop mit Wirtschaftsvertretern im Februar 2013 dar. Der Einladung des MWK folgten Partner aus der Wirtschaft, deren gewerbliche Ausrichtung Anknüpfungspunkte mit den relevanten Forschungsfeldern aufweist. Das Treffen wurde als Auftaktveranstaltung zur gegenseitigen Information von Wissenschaft und Wirtschaft genutzt und fand regen Anklang. In drei auf die Forschungsfelder ausgerichteten Parallelsitzungen wurden zum Thema Bioökonomie in Baden-Württemberg Perspektiven technologischer Entwicklungen und Fragen der Netzwerkentwicklung intensiv diskutiert.

Zukünftig soll der **Informationsfluss** zwischen Wirtschaft, Forschung und Gesellschaft weiter ausgebaut werden. Im Aufbau ist eine onlinebasierte Expertennetzwerkplattform, die die interaktive Kommunikation zwischen den Forschenden fördern soll. Stakeholder-Treffen mit Akteuren aus Gesellschaft und Nichtregierungsorganisationen sind ebenfalls Teil des Konzepts. Die Einbindung einer Vielzahl unterschiedlicher Akteure stellt den Prozess vor viele Herausforderungen. Bereits der Aufbau einer gemeinsamen Wissensbasis ermöglicht, einen Mehrwert aus der Wahrnehmung von Potenzialen, Kompetenzen und deren Schwächen und Stärken zu ziehen.

Der durch Offenheit und kontinuierlichen Austausch gekennzeichnete Strategieprozess ist in seiner, durch den system- und entwicklungsorientierten Ansatz, die strategische Verdichtung und die besondere Kommunikationsgrundlage gekennzeichnete Struktur einmalig. Abbildung 2-3 beschreibt die inhaltliche und organisatorisch-strukturelle Struktur sowie den Ablauf des Strategieprozesses.

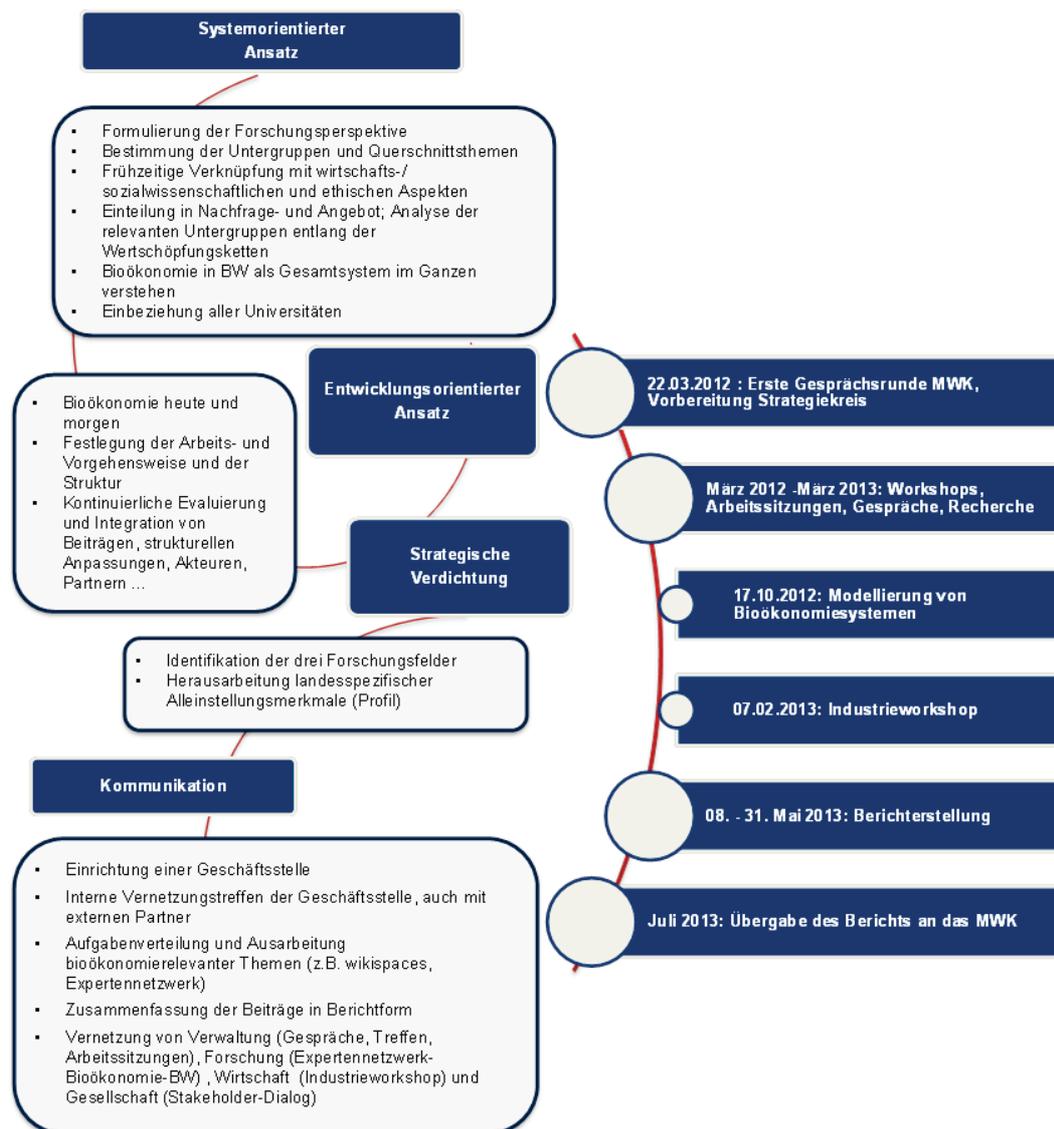


Abbildung 2-3: Inhaltliche und organisatorische Struktur und Ablauf des Strategieprozesses

In seinem **Mission Statement** hat der „Strategiekreis Bioökonomie“ folgendes Verständnis von Bioökonomie definiert und damit auch seine Aufgaben festgelegt:

Zielsetzung und
Arbeitsweise

Unter Bioökonomie werden alle Bereiche einer Gesellschaft verstanden, die biogene Ressourcen gezielt herstellen, sie bearbeiten oder verarbeiten, neben den biogenen Rohstoffen selbst also auch die Prozesse sowie die damit hergestellten Produkte. Biogene Rohstoffe werden zukünftig als Rohstoffbasis für eine Wirtschaft verstanden, die diese Ressourcen als Nahrungs- und Futtermittel, Energieträger oder als Rohstoff für die Herstellung von Chemikalien und Materialien verwendet (siehe Abbildung 2-1).

Bioökonomische Forschung kann, wenn sie im System aufgestellt ist und die gesamte Wertschöpfungskette betrachtet, einen signifikanten Beitrag zum Klimaschutz und zur Ressourcenschonung leisten. Dies schließt den nachhaltigen Umgang mit den natürlichen Lebensgrundlagen Wasser und Boden, den Schutz der Biodiversität sowie die Berücksichtigung sozialer Interessen ein.

Der Strategiekreis Bioökonomie hat die Aufgabe übernommen, Bioökonomie-relevante Forschungsfelder in Baden-Württemberg zu identifizieren und zu strukturieren (siehe Abbildung 2-1). Am Strategiekreis Bioökonomie nehmen die im thematischen Kontext Bioökonomie führenden Experten aus den Agrar-, Forst- und Pflanzenwissenschaften, aus den Umweltwissenschaften und Ingenieurwissenschaften, aus den Sozial- und Wirtschaftswissenschaften sowie aus dem Bereich Ethik teil. Es sind Vertreter aller relevanten Universitäten Baden-Württembergs, die Forschung im Kontext Bioökonomie betreiben, beteiligt. Aufbauend auf der großen Forschungsvielfalt soll eine zukunftsweisende Forschungsstrategie „Bioökonomie“ für Baden-Württemberg entwickelt werden, die ein explizit baden-württembergisches Profil aufweist und auf den landesspezifischen Besonderheiten und Stärken aufbaut. Sie soll so auch dazu beitragen, den Wirtschaftsstandort Baden-Württemberg nachhaltig zu stärken. Es soll aber ebenso aufgezeigt werden, in welchen Bereichen der Bioökonomieforschung in Baden-Württemberg noch Potenzial zur Vertiefung und zum Ausbau besteht.

3 Bioökonomie-Strategien

Sowohl auf nationaler wie auch internationaler Ebene hat das Thema Bioökonomie in den vergangenen Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen. Zahlreiche nationale und europäische Forschungsinitiativen wurden gestartet. Insbesondere Deutschland und Europa sehen in der Bioökonomie großes Potenzial für die Zukunft und haben entsprechende Bioökonomie-Strategien veröffentlicht. Aber auch die USA und Südkorea messen dem Thema bereits seit längerer Zeit ein großes Gewicht bei und haben mit dem BluePrint Bioeconomy-Strategiepapier (2012) und der National Green Growth Strategy (2009) in ihren Ländern einen entsprechenden Rahmen gesetzt (OECD, 2011; White-House, 2012).

Internationale Bestrebungen, die Bioökonomie durch neue strategische Ansätze zu etablieren und die darin adressierten Themenfelder zu stärken, sind zahlreich. Viele Länder setzen seit der Finanz- und Wirtschaftskrise auf neue Strategien, die Nachhaltigkeit nicht nur im Volumen des wirtschaftlichen Wachstums sondern erstmals auch im Hinblick auf dessen Qualität anstreben. Die teilweise schon implementierten Bestrebungen zum Klima- und Ressourcenschutz sowie zur Steigerung der Energieeffizienz werden seitdem vielerorts unter das neue Motto des biobasierten Wirtschaftens, der Bioökonomie, gestellt.

Ein erstes Strategiekonzept als Vorlage für eine nationale Umsetzung in Regierungsprogrammen veröffentlichte 2009 die *Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD)* unter dem Titel „The Bioeconomy to 2030: Designing a Policy Agenda“. Im Fokus der Aktivitäten stehen die Wirtschaftsbereiche Primärproduktion, Industrie und Gesundheit. Das Programm zur Schaffung einer Bioökonomie bis 2030 gewichtet besonders die folgenden drei Elemente: Erweiterte Kenntnis von Genen und komplexen Zellprozessen, erneuerbare Biomasse und die Integration der Biotechnologie in verschiedene Sektoren. Die Einführung und Umstellung von Wirtschaft und Gesellschaft sollen dabei jeweils unter Anleitung des Staates erfolgen. Um die politische Willensbildung und die Umsetzung der Neuerungen zu unterstützen, identifizierte die Vereinigung verschiedene Instrumente, wie Abbildung 3-1 verdeutlicht (OECD, 2009).

Bereits im Jahr 2005 wurde in den USA ein Programm zur Förderung erneuerbarer Treibstoffe durch das sogenannte Renewable Fuel Standard Program (RFS) im Rahmen des Energy Policy Act (EPAAct) etabliert. Es setzte das Ziel, bis 2012 eine Produktionsmenge von 7.5 Milliarden Gallonen Benzin aus erneuerbaren Quellen mit einem Mindestgehalt an Ethanol von 15% (E15) auf den Markt zu bringen.



Abbildung 3-1: Instrumente für Bioökonomien (eigene Darstellung in Anlehnung an OECD 2009)

Das 2012 veröffentlichte umfassendere Programm National Bioeconomy Blueprint soll die Rahmenrichtlinien für die Realisierung der Bioökonomie für private und öffentliche Akteure vorgeben und auch die bisher weniger betrachtete stoffliche Nutzung von Biomasse verstärken.

Kernpunkte des Programms sind:

- Betreuung der staatlichen Förderung von (Grundlagen-)Forschung und Entwicklung als Grundlage der zukünftigen US-Bioökonomie.
- Erleichterung der Marktzugänge für forschungsbasierte Bioinnovationen und verstärkte Fokussierung translationaler und Standardisierungsforschung².
- Entwicklung und Erneuerung von Regelungen zur Verbesserung der Abschätzbarkeit und Kostensenkung in Standardisierungsprozessen, ohne den Schutz der Gesundheit für Mensch und Umwelt zu gefährden.
- Erweiterung von Ausbildungsprogrammen und Angleichung der Anreize akademischer Institutionen an die studentische Ausbildung zur Deckung des nationalen Arbeitskräftebedarfs³.

² Als Beispiel ist hier das halbstaatliche Small Business Innovation Research (SBIR) Programm zu nennen. Vor allem die Universitäten und das öffentliche Beschaffungswesen werden hier mit einbezogen.

³ Ähnlich dem Förderfokus auf MINT-Fächer (Mathematik, Informatik, Naturwissenschaft, Technik) legt auch die US-Regierung hier Schwerpunkte auf STEM-Fächer (science, technology, engineering, and mathematics).

- Identifizierung und Unterstützung von Möglichkeiten zur Entwicklung öffentlich-privater Partnerschaften und vorwettbewerbliche Kollaborationen.

Als eines der ersten Länder erließ Südkorea 2009 mit dem „Framework Act on Low Carbon Green Growth“ ein Gesetz, das eine sektorübergreifende Strategie zum „grünen Wachstum“ vorgibt. Im selben Jahr veröffentlichte die koreanische Regierung die „National Strategy for Green Growth“ und einen wegweisenden Fünfjahresplan.

Im Zentrum der **europäischen Bioökonomie-Strategie** stehen der Aktionsplan mit seinen Instrumenten (siehe Abbildung 3-2) und die Bioökonomie-Strategie „Innovation für nachhaltiges Wachstum: eine Bioökonomie für Europa“, welche am 13. Februar 2012 in Brüssel von der EU-Kommission veröffentlicht wurden (EK, 2012b). Angesichts der Verknappung und Endlichkeit von Ressourcen, einer wachsenden Bevölkerung und dem Innovations- und Wachstumspotenzial einer biobasierten Wirtschaft stellt die Strategie den Umgang mit biologischen Ressourcen in den Bereichen Produktion, Konsum, Verarbeitung, Lagerung, Recycling und Entsorgung auf neue Grundsätze, die bisherigen Herangehensweisen grundsätzlich infrage. Die Strategie baut auf den Anstrengungen zum Aufbau einer wissensbasierten Bioökonomie aus dem Themengebiet „Lebensmittel, Landwirtschaft und Fischerei, Biotechnologie“ und dem Bereich „Zusammenarbeit“ des Siebten Rahmenprogramms für Forschung und Entwicklung (7RP)⁴ auf und trägt im neuen EU-Rahmenprogramm für Forschung und Innovation (EK, 2011) vor allem zur Verwirklichung der Ziele der Leitinitiativen „Ressourcenschonendes Europa“ und „Innovationsunion“ bei. Die Maßnahmen zielen auf eine synergetische und komplementäre Politik ab, insbesondere im Einklang der Forschung mit Maßnahmen aus Programmen anderer Politikbereiche wie der gemeinsamen Fischereipolitik (GFP), der gemeinsamen Agrarpolitik (GAP), der integrierten Meerespolitik (IMP) und anderen Programmen der Bereiche Umwelt, Beschäftigung, Industrie, Energie und Gesundheit (EK, 2012b).

Der Aufbau einer Bioökonomie wird im Gesamten als Querschnittsziel interpretiert, was sich vor allem in der Vielfalt der beteiligten Wirtschaftssektoren widerspiegelt. Dazu gehören im engeren Bereich die Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, Lebensmittel-, Zellstoff- und Papierherstellung sowie die biotechnologische und Energieindustrie (EK, 2010, 2012b).

Um die Vernetzung von Forschung und Wirtschaft weiter zu stärken, haben sich auf EU-Ebene bereits thematische Plattformen gebildet, die den inter- und transdisziplinären Austausch zwischen Forschung und Wirtschaft zum Ziel haben. Zu den aktuell etablierten Plattformen gehören SusChem, EARTO und AERTO, aber auch die neu entstandenen Aktivitäten der Kommunikati-

⁴ Programmperiode 2007-2013.

onsplattform der BRIDGE-Initiative⁵. Ein besonderes Merkmal aller Aktivitäten im Umfeld des Themas Bioökonomie ist die Betrachtung von Wertschöpfungsketten, die sowohl horizontal (Kaskadennutzung nachwachsender Roh- und Reststoffe) als auch vertikal entlang der zugehörigen Produktketten und der damit verknüpften Industrien agieren. Hierin liegt ebenfalls ein großes Potenzial der baden-württembergischen Initiative, die mit ihrem Systemansatz genau diesen Trend aufgreift, auf regionaler Ebene umsetzt und damit als strategischer Partner für europäische Initiativen fungieren kann.

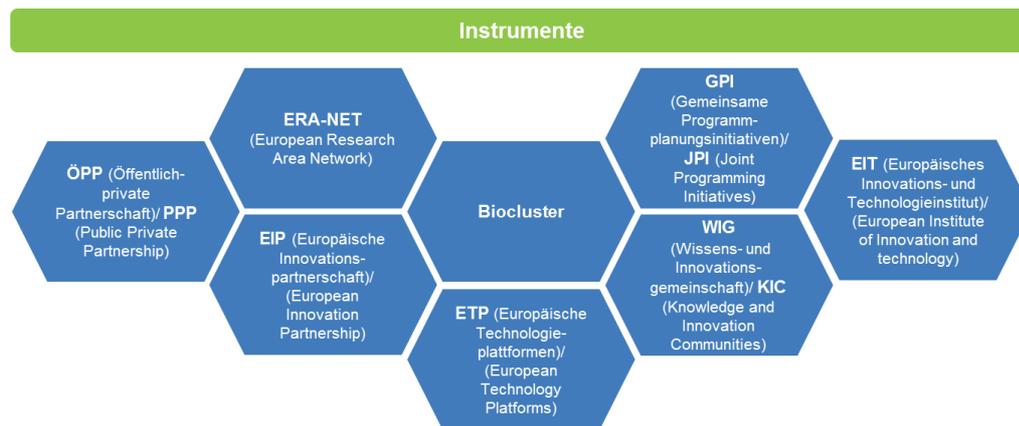


Abbildung 3-2: Instrumente aus dem Aktionsplan Bioökonomie der EU (eigene Darstellung in Anlehnung an EK 2012)

In Europa sind insbesondere Großbritanniens „A Synthetic Biology Roadmap“ (2012) oder die finnische „Natural Resource Strategy for Finland“ zu nennen, die seit 2009 in Finnland den nationalen Ressourcenverbrauch in eine neue Richtung lenkt und 2011 durch den Bericht „Distributed Bio-Based Economy – Driving Sustainable Growth“ ergänzt wurde (Sitra, 2009, 2011; TSB, 2012).

Auf nationaler Ebene hat die Bundesregierung im Jahr 2009 mit der Einrichtung des **BioÖkonomieRats** den Startschuss für die Entwicklung einer nationalen Bioökonomie-Strategie gegeben. In seiner ersten Phase (2009-2012) bestanden die wesentlichen **Aufgaben des BioÖkonomieRats** darin, einen fundierten Überblick über den Bereich Bioökonomie zu geben, die Chancen und Perspektiven der Forschung im Bereich Bioökonomie aus wissenschaftlicher und wirtschaftlicher Perspektive darzustellen, wissenschaftlich begründete Empfehlungen für strategische Maßnahmen zur Verbesserung der Rahmenbedingungen für innovative Forschung, technologische Entwicklungen (siehe Abbildung 3-3) und die Einführung von Produkten am Markt zu entwickeln.

Darüber hinaus galt es, belastbare Szenarien zu entwerfen und Handlungsoptionen für die langfristige Gestaltung der Rahmenbedingungen in der Bioökonomie bezogen auf Forschung, Ausbildung und Nachwuchsförderung abzulei-

⁵ Titel: Bridging resources and agencies in large-scale emergency management (2011-2015)

ten, sowie das Netzwerk „Wissenschaft – Politik – Wirtschaft“ im Hinblick auf die optimierte Abstimmung zwischen den relevanten Akteuren zu stärken.

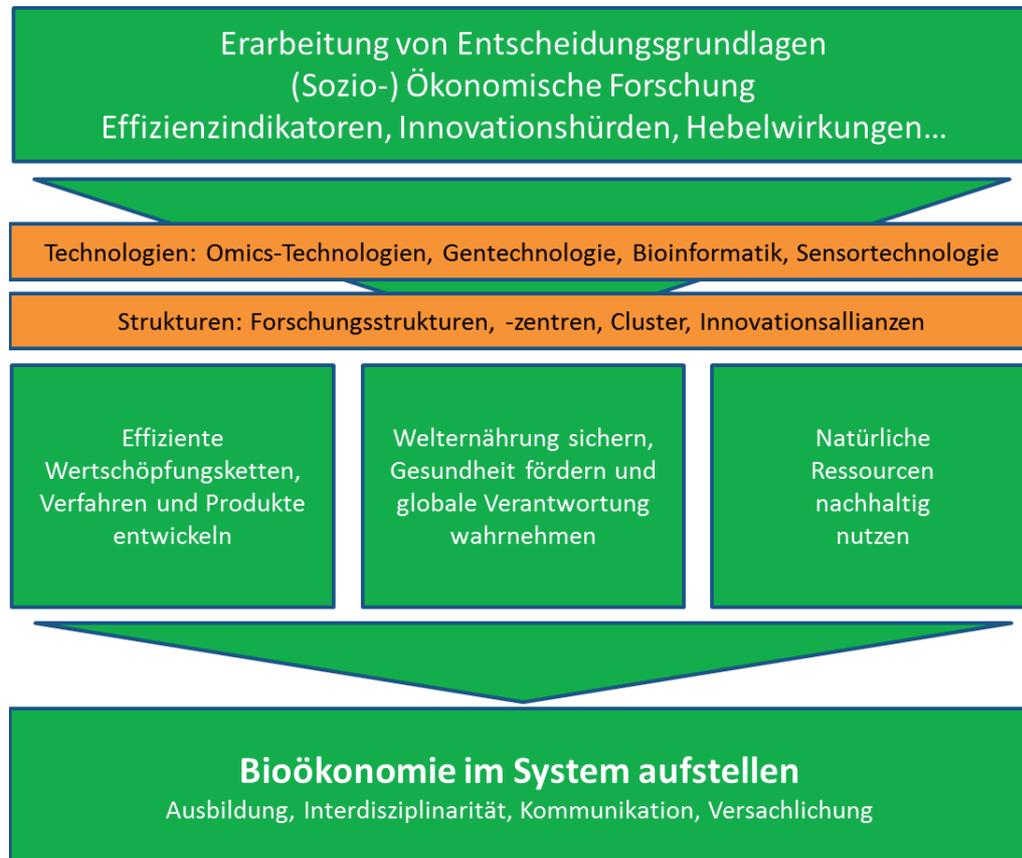


Abbildung 3-3: Empfehlungen des BioökonomieRats (BÖR, 2010)

Aufbauend auf den im September 2010 veröffentlichten Empfehlungen des BioökonomieRats hat die Bundesregierung im November 2010 die „**Nationale Forschungsstrategie Bioökonomie 2030 – Vision und strategische Ziele**“ (siehe Abbildung 3-4) veröffentlicht. Sie ist von der Vision einer am natürlichen Stoffkreislauf orientierten, nachhaltigen biobasierten Wirtschaft getragen, deren vielfältiges Angebot die Welt ausreichend und gesund ernährt sowie Deutschland mit hochwertigen Produkten aus nachwachsenden Rohstoffen versorgt.

Die nationale Strategie (BMBF, 2010) verfolgt folgende Kernziele:

- Deutschland soll im internationalen Vergleich zu einem dynamischen Forschungs- und Innovationsstandort für biobasierte Produkte, Energien, Verfahren und Dienstleistungen werden.
- Mit seiner Forschung will Deutschland zugleich Verantwortung für die Welternährung sowie beim Klima-, Ressourcen- und Umweltschutz übernehmen.

Darauf aufbauend ergeben sich folgende fünf Handlungsfelder:

- Weltweite Ernährung sichern
- Agrarproduktion nachhaltig gestalten
- Gesunde und sichere Lebensmittel produzieren
- Nachwachsende Rohstoffe industriell nutzen
- Energieträger auf Basis von Biomasse ausbauen

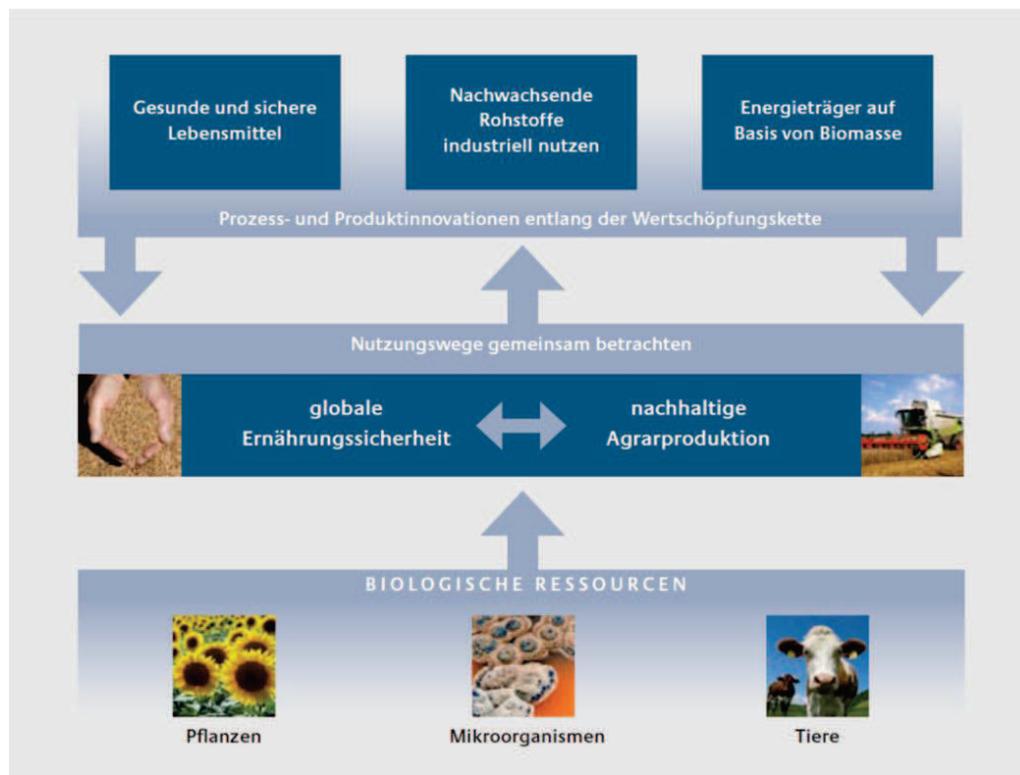


Abbildung 3-4: Ziele der Nationalen Forschungsstrategie Bioökonomie 2030 (BMBF, 2010)

Ganz aktuell nimmt die **Politikstrategie Bioökonomie** des BMELV die grundlegenden Ziele der Nationalen Forschungsstrategie auf und fügt erweiternde Aspekte hinzu. Als wichtigste neue Ansätze seien hier die Schaffung eines kohärenten Politikrahmens für eine nachhaltige Bioökonomie und die Etablierung einer „interministeriellen Arbeitsgruppe Bioökonomie“ genannt. „Eine enge Kommunikation zwischen Politik, Wirtschaft, Wissenschaft und Zivilgesellschaft sowie die Vorbereitung von Politikentscheidungen auf Basis interdisziplinärer Politikfolgenabschätzungen tragen dazu bei, die Verzahnung der Politikbereiche sicherzustellen und Zielkonflikte frühzeitig zu minimieren oder aufzulösen“ (BMELV, 2013).

Neben den übergeordneten Aktivitäten der Bundesregierung haben auch einige Bundesländer bereits intensive Anstrengungen unternommen, das Thema Bioökonomie in ihrer Forschungslandschaft zu verankern. Strategieplanungen der Bundesländer, die den Wortlaut und das Konzept der Bioökonomie, wie von der Bundesregierung vorgegeben, in seiner Gesamtheit erfassen, gibt es

wenige. Als einziges Bundesland hat bisher **Nordrhein-Westfalen** ein eigenes Referat für Bioökonomie und Biotechnologie (Referat 323) im Ministerium für Innovation, Wissenschaft und Forschung eingerichtet. Analysiert man die föderale Strategieplanung weniger an der Begrifflichkeit und mehr an den Inhalten sowie der thematischen Ausrichtung auf eine „am natürlichen Stoffkreislauf orientierte, nachhaltige bio-basierte Wirtschaft [...]“ (BMBF, 2010), können auch weitere Bundesländer Planungsaktivitäten in verwandten Bereichen aufweisen. Im Fokus stehen meist regenerative Energien, nachwachsende Rohstoffe und Innovation (NRW, 2013).

Die Programme und Strategien der Bundesländer unterscheiden sich häufig in der Steuerungsfunktion und Beratungsintensität, so zum Beispiel dem Level der Institutionalisierung (Referate, Gremien...), der Rolle des privaten regionalen Engagements, der Auswahl der Handlungs- und Forschungsfelder sowie der Schwerpunktsetzung in der Wertschöpfungskette. Beispielhaft wird näher auf die Aktivitäten in Nordrhein-Westfalen und Sachsen-Anhalt eingegangen, die aus Sicht des Expertenkreises umfangreiche Aktivitäten vorweisen und Unterschiede in der Strategieplanung klar erkennen lassen. Allgemein lässt sich noch hinzufügen, dass die Wahl der Ausrichtung oft in Abhängigkeit von der geografischen Lage, Größe, naturräumlichen Ausstattung und dem technologisch-historischen Werdegang des jeweiligen Bundeslandes getroffen wird. Zur Umsetzung von Strategiekonzepten bedienen sich die Bundesländer aus dem Portfolio des europäischen, bundes- und landesweiten Instrumentariums, wie in Abbildung 3-5 dargestellt.

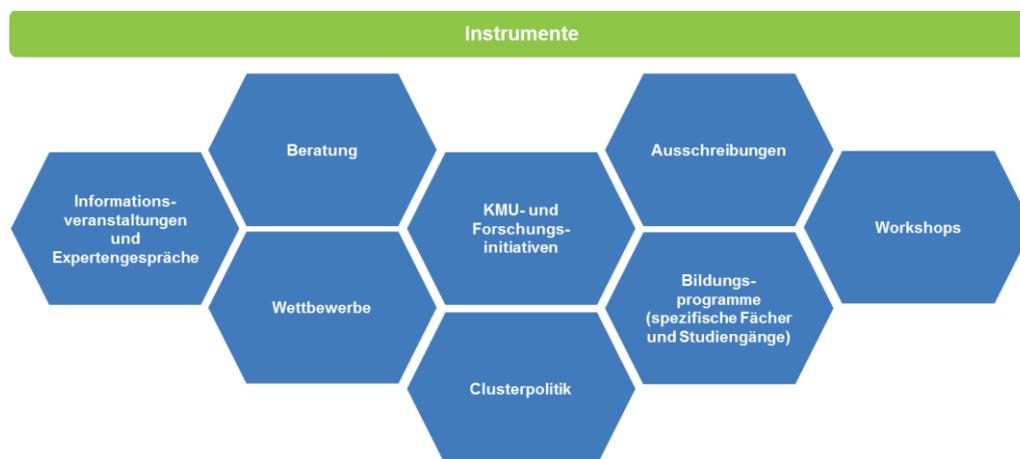


Abbildung 3-5: Instrumente der Bioökonomie auf Länderebene

Im Jahr 2010 wurde in Nordrhein-Westfalen das „**Bioeconomy Science Center**“ mit den Standorten Jülich, Aachen, Düsseldorf und Bonn gegründet. Das Center besteht aus 54 Instituten und wird von Bund und Land gefördert. Im Vordergrund stehen die folgenden Themenschwerpunkte:

- Nachhaltige Produktion mehr und gleichzeitig besser auf verschiedene und gekoppelte Nutzungswege abgestimmter pflanzlicher Biomasse unter Wahrung der natürlichen Ressourcen Boden und Wasser.

- Molekulare und mikrobielle Umwandlung von biobasierten Rohstoffen in Wertstoffe.
- Verfahrenstechnische Grundlagen und Technologien der Stoffumwandlung biobasierter Rohstoffe in integrierten Prozessen.
- Analyse und Bewertung der ökonomischen Bedingungen und gesellschaftlichen Auswirkungen einer bio-basierten Wirtschaft.

Im Jahr 2011 wurde in **Sachsen-Anhalt** der „**WissenschaftsCampus Halle - Pflanzenbasierte Bioökonomie**“ etabliert, in dem sich die naturwissenschaftlichen Fakultäten I und III der Martin-Luther Universität Jena (MLU) mit den Leibniz-Instituten für Agrarentwicklung in Mittel- und Osteuropa (IAMO) in Halle, dem Institut für Pflanzenbiochemie (IPB) in Halle und dem Institut für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung (IPK) in Gatersleben zusammengeschlossen haben. Zielsetzung ist die Stärkung der pflanzen- und agrarwissenschaftlichen Forschung und Lehre in der Region Halle auf dem Gebiet der pflanzenbasierten Bioökonomie sowie die Stärkung der Anwendungsorientierung und des Wissens- und Technologietransfers.

Gestärkt wurde das Forschungsgebiet Bioökonomie in Sachsen-Anhalt mit der Einrichtung des **Spitzenclusters BioEconomy** im Jahr 2012, dessen Mitglieder sich insbesondere um den Chemiestandort Leuna konzentrieren. Inhaltlich fokussiert dieser Cluster auf die maximale Wertschöpfung von Holz durch Koppel- und Kaskadennutzung sowie auf die Beschleunigung der Innovation durch Betrachtung der gesamten Innovationskette von der Entwicklung im Labormaßstab bis zur Demonstration im industriellen Maßstab.

Die dargestellten Strategien sind Beispiele zum einen für eine zentralgesteuerte, in das Regierungsprogramm und die Verwaltungsstruktur des Bundeslandes integrierte Strategie am Beispiel Nordrhein-Westfalens und zum anderen einer stark regional, dezentral gelenkten und von der Seite der Landesregierung eher beobachteten und nicht im Detail vorgegebenen Strategieplanung in Sachsen-Anhalt. Diese Unterschiede sind Ergebnis der stark föderalen und regional, meist auf NUTS–III-Ebene ausgerichteten Forschungs- und Förderinstrumente des Bundes und der EU. Hier können Unternehmen, Einrichtungen und Regionen direkt, ohne Absprache mit den Landesministerien, Mittel erwerben. Die dezentralen Aktivitäten dienen im späteren Verlauf der Landesregierung nicht selten als Grundlage für eine zentrale Strategieplanung. Die Förderung regionaler Bestrebungen und lokaler Akteure scheint mitunter auch Schwerpunkt der zentralen Planung zu sein. Stellvertretend steht hierfür der Wettbewerb „Bioenergiedörfer 2012“ des BMELV⁶.

⁶ 2012 haben sich 41 Bioenergiedörfer um die Auszeichnung beworben. Die Jury achtet auf die Höhe des Versorgungsgrades mit Bioenergie, den nachhaltigen Umgang mit Biomasse, eine innovative und effiziente Anlagentechnik, die Einbindung der Bevölkerung und eine öffentliche Kommunikation des Projekts (www.bioenergie-doefer.de)

4 Bestandsaufnahme Forschungslandschaft Baden-Württemberg

Baden-Württemberg verfügt an verschiedenen Universitäten, Hochschulen für angewandte Wissenschaften und außeruniversitären Forschungseinrichtungen (siehe Abbildung 4-1) bereits landesweit über umfangreiche Kompetenzen im Bereich Bioökonomie. Diese Kompetenzen wurden in einer umfangreichen Gesamtmatrix erfasst und sind in den folgenden Grafiken für die thematischen Einzelbereiche dargestellt.



Abbildung 4-1: Landkarte der verschiedenen Universitäten, Hochschulen für angewandte Wissenschaften und außeruniversitären Forschungseinrichtungen mit Kompetenzen im Bereich Bioökonomie.

4.1 Forschung für Rohstoffe und Ressourcen (Angebotsseite)

4.1.1 Agrar- und Pflanzenwissenschaften

Agrarwissenschaften können in Baden-Württemberg an der Universität Hohenheim und Agrarwirtschaft sowie an der Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen (HfWU) studiert werden.

Die **Agrarwissenschaftliche Fakultät der Universität Hohenheim**, deren Ursprünge bis in das Jahr 1818 zurückreichen, ist mit 49 Lehrstühlen die größte innerhalb Deutschlands. Sie verfügt mit der Versuchsstation Agrarwissenschaften, die mit mehr als 400 ha auf fünf klimatisch unterschiedliche Standorte in Baden-Württemberg verteilt ist, über eine sehr gute infrastrukturelle Ausstattung für die Agrarforschung. Heute gibt es 15 Institute (davon drei für den Bereich der Tropen) aus den Bereichen der Pflanzen- und Tierwissenschaften, der Agrartechnik und der landwirtschaftlichen Wirtschafts- und Sozialwissenschaften. Außerdem sind an der Universität Hohenheim vier Landesanstalten angesiedelt, darunter die Landessaatzuchtanstalt und die Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie.

Durch eine enge Zusammenarbeit der agrar- und naturwissenschaftlichen Fakultäten, vor allem im Bereich der Lebensmitteltechnologie, ist es möglich, an der Universität Hohenheim die gesamte Breite der agrarbasierten Wertschöpfungsketten darzustellen. Besondere Expertisen weisen Forschung und Lehre der Universität Hohenheim in folgenden Bereichen auf:

- Nachhaltige Biomasseproduktion in und Konzepte zur nachhaltigen Nutzung von Agrarlandschaften
- Nachwachsende Rohstoffe, insbesondere mehrjährige Pflanzen, alternative Biogaspflanzen und Low-input-Pflanzen
- Bioenergie, insbesondere Technologien zur Erzeugung von Biogas (Biogasforschungsanlage 190 kWel + 220 kWth, Biogaslabor) und Ethanol
- Pflanzenzüchtung mittels konventioneller und moderner Methoden (z.B. Ausstattung für next generation sequencing)
- Tierwissenschaften (Aufbau eines modernen Tierwissenschaftlichen Zentrums)
- Erfassung und Bewertung ökologischer Aspekte der Agrarproduktion, einschließlich klimarelevanter Forschung
- Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaus

Im Agrarbereich gibt es an der Universität Hohenheim bereits eine Anzahl von bioökonomie relevanten Studiengängen, wobei hier insbesondere auf die von fast 450 Studierenden belegten Bachelor- und Masterstudiengänge „Nachwachsende Rohstoffe und Bioenergie“ hingewiesen werden soll. Ein internationaler Studiengang „Bioeconomy“, der ab dem Jahr 2014 als gemeinsamer Studiengang der Agrar-, Wirtschafts- und Naturwissenschaftlichen Fakultäten beginnen soll, ist in der Entwicklung.

Im Rahmen mehrerer, durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV), die Europäische Union (EU), die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) und andere Drittmittelgeber sowie durch die Privatwirtschaft geförderter Forschungsprojekte aus dem Bereich der Bioökono-

mie kooperiert die Universität mit Forschern und Forschungseinrichtungen in über 90 Ländern. Beispiele von Hohenheim koordinierte Projekte sind das BMBF-Projekt Gobi (**G**anzheitliche **O**ptimierung der **B**io gasprozesskette zur Steigerung der betrieblichen, stofflichen, energetischen und ökologischen Effizienz unter besonderer Berücksichtigung der Produktion eines natürlichen kundenspezifischen Düngemittels) und das EU-Projekt OPTIMISC (Optimising Miscanthus Production). Die Kooperation und Einwerbung von Drittmitteln in der Bioökonomieforschung soll durch die Einrichtung eines Forschungszentrums Bioökonomie an der Universität Hohenheim unterstützt werden.

Die **Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen** hat sich der Umsetzung von Nachhaltigkeit in Forschung und Lehre verschrieben und vereint Forschung und Lehre sowohl in wirtschaftlich relevanten Feldern als auch in allen Feldern der Ökologie. Angewandte Forschung zur Bioökonomie findet durch das Institut für Angewandte Agrarforschung (IAAF) sowie das Institut für Landschaft und Umwelt (ILU) statt. Die Forschungsschwerpunkte der Institute lassen sich den Bereichen nachhaltige Pflanzenproduktion, tiergerechte Haltungsverfahren und Technik sowie Landschaftsarchitektur, Landschaftsökologie, Naturschutz und nachhaltige Biomasseproduktion zuordnen. Die Forschungsvorhaben werden häufig in Kooperation mit Unternehmen, Beratern und Verbänden durchgeführt. Erhebungen erfolgen auf den Lehr- und Versuchsbetrieben Tachenhausen (128 ha) und Jungborn, in Zusammenarbeit mit Landwirten auf Praxisbetrieben sowie im Gelände.

Im Bereich Pflanzenwissenschaften hat die molekulare Pflanzenforschung an den **Universitäten Freiburg, Heidelberg und Tübingen** internationales Spitzenniveau, wie die Publikationsleistungen, die Bildung starker Forschungsverbünde (z.B. Sonderforschungsbereiche - SFBs), sowie die Einwerbung mehrerer ERC⁷-Grants (Fördermittel des Europäischen Forschungsrates) belegen. Die Kooperationsmöglichkeiten zwischen den genannten Forschungszentren, aber auch mit anderen Standorten in Baden-Württemberg (u.a. KIT, Universitäten Ulm, Konstanz und Stuttgart), werden allerdings bisher noch nicht ausreichend ausgeschöpft. Unter dem Blickwinkel der Bioökonomie wird hier der gezielte Ausbau von Kooperationen mit den Agrarwissenschaften an der Universität Hohenheim einen besonderen Stellenwert erhalten.

Die hohe Qualität, aber auch die Anzahl der molekular-pflanzenbiologisch arbeitenden Forschungsgruppen in Baden-Württemberg mit deren hervorragender Ausstattung (Geräteinfrastruktur und Anzuchtflächen), resultieren in zahlreichen nationalen und internationalen Forschungsverbänden (gefördert durch DFG, BMBF, EU, bilaterale Kooperationen). Sie führen darüber hinaus zu ei-

⁷ European Research Council

ner rasch zunehmenden Zahl von Bewerbern für die Doktorandenausbildung aus dem Ausland (u.a. Brasilien, VR China).

Durch die fortschreitende Einbindung der pflanzenbiologischen Forschung in die *high-end* Geräteinfrastruktur der lebenswissenschaftlichen Forschungszentren an Exzellenz-Standorten (Beispiel: Universität Heidelberg mit ihren *open access core facilities* für z.B. das *next generation sequencing*, diverse omics-Plattformen, sowie ihren institutionellen Anbindungen an außeruniversitäre Forschungseinrichtungen wie DKFZ⁸ und EMBL⁹) erfährt die Forschung am System „Pflanze“ einen zusätzlichen Schub. Der Zugang zu noch unbekanntem Pflanzengenomen - darunter zunehmend Nutzpflanzen - schreitet rasant voran, Erfassung und Analyse von Transkriptomen auch für bisher wenig bearbeitete Nutzpflanzen gehören inzwischen zur Routine.

Für die Erforschung ertrags- und/oder qualitätsrelevanter molekularphysiologischer Parameter im Pflanzenbau (Biomasseproduktion für die Bioökonomie, hier z.B. die Zusammensetzung hinsichtlich Lignin-Zellulose-Pektin) bestehen daher in Baden-Württemberg beste Voraussetzungen. Hierfür seien einige Beispiele genannt:

- Identifizierung der molekularen Schalter (Transkriptionsfaktoren) zur Steuerung der Zellwandzusammensetzung in Pflanzen für die Biomasseproduktion (u.a. neue Energiepflanzen)
- Aufklärung der Einwirkung von Umweltfaktoren (Stressfaktoren, Nährstoffangebot etc.) auf die Zusammensetzung der Zellwandkomponenten (Lignin-Zellulose-Pektin)
- Aufklärung molekularer Zellwand-Parameter (z.B. Pektinmodifizierung), die die mikrobielle Zersetzung des Pflanzenmaterials beeinflussen
- Beeinflussung des Ertrags durch mikrobielle (pilzliche und bakterielle) Assoziationen im Wurzelbereich

Durch diese zielgerichteten Forschungsansätze, die die molekularphysiologische Expertise in der Pflanzenforschung an exzellenten Standorten Baden-Württembergs mit den einschlägigen Alleinstellungsmerkmalen der Agrarforschung am Standort Hohenheim zusammenbringen, ergeben sich für Baden-Württemberg in dieser Form neue einzigartige Synergien. So eröffnen sich für die Gewinnung der Biomasse – essentieller Input-Faktor der Bioökonomie – neue Wege zu deren Optimierung in quantitativer und qualitativer Hinsicht.

⁸ Deutsches Krebsforschungszentrum

⁹ European Molecular Biology Laboratory

Abbildung 4-2 zeigt die Anzahl und die Kompetenzen der in den verschiedenen Bereichen der Agrar- und Pflanzenwissenschaften in Baden-Württemberg aktiven Institutionen.

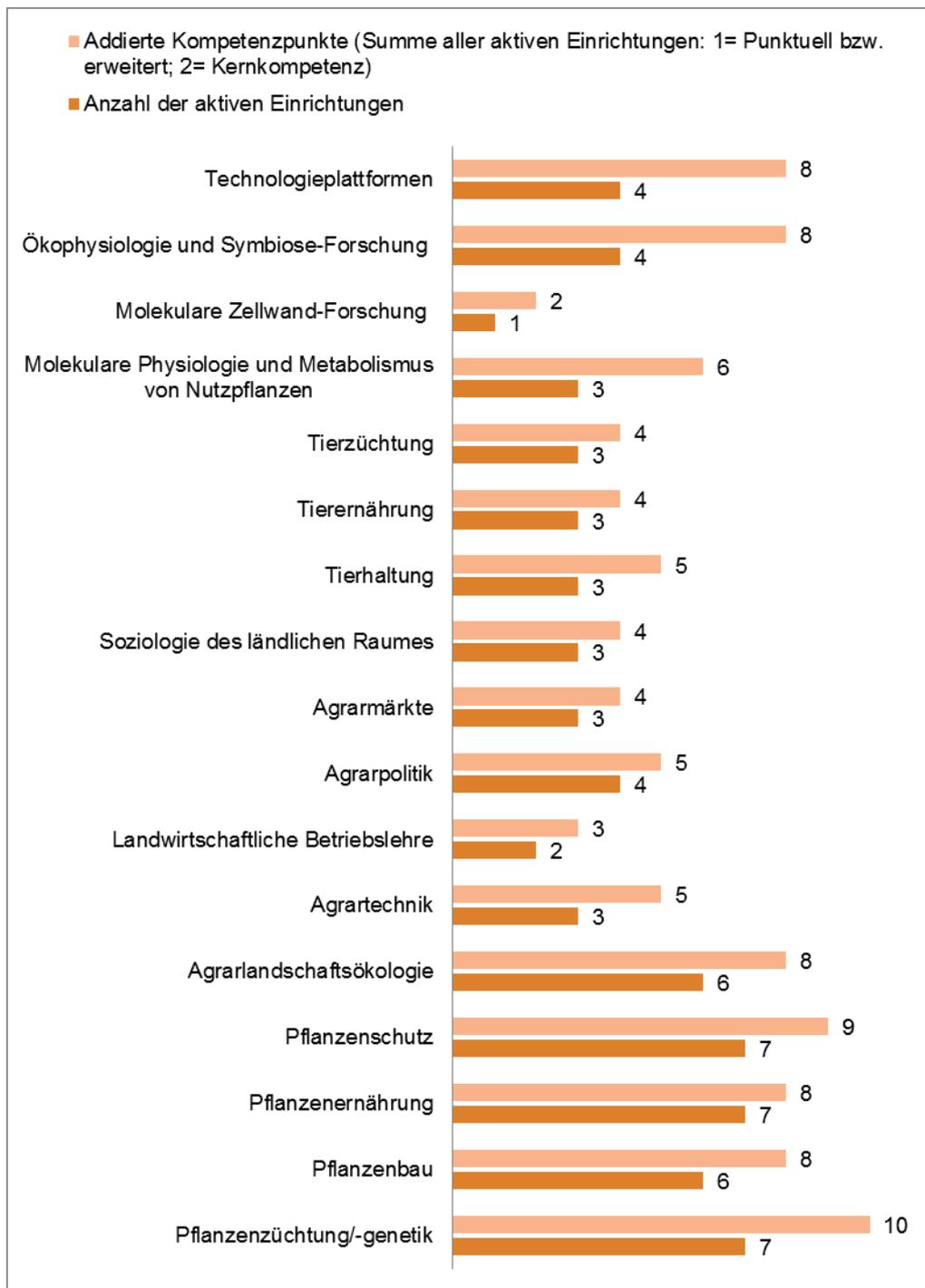


Abbildung 4-2: Grafische Darstellung der Kompetenzen im Bereich Agrar- und Pflanzenwissenschaften Baden-Württemberg

4.1.2 Forstwissenschaften/Forstwirtschaft

Die Wälder Baden-Württembergs bedecken 39% der Landesfläche und zeichnen sich durch sehr hohe durchschnittliche Vorräte und Zuwächse aus. Der Cluster Forst und Holz des Landes hat einen Jahresumsatz von ca. 30 Mrd. Euro und beschäftigt ca. 200.000 Personen. Die Produzenten, Zulieferer, Dienstleister, Hochschulen und außeruniversitären Forschungseinrichtungen dieses volkswirtschaftlich sehr bedeutsamen Bereichs sind in der Cluster-Initiative Forst und Holz Baden-Württemberg miteinander vernetzt.

Die Bedeutung von Wald und Forstwirtschaft im Land spiegelt sich auch in der forstwissenschaftlichen Forschung und Ausbildung im engeren Sinne wider, die an drei Standorten betrieben wird. In der Fakultät für Umwelt und Natürliche Ressourcen der **Universität Freiburg** werden die Forstwissenschaften durch 22 Professuren getragen, in denen fast alle klassischen und modernen Bereiche mit Ausnahme der Genetik und Forstpflanzenzüchtung abgedeckt sind. Die Schwerpunkte der Forschung liegen in der nachhaltigen Nutzung von Wäldern, dem Schutz und der Funktion von Biodiversität, dem Schutz der Lebensgrundlagen Boden und Wasser, der Anpassung von Wäldern an den globalen Wandel und dem Beitrag von Wäldern zum Klimaschutz, den Interaktionen zwischen natürlichen und gesellschaftlichen Systemen sowie in neuen Produkten und Biomaterialien auf der Basis des Rohstoffs Holz. Diese Schwerpunkte spiegeln sich auch in den Studiengängen der Fakultät wider. Besonders relevant für den Bereich Bioökonomie sind die Bachelor of Science (BSc)-Studiengänge „Waldwirtschaft und Umwelt“ sowie „Umweltnaturwissenschaften“ und die Master of Science (MSc)-Studiengänge „Forstwissenschaften“, „Umweltwissenschaften“, „Renewable Energy Management“ und „Environmental Governance“. Die Ausrichtungen in der Lehre und die Forschungsthemen finden sich auch in den Forschungsbereichen der Graduiertenschule „Environment, Society and Global Change“ wieder.

Die forstwissenschaftliche Forschung in Freiburg lebt sehr von der Kooperation zwischen Universität und der dem Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz unterstellten **Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt (FVA) Baden-Württemberg**, an der in acht Abteilungen über 200 Personen arbeiten. Die Forschungsschwerpunkte der FVA liegen in den Bereichen Klimafolgenforschung, Nachhaltigkeit und Multifunktionalität, der Bewirtschaftung von NATURA-2000-Gebieten, Energieholz sowie Holzqualität und Holzsortierung. Die Holzforschung mit dem Fokus auf Festholz wird unterstützt durch einen Computertomografen, in dem ganze Baumstämme analysiert werden können. An der **Hochschule Rottenburg** werden u. a. die BSc-Studiengänge „Forstwirtschaft“, „Holzwirtschaft“, „Bioenergie“, „Naturraum“ und „Regionalmanagement“ sowie ein MSc „Sustainable Energy Competence“ angeboten. Die Forschung konzentriert sich auf die Bereiche Logistik und Konversion von Biomasse, Verfahren, Technik und Wertschöpfung in der Forst- und Holzwirtschaft, Klimafolgenforschung sowie Management und Entwicklung ländlicher Räume.

Abbildung 4-3 zeigt die Anzahl und die Kompetenzen der in den verschiedenen Bereichen der Forstwissenschaften/Forstwirtschaft in Baden-Württemberg aktiven Institutionen.

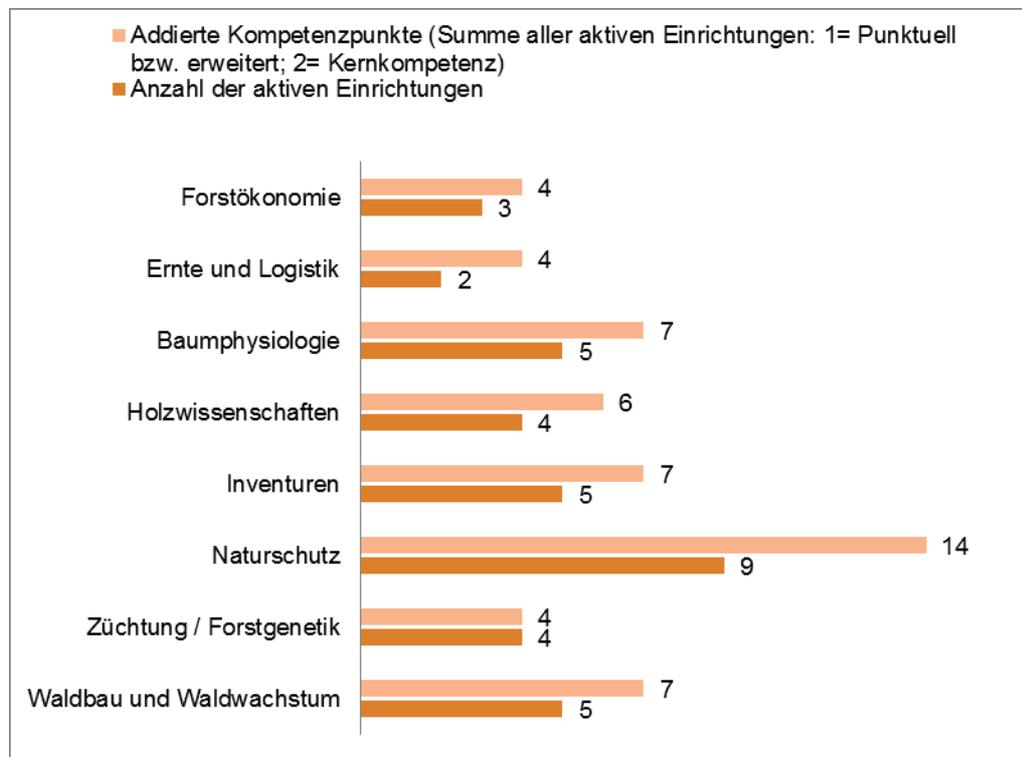


Abbildung 4-3: Grafische Darstellung der Kompetenzen im Bereich Forstwissenschaften/Forstwirtschaft in Baden-Württemberg

4.1.3 Aquatische Biomasse

Unter aquatischer Biomasse wird hier die photosynthetische Anzucht von Biomasse, hauptsächlich Algen, verstanden. In Baden-Württemberg wird am **Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik** (Fraunhofer IGB) und am **Karlsruher Institut für Technologie** (KIT) eine Vielzahl von Forschungsprojekten, oft auch mit Einbindung von Industrieunternehmen, zur photosynthetischen Anzucht von Biomasse durchgeführt. Die Inhalte erstrecken sich auf das gesamte Spektrum der Mikroalgenkultivierung, Biomasseabtrennung und -aufkonzentrierung, Gewinnung von Energieträgern aus Algen, Wertstoffproduktion, Produktextraktion und -aufarbeitung sowie die Entwicklung integrierter Prozesse im Sinne einer Bio Raffinerie unter Berücksichtigung der Kreislaufführung von Wasser und Nährstoffen. Beide Einrichtungen sind sowohl deutschland- als auch europaweit stark in der Mikroalgen-Gremienarbeit engagiert. Das Fraunhofer IGB bearbeitet bereits seit 16 Jahren das Gebiet der Mikroalgen-Forschung mit einem multidisziplinären Team aus Mikrobiologen, Verfahrenstechnikern und Wissenschaftlern anderer Disziplinen. Das Team entwickelte z.B. den Flat-Panel-Airlift-Reaktor, der inzwischen durch die aus dem IGB ausgegründete Firma Subitec GmbH weiterentwickelt und kommerziell vertrieben wird. Dem Fraunhofer IGB stehen ne-

ben mehreren speziell entwickelten Laborreaktoren auch zwei Gewächshausanlagen mit einer Kapazität von je 4,5 m³ sowie Freilandanlagen mit insgesamt 9 m³ zur Verfügung. Die derzeit bearbeiteten, öffentlich geförderten Projekte werden durch das BMBF, BMELV, die EU sowie die Stiftung Energieforschung Baden-Württemberg gefördert. Das KIT hat auf dem Gebiet der Mikroalgenteknik ebenfalls langjährige Erfahrung. Hauptuntersuchungsplattformen waren hier Bioreaktoren im Labormaßstab mit einem Untersuchungsschwerpunkt auf unterschiedlichen Beleuchtungsstrategien. Das KIT entwickelte für diese Anwendungen einen Röhrenreaktor. 2013 soll die erste Freilandanlage im Pilotmaßstab fertiggestellt werden. Das KIT beschäftigt sich darüber hinaus mit der Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse der Mikroalgenutzung.

In diesem Forschungsbereich sind außerdem auch die **Universitäten Konstanz und Freiburg** aktiv. Die verschiedenen fachspezifischen Lehrstühle, die sich unter anderem mit Mikroalgen befassen, wurden 2012 und 2013 neu besetzt. Somit ist die Forschung an Algen und Cyanobakterien relativ jung und ausbaufähig. Die Universität Konstanz beschäftigt sich vorrangig mit Stammscreening und Stoffwechselforgängen bei Mikroalgen und besitzt punktuelle Kompetenz im bioökonomie-relevanten Mikroalgenbereich. Die Universität Freiburg weist ebenfalls punktuelle Kompetenzen im Bereich Mikroalgen auf. Hier liegt der Schwerpunkt auf der biotechnologischen Nutzung von Algen und Cyanobakterien mit Fokus auf Toxinbestimmung sowie auf einer gezielten Veränderung der Stoffwechselwege.

Abbildung 4-4 zeigt die Anzahl und die Kompetenzen der in den verschiedenen Bereichen der aquatischen Biomasse in Baden-Württemberg aktiven Institutionen.

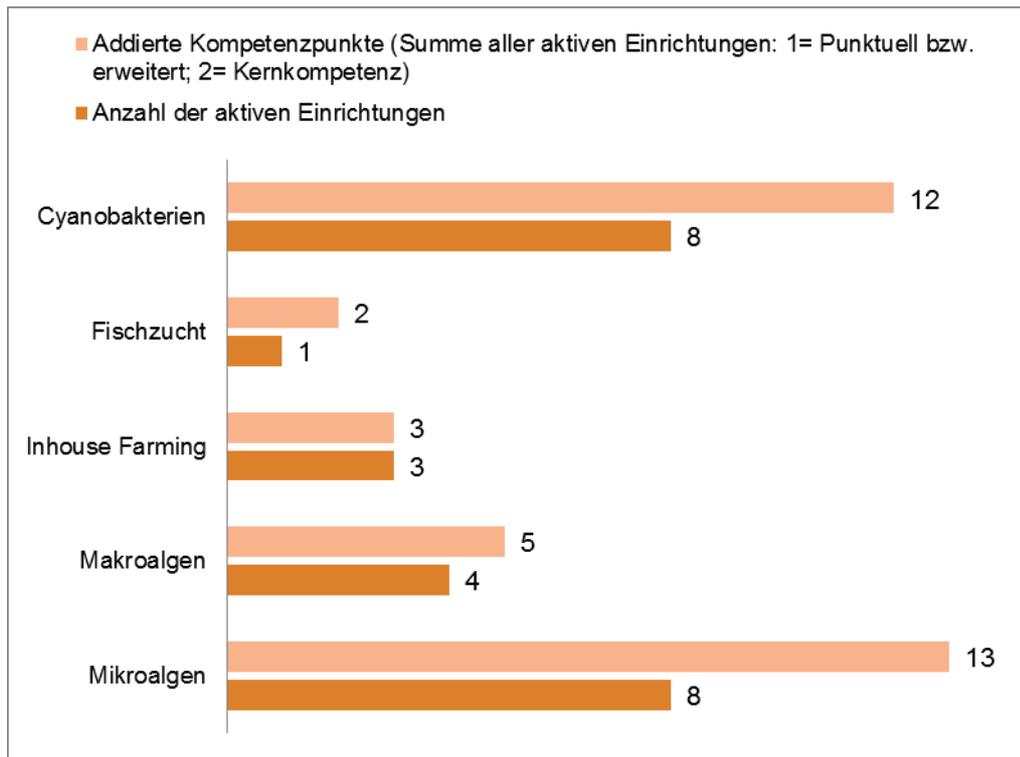


Abbildung 4-4: Grafische Darstellung der Kompetenzen im Bereich Aquatische Biomasse in Baden-Württemberg

4.1.4 Biogene Reststoffe

In den Bereich der biogenen Reststoffe fallen feste und flüssige Abfälle aus Forst- und Landwirtschaft sowie Aquakultur, kommunale und industrielle Abfälle und Abwässer. In der hier vorliegenden Bestandsaufnahme werden zudem explizit Forschungsaktivitäten für die Behandlung von Nahrungsmittelabfällen aus Industrie und Kommune betrachtet.

Die unterschiedlichen, sich ergänzenden Fachgebiete der Forschungseinrichtungen in Baden-Württemberg haben bereits zu einigen großen Verbundprojekten geführt. Diese haben einerseits neuartige Verfahrenskombinationen zur Erreichung einer höheren Energie- und Rohstoffeffizienz zum Thema. Andererseits können gesamte Prozessketten abgebildet werden. Diese Projekte beinhalten auch die regional begrenzt anfallenden Mengen. Die Forschungsprojekte werden vorrangig durch BMBF, BMELV und die EU gefördert. Verbünde und Netzwerke bestehen hauptsächlich mit dem europäischen Raum, aber auch mit Südamerika und Asien.

Im Bereich forstwirtschaftliche Reststoffe werden Forschungsarbeiten schwerpunktmäßig zum einen an der **Universität Freiburg** mit dem Fokus auf der energetischen und stofflichen Verwertung durchgeführt. Einen weiteren Schwerpunkt bilden hier Konzepte zu neuen Ernteverfahren. Zum anderen wird die Forschung zum Themenkomplex thermische Verwertung biogener Reststoffe am **KIT** in Karlsruhe durchgeführt. Diese Thematik bildet auch den Schwerpunkt des **DLR Stuttgart** und der **Universität Stuttgart**. An den **Uni-**

versitäten Hohenheim, Stuttgart, dem KIT, der Hochschule Furtwangen und dem Fraunhofer IGB liegt ein Schwerpunkt in der energetischen und zum Teil in der stofflichen Nutzung **landwirtschaftlicher Reststoffe** sowie in der Forschung zur Energiespeicherung. Die **Hochschule Furtwangen** bearbeitet darüber hinaus die Modellbildung der verfahrenstechnischen Prozesse.

Ein weiterer Forschungsschwerpunkt in Baden-Württemberg ist die **Verwertung von Nahrungsmittelabfällen**. Hierbei werden vorrangig Potenzialerhebungen durchgeführt, also die verfahrenstechnische und mikrobiologische Optimierung der Fermentation sowie die stoffliche Nutzung von Abfällen aus der Lebensmittelherstellung wie beispielsweise Milchsäure aus Molke als Basis für Biopolymere untersucht. Breite Kompetenzen weisen in diesen Gebieten vorrangig die **Universitäten Stuttgart und Ulm, die Hochschule Furtwangen sowie das Fraunhofer IGB und das KIT** auf.

Im Forschungsbereich der **kommunalen Abfälle** sind das **KIT, das Fraunhofer IGB sowie die Universität Stuttgart** stark vertreten. Speziell am Fraunhofer IGB wurden im Laufe der letzten 25 Jahre verschiedene Reaktor- und Filtertechniken und darauf aufbauend effizientere Verfahren im Bereich der Klärschlammvergärung entwickelt. Die Umsetzung organischer Reststoffe zu Biogas ist seit vielen Jahren ein Schwerpunkt am Fraunhofer IGB. An der Universität Stuttgart stehen Abfallvermeidungsstrategien sowie die Erforschung der nutzbaren Potenziale aus Abfällen im Fokus. Am KIT werden ebenfalls die Vergärbarkeit verschiedener Abfallarten sowie die Nährstoffrückgewinnung erforscht. Alle Einrichtungen untersuchen zudem intensiv verschiedenste Fermentationsbedingungen in unterschiedlichsten Reaktorarten jedoch mit jeweils speziellen Schwerpunkten.

Forschungsaktivitäten zum Thema **industrielle Abfälle** finden hauptsächlich an den **Universitäten Ulm, Stuttgart, Freiburg, der Hochschule Furtwangen und dem Fraunhofer IGB** statt. Dabei stehen Themenfelder wie Ressourceneffizienz durch Sekundärrohstoffnutzung, Bioleaching und Produktherstellung aus biogenen Reststoffen im Fokus.

Kommunale Abwässer sind langjährige Forschungsgebiete des **Fraunhofer IGB und der Universität Stuttgart sowie des KIT und der Hochschule Furtwangen**. Im Fokus dieser Einrichtungen stehen hauptsächlich Abwasser- aufbereitungstechnologien, die Nährstoffrückgewinnung, Spurenstoffelimination sowie Hygienefragestellungen.

Die **industriellen Abwässer** sind Forschungsthemen der **Universitäten Tübingen und Stuttgart, der Hochschule Furtwangen und des Fraunhofer IGB**.

Das **IFEU-Institut** erarbeitet im Bereich der gesamten biogenen Reststoffe Strategien zu einer nachhaltigen Entwicklung, Potenzialstudien, Ökobilanzen und Abfallwirtschaftspläne.

Je nach Forschungseinrichtung wird mit unterschiedlichen Anlagengrößen gearbeitet – von kleinen Laborsystemen über Technikumsanlagen bis zu großen Demonstrationsanlagen und -apparaten, die eine Umsetzung in industrielle Maßstäbe erlauben.

Die von allen beteiligten Universitäten und Hochschulen für angewandte Wissenschaften angebotenen Studiengänge sind in jedem der genannten Bereiche umfassend.

Abbildung 4-5 zeigt die Anzahl und die Kompetenzen der in den verschiedenen Bereichen der biogenen Reststoffe in Baden-Württemberg aktiven Institutionen.

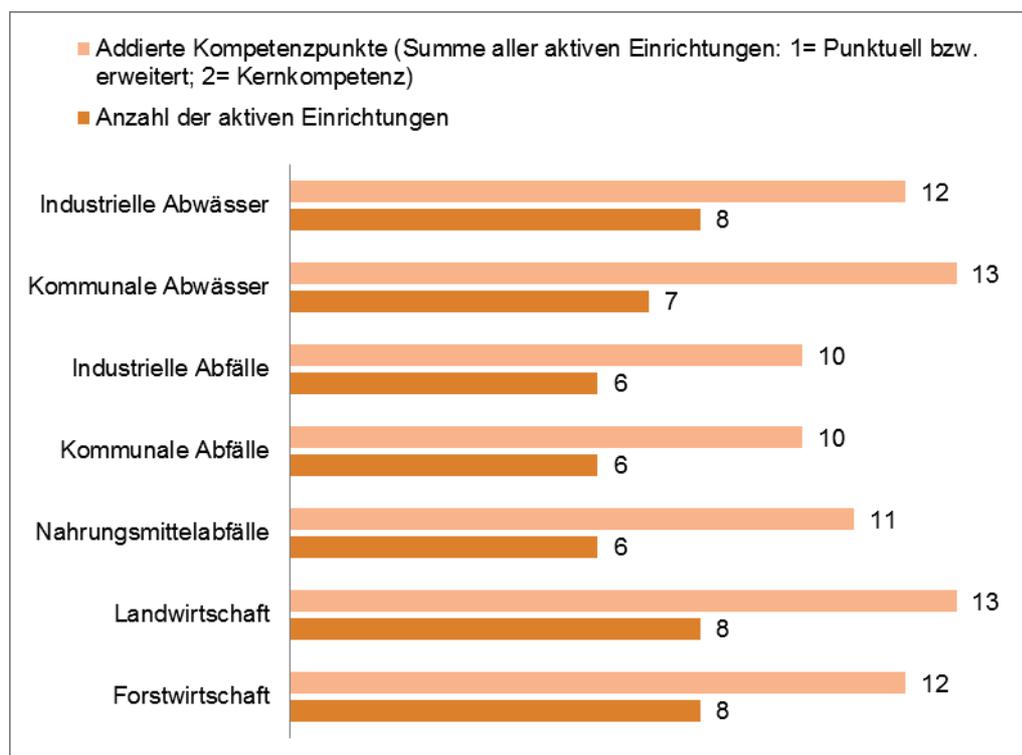


Abbildung 4-5: Grafische Darstellung der Kompetenzen im Bereich Biogene Reststoffe in Baden-Württemberg

4.2 Forschung für Produkte und Verwertung (Nachfrageseite)

4.2.1 Nahrungsmittelproduktion

In Baden-Württemberg werden vorrangig an vier Institutionen, der **Universität Hohenheim**, dem **Max Rubner-Institut (MRI; Bundesforschungsinstitut für Lebensmittel und Ernährung)**, dem **KIT** und dem **Fraunhofer IGB** eine Vielzahl an Forschungsprojekten zu den Themen Lebensmittelherstellung und -verarbeitung, Lebensmittelsicherheit und -qualität, Lebensmittelchemie, Lebensmittelensorik, Lebensmittelanalytik, Biologische Chemie und Ernährungswissenschaft, Biofunktionalität, Nutrigenomics, Ernährungsmedizin und

Prävention, Immunologie, Diätetik, Ernährungsphysiologie und Verbraucherwissenschaft durchgeführt. Mit 21 Professuren in sechs Instituten ist die **Universität Hohenheim** im Themenfeld Nahrungsmittelproduktion die forschungs- und lehrintensivste Institution in Baden-Württemberg. Die Bearbeitung von ernährungsrelevanten Themen hat dort eine lange Tradition.

Mit rund 164 Angestellten und einem jährlichen Drittmittelvolumen von rund drei Mio. Euro ist das Institut für Lebensmittelwissenschaften und Biotechnologie bei der Einwerbung von Fördergeldern besonders erfolgreich. Als nationale und transnationale Fördermittelgeber dienen dabei hauptsächlich DFG, BMBF, BMELV/BLE¹⁰, BMELV/FNR, BMWi¹¹, BMWi/AiF¹², BMU¹³, DAAD¹⁴ und die EU. Mit rund 100 festen Mitarbeitern und einem Drittmittelvolumen von ca. 1 Mio. Euro aus vor allem DFG finanzierten grundlagenorientierten Projekten im Bereich Ernährungswissenschaften tragen das Institut für Biologische Chemie und Ernährungswissenschaften und das Institut für Ernährungsmedizin zum Portfolio der Universität Hohenheim bei. Besonders zu erwähnen ist das gemeinsame Engagement der Universität Hohenheim, des Max Rubner-Instituts und der Technischen Universität München in einem neuen europäischen Netzwerk „FoodBest“, das an der Etablierung einer Food KIC (Knowledge and Innovation Community) im Bereich Lebensmittel und Ernährung arbeitet. Mit dem Hauptsitz in Karlsruhe ist das **MRI** an vier Standorten (Karlsruhe, Kiel, Detmold und Kulmbach) angesiedelt. Es betreibt mit rund 650 Mitarbeitern, darunter ca. 200 Wissenschaftlern, Forschung und Politikberatung im Bereich des gesundheitlichen Verbraucherschutzes im Ernährungsbereich. Heute werden am Standort Karlsruhe in den vier Instituten für Ernährungsverhalten, Lebensmittel- und Bioverfahrenstechnik, Physiologie und Biochemie der Ernährung sowie Sicherheit und Qualität bei Obst und Gemüse in ausgedehnten und hervorragend ausgestatteten Technikums- und Laboranlagen sowohl Untersuchungen zur Herstellung und Verarbeitung sowie zur Sicherheit und Qualität von Lebensmitteln als auch aufwendige diätetische Interventionsstudien sowie epidemiologische und sozialwissenschaftliche Verbraucherforschung durchgeführt. Das MRI ist ebenso wie die Universität Hohenheim Gründungsmitglied von Food-DACH, einer Dachorganisation für Deutschland, Österreich und die Schweiz, in der die wissenschaftliche und industrielle Expertise in Lebensmittelherstellung und -verarbeitung sowie Ernährung gebündelt wird. Am **KIT** wird an zwei Instituten in vier Fachgebieten intensiv Forschung und Lehre in den Bereichen der Lebensmittelchemie (drei Professuren, ca. 55 feste Mitarbeiter) und der Lebensmittelverfahrenstechnik (eine Professur, ca. 40 Mitarbeiter) betrieben. Besonders drittmittelstark ist dabei der Bereich I des Instituts für Bio- und Lebensmitteltechnik, in dem mit

¹⁰ Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung

¹¹ Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie

¹² Allianz Industrie Forschung

¹³ Bundesministerium für Umwelt

¹⁴ Deutscher Akademischer Austauschdienst

jährlich rund zwei Mio. Euro drittmittelfinanzierte, industrienaher Forschungsprojekte durchgeführt werden. Schließlich wurden im Fraunhofer IGB vor allem in den letzten Jahren verstärkt Forschungsarbeiten zur Lebensmittelverarbeitung und ernährungswissenschaftliche relevante Forschungsprojekte oft in Zusammenarbeit mit den zwei oben genannten universitären Einrichtungen durchgeführt. Aufgrund der starken EU-Aktivitäten und der exzellenten internationalen Vernetzung des Fraunhofer IGB, u. a. zum mittelständisch geprägten Lebensmittelmaschinen- und apparatebau, werden damit insbesondere europäische Verbund- und technische Transferprojekte vorangetrieben.

Abbildung 4-6 zeigt die Anzahl und die Kompetenzen der in den verschiedenen Bereichen der Nahrungsmittelproduktion in Baden-Württemberg aktiven Institutionen.

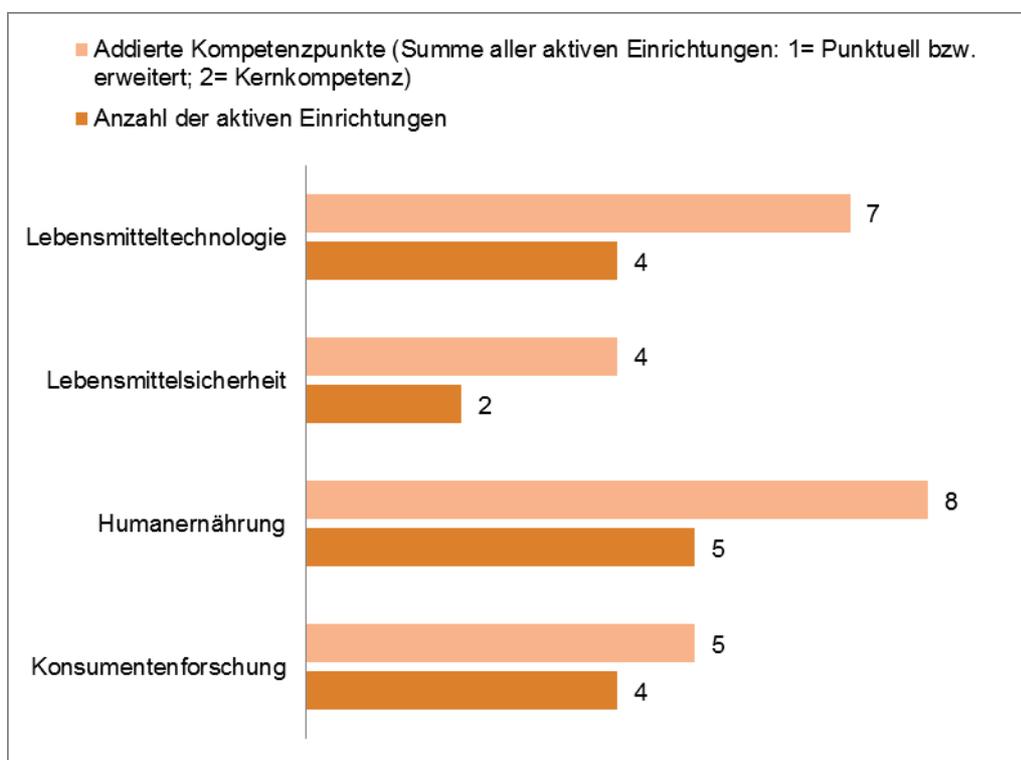


Abbildung 4-6: Grafische Darstellung der Kompetenzen im Bereich Nahrungsmittelproduktion in Baden-Württemberg

4.2.2 Stoffliche Nutzung

An verschiedenen Themenstellungen zur stofflichen Nutzung von lignozellulosehaltiger Biomasse arbeiten an den Universitäten in Baden-Württemberg zurzeit bereits mehr als 23 verschiedene Arbeitsgruppen, von denen vier speziell in den Ingenieurwissenschaften und sechs in der Chemie angesiedelt sind. Zu nennen sind hier vor allem die **Universitäten in Hohenheim, Konstanz, Stuttgart, Tübingen und Ulm** sowie das **Karlsruher Institut für Technologie KIT** und das **Fraunhofer IGB** mit insgesamt acht Arbeitsgruppen im Umfeld der bioliq[®]-Anlage. Im Bereich der Biotechnologie liegen die Forschungsthemen konkret auf bioaktiven Verbindungen und mikrobiellen

Wirkstoffen, dem mikrobiellen Zuckerstoffwechsel, Biopolymersynthesen, der Lipidbiotechnologie, der Herstellung von einfachen Monomer-Bausteinen, von Riech- und Aromastoffen sowie von neuartigen Hybridmaterialien. In den verschiedenen Arbeitsgruppen werden dafür *Escherichia coli*, *Pseudomonas sp.*, *Clostridium sp.*, *Corynebacterium glutamicum*, Cyanobakterien, Streptomyce-ten sowie verschiedene Hefen und Pilze eingesetzt. Themenschwerpunkte in der Chemie liegen auf der Synthese und Charakterisierung neuartiger Biopolymere und Fasern sowie auf der Synthesechemie auf Basis nachwachsender Rohstoffe. In den Ingenieurwissenschaften konzentriert man sich auf Fragestellungen zu Prozessmodellierung, Bioprozessentwicklung und prozessintegrierten Aufbereitungsverfahren.

Die relativ hohe Zahl von Arbeitskreisen in Baden-Württemberg entspricht in etwa der, die am renommierten Joint BioEnergy Institute, USA, arbeiten, wobei die Forschungsthemen in Baden-Württemberg sehr viel diverser angelegt sind. Auch die Geldgeber sind hier mit BMBF, BMELV, AiF, DBU¹⁵ und DFG ebenfalls sehr unterschiedlich. Einige der Arbeitsgruppen sind national und international bereits gut vernetzt und auch aktiv an EU-Projekten beteiligt. Die Anzahl an Kooperationen mit Industriepartnern innerhalb Deutschlands und der EU ist ebenfalls bemerkenswert, wobei allerdings die Vernetzung der Gruppen innerhalb Baden-Württembergs bisher noch wenig ausgeprägt ist. Ausbaufähig sind daher die fachübergreifende Zusammenarbeit und eine ganzheitliche, zugleich aber auch integrierte Betrachtung der einzelnen, oben genannten Wertschöpfungsketten.

Neben der Förderung der Entwicklung neuer Methoden ist insbesondere auch die zielgerichtete Forschung an der Weiterverarbeitung von Lignozellulosefraktionen und der daraus gewinnbaren Bausteine zu neuen innovativen Produkten anzustreben. Um diese Herausforderungen anzugehen und um die Vernetzung der verschiedenen Arbeitsgruppen in Baden-Württemberg zu stärken, haben sich daher im Bereich der Biotechnologie bereits Wissenschaftler aus den Universitäten Ulm, Tübingen und Stuttgart sowie vom KIT in Karlsruhe zu einem Forschungscluster zusammengefunden, aus dem zukünftig gemeinsame Forschungsprojekte bei der DFG und der EU initiiert werden sollen. Die Kompetenzen der Teilnehmer erlauben die Bearbeitung der nachhaltigen und effizienten Umwandlung von Rohstoffen in Wertprodukte. Die an ausgewählten Modellsystemen aufzuzeigenden neuen Syntheserouten zeichnen sich dadurch aus, dass sie hinsichtlich Produktionskosten, Nutzung der Rohstoffe, Erzeugung von Abfall und Emissionen und ihres Risikopotenzials deutlich günstiger als herkömmliche Verfahren sein sollen. Auch in der Ausbildung werden dabei begleitend neue Konzepte angestrebt. Die Doktoranden, die an diesen Projekten mitarbeiten, sollen nicht nur Experten auf ihrem Fachgebiet werden, sondern auch interdisziplinäres Arbeiten und das Zusammen-

¹⁵ Deutsche Bundesstiftung Umwelt

spiel von Grundlagen, Anwendung und Ökoeffizienz kennenlernen und so eine vielfältige und zukunftssträchtige Qualifikation erhalten.

Abbildung 4-7 zeigt die Anzahl und die Kompetenz der in den verschiedenen Bereichen der stofflichen Nutzung in Baden-Württemberg aktiven Institutionen.

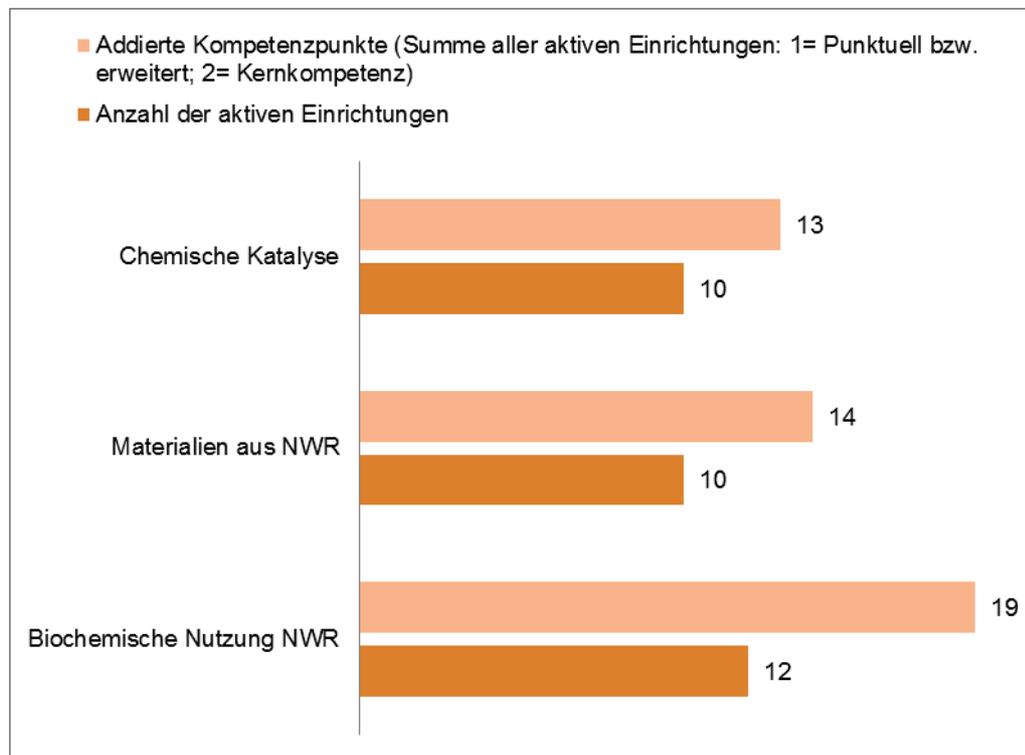


Abbildung 4-7: Grafische Darstellung der Kompetenzen im Bereich Stoffliche Nutzung (Chemikalien und Materialien) in Baden-Württemberg

4.2.3 Energetische Nutzung

Bereits aus der Historie seiner Forschungseinrichtungen heraus ist Baden-Württemberg im Bereich der Biomasseerzeugung und Brennstofftechnik hervorragend positioniert. Stellvertretend für die vielfältigen Beiträge der Landwirtschaft zur Energie- und Rohstoffversorgung sei die agrarwissenschaftlich orientierte **Universität Hohenheim** genannt. Brennstoff- und Energietechnik sind in verschiedenen Einrichtungen des **KIT**, z. B. am Engler-Bunte-Institut (EBI), aber auch am Institut für Feuerungs- und Kraftwerkstechnik (IFK) der **Universität Stuttgart** traditionell verankert. Die auf diesem Gebiet hohe Dichte von **Fraunhofer-Instituten** in Baden-Württemberg bringt die ihr eigene starke Anwendungsorientierung ein. Daher sind diese Einrichtungen und andere im Bereich der energetischen Nutzung von Biomasse tätigen Forschungsgruppen bereits heute gut vernetzt. Mit Förderung des MLR hat sich die **Bioenergieforschungsplattform** als Netzwerk der Universitäten Stuttgart und Hohenheim, des KIT, der Hochschulen für angewandte Wissenschaften Rottenburg und Reutlingen und des Zentrums für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW) gebildet. Schwerpunkt dieses

Forschungsnetzwerkes ist die Erzeugung und Nutzung von Gas aus Biomasse, vor allem in Hinblick auf die Erzeugung von flexibel nutzbaren Gasen.

Die Schwerpunkte der derzeitigen Arbeiten im Bereich der energetischen Nutzung lassen sich wie folgt darstellen:

Produktion und Bereitstellung von Biomasse zur energetischen Nutzung sowie Optimierung der Biomassequalität hinsichtlich energetischer Nutzung.

Biomasse zur energetischen Verwertung kann schwerpunktmäßig aufgeteilt werden in Energiepflanzen und Reststoffe aus der Landwirtschaft, Waldholz und Waldrestholz sowie Algen. Diese drei Bereiche werden von folgenden Universitäten und Forschungseinrichtungen Baden-Württembergs beforscht, wobei die genannten Einrichtungen EU-weit führend in diesen Bereichen sind:

- Biomasse aus der Landwirtschaft: Universität Hohenheim (Institut für Kulturpflanzenwissenschaften) und Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen (Institut für angewandte Agrarforschung)
- Biomasse aus der Forstwirtschaft: Albert-Ludwigs-Universität Freiburg (Fakultät für Forst- und Umweltwissenschaften) und Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg
- Mikroalgen: Fraunhofer IGB, Institut für Grenzflächenverfahrenstechnik und Plasmatechnologie (IGVP) der Universität Stuttgart und KIT (Institut für Bio- und Lebensmitteltechnik, Institut für Hochleistungsimpuls- und Mikrowellentechnik)

Biogastechnologie

Biogasforschung hat eine lange Tradition in Baden-Württemberg. Bereits in den 80er-Jahren wurde das erste Labor zur Durchführung kontinuierlicher Gärtests an der Universität Hohenheim errichtet. Inzwischen verfügt das Biogaslabor der Hohenheimer Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie über mehr als 500 Fermenter, welche ein Nutzvolumen von bis zu 400 Litern aufweisen. Auf der Versuchsstation Unterer Lindenhof der Universität Hohenheim wurde im Jahr 2008 eine deutschlandweit einmalige Forschungsbiogasanlage mit einer elektrischen Leistung von 190 kW und einer thermischen Leistung von 220 kW in Betrieb genommen.

Die Vergärung von organischen Reststoffen und die Effizienzsteigerung durch verfahrenstechnische Optimierung der Biogasproduktion werden am Fraunhofer IGB seit vielen Jahren untersucht. So wurde die am IGB entwickelte Hochlastfaulung für Klärschlamm bereits 1994 zum ersten Mal auf einer Kläranlage (Leonberg) realisiert. Seit 2012 betreibt das IGB im Rahmen eines vom BMBF geförderten Verbundprojekts (EtaMax) eine Demonstrationsanlage zur Vergärung von Großmarktabfällen in Stuttgart.

An den verschiedenen Forschungseinrichtungen gibt es mehrere vom BMBF geförderte Verbundprojekte zum Thema Biogas.

Biomassevergasung

Forschung zur Biomassevergasung wird in Baden-Württemberg vor allem am KIT (ITC - Institut für Technische Chemie, IKFT - Institut für Katalysatorforschung und -technologie), Fraunhofer ISE¹⁶ und am ZSW (Fachgebiet Regenerative Energieträger und Verfahren) durchgeführt. Die Forschungseinrichtungen in Baden-Württemberg verfügen über ein in Deutschland einzigartiges Spektrum an Biomasse-Vergasungsanlagen. Neben dem Verfahren mit kleintechnischer stationärer und zirkulierender Wirbelschicht wird auch das für die Herstellung von sauberem Synthesegas entwickelte Flugstromvergasungsverfahren eingesetzt und untersucht. An dieser Stelle seien auch weitere, thermochemische Verfahren zur Umwandlung von Biomasse in feste, flüssige und gasförmige Energieträger genannt, die in Baden-Württembergs Forschungs- und Entwicklungsportfolio zu finden sind. Dazu zählen verschiedene Pyrolysetechnologien zur Umwandlung trockener Biomassen, aber auch die sogenannten hydrothermalen Verfahren, die insbesondere für den direkten Einsatz von nassen, grünen Biomassen geeignet sind.

Am KIT wird mit Partnern aus der Industrie das sogenannte bioliq[®]-Verfahren zur Erzeugung von Synthesekraftstoff aus Biomasse entwickelt (BtL). Dort wird Deutschlands einzige Pilotanlage (2-5 MWth) errichtet und betrieben, bestehend aus einer Anlage zur Schnellpyrolyse, zur Hochdruck-Flugstromvergasung, einer Hochtemperatur-Gasreinigung und einer zweistufigen Kraftstoffsynthese. Zur begleitenden Forschung existiert ein Netzwerk von Partnern inner- und außerhalb Baden-Württembergs z. B. im Rahmen des virtuellen Helmholtz-Instituts HVI GasTech.

Biomasseverbrennung

Auch die Verbrennungstechnologie nimmt in Baden-Württembergs Forschungslandschaft einen breiten, vielgestaltigen Raum ein. Dabei wird sie an sehr unterschiedlichen Standorten beforscht, unter anderem auch an den Hochschulen für angewandte Wissenschaften Reutlingen und Rottenburg, wobei der auch international sichtbare Schwerpunkt der Forschung zur Biomasseverbrennung beim IFK der Universität Stuttgart liegt. Das IFK Stuttgart kann eine über 20-jährige Forschungskompetenz auf dem Gebiet „Thermische Biomassenutzung“ mit Schwerpunkten wie Verbesserung der Biomassenutzung hinsichtlich Effizienz und Schadstoffausstoß, Entwicklung von Brennerkonzepten zur Verwertung von niederkalorischen Gasen und flüssigen Brennstoffen sowie der Mitverbrennung von Biomasse zur Stromerzeugung in Koh-

¹⁶ Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme

lekraftwerken aufweisen. Es verfügt über halbtechnische Versuchsanlagen zur Staubfeuerung (500 kWth) und Wirbelschichtverbrennung (200 kWth) sowie ein eigenes Brennstofflabor.

Das Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER) der Universität Stuttgart arbeitet in einer Reihe von EU-Projekten mit und kooperiert mit unterschiedlichen nationalen und internationalen Partnern und Privat-Unternehmen aus der Energiebranche.

Am KIT (ITC) werden die Versuchsanlagen TAMARA (1 MWth) und BRENDA (2 MWth) zur Rost- und Staubverbrennung betrieben. Weitere Schwerpunkte sind die Charakterisierung und Beobachtung von Verbrennungsvorgängen sowie die Reinigung von Verbrennungsgasen.

Im Bereich der Verbrennungstechnologie für Biomasse in Kleinfeuerungsanlagen liegen die Hauptforschungsaktivitäten beim IFK Stuttgart, welches mit einem Kleinfeuerungsversuchsstand sowie einem Technikum zur Untersuchung von Stückholzkesseln und Kaminfeuerungen ausgestattet ist. Hierbei wird vor allem an der Emissionsminderung von Kleinfeuerungen für Biomassebrennstoffe gearbeitet.

Herstellung von Bioethanol

Die Universität Hohenheim (Institut für Lebensmittelwissenschaft und Biotechnologie, Fachgebiet Gärungstechnologie) verfügt über eine Versuchs- und Lehrbrennerei, in der neben Verfahren zur effizienten Ethanol-Herstellung aus stärke- und zuckerhaltiger Biomasse auch Methoden zur Erzeugung von Ethanol aus lignozellulosehaltiger Biomasse entwickelt werden.

Am Fraunhofer IGB und am IGVP der Universität Stuttgart wird an der Entwicklung von neuen Produktionsstämmen und Verfahren zur fermentativen Herstellung von Ethanol aus Lignozellulose gearbeitet.

Energiewirtschaftliche Systemanalyse

Energiewirtschaftliche Systemanalysen in Bezug auf die Nutzung von Biomasse, Ökobilanzen sowie Untersuchungen zur Technikfolgenabschätzung und Umweltanalysen werden am IER und ITAS (Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse) durchgeführt. Dort werden Modelle und entscheidungsunterstützende Instrumente für die Energiewirtschaft und Energiepolitik entwickelt.

Einen Überblick über Studiengänge, welche in Baden-Württemberg zu Regenerativen Energien angeboten werden, bietet die Internetseite „www.studium-erneuerbare-energien.de“. Besonders hervorzuheben sind für den Bereich der energetischen Nutzung von Biomasse folgende Studiengänge:

- Nachwachsende Rohstoffe und Bioenergie (B.Sc., M.Sc) – Universität Hohenheim
- Bioenergie (B.Sc.) – Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg
- Erneuerbare Energien (B.Sc.) – Universität Stuttgart
- Renewable Energy Management (M.Sc.) – Universität Freiburg
- Energy Technologies (ENTECH) (M.Sc.) – KIT

Abbildung 4-8 zeigt die Anzahl und die Kompetenzen der in den verschiedenen Bereichen der energetischen Nutzung in Baden-Württemberg aktiven Institutionen.

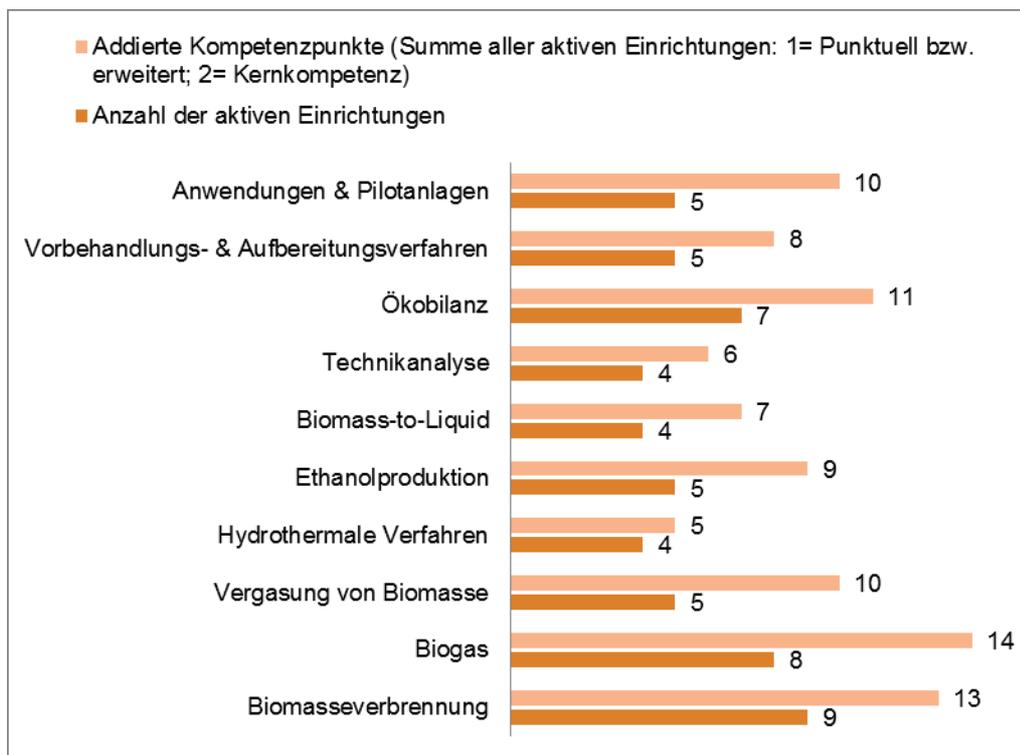


Abbildung 4-8: Grafische Darstellung der Kompetenzen im Bereich Energetische Nutzung in Baden-Württemberg

4.3 Forschung zu ökologischen, gesellschaftlichen, ethischen, und ökonomischen Aspekten (Querschnittsfelder)

4.3.1 Biodiversität

Die Rohstoffe für eine biobasierte Ökonomie werden in der Land- und Forstwirtschaft produziert. Die Erzeugung der entsprechenden Rohstoffe hat somit großflächige Auswirkungen auf Umweltqualitäten und insbesondere auch die Biodiversität. Landnutzung bleibt der bestimmende Faktor für Biodiversitätsverluste. Die Biodiversität kann insbesondere durch die Art der angebauten Pflanzen, Maßnahmen zur Steigerung der Bewirtschaftungseffizienz (Schlaggrößen), Melioration (Entwässerung, Düngung), Behandlungsmaßnahmen

(Pflanzenschutz), die Häufigkeit und Intensität der durch die Ernte bedingten Störungen sowie andere Modifikationen der Ökosysteme beeinträchtigt werden. In den Wäldern, die großflächig als natürliche und halb-natürliche Ökosysteme für den Schutz der einheimischen Biodiversität von besonderer Bedeutung sind, spielt die Wahl der Baumarten, die Struktur der Waldbestände sowie die Intensität der Biomasseernte für den Schutz der Biodiversität eine besondere Rolle. In jüngerer Zeit wurden z. B. zunehmend mehr Totholz und Habitatbäume im Wald belassen, um die Populationen vieler inzwischen seltener und geschützter Arten besser erhalten zu können. In den landwirtschaftlichen Kulturen spielen insbesondere der Pflanzenschutz (Ackerkulturen), die Schnitthäufigkeit (Grünland), die Düngung (Ackerkulturen und Grünland) sowie die Belassung halbnatürlicher Elemente und Strukturierung der Agrarlandschaft eine wichtige Rolle für die realisierte biologische Vielfalt.

Neben der Vermeidung oder Minimierung möglicher Beeinträchtigungen der Biodiversität ist eine wichtige Forschungsfrage, wie im Sinne von Ökosystemdienstleistungen die Biodiversität eingesetzt werden kann, um nachhaltige und sich möglichst weitgehend selbsttragende Produktionssysteme zu gestalten. Fragen zu den Auswirkungen der Bewirtschaftungsintensität und Fragen zur Funktion von Biodiversität für die Bereitstellung von Ökosystemfunktionen und Dienstleistungen werden für Wald- und Grünlandlebensräume gezielt in den durch die DFG eingerichteten Biodiversitätsexploratorien untersucht. Eines der drei Biodiversitätsexploratorien in Deutschland liegt auf der schwäbischen Alb und wird von der **Universität Ulm** betreut. Von den Universitäten Baden-Württembergs beteiligen sich verschiedene Forschergruppen mit Projekten (in Reihenfolge der Anzahl an Projekten: Freiburg, Ulm, Hohenheim, Tübingen) in diesem Schwerpunktprogramm. Die hier entwickelten Ansätze bieten eine gute Grundlage, um ähnliche Forschungsfragen in anderen Landschaftskontexten zu analysieren.

Für den Bereich der **waldbezogenen Biodiversitätsforschung** bestehen am Standort **Freiburg** hervorragende natur- und sozialwissenschaftliche Kompetenzen. Neben der Fakultät für Umwelt und natürliche Ressourcen (z.B. deutschlandweit einzige Professur im Bereich Wildtierökologie) gibt es Arbeitsgruppen in der Fakultät für Biologie und in der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (z. B. Kompetenzzentrum für Waldnaturschutz). Diese drei Einrichtungen bereiten derzeit ein Graduiertenkolleg zum Thema „Biodiversitätsschutz im Wald“ vor. Ein weiterer Schwerpunkt fokussiert die Auswirkungen des Klimawandels auf die Biodiversität. Auch an der **Hochschule Rottenburg** werden Projekte zur Auswirkung der Energieholznutzung auf die Biodiversität durchgeführt.

An der **Universität Konstanz** besteht ein Schwerpunkt im Bereich der Erforschung aquatischer Biodiversität und invasiver Arten. Schwerpunkte der Biodiversitätsforschung an der **Universität Heidelberg** sind die genetische Diversität sowie die ökonomische Bewertung von Biodiversität. An der **Universität Tübingen** wird neben ökologischer Grundlagenforschung zur Natur-

schutzbiologie, zur genetischen Diversität und zu ethischen Aspekten der Inwertsetzung von Biodiversität geforscht sowie zur nachhaltigen Landnutzung unter globalem Wandel (Klimawandel und invasive Arten).

An der **Universität Hohenheim** gibt es im Bereich der Landschaftsökologie und Vegetationskunde einen Arbeitsschwerpunkt zu Landnutzung und biologischer Vielfalt (Biomassekulturen der Zukunft aus Naturschutzsicht, Streuobst, artenreiches Grünland) sowie in der Bodenbiologie zur Diversität von Mikroorganismen in Grünlandböden. In der Grünlandforschung werden Nutzungskonzepte und Nutzungsmöglichkeiten für FFH-Flachlandmähwiesen entwickelt.

Während Baden-Württemberg in der waldbezogenen Biodiversitätsforschung gut aufgestellt ist, sind die Kapazitäten im landwirtschaftlichen Bereich bisher nicht vergleichbar entwickelt. Sektorübergreifende, inter- und transdisziplinäre Forschungsansätze kommen bisher eher selten zur Anwendung. Diese sind jedoch gerade für eine umfassende Bewertung von neuen und möglicherweise intensiveren Produktionssystemen im Rahmen einer biobasierten Ökonomie von grundlegender Bedeutung, um die Auswirkungen einer für den Ausbau der Verwendung von Biomasse erforderlichen Nutzungsintensivierung auf die Nachhaltigkeit des Gesamtsystems beurteilen zu können.

Abbildung 4-9 zeigt die Anzahl und die Kompetenzen der in den verschiedenen Bereichen der Biodiversitätsforschung in Baden-Württemberg aktiven Institutionen.

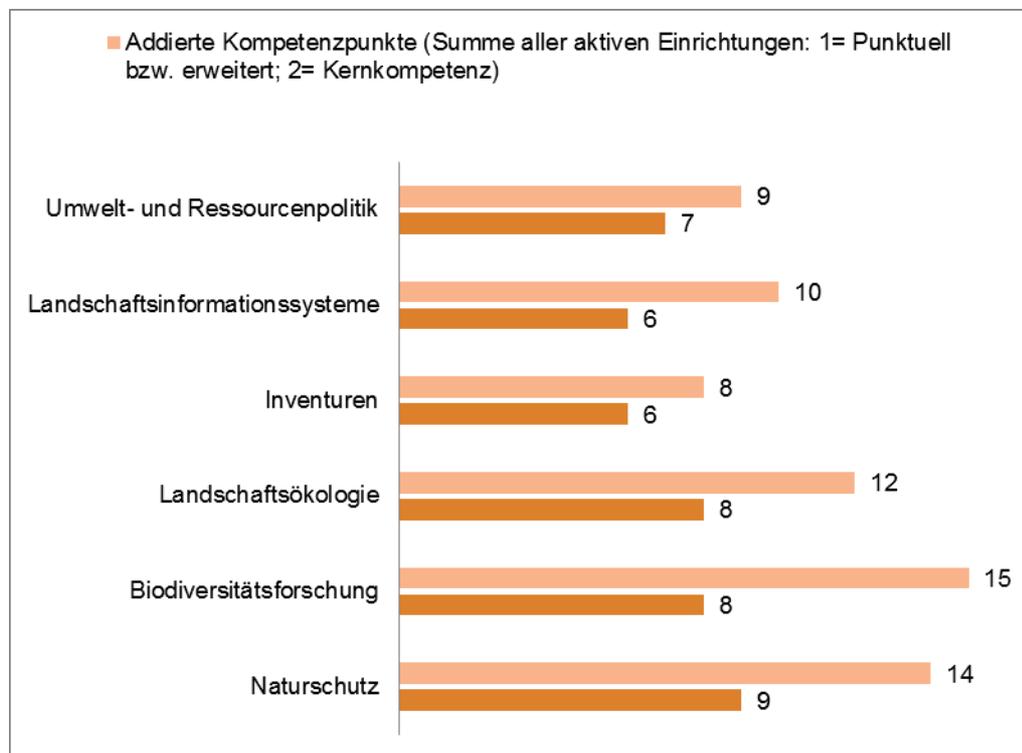


Abbildung 4-9: Grafische Darstellung der Kompetenzen im Bereich Biodiversität in Baden-Württemberg

4.3.2 Wasser- und Bodenschutz

In Baden-Württemberg hat das Thema Wasser aufgrund der zahlreichen Anwendungsfelder, von der Wasserversorgung über die Schifffahrt bis hin zur Ökologie, traditionell einen hohen Stellenwert in Forschung, Lehre und Beratung der Landesuniversitäten, Hochschulen für angewandte Wissenschaften und außeruniversitären Forschungsinstitutionen. Die Schwerpunkte der Wasserforschung in Baden-Württemberg liegen auf der Wasserwirtschaft und Siedlungswasserwirtschaft, der (Trink-)Wasserqualität, Technologien zur Wasseraufbereitung, der Grundwasserforschung (Hydrogeologie, Hydrogeochemie, Altlastensanierung), der Einzugsgebietshydrologie, der Flusshydraulik mit Sedimenttransport und der prozessbasierten Modellierung von Wasserressourcen.

Am **KIT** und der **Universität Stuttgart** werden die ingenieurwissenschaftlichen Aspekte des Wasserkreislaufes untersucht und gelehrt. Dieses beinhaltet die Gebiete Wasserver- und -entsorgung, Wasserkraft und Hydrologie. Die Institute mit mehr als zehn Professoren sind landesweit und teilweise weltbekannt. Die ingenieurwissenschaftliche Ausbildung erfolgt in den Studiengängen Bauingenieurwesen (KIT, US), Umweltschutztechnik (US), Chemieingenieurwesen (KIT) und Water Resources Engineering and Management (US). Darüber hinaus findet wasserbezogene Lehre in mehreren naturwissenschaftlichen Studiengängen (Angewandte Geowissenschaften, Geoökologie) am KIT statt. Der Standort Karlsruhe profitiert vom **Technologiezentrum Wasser** (TZW) des Deutschen Verbands des Gas- und Wasserfachs (DVGW) sowie der **DVGW-Forschungsstelle** am Engler-Bunte-Institut, die sich eingehend mit allen Aspekten der Trinkwasseraufbereitung befassen.

Die **Universität Freiburg** hat eine lange Tradition im Bereich Hydrologie. Hier werden BSc- und MSc-Studiengänge in Hydrologie und Umweltnaturwissenschaften angeboten. Die Schwerpunkte der Forschung und der Lehre liegen auf den naturwissenschaftlichen Grundlagen des Wasserkreislaufes.

Die **Universität Konstanz** ist entsprechend ihrer Lage hauptsächlich im Bereich Limnologie (Seenkunde) tätig. Das Limnologische Institut ist international bekannt und auf die Forschung am Bodensee konzentriert.

Die Wasserforschung an der **Universität Tübingen** erfolgt am Zentrum für Angewandte Geowissenschaften (ZAG) mit Schwerpunkten in der Grundwasserforschung (Hydrogeochemie, Hydrogeologie, Umweltanalytik, Umweltmineralogie und -chemie, Geomikrobiologie) sowie am Institut für Evolution und Ökologie mit Schwerpunkten auf Wasser in der Vegetation (Vegetationsökologie) und Ökotoxikologie aquatischer Systeme (physiologische Ökologie der Tiere und Transferzentrum für Ökotoxikologie und Ökophysiologie). Die Universität Tübingen beheimatet den Kompetenz-Cluster Water-Earth-System-Science (WESS) der Universitäten Hohenheim, Stuttgart, Tübingen und dem Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ).

Die prozessorientierte bodenkundliche Forschung erfolgt in Baden-Württemberg an den **Universitäten Hohenheim** (Institut für Bodenkunde und Standortslehre), **Freiburg** (Institut für Bodenökologie) und **Heidelberg** (Institut für Umweltphysik) sowie an einigen geographischen Instituten (Tübingen, Karlsruhe, Heidelberg). Entsprechend der Ausrichtung liegt der Schwerpunkt in Hohenheim stärker auf landwirtschaftlichen Böden und in Freiburg auf Forstböden. Die Bodenkunde in Hohenheim befasst sich stark mit dem Wasser- und Stoffhaushalt im Boden-Vegetation-Atmosphäre-Kontinuum und ist am Kompetenz-Cluster WESS beteiligt.

Für die Bioökonomie ist vornehmlich die Wasser- und Bodenforschung relevant, die sich mit den Auswirkungen der Landnutzung auf den Wasserhaushalt, die Funktionalität von Böden und die Wasserqualität befasst. Hierzu wird an baden-württembergischen Universitäten bereits seit Mitte der 80er-Jahre – zum Teil mit starker Förderung durch das Land – geforscht. Insbesondere aber im DFG-Schwerpunktprogramm „Schadstoffe im Grundwasser“ (Koordination durch die Universität Stuttgart), im Projekt Wasser-Abfall-Boden (u.a. Einrichtung des Testfeldes Horkheimer Insel durch die Universitäten Stuttgart und Hohenheim) und seinem Nachfolgeprojekt BWPLUS, im Weiherbach-Projekt der damaligen Universität Karlsruhe, im BMBF-Projekt Globaler Wandel GLOWA-Danube, im EU-FP6-Projekt AquaTerra (etwa 50 Partner, Koordination durch die Universität Tübingen) sowie in den WESS-Untersuchungen in den Einzugsgebieten rund um Tübingen. Bioökonomisch relevante Fragestellungen betreffen den Eintrag von Nitrat und Pflanzenschutzmitteln in das Grundwasser in Abhängigkeit der Landnutzung, der Bodenerosion auf landwirtschaftlich intensiv genutzten Flächen und dem Eintrag von Nährstoffen (neben Nitrat auch Phosphor) und Pflanzenschutzmitteln in Oberflächengewässer.

Zur Bearbeitung dieser Fragen besteht an den Wasser- und Bodenforschungsinstituten der Landesuniversitäten Kompetenz und Erfahrung, namentlich an den Universitäten Karlsruhe, Stuttgart, Hohenheim und Tübingen. Insbesondere WESS hat sich zum Ziel gesetzt, Stoffflüsse auf Einzugsgebietsmaßstab zu quantifizieren und zu modellieren. Die prozessorientierte Erforschung der Wasser- und Bodenqualität erfolgt jedoch traditionell entkoppelt von der agrartechnischen und agrarökonomischen Forschung. Eine Ausnahme stellt hierbei das GLOWA-Danube Projekt dar, in dem agrarökonomische Modelle mit physikalisch basierten Wasser- und Stofftransportmodellen für das Donau-Einzugsgebiet gekoppelt wurden.

Abbildung 4-10 zeigt die Anzahl und die Kompetenzen der in den verschiedenen Bereichen des Wasser- und Bodenschutzes in Baden-Württemberg aktiven Institutionen.

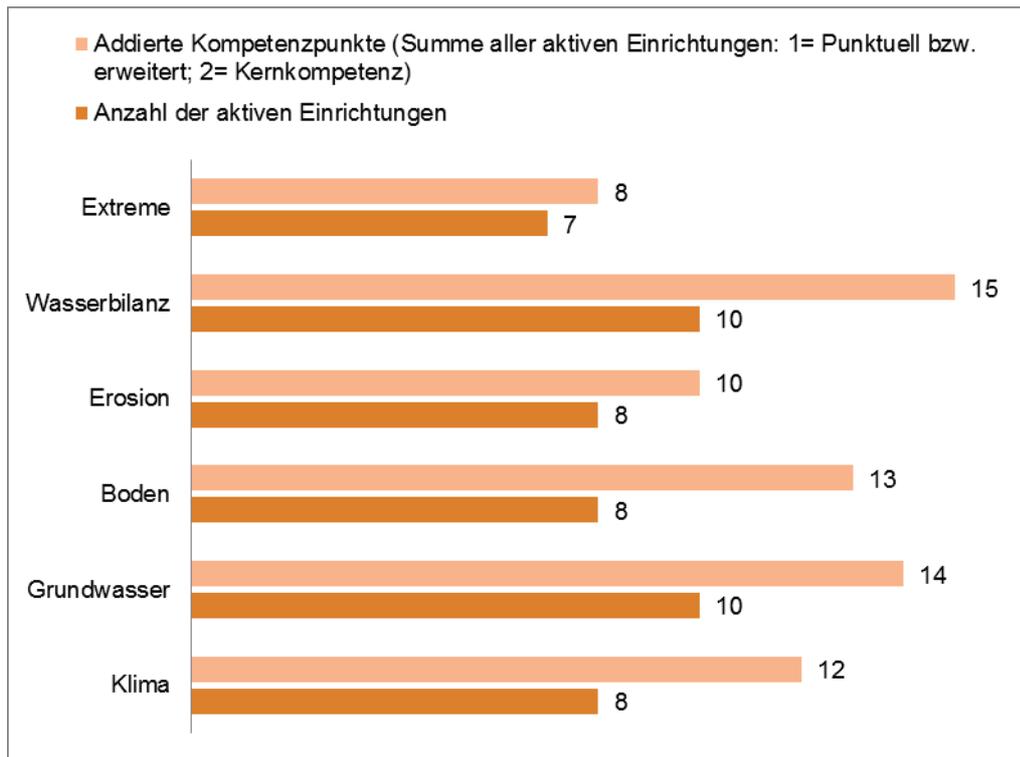


Abbildung 4-10: Grafische Darstellung der Kompetenzen im Bereich Wasser- und Bodenschutz in Baden-Württemberg: beteiligte Institutionen und deren Kompetenz

4.3.3 Ethik

Für die Bioökonomie sind zahlreiche, bereits gut etablierte Bereichsethiken der anwendungsbezogenen Ethik relevant. Hierzu gehören insbesondere die Ethik der Nachhaltigkeit, die Umwelt- und Naturethik, die Ökologische Ethik, die Klimaethik, die Tierethik, die Ethics of Food and Nutrition und die Ethik der Gentechnik. Weiterhin sind zahlreiche Querschnittsethiken für die Bioökonomie einschlägig, wie die Technikethik, die Risikoethik, die Ethik globaler Herausforderungen und die Wirtschaftsethik. Für diese Bereichs- und Querschnittsethiken gibt es an den Universitäten des Landes zahlreiche Kompetenzen und viel Potenzial. An einigen dieser Universitäten sind die genannten Ethiken konzentriert bzw. exponiert vertreten.

Das bereits 1990 gegründete Internationale Zentrum für Ethik in den Wissenschaften (IZEW), ehemals Interfakultäres Zentrum für Ethik in den Wissenschaften) der **Universität Tübingen** ist das älteste Ethikzentrum in Deutschland, das sich mit der ganzen Bandbreite anwendungsorientierter Ethik befasst. Die für die Ethik der Bioökonomie einschlägigen Bereichs- und Querschnittsethiken sind am IZEW seit langem Schwerpunkte der Forschung. Am IZEW ist auch der Arbeitsbereich „Natur und Nachhaltige Entwicklung“ angesiedelt. Neu eingeworben wurde für die Universität Tübingen eine MWK/IQF-Förderung zur Entwicklung eines „Tübinger Kompetenzzentrums Nachhaltige Entwicklung / Tübingen School for Sustainability“. Am Lehrstuhl für Ethik in den Biowissenschaften der Universität Tübingen, dem deutschlandweit einzi-

gen Lehrstuhl mit dieser Denomination, der in einem Fachbereich für Biologie angesiedelt ist, sind zahlreiche der für die Bioökonomie relevanten Bereichsethiken in Forschung und Lehre vertreten. Der Lehrstuhl ist unter anderem an den BSc- und MSc-Studiengängen in der Biologie und an den Studiengängen des Philosophischen Seminars beteiligt. Der Lehrstuhl erfüllt damit eine zentrale interdisziplinäre Brückenfunktion zwischen den Wissenschaftskulturen der Natur- und Geisteswissenschaften. Die **Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen** verfügt über eine Koordinationsstelle mit einer Leitungsprofessur Umweltinformation und Umweltethik. Hier werden zahlreiche Projekte zu Themen der Nachhaltigkeit, Biodiversität u.a. durchgeführt. Für die Vermittlung bioökonomierelevanter Bereichsethiken bieten sich die Studiengänge Agrarwirtschaft, Energie- und Ressourcenmanagement, Landschaftsplanung & Naturschutz, Nachhaltiges Produktmanagement, Volkswirtschaft und Umweltschutz (Master) an. Fragen der Ethik und nachhaltigen Entwicklung werden dort auch im Studium generale, das auch Studierenden aller Fächer offen steht, behandelt. Am Philosophischen Seminar der **Universität Mannheim** gibt es seit 2009 einen Lehrstuhl für Philosophie und Wirtschaftsethik, der einen Schwerpunkt in der Klimaethik hat. Studiengänge, die an der Universität Mannheim Bezüge zur Bioökonomie haben, sind das Lehramt sowie der Bachelor- und Masterstudiengang Kultur und Wirtschaft. Der Lehrstuhl für Medizinethik am Institut für Ethik und Geschichte der Medizin der **Universität Freiburg** befasst sich in einem BMBF-Verbundprojekt mit den ethischen, rechtlichen und sozialen Aspekten der Synthetischen Biologie. In einzelnen Studiengängen (BSc und MSc Molekulare Medizin sowie BSc und MSc Biologie) werden in Freiburg auch Kurse angeboten, in denen unter anderem ethische Aspekte der Synthetischen Biologie behandelt werden. Neben den hier ausdrücklich erwähnten Universitäten werden auch an anderen Universitäten bzw. Hochschulen Baden-Württembergs bioökonomierelevante ethische Fragestellungen in Lehre und Forschung bearbeitet, die in der grafischen Darstellung berücksichtigt wurden.

Abbildung 4-11 zeigt die Anzahl und die Kompetenzen der in den verschiedenen Bereichen der bioökonomierelevanten Ethik in Baden-Württemberg aktiven Institutionen.

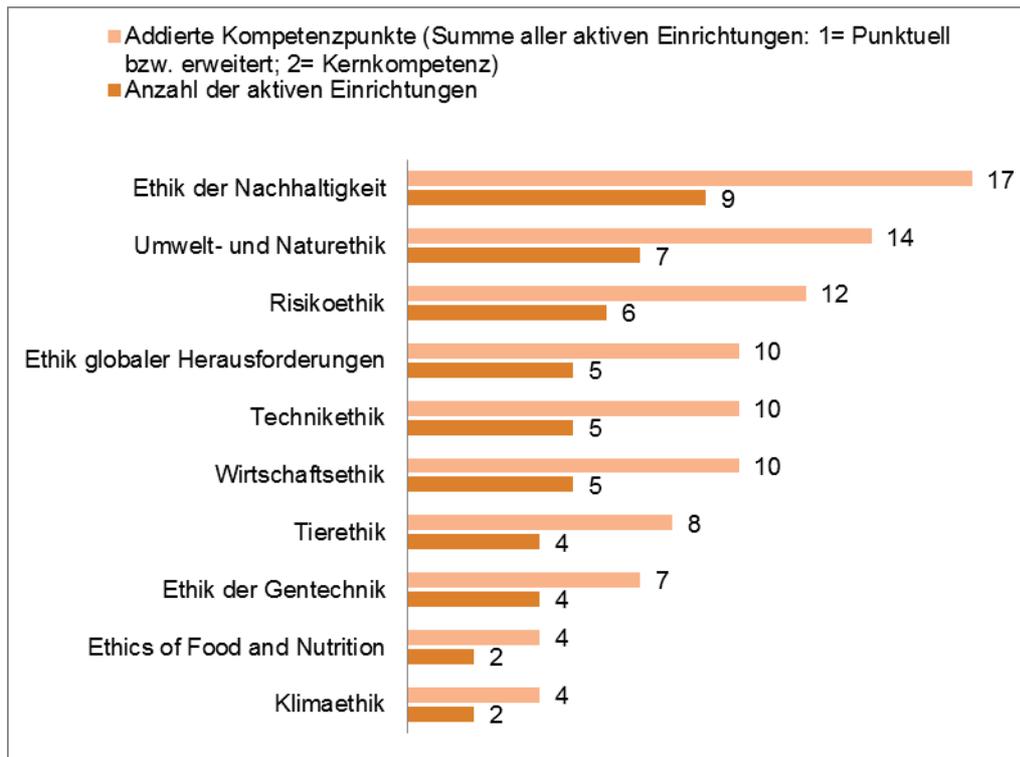


Abbildung 4-11: Grafische Darstellung der Kompetenzen im Bereich der bioökonomie-relevanten Ethikforschung in Baden-Württemberg

4.3.4 Wirtschafts- und Sozialwissenschaften

Eine Reihe von wirtschafts- und sozialwissenschaftlichen Arbeitsgruppen in Baden-Württemberg ist schon heute auf die Bioökonomie ausgerichtet. Konzentrationen finden sich insbesondere an der agrarwissenschaftlichen Fakultät der **Universität Hohenheim**, der größten Agrarfakultät in Deutschland (elf WiSo¹⁷-Professuren), dem Institut für Forstwissenschaften der **Universität Freiburg** (fünf WiSo-Professuren.) sowie im Bereich der Energieökonomik an Universitäten (IER **Universität Stuttgart**, **KIT**) sowie an außeruniversitären Forschungsinstituten (Fraunhofer ISI) und den Hochschulen für angewandte Wissenschaften (Hochschule Furtwangen). Darüber hinaus forschen einzelne Lehrstühle an den wirtschaftswissenschaftlichen Fakultäten Baden-Württembergs zu bioökonomischen Fragen (Universitäten Hohenheim, Stuttgart und Ulm), - ein Potenzial, welches bisher allerdings für den Anwendungsbezug Bioökonomie nur wenig aktiviert ist.

Spezielle, bioökonomiebezogene WiSo-Studiengänge gibt es an der Universität Hohenheim (B.Sc. Agrarwissenschaften mit Vertiefung Wirtschafts- und Sozialwissenschaften, B.Sc. Nachwachsende Rohstoffe; M.Sc. Agricultural Economics, M.Sc. Agribusiness, M.Sc. Nachwachsende Rohstoffe und Bio-

¹⁷ Wirtschafts- und Sozialwissenschaften

energie) sowie an der Universität Freiburg (B.Sc. Waldwirtschaft und Umwelt mit Nebenfach Internationale Waldwirtschaft; M.Sc. Renewable Energy Management, M.Sc. Forstwissenschaften mit Profil Waldwirtschaft). Weiterhin beinhaltet der B.Sc.-Studiengang „Erneuerbare Energien“ an der Universität Stuttgart einige WiSo-Wahlmodule. Die Einführung eines Studiengangs „Bioökonomie“ an der Universität Hohenheim ist für 2014 vorgesehen.

In methodischer Hinsicht ist die Forschung im Bereich der WiSo des Agrar- und Ernährungssektors (Hohenheim) sowie des Forstsektors (Freiburg) in der gesamten Breite besonders ausgewiesen. In Hohenheim besteht ein besonderer Schwerpunkt in der entwicklungslandbezogenen Forschung. Das Zentrum für interdisziplinäre Risiko- und Innovationsforschung (ZIRIUS) an der Universität Stuttgart hat eine führende Stellung in der Risk-Governance-Forschung mit Schwerpunkten auf Gesundheits- und Umweltrisiken.

An verschiedenen Standorten in Baden-Württemberg ist die methodische Kompetenz in der Simulationsmodellierung besonders hoch. Diese Methode ermöglicht eine exakte Abschätzung von Markt- und Technologieentwicklungen und deren Auswirkungen. Viele der Forschergruppen aus Baden-Württemberg gehören hier zur europäischen Spitzengruppe. So zum Beispiel in der gesamtwirtschaftlichen Modellierung (Konsortiumsmitgliedschaft der Universität Hohenheim im Global Trade Analysis Project (GTAP), der Modellierung des Agrarsektors (z. B. Entwicklung des von der Europäischen Kommission geförderten und verwendeten European Simulation Model (ESIM) an der Universität Hohenheim; Mitgliedschaft im europäischen ENgAGE-Konsortium), der Energiesystemmodellierung (z.B. Entwicklung von TIMES¹⁸ panEU an der Universität Stuttgart als eines von zwei führenden Modellen auf europäischer Ebene), wie auch im Bereich der technologie- und stoffstromorientierten Modellierung (z.B. Entwicklung des Carbon flow Model of Germany (CarboMoG) am KIT sowie verschiedener Technologiemodelle am KIT und den Fraunhofer-Instituten.

Abbildung 4-12 zeigt die Anzahl und die Kompetenzen der in den verschiedenen Bereichen der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften in Baden-Württemberg aktiven Institutionen.

¹⁸ The Integrated MARKAL EFOM System

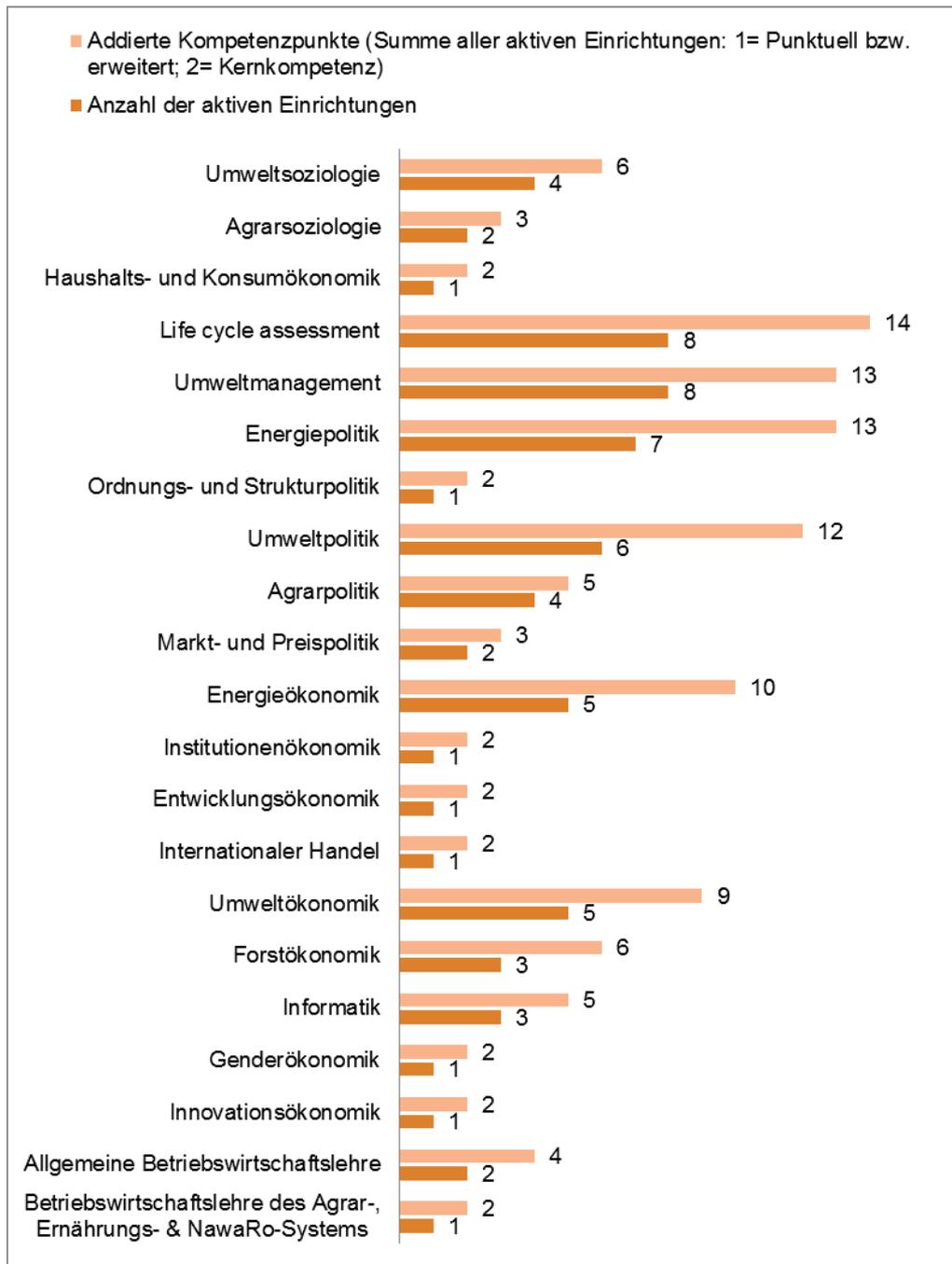


Abbildung 4-12: Grafische Darstellung der Kompetenzen im Bereich Wirtschafts- und Sozialwissenschaften in Baden-Württemberg

Jedes Themenfeld weist für sich besondere Stärken und Schwächen auf, die bei der Identifizierung des strategischen Handlungsbedarfs eine Rolle spielen. Die künftige Entwicklung der aus dem Handlungsbedarf abgeleiteten und beschriebenen Forschungsfelder hängt außerdem von äußeren Einflüssen, den Chancen und Risiken ab. Besondere Stärken in der bioökonomie-relevanten Forschungslandschaft sind folgende: In den Bereichen Agrar- und Forstwissenschaften, Biologie, Biotechnologie, Chemie und Verfahrenstechnik sind in Baden-Württemberg sowohl die Grundlagen- als auch die anwendungsorientierte Forschung stark ausgeprägt. Gerade die außeruniversitären Forschungseinrichtungen bieten mit ihren Anlagen im Technikums- und Pilotmaßstab weitreichende Möglichkeiten der Anwendungsforschung. Wertvolle interdisziplinäre Ansätze gibt es zwischen der Sozioökonomie und den Agrar- und Forstwissenschaften.

Die Durchgängigkeit von der Grundlagenorientierung bis zur Anwendungsforschung ist jedoch noch nicht überall gegeben. Die Fachgebiete Agrar- und Forstwissenschaften, Biologie, Biotechnologie, Chemie und Verfahrenstechnik besitzen außerdem Potenzial für eine stärkere Interdisziplinarität. Für Fragestellungen der Nachhaltigkeit sollten in diesen Bereich auch die Sozioökonomieforschung, die Biodiversitätsforschung und die Ethikforschung stärker integriert werden. Ein höheres Maß an Interdisziplinarität sowie eine stärker integrierte Betrachtung von Rohstoffen, Prozessen und Produkten erleichtert auch eine ganzheitliche Orientierung entlang der Wertschöpfungsketten.

5.1 Forschung für Rohstoffe und Ressourcen (Angebotsseite)

5.1.1 Agrar- und Pflanzenwissenschaften

Stärken und Chancen

Baden-Württemberg verfügt mit der Fakultät für **Agrarwissenschaften** an der Universität Hohenheim über die größte und fachlich am breitesten aufgestellte Agrarfakultät im deutschsprachigen Raum beziehungsweise über eine der stärksten Agraruniversitäten in Europa. Alle für den Agrarbereich relevanten Disziplinen im Bereich Pflanze, Tier, Agrartechnik sowie Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaus werden komplett abgebildet. Hierdurch wird es ermöglicht, die agrarbasierten Wertschöpfungsketten in ihrer gesamten Breite zu betrachten. Hohenheim verfügt über eine sehr gute Ausstattung für die moderne Agrarforschung, unter anderem durch die Versuchsstation Agrarwissenschaften, welche mit über 400 ha an fünf klimatisch unterschiedlichen Standorten in Baden-Württemberg aufgestellt ist, sowie durch Analysegeräte für die pflanzen- und tierwissenschaftliche Forschung, wie z.B. die Next Generation Sequencing Einheit. Sowohl international (Kooperationen in über

90 Ländern) als auch mit wichtigen Unternehmen im Agrarbereich bzw. den vor- und nachgelagerten Bereichen der Agrarwirtschaft ist Hohenheim gut vernetzt, was eine schnelle Integration in neue, bioökonomierelevante Handlungsfelder und Programme ermöglicht. Dabei ist es wichtig, die Interaktion der agrarwissenschaftlichen Forschung mit anderen Bereichen der Bioökonomieforschung in Baden-Württemberg weiter auszubauen. Dies kann durch die Gründung des geplanten Forschungszentrums Bioökonomie an der Universität Hohenheim unterstützt werden. Angewandte agrarwissenschaftliche Forschung in Kooperation mit Unternehmen, Beratern oder Landwirten, insbesondere in den Bereichen Pflanzenbau und Phytomedizin, Agrartechnik und Tierhaltung, wird auch an der HfWU Nürtingen-Geislingen betrieben. In den **Pflanzenwissenschaften** verfügt Baden-Württemberg über eine Reihe exzellenter Standorte pflanzenbiologischer Forschung (u.a. das Zentrum für Molekularbiologie der Pflanzen (ZMBP, Universität Tübingen), das Centre for Organismal Studies (COS Heidelberg: ehemals Heidelberg Institute for Plant Science (HIP), jetzt fusioniert mit dem Heidelberg Institute for Zoology), die Abteilung Plant Biotechnology (Universität Freiburg). Wenngleich an diesen Forschungszentren pflanzenbiologische Grundlagenforschung auf international konkurrenzfähigem Niveau betrieben wird (Beteiligung an mehreren SFBs, erfolgreiche Einwerbung von ERC Grants etc.), so konzentriert sich ein großer Teil dieser Forschung auf Modellpflanzen (z.B. *Arabidopsis* oder das Moos *Physcomitrella*). Zum anderen steht oft die Bearbeitung fundamentaler Fragestellungen im Vordergrund, mit nur indirektem Bezug zu einer möglichen biotechnologischen Anwendung. Allein am HIP wurde bereits in der Gründungsphase (2001) die Erforschung ertragsrelevanter molekularphysiologischer Prozesse als Kernkompetenz definiert und systematisch ausgebaut. Neben DFG-geförderten Forschungsprojekten bildeten Kooperationen mit starken Industriepartnern – zum Teil in das BMBF-Programm GABI¹⁹ integriert – einen Schwerpunkt. Seit fünf Jahren werden auch international beachtete Forschungsprojekte zur Dynamik der Zellwand durchgeführt, mit direkter Relevanz für zukünftige Forschungsarbeiten zum Thema Biomasseproduktion für die Bioökonomie.

Schwächen und Risiken

In der Landwirtschaft von Baden-Württemberg besteht eine große Bereitschaft zur Umsetzung neuer Bioökonomiekonzepte. Gleichzeitig wird der Ausbau der Bioenergie hinsichtlich landschaftlicher Aspekte sowie unter dem Aspekt der Konkurrenz der verschiedenen Nutzungsmöglichkeiten für Biomasse öffentlich immer kritischer gesehen. In diesem Spannungsfeld muss es der Forschung gelingen, nachhaltige und akzeptierte Bioökonomiekonzepte zu entwickeln. Dabei gilt es die Interaktion der agrarwissenschaftlichen Forschung mit ande-

¹⁹ Genomanalyse im biologischen System Pflanze

ren Bereichen der Bioökonomieforschung in Baden-Württemberg weiter auszubauen. Risiken für eine moderne Agrarforschung werden vor allem in der Tatsache gesehen, dass sich die Agrarforschung durch einen hohen technischen und personellen Aufwand und damit durch hohe Kosten auszeichnet. So ist die Wieder- und Neubeschaffung von Geräten und Laborausstattung für die Forschung häufig problematisch, so dass das Risiko einer Veraltung der Forschungsinfrastruktur im Agrarbereich besteht.

Bedauerlicherweise wurden bisher die offenkundigen Chancen einer stärkeren Kooperation der Pflanzenwissenschaften mit der Universität Hohenheim, aber auch dem Schwerpunkt Forstwirtschaft an der Universität Freiburg nicht genutzt, obgleich in der Thematik neuer Energiepflanzen oder auch in der Steuerung der Zellwandzusammensetzung (Lignin-Zellulose-Pektin) beträchtliche Synergiegewinne zu erwarten sind. Ein beträchtliches Risikopotenzial liegt in der Konkurrenz internationaler Forschergruppen, die häufig unter weitaus besseren Bedingungen bioökonomierelevante Themenstellungen bearbeiten können. Dies betrifft aktuell vor allem die Ausstattung mit Großgeräten und die Verfügbarkeit von Anbauflächen unter Glas.

5.1.2 Forstwissenschaften/Forstwirtschaft

Stärken und Chancen

Baden-Württemberg weist einen sehr hohen Waldanteil an der Landesfläche, ausgesprochen zuwachskräftige und vorratsreiche Wälder und leistungsstarke Forschungseinrichtungen in fast allen Bereichen der Forstwissenschaften auf. Durch die Speicherung von Kohlenstoff in den Wäldern sowie die Substitution energieintensiver Produkte und fossiler Energien leistet der Sektor Forst- und Holzwirtschaft einen erheblichen Beitrag zur Senkung von Treibhausgasemissionen, der ein Vielfaches des Beitrages anderer erneuerbarer Energien (Solar-, Hydro- und Windenergie) beträgt. Gleichzeitig trägt der Sektor substantiell zur Beschäftigung und Wirtschaftsleistung bei, vor allem im ländlichen Raum. Die Umstellung auf andere Baumarten im Zuge der Anpassung an den Klimawandel birgt erhebliche Risiken gerade auch für die Biodiversität, birgt aber auch Chancen für die Entwicklung neuer Produkte aus diesen Baumarten. Die forstwissenschaftliche Forschung an der Universität Freiburg, der Hochschule Nürtingen und der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt des Landes ist breit aufgestellt, interdisziplinär ausgerichtet, gut untereinander und mit der Forst- und Holzindustrie sowie mit Naturschutzorganisationen vernetzt. Der Standort Freiburg genießt eine hohe internationale Reputation. Über die Forschung zur Bioökonomie ist eine stärkere Verbindung zu den Agrarwissenschaften oder anderen Sektoren wie der Energiewirtschaft möglich.

Schwächen und Risiken

Einer Erhöhung der Nutzung von Biomasse steht eine Reihe von Restriktionen entgegen. Ein substantieller Anteil der Wälder in Baden-Württemberg ist im

Kleinprivatbesitz, in dem sehr oft die Produktivität nicht abgeschöpft wird. Zur Umsetzung von Naturschutzziele und im Zusammenhang mit Zertifizierungsauflagen wird die Ernte von Holzbiomasse vielfach eingeschränkt. Die aktuell hohen Preise für Energieholz behindern zum Teil die Entwicklung neuer Technologien, die auf eine nicht-energetische Nutzung des Rohstoffs Holz gerichtet sind. Zudem steht zu erwarten, dass im Zuge der Anpassung der Wälder an den Klimawandel langfristig ertragreichere durch weniger ertragreiche Baumarten ersetzt werden müssen. Für die Anpassung von Wäldern an den Klimawandel und die damit einhergehende Umstellung der Industrie ist eine Aufrechterhaltung der Forschungskompetenzen und eine Stärkung der Forschung in den Bereichen Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung sowie in den Materialwissenschaften (Biomaterialien, neue Holzwerkstoffe etc.) erforderlich. Die prekäre finanzielle Situation der Hochschulen gefährdet die Fortführung ausgesprochen erfolgreicher Forschungsbereiche.

5.1.3 Aquatische Biomasse

Stärken und Chancen

Die in Baden-Württemberg angesiedelten Institutionen weisen hier eine ausgeprägte wissenschaftliche Kompetenz auf. Sie genießen ebenfalls einen hohen Bekanntheitsgrad aufgrund ihrer exzellenten Publikationen mit hervorragenden Daten und Ergebnissen im Bereich Freilandkultivierungen unter variierenden Umgebungsbedingungen mit zum Teil mehrmonatigen Produktionszeiten. Diese Kompetenzen sind einzigartig. Es wurden bereits Wertstoffkonzentrationen und Biomasseproduktivitäten durch verfahrenstechnisches Know-how so gesteigert, dass die Werte mit den in Südeuropa erzielten vergleichbar sind oder diese sogar übersteigen. Südeuropa gilt hier als Benchmark, da dort die Kultivierungsbedingungen vor allem hinsichtlich der für die Mikroalgenproduktion erforderlichen Temperaturen optimal sind. Zudem bietet die Algentechnologie ein großartiges systemisches Fallbeispiel im Sinne der Bioökonomie. Dies gelingt durch die Gestaltung eines integrierten Prozesses im Sinne einer Bioraffinerie, wobei ressourceneffiziente Gesamtprozesse durch Nährstoffrecycling, CO₂-Bindung und geringen Wasserverbrauch realisiert werden. Dies ist im Besonderen die Basis für den erfolgreichen Transfer von Ideen und Konzepten an die mittelständische baden-württembergische Industrie mit ihrer starken verfahrenstechnischen Ausrichtung und deren Technologietransfer in die Produktionsländer. Gute Chancen einer schnellen technologischen Weiterentwicklung in Richtung Industriemaßstab sind gegeben, wenn kurzfristig eine noch stärkere Vernetzung zwischen den wissenschaftlichen Einrichtungen zur Bündelung der Kompetenzen und des optimalen Synergiegewinns vorangetrieben wird.

Die bisher starke Fokussierung auf die Kultivierung einiger weniger Mikroalgenarten muss dringend ausgeweitet werden, um das Kultivierungs-Know-how auf ein größeres Produktspektrum zu erweitern. Ebenso sind die Freilandkapazitäten schnellstmöglich auszubauen, damit für die Untersuchung von Gesamtprozessen inklusive der Produktaufarbeitung genügend Biomasse zur Verfügung steht. Außerdem ist es notwendig, mehrere geschlossene Reaktortypen in Baden-Württemberg kommerziell verfügbar zu machen, um auch in der Reaktortechnik innerhalb Deutschlands eine führende Rolle einzunehmen. Hier liegen sowohl Risiken als auch Chancen. Kritisch im Bereich der öffentlichen Wahrnehmung ist die Wirtschaftlichkeit der Prozesse, die oft auf kleinskaligen Laboranlagen mit nicht optimierten verfahrenstechnischen Einheiten basiert. Dies führt zu einem verzerrten Gesamtbild und erschwert die Umsetzbarkeit in den Industriemaßstab. Zudem besteht das Risiko der Durchsetzung innovativer Technologien auf dem mitteleuropäischen Markt aufgrund der notwendigen Anlageninvestitionen für eine nur sechsmonatige Produktionsperiode pro Jahr.

5.1.4 Biogene Reststoffe

Stärken und Chancen

Die in Baden-Württemberg befindlichen Einrichtungen weisen eine ausgeprägte wissenschaftliche Kompetenz und einen hohen nationalen wie internationalen Bekanntheitsgrad auf. Dies zeigt sich in ihren Publikationen, internationalen Projekten, Tagungsveranstaltungen und auch in ihren intensiven Gremien- und Verbandsarbeiten. Die Einrichtungen sind außergewöhnlich interdisziplinär und breit aufgestellt. Ihre in weiten Teilen gute apparative Ausstattung in allen Größenordnungen bis hin zu Demonstrationsanlagen zeigt die gute Handlungsfähigkeit und gute Verbindung von wissenschaftlichen Grundlagenarbeiten bis zur Umsetzung. Das Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) begünstigt die Nachfragesituation nach Lösungen für geeignete Verwertungstechnologien. Dies ist für die Forschungseinrichtungen in Baden-Württemberg, die in besonders großer Zahl am Themenfeld Nutzung biogener Reststoffe mit sehr unterschiedlichen Ansätzen arbeiten, von Vorteil. Durch eine stärkere Bündelung des Wissens, d.h. eine stärkere Zusammenarbeit der einzelnen Institute in Verbundprojekten, könnte ein extremer Wissensvorsprung im Vergleich zu anderen Bundesländern, aber auch international erreicht werden. Bisher konzentriert sich die Forschung in Baden-Württemberg häufig auf technische Einzelprobleme und -lösungen. Eine erfolgreiche Nutzung biogener Reststoffe wird jedoch nur im Rahmen des Bioraffinerie-Gedankens möglich sein, unter der Voraussetzung der ausreichenden Verfügbarkeit von Biomasse. Diese Vorgehensweise kann durch die Bioökonomie-Strategie des Landes Baden-Württembergs deutlich gefördert werden. Die bereits jetzt vorhandene starke Vernetzung im internationalen Kontext bietet die Chance, neue Anwendungsfelder in diesem Bereich zu erschließen.

Die europäische Subventionspolitik in einigen Bereichen der Reststoffverwertung kann in Teilgebieten die Umsetzung innovativer Konzepte verlangsamen oder gar behindern, da zum jetzigen Zeitpunkt manche Verfahren, insbesondere biotechnologische Verfahren, wirtschaftlich noch nicht konkurrenzfähig sind. Durch die in anderen Bundesländern – wie beispielsweise in Bayern - hohen Landesinvestitionen im Bereich des Aufbaus von Forschungs- und Entwicklungszentren zur Kreislaufwirtschaft oder Technologieentwicklung zur Ressourceneffizienz könnte eine Schwächung des Standorts Baden-Württemberg eintreten.

5.2 Forschung für Produkte und Verwertung (Nachfrageseite)

5.2.1 Nahrungsmittelproduktion

Stärken und Chancen

Die in Baden-Württemberg angesiedelten Institutionen haben eine im deutschlandweiten Vergleich einmalige Expertise im Hinblick auf Lebensmittelprodukte, deren Verarbeitung, Haltbarkeit, Sicherheit und Qualität sowie deren physiologische Wirkung. Die Vielzahl an lebensmittel- und ernährungswissenschaftlichen Professuren und Wissenschaftler und die damit verbundene Forschungs- und Lehraktivität machen Baden-Württemberg neben Bayern zum aktivsten und wichtigsten Bundesland auf diesem Gebiet. Es existieren zahlreiche, analytisch und technisch breit aufgestellte Labore und Technika mit Pilotanlagen, die im Verbund sowohl industrienaher als auch grundlagenorientierter Forschung ermöglichen und dies bereits leisten. Überraschenderweise wird diese real existierende Stärke deutschlandweit nur unzureichend wahrgenommen; wohl auch, weil dieser für Baden-Württemberg historisch bedeutsame Bereich in der nahen Vergangenheit nicht als wichtiger Bestandteil eines industrieorientierten Wissenschaftsstandortes gesehen wurde. Dies gilt ebenfalls für den auf Lebensmittel spezialisierten Maschinen- und Apparatebau, der durch Innovationen im Bereich Lebensmittelherstellung, -verarbeitung, -automation und -verpackung weltweit führend ist und mit einem Exportanteil von mehr als 60 % maßgeblich hochqualifizierte Arbeitsplätze in Baden-Württemberg sichert. Die geringe Wahrnehmung dieses Potenzials liegt vermutlich einerseits an der nur langsam wachsenden und bislang unzureichenden Zusammenarbeit der Standorte und der ungenügenden Vernetzung mit anderen wissenschaftlichen Gebieten, wie zum Beispiel den Ingenieur-, Natur- und Sozialwissenschaften, als auch an dem Fehlen eines landesweit koordinierten Forschungsprogramms, das die Sichtbarkeit des Standorts Baden-Württemberg erhöhen würde. Im Kontext der Bioökonomie könnte daher der Lebensmittelbereich für Baden-Württemberg unzweifelhaft eine Leuchtturmfunktion einnehmen, falls die bestehenden Institutionen virtuell und physisch gemeinsame Forschungs- und Lehrplattformen bilden und verstärkt

mit anderen Wissenschaftsgebieten kooperieren würden. Die im Vorfeld der SWOT-Analyse durchgeführten Umfragen deuten – auch über Fachbereichsgrenzen hinweg – eindeutig auf eine große Bereitschaft zu einer stärkeren Zusammenarbeit der Institutionen hin.

Schwächen und Risiken

Bei der Konzeption von Maßnahmen sollte in Betracht gezogen werden, dass in Bayern, Nordrhein-Westfalen und Niedersachsen in den letzten Jahren erhebliche Investitionen für Neubauten und Pilotanlagen für den Bereich vorgenommen wurden (z. B. das Zentrum für Getränkewissenschaft in Weihenstephan oder der Ausbau des Deutschen Instituts für Lebensmitteltechnik in Quakenbrück). Diese Maßnahmen gefährden langfristig den Standort Baden-Württemberg, sollte die hier vorhandene analytische und prozesstechnische Infrastruktur nicht erhalten und ausgebaut werden. Eine weitere Schwierigkeit ergibt sich aus der Meinung vieler Verbraucher zum Thema „industriell verarbeitete Lebensmittel“. Trotz der Tatsache, dass die moderne Lebensmittelproduktionskette nachweislich zu dem historisch niedrigsten Stand an lebensmittelinduzierten Todesfällen und im Verbund mit medizinischen Fortschritten zu der höchsten Lebenserwartung der Bürger geführt hat, hegen viele Verbraucher Skepsis gegenüber modernen wissenschaftlichen und prozesstechnischen Ansätzen. Diese Skepsis beruht zum Teil auch auf der Tatsache, dass die Anzahl an chronischen, ernährungsassoziierten Krankheitsbildern wie Adipositas und deren Folgeerkrankungen, die mit einer erhöhten Morbidität verbunden sind, durch ein verstärktes Angebot an energiedichten Lebensmitteln gestiegen ist. Hier ist eine verbesserte Aufklärung der Öffentlichkeit, verbunden mit einem transparenteren Verhalten der Lebensmittelhersteller, notwendig, um der entstandenen Technologiefeindlichkeit entgegenzuwirken und ein Risiko in eine Chance umzuwandeln.

5.2.2 Stoffliche Nutzung

Stärken und Chancen

In Baden-Württemberg beschäftigt sich bereits eine sehr große Zahl von Arbeitsgruppen mit Fragestellungen zu mikrobiellen, enzymatischen, chemischen und verfahrenstechnischen Aspekten bei der stofflichen Nutzung von lignozellulosehaltiger Biomasse. Diese Arbeitsgruppen decken damit alle wichtigen Kompetenzen der stofflichen Nutzung ab. Ihre Akteure sind mit wichtigen und exzellenten Forschungspartnern sowohl national als auch europaweit vernetzt. Ein großes Plus für das Konzept stellen auch die zahlreichen Kooperationen mit der chemischen Industrie dar. In der fachübergreifenden Zusammenarbeit der Arbeitsgruppen und der damit verbundenen integrativen Bearbeitung der stofflichen Nutzung liegt ein hohes Potenzial, das für die Entwicklung innovativer Produkte genutzt werden kann. Eine besondere Chance wird im Aufbau eines baden-württembergischen Technologiezentrums für die stoffliche Nutzung gesehen.

Schwächen und Risiken

Bereits in den 1980er-Jahren wurden zum Beispiel neuartige Technologien zur Herstellung von Einzellerproteinen für die Ernährung auf Methanolbasis weltweit erfolgreich etabliert, dann jedoch nicht weiterverfolgt. Im Rahmen der Wertschöpfungskette Lignozellulose – Pyrolyseöl – Synthesegas – Methanol und in Kombination mit den heute zur Verfügung stehenden modernen molekularbiologischen Werkzeugen wird eine Weiterentwicklung dieser Verfahren für die Herstellung hochreiner biotechnologischer Produkte jedoch wieder hochinteressant. Die in diesem Bereich aktiven Firmen haben ihren Sitz allerdings außerhalb von Baden-Württemberg. Diese Tatsache stellt sowohl eine Schwäche als auch ein Risiko für den Standort dar: Es gibt nur sehr wenige große produzierende und innovationstreibende Industriepartner, die Interesse an Forschungsergebnissen signalisieren, und gleichzeitig besteht ein erhöhtes Risiko der Abwanderung hervorragend ausgebildeter Wissenschaftler aufgrund besserer Arbeitschancen in anderen (Bundes-)Ländern.

5.2.3 Energetische Nutzung

Stärken und Chancen

Im Bereich der energetischen Nutzung von Biomasse können in Baden-Württemberg auf Basis der Infrastruktur und der vorhandenen Kompetenzen alle relevanten und auch zukunftssträchtigen Bioenergiepfade beforscht werden. Dabei kann auf eine hervorragende Ausstattung mit Alleinstellungsmerkmal in Deutschland insbesondere bei der bioliq[®]-Pilotanlage sowie in den Bereichen Biogas und Biomasse(mit)verbrennung zurückgegriffen werden. Durch die an verschiedenen Forschungseinrichtungen in Baden-Württemberg entwickelten Expertisen kann dabei jeweils die gesamte Kette, einschließlich der Ressourcenseite, der Konversionstechnologie und der Systembewertung von Bioenergie abgedeckt werden. Dabei kann eine intensivere Vernetzung der Aktivitäten in Baden-Württemberg zukünftig die Erforschung nachhaltiger Bioenergieketten und die Nutzung von Synergieeffekten zwischen unterschiedlichen Technologien verbessern und gleichzeitig Chancen für die erfolgreiche Einwerbung von Drittmitteln erhöhen.

Schwächen und Risiken

Im Hinblick auf eine ganzheitlich zu betrachtende Bioökonomie ist die Vernetzung bei der Entwicklung von Konversionstechnologien zwischen den einzelnen Prozesspfaden der energetischen Nutzung sowie die Wechselwirkung zur stofflichen Nutzung bzw. zwischen den jeweiligen Akteuren noch zu gering und wenig planvoll. Bisher bestand in Baden-Württemberg wenig Anreiz und keine gemeinsame Plattform zur umfassenden Erforschung von Bioenergieketten einschließlich ihrer Einbindung in, pflanzenbiologische, ökologische, ökonomische und sozialen Aspekte. Herausforderungen für die weitere Entwicklung der Bioenergie in Baden-Württemberg werden in der zukünftigen

Akzeptanz von Bioenergie in der Bevölkerung, den zunächst hohen Kosten der Umwandlung von Biomasse und eventuell den nicht angepassten Rahmenbedingungen für die Konversion von Biomasse in Bioenergieträger sowie im Erhalt des hohen Forschungs- und Entwicklungsstandes auf diesem Gebiet gesehen.

5.3 Forschung zu ökologischen, gesellschaftlichen, ethischen und ökonomischen Aspekten (Querschnittsfelder)

5.3.1 Biodiversität

Stärken und Chancen

Eine Stärke im Themenfeld Biodiversität stellt die Präsenz des Themas in fast allen Landesuniversitäten dar. Die dort angesiedelten Arbeitsgruppen sind an transdisziplinären Forschungsprogrammen wie etwa Biodiversitätsexploratorien beteiligt und haben dadurch besonders gute Möglichkeiten, das Thema sowohl in Baden-Württemberg als auch national und international voranzubringen. Chancen werden in der erforderlichen Weiterentwicklung der Biodiversitätsforschung im Zuge von Projekten zur effizienten und nachhaltigen Nutzung biologischer Ressourcen gesehen. Diese Chancen ergeben sich primär aus der Funktion der Biodiversitätsforschung als zentrales Bindeglied zwischen Ökosystemdienstleistungen und einer auf dieser aufbauenden nachhaltigen Bioökonomie.

Schwächen und Risiken

Bisher sind standardisierte Ansätze zur Biodiversitätsforschung mit ackerbaulichem Bezug oder Landschaftsbezug noch wenig entwickelt. Diese Schwachstelle birgt erhebliche Risiken für realistische Einschätzungen der Auswirkungen von Intensivierung oder geänderten Landnutzungen auf die Biodiversität insbesondere im Landschaftskontext. Der bislang noch nicht ausreichend entwickelte Gesellschafts- und Politikbezug wirkt sich ebenfalls nachteilig auf das Themenfeld aus und ist bisher ein Hindernis für die adäquatere Berücksichtigung von Biodiversitätsaspekten in Themenfeldern wie der Bioökonomie.

5.3.2 Wasser- und Bodenschutz

Stärken und Chancen

Baden-Württemberg verfügt über thematisch sehr breit aufgestellte Forschungseinrichtungen mit teils interdisziplinären Arbeitsgruppen in allen Bereichen der Hydrologie, Wasserwirtschaft, Wassergüte, Bodenkunde, Grundwasser- und Klimamodellierung. Das internationale Renommee der beteiligten Wissenschaftler manifestiert sich in ihrer Publikationsleistung, der Koordination von EU-Projekten, der Mitherausgeberschaft internationaler wissenschaftli-

cher Zeitschriften und in Forschungspreisen. Insbesondere besteht eine hohe Kompetenz in der wasserbezogenen naturwissenschaftlichen Prozessforschung und der ingenieurwissenschaftlichen Betrachtung der Wasserwirtschaft. Neben den einzelnen, auf Teilaspekte konzentrierten Gruppen wird immer mehr die Integration der Disziplinen angestrebt. Das Wasserforschungszentrum der Universität Stuttgart und der Kompetenz-Cluster WESS sind hierfür beispielhafte Einrichtungen. Die Beobachtungsmessnetze für die unterschiedlichen Komponenten des Wasserkreislaufs (Niederschlag, Abfluss, Grund- und Oberflächenwasserqualität) sind gut ausgebaut und gepflegt.

Für die Bioökonomie-Forschung in Baden-Württemberg ergibt sich die Chance, auf das vertiefte Prozessverständnis für Fragen des Wasserhaushaltes sowie der Boden- und Wasserqualität zuzugreifen und somit die Folgen eines bioökonomisch motivierten Landnutzungswandels auf Böden und Wasserressourcen nach Stand der Wissenschaft abzuschätzen, bevor der Wandel vollzogen wird, bzw. in Begleitung des Landnutzungswandels die Auswirkungen auf Böden und Wasserqualität quantitativ zu verstehen. Eine besondere Herausforderung besteht darin, dass Agrarökonomien und Hydrologen in unterschiedlichen Gebietseinheiten (politische Einheiten versus Einzugsgebiete) denken und unterschiedliche Modellkonzepte verfolgen. Wenn dies gelingt, liegt darin eine besondere Chance für dieses Forschungsgebiet in Baden-Württemberg.

Schwächen und Risiken

Die Schwächen der Wasserforschung sind eher allgemeiner Natur. Die starke Heterogenität der Fragestellungen und der Gebietseigenschaften macht eine einheitliche Erkundung und Beschreibung der Wasserhaushaltskomponenten nicht möglich. Der Wasser- und Stoffhaushalt natürlicher Systeme weist immer Spezifika der untersuchten Einzugsgebiete auf. Besonders schwierig ist die Modellierung des Stofftransports und der Wasserqualität in natürlichen aquatischen Systemen. Während Wasserqualitätsbeobachtungen bei entsprechendem Messumfang und ausreichendem Modellieraufwand durch Modelle zumeist prozesshaft erklärt werden können („hindcast“), stehen echte Vorhersagen zur Wasserqualität z.B. bei veränderter Landnutzung oder infolge des Klimawandels unter starken Vorbehalten, weil wichtige Systemkomponenten erst bei der Änderung zum Vorschein kommen können.

5.3.3 Ethik

Stärken und Chancen

In Baden-Württemberg gibt es in Bezug auf die für die Bioökonomie relevanten Bereichs- und Querschnittsethiken eine große Kompetenz und viel Potenzial. Das Internationale Zentrum für Ethik in den Wissenschaften (IZEW) der Universität Tübingen und der Tübinger Lehrstuhl für Ethik in den Biowissenschaften sind in mehrfacher Hinsicht Alleinstellungsmerkmale in Baden-

Württemberg und in Deutschland. Am IZEW wird die gesamte Breite der Ethik in den Wissenschaften (Sciences and Humanities) bearbeitet. Das IZEW ist seit gut zwanzig Jahren „die“ Ausbildungsstelle für interdisziplinäre Promotionen. Hier wurden zehn Jahre lang das DFG-Graduiertenkolleg Ethik in den Wissenschaften und danach ebenfalls zehn Jahre lang das DFG-Graduiertenkolleg Bioethik gefördert. Die für die Ethik der Bioökonomie einschlägigen Bereichs- und Querschnittsethiken sind am IZEW seit Langem Schwerpunkte der Forschung. Am Lehrstuhl für Ethik in den Biowissenschaften an der Universität Tübingen, dem einzigen mit dieser Denomination in Deutschland und möglicherweise weltweit an einer Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät angesiedelten Ethik-Lehrstuhl, wird in den Bereichen Ethik, Theorie und Geschichte der Biowissenschaften geforscht und in allen Studiengängen der Biologie gelehrt. Der Lehrstuhl für Wirtschaftsethik mit einem Schwerpunkt in der Klimaethik an der Universität Mannheim kann wegen der Seltenheit dieser Schnittstelle eine Vorreiterrolle einnehmen. Auch an der Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen wird das Thema Wirtschaft und Umwelt aus ethischer Perspektive beleuchtet. Hier gibt es eine hohe Kompetenz im Bereich der Umweltethik, insbesondere auch mit Bezug auf die Biodiversitätsforschung. An der Universität Freiburg wird mit dem BMBF-Verbundprojekt zu ethischen, rechtlichen und sozialen Aspekten der Synthetischen Biologie am Lehrstuhl für Medizinethik im Institut für Ethik und Geschichte der Medizin eine weitere thematische Brücke zur Bioökonomie geschlagen. Die beteiligten Institutionen und ihre Vertreter sind national und international sichtbar durch ihre Publikationen und Vorträge, ihre Mitwirkung in zahlreichen Kommissionen und anderen Gremien. Dementsprechend gibt es auch zahlreiche Chancen für die Ethik in Baden-Württemberg. Die Vermittlung ethischer Expertise erfüllt in den beteiligten Institutionen nicht nur eine wichtige inneruniversitäre und interdisziplinäre Funktion, sondern auch eine transdisziplinäre Funktion für Gesellschaft und Politik, indem die allgemeine Sensibilität für die ethischen Herausforderungen der betreffenden Fragen vermittelt und kultiviert wird. In Bezug auf die Bioökonomie ist eine Chance darin zu sehen, dass dieses Thema in den Aktivitäten der Universitäten als Beispiel für Synergien zwischen verschiedenen Disziplinen und Bereichen, wie Wirtschaft und Umwelt, aufgegriffen werden kann (Nürtingen-Geislingen, Mannheim).

Schwächen und Risiken

Zu den Schwächen gehören an einzelnen Universitäten die noch zu geringe Verankerung ethischer Fragestellungen in verschiedenen Fächern und ihren Studiengängen, die begrenzte personelle Ausstattung der Professuren sowie die Ressourcenknappheit und die noch optimierbare transdisziplinäre Vernetzung mit regionalen Stakeholdern aus Wirtschaft, Verwaltung und Zivilgesellschaft. Obwohl es zahlreiche bioökonomierelevante Bereichsethiken gibt, stellt eine spezielle Ethik der Bioökonomie aufgrund der Neuheit dieses Forschungsprogramms ein Desiderat dar. Hier ist noch Pionierarbeit zu leisten, was aber auch eine attraktive Herausforderung sein kann. Zu den Risiken in-

terdisziplinärer Arbeit gehört für Ethikerinnen und Ethiker, dass die Ethik manchmal nicht als unabhängige Instanz wahrgenommen wird und von außen inadäquate Erwartungen an die im Bereich der Ethik Tätigen herangetragen werden. Speziell in Bezug auf den Ansatz der Bioökonomie ist darauf zu achten, dass Biodiversität nicht nur in ihrer instrumentellen Bedeutung für die hier tätigen Akteure, sondern auch in ihrem intrinsischen Wert berücksichtigt wird. Institutionell besteht vor allem das Problem zu knapper Stellenressourcen. Der Forschungsbereich Ethik kann seine Position daher nicht auf dieselbe Weise behaupten, wie die Einzelwissenschaften und Techniken, mit denen er sich auseinandersetzt. Die große Bedeutung und Nachfrage nach Ethik in den Wissenschaften steht somit in einem starken Missverhältnis zu den verfügbaren Stellen- und Ausstattungsressourcen.

5.3.4 Wirtschafts- und Sozialwissenschaften

Stärken und Chancen

Zu den Stärken der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften (WiSo) in Baden-Württemberg gehört die große Anzahl der schon heute auf die Bioökonomie ausgerichteten Forschergruppen. So etwa die WiSo an der größten Agrarfakultät in Deutschland an der Universität Hohenheim (elf WiSo-Professuren), der Forstökonomie (Uni Freiburg) sowie im Bereich der Energieökonomik an Universitäten (IER Uni Stuttgart, KIT) sowie außeruniversitären Forschungsinstituten (Fraunhofer-Institute). Speziell auf neuere Fragen der Bioökonomie ausgerichtete Lehrstühle und Studiengänge gibt es in den Bereichen Nachwachsende Rohstoffe (Uni Hohenheim) sowie Erneuerbare Energien (Uni Stuttgart). Die Einführung eines Studiengangs „Bioökonomie“ ist an der Universität Hohenheim für 2014 vorgesehen. Weitere Stärken sind die international sehr gut vernetzte Forschung im Bereich der quantitativen Modellierung der Bioökonomie sowie eine führende Stellung in der Risk-Governance-Forschung. Basierend auf den ausgeprägten Stärken an vielen Standorten liegen die Chancen für die bioökonomiebezogenen WiSo vor allem in der Vernetzung mit den Natur- und Ingenieurwissenschaften, durch Anwendung des hohen methodisch-theoretischen Potenzials an Wirtschafts-Fakultäten im Bereich der Bioökonomie, in der Verknüpfung verschiedener Modellansätze (allgemeines Gleichgewicht, partielles Gleichgewicht im Agrarsektor, Angebotsmodelle des Agrarsektors, Energiesystemmodelle, Materialflussmodelle) sowie komplementärer Analyseansätze (Analyse von Politikprozessen, LCA (Life Cycle Assessment), Contingent Valuation, Umweltsoziologie) und in der Vernetzung von Wirtschaft und Wissenschaft.

Schwächen und Risiken

Schwächen liegen vor allem in der geringen, auf die Bioökonomie bezogenen Vernetzung, sowohl zwischen den einzelnen Standorten wie auch zwischen den allgemeinen und den spezifischen, auf die Bioökonomie bezogenen Wirtschafts- und Sozialwissenschaften (Forstökonomie, Agrarökonomie) und zwi-

schen Wirtschaft und Wissenschaft. Ohne vermehrte Investitionen in die interdisziplinäre Zusammenführung verschiedener methodischer Ansätze ergibt sich die Gefahr einer zu geringen wissenschaftlichen und politischen Sichtbarkeit aufgrund einer fragmentierten Forschungslandschaft. Eine weitere Schwäche ist die eher geringe Expertise im Bereich der Ökonomie neuerer Verfahren der stofflichen Nutzung von Biomasse. Die stärkere Einbeziehung betriebswirtschaftlicher Forschergruppen der wirtschaftswissenschaftlichen Fakultäten, zum Beispiel aus dem Bereich der Innovationsforschung, in Fragestellungen der Bioökonomie kann diese Schwäche ausgleichen.

6.1 Vorgehensweise zur Ermittlung des Handlungsbedarfs

Um dem ganzheitlichen Forschungskonzept ein fokussiertes Profil hinsichtlich der zu bearbeitenden Themenschwerpunkte zu geben, wurden bereits in den ersten Sitzungen mögliche Inhalte, die für Baden-Württemberg das größte Potenzial hinsichtlich einer **Entwicklung von Alleinstellungsmerkmalen** aufweisen könnten, intensiv diskutiert. In einem ersten Ansatz wurde die bioökonomierelevante Forschungslandschaft strukturiert. Es wurden neun fachlich relevante Bereiche identifiziert, wobei der Strategiekreis sich auf die Positionierung der Themen in einer Untergruppenstruktur mit Unterteilung in Angebot, Nachfrage und Querschnittsthemen festlegte. In einem zweiten Ansatz wurden die **Kriterien**, auf deren Basis die Auswahl der thematischen Forschungsfelder im Konsens erfolgte, festgelegt. Diese sind:

- Forschungsfelder mit größtmöglichem Innovations- und Alleinstellungspotenzial auszuwählen - Sichtbarkeit von Forschung im Bereich Bioökonomie in Baden-Württemberg im Vergleich zu anderen Bundesländern erhöhen.
- Möglichst viele der in Baden-Württemberg bereits vorhandenen Forschungskompetenzen und -disziplinen unter einem thematischen Dach zu vereinen - Aufbau und Stärkung von Netzwerken.
- Forschungsfelder auswählen, deren Forschungsergebnisse ein hohes Potenzial für die Umsetzung in die baden-württembergische Wirtschaft aufweisen.
- Forschungsfelder mit unterschiedlicher zeitlicher Dimension einbeziehen - rasche Umsetzung und Nachhaltigkeit.

In der weiteren Diskussion wurden darauf aufbauend drei **Forschungsfelder** identifiziert, die sich auch aus den Bestandsaufnahmen sowie dem Handlungsbedarf ableiteten und von allen Teilnehmern als zukunftsweisend anerkannt wurden. Dabei fanden außer den schon in den Untergruppen genannten thematischen Schwerpunkten auch Fragen nach der zeitlichen Dimension für die Bearbeitung der Themen unter Berücksichtigung aktueller Gegebenheiten in Baden-Württemberg Eingang in die Diskussion. Um diese Rahmenbedingungen darzustellen und ein einheitliches Verständnis innerhalb des Strategiekreises und bei den Untergruppenakteuren zu erzeugen, wurden Bestandsaufnahmen, eine themenspezifische und gewichtete Kompetenzmatrix sowie themenbezogene SWOTs erstellt. Darüber hinaus wurde eine Zuordnung in kurzfristig (Biogas), mittelfristig (Lignozellulose) und langfristig (Algen) vorgenommen. Diese Zuordnung bezieht sich sowohl auf die aktuelle Ausgangslage in der Forschung als auch auf die Umsetzbarkeit und Industrienähe. In einem weiteren Schritt zur Festlegung der Forschungsfelder wurden diese in einem Workshop mit Vertretern aus der Wirtschaft hinsichtlich ihrer Bedeutung für Baden-Württemberg diskutiert und bewertet.

Das **Forschungsfeld Biogas** zeigte in der Perspektive Potenziale für die zeitnahe Umsetzung von Innovationen, da in Baden-Württemberg auf diesem Gebiet bereits eine reichhaltige Palette an Forschungsthemen bearbeitet wurde und auch auf fundierte Erfahrungen mit etablierten Biogasanlagen zugegriffen werden kann.

Im **Forschungsfeld Lignozellulose** existieren aktuell in Baden-Württemberg eine Vielzahl hervorragender Einzelkompetenzen und damit ein sehr breitgefächertes Know-how. Dieses benötigt durch seine Diversifikation sowohl bezüglich der Kompetenzen als auch der Verteilung auf viele Standorte in erster Linie eine Bündelung und Fokussierung, um dann im nächsten Schritt zur Realisierung seines Schwerpunktthemas „Stoffliche Nutzung“ gelangen zu können.

Das **Forschungsfeld Algen** wurde vom Expertenkreis als das Themenfeld mit der langfristigen Perspektive bei gleichzeitig höchstem Innovationspotenzial ausgewählt. Obwohl das Thema Algenproduktion zur Wertstoffgewinnung sowohl hinsichtlich der Identifizierung geeigneter Stämme als auch deren Kultivierungs- und Verarbeitungsverfahren am KIT und am Fraunhofer IGB schon seit über 15 Jahren intensiv beforscht wird, gibt es aus Sicht des Strategiekreises hier noch den größten Handlungsbedarf. Um sich deutlich von Aktivitäten anderer Länder wie z.B. USA und Japan abzugrenzen, wurde für dieses Forschungsfeld eine Fokussierung auf Algenproduktion für den Ernährungssektor gewählt. Dies schließt die Nutzung von Algenreststoffen als Substrat für die Fermentation zu Biogas nicht aus. Um die Nachhaltigkeit aller Forschungsfelder bereits frühzeitig in der Entwicklung geeigneter Konzepte berücksichtigen zu können, wurde in einem dritten Ansatz ein für die weitere Bearbeitung und Bewertung des Themas angepasster Katalog von **Nachhaltigkeitskriterien** (siehe Kapitel 8.5) entworfen. Diese Kriterien wurden sowohl in die Skizzierung der Forschungsfelder als auch des Gesamtkonzepts einbezogen.

Die Idee der Bioökonomie ist dem Prinzip nachhaltiger Entwicklung verpflichtet. Eine Grundidee der Nachhaltigkeit ist die, dass die **ökologische, ökonomische und soziale Entwicklung** Hand in Hand gehen sollen und keine von ihnen auf Kosten anderer durchzusetzen ist. Die Nationale Forschungsstrategie BioÖkonomie 2030 definiert die oben genannten fünf Handlungsfelder (siehe Kapitel 3), in denen sich diese Idee ebenfalls widerspiegelt. Diese Handlungsfelder sind eng miteinander vernetzt, weil die effiziente, maßvolle, schonende und nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen eine Bedingung für die Ernährungssicherung der heutigen Menschheit und zukünftiger Generationen darstellt. Die Forschungsstrategie Bioökonomie, die auch im Land Baden-Württemberg verfolgt wird, beinhaltet damit eine bedeutende ethische Dimension, und dies auf zweifache Weise. Sie entspringt zum einen der Sorge um die Sicherung von Nachhaltigkeit in Bezug auf unterschiedliche Güter, zum anderen sind diese Strategien und ihre Realisationsweisen selbst auf ihre möglichen ethischen Implikationen hin zu untersuchen. Die drei Forschungs-

felder spiegeln in ihren Zielsetzungen jeweils einzelne der oben angeführten Handlungsfelder wider und beinhalten damit auch einen ethischen Reflexionsanteil. Dieser hat das Ziel, die mit der jeweils verfolgten Strategie verbundenen ethischen Chancen und Herausforderungen zu identifizieren und zu analysieren. Hierzu gehören insbesondere Fragen der Gerechtigkeit, welche die Belange des Umwelt-, Natur- und Tierschutzes ebenso berücksichtigen wie die Situation von Schwellen- und Entwicklungsländern, beides in intra- ebenso wie intergenerationeller Perspektive. Der Ansatz, Bioökonomie in Wertschöpfungsketten und als Gesamtsystem zu betrachten, macht es erforderlich, auf besondere Weise die einzelnen Glieder dieser Kette ins Auge zu fassen und darauf zu achten, dass die Wertschöpfung nicht auf Kosten benachteiligter Gruppen, Regionen, Nationen und Länder geht und auch nicht neue Probleme für den Natur- und Tierschutz mit sich bringt. Daher werden in den drei Forschungsfeldern bioethische und technikethische Aspekte ebenso berücksichtigt wie sozial- und wirtschaftsethische. Um Fragen der Umweltfolgen bezüglich Biodiversität und Boden- und Wasserschutz qualifiziert zu bearbeiten, diskutierte der Strategiekreis insbesondere für die Forschungsfelder Biogas und Lignozellulose eine frühzeitige Berücksichtigung von Standorten und Modellregionen, in denen Umweltauswirkungen des Anbaus bioökonomisch relevanter Pflanzen konkret untersucht werden können.

Diese Vorgehensweise trägt dem Ansatz einer im System aufgestellten Bioökonomieforschung ebenso Rechnung, wie auch die Festlegung übergreifend angelegter struktureller Maßnahmen für das Konzept. Zu diesen gehören aus Sicht des Strategiekreises als unabdingbare Elemente für die geplante inter- sowie explizit transdisziplinär angelegte Forschung die Bildung eines **Kompetenzzentrums Modellierung der Bioökonomie** in Baden Württemberg, das einerseits tiefgehende und umfassende auf das Gesamtkonzept abgestimmte Potenzialanalysen ermöglicht, aber auch durch die Auswahl und (Neu-)Kombination existierender Simulationsmodelle im System die prospektive Entwicklung von Szenarien im Bereich Bioökonomie ermöglicht. Dabei sollen bestehende Modelle auf ihre Funktionalität und Eignung als modularer Teil eines neuen Gesamtsystemansatzes überprüft werden und die Schnittstellenpassung der Einzelsysteme entwickelt werden. In der konsequenten Verfolgung dieser Maßnahme könnte ebenfalls ein exportfähiges „Produkt“ für Baden-Württemberg entstehen.

Des Weiteren empfiehlt der Strategiekreis eine gemeinsam **strukturierte Graduiertenausbildung**, die auf die neuen ganzheitlich konzipierten Bedarfe und Potenziale bioökonomischer Forschung ausgelegt werden soll. Ein solches Programm existiert aktuell weder in Baden-Württemberg noch in einem anderen Bundesland. Die Etablierung soll mit dem Modell eines gemeinsamen **Graduiertenprogramms BBW-FORWERTS (Bioökonomie in Baden-Württemberg - Erforschung innovativer Wertschöpfungsketten)** erreicht werden. Ein ähnlich umfassend strukturiertes und auf die Förderung wissenschaftlicher Vernetzung angelegtes Programm existiert im bearbeiteten Themengebiet aktuell weder national noch international und wird ein weiteres Al-

leinstellungsmerkmal für die Forschung in Baden-Württemberg darstellen. Es ist zu erwarten, dass der Standort Baden-Württemberg mit einer Graduierten-ausbildung „Bioökonomie“ damit sowohl national als auch international auf der Forschungsseite stark an Sichtbarkeit gewinnen wird und dies als Teil eines Marketingkonzeptes für die Forschung genutzt werden kann. Absolventen dieses Programms sind über ihre profunde ganzheitliche Ausbildung hinaus zeitgleich auch „Botschafter“ des innovativen Forschungskonzepts. Als weitere wichtige strukturelle Säule des Ansatzes, der auch den Anspruch der Ressourceneffizienz im Blick hat, wurde die gemeinsame Nutzung bereits vorhandener und neu zu etablierender **Infrastrukturen** identifiziert. Das Konzept schließt die gemeinsame Nutzung von Laborflächen, Mess- und Versuchseinheiten und Großgeräten, aber auch die Durchführung großangelegter Ringversuche ein.

6.1.1 Forschungsfeld Biogas

Nachhaltige und flexible Wertschöpfungsketten für Biogas in Baden-Württemberg

Mit der Biogasproduktion, insbesondere aus nachwachsenden Rohstoffen sowie im geringeren Maß aus Rest- und Abfallstoffen, besteht bereits seit vielen Jahren die Möglichkeit, regenerative Energien zu erzeugen. Die Biogasproduktion ist dabei ein Paradebeispiel der Bioökonomie, denn Letztere definiert sich als Umfassung aller Industrien und aller wirtschaftlichen Sektoren, die biologische Ressourcen einschließlich Bioabfälle nachhaltig und damit unter Berücksichtigung von Umweltzielen und sozialen Aspekten nutzen. Genau diese Definition trifft weitgehend deckungsgleich auf die Biogasproduktion mit ihrer Kaskadennutzung zu. Sie nutzt erneuerbare biologische Ressourcen zur Herstellung von Produkten und zur Bereitstellung von Dienstleistungen unter Anwendung innovativer biologischer sowie technologischer Kenntnisse und Verfahren. Die Produkte der Biogasproduktion ersetzen nicht nur konventionell erzeugte Produkte (z. B. Strom, Wärme und Kraftstoffe), sondern schaffen auch neue, nachhaltig erzeugte Produkte (Gärreste als Dünger im Biomassekreislauf oder Biogas für die stoffliche Nutzung). Die Biogasproduktion verbindet interdisziplinär unter anderem Landwirtschaft, Energiewirtschaft, Nahrungsmittelindustrie, industrielle Biotechnologie, chemische Industrie, Handel, Abfallwirtschaft und Umweltschutz, ohne dabei eine abschließende Auflistung aufzuführen.

Wenngleich in den vergangenen Jahren in der Biogasproduktion viele Innovationen im Rahmen von Züchtung, Infrastruktur und Technik, aber auch bei Baumaterialien sowie Konservierungs- und Speicheroptionen, zu einer erheblich effizienteren Biogaserzeugung geführt haben, bleibt noch viel Weiterentwicklungspotenzial. Die mittlerweile aufgetretenen Schattenseiten wie intensivierte Landnutzung, verdichtete Silomaisproduktion im Umfeld von Biogasanlagen sowie die mit konventioneller Intensivierung einhergehenden Verluste an Biodiversität zeigen dies deutlich. Die aktuell sichtbaren Schäden sind ein

Indikator für die bisher nicht hinreichende Berücksichtigung von Umweltbelangen bei der Entwicklung entsprechender Konzepte und Strategien. Diesem Defizit wird im vorliegenden Systemansatz vorgebeugt. Weiterhin führt die Einbeziehung von preisgetriebenen, indirekten Landnutzungseffekten in die Analyse der Klimawirkungen der Biogasproduktion aus nachwachsenden Rohstoffen dazu, dass die CO₂-Vermeidungskosten deutlich über denen vieler anderer erneuerbarer Energien liegen können. Darüber hinaus wird verstärkt über das Für und Wider der für die Biogasproduktion erforderlichen Biomassemengen diskutiert, die nicht dem (globalen) Foodmarkt zur Verfügung stehen und damit die Ernährungssicherheit verschlechtern könnten. In der Folge hat sich mittlerweile auch bei der Diskussion um Biogas eine ähnliche Diskussion eingestellt wie bei den Biokraftstoffen Bioethanol und Biodiesel (Leopoldina, 2012). In diesem Zusammenhang wird auch die geringe Flächenproduktivität der Bioenergie (z. B. kWh_{el} aus Biogas je ha) aus landwirtschaftlich genutzten Flächen genannt. Eine wirksamere Stromeffizienzpolitik wird in diesem Zusammenhang angemahnt (EUWID, 2013). Allerdings zeigen andere Formen der regenerativen Stromproduktion mit höherer Flächenproduktivität, z. B. aus Photovoltaik, aber auch aus Wind, aus gegenwärtiger Sicht kaum regelbare Stromproduktionsoptionen, wenn man von der noch sehr teuren Form der „Power-to-Gas-Technologie“ (PtG) absieht. An dieser Stelle zeigt sich eine Stärke der Biogasproduktion. Durch eine kurzfristige Speicherung sowie durch eine großzügig ausgelegte Kapazität der Blockheizkraftwerke (BHKW) kann **Regelenergie** in einem zukünftig avisierten System mit zunehmender Produktion erneuerbarer Energien – insbesondere aus Sonne und Wind – ein wertvoller Bestandteil im Energiemix sein, um temporäre Flauten der Sonnen- und Windenergieproduktion auszugleichen (Leopoldina, 2012). Darüber hinaus besteht mit der Einspeisung von Biomethan die Option, die in Deutschland sehr umfangreich vorhandenen Gasnetze als mittelfristigen Speicher mit hohem logistischem Potenzial zu nutzen, weil das Biomethan auch auf lange Strecken sogar in entlegene Regionen mit Gasversorgungsnetzen transportiert werden kann. Vor diesem Hintergrund, aber auch im Kontext einer allgemein dezentralen Energieversorgungsoption, hat die nachhaltig betriebene Biogasproduktion einen Mehrwert im Vergleich zu anderen erneuerbaren Energien, solange diese – u. a. durch PtG – noch nicht in der Lage sind, zu vertretbaren Preisen Regelenergie mit hoher Verwendungsflexibilität zur Verfügung zu stellen (FNR, 2009).

An dieser Stelle ist der erste wichtige Anknüpfungspunkt für eine zu intensivierende Forschung zu nennen, bei der die Möglichkeiten sowie die Art und der Umfang von Regelenergie aus Biogas mit den dazugehörigen Speicheroptionen aufzuzeigen sind. Dabei sind Umwelt- und Biodiversitätsaspekte umfassend zu berücksichtigen. Zu diesem Zweck ist auch der Mehrwert der Regelenergie aus Biogas, insbesondere unter der Bedingung des Einsatzes von Biomassen mit geringerem Konkurrenzpotenzial zum Food- und Biodiversitätsbereich zu beziffern. Damit kann ein (regionaler) Masterplan zur Fixierung der Intensität dieser Regelenergie in Abhängigkeit der Entwicklung anderer erneuerbarer Energien in Abstimmung der regional verfügbaren Strom- und

Gasnetzstrukturen aufgestellt werden. Darüber hinaus muss das Ziel einer Biogasforschung sein, die mittlerweile umfangreiche Infrastruktur der deutschen Biogasproduktion zu nutzen, um die Effizienz und Umweltfreundlichkeit dieser Form der Energiewandlung weiter zu erhöhen (z. B. durch Reduktion des Treibhausgaspotenzials oder durch begründete Vorschläge zur Nutzung extensiv erzeugter Biomasse im Biomassemix). Auch die Konkurrenz zum Foodbereich kann auf diese Weise weiter reduziert werden. Ebenso können Belastungen der Umwelt minimiert werden.

Natur- und umweltethische Aspekte sind bei der Produktion von Biogas zu bedenken, weil die jeweilige Art der Landnutzung und Substratwahl die Biodiversität eines Gebietes berühren kann und – dies ist der bisher bereits am meisten diskutierte Aspekt – die Landnutzung für die Energieproduktion in Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion stehen kann, sodass hier ein klassischer Zielkonflikt mit Güterabwägung zu bestehen scheint. Doch Bedarf und Zusammenstellung der Nahrung selbst sind keine einfachen fixen Größen: So wird die Reduktion der Fleischproduktion für die menschliche Ernährung zugunsten einer Steigerung des Anbaus pflanzlicher Nahrungsmittel heute vielfach als mit dem Klimaschutz und dem Tierschutz verträglichere Variante der Erzeugung von Nahrungsmitteln betrachtet. Allerdings ist auch bei einer verstärkten Bevorzugung pflanzlicher Nahrungsmittel eine Nutzungskonkurrenz zwischen dem Anbau von Pflanzen für die Ernährung einerseits und für die Biogasproduktion andererseits bei uns nicht ausgeschlossen. Unter dem Aspekt globaler Gerechtigkeit ist es jedoch fraglich, ob die Auslagerung von Anbauflächen für die Energiepflanzenproduktion der Industrienationen in Entwicklungs- oder Schwellenländer eine ethisch vertretbare Option ist. Bei der ethischen Beurteilung erneuerbarer Energien sind daher bei jeder Substratnutzung – hier also spezifisch für die Option Biogas – die einzelnen Glieder der Wertschöpfungskette auf ihre Voraussetzungen und Konsequenzen hin zu überprüfen und ethisch zu bewerten. Als Zielsetzung sollte die Ableitung von Win-win-Modellen für die beteiligten Akteure und betroffenen Schutzgüter avisiert werden.

Die zum Teil stark kritisierten Förderanreize des EEG (Erneuerbare-Energien-Gesetz) für die Biogasproduktion – insbesondere die hohen Vergütungssätze für den Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen – haben bereits Fakten geschaffen und Biogasstrukturen auf Jahrzehnte hin fixiert. In diesem Zusammenhang werden die inzwischen mehr als 7.000 Biogasanlagen in Deutschland von einigen Akteuren als überhöht angesehen (Leopoldina, 2012). Allerdings ist bei dieser mittlerweile hohen installierten Kapazität zu berücksichtigen, dass eine Wirkungsgrad- bzw. Effizienzerhöhung erhebliche Einsparungen an benötigter Fläche zur Folge hat, die dann potenziell für Foodmärkte zur Verfügung stehen kann, aber auch den Bedarf an extensiv genutzten Ausgleichsflächen zur Erhaltung von Umwelleistungen und biologischer Vielfalt erhöht. Die Integration der Sektoren Produktion von Biomasse für den Energiesektor, Konkurrenzvermeidung zum Food-Sektor und Erhaltung der notwendigen Räume für die biologische Vielfalt ist die besondere und bisher zu

wenig integrierend betrachtete Herausforderung für die nachhaltige Produktion von Biogas. In Anbetracht des bereits hohen Niveaus an etablierter Biogasproduktion ist zur nachträglichen Integration der genannten Sektoren kurz- und mittelfristig etablierter technischer Fortschritt besonders wichtig.

Aber nicht allein technische Verbesserungen in der Biogasproduktion bzw. an der Biogasanlage sind für die bereits bestehenden und ggf. für die zukünftig entstehenden Biogasanlagen zu nutzen. Auch die Art der verwendeten Substrate hat einen erheblichen Einfluss auf die Effizienz der Biogasproduktion, insbesondere im Kontext der Umwelteffekte sowie der Substratkonkurrenz zum Foodmarkt. Substraten aus der Grünlandlandnutzung oder dem Natur- und Landschaftsschutz muss mehr Aufmerksamkeit geschenkt werden. Denn sie stehen in geringerer Konkurrenz zum Foodmarkt und bieten bei deutlich eingeschränkten oder nicht vorhandenen Intensivierungspotenzialen ein viel höheres Maß an Biodiversität. Allerdings ist die Verwertungseffizienz bei der Ausschöpfung von Nutzungspotenzialen vorhandener Flächen und Gasausbeute aus rohfaserreichen Substraten bislang suboptimal. Somit besteht auch an dieser Stelle noch erheblicher Forschungsbedarf. Darüber hinaus ist aus vergleichbaren Gründen dem Einsatz von Rest- und Abfallstoffen eine viel höhere Aufmerksamkeit zu schenken, denn viele dieser Rest- und Abfallstoffe zeigen sehr gute Eigenschaften für die Biogasproduktion. Mit der flächendeckenden Einführung der Sammlung von kommunalen Bioabfällen im Jahr 2015 steht ein großes, noch nicht erschöpftes, möglicherweise günstig verfügbares Biomassepotenzial zur Verfügung. Es bedarf einer saisonalen sowie räumlich differenzierten Analyse des Aufkommens an Bioabfällen sowie der Biomüllzusammensetzung hinsichtlich der Unterscheidung in ligninhaltige bzw. nicht verholzte Biomasse. Allerdings bedarf es dafür in der Regel auch geeigneter Aufbereitungsmaßnahmen, damit diese Rest- und Abfallstoffe nach der Vergärung in einem Biogasfermenter wieder umweltfreundlich und kostengünstig in einen geschlossenen Kreislauf gebracht werden können. Während dies für Wirtschaftsdünger eine geringere Herausforderung darstellt, existieren beispielsweise für Lebensmittelreste oder vergleichbare Abfälle größere Hürden. Auch an dieser Stelle besteht noch erheblicher Forschungsbedarf, sowohl in Bezug auf das bestehende und wirtschaftlich nutzbare Potenzial von Rest- und Abfallstoffen, als auch im Hinblick auf die Art der Verwertung als Gärrest.

Speziell in Baden-Württemberg eröffnen die oben aufgeworfenen Fragen und Optionen neue Perspektiven für eine bioökonomisch ausgerichtete Gesamtstrategie. Im Rahmen einer bioökonomisch ausgerichteten Forschung bietet Biogas schon kurzfristig Erfolgsoptionen aufgrund der bereits räumlich stark diversifizierten Produktion von Biogas, die jedoch noch viele Effizienzsteigerungs- und Nutzungsänderungspotenziale aufweist. Im Kontext veränderter Substrateinsätze sowie stärkerer regionaler und produktionsgesteuerter Abstimmung kann diese Form der Energiewandlung sogar ein langfristig tragfähiges Konzept im Rahmen einer bioökonomischen Strategie aufweisen, wenn es gleichzeitig gelingt, die Konkurrenz zum Foodbereich, zu einer zu-

künftigen evtl. verschärften Konkurrenz in der stofflichen Nutzung von Biomasse und zum für den Erhalt von Biodiversität unverzichtbaren Raumananspruch zu verringern. Baden-Württemberg muss sich mit seiner in Deutschland vergleichsweise hohen Einwohnerzahl und – dichte, aber auch mit seiner hohen Industrie- und Dienstleistungsdichte insbesondere auch im Tourismussektor (Schönheit von Landschaften) besonderen Herausforderungen bei der Nutzung von Biomasse im Energiesektor offensiv stellen. Das hohe Energiekonsumniveau, gepaart mit der hochwertigen, aber auch energieintensiven Industrie Baden-Württembergs, ist auf eine ausreichend hohe, sichere und gleichzeitig günstige, aber dennoch umweltfreundliche Energiebereitstellung angewiesen, um langfristig wettbewerbsfähig bleiben zu können. Die aktuellen Aktivitäten in Richtung einer Energiewende stellen somit in besonderem Maße für Baden-Württemberg sehr hohe Herausforderungen, denen kurz- und mittelfristig nicht allein mit Wind- und Sonnen- oder auch Wasserkraft zu begegnen sein wird, wenngleich für Sonne und Wind die höchsten Potenziale gesehen werden (UM, 2012). Darüber hinaus bietet Baden-Württemberg mit seinen mittlerweile ca. 800 Biogasanlagen – breit verteilt im ländlichen Raum – eine Alternative zur Ergänzung im Energiemix (und ggf. für die stoffliche Produktion), um den zuvor genannten Herausforderungen begegnen zu können. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich die Bevölkerung speziell in Baden-Württemberg großflächig neben den Oberzentren in vergleichsweise zahlreichen Grund-, Unter- und Mittelzentren verteilt (Thalheimer, 2008). Somit wird auch die Konversion von Biomasse in Energie, die bevorzugt außerhalb der Oberzentren stattfindet, von breiten Bevölkerungsschichten aufmerksam wahrgenommen. Daher ist eine gesellschafts- und damit auch umweltfreundliche und landschaftsverträgliche Energie speziell in und für Baden-Württemberg sicherzustellen, die auf breite Akzeptanz stoßen muss.

Im Spannungsfeld der zuvor genannten vielfältigen Anforderungsprofile ist das Bundesland Baden-Württemberg in besonderem Maße gefordert und befähigt, auf der Basis seiner bereits bestehenden Biogasproduktion für deren Fortentwicklung eine integrierte Gesamtstrategie zu entwickeln und erfolgreich umzusetzen. Hierfür bestehen hervorragende Voraussetzungen:

- Baden-Württemberg verfügt über eine breit diversifizierte und strukturreiche Landwirtschaft, die damit vertraut ist, bevölkerungsnah Biomasse – auch für energetische und stoffliche Prozesse – zu produzieren.
- Baden-Württemberg verfügt über überdurchschnittlich gut verzweigte Energienetze, die breit gefächert in den ländlichen Raum hineinragen und somit an vielen Standorten Ein- und Ausspeisemöglichkeiten bieten.
- Die Landespolitik Baden-Württemberg plant einen von der Bevölkerung in großer Breite getragenen starken Ausbau erneuerbarer Energien, der auch verstärkt regelbare Energien, die unter anderem durch Biogas zur Verfügung gestellt werden können, erfordert.

- Die bislang wenig entwickelte Stromerzeugung durch Windkraftanlagen in Baden-Württemberg kann sich zukünftig in ihrem weiteren Ausbau als Stärke speziell im Zusammenspiel mit der Biogasproduktion erweisen, indem intelligente stationäre Lösungen mit optimierten Stand-orten simultaner Biogas- und Windenergieproduktion z. B. im Rahmen der PtG-Technologie ermöglicht werden.
- Die hohe Wertschöpfung aus dem Naherholungs- und Tourismussektor erfordert die tragfähige Integration der Belange von Biodiversität und Landschaftserhaltung.

Durch das Erneuerbare-Wärme-Gesetz (EWärmeG) in Baden-Württemberg, das neben der allgemeinen Bundesgesetzgebung speziell die Eigentümer bestehender Wohngebäude Baden-Württembergs betrifft, die ihre Heizungsanlage ab dem 1. Januar 2010 ausgetauscht haben, steigt der Bedarf für Biogas. Mit der Zielsetzung, bis 2020 den Anteil erneuerbarer Energien an der Wärmeversorgung in Baden-Württemberg von derzeit 8 auf 16 Prozent auszubauen, werden diese Eigentümer bestehender Wohngebäude angehalten, 10 % des Wärmeenergiebedarfs aus erneuerbaren Energien zu decken, wobei dem Biogas eine bedeutende Rolle zugerechnet werden kann.

Nicht allein aus diesem Grund zeigen die Energieversorger Baden-Württembergs ein zunehmend starkes Interesse, Biogas und daraus resultierende Energieträger in den eigenen Energiemix zu integrieren, der von den Verbrauchern bzw. der Bevölkerung umweltfreundlich und preiswert erwartet wird.

Großes Potenzial besteht auch in der Nutzung von Biogas im Bereich der Mobilität. Teilweise werden schon jetzt reine Biogasprodukte für CNG²⁰-Produkte angeboten. In Hinblick auf die angestrebte Senkung der spezifischen CO₂-Emissionen im Kraftstoffbereich kann Biogas insbesondere aus biogenen Reststoffen und in Kombination mit PtG-Konzepten einen wichtigen Beitrag leisten. Gerade die in Baden-Württemberg stark vertretene Automobilindustrie kann von diesem Kraftstoffpfad profitieren.

Baden-Württemberg weist aufgrund der etablierten Konsummuster ein hohes Potenzial von Rest- und Abfallstoffen auf, das gleichzeitig logistisch günstig durch vergleichsweise viele Unter- und Mittelzentren für eine umfangreiche dezentrale Biogasproduktion verfügbar gemacht werden könnte (vgl. dazu auch das neu gefasste Kreislaufwirtschaftsgesetz).

Die in Baden-Württemberg hohe Qualität der Nahrungsmittel sowie die hohen Qualitätsstandards bzw. -anforderungen der Verbraucher dürfen nicht durch

²⁰ Compressed Natural Gas

die Wertschöpfungskette Biogas beeinträchtigt werden. Die zunehmend anfallenden und zunehmend diversifizierten Gärreste der Biogasproduktion sind nicht allein aus diesem Grund adäquat in einen nachhaltigen Biomassekreislauf zu integrieren. Insbesondere Baden-Württemberg legt bereits aus historischer Perspektive einen hohen Wert auf Wasser-, Boden- und Luftschutz im Kontext der Integration von Rest- und Abfallstoffen sowie Wirtschaftsdüngern und Gärresten. Diese Qualität darf auch mit der Biogasproduktion zukünftig nicht eingeschränkt werden.

Baden-Württemberg weist mittlerweile zahlreiche Industrien auf, die sich in der Wertschöpfungskette der Biogasproduktion etabliert haben und teilweise Marktführer darstellen. Dazu zählen z. B. die zwei größten bzw. vergleichsweise umsatzstarken BHKW-Hersteller (für Biogasanlagen) im Nordwesten und Südosten Baden-Württembergs. Dazu gesellen sich inzwischen Anlagenbauer und viele Dienstleister in Baden-Württemberg, die mit ihren Beratungsdienstleistungen oder auch gebündelten Informationsdienstleistungen wie etwa der BIOPRO Baden-Württemberg GmbH die Wertschöpfungskette Biogas flankieren. Bereits mit diesen Beispielen wird die hohe Innovations- und Wertschöpfungskompetenz für Biogas in Baden-Württemberg offensichtlich, die auch im Zuge der zu erwartenden dynamischen Veränderungen im Bereich der Wertschöpfungskette Biogas zu erhalten bzw. auszubauen ist.

Schließlich verfügt Baden-Württemberg über eine hervorragende Forschungskompetenz in der gesamten Wertschöpfungskette der Biogasproduktion und -verwertung, sowohl in der Grundlagenforschung als auch in der angewandten Forschung, die allein im Hinblick auf die Biogasproduktion eine exponierte Stellung im nationalen wie auch im internationalen Kontext aufweisen. Gleiches gilt für die mit der Biogasproduktion stark verbundenen Themen Natur-, Boden- und Gewässerschutz. Die einzelnen Universitätsstandorte, die forschungsnahen Landesanstalten sowie insbesondere auch die Institute der Helmholtz-Gemeinschaft und der Fraunhofer-Gesellschaft, aber auch weitere gemeinnützige Forschungseinrichtungen mit jeweils bedeutenden Standorten mit biogaszentrierten oder biogasnahen Forschungsprojekten unterstreichen die Forschungskompetenz im Bereich der Biogasproduktion in Baden-Württemberg.

Die Biogasproduktion kann speziell in Baden-Württemberg bei angemessener Ausrichtung, Förderung, Rahmensetzung und Koordinierung ein großes bioökonomisches Potenzial entfalten.

Aufbauend auf den vorherigen Darstellungen, warum die Biogasproduktion im Kontext einer Bioökonomiestrategie in Baden-Württemberg gefördert werden sollte, wird im Folgenden dargelegt, wie die Biogasproduktion im Bereich der Forschung gefördert werden könnte, damit sie speziell für Baden-Württemberg aufgrund der diesbezüglich avisierten Abstimmung eines Regenerative Energien-Konzeptes eine höchstmögliche Synergie für Baden-Württemberg darstellt. Zu diesem Zweck werden im Folgenden zunächst die institutionellen Forschungsexpertisen aufgelistet, um darauf aufbauend im Anschluss die

Forschungsprojekte aufzuzeigen, die einen Mehrwert in der Wertschöpfungskette Biogas für Baden-Württemberg aufzeigen können.

In der Vergangenheit sind bereits viele Projekte im Bereich der Wertschöpfungskette Biogas durch Forschungsmittel unterstützt worden. Sie umfassen die Bereiche Substraterzeugung und -konservierung mit Pflanzenschutz, Züchtung, Fruchtfolgeoptimierung, Integration von Abfall- und Reststoffen, Natur- und Umweltschutz in der Wertschöpfungskette, Logistik, Konversions- und Speichertechnologien, Fermentationsbiologie, Gärrestaufbereitung sowie Gärrestnutzung, Gastechnologien, Biogasaufbereitung und -einspeisung, Betriebs- und Volkswirtschaft in der Wertschöpfungskette. Wesentliche Träger waren dabei die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) und das BMELV sowie das BMU. Viele Forschungsinstitutionen in Baden-Württemberg haben sich bislang an den vergangenen Projektausschreibungen zuvor genannter Förderer erfolgreich beworben und damit ihre Expertise in der Wertschöpfungskette Biogas erweitern können. Diese Institutionen sollten im Wesentlichen auch in zukünftige Projekte integriert werden, damit die bestehende Expertise in Baden-Württemberg synergistisch genutzt werden kann. Dazu zählen die in Tabelle 6-1 aufgelisteten Institutionen sowie ihre Forschungsschwerpunkte, mit z. T. neuen Akteuren in der Biogas-Wertschöpfungskette, um die zu erwartenden Herausforderungen bewältigen zu können.

Tabelle 6-1: Übersicht über einzelne Forschungsakteure und dazugehörige Expertisen in Baden-Württemberg

Institution	Expertise in der Wertschöpfungskette Biogas
Universität Hohenheim sowie Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie	Substraterzeugung und -konservierung mit Pflanzenschutz, Züchtung, Fruchtfolgeoptimierung, Integration von Abfall- und Reststoffen, Natur- und Umweltschutz in der Wertschöpfungskette, Logistik, Konversions- und Speichertechnologien, Fermentationsbiologie, Gärrestaufbereitung sowie Gärrestnutzung, Biogasaufbereitung und -einspeisung, Betriebs- und Volkswirtschaft in der Wertschöpfungskette
Universität Stuttgart sowie Fraunhofer IGB	Grundlagenforschung der Gaserzeugung, -analyse und -nutzung, Integration von Abfall- und Reststoffen, Natur- und Umweltschutz in der Wertschöpfungskette, Logistik, Konversions- und Speichertechnologien, Gärrestaufbereitung sowie Gärrestnutzung, Betriebs- und Volkswirtschaft in der Wertschöpfungskette
Universität Heidelberg	Biologische Grundlagenforschung

Institution	Expertise in der Wertschöpfungskette Biogas
KIT mit ITAS, IKFT, EBI und EIFER ²¹ , Karlsruhe	Gas- und Wassertechnologie sowie Verbrennungstechnik, Integration von Abfall- und Reststoffen, Natur- und Umweltschutz in der Wertschöpfungskette, Logistik, Konversions- und Speichertechnologien, Biogasaufbereitung und -einspeisung, Betriebs- und Volkswirtschaft in der Wertschöpfungskette
Universität Tübingen	Natur- und Umweltschutz, Ethische Rahmenbedingungen der Biomasseerzeugung sowie -nutzung
Universität Konstanz	Grundlagenforschung der Gaserzeugung, -analyse und -nutzung
Universität Ulm	Grundlagenforschung der Gaserzeugung, -analyse und -nutzung
Hochschule Nürtingen-Geislingen	Substraterzeugung und -konservierung, Fruchtfolgeoptimierung, Gärrestvermarktung
Hochschule Offenburg	Technologien in der Biogasproduktion, Optimierung der Biogasproduktion
LAZBW Aulendorf	Substraterzeugung und -konservierung mit spezieller Expertise für Grünland sowie Tierhaltung an der Schnittstelle mit Biogasproduktion, Fruchtfolgeoptimierung, Natur- und Umweltschutz in der Wertschöpfungskette, Dienstleister für die Biogasproduktion
LSZ Boxberg	Substraterzeugung und -konservierung mit spezieller Expertise für die Verbindung von Tierhaltung und Biogasproduktion, Natur- und Umweltschutz in der Wertschöpfungskette, Dienstleister für die Biogasproduktion
LTZ Augustenberg	Substraterzeugung und -konservierung mit Pflanzenschutz, Züchtung, Fruchtfolgeoptimierung, Natur- und Umweltschutz in der Wertschöpfungskette
ZSW, Stuttgart	Forschung an der Schnittstelle der Synergien von Biomasse- und Sonnenenergie, Speichertechnologien, Gasexpertise, Energiesystemdienstleistungen

²¹ European Institute for Energy Research

Institution	Expertise in der Wertschöpfungskette Biogas
DVGW mit TZW, Karlsruhe	Gastechnologie und Verbrennungstechnik, Rest- und Abfallstoffe sowie Gärreste im Kontext von Wassertechnologie bzw. Wasserqualität
LUBW Karlsruhe	Umwelt- und Naturschutz in der Wertschöpfungskette, Rest- und Abfallstoffe sowie Gärreste im Kontext der Umweltmedien Boden, Luft und Wasser sowie Klima, Expertise an der Schnittstelle sowie für Synergiepotenziale diverser regenerativer Energien
Universität Freiburg	Grundlagenforschung und Technologieentwicklung bei Wasserstoffproduktion, Methanol und Ethanol Produktion, biotechnologische Forschung für Energiekonversionsmodelle (Algen und Cyanobakterien), Energiespeicher - Optimierung, Katalysatoren für Power-to-Gas Verfahren, Grundlagenforschung für Gasaufbereitung aus Abfall- und Reststoffen.

Abbildung 6-1 zeigt ein Konzept, das einen hohen Nutzen speziell für Baden-Württemberg verspricht (aufgrund der naturräumlichen und topografischen Lage, wegen bereits bestehender Strukturen und existierenden Know-hows oder begründet durch bereits bestehender oder zu erwartender Bedürfnisse).

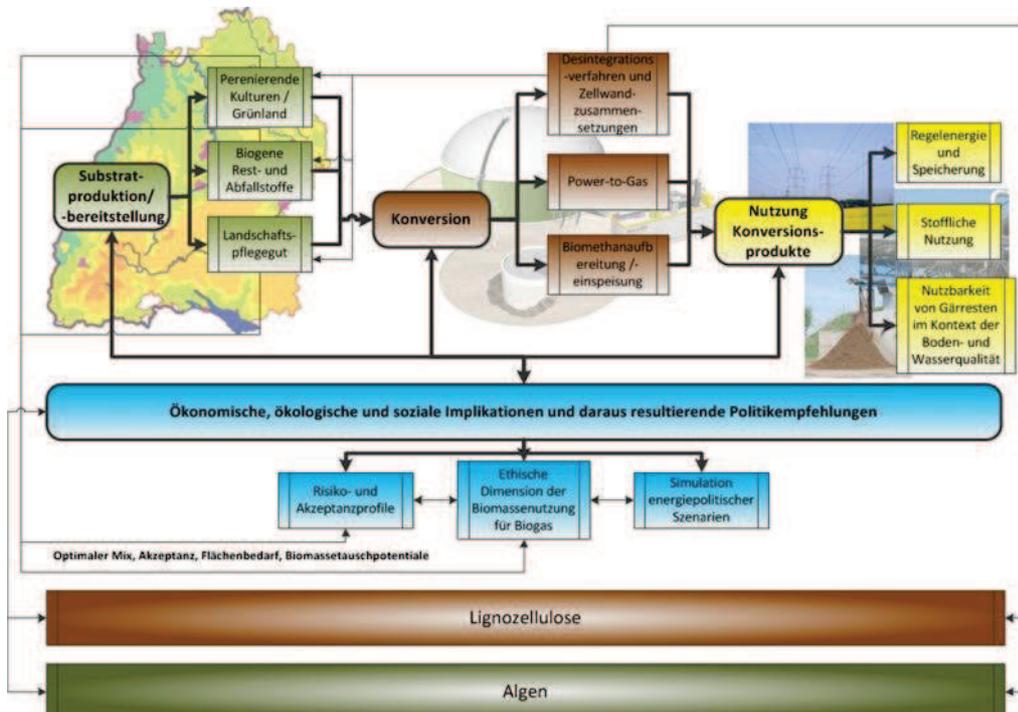


Abbildung 6-1: Struktur des Forschungsfelds Biogas

Das Konzept ist in vier Handlungsfelder aufgeteilt, die jeweils interdisziplinär und standortübergreifend bearbeitet werden könnten.

Handlungsfeld 1: Substratbereitstellung

Mit dem Ziel, nachhaltige Biogassubstrate, die weniger in Konkurrenz zum Food-Bereich stehen, noch umfangreicher verfügbar zu machen, um somit verstärkt den bislang eingesetzten Silomais substituieren zu können sowie simultan ein noch höheres Maß umweltgerechter Biogasproduktion bei gleichzeitig erhöhter Sicherstellung der Biodiversität zu gewährleisten, werden alternative Pflanzensysteme (auch Dauerkulturen), Landschaftspflegeelemente sowie Rest- und Abfallstoffe bezüglich Verfügbarkeit und effizienterer Nutzung für die Biogasproduktion analysiert. Aus Sicht des Wasser- und Bodenschutzes steht der Nährstoffhaushalt der Standorte, an denen Pflanzen speziell für die Biogasproduktion angebaut werden, im Vordergrund. Hier ergibt sich ein Bedarf für die Ermittlung möglicher Nährstoffüberschüsse bei der Nutzung für die Biogasproduktion im Vergleich zu anderen Nutzungen.

Handlungsfeld 2: Konversion

Mit dem Ziel, Flächen bzw. Substrate effizienter zu nutzen, ist die Methanausbeute je Mengen- bzw. Gewichtseinheit verfügbarer Substrate zu steigern. Dies gilt auch für stärker lignozellulosehaltige bzw. faserreiche Biomassen und Substratmischungen sowie deren Aufschluss für die Methanproduktion. Darüber hinaus ist die Art der Biogasproduktion und -aufbereitung bedeutend hinsichtlich ihrer Speicherbarkeit. In diesem Zusammenhang sind Desintegrationsverfahren von Biomassen zunehmend wichtig. Die biologische Beeinflussung sowie technische Bearbeitung ansonsten schwer aufzuschließender Biomassen ist dabei ein wichtiges Forschungsziel.

Des Weiteren sind Verfahrenskonzepte wichtig, die die Erzeugung, Aufbereitung und Einspeisung von Biogas in das Erdgasnetz verbessern. Dazu zählen auch Flexibilisierungskonzepte in der Anlagentechnik und Konzepte für Multisubstratanlagen.

Handlungsfeld 3: Nutzung der Konversionsprodukte

Aufgrund der Fermentation der Biomasse für die Biogasproduktion ergeben sich zunächst zwei wesentliche Produktlinien. Das Kernprodukt ist das Biogas mit seinen weiteren optionalen Verwendungsmöglichkeiten der energetischen und stofflichen Nutzbarkeit. Letztere ist bislang nicht erforscht und bedarf einer eingehenden Betrachtung. Ansonsten muss Biogas in der energetischen Verwertung in Zukunft seine Stärke der Verwendungsflexibilität in Form der Speicherbarkeit und Regelbarkeit ausspielen. Für die Bestandsanlagen in Baden-Württemberg sind die technischen und ökonomischen Potenziale zu identifizieren und weiterzuentwickeln.

Weiterhin sind die Gärreste als Konversionsprodukt zu nennen, die vorzugsweise im Rahmen einer Kreislaufwirtschaft einer Nutzbarkeit zugeführt werden sollten. Auch hier besteht noch ein erhebliches Verbesserungspotenzial in der (energetisch) angemessenen Aufbereitung sowie der Nutzbarkeit in einer Kreislaufwirtschaft, die ökologisch und ökonomisch ausgewogen ist. Die Analyse der Wirksamkeit von Gärresten im Boden und im Wasser ist insbesondere bei verstärkter Nutzung von Rest- und Abfallstoffen von hoher Bedeutung und bislang noch zu wenig erforscht.

Handlungsfeld 4: Ökonomische, ökologische, ethische und soziale Implikationen der Biogasproduktion und -verwertung

Eine nachhaltige Biogasproduktion und -verwertung ist durch ökonomische, ökologische, ethische sowie soziale Dimensionen gekennzeichnet, die im Handlungsfeld 4 den Schwerpunkt bilden, wenngleich einzelne dieser Aspekte bereits in den drei zuvor genannten Handlungsfeldern zumindest implizit behandelt werden, weil sie von den genannten Teilaspekten dieser drei Handlungsfelder kaum loslösbar sind. Wesentliche Bestandteile sind Modellierungen von betriebs- und volkswirtschaftlichen Effekten, die einen stark verbindenden Charakter zu einzelnen Teilbereichen aufweisen. Einzelbetriebliche Gestehungskosten, unternehmerische Risikoprofilanalysen, erforderliche Anreizmechanismen auch im Kontext von volkswirtschaftlich maßgeblichen Gleichgewichtsmodellen sind ein wichtiger Ansatzpunkt der Analysen. Sie werden flankiert durch ethische Bewertungen im Zusammenhang mit der Erzeugung von Biomasse und ihrer energetischen Nutzung.

Der holistische und interdisziplinär sowie institutionen- bzw. standortübergreifende Forschungsansatz mit der Bündelung vieler bedeutender Forschungskompetenzen aus Baden-Württemberg in der Wertschöpfungskette Biogas verleiht diesem Ansatz ein Alleinstellungsmerkmal in der Forschungslandschaft mit hoher praktischer Relevanz. Die avisierte Verbindung mit maßgeblichen Industrie- und Dienstleistungsvertretern Baden-Württembergs kann zu einem hohen Potenzial kurz- und mittelfristiger Transmission der Forschungsergebnisse in die Praxis Baden-Württembergs führen und Leitlinien für die Politik Baden-Württembergs im Rahmen einer Bioökonomieinitiative aufzeigen.

Aufbauend auf den bisherigen Forschungsergebnissen besteht durch einen solchen Ansatz erhebliches Potenzial, weitere Forschungsmittel zu akquirieren, zumal durch die Bündelung der Kompetenz in Baden-Württemberg bestehende Ressourcen noch besser ausgelastet und fokussierter genutzt werden können. Neben den klassischen Förderern wie z. B. DFG besteht ein hohes Förderpotenzial insbesondere bei der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe sowie beim BMU, die sich in der Vergangenheit bereits intensiv mit Fördermitteln in die Wertschöpfungskette Biogas eingebracht haben. Durch die avisierte Integration von Industrie- und Dienstleistungspartnern ist darüber hinaus zu erwarten, dass einzelne Projekte mit privater Forschungsförderung im Nachlauf initiiert werden können. Das Forschungsprojekt ist derart ange-

legt, dass auch noch weitere Forschergruppen und Projektoptionen angedockt werden können, insbesondere wenn es zu einer Novellierung des EEG kommt und z. B. Energiesystemdienstleistungen eine noch prominentere Rolle einnehmen können.

6.1.2 Forschungsfeld Lignozellulose

Lignozellulose - Wechsel zu einer alternativen Rohstoffplattform für neue Produkte und Materialien

Unter dem Begriff Lignozellulose soll die große Vielfalt solcher Biomassen verstanden werden, die sich durch einen hohen Anteil an Zellulose, Hemizellulosen und Lignin auszeichnen. In den Zellwänden von Pflanzen wird die faserförmige, langkettige Zellulose (40-50 %) von den kleineren Molekülen der Hemizellulose (25-30 %) vernetzt. Die Einlagerung des Makromoleküls Lignin (20-30 %) verstärkt die Zellwände und führt zu einer Verholzung. Lignozellulose ist der Grundstoff von Bäumen und Gräsern und kann aus diesen bereitgestellt werden. Auch Reststoffe aus der land- oder forstwirtschaftlichen Produktion sowie der Holzverarbeitenden Industrie, wie z. B. Stroh, Landschaftspflegeholz oder Sägespäne, sind lignozellulosereiche Biomassen. Damit fallen lignozellulosereiche Biomassen aus einer großen Vielfalt unterschiedlicher Quellen an. Bei der Nutzung von Reststoffen konkurriert die energetische und stoffliche Nutzung lignozellulosehaltiger Biomasse nicht mit der Nahrungs- oder Futtermittelnutzung. Außerdem kommen für den gezielten Anbau von Lignozellulose liefernden Pflanzen – im Folgenden Lignozellulosepflanzen genannt – auch marginale landwirtschaftliche sowie forstwirtschaftliche Flächen in Frage, so dass eine Flächenkonkurrenz mit der Produktion von Nahrungs- und Futtermitteln reduziert werden kann. Allerdings sind marginale Flächen in Baden-Württemberg vielfach „Hotspots“ für biologische Vielfalt und damit geänderten Nutzungen nur eingeschränkt zugänglich. Für Lignozellulosepflanzen können neben einer hohen Flächennutzungseffizienz auch andere ökologische Vorteile verzeichnet werden, da es sich bei den Lignozellulose liefernden Bäumen und Gräsern im Allgemeinen um mehrjährige Pflanzen handelt. So wird beim Anbau mehrjähriger Pflanzen auf landwirtschaftlichen Flächen durch die lange Bodenruhe von bis zu 20 Jahren eine Anreicherung von Kohlenstoff und Humus und damit eine Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit erreicht. Der im Vergleich zu einjährigen Pflanzen geringere Bedarf an Düngern und die gute Pflanzengesundheit reduzieren bei mehrjährigen Pflanzen den Bedarf an Agrarchemikalien. Insgesamt ist eine höhere Biodiversität zu beobachten als in konventionell bewirtschafteten landwirtschaftlichen Flächen, da die Bestände weitgehend störungsfrei bewirtschaftet werden und den Tieren Schutzraum bieten. Bei dem gezielten Anbau von schnellwachsenden Baumarten auf forstwirtschaftlichen Flächen, z. B. nach Störungen wie Windwurf, tragen diese Bestände zu einer schnelleren Erholung der Wasser- und Nährstoffkreisläufe von Waldökosystemen bei. Unter tierethischen Aspekten ist zu bedenken, dass diese Flächen den Tieren nur einen zeitlich begrenzten Schutz bieten, da die Pflanzen (Bäume, Gräser usw.) schließlich für die

menschliche Nutzung geerntet werden und die Tiere durch den plötzlichen Verlust ihres gewohnten Lebensraums bedroht sein können.

Daher bietet lignozellulosehaltige Biomasse ein gutes Potenzial für eine stoffliche und/oder energetische Verwertung. Dies gilt insbesondere für Baden-Württemberg, welches sowohl über ein ausgewiesenes Potenzial im Forst- als auch im Agrarsektor für die Bereitstellung von lignozellulosehaltiger Biomasse verfügt. Ein besonderer Fokus muss dabei auf der Bereitstellung nachhaltig produzierter Rohstoffe aus heimischer Erzeugung liegen. In Deutschland besteht noch Potenzial für eine weitere Ausweitung der nachhaltigen Erzeugung nachwachsender Rohstoffe (Unsel, 2012).

Baden-Württemberg gehört mit 14.000 km² Wald (39 % der Landesfläche) zu den walddreieichsten Bundesländern in Deutschland und ist gekennzeichnet durch einen starken landwirtschaftlichen Sektor mit über 800.000 ha Ackerfläche, die vor allem zur Produktion von Getreide (532.000 ha) und Silomais (120.000 ha) und zu geringeren Anteilen für Ölfrüchte (63.500 ha) und Hackfrüchte (39.000 ha) genutzt wird.

Die Forst- und Holzwirtschaft in Baden-Württemberg ist durch eine tief gestaffelte Wertschöpfungskette und durch ihre mittelständische Struktur mit einem hohen Anteil kleiner und mittlerer Betriebe (KMU) gekennzeichnet, die überwiegend im ländlichen Raum angesiedelt sind. Die Wälder Baden-Württembergs verzeichnen laut den letzten Inventurergebnissen die bundesweit höchsten Zuwächse und sind nach Bayern die vorratsreichsten im Bundesgebiet. Nadelbaumarten dominieren bisher die Waldzusammensetzung (57,1 %) und den Holzeinschlag (77 %; davon 71 % Holzartengruppe Fichte und 6 % Holzartengruppe Kiefer) (MLR, 2010). Über drei Viertel des in Baden-Württemberg eingeschlagenen Holzes verbleiben im Land. Nach dem Hauptabnehmer Sägeindustrie (65 %) ist der Rundholzhandel (18 %) die zweitwichtigste Abnehmergruppe. Zellstoff- und Papierindustrie, sonstige Holzindustrie und andere Unternehmen nahmen jeweils nur rund 5 % des Holzes ab. 4 Millionen Festmeter Waldholz werden jährlich energetisch genutzt und können 910 Millionen Liter Heizöl ersetzen. Aufgrund des seit einigen Jahrzehnten vorangetriebenen ökologischen Waldumbaus, in dem vornehmlich wenig standorts- und klimaangepasste Nadelholzmonokulturen in Mischbestände mit Laubholz umgewandelt worden sind und werden, wird in einigen Jahrzehnten der Anteil des Nadelholzes am Einschlag deutlich zurückgehen. Für die dadurch gleichzeitig ansteigende Nutzung von Laubholz mit Schwerpunkt in der Buche besteht ein dringender Bedarf für die Entwicklung von Produkten mit hoher Wertschöpfung. In Südwestdeutschland und speziell in Baden-Württemberg ist Buchenholz eine derzeit nur unzureichend genutzte Ressource. Die traditionell installierten Nutzungsmöglichkeiten reichen bei Weitem nicht aus, um den nachhaltigen Zuwachs zu verarbeiten.

Die Landwirtschaft in Baden-Württemberg zeichnet sich durch die im Vergleich der Bundesländer geringsten Betriebsgrößen (durchschnittlich 32 ha) sowie das Landschaftsbild positiv prägende, kleinräumige Strukturen aus. Die

Ackerflächen sind größtenteils sehr ertragreich und werden intensiv bewirtschaftet, vor allem zur Produktion von Getreide. Das hierbei anfallende Stroh wird zum größten Teil zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit auf dem Acker belassen; darüber hinausgehende Potenziale zur energetischen oder stofflichen Nutzung dieser lignozellulosehaltigen Biomasse werden jedoch bisher nicht genutzt. Des Weiteren hat Baden-Württemberg ca. 530.000 ha Dauergrünland, von dem ein zunehmender Anteil aus Wirtschaftlichkeitsgründen aus der Nutzung für die Tierfütterung herausfällt. Auch diese Flächen bieten ein bisher nicht genutztes Potenzial zur Lieferung lignozellulosehaltiger Biomasse. Führend unter den Bundesländern ist Baden-Württemberg bereits heute mit 24 % bei dem Anteil der Landwirte, die Biogas aus nachwachsenden Rohstoffen erzeugen. Bioenergie und stoffliche Produkte werden in Baden-Württemberg derzeit vor allem auf Grundlage von stärke-, zucker- und ölhaltigen Pflanzen, insbesondere Mais, Getreide und Raps, gewonnen, deren Produktionspotenzial hier weitestgehend ausgenutzt ist. Dagegen bestehen in Baden-Württemberg noch erhebliche Produktionspotenziale für lignozellulosehaltige Biomassen. Das Potenzial zum weiteren Ausbau der Biomasseerzeugung in Baden-Württemberg – bei einer eher geringen Einschränkung der Nahrungs- und Futtermittelproduktion – auf rund 5.000 ha (0,6 % der Ackerfläche in Baden-Württemberg) hat Aust (Aust, 2012) anhand von Kurzumtriebsplantagen (KUP) aufgezeigt, für die er vor allem den Anbau auf zur Verässung neigenden Flächen oder Flächen mit einer geringen Bodengüte vorsieht.

Handlungsfelder

Aufgrund der regionalen Bedeutung und Wertschöpfung ist die Weiterentwicklung des land- und forstwirtschaftlichen Wirtschaftszweigs sowie der vor- und nachgelagerten Wirtschaftssektoren für die weitere, mittel- und langfristige Entwicklung des ländlichen Raums in Baden-Württemberg von großer Bedeutung. Die pflanzliche Vielfalt der Lignozellulosen als stoffliche Basis für diverse Konversionsprozesse variiert nicht nur wegen der unterschiedlichen Pflanzenspezies, z. B. hinsichtlich nutzungsrelevanter Größen wie Ertrag oder Zusammensetzung, sondern auch bezüglich erzeugungsrelevanter Größen wie Düngemittleinsatz und anderer Anbauparameter. Die Entwicklung neuer Prozess- und Produktlinien im Einklang mit einer darauf abgestimmten Bereitstellung geeigneter Biomassen spielt daher in diesem Zusammenhang eine besondere Rolle. Sie eröffnet den Weg zur Interaktion von Land- und Forstwirtschaft mit anderen Wirtschaftszweigen, eröffnet damit neue Einkommensmöglichkeiten auf der Erzeugerseite sowie entlang der Wertschöpfungsketten und stärkt den Technologie- und Maschinenbaustandort Baden-Württemberg in seiner mittelstandsgeprägten Struktur. Eine wichtige Aufgabe dabei können Bioraffinerien übernehmen, die künftig eine breite Palette von Produkten erzeugen können. Derzeit befinden sich solche Bioraffinerie-Konzepte überwiegend noch in der Phase von Forschung und Entwicklung. Wie die Bestandsaufnahme und die Kompetenzmatrix (siehe Kapitel 4) zeigen, deckt die Forschungslandschaft in Baden-Württemberg alle für eine derartige Entwicklung

notwendigen Kompetenzen ab, um eine ganzheitliche und möglichst effiziente Nutzung von lignozellulosehaltiger Biomasse zur Herstellung biobasierter chemischer Produkte und Materialien mittels thermochemischer, biochemischer und chemisch-katalytischer Umwandlungsprozesse im Sinne einer Bio-raffinerie voranzutreiben. Gemäß dem in der Roadmap Bioraffinerien (BMELV, 2012) beschriebenen exemplarischen Grundkonzept erfolgt nach einer Aufbereitung und Vorbehandlung der Rohstoffe zunächst eine Primärraffination der Biomasse unter Auftrennung der Biomasse in ihre Komponenten (bspw. Zellulose, Stärke, Zucker, Pflanzenöl, Lignin, Pflanzenfasern, Biogas und Synthesegas), die als stoffliche Plattform für die weitere Verarbeitung dient. In der Sekundärraffination wird in einer Bioraffinerie aus den Intermediaten über weitere Konversions- und Veredelungsschritte eine größere Zahl an Produkten hergestellt. Die Intermediate werden dabei als Rohprodukt in einem ersten Konversionsschritt ganz oder teilweise zu Vorprodukten bzw. Zwischenprodukten weiterverarbeitet, die dann ebenfalls ganz oder teilweise in einer weiteren Wertschöpfung am Standort der Bioraffinerie zu Produkten veredelt werden. Bei der Primärraffination und/oder Sekundärraffination entstehende Koppelprodukte werden zur Bereitstellung von Prozessenergie genutzt oder ggf. bei Eignung und Einhaltung der gesetzlichen Vorgaben zu Nahrungs- oder Futtermitteln weiterverarbeitet.

Wesentliche Merkmale einer solchen Entwicklung müssen sein:

- Erhalt und Förderung von Biodiversität und Ökosystemprozessen wie Wasser- und Nährstoffkreisläufen durch nachhaltige land- und forstwirtschaftliche Produktionssysteme für Biomasse.
- Produkt- und prozessspezifische Nutzung einer breiten Palette an lignozellulosehaltigen Pflanzen und Biomassen in rohstofftoleranten Konversionsprozessen.
- Kaskadennutzung für eine weitgehende Nutzung der gesamten Biomasse mit möglichst hoher Wertschöpfung. Energie entsteht als Neben- bzw. Koppelprodukt, Nährstoffe werden möglichst weitgehend zurückgeführt, und nicht sinnvoll nutzbare Koppelprodukte werden als Energieträger eingesetzt, um den Einsatz fossiler Energien zu minimieren.
- Erzeugung möglichst hochwertiger, konkurrenzfähiger Produkte. Diese sollten geeignet sein, in einer Kreislaufwirtschaft zur Schonung der Ressourcen eingesetzt zu werden.
- Einschätzung der Auswirkungen einer verstärkten Nutzung von Lignozellulose hinsichtlich Ökonomie, Ökologie und gesellschaftlicher Aspekte.

Der sich daraus ergebende Handlungsbedarf lässt sich in sechs Handlungsfeldern darstellen und beschreiben:

Handlungsfeld 1: Biomasseproduktion und -bereitstellung

Handlungsfeld 2: Aufschluss, Modifizierung und Konditionierung

Handlungsfeld 3: Umwandlungs- und Nutzungspfade

Handlungsfeld 4: Neue Produkte und Produktentwicklung

Handlungsfeld 5: Systemanalyse und Prozesssimulation

Handlungsfeld 6: Gesellschaftliche Rahmenbedingungen

Die Handlungsfelder sollten Spielraum für eine hohe Rohstoff-, Prozess- und Produktflexibilität lassen, um ausgehend von der heutigen Rohstoff- und Produktwelt langfristig auf eine solche umzustellen, die von der Land- und Forstwirtschaft getragen wird. Dabei muss auch die heute noch übliche, getrennte Betrachtung thermochemischer und biochemischer Umwandlungsprozesse, z. B. synthesesgas- oder zucker- und stärkebasierte Bioraffineriekonzepte, überwunden werden.

Im Folgenden werden die Handlungsfelder kurz umrissen, die für ein solches ganzheitliches Nutzungskonzept von Lignozellulose zur Herstellung biobasierter chemischer Produkte und Materialien erforderlich sind. Die Abbildung 6-2 zeigt die wesentlichen Elemente und die Vernetzung innerhalb dieser Handlungsfelder.

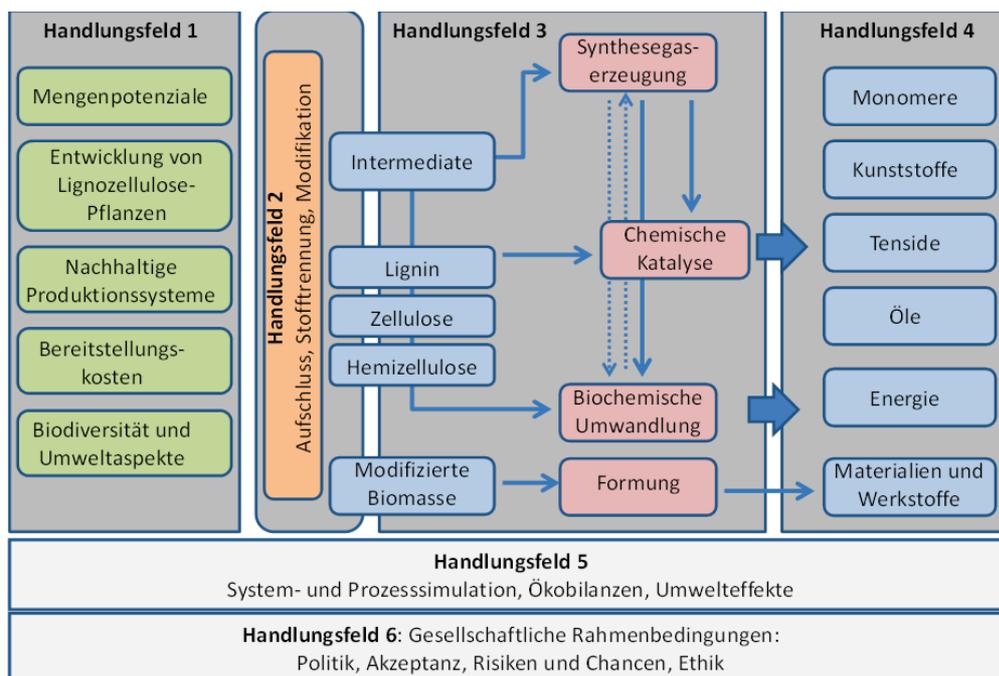


Abbildung 6-2: Wesentliche Elemente und Vernetzung innerhalb dieser Handlungsfelder

Handlungsfeld 1: Biomasseproduktion und -bereitstellung

Eine zentrale Herausforderung für die Entwicklung biobasierter Wertschöpfungsketten ist die Steigerung der effizienten und nachhaltigen Erzeugung und Bereitstellung von biogenen Rohstoffen mit definierten Eigenschaften. Hierzu kann einerseits die Nutzung bestehender Potenziale, z. B. bei der Verwertung von Reststoffen aus der Land-, Forst- und Holzwirtschaft sowie der Landschaftspflege, verbessert und andererseits die Entwicklung neuer Landnutzungsformen mit Lignozellulosepflanzen oder neuer waldbaulicher Systeme vorangetrieben werden.

Eine Nutzung der lignozellulosehaltigen Reststoffe setzt dabei im ersten Schritt eine Erfassung der Mengenpotenziale und Untersuchung der Nachhaltigkeit der Nutzung dieser Reststoffe voraus. Neben einer statistischen Analyse zum tatsächlichen Aufkommen sowie der Analyse zum Überschuss an Reststoffen muss zur Erfassung des nachhaltigen Potenzials für Biomasse, die für die stoffliche oder energetische Nutzung entnommen werden kann, neben einer ökonomischen, besonders für den Wald, eine ökologische Analyse durchgeführt werden. Hierbei muss vor allem geprüft werden, welche Entnahmemengen unter Aspekten des Erhalts der Bodenfruchtbarkeit (Nährstoffe, Humuserhalt) und der Biodiversität (z. B. notwendiger Anteil von Totholz im Wald) nachhaltig sind. Eine Abschätzung der Potenziale muss ebenfalls berücksichtigen, ab welchen Abnahmepreisen für den Erzeuger die verschiedenen Biomasseprodukte, die bisher einer anderen Verwendung zugeführt werden, für eine alternative Verwendung in biobasierten Wertschöpfungsketten zur Verfügung gestellt werden könnten. Es würde z. B. wenig sinnvoll sein, in die Entwicklung neuer Produkte zu investieren, wenn absehbar ist, dass diese nur bei einem Einkaufspreis für den Rohstoff konkurrenzfähig sind, der deutlich unter den Preisen liegt, die die Produzenten in Zukunft für alternative Verwendungen erzielen können.

Bei der Entwicklung neuer Landnutzungskonzepte mit mehrjährigen, Lignozellulose liefernden Pflanzen muss vor allem eine Auswahl und Anpassung von Pflanzenarten und Genotypen sowie deren Produktions- und Bereitstellungsverfahren auf die Standortverhältnisse in Baden-Württemberg erfolgen. Gleiches gilt für die Entwicklung von neuen waldbaulichen Systemen. Im landwirtschaftlichen Bereich sollte die Entwicklung vor allem für Flächen und Regionen erfolgen, die weniger gut oder nicht zum Anbau von Nahrungsmittelpflanzen geeignet sind. Außerdem sollten solche Landnutzungssysteme entwickelt werden, die auf Landschaftsebene zu einer ökologischen Verbesserung, wie z. B. Erhöhung der Biodiversität, und zu einer effizienten Flächennutzung führen.

Solche Untersuchungen werden zunächst im Pilotmaßstab durchgeführt, wobei auch überprüft werden soll, wie sich Wasser- und vor allem Nährstoffflüsse beim Anbau dieser Pflanzen im Vergleich zu anderen Landnutzungen unter-

scheiden. Diese Erkenntnisse sollen anschließend im Maßstab kleiner Einzugsgebiete integriert werden, um Auswirkungen des Anbaus schnellwachsender Lignozellulosepflanzen auf den Wasserhaushalt, die Grundwasser- und Gewässerqualität sowie Folgewirkungen auf die aquatische Biodiversität abschätzen zu können. Hierzu müssen geeignete Standorte ausgewählt werden, an denen ein hohes Potential für den Anbau von Lignozellulosepflanzen besteht und mögliche Auswirkungen auf die Wasserqualität und Biodiversität als relevant erachtet werden.

Durch die Wahl geeigneter Pflanzenarten und deren Sorten, das Managementsystem, den Erntezeitpunkt und die Erntetechnologie sowie andere Verfahren können die Zusammensetzung und Eigenschaften von lignozellulosehaltiger Biomasse in gewissem Umfang gesteuert und auf die Anforderungen der Konditionierung in Handlungsfeld 2 sowie der Weiterverarbeitung der Biomasse in Handlungsfeld 4 abgestimmt sowie optimiert werden. Die Analyse des Anbaupotenzials nachwachsender Rohstoffe in Baden-Württemberg unter Nachhaltigkeitskriterien erfordert die Einbeziehung von Umweltauswirkungen, also den Effekten auf Böden und den Wasserhaushalt sowie auf die Biodiversität. Landnutzungsänderungen können sich sowohl positiv als auch negativ auswirken (Beispiel Extensivierung und Intensivierung).

Handlungsfeld 2: Biomasse-Aufschluss und -Konditionierung

Abhängig vom eingesetzten Rohstoff, den Verarbeitungsprozessen und zu erzeugenden Produkten muss die Biomasse entsprechend aufbereitet und vorbehandelt werden. Die Umwandlungsverfahren können dabei einerseits von den Einzelkomponenten der Lignozellulose, Zellulose, Hemizellulose, des Lignins und – im Fall von Nadelhölzern – der Terpene ausgehen. Anderenfalls kann die unfraktionierte Lignozellulose entweder direkt oder in chemisch modifizierter Form verwendet sowie in Zwischenprodukte (Intermediate) überführt werden. Für diese Aufgaben werden verschiedene Aufschluss- und Trennverfahren eingesetzt wie das thermisch-mechanische Steam-Explosion-Verfahren oder enzymatische Prozesse, in denen Zellulose und Lignozellulose zu ihren Zucker-Bausteinen gespalten werden, oder das Organosolv-Verfahren, in dem Zellulose, Hemizellulosen und Lignin getrennt werden sowie Lignine unterschiedlicher Qualität erzeugt werden können. Die Pyrolyse oder hydrothermale Verfahren können zur Vorbehandlung eingesetzt werden, um energiereiche, feste oder flüssige Zwischenprodukte zu erzeugen, die dann effizient weiter in Synthesegas umgewandelt werden können. Sie können aber auch Rohstoff für biochemische Umwandlungen sein oder, mit einigen Einschränkungen, für die Entwicklung neuer Materialien genutzt werden. Baden-Württemberg besitzt in seinen Forschungseinrichtungen auf diesem Gebiet eine umfassende Expertise. Wichtiges Ziel des Handlungsfelds ist es, für die geplanten Prozess- und Produktlinien geeignete Vorbehandlungsverfahren zu identifizieren, mögliche kommerzielle Anbieter mit einzubinden und gegebenenfalls entsprechenden Forschungsbedarf abzuleiten.

Neben der bereits etablierten energetischen Nutzung von Lignozellulose ist langfristig eine ganzheitliche Nutzung von lignozellulosehaltiger Biomasse zur Herstellung einer breiten Palette von biobasierten chemischen Produkten anzustreben. Wesentlicher Antrieb ist dabei die effiziente Nutzung von Biomasse als einziger erneuerbarer Kohlenstoffquelle nicht nur für die Bereitstellung von Energie, sondern auch von biobasierten chemischen Grundstoffen und Endprodukten. Hierfür kommt prinzipiell eine ganze Reihe von technischen Verfahren in Frage, die je nach Zielprodukt und eingesetztem Rohstoff in passenden Wertschöpfungsketten ausgewählt und kombiniert werden müssen. Diese Verfahren werden im Folgenden in drei Gruppen von Verfahrensprinzipien unterteilt, nämlich (i) die thermochemischen Umwandlungsverfahren unter Einsatz von Temperatur und ggf. Druck, (ii) die auf enzymatischen und mikrobiellen Verfahren basierenden biochemischen Verfahren und (iii) solche, die durch chemische und mechanische Umwandlung zu neuen Materialien führen.

Thermochemische Verfahren

Die Erzeugung von Synthesegas aus Biomasse wird derzeit vor allem im Zusammenhang mit der Erzeugung von Biokraftstoffen der 2. Generation (BtL-Kraftstoffe) entwickelt. In Baden-Württemberg befindet sich die deutschlandweit einzige Anlage dieser Art. In zunehmendem Maße nutzen vergleichbare Prozesse Kohle (Südafrika, China) oder Erdgas (Qatar, Malaysia, Nigeria), um über Synthesegas eine breite Palette nicht nur an Kraftstoffen, sondern auch chemischen Produkten und anderen Stoffen zu erzeugen. Stand der Technik ist dabei der Weg (i) über die Fischer-Tropsch-Synthese, die zu einem Kohlenwasserstoffgemisch führt, das in der Hauptmenge weiter zu Kraftstoffen (Kerosin, Diesel) und Naphta und daneben zu Spezialprodukten wie Lösungsmitteln, Wachsen oder Schmierstoffen weiterverarbeitet wird. Der zweite Weg führt zu (ii) Methanol, einem wichtigen Syntheserohstoff der Chemie, der weiter über Dimethylether (DME) und Olefine zu Kraftstoff (Benzin) und vielen anderen wichtigen chemischen Produkten verarbeitet werden kann. Energetisch wird Methanol u.a. im Antiklopffmittel MTBE²² sowie für die Herstellung von Biodiesel eingesetzt. Die Erschließung neuer Produkte über selektive Herstellungsverfahren ist eine Aufgabe der chemischen Katalyse, die die Entwicklung, Charakterisierung und Testung neuer Katalysatoren und eine darauf basierende Prozessentwicklung erfordert. Dabei erscheint insbesondere die Herstellung sauerstoffhaltiger Produkte (sogenannte Oxygenate) interessant, in denen der bereits in der Biomasse enthaltene Sauerstoff (im Gegensatz zu den nicht sauerstoffhaltigen fossilen Rohstoffen) im Produktmolekül verbleiben kann. Auch die Erzeugung sauerstoffhaltiger, längerkettiger

²² Methyltertiärbutylether

Produktmoleküle, wie etwa Oxymethylen-Derivate, ist hier von Interesse. Die Synthesegasherstellung und chemische Prozesse der erwähnten Art erfordern eine komplexe Technologie, die sich wirtschaftlich nur in entsprechend großen Produktionsanlagen realisieren lässt. Biomasse als Rohstoff erfordert dazu eine besondere Logistik, um mögliche Beschränkungen durch die Transportwürdigkeit von Biomassen mit ihren im Vergleich zu fossilen Rohstoffen geringen Energiedichten zu überwinden. An dieser Stelle spielt eine effiziente Vorbehandlung eine besonders wichtige Rolle. Ein Ansatz dazu ist die dezentrale Vorbehandlung von Biomasse, z. B. durch eine Pyrolyse, die zu Intermediaten hoher Energiedichte führt, die wirtschaftlich auch über weite Strecken transportiert werden können. Außer zur Erzeugung von Synthesegas haben Pyrolyseöle das Potenzial, durch ein sogenanntes Upgrading chemisch direkt zu Kraftstoffkomponenten aufgearbeitet zu werden. Die in Deutschland einzigartige bioliq[®]-Pilotanlage bildet zusammen mit den weiteren Forschungskapazitäten in Baden-Württemberg eine vorzügliche Grundlage für die weitere Entwicklung der Technologie und neuer Produkte auf der Basis von Synthesegas.

Biochemische Verfahren

Die direkte, biochemische Nutzung von Lignozellulose wird in der Literatur bereits in einer Vielzahl von Arbeiten beschrieben, die sich bisher jedoch vor allem mit der Herstellung von Bioethanol beschäftigen. Dazu ist die oben erwähnte Fraktionierung der Lignozellulose-Einzelkomponenten durch eine mechanische, chemische und/oder enzymatische Vorbehandlung mit anschließender Stofftrennung erforderlich. Als mögliche neue und wirtschaftlich attraktive Verfahren zur Herstellung von Produkten mit höherer Wertschöpfung aus den Einzelkomponenten sind zu nennen (i) die chemo-enzymatische Gewinnung und anschließende mikrobielle oder enzymatische Weiterverarbeitung von Oligomeren wie Zellulose aus Zellulose, (ii) die mikrobielle bzw. enzymatische Weiterverarbeitung von Monomeren wie Xylose, Mannose und Arabinose aus der Hemizellulosefraktion, (iii) die chemo-enzymatische Gewinnung und anschließende mikrobielle oder enzymatische Weiterverarbeitung von aromatischen Oligomeren aus der Ligninfraktion und, speziell im Fall von Nadelhölzern, nach Abtrennung die mikrobielle oder enzymatische Weiterverarbeitung der Terpenfraktion. Interessante neue Produkte auf Basis von Zelluloseoligomeren oder Hemizellulosemonomeren mit höherer Wertschöpfung könnten Biodetergenzien, Biopolymere, Einzelleröle, organische Säuren oder Aminosäuren sein. Die wasserunlöslichen Terpene könnten nach chemischer oder enzymatischer Funktionalisierung als Synthesebausteine für unterschiedlichste Produkte genutzt werden. Ebenso könnten neuartige Monomere und Polymere auf der Basis von zuvor depolymerisiertem bzw. modifiziertem Lignin hergestellt und weiterverarbeitet werden. Alle genannten Verfahren erfordern jedoch die Entwicklung und den Einsatz spezieller eventuell rekombinanter Mikroorganismenstämme und geeigneter Enzyme. Die Entwicklung spezieller Verfahren und der Einsatz spezieller Reaktionsmedien ist nötig für den Umgang mit nicht bzw. schwer wasserlöslichen Substraten, wodurch sich ein

hohes Innovationspotenzial für klein- und mittelständische Unternehmen bietet, die auf diesen Gebieten tätig sind.

Auch ein direkter Einsatz von Pyrolyseölen unterschiedlicher Zusammensetzung in mikrobiellen und enzymatischen Verfahren ist äußerst attraktiv, da damit im Gegensatz zur Lignozellulose ein flüssiges, wesentlich besser transportierbares und lagerbares Substrat zur Verfügung stehen würde. Der erfolgreiche Einsatz von Pyrolyseölen als Substrat für Mikroorganismen ist in seiner Machbarkeit grundsätzlich bereits gezeigt, jedoch bisher noch wenig untersucht. Auch wenn die oben genannten Probleme weitgehend vermieden werden würden, müssten die Auswirkung von dabei entstehenden möglichen Inhibitoren auf Wachstum und anschließende mikrobielle und enzymatische Produktbildung untersucht und die Verfahren zur Pyrolyseölherstellung ggf. angepasst werden, bzw. müsste eine Vorbehandlung oder sogar Fraktionierung der Pyrolyseöle vorweggeschaltet werden. Im Erfolgsfall wären jedoch Pyrolyseöle hochattraktive Substrate, da die oben genannten Probleme vermieden werden könnten und im Gegensatz zu bisher in der industriellen Biotechnologie verwendeten Substraten keine direkte Lebensmittelkonkurrenz bestände.

Eine interessante Alternative zu den beiden oben genannten Möglichkeiten zur Herstellung von Grundchemikalien ist nach thermochemischer Umwandlung der Pyrolyseöle die anschließende Umsetzung von Synthesegas (Kohlenstoffmonoxid und Wasserstoff) durch anaerobe Mikroorganismen zu organischen Alkoholen und Säuren, die nach Abtrennung dann energetisch und stofflich genutzt werden können. Dafür ist bereits eine Vielzahl anaerober Mikroorganismen unter anderem der Gattungen *Clostridium* und *Acetobacterium* beschrieben, die im Gegensatz zu aeroben Organismen wegen der notwendigen Regenerierung ihrer Coenzyme – Sauerstoff fehlt ja als Endakzeptor für den Wasserstoff - anstelle von Biomasse sehr effektiv Gärungsprodukte bilden und dann ausscheiden. Eine Verwendung von Synthesegas würde den großen Vorteil bieten, dass man ausgehend von sehr unterschiedlichen lignozellulosehaltigen Biomassen gleichbleibend immer das gleiche Substrat erzeugen kann. Die mikrobielle Produktion von organischen Lösungsmitteln und Säuren, ausgehend von Synthesegas, stellt damit auch eine hochinteressante und zukunftssträchtige Alternative zu den bisher etablierten Bioraffineriekonzepten dar und ließe sich optimal mit der Verwendung von Lignozellulosefraktionen und der Pyrolyse von lignozellulosehaltiger Biomasse als weiteres Verfahren koppeln. Aus Synthesegas kann durch chemische Katalyse einfach Methanol hergestellt werden. Methanol als ein mit Wasser mischbares und dosierbares Substrat kann von vielen aeroben Mikroorganismen z. T. in reinen Mineralsalzmedien als Substrat zum Wachstum und zur Synthese von hochwertigen Produkten wie Aminosäuren und Pharmapeptiden und -proteinen genutzt werden. Entsprechende Technologien zur Herstellung von Einzellerproteinen für die Ernährung wurden auf Methanolbasis weltweit bereits in den 1980er-Jahren erfolgreich etabliert, dann jedoch nicht weiterverfolgt. Im Rahmen der Wertschöpfungskette Lignozellulose – Pyrolyseöl – Syn-

these gas – Methanol und in Kombination mit den heute zur Verfügung stehenden modernen molekularbiologischen Werkzeugen wird eine Weiterentwicklung dieser Verfahren für die Herstellung hochreiner biotechnologischer Produkte heute wieder hochinteressant.

Neue Materialien

Die Entwicklung neuer Materialien kann an unterschiedlichen Aufschluss- und Umwandlungsstufen ansetzen. Prinzipiell ist es technisch, ökonomisch wie auch ökologisch sinnvoll, die Zellulose-, Hemizellulose- und Ligninstruktur des natürlichen Zellwandaufbaus soweit wie möglich in ihrer ursprünglichen Form zu nutzen.

Neben schonender thermisch induzierter Vergärung sind Tränk- und Acetylierungsverfahren ein vielversprechender Weg zur Erhöhung von Dauerhaftigkeit und Dimensionsstabilität des „gewachsenen“ Holzes. Neue Werkstoffe auf Basis kleinerer Massivholzelemente im Millimeterbereich und Holzfasern verbinden Festigkeit und geringes Gewicht mit einer 3-D-Formbarkeit, wobei holzbasierte Bindemittel auf der Basis von Lignin oder auch von Holzextraktstoffen (z. B. Tannine) neue Möglichkeiten eröffnen. Sollen spezifische Eigenschaften erzielt werden, versprechen gerade Verbundmaterialien (z. B. Holz/Metall- und Holz/Kunststoff-Werkstoffe) zukünftig attraktive Lösungen.

Zur Herstellung biobasierter Produkte eignen sich auch andere, mengenmäßig bedeutsame Nebenprodukte der Holzindustrie, wie beispielsweise Rinde. Aus den Tanninen der Rinde können z. B. Schäume mit exzellenten Eigenschaften zur Verwendung in isolierenden Baumaterialien und zur Umwandlung in Synthesegas am Ende des Produktlebens entwickelt werden. Als weitere Komponenten für die Schaumzubereitung können Glycerol und Furfural, die als Nebenprodukte aus der Biodiesel- sowie der Holz- und Papierindustrie anfallen, verwendet werden. Hier gilt es zu erforschen, inwiefern sich auch die Rinde von Laubbäumen für die Herstellung dieser oder ähnlicher Produkte eignet.

Ganz neue Anwendungsmöglichkeiten bieten aus Holz oder Holzreststoffen hergestellte Nanopartikel (z. B. Zellulose-Whisker). Mit kristallinen Mikrofibrillen der Zellulose lassen sich High-Performance-Nanocomposite mit außergewöhnlichen Festigkeitseigenschaften herstellen. In dem Bereich der Nachahmung von Biokompositen durch die Kombination von Zellulose mit einer Polymermatrix liegt ein großes Potenzial für neue Biomaterialien.

Auch die in zunehmendem Maße vorliegenden Komponenten aus den verschiedenen Verfahren der Holzverarbeitung, sowohl bei der Papierherstellung wie auch im Bereich der zweiten Generation biotechnologischer Verfahren (Bioraffinerie), stellen eine Quelle für Rohstoffe neuer Biomaterialien dar. Neben Zellulose können hier insbesondere die verschiedenen Ligninfraktionen in die Gestaltung neuer Materialien eingehen. Sowohl Polymere, wie auch Harze und Lacke, sowie „Coatings“, die wiederum zur Dauerhaftigkeit und Dimensionsstabilität des gewachsenen Holzes beitragen, können hier entwickelt wer-

den. Mit den oben genannten unterschiedlichen Möglichkeiten steht nach erfolgreicher Etablierung ein breites Spektrum an Methoden und Verfahren zur langfristigen und ganzheitlichen Nutzung von lignozellulosehaltiger Biomasse zur Herstellung neuer biobasierter chemischer Produkte und Materialien zur Verfügung. Durch die Verknüpfung unterschiedlicher Technologien würde damit eine geschlossene Nutzungskette für Biomasse etabliert und eine hohe Wertschöpfung erzielt werden. Die Entwicklung der dafür notwendigen Prozessketten könnte in mehreren Phasen erfolgen:

- Phase 1: Umstellung der „gewohnten“ Molekülplattform (Erdöl-, Erdgasbasis) auf biogene Ressourcen über weitgehend entwickelte Prozesse
- Phase 2: Flexibilisierung der Prozessketten durch zunehmende Integration thermo- und biochemischer Prozesse (z. B. Pyrolyseöle und Synthesegas für mikrobiologische Prozesse, thermochemische Nutzung der Reststoffe)
- Phase 3: Direkte mikrobielle Nutzung von Lignozellulose durch Mikroben unter hoch selektiver Erzeugung von Zielprodukten, thermochemische bzw. energetische Nutzung von Reststoffen

Im Rahmen des Forschungsfeldes ist insbesondere vorgesehen drei bis vier industriell relevante, biobasierte Monomerbausteine zu betrachten, die auf der Basis von Lignozellulose als Ausgangsmaterial großtechnisch darstellbar wären und gegenüber petrochemischen Molekülen als Drop-in-Lösung oder als Ausgangsbasis für neuartige Polymere eingesetzt werden können. Hierbei sollen neben der biotechnologischen Produktion aus verzuckerter Zellulose die Nutzung von Pyrolyseprodukten für die biotechnologische Umwandlung, die biotechnologische De-novo-Synthese aus Synthesegas, aber auch eine fraktionierte enzymatische Umwandlung von Lignin genutzt werden.

Handlungsfeld 4: Produktentwicklung

Identifizierung aussichtsreicher Produkte sowie der damit verbundenen Anforderungsprofile an die einzusetzenden Rohstoffe und Konversionsverfahren

- Ermittlung interessanter Plattformmoleküle bzw. Produkte
- Entwicklung neuartiger Holzwerkstoffe auf Ligninbasis
- Zusammenstellung von Verbundmaterialien wie WPC
- Abschätzung des wirtschaftlichen Potenzials und der Wettbewerbssituation
- Erstellung eines Pflichtenheftes für die Produktentwicklung mit entsprechenden Anforderungen an Rohstoffe und Konversionsverfahren, Normen etc.

Handlungsfeld 5: Systemanalyse

Durch die Verknüpfung unterschiedlicher Biomassen aus Handlungsfeld 1 und deren Konditionierung und Weiterverarbeitung bis zu unterschiedlichen Produkten in den Handlungsfeldern 3 und 4 ergeben sich unterschiedliche Prozessketten und Netzwerke. In einem ersten Schritt der Systemanalyse gilt es, diese möglichen Wertschöpfungsketten quantitativ zu beschreiben und zu bewerten, um so eine Grundlage für einen belastbaren Vergleich der verschiedenen Optionen und zur Ableitung optimierter Prozessketten zu ermöglichen. Für die ökologische Optimierung bietet sich hierbei die Herangehensweise der Ökobilanzierung an, bei der die gesamte Wertschöpfungskette hinsichtlich definierter ökologischer Wirkungskategorien (z.B. Energiebilanz, Treibhausgaspotenzial, Eutrophierung, Ökotoxizität, Flächennutzungseffizienz, Effekte auf die Biodiversität und andere) analysiert und quantitativ beschrieben wird. Die Ergebnisse der Ökobilanz erlauben es, die einzelnen Wertschöpfungsketten untereinander und mit einer fossilen Referenz zu vergleichen oder innerhalb der Wertschöpfungskette die Schritte zu identifizieren, die den größten ökologischen Impact haben. Die Ergebnisse der Ökobilanzierung dienen als Input für eine weitergehende ökonomisch-ökologische Analyse der Prozesse.

Allerdings reicht die isolierte Analyse einzelner Wertschöpfungsketten in Bezug auf ihre ökonomischen und ökologischen Wirkungen nicht aus, da es über Markteffekte zahlreiche indirekte Wechselwirkungen gibt. Diese resultieren vor allem daraus, dass die Biomassebereitstellung zum Großteil auf dem knappen Produktionsfaktor Boden basiert. Der Entzug von Biomasse für eine bestimmte Nutzung beeinträchtigt somit über einen Anstieg des Marktpreises andere Nutzungen (Nahrungsmittel, Tierfutter, energetische Verwertung, stoffliche Verwertung) sowie auch die weltweite Biomasseerzeugung, was mit entsprechenden wirtschaftlichen und ökologischen Wirkungen einhergeht. Diese Effekte stehen zurzeit unter dem Schlagwort „indirekte Landnutzungseffekte“ im Zentrum der politischen Diskussion um die energetische Nutzung von Biomasse. In der ökonomisch-ökologischen Bewertung der Systeme wäre zum Beispiel auch die Ermittlung von „Wasserabdrücken“ denkbar. Um diese direkten und indirekten Effekte in die Bewertung von Lignozellulose-Nutzungspfaden einzubeziehen, soll ein vernetztes System von Simulationsmodellen für die Bewertung verschiedener bioökonomischer Szenarien entwickelt und eingesetzt werden. Grundlage für ein solches System sind an den beteiligten Forschungsinstituten vorhandene ökonomische und technologische Simulationsmodelle auf verschiedenen Aggregationsebenen, die im Rahmen der strukturellen Maßnahme „Kompetenzzentrum Modellierung der Bioökonomie“ vernetzt und im Rahmen des Forschungsfelds Lignozellulose weiterentwickelt werden könnten. Verschiedene Modelle an den Universitäten Hohenheim und Stuttgart decken dabei nicht nur regionale und nationale Wechselwirkungen ab, sondern auch den globalen Agrarsektor, die globale Gesamtwirtschaft sowie das globale Energiesystem. Denn auch wenn der Schwerpunkt auf der Nutzung heimischer Biomasse liegt, kann sich die öko-

nomische Betrachtung vor dem Hintergrund des weltweiten Handels mit Biomasse nicht auf eine inländische Betrachtung beschränken. Vielmehr müssen über die Betrachtung regionaler Auswirkungen hinaus auch indirekte Auswirkungen auf europäischer und globaler Ebene berücksichtigt werden. Eine umfassende Analyse schließt dabei explizit die Validierung und gegebenenfalls Anpassung der verfügbaren Modelle ein.

Handlungsfeld 6: Gesellschaftliche Rahmenbedingungen

Dieses Handlungsfeld, wie auch das der Systemanalyse, ist eine Querschnittsaktivität in enger Zusammenarbeit mit den anderen Handlungsfeldern. Es setzt sich zusammen aus den Aspekten:

- Risiko- und Chancenanalyse,
- gesellschaftliche Akzeptanz,
- Umweltwirkungen,
- politische Instrumente und Prozesse sowie
- ethische Fragen.

Bei der Entwicklung eines neuen Forschungs- und Anwendungsfeldes sind ethische Fragen, welche die Schutzgüter Pflanzen, Tiere und Menschen und die Umwelt betreffen, unbedingt zu berücksichtigen. Dies soll bei dem vorliegenden Forschungsfeld Lignozellulose am Leitfaden der in der Projektskizze vorgestellten Wertschöpfungskette erfolgen, die in sechs Handlungsfelder eingeteilt ist. Für die ethische Bewertung sollen die jeweils relevanten Aspekte identifiziert, benannt und analysiert werden und auf ihre ethisch relevanten Implikationen für die im jeweiligen Handlungsfeld betroffenen Schutzgüter (Pflanzen, Tiere, Menschen, Umwelt) hin untersucht werden. Vor- und Nachteile sollen unter Berücksichtigung allgemeiner ethischer Prinzipien und der für den jeweiligen Gegenstand bereichsspezifischen ethischen Prinzipien gegeneinander abgewogen werden. Auch sind ästhetische Aspekte bei der Auswahl von Anbauflächen und die Interessen und Bedürfnisse der betroffenen Anwohner zu berücksichtigen. Bei der Auswahl und dem Anbau von Pflanzen zur Gewinnung von Lignozellulose ist also eine sorgfältige Güterabwägung zu treffen, welche die Konsequenzen für alle Betroffenen in die Waagschale legt. In einer ethischen Betrachtung sind auch die Auswirkungen eines wachsenden Lignozellulosebedarfs in den Industrieländern auf Schwellen- und Entwicklungsländer (Stichwort „Land Grabbing“) zu berücksichtigen. Es stellt sich die Frage, ob und inwieweit die Nutzung bestehender Potenziale (Verwertung von Reststoffen aus der Land-, Forst- und Holzwirtschaft sowie der Landschaftspflege) ausreicht, um den Bedarf an solchen Rohstoffen aus heimischen Ressourcen zu decken. Falls zur Gewinnung biogener Rohstoffe gentechnische Veränderungen von Pflanzen geplant sind, müssen zahlreiche weitere ethische Fragen reflektiert werden, insbesondere auch diejenigen, die im Zusammenhang mit der Grünen Gentechnik bereits diskutiert werden.

Ein wichtiges Element einer langfristig angelegten Forschungs- und Entwicklungsstrategie ist eine vergleichende Risiko- und Chancenanalyse, für die in einer Matrix die Markt- und Entwicklungschancen den möglichen Risiken, Barrieren und Nebenfolgen systematisch gegenübergestellt werden. Grundlage hierfür ist die intensive Beteiligung verschiedener Forschungsinstitutionen, der Privatwirtschaft sowie öffentlicher Akteure.

In einem weiteren Projekt sollen die Präferenzen der Bevölkerung hinsichtlich der Einführung und staatlichen Förderung der Nutzung von Lignozellulose für die Produktion von Materialien und Energiegewinnung untersucht werden, um den insgesamt resultierenden gesellschaftlichen Nutzen sowie die zu erwartenden Verteilungseffekte abschätzen zu können. Vorbehalte und Informationsdefizite als Gründe für eine mangelnde gesellschaftliche Akzeptanz können dann mit entsprechenden Konzepten rechtzeitig diskutiert, aufgeklärt und berücksichtigt werden.

Der Umbau von einer erdölbasierten zu einer biobasierten Wirtschaft unter Einbeziehung lignozellulosehaltiger Biomasse erfordert neben der Analyse technischer und wirtschaftlicher Optionen auch die Bewertung politischer Handlungsoptionen und Instrumente, mit denen dieser Umbau gefördert und gestaltet werden kann. Insbesondere müssen Prozesse untersucht werden, über die das Land Baden-Württemberg seinen Interessen entsprechend Einfluss auf die Entwicklung politischer Strategien auf Bundes- und EU-Ebene nehmen kann. Dazu ist eine vergleichende Bewertung verschiedener politischer Maßnahmen und Förderinstrumente durchzuführen. Da die Nutzung von lignozellulosehaltiger Biomasse auch von Zielkonflikten (etwa im Hinblick auf Nutzungskonkurrenz für landwirtschaftliche Flächen oder in Bezug auf die Auswirkungen auf das Landschaftsbild und die Biodiversität) geprägt ist, kommt der Gestaltung partizipativer Maßnahmen für die Entwicklung und Bewertung von politischen Vorgaben eine besondere Bedeutung zu.

6.1.3 Forschungsfeld Mikroalgen

Integrierte Nutzung von Mikroalgen für die Ernährungs- und Futtermittelindustrie

Im Forschungsfeld Mikroalgen soll als Ziel ein ressourcenschonendes Konzept zur Erzeugung verschiedener hochwertiger Produkte im Hoch- und Mittelpreis-Segment für den Lebensmittel- und Futtermittelsektor im Sinne einer Bioraffinerie erarbeitet werden.

Bisherige Untersuchungen haben gezeigt, dass durch die Algen-Bioraffinerie die wirtschaftliche und umfängliche Nutzung der Mikroalgen und deren Produkte in Zukunft möglich sein können. Bei der Algen-Bioraffinerie handelt es sich um ein integratives Gesamtkonzept für die sequenzielle Gewinnung verschiedener Produkte aus einem Algenrohstoff. Beispielsweise können so Nahrungsergänzungsmittel (hochwertige vegetarische Proteine, spezielle Fettsäuren, funktionelle Lebensmittel mit Zusatznutzen für die Gesundheit), Fischfutter und Zusätze für die Futtermittelindustrie, Kosmetika, Materialien und Werkstoffe, Marker (für die Biomedizin), Chemikalien oder Energieprodukte durch verschiedene, sequenzielle Umwandlungsprozesse unter möglichst vollständiger Ausnutzung der gesamten Biomasse nacheinander gewonnen werden. Die Realisierung der aktuell noch weitgehend theoretisch hohen Ressourceneffizienz der Bioraffinerie setzt eine möglichst konsequente Verwertung aller Bestandteile entlang der gesamten Wertschöpfungskette voraus. Ressourcenverluste sind durch Schließung von Stoffkreisläufen, Kaskadennutzung und Recycling zu vermeiden.

Die Algenproduktion in technischen Systemen weist im Vergleich zur terrestrischen Pflanzenproduktion deutliche Vorteile auf. Mikroalgen nutzen die Solarstrahlung effizienter als Landpflanzen aufgrund ihres einfachen, homogenen Zellaufbaus, des hohen Oberflächen-zu-Volumen-Verhältnisses, der besseren Verfügbarkeit und des reduzierten Einsatzes von Wasser, CO₂ und Nährstoffen sowie des besseren Stoffaustausches im aquatischen System. Aus diesen Gründen kann die Flächenproduktivität um ein Vielfaches höher sein als die von Landpflanzen. Eine direkte Flächennutzungskonkurrenz zur Nahrungproduktion besteht in geschlossenen technischen Systemen nicht, da für die Algenkultivierung keine wertvollen Ackerböden benötigt werden. Des Weiteren sind die Kreislaufführung von Wasser und Nährstoffen sowie die Nutzung von Nährstoffen und CO₂, die bei anderen Produktionsprozessen anfallen, möglich. Diese Eigenschaften in Kombination mit der Vielfalt an Inhaltsstoffen und Produkten, die von Algen natürlich synthetisiert werden können, sowie der Möglichkeit, die Produktpalette und Zusammensetzung gezielt zu beeinflussen, machen Mikroalgen zu einer interessanten Rohstoffquelle. Die Mikroalgen verbinden die Industrien der industriellen Biotechnologie, Ernährungs- und Futtermittelindustrie, Landwirtschaft, Abfall- und Abwasserwirtschaft, Energiewirtschaft, Handel und Umweltschutz miteinander und stellen damit ein innovatives bioökonomisches System dar.

Mikroalgen sind ein bisher weitgehend ungenutztes Rohmaterial zur Herstellung hochwertiger Produkte und enthalten zahlreiche wertvolle Inhaltsstoffe, unter anderem Proteine, Kohlenhydrate, Lipide, ungesättigte Fettsäuren, Antioxidantien, Vitamine, Mineralien, Spurenelemente und Pigmente. Nach der Extraktion spezieller, hochpreisiger Wertstoffe können über eine Kaskadennutzung aus der Restbiomasse beispielsweise vegetarische Proteine als Ersatz für tierische oder andere pflanzliche, aber weniger nachhaltig erzeugte

Proteine erschlossen werden. Weitere Koppelprodukte, die über die Bioraffinerie gewonnen werden können, sind insbesondere lipophile Farbstoffe mit Bioaktivität, die in Lebensmitteln eingesetzt werden können.

Algen enthalten eine Vielzahl, speziell für die Ernährungsindustrie nutzbarer Inhaltsstoffe, die zukünftig auch wirtschaftlich von erheblichem Interesse sind. Dazu gehören Vitamine (A, B1, B2, B6, Niacin und C), Mineralstoffe (Jod, Kalium, Eisen, Magnesium und Kalzium), Fette (insbesondere ungesättigte Omega-3-Fettsäuren wie Dehydroascorbinsäure (DHA) und Eicosapentaensäure (EPA)), Farbstoffe/Antioxidantien (Carotinoide, Chlorophylle) sowie Hydrokolloide. Mit einem Proteingehalt von bis zu 60 % übertreffen Algen fast alle anderen Lebensmittelgrundstoffe. Darüber hinaus zeigen Studien, dass es in Algen interessante Enzyme gibt, die in der Lebensmitteltechnologie von großem Interesse sein könnten. So zum Beispiel die Phenolasen, die als natürliche Verdickungs-, Gelier- und Stabilisierungsmittel genutzt werden können. Trotz des beachtlichen Potenzials, Algen zur Herstellung hochwertiger Lebensmittel zu verwenden, gibt es bisher keine systematischen Untersuchungen zur Herstellung konventioneller, d.h. für deutsche Konsumenten gewohnte Lebensmittel.

Die Mikroalge als alternativer, nachhaltiger Wertstofflieferant

Produkte aus Mikroalgen bieten für den regionalen aber auch für den Weltmarkt sowohl aus ernährungsphysiologischer und medizinischer Sicht als auch im Hinblick auf die Welternährungssituation ein außergewöhnliches Potenzial mit deutlichen Alleinstellungsmerkmalen.

Aus ethischer Sicht gehört die Ernährung zu den problematischsten Bereichen unseres Lebens im 21. Jahrhundert. Während Millionen von Menschen in den Entwicklungsländern verhungern, obwohl es weltweit genug Nahrung für alle gibt, findet vor allem für die Industrienationen eine maßlose Produktion von Fleisch statt, für die ein hoher Bedarf an Flächen, Tierfutter und Wasser zum Anbau von Futter für die Nutztiere der fleischproduzierenden Industrie besteht. Unter Aspekten der globalen Gerechtigkeit, des Tierschutzes und des Umweltschutzes und in Verantwortung für zukünftige Generationen ist es daher dringend geboten, nach alternativen Ernährungsweisen und damit einer anderen Nahrungsmittelproduktion zu suchen. Dies gilt auch für die Futtermittelindustrie, da wohl nicht zu erwarten ist, dass Menschen auf den Verzehr von Fleisch ganz verzichten werden.

Die Ernährungsindustrie bildet den viertgrößten Industriezweig in Deutschland und gilt als größter Wachstumsmarkt überhaupt. Weltweit sind Nahrungsmittel ungleich verteilt. Der Bedarf, vor allem nach rohstoffintensiver Fleischerzeugung, steigt insgesamt aber an. Durch die Nutzung nachwachsender Rohstoffe, insbesondere für regenerative Energien, verschärft sich die Konkurrenz um nutzbare Flächen zusätzlich. Vor dem Hintergrund dieser globalen Herausforderungen sind neue und nachhaltige Lösungen der Nahrungsmittelproduktion notwendig.

Die global zurückgehenden Ackerflächen und der für die Erzeugung von tierischen und pflanzlichen Proteinen benötigte hohe Ressourcenbedarf (Wasser, Flächen) führen einerseits zu extremer Umweltbelastung (z. B. Emission von klimaschädlichen Gasen, Rückgang der Biodiversität, Pestizidbelastung, Überdüngung, Erosion). Andererseits leiden weite Teile der Weltbevölkerung an Proteinmangelernährung, da die Kosten für diese hochwertigen Proteinquellen zu hoch sind. Daher ist aus ethischer Sicht darauf zu achten, dass die aus Mikroalgen gewonnenen Produkte, wie Nahrungsmittel und wertvolle Inhaltsstoffe, gerade auch für Menschen aus Entwicklungs- und Schwellenländern erschwinglich sind. Ein weiterer Nachteil unserer herkömmlichen Gewinnungsweise von Proteinen besteht darin, dass die bisher in Massen produzierten Proteine meist nur in Verbindung mit ernährungsphysiologisch ungünstigen Fettsäurekombinationen verfügbar sind. Im Bereich der Ernährung gibt es verstärkt Empfehlungen, neue proteinhaltige, Omega-3-Fettsäure- und vitaminhaltige Nahrungsmittel bereitzustellen. Die Kultivierung von Mikroalgen ermöglicht die Erschließung neuer Proteinquellen bei geringem Flächen- und Wasserbedarf.

Mikroalgen bieten als weiteren Vorteil hohe Proteingehalte bei gleichzeitig günstigem Fettsäureprofil. Mikroalgen sind auch in der heutigen Nahrungskette bereits die Ausgangssubstanz für Omega-3-Fettsäuren, die über Fische aufgenommen und im Fettgewebe eingelagert werden. Die industrielle Algenkultivierung kann hier der direkte Lieferant für Omega-3-Fettsäuren werden, ohne den Umweg über den Fischstoffwechsel, und sich zu einer zweiten Linie neben der Fischvermarktung entwickeln. Im Bereich der Vitamine hat sich die Einnahme von einzelnen Vitaminpräparaten als physiologisch problematisch erwiesen. Das Fehlen einer geeigneten Lebensmittelmatrize, in der sich viele verschiedene Vitamine gleichzeitig befinden, kann über Präparate nicht ausgeglichen werden. Grundnahrungsmittel aus Algen hingegen, in denen neben Proteinen auch eine Vielzahl an Vitaminen vorhanden ist, könnten eine mögliche und praktikable Alternative sein. Die Wertstoffe aus Mikroalgen könnten darüber hinaus auch einen wertvollen Rohstoff in der Futtermittelindustrie darstellen, insbesondere aufgrund der hohen Proteingehalte.

Mit einer Nutzung von Algenproteinen als Nahrungsmittel kommt man dem Ziel einer Sicherung der weltweiten Proteinversorgung ohne Verwendung tierischer Proteine näher und könnte dadurch einen Impuls zur Annäherung zwischen Industrienationen und Verbrauchern in armen Ländern setzen. Im Hochpreissegment Nahrungs- und Futtermittel stellen Algen aus ökonomischer Sicht ein vielversprechendes Potenzial dar und haben im Spannungsfeld „Teller-Tank“ das Potenzial für eine positive Bilanz in Bezug auf Ressourcenschonung, Landnutzung und Nachhaltigkeit.

Ein wesentliches Merkmal der industriellen Algenkultivierung ist die gezielte Bindung von CO₂ und dessen Überführung in nutzbare Biomasse. Die Algenproduktion in geschlossenen Photobioreaktoren ist der einzige Prozess, bei dem auch aus industriellen Prozessen entstehendes Abgas-CO₂ gezielt direkt

photosynthetisch gebunden und sehr effizient in Biomasse konvertiert wird. Dabei korreliert die CO₂-Fixierungskapazität mit der Biomasseproduktivität, die wiederum an die Lichtversorgung der Algenzellen gekoppelt ist. Über die verfahrenstechnischen Möglichkeiten der Einbringung von Gasen in Flüssigkeiten ist der Stofftransport an den Grenzflächen Gas – Flüssigphase – Algenzelle beeinflussbar. Wie bei Landpflanzen ist die CO₂-Bindekapazität bei Algen an den Nährstoffverbrauch gekoppelt, insbesondere an Stickstoff und Phosphor. Da aber Algen in Flüssigkulturen produziert werden, liegen die Nährstoffe gelöst in Wasser vor und können somit vollständig verbraucht werden. Damit entfällt die Nährstoffproblematik, die bei Landpflanzen zum Auswaschen von Nährstoffen und daraus resultierend zur Eutrophierung von Gewässern sowie Entweichen klimaschädlicher Gase aus stark beanspruchten Böden führt. Im Falle der Realisierung der industriellen Produktion von Nahrungs- und Futtermitteln mittels geschlossener Algenbioreaktoren wird die Biodiversität von Land- und aquatischen Pflanzen nicht tangiert, da die Mikroalgen nicht unkontrolliert freigesetzt werden und die Produktionsstandorte nicht mit bisherigen Ackerflächen konkurrieren.

Standortdiskussion

Die Algenkultivierung wird weltweit sowohl in offenen als auch geschlossenen Systemen durchgeführt. Dabei wird meist einfachste Technik, in manchen Anwendungsfällen aber auch eine hoch technische Ausführung eingesetzt. Der Einsatz des jeweiligen technischen Komplexitätsgrades hängt vom Zielprodukt ab. Speicherlipide zur energetischen Nutzung, bestimmte Konzentrationsverteilungen einzelner Inhaltsstoffe oder auch die gezielte Herstellung bestimmter Wertstoffe können ausschließlich in geschlossenen Bioreaktoren mit klar definierten, regelbaren Betriebsparametern realisiert werden. Im Falle des oben diskutierten Produktspektrums kommen damit nur geschlossene Bioreaktoren infrage. Aufgrund der Wirtschaftlichkeit sind Produktionsstandorte mit hoher Lichtintensität und -verfügbarkeit zu wählen. Eine der Herausforderungen ist es, gezielt Produkte mit einer über die gesamte Produktionsphase stabilen Verfahrensführung im industriellen Maßstab bei wetter- und klimabedingt variierenden Rahmenbedingungen herzustellen.

Ungeachtet der für die Algenkultivierung in Mitteleuropa herrschenden nicht optimalen klimatischen Bedingungen sollte an einem Modellstandort in Baden-Württemberg, idealerweise an einem bereits etablierten Algenforschungsstandort unter Ausnutzung bestehender Freilandanlagenkapazitäten, eine Prozesskette, wie in Abbildung 6-3 beschrieben, aufgebaut und über die resultierenden Output-Ströme mit den anderen Forschungsfeldern gekoppelt werden. Hierdurch könnten in optimaler Weise Synergiepotenziale aufgezeigt und beispielsweise eine repräsentative Datenlage zur ökonomischen, ökologischen, ethischen Bewertung aufgebaut werden.

Weltweit haben bisher nur wenige Forschungseinrichtungen und Unternehmen Erfahrungen im Bereich der Produktion von hochpreisigen Wertstoffen in geschlossenen Bioreaktoren im Freiland gesammelt. Publierte Daten von erzielbaren Biomasseproduktivitäten und Produktkonzentrationen im Langzeitbetrieb unter Freilandbedingungen stammen überwiegend aus baden-württembergischen Forschungseinrichtungen und stellen damit ein Alleinstellungsmerkmal auf diesem Gebiet dar.

Für eine techno-ökonomische Evaluierung sind für viele Teilschritte noch keine belastbaren Daten verfügbar, sondern lediglich Ergebnisse aus Experimenten im Labormaßstab. Insbesondere für die Übertragung des Prozesses der Algenkultivierung vom Labor ins Freiland mit wechselnden Licht- und Klimabedingungen gibt es nur wenige zugängliche Daten.

Um die Wertstoffproduktion aus Algen zu erhöhen, bedarf es nicht nur der Entwicklung neuer Produkte, sondern auch der Identifizierung geeigneter Algen und der Bewältigung technologischer, ökonomischer und ökologischer Herausforderungen, insbesondere bei der Algenkultivierung, Ernte und Verarbeitung.

Die sich aus dem Ist-Zustand ergebenden inhaltlichen Schwerpunkte für den Handlungsbedarf betreffen das Screening, hierbei speziell die Prüfung, Charakterisierung und Selektion geeigneter Mikroalgen, sowohl hinsichtlich der Inhaltsstoffe als auch der Produktionspotenziale. Darüber hinaus sind Untersuchungen notwendig zur Intensivierung und Steuerung der Mikroalgenproduktion zur optimierten Herstellung in unterschiedlichen Produktionssystemen sowie zur Aufarbeitung spezifischer Biomassekomponenten mittels geeigneter Verfahrenstechnik. Im Fokus stehen ebenfalls die Möglichkeiten der lebensmitteltechnologischer Verwertung und die physiologischen Auswirkungen in der Ernährung.

Durch Algenprodukte für die Ernährungsindustrie können neue Absatzmärkte im Hochpreissegment erschlossen werden. Für das mittlere Preissegment sind neuartige Lebensmittelprodukte durch den Zusatz von Algenproteinen und -fettsäuren denkbar. Im Sinne der Bioökonomie ist die Mikroalgenkultivierung außerdem in besonderer Weise geeignet, Kreisläufe zu schließen, Abfallprodukte als Nährstofflieferant (beispielsweise über Abwasserströme, die Phosphor und Stickstoff enthalten) zu nutzen und eine Senke für das Treibhausgas CO₂ (beispielsweise Abgas-CO₂ aus Fermentationen etc.) darzustellen. Nach der stofflichen Verwertung der Algeninhaltsstoffe kann die energetische Verwertung der Algenreststoffe, die nicht für die Ernährung verwendet werden können, z.B. durch Vergärung erfolgen. Die Vergärung der Algenrestbiomasse ist besonders für die Co-Vergärung geeignet, da Algen kein Lignin enthalten und somit mit hohem Abbaugrad zu Biogas umgesetzt werden können. Für bestehende, meist dezentral angelegte Biogasanlagen steht hierdurch ein gut verwertbares Co-Substrat zur Verfügung. Über die Nutzung der

Restalgenbiomasse als Co-Substrat in der Vergärung und die Verwendung von flüssigen Gärresten aus Biogasanlagen als Nährstofflieferant bei der Algenkultivierung besteht ein direkter Anknüpfungspunkt zum Forschungsfeld Biogas. Hier zeigt sich das besondere Potenzial dieses Forschungsfelds auch im Kontext Energiewende in Baden-Württemberg.

Entlang einer Prozesskette von der Algenbiomasseproduktion in geschlossenen Photobioreaktoren, beispielsweise unter Nutzung von Abgas-CO₂, Beiproduktströmen, der Trennung der Algenbiomasse in verschiedene Hauptfraktionen bis hin zu den unterschiedlichen Endprodukten und der energetischen Verwertung der Restbiomasse kann ein nachhaltiger, wettbewerbsfähiger Gesamtprozess entwickelt werden. Zusätzlich kann über die Kreislaufführung von Wasser und Nährstoffen die Ressourcennutzung gesteigert werden.

Die drei größten Hemmnisse, die es auf dem Weg zur Kommerzialisierung der Algen-Bioraffinerie zu überwinden gilt, sind die technologischen, ökonomischen, ökologischen und gesellschaftlichen Herausforderungen. Diese zentralen Aspekte müssen im Rahmen einer Nachhaltigkeitsbewertung korrekt adressiert und bewertet werden. Sie sind wichtig für eine breite Akzeptanz von Algenproduktionsprozessen in der Wirtschaft und bei den Verbrauchern. Bei der Entwicklung einer Algen-Bioraffinerie ist eine Nachhaltigkeitsbewertung unabdingbar. Im Rahmen einer ethischen Evaluation sollten auch weitergehende Fragen, beispielsweise nach dem Stellenwert unserer Nahrungsmittel für unser kulturelles Selbstverständnis, bearbeitet werden.

Bestehende Maßnahmen der Forschungsförderung

Eine spezifische, auf Mikroalgen bezogene Forschungsförderung besteht national und im Rahmen von EU-Ausschreibungen nicht. Allerdings ist zum Teil eine Integration dieses Themas in unterschiedlichen Programmen möglich. Infrage kommen hier beispielsweise verschiedene Programme des BMBF im Bereich Biotechnologische Basistechnologien (s. auch Richtlinien zur Förderung von „Basistechnologien für eine nächste Generation biotechnologischer Verfahren“, bis Ende 2013) oder auch im Bereich Industrielle Biotechnologie (s. auch Richtlinien zur Förderung im Rahmen der "Innovationsinitiative industrielle Biotechnologie", bis Ende 2015). Stark anwendungsbezogen und unter Umständen thematisch zuordenbar sind die offenen Ausschreibungen des BMBF im Bereich KMU-innovativ: Biotechnologie – BioChance und ggf. die BMELV-Ausschreibung Deutsche Innovationspartnerschaft Agrar (DIP). Für den internationalen Bereich können Maßnahmen zur Förderung der internationalen Zusammenarbeit im Bereich Biotechnologie des BMBF und der GIZ/BMZ in Anspruch genommen werden.

Situation und Entwicklungspotenzial in Baden-Württemberg

Besonders in Baden-Württemberg eröffnen die oben beschriebenen Optionen für den Ernährungs- und Futtermittelbereich neue Möglichkeiten im Rahmen einer bioökonomischen Gesamtbetrachtung. Eine unter bioökonomischen Ge-

sichtspunkten angelegte Algenforschung stellt einen langfristigen Entwicklungspfad dar, der noch viele Effizienzsteigerungspotenziale aufweist. Langfristig kann daraus ein tragfähiges Konzept im Rahmen der Bioökonomie-Strategie werden, wenn es gelingt, den Gesamtproduktionsprozess wirtschaftlich darzustellen und als Technologieexportgut aus Baden-Württemberg in den Weltmarkt für sonnenintensive Regionen einzubinden.

Baden-Württemberg besitzt gleich mehrere hochqualifizierte, exzellente Forschungsinstitutionen im Algenbereich sowie in der verfahrenstechnischen Aufarbeitung von Produkten und der Lebensmittel- und Ernährungswissenschaft, die zukünftig bei einer Bündelung ihrer Kompetenzen eine führende Rolle in diesem Bereich einnehmen können. Im Bereich der Industrieunternehmen weist Baden-Württemberg ebenfalls eine überdurchschnittliche Attraktivität mit der in Deutschland einzigen im industriellen Maßstab vorhandenen Algenreaktor-Produktionstechnik, Verfahrens- und Lebensmitteltechnik und deren starker Exportorientierung auf.

Baden-Württemberg ist als Standort für die Entwicklung einer industriellen Algentechnologie im Kontext einer integrierten Gesamtstrategie aus folgenden Gründen besonders geeignet:

- Baden-Württemberg verfügt über eine hervorragende Forschungskompetenz in der gesamten Wertschöpfungskette, sowohl in der Grundlagenforschung als auch in der angewandten Forschung, die allein im Hinblick auf die Algenkultivierung im Freiland und in den Lebensmittel- und Ernährungswissenschaften eine exponierte Stellung im nationalen wie auch im internationalen Kontext aufweist. Die einzelnen Universitätsstandorte, die forschungsnahen Landesanstalten sowie insbesondere Institute der Helmholtz-Gemeinschaft und der Fraunhofer-Gesellschaft bilden die Forschungskompetenz in Baden-Württemberg. Dies stellt in dieser Breite ein Alleinstellungsmerkmal für Baden-Württemberg dar.
- Die bisher zum Forschungsfeld Mikroalgen in den Forschungseinrichtungen durchgeführten Arbeiten inklusive der damit verbundenen Etablierung verschiedener technischer Systeme und Anlagenkapazitäten in unterschiedlichen Größenordnungen bieten eine hervorragende Basis zur Weiterentwicklung und Umsetzung gemeinsam mit der baden-württembergischen Industrie.
- Baden-Württemberg weist zahlreiche mit hoher Innovationskompetenz ausgestattete Industrien und mittelständische Unternehmen entlang der gesamten Wertschöpfungskette auf, die stark exportorientiert sind und dadurch ein starkes Interesse haben, die im Land erforschte und entwickelte Technologie weltweit in für die Algenproduktion geeignete Klimazonen zu liefern. Der Marktzugang dieser Unternehmen ist sehr ausgeprägt und gefestigt, sodass die Algenproduktion ein weiteres Standbein vor allem für die vielen mit-

telständischen Verfahrenstechnik-Unternehmen sein wird. Der Wissenszugewinn bei den entlang der gesamten Wertschöpfungskette zu entwickelnden und zu optimierenden verfahrenstechnischen Prozessen kann in manchen Bereichen mit dem Forschungsfeld Lignozellulose verknüpft werden, beispielsweise bei der Produktaufarbeitung und Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik (MSR-Technik), aber auch im Bereich der Schließung von Kreisläufen und bei der Entwicklung von Strategien zur Prozessintegration und -intensivierung.

- Im Rahmen der EU-Gesetzgebung sind Algenprodukte marktfähig geworden, wobei eine immer weitergehende Zulassung von Produkten aus Algen in der Futtermittelindustrie erkennbar ist. Dies ist zukünftig auch im Bereich der Ernährungsindustrie zu erwarten.

Abbildung 6-3 zeigt in der Übersicht die Prozesskette und die beteiligten Forschungsbereiche für die Herstellung von Produkten aus Mikroalgen.

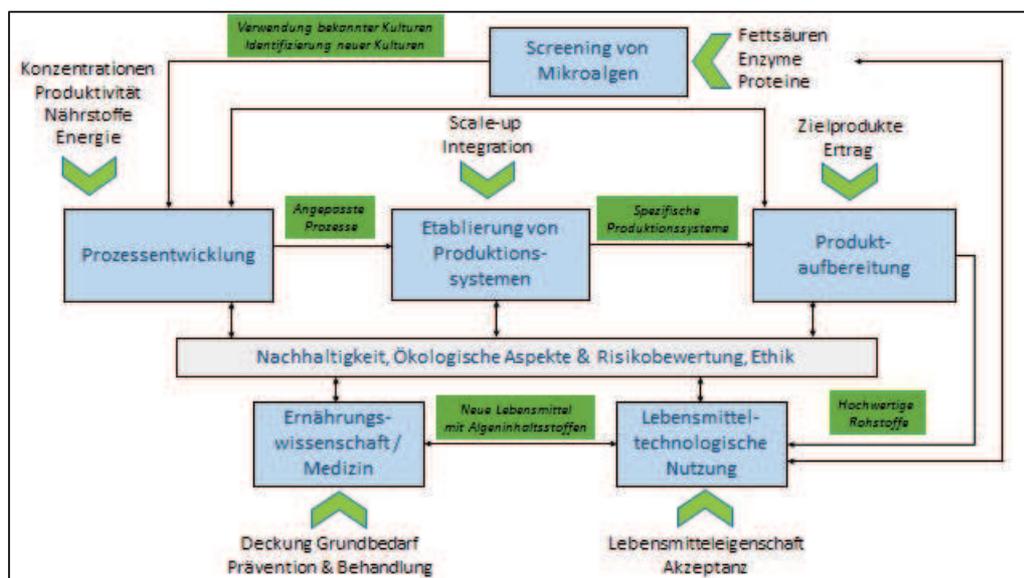


Abbildung 6-3: Prozesskette für die Herstellung von Produkten aus Mikroalgen

6.2 Strukturelle Maßnahmen

6.2.1 Bildung eines Kompetenzzentrums Modellierung der Bioökonomie Baden Württemberg

Die Analyse von Potenzialen, Risiken und Chancen der Bioökonomie kann nicht auf einzelne Nutzungspfade beschränkt bleiben, sondern muss im Gesamtsystem der verschiedenen Formen der Biomassebereitstellung (Forst, Landwirtschaft, Landschaftspflege, Abfall- und Reststoffe, Aquakultur, Algen) und der Biomassenutzung (Nahrung, Futter, energetisch, stofflich) erfolgen. Die Notwendigkeit einer integrierten Betrachtung ergibt sich zum einen aus den Nutzungskonkurrenzen um verschiedene Biomassen, deren Bereitstel-

lung durch die Konkurrenz um den knappen Produktionsfaktor „Boden“ begrenzt ist. Diese Nutzungskonkurrenz besteht nicht nur regional in Baden-Württemberg, sondern auch national, auf der Ebene der Europäischen Union sowie global. Als Ergebnis führen Änderungen der Biomassenutzung oder Bereitstellung an der einen Stelle des Systems auf indirektem Weg, vermittelt über die regionale und globale Marktintegration, zu Effekten an anderen Stellen. Zum anderen ergibt sich die Notwendigkeit einer integrierten Analyse der Bioökonomie aus den vielfältigen Verflechtungen der beteiligten Sektoren sowohl innerhalb der Volkswirtschaft wie auch mit der natürlichen Lebensumwelt.

Die Analyse der Bioökonomie muss also über gesamte Nutzungspfade bzw. Wertschöpfungsketten hinweg vergleichend erfolgen, sie muss direkte und indirekte Effekte auf andere Sektoren berücksichtigen, und sie muss die Verflechtungen mit der natürlichen Umwelt, also Stoffeinträge und -austräge in/aus natürlichen Systemen sowie Auswirkungen auf Umweltqualität und Biodiversität, einbeziehen und soziale, ethische, ökonomische und politische Rahmenbedingungen berücksichtigen (siehe Abbildung 6-4). Hieraus wird deutlich, dass in der Forschung ein Systemansatz mit einer intensiven Zusammenarbeit der verschiedenen Disziplinen und Standorte verfolgt werden muss.

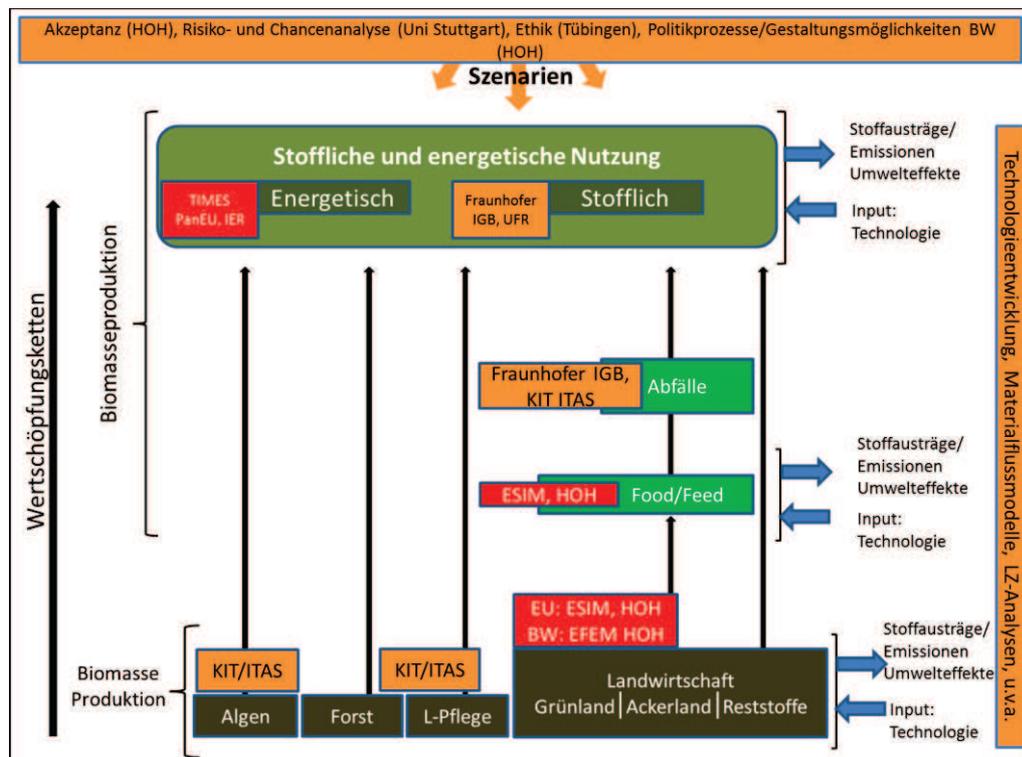


Abbildung 6-4: Modellierung der Bioökonomie im Gesamtsystem

Schließlich steht die Analyse der Bioökonomie vor der Herausforderung, dass Verfahren der Bereitstellung und Nutzung von Biomasse sich technologisch und wirtschaftlich rasant entwickeln, getrieben von der Verknappung fossiler Ressourcen und von politischen Entscheidungen. Viele Technologien, wie

etwa die Herstellung von Flüssigkraftstoffen aus Lignozellulose oder die auf Algen basierende Biomasseerzeugung, sind heute noch nicht marktreif. Trotzdem ist es erforderlich, schon heute die Potenziale, Chancen und Risiken der Bioökonomie von morgen abzuschätzen.

Die Verwendung von Simulationsmodellen ist ein weitverbreiteter methodischer Ansatz zur Ex-ante-Abschätzung von Markt- und Technologieentwicklungen und deren Auswirkungen. Die Modellierungskompetenz in Baden-Württemberg ist besonders hoch, in vielen Bereichen gehören Forschergruppen aus Baden-Württemberg zur europäischen Spitzengruppe. Dies gilt sowohl im Bereich der gesamtwirtschaftlichen Modelle (z.B. Konsortiumsmitgliedschaft der Universität Hohenheim im GTAP-Konsortium), der sektoralen Wirtschaftsmodelle des Agrarsektors (z.B. Entwicklung des von der Europäischen Kommission geförderten und verwendeten ESIM an der Universität Hohenheim), der Energiesystemmodellierung (z.B. Entwicklung von TIMES PanEU an der Universität Stuttgart als eines von zwei führenden Modellen auf europäischer Ebene), wie auch im Bereich der technologie- und stoffstromorientierten Modellierung (z.B. Entwicklung des CarboMoG am KIT sowie verschiedener Technologiemodelle am KIT sowie den Fraunhofer-Instituten).

Die hohe, in Baden-Württemberg konzentrierte, bioökonomierelevante Modellierungskompetenz sowie die Komplementarität der verwendeten Modellierungsansätze bieten eine einmalige Chance für eine stärkere Vernetzung der verschiedenen Forschergruppen zur integrierten Modellierung der Bioökonomie. Eine solche Vernetzung würde ein Alleinstellungsmerkmal in Europa darstellen.

Vor diesem Hintergrund sollte im Rahmen dieser strukturellen Maßnahme ein „Kompetenzzentrum Modellierung der Bioökonomie Baden-Württemberg“ aufgebaut werden. Ziel dieses Kompetenzzentrums sollte sein, direkte und indirekte Wirkungen (ökonomisch, stofflich, sozial, ethisch) der Biomassenutzung in verschiedenen Nutzungspfaden vergleichend zu bewerten. Es wird damit ein Bewertungsrahmen für Biomassenutzungspfade geschaffen, der im Rahmen dieses Vorhabens vorrangig für die Nutzungspfade Biogas, Lignozellulose und Algen (Forschungsfelder) zum Einsatz kommen wird, aber auch als Grundlage dafür dienen soll, weitere Nutzungspfade sowie integrierte Bioökonomie-Szenarien zu analysieren.

Die modellierenden Forschergruppen sollten in die bestehenden Forschungsfelder Biogas, Algen und Lignozellulose eingebettet arbeiten, um diesen mit Modell- und Datenbankentwicklungen sowie Modellanwendungen direkt zuzuarbeiten. Darüber hinausgehend sollen im Rahmen dieser strukturellen Maßnahme kurz-, mittel- und langfristige Maßnahmen umgesetzt werden, die in ihrer Bedeutung über die einzelnen Forschungsfelder hinausgehen, um die oben genannten Ziele zu erreichen. Diese Maßnahmen sollen in ein Kompetenzzentrum münden. Abbildung 6-5 zeigt in einer ersten Grobstruktur die bisher beteiligten Forschergruppen, geordnet nach Aggregationsebene der verwendeten Modelle (Ordinate) und nach Modelltyp (Abszisse).

Im Rahmen des Kompetenzzentrums sind kurzfristig folgende Maßnahmen vorgesehen:

- Regelmäßige interne Workshops zur Entwicklung von Modellierungsstrategien
- Entwicklung von Modellbeschreibungen und Leitfäden, um die Modelle konstruktiv und in sinnvollen Kombinationen für die Politikberatung einsetzen zu können
- Entwicklung von Modell- und Datenschnittstellen

Hierbei wird es sehr unterschiedliche Vernetzungsintensitäten geben, für die im Folgenden einige Beispiele genannt sind:

- Enge Vernetzung (iterative Modellläufe):
 - TIMES PanEU - ESIM
 - ESIM-EFEM²³
- Einseitiges Weitergeben von Ergebnisvariablen zwischen Modellen auf unterschiedlichen Aggregationsstufen oder mit unterschiedlichen Schwerpunkten:
 - ESIM-CarboMoG
 - GTAP-ESIM
- Ergänzende Analysen
 - Exogene Potenzialabschätzungen zu Bereichen der Biomassebereitstellung, die in den Simulationsmodellen nicht abgebildet sind (Abfälle, Waldrestholz, Landschaftspflegegut....)
 - Ökobilanzen

²³ Economic Farm Emission Model

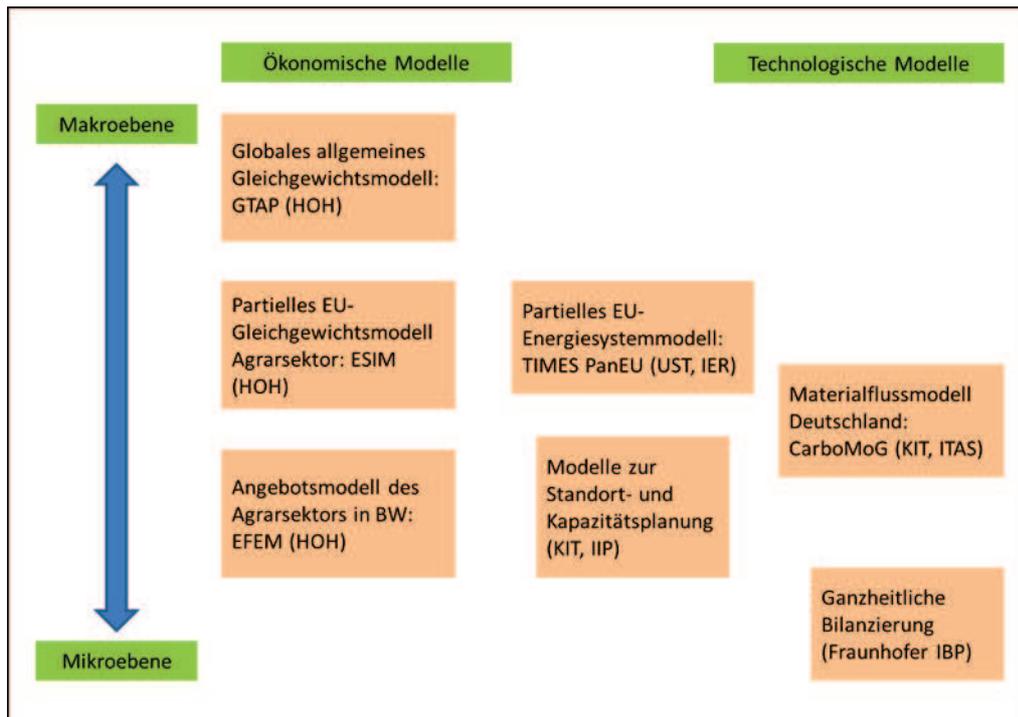


Abbildung 6-5: Entwurf Kompetenzzentrum Modellierung der Bioökonomie.

Mittelfristig sind die Entwicklung und Simulation von integrierten "Bioökonomieszenarien" unter Einbeziehung der Forschungsfelder, aber auch darüber hinausgehend, vorgesehen.

Langfristig sollen vor allem Strukturen für die Zusammenarbeit der verschiedenen Disziplinen und Standorte geschaffen werden, die über die Initiative des Strategiekreises Bioökonomie hinausgehen. Hierzu zählt unter anderem auch die Vernetzung von naturwissenschaftlichen Prozessmodellen (Wasser- und Stofftransport) mit ökonomischen Modellen.

6.2.2 Strukturierte Graduiertenausbildung

Bioökonomie in Baden-Württemberg – Erforschung innovativer Wertschöpfungsketten (BBW-FORWERTS)

Die Umwandlung der primär auf fossilen Ressourcen aufbauenden derzeitigen Wirtschaftsform in Richtung einer nachhaltigen, auf nachwachsenden Rohstoffen basierenden Bioökonomie stellt infolge ihrer hohen Komplexität auch für technisch hochentwickelte Industrienationen eine gewaltige Herausforderung dar. Die Erforschung innovativer Wertschöpfungsketten der Bioökonomie erfordert hier einen breiten, interdisziplinären Ansatz. Expertisen verschiedener Disziplinen müssen in neuen Kombinationen zusammengebracht werden, Wissenschaftskulturen müssen sich neuen Kommunikationsprozessen öffnen, und innovative technische Prozesse müssen nicht nur auf ökonomische Effizienz, sondern auch auf ihre gesellschaftliche Akzeptanz hin untersucht und bewertet werden.

Darüber hinaus darf sich die Entwicklung nachhaltiger Prozessketten zur stofflichen und/oder energetischen Nutzung von Biomasse nicht allein auf die regionale Perspektive – hier Baden-Württembergs – beschränken, sondern muss auch europäische bzw. internationale ökonomische Verflechtungen angemessen berücksichtigen.

Mit seiner Bioökonomie-Strategie will sich das Land Baden-Württemberg diesen komplexen Herausforderungen auf mehreren Ebenen stellen. Von ausschlaggebender Bedeutung ist hier die Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses. Eine neue Forschergeneration soll heranwachsen, für die sich disziplinäre Expertise auf Exzellenzniveau mit der Fähigkeit verbindet, komplexe Strukturen und Prozesse in interdisziplinärer Perspektive mit Nachhaltigkeitsbezug zu begreifen und letztere als Rahmen für das eigene Handeln zu berücksichtigen.

Das im Rahmen der Strategie Bioökonomie Baden-Württemberg vorgeschlagene interdisziplinäre Graduiertenprogramm BBW-FORWERTS zur strukturierten Doktorandenausbildung würde sich diesen Herausforderungen stellen, indem es

- an Standorten exzellenter Forschung des Landes einschlägige disziplinäre Expertise vermittelt,
- durch die breite Öffnung standortspezifischer Lehr- und Technologieangebote (Methodenkurse) den Austausch zwischen den Universitäten, aber auch hin zu den Hochschulen für angewandte Wissenschaften fördert,
- durch Einbindung der Doktoranden in die Erforschung innovativer Wertschöpfungsketten die Befähigung zu interdisziplinärem Dialog gezielt unterstützt,
- über die aktive Teilnahme am Diskurs zu Fragen der gesellschaftlichen Akzeptanz der Bioökonomie die Doktoranden für gesellschaftliche, rechtliche und ethische Aspekte sensibilisiert und
- durch die Einbindung von Doktoranden anderer Länder, die ebenfalls bioökonomische Forschungsaktivitäten entfalten (z.B. Kanada, Mexiko, Brasilien, China), den internationalen Austausch intensiviert und neben der regionalen Perspektive auch die globalen Perspektiven einbezieht.

Das Graduiertenprogramm BBW-FORWERTS rekrutiert seine Mitglieder aus

- den Doktoranden (und ggf. Postdocs) der drei Forschungsfelder Biogas, Lignozellulose und Algen („Leuchtturmprojekte“) mit jeweils maximal zehn Doktoranden,
- zehn weiteren Doktoranden, die über Stipendien der Landesgraduiertenförderung (LGF) finanziert werden,

- bis zu zehn Doktoranden aus Brasilien und China (ggf. andere Partnerländer), die über die jeweiligen Länder finanziert werden (z.B. CSC²⁴ für China; Ciência sem Fronteiras für Brasilien),
- bis zu acht Doktoranden aus Mexiko, Brasilien, Kanada und Chile, die über ein vom DAAD gefördertes thematisches BioÖkonomie-Netzwerk finanziert werden, und
- weiteren Doktoranden, die in den jeweiligen Arbeitsgruppen in thematisch passenden Projekten arbeiten, aber von anderer Seite finanziert werden.

In der Summe resultiert daraus für die Startphase eine Gesamtzahl von ca. 50-60 Doktoranden. Die Doktorandenstipendien werden offen in Baden-Württemberg ausgeschrieben. Bewerben können sich nur Kandidaten aus Arbeitsgruppen, die nicht bereits in direkt geförderte (und mit Sach- und Personalmitteln direkt geförderte) Leuchtturmprojekte eingebunden sind. Exzellente Kandidaten aus Hochschulen für angewandte Wissenschaften sollen ebenfalls zur Bewerbung aufgefordert werden. Voraussetzung für die Bewerbung ist neben der entsprechenden Qualifikation ein 5-seitiges Exposé. Die Themengebiete sollten einen klar definierten Bezug zu den zentralen Zielen der Bioökonomie-Strategie Baden-Württemberg haben. Die finale Auswahl der Kandidaten erfolgt nach Interviews vor einer BBW-FORWERTS-Auswahlkommission. Hierbei wird neben einer herausragenden Qualifikation ein ausgewogenes Verhältnis weiblicher und männlicher Kandidaten angestrebt.

Das Graduiertenprogramm BBW-FORWERTS soll bis zu fünf Themenschwerpunkte haben, von denen drei durch Leuchtturmprojekte vorgegeben sind. Jeder Schwerpunkt wird von einem Principal Investigator und einem Doktoranden repräsentiert. Das so gebildete 10-köpfige Leitungsgremium berät regelmäßig über alle inhaltlichen und organisatorischen Fragen. Mindestens einmal pro Jahr tagt dieses Leitungsgremium gemeinsam mit dem Strategiekreis Bioökonomie Baden-Württemberg, um strategische Fragen zu diskutieren. Das gesamte Graduiertenprogramm wird von einem Sprecher mit Vertreter koordiniert.

Da die im Graduiertenprogramm BBW-FORWERTS aufgenommenen Doktoranden über Baden-Württemberg verteilt an unterschiedlichen Standorten forschen, stellen Qualitätssicherung vor Ort und regelmäßiger Informationsaustausch besondere Herausforderungen dar. Einerseits muss gewährleistet sein, dass die Betreuung vor Ort höchsten Ansprüchen genügt, andererseits muss für den angestrebten intensiven Wissensaustausch zwischen den Standorten eine Form gefunden werden, die den Fortgang der Arbeit vor Ort nicht über Gebühr beeinträchtigt. Das strukturierte Doktorandenprogramm der dezentral

²⁴ Chinese Scholarship Council

an den baden-württembergischen Universitäten arbeitenden Doktoranden trägt diesem besonderen Umstand Rechnung. Es umfasst folgende Aktivitäten:

- Betreuung der Dissertation durch ein Thesis Advisory Committee (TAC: mindestens drei Mitglieder, davon mindestens ein Mitglied einer anderen Universität).
- Vier eintägige Workshops pro Jahr an wechselnden Standorten; mit Keynote Speaker, Doktorandenvorträgen, Poster Session und Round Table Diskussion.
- Je eine einwöchige Summer/Winter School im ersten und zweiten Jahr mit Vorlesungsreihe, Seminarvorträgen und Keynote Lecture: Zum inhaltlichen Programm leisten alle beteiligten Standorte ihre einschlägigen Beiträge. Von besonderer Bedeutung ist der vorgesehene Beitrag des Nationalen Instituts für Wissenschaftskommunikation (am KIT), der die Doktoranden befähigen soll, ihr Forschungsgebiet überzeugend einer breiten Öffentlichkeit zu vermitteln.
- Besuch von mindestens einem zweitägigen Methodenkurs pro Jahr: Diese Kurse werden von den Arbeitsgruppen des Bioökonomie-Forschungsnetzwerkes Baden-Württemberg angeboten und reichen von innovativen Techniken bis hin zu Einführungen in die Modellierung.
- Teilnahme an mindestens einer Exkursion zu Industrieunternehmen, die im Bereich Bioökonomie aktiv sind.
- Aktive Teilnahme (Poster, Vortrag) an mindestens einer internationalen Tagung sowie ein mehrmonatiger Forschungsaufenthalt im Ausland.
- Aktive Mitwirkung der Doktoranden an der Organisation einer internationalen Tagung „Bioeconomy BW“ im 3. Jahr.
- Teilnahme an den bereits bestehenden Soft-skill-Kursen am jeweiligen Standort.
- Effektive Nutzung aller bestehenden Gender- und Diversity-Maßnahmen am jeweiligen Standort.
- Einrichtung einer Web-Plattform zum freien und schnellen Informationsaustausch aller Doktoranden der verschiedenen BBW-FORWERTS-Schwerpunkte.

Die an der Ausgestaltung des Graduiertenprogramms BBW-FORWERTS beteiligten Universitäten Baden-Württembergs verfügen über langjährige Erfahrungen in erfolgreichen Graduiertenkollegs bzw. in im Rahmen der Exzellenzinitiative des Bundes geförderten Graduiertenschulen. Diese wertvolle Expertise wird in die Detailplanung von BBW-FORWERTS einfließen. Hierbei wird besonderer Wert darauf gelegt werden, dass die Doktoranden über selbstiniti-

ierte Bottom-up-Aktivitäten den vorgegebenen Rahmen mitgestalten. Ferner ist zu berücksichtigen, dass die Findung neuer kreativer Lösungsansätze zum Aufbau innovativer Wertschöpfungsketten auch an die forschungsorientierte Lehre fortlaufend neue Herausforderungen stellt.

Die Laufzeit des Graduiertenprogramms BBW-FORWERTS ist zunächst auf fünf Jahre angelegt, mit zwei zeitlich überlappenden Doktorandenkohorten (1. Kohorte: 1.-3. Jahr; 2. Kohorte: 3.-5. Jahr). Der Finanzierungsrahmen sollte Doktorandenstipendien, Mittel für Reisen innerhalb von Baden-Württemberg (siehe Doktorandenprogramm), Sachmittel zur Unterstützung der Methodenkurse, Reise- und Sachmittel für die internationale Tagung sowie die Einladung von Keynote Speakern und eine halbe Sekretariatsstelle für die Koordination umfassen.

Die externe Evaluierung des Graduiertenprogramms BBW-FORWERTS erfolgt im Abstand von zwei Jahren. Im Erfolgsfall werden das Leitungsgremium des Graduiertenkollegs und der Strategiekreis Bioökonomie Baden-Württemberg gemeinsam Schritte unternehmen, um eine Fortsetzung durch Drittmittelförderung zu ermöglichen.

Der hohe Anspruch des Graduiertenprogramms BBW-FORWERTS, im Land Baden-Württemberg eine neue Forschergeneration heranzubilden, die sich, ungeachtet der jeweils erforderlichen disziplinären Verankerung, den komplexen Herausforderungen der gesellschaftlichen Umstellung in Richtung Bioökonomie stellt, zielt auf Nachhaltigkeit, mit einer zeitlichen Perspektive, die ins kommende Jahrzehnt hineinreicht. BBW-FORWERTS setzt die ersten Leitplanken für diesen Aufbruch.

6.2.3 Infrastrukturkonzept

Bereits heute schon sind Forschungseinrichtungen in Netzwerken zu verschiedenen Schwerpunkten über die üblichen Forschungsprojekte hinaus organisiert. Beispiele sind die Verbundanalytik mit dem Zentrum für Biosystemanalyse (ZBSA) in Freiburg, innerhalb derer Massenspektrometer zur Analytik von Proteinen und Metaboliten genutzt werden, die Synchrotronstrahlungsquelle ANKA und das DFG-geförderte NMR²⁵-Gerätezentrum am KIT, das virtuelle Institut HVIGasTech für die Entwicklung eines wissenschaftlichen Simulationswerkzeugs zur Auslegung und zur Maßstabsvergrößerung technischer Flugstromvergaser oder die Initiative DLR@UniST in den Bereichen Energie, Verkehr, Luft- und Raumfahrt. Modelle zur gemeinsamen Nutzung von Infrastruktur sind sowohl in Deutschland als auch in anderen Ländern gängige Praxis und haben dort zur engen Vernetzung von Wissenschaft und Wirtschaft geführt. Die Wissenschaft forscht einerseits am Puls der Wirtschaft,

²⁵ Nuclear Magnetic Resonance

und die Wirtschaft kann andererseits Innovationen aus der Forschung mit Wissenschaftlern im Netzwerk diskutieren und schneller für eine strategische Weiterentwicklung aufgreifen.

Die im Rahmen der Initiative des Strategiekreises Bioökonomie Baden-Württemberg erstellte Bestandsaufnahme sowie eine separat dazu erhobene Befragung unter den Forschungseinrichtungen in Baden-Württemberg weisen darüber hinaus eine beträchtliche Anzahl größerer Versuchseinrichtungen sowie eine große Vielfalt analytischer Methoden aus. Beides eröffnet ein hohes Potenzial für die weitergehende Integration und Verstärkung von Forschungsaktivitäten, z. B. unter gemeinsamer Nutzung dieser versuchstechnischen Infrastruktur. Diese gilt es, möglichst weitgehend einer abgestimmten, gemeinsamen Nutzung zugänglich zu machen sowie gezielt im Sinne der Forschungsstrategie im Kontext der Bioökonomie weiter zu entwickeln. Auch hier bietet der Systemansatz durch die Vernetzung ein größeres Potenzial als die Nutzung verteilter Einzelstrukturen. Ziele einer solchen Strategie sind eine bessere Ausnutzung der gegebenen Möglichkeiten, die Harmonisierung von analytischen Messmethoden, der Einsatz von Messverfahren in technischen relevanten Versuchseinrichtungen sowie die schnellere Umsetzung von erfolgversprechenden Entwicklungen in technische Prozesse. Durch die gemeinsame Nutzung und die dafür notwendige interdisziplinäre Kommunikation entsteht auf der Arbeitsebene ein weiterer Benefit, der die Grundlage für Innovationen darstellt. Es ist davon auszugehen, dass durch die gemeinsame Nutzung von Laboreinheiten auch ein Ideenaustausch sowohl zwischen Wissenschaftlern, aber auch im Technikerbereich erfolgen wird. Dieser Austausch soll durch spezielle Kommunikationsformate noch unterstützt werden.

In der zusätzlich durchgeführten Erhebung unter den beteiligten Forschungseinrichtungen wurden die Verfügbarkeit und die Voraussetzungen von gemeinsam nutzbaren technischen und analytischen Einrichtungen erfragt. Ebenso wurden der Bedarf an Mess- und Versuchsmöglichkeiten sowie fehlende bzw. wünschenswerte weitere Ausstattungen erhoben.

Unter anderem wurden für eine gemeinsame Nutzung biochemischer Versuchseinrichtungen Fermentationsanlagen bis zu einer Größe von 200 Litern zur Züchtung von Bakterien oder Hefen (aerob/anaerob) aufgeführt. Weiterhin wurden eine Reihe von Methoden zur Charakterisierung von Enzymen, Stoffwechselwegen, Metaboliten und photosynthetischer Parameter sowie Möglichkeiten der Kultivierung anaerober Organismen und Untersuchungen unter Ausschluss von Sauerstoff genannt.

Im Hinblick auf die Bereitstellung von Pflanzen stehen Labor- und Feldkapazitäten für die Züchtung und phänotypische Evaluierung von Kulturpflanzen inklusive statistischer Auswertung der erhobenen Daten zur Verfügung. Für die thermochemische Umwandlung von Biomasse stehen die ganze Bandbreite von Verfahren in verschiedenen technischen Größen zur Auswahl, wie Pyrolyse, Vergasung, Verbrennung oder hydrothermale Verfahren, sowie die dazu notwendige brennstofftechnischen Charakterisierungsmöglichkeiten.

Für gewässerökologische Arbeiten können das Forschungsschiff "Robert Lauterborn" auf dem Bodensee sowie andere Kleinboote, eine Mesokosmosanlage (Betonteiche) im Freiland, Klima- und Aquarienräume sowie Einrichtungen für Phytoplankton- und Zooplanktonkulturen genutzt werden.

Im Hinblick auf den systemischen Ansatz der Bioökonomie Baden-Württemberg werden als wünschenswerte, gemeinsam zu nutzende Möglichkeiten ohne Anspruch auf Vollständigkeit folgende Aspekte bzw. Einrichtungen gesehen:

- Genomsequenzierung und bioinformatische Untersuchungen,
- integrierte Analyse der "Ressourcenwirkungen" verschiedener Nutzungsstränge,
- standardisierte Verfahren zur Erfassung der biologischen Vielfalt in Agrarökosystemen unter besonderer Berücksichtigung von Funktionalitätsaspekten (Ökosystemfunktionen),
- Feldversuche in Kombination mit Analytik,
- hochauflösende Metabolomics- und evtl. Lipidomics- Methoden,
- Herstellung transgener Bakterien,
- Transkriptomanalyse mittels Deep-Sequencing und
- Messung der Photosyntheseleistung.

Für eine Reihe von analytischen Methoden wurde der Ausbau für große Probenzahlen als notwendig erachtet. Als ein wichtiger Punkt hat sich auch die Übertragung von Laborergebnissen auf einen größeren Maßstab in der Kombination grundlagen- und anwendungsorientierter Forschungseinrichtungen zusammen mit industriellen Partnern herauskristallisiert. Ein interessanter Ansatz für die weitere Verfolgung einer gemeinsamen Forschungsstrategie Bioökonomie wäre die Identifizierung gemeinsam nutzbarer Großforschungsgeräte und eine unter den dann zu beteiligenden Einrichtungen abgestimmte Beschaffung. Für deren Finanzierungsmöglichkeiten und Mittelbeschaffung ist eine Abstimmung zwischen den Leitungsgremien der Forschungseinrichtungen erforderlich.

Die verstärkte gemeinsame Nutzung von Versuchseinrichtungen oder die Mitbenutzung analytischer Methoden sowie die Durchführung und Beteiligung an Ringversuchen erfordert zusätzlichen Aufwand. Wesentliche Elemente dafür sind

- die Regelung der Nutzungszeit und -dauer,
- die Bereitstellung bzw. Abrechnungsmöglichkeit von finanziellen Mitteln für Verbrauchsmaterial, Betriebsmedien (Chemikalien, Gase etc.) sowie von geräteverantwortlichem Personal und
- gegebenenfalls die Nutzung von Rechten an Versuchs- und Messergebnissen.

Dazu muss bemerkt werden, dass die vorhandenen Anlagen und Geräte zum Großteil über Drittmittel finanziert sind und in der Regel innerhalb der Projektbearbeitungszeit externen Nutzern praktisch nicht zur Verfügung stehen können. Nach Beendigung der Vorhaben ist eine gemeinsame Nutzung der Geräte mit den entsprechenden Regelungen zwar möglich. In der Praxis sind die Geräte oft aber weiterhin ausgelastet und damit nicht frei zugänglich. Es bedarf also eines mittel- und langfristigen Planungsvorlaufs. Ein anderes, häufig unterschätztes Problem besteht in nicht auskömmlichen Betriebsmitteln oder unzureichender Personalkapazität für die Sicherstellung einer dauerhaften Verfügbarkeit von mess- und versuchstechnischen Einrichtungen. Eine mögliche Lösung wäre die Förderung einer gemeinschaftlichen Nutzung dieser Einrichtungen durch zusätzliche Mittel, oder, abhängig von Art, Umfang und Zeitraum einer Nutzung, die Personalbeistellung durch den Nutzer selbst. Um Strukturen gemeinsam nutzen zu können, muss ein IT-gestütztes Buchungssystem etabliert werden, auf das Forschungseinrichtungen, die sich am Pilotkonzept „Bioökonomie im System aufstellen“ aktiv beteiligen, zu günstigen Konditionen per Login-Code virtuell zugreifen können. Muster für die praktische Umsetzung könnte die Vorgehensweise bei der Nutzung von Strahlzeiten an den deutschen Synchrotrons sein. Bei den jeweiligen Einrichtungen können Online-Anträge auf Nutzung gestellt werden, unterschieden in kurz- und längerfristige Vorhaben. In diesem Beispiel erfolgt dann eine wissenschaftliche Begutachtung, die dann gegebenenfalls zur Bewilligung führt. Im Allgemeinen wird die Notwendigkeit einer solchen Begutachtung von der Art und dem zu betreibenden Aufwand der Infrastruktur abhängen. Da die gemeinsame Nutzung von Laboreinheiten erfahrungsgemäß nicht immer unproblematisch verläuft, sollten bereits in der Konzeptphase Informationsveranstaltungen für Anbieter und Nutzer angeboten werden. Des Weiteren sollten in regelmäßigen Abständen Themenworkshops und Nutzertreffen angeboten werden, um den Vernetzungscharakter und den Innovationsgedanken an die Zielgruppen heranzutragen.

7 Ausblick

Mit dem vorliegenden Konzept soll gezeigt werden, wie Baden-Württemberg in Forschung und Lehre zukünftig im Sinne eines Systemansatzes als Bundesland zum Thema Bioökonomie besser aufgestellt und damit leistungsfähiger agieren kann. Insgesamt verfügt das Land bereits über die meisten der benötigten Akteure und Kompetenzen, wenn auch noch mit zum Teil sehr unterschiedlicher Stärke. Im Vergleich sowohl national mit anderen Bundesländern als auch in Europa und international zeigt der ganzheitliche Systemansatz des Forschungskonzepts alleinstellende Merkmale. Dies gilt sowohl in Bezug auf die im Land schon verfügbaren und oft schon miteinander vernetzten wissenschaftlichen Kompetenzen als auch für den durch das MWK initiierten Prozess. Besondere Highlights stellen die Zusammenarbeit aller baden-württembergischen Universitäten im Strategiekreis und darüber hinaus die, durch die Themensprecher gewährleistete, Vernetzung zu weiteren Hochschulen für angewandte Wissenschaften und außeruniversitären Forschungseinrichtungen dar.

Aus Abbildung 7-1 geht hervor, welche Forschungsbereiche zu den ausgewählten Forschungsfeldern mit ihren Kompetenzen beitragen.

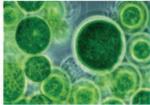
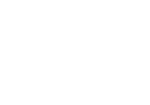
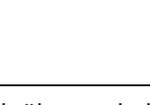
	Forschungsbereiche	Forschungsfelder		
		Biogas	Lignozellulose	Mikroalgen
	Agrar- und Pflanzenwissenschaften	X	X	-
	Forstwissenschaften	X	X	-
	Aquatische Biomasse	X	-	X
	Biogene Reststoffe	X	X	-
	Nahrungsmittelproduktion	X	-	X
	Stoffliche Nutzung	X	X	X
	Energetische Nutzung	X	X	X
	Biodiversität	X	X	X
	Wasser- und Bodenschutz	X	X	X
	Ethik	X	X	X
	Wirtschafts- und Sozialwissenschaften	X	X	X

Abbildung 7-1: Beitrag der Forschungsbereiche zu den strategischen Forschungsfeldern

Mit dieser „Workforce“ und dem sehr deutlich auf baden-württembergische Stärken fokussierten inhaltlichen Konzept ist die Forschung deutlich besser aufgestellt, als dies in anderen (Bundes-)Ländern heute der Fall ist. Mit der Idee, diesen Systemansatz auch von Anfang an in der Lehre als festen Bestandteil zu verankern, kann Baden-Württemberg in der Bioökonomie-Forschung und als Forschungsstandort im Allgemeinen eine Vorreiterrolle einnehmen. Dies bietet Potenziale für die Attraktion exzellenter Wissenschaftler und erhöht gleichzeitig die Chancen, mit forschungsbasierten Innovationen neue Märkte im In- und Ausland zu erschließen. Dadurch lässt der Ansatz indirekt auch einen positiven Effekt auf die Beschäftigungszahlen erwarten. Durch die Berücksichtigung von Nachhaltigkeitskriterien, der Ethik, der Biodiversität und sozioökonomischer Fragestellungen hebt sich das Konzept von den bekannten Forschungsstrategien ab und wird sich durch eine hohe gesellschaftliche Akzeptanz auszeichnen.

8.1 Strategiekreisteilnehmer

Herr Prof. Dr. Thomas Hirth

(Wissenschaftliche Leitung)
Universität Stuttgart,
Institut für Grenzflächenverfahrenstechnik und Plasmatechnologie, Stuttgart

Herr Prof. Dr. Enno Bahrs

Universität Hohenheim,
Institut für Landwirtschaftliche Betriebslehre

Herr Prof. Dr. Dr. András Bárdossy

Universität Stuttgart,
Institut für Wasser- und
Umweltsystemmodellierung

Herr Prof. Dr. Jürgen Bauhus

Universität Freiburg,
Institut für Waldbau

Herr Prof. Dr. Olaf Cirpka

Universität Tübingen,
Zentrum für Angewandte Geowissenschaften

Herr Prof. Dr. Martin Dieterich

Universität Hohenheim,
Institut für Landschafts- und Pflanzenökologie

Frau Prof. Dr. Eve-Marie Engels

Universität Tübingen,
Lehrstuhl für Ethik in den Biowissenschaften und Internationales Zentrum für Ethik in den Wissenschaften

Herr Prof. Dr. Harald Grethe

Universität Hohenheim,
Institut für Agrarpolitik und Landwirtschaftliche Marktlehre

Herr Prof. Dr. Armin Grunwald

vertreten durch
Frau Dr. Christine Rösch,
Karlsruher Institut für Technologie,
Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse

Herr Prof. Dr. Bernhard Hauer

Universität Stuttgart,
Institut für Technische Biochemie

zeitweise vertreten durch

Herr Prof. Dr. Christoph Syldatk

Karlsruher Institut für Technologie,
Institut für Bio- und Lebensmitteltechnik

Herr Dr. Ralf Kindervater

Geschäftsführer der BIOPRO Baden-Württemberg GmbH, Stuttgart

Frau Prof. Dr. Iris Lewandowski

Universität Hohenheim,
Institut für Kulturpflanzenwissenschaften

Herr Prof. Dr. Andreas Marx

Universität Konstanz,
Fachbereich Chemie

Herr Prof. Dr. Martin Müller

Universität Ulm,
Institut für Wirtschaftswissenschaften

Herr Prof. Dr. Thomas Rausch

Universität Heidelberg,
Centre for Organismal Studies (COS)

Herr Prof. Dr. Gerhard Rechkemmer

Max-Rubner-Institut, Karlsruhe

Frau Dr. Ursula Schließmann

Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB, Stuttgart

Herr Prof. Dr. Jochen Weiss

Universität Hohenheim,
Institut für Lebensmittelwissenschaft und Biotechnologie

Herr Dr. Karl-Friedrich Ziegahn

Karlsruher Institut für Technologie,
Zentrum Energie

vertreten durch

PD Dr Nicolaus Dahmen

Karlsruher Institut für Technologie
Institut für Katalyseforschung und -
Technologie (IKFT)

8.2 SWOT-Analysen

8.2.1 Bereich Agrarwissenschaften

Stärken	Schwächen
<ul style="list-style-type: none"> • Im Bereich der Agrarwissenschaften weist Baden-Württemberg mit der Universität Hohenheim die größte Agrarfakultät (49 Lehrstühle) im deutschsprachigen Raum und eine der größten in Europa auf. • Alle für den Agrarbereich relevanten Disziplinen im Bereich Pflanze, Tier, Agrartechnik und Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaus sind in der Agrarfakultät der Universität Hohenheim komplett abgebildet. • Starke internationale Vernetzung der Hohenheimer Agrarfakultät (Kooperationen in 90 Ländern) und hohe internationale Reputation. • Ausstattung für die moderne Agrarforschung in Baden-Württemberg, u.a. durch die Versuchsstation Agrarwissenschaften an der Universität Hohenheim. • Vorhandene Vernetzung der agrarwissenschaftlichen Forschung mit wichtigen Unternehmen im Agrarbereich bzw. den vor- und nachgelagerten Bereichen der Agrarwirtschaft und somit auch in Teilen der nationalen und internationalen Bioökonomie. • Angewandte Agrarforschung in Zusammenarbeit mit Unternehmen, Beratern und Landwirten an der HfWU Nürtingen-Geislingen. 	<ul style="list-style-type: none"> • Bisher wenig Interaktion der agrarwissenschaftlichen Forschung mit anderen Bereichen der Bioökonomieforschung in Baden-Württemberg. • Zu geringe Ausstattung mit Gewächshausfläche in der Agrarforschung. • Infrastruktur bzw. Laborausstattung häufig zu veraltet, um in der internationalen Agrarforschung konkurrenzfähig zu sein.
Chancen	Risiken
<ul style="list-style-type: none"> • Die durch das MWK angestoßene Bioökonomie-Initiative kann die Basis bieten für eine Integration der Bioökonomie-Aktivitäten in den Bereichen Agrar und Forst sowie mit nachgelagerten Bereichen (z.B. energetische Nutzung). • Gründung eines Forschungszentrums für Bioökonomie an der Universität Hohenheim in Vorbereitung. • Starke internationale und interdisziplinäre Vernetzung ermöglicht schnelle Integration in neue Handlungsfelder und Programme. 	<ul style="list-style-type: none"> • Die langfristige Implementierung der Bioökonomie-Initiative in Baden-Württemberg benötigt ausreichend strukturelle Unterstützung. • Der Bioökonomie-Sektor umfasst sehr viele Forschungsaktivitäten, die eine weitreichende Integration erfordern.

8.2.2 Bereich Pflanzenwissenschaften

<p>Stärken</p> <ul style="list-style-type: none"> • State-of-the-Art Methoden-Plattformen (Next Generation Sequencing, Metabolomics, funktionelle Genomik, etc.). • International sichtbare Forschungsschwerpunkte: Molekulare Physiologie, Entwicklungsbiologie, Metabolische Regulation (Primär- und Sekundärstoffwechsel), Regulation der Zellwand-Dynamik. • Kompetenzzentrum für Pflanzenzüchtung (Uni Hohenheim). 	<p>Schwächen</p> <ul style="list-style-type: none"> • An mehreren Standorten starke Fokussierung auf Modellpflanzen (<i>Arabidopsis</i>, <i>Physcomitrella</i>). • Nur wenige standortübergreifende Kooperationen innerhalb der molekularen Pflanzenwissenschaften. • Bisher nicht ausreichend genutzte Kooperationsmöglichkeiten mit den Agrar- und Forstwissenschaften. • Begrenzte Verfügbarkeit hochregulierter Anzuchtflächen für Großpflanzen (Gewächshaus- u. Klimakammerflächen).
<p>Chancen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ausbau standortübergreifender Kooperationen zwischen pflanzenbiologischer Grundlagenforschung, den Agrarwissenschaften und der gewerblichen Pflanzenzüchtung. • Gezielter Ausbau von Forschungsschwerpunkten der Grundlagenforschung (z.B. Zellwand-Dynamik) in Richtung biotechnologischer Anwendung (Biogas-Produktion, Lignozellulose). 	<p>Risiken</p> <ul style="list-style-type: none"> • Standortspezifische Konkurrenz um Ressourcen vor Ort für Spitzenleistungen in der Grundlagenforschung und anwendungsorientierten Forschungsschwerpunkten. • Konkurrenz mit thematisch vergleichbaren, anwendungsorientierten Forschungsschwerpunkten auf EU-Ebene, USA, VR China etc.

8.2.3 Bereich Forstwissenschaften/Forstwirtschaft

<p>Stärken</p> <ul style="list-style-type: none"> • Leistungsstarke Forschungseinrichtungen mit interdisziplinären Arbeitsgruppen in fast allen Bereichen der Forstwissenschaften. • Gute Vernetzung von forstlichen Forschungseinrichtungen mit Forst- und Holzindustrie. • Baden-Württemberg hat die vorratsreichsten und zuwachskräftigsten Wälder im ganzen Bundesgebiet. Integrierte Waldnaturschutzstrategie für das Land in Entwicklung. • Mehr als drei Viertel des in Baden-Württemberg eingeschlagenen Holzes verbleibt zur Weiterverarbeitung im Land. • Forst- und Holzwirtschaft in Baden-Württemberg durch tief gestaffelte Wertschöpfungskette und mittelständische Struktur mit hohem Anteil kleiner und mittlerer Betriebe, überwiegend im ländlichen Raum, gekennzeichnet. • Cluster „Forst & Holz“ Baden-Württemberg hat substanziellen Anteil (3,5 %) an Wirtschaftsleistung des Lan- 	<p>Schwächen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Keine großen Akteure außerhalb der traditionellen forstlichen Nutzung. • Kompetenzen im Bereich Forstgenetik/Züchtungsforschung fehlen weitgehend. • Materialforschung im Bereich Holz gering entwickelt • Große Teile der Landeswaldfläche mit Schutzfunktionen belegt (27 % Natura 2000). • Substanzieller Anteil der Waldflächen im Kleinprivatwald (< 5 ha) (190.000 Waldbesitzer). • 4 Mio. m³/a Waldholz werden energetisch verwendet. Es ist problematisch, diese Nutzungen abzulösen. • Vernetzung von Forstbetrieben mit Unternehmen, die neue Produkte entwickeln/herstellen (z.B. aus der Bioraffinerie), nur gering entwickelt.
--	---

des.	
Chancen	Risiken
<ul style="list-style-type: none"> • Der durch den Klimawandel notwendigerweise erforderliche Waldumbau fördert Arten, die bisher von der traditionellen Holzindustrie weniger nachgefragt sind (Tanne, Buche, Eichen), und für die zusätzliche Märkte entwickelt werden müssen. • Bioökonomie eröffnet neue Märkte für Holz, das bisher nur einen geringen Erlös für Waldbesitzer gebracht oder nur mit geringer Wertschöpfung genutzt und verwendet wurde (z. B. Brennholz). • Stärkere Verknüpfung der Forstwissenschaften mit anderen Bereichen/Sektoren (Agrar-, Energiewirtschaft, Materialwissenschaften) 	<ul style="list-style-type: none"> • 70 % des Holzeinschlags (von insgesamt 9 Mio. m³/a) entfallen auf die Baumart Fichte und zwei Drittel des gesamten Einschlags wird von der Sägeindustrie verarbeitet. • Steigerung der Ernte von Waldholz nur in geringem Umfang möglich (Nährstoffnachhaltigkeit, Zertifizierung, Biodiversitätsschutz). • Im Zuge des Klimawandels wird es zu erheblichen Verschiebungen im Baumartenspektrum der Wälder kommen, die eine strukturelle Anpassung der Holzverarbeitenden Industrie zur Folge haben wird. • Hohe Preise für Energieholz behindern Entwicklung neuer Technologien, da diesen der Rohstoff nicht günstig zugeführt werden kann.

8.2.4 Bereich Biogene Reststoffe

Stärken	Schwächen
<ul style="list-style-type: none"> • Alle notwendigen Disziplinen und hohe Forschungskompetenzen in sehr vielen, breit aufgestellten, leistungsstarken und interdisziplinär arbeitenden Einrichtungen innerhalb Baden-Württemberg vorhanden. • Vor allem in den baden-württembergischen Forschungseinrichtungen ausgeprägte wissenschaftliche Kompetenz, hoher Bekanntheitsgrad national und international vorhanden. • In Baden-Württemberg über alle Forschungseinrichtungen hinweg gute apparative Ausstattung inklusive geschultem Personal und Patenten in den jeweiligen Fachbereichen. • Umfassendes Angebot an Studiengängen der Universitäten und Hochschulen für angewandte Wissenschaften. 	<ul style="list-style-type: none"> • Die Einrichtungen in Baden-Württemberg arbeiten noch in zu wenigen Projekten zur Verwertung von biogenen Reststoffen ausreichend zusammen. • Bisher in Baden-Württemberg häufig Konzentration der Forschung auf technische Einzellösungen. Eine erfolgreiche Nutzung biogener Reststoffe kann jedoch nur im Rahmen des Bioraffinerie-Bioökonomie-Gedankens erfolgreich sein.
Chancen	Risiken
<ul style="list-style-type: none"> • Vorhandene Demonstrationsanlagen dienen als Grundlage für praktikable Umsetzungen. • Kreislaufwirtschaftsgesetz führt zu hoher Nachfrage nach geeigneten Verwertungstechnologien. • Erdölverknappung bewegt die chemische Industrie zum Einsatz neuer Basischemikalien bestenfalls aus biogenen Reststoffen, wie z.B. anaerob produzierten organischen Säuren und Alkoholen sowie Biopolymeren. 	<ul style="list-style-type: none"> • Hohe Landesfördermittel und -investitionen beispielsweise in Bayern im Bereich Kreislaufwirtschaft, Technologieentwicklung zur Ressourceneffizienz etc. führen zu einem Aufbau leistungsstarker Kompetenzzentren und einer Schwächung des Standorts Baden-Württemberg. • Derzeitige Subventionspolitik bremst in Teilgebieten die Einführung innovativer Konzepte. • Biotechnologische Verfahren wirtschaft-

<ul style="list-style-type: none"> • Energiepolitik stärkt das Interesse an regenerativem Biogas aus Abfällen. • In Baden-Württemberg bearbeiten sehr viele Forschungseinrichtungen das Themenfeld Nutzung biogener Reststoffe mit unterschiedlichen Ansätzen. Durch eine Bündelung des Wissens könnte ein extremer Wissensvorsprung zu anderen Regionen Deutschlands und auch europaweit erreicht werden. • Starke Vernetzung im internationalen Bereich kann zu neuen Anwendungsfeldern führen. • Neue Technologien sind exportfähig. 	<p>lich häufig noch nicht konkurrenzfähig.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Innovative Konzepte zur Verwertung biogener Reststoffe sind wegen hoher Investitions- und z. T. auch Betriebskosten für relativ geringe Mengen an Reststoffen zum Teil nur schwer umsetzbar. • Gärreste von Biogasanlagen auf Basis von biogenen Reststoffen gelten als Abfälle.
---	--

8.2.5 Bereich Aquatische Biomasse

<p>Stärken</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zwei Forschungseinrichtungen in Baden-Württemberg weisen im Gegensatz zu anderen Einrichtungen in Deutschland hohe Kompetenz im Betrieb von geschlossenen Bioreaktoren im Freiland auf. • Kapazitäten des Fraunhofer IGB und zukünftig auch des KIT für Produktionen im Pilotmaßstab unter Freilandbedingungen erlauben Aussagen zur Optimierung im Hinblick auf industrielle Umsetzung. • In den Forschungseinrichtungen ausgeprägte wissenschaftliche Kompetenz, hoher Bekanntheitsgrad vorhanden. • heterogene Aufstellung, gute apparative Ausstattung inklusive geschultem Personal und Patenten ist die Basis für wissenschaftliche und technologische Führerschaft im Algenbereich. 	<p>Schwächen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bisher starke Fokussierung auf die Kultivierung weniger Mikroalgentypen. • Ausreichende Kultivierungskapazitäten im Freilandbereich, die ausreichend Biomasse für die Untersuchung von Gesamtprozessen produzieren, werden in Baden-Württemberg erst aufgebaut. • In Baden-Württemberg ist durch die noch zu geringe Vernetzung nur ein Reaktortyp kommerziell erhältlich. Um wettbewerbsfähig zu sein, müssen möglichst schnell unterschiedliche Reaktoren verfügbar sein.
<p>Chancen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Einrichtungen in Baden-Württemberg können aufgrund ihrer hohen Kompetenz und Erfahrung Lieferanten von innovativen Ideen und Konzepten sowie Technologie für die Produktionsländer sein. • Weitere Vernetzungen der wissenschaftlichen Einrichtungen würden die weitere Entwicklung der Technologie schnell vorantreiben. • Hohe Expertise der baden-württembergischen Forschungseinrichtungen sowohl in der Kultivierung als auch der Aufarbeitung (gesamte Prozesskette). • Algentechnologie bietet großartige Möglichkeit, im Sinne der Bioökonomie durch die Gestaltung eines integrierten 	<p>Risiken</p> <ul style="list-style-type: none"> • Im Forschungsumfeld werden Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen auf Basis von kleinskaligen Laborergebnissen durchgeführt und veröffentlicht, was die Aussichten auf Umsetzbarkeit im Industriemaßstab schmälert. • Durchsetzungsschwierigkeiten innovativer Technologien auf dem mitteleuropäischen Markt aufgrund notwendiger hoher Anlageninvestitionen vonseiten der Anwender für eine nur sechsmonatige Produktionsmöglichkeit pro Jahr.

<p>Prozesses, der Bioraffinerie, ressourceneffiziente Gesamtprozesse durch Nährstoffrecycling, CO₂-Bindung und wenig Wasserverbrauch Produkte für das hohe bis mittlere Preissegment herzustellen.</p>	
---	--

8.2.6 Bereich: Nahrungsmittelproduktion

Stärken	Schwächen
<ul style="list-style-type: none"> • In Deutschland einmalige produktbezogene Expertise bezüglich Design, Processing, Haltbarkeit und Sensorik von Lebensmitteln. • Pilotanlagen, die auch im größeren Maßstab Lebensmittel herstellen können und damit industriennahe Bedingungen simulieren können. • Fundamentale Forschung im Bereich der Lebensmittel mit Fokus auf Soft Matter Physics und Chemistry, Verfahrenstechnik, Biotechnologie, und Mikrobiologie. • Personell höchste Anzahl an lebensmittelwissenschaftlichen Professuren in einem Bundesland. • Bundesweit zweitstärkste Forschungsaktivität im Bereich der AiF/FEI (Forschungskreis der Ernährungsindustrieforschung). • Im Bereich der Ernährungswissenschaften einmalige Kombination aus Ernährungsmedizin, Immunologie, klassischen Ernährungswissenschaften und Diätetik. • Größte außeruniversitäre Forschungsanstalt im Bereich der Lebensmittelwissenschaften und Ernährungswissenschaften mit starker politischer Beratungsexpertise. • Hervorragende analytische Grundausstattung. • Wissenschaftler sind international ausgewiesen und publikationsaktiv. • Standorte sind deutschlandweit für Lebensmittel- und Ernährungswissenschaften bekannt. • Exzellente und extrem anspruchsvolle Ausbildungsprogramme. • Qualität der Absolventen bei der Industrie bekannt und hochgeschätzt. 	<ul style="list-style-type: none"> • Unzureichende Vernetzung mit anderen wissenschaftlichen Gebieten und Fachrichtungen. • Nur langsam wachsende Zusammenarbeit zwischen den verschiedenen Standorten, an denen lebensmittel- und ernährungswissenschaftliche Forschung betrieben wird. • Kein Baden-Württemberg Forum für den Wissenschaftsaustausch in diesem Bereich. • Fehlen eines sichtbaren Forschungszentrums im Bereich der Lebensmittel/Ernährung. • Unzureichende europäische Vernetzungen (zwar gute einzelne Kontakte, jedoch nur wenige systemweite Verbünde). • Auftreten einzelner Institutionen, aber nicht Baden-Württemberg im Verbund in diesem Bereich. • Zu wenige internationale (englischsprachige) Ausbildungsprogramme.
Chancen	Risiken
<ul style="list-style-type: none"> • Dieser Bereich könnte für Baden-Württemberg einen wesentlich stärkeren Leuchtturmcharakter haben, als dies momentan der Fall ist. • Die Grundsubstanz und die bestehen- 	<ul style="list-style-type: none"> • Erhebliche Investitionen in Bayern und NRW im Bereich Ernährung/Lebensmittel, die langfristig den Standort Baden-Württemberg gefährden könnten (z.B. Neubauten und Zen-

<p>den Strukturen sind modern und das vorhandene Personal ist bereit, kooperativ wesentlich enger miteinander zu arbeiten.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Würden die bestehenden Institutionen virtuell und auch physisch eine gemeinsame Forschungs- und Lehrplattform bilden, so könnte Baden-Württemberg eine Spitzenstellung nicht nur in Deutschland, sondern auch international einnehmen. • Die Verbindung zwischen den Gebieten Lebensmittel, Ernährung mit Ingenieurs-, Natur- und Sozialwissenschaften würde eine Übertragung innovativer Technologien aus anderen Sektoren in diesen Bereich ermöglichen, der weltweit einmalig sein könnte (z.B. moderner Maschinenbau). 	<p>tren-Bildung).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Trotz der historischen Bedeutung dieses Gebietes für Baden-Württemberg ist der Bereich nicht als eine Stärke der modernen Baden-Württemberg Forschung etabliert worden. Hier besteht die Gefahr, dass trotz der steigenden internationalen Bedeutung des Gebietes Baden-Württemberg nicht als herausragender Standort wahrgenommen wird. • Der Bereich ist „emotional“ belegt und gesellschaftspolitisch schwierig – bestehende Halbinformationen in der Bevölkerung führen zu einer Ablehnung moderner wissenschaftlicher Ansätze und der Prozesstechnologie, die aber weltweit gefragt und notwendig sind – es herrscht hier eine gewisse „Technologiefeindlichkeit“. • Sinkende Investitionen in Erhalt der prozesstechnischen Infrastruktur, die die Einrichtungen auszeichnen.
--	---

8.2.7 Bereich Stoffliche Nutzung

Stärken	Schwächen
<ul style="list-style-type: none"> • Mehr als 23 Arbeitsgruppen in Chemie, Biologie und Ingenieurwissenschaften. • Gute Vernetzung innerhalb Deutschlands und Europas mit exzellenten Partnern. • Zahlreiche Industriekooperationen mit Keyplayern aus dem Bereich Chemie. 	<ul style="list-style-type: none"> • Transdisziplinäre Vernetzung innerhalb Baden-Württembergs ist nicht optimal. • Akteure großer produzierender Industrien fehlen als Innovationstreiber in Baden-Württemberg. • Wertschöpfungskette nicht komplett geschlossen.
Chancen	Risiken
<ul style="list-style-type: none"> • Fachübergreifende Zusammenarbeit, um Innovationen auf den Weg zu bringen. • Integrative Betrachtung des Themenfelds Bioökonomie. • Hohes Potenzial für innovatives Produktionspektrum versus Substitutionsprodukte. • Aufbau Technologie-Zentrum für stoffliche Nutzung. 	<ul style="list-style-type: none"> • Rohstoffe zur Weiterverarbeitung fehlen. • CLIB ist sehr dominanter Partner für die Industrie. • Keine industrielle Technologieführerschaft. • Besseres Arbeitsplatzangebot außerhalb von Baden-Württemberg (Brain Drain).

8.2.8 Bereich Energetische Nutzung

Stärken	Schwächen
<ul style="list-style-type: none"> • Kompetenzen bilden die gesamte Kette der energetischen Nutzung von Biomasse ab - einschließlich ökologischer, sozialer, ökonomischer und ethischer Dimensionen. 	<ul style="list-style-type: none"> • Im Verhältnis zu wenig stoffliche Nutzung im Sinne einer Kaskadennutzung von Biomasse. • Unzureichende Vernetzung innerhalb der Prozessketten, z.B. zwischen Bio-

<ul style="list-style-type: none"> • Hervorragende technische Ausstattung über alle Entwicklungsstufen, z.B. bioliq[®]-Pilotanlage und DVGW-Gaslabor am KIT, Biogaslabor (Uni Hohenheim), halbertechnische Verbrennungs- und Vergasungsanlagen bei Fraunhofer ISE, ZSW, Uni Stuttgart und KIT. • Weitgehende ressourcenseitige Abdeckung aller Bereiche: Forschung zu Energiepflanzen, Forst und Algen, Logistik, Lagerung, Transport u.a. • Weit fortgeschrittener Entwicklungsstand zur Erforschung von synthetischen Kraftstoffen und Kraftstoff-Hochleistungskomponenten. 	<p>masseproduktion und Konversionstechnologien.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Wenig Synergie zwischen verschiedenen Techniken zur energetischen Nutzung von Biomasse, z.B. zwischen thermo- und biochemischer Umwandlung. • Bisher kaum Anreize und keine Plattform in Baden-Württemberg zur umfassenden Erforschung von Bioenergieketten einschließlich der technischen, biologischen, ökologischen, ökonomischen und sozialen Aspekte. • Zu geringe Investition für weitere F+E neuer Technologien zur energetischen Nutzung von Biomasse, insbesondere Biomasse der zweiten Generation. • Keine für die Standorte in Baden-Württemberg spezifizierten Sorten lignozellulosehaltiger Energiepflanzen.
<p>Chancen</p>	<p>Risiken</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Kombinierte Anwendungen unterschiedlicher Konversionstechnologien durch lückenlose Expertise in allen Bereichen der energetischen Nutzung von Biomasse (z.B. unterschiedliche Techniken zur Produktion biogener Gase). • Umfassendes Technologie- und Know-how-Portfolio für die Entwicklung und Darstellung der energetischen Nutzung in unterschiedlichen Bioökonomie-Szenarien. • Internationale Sichtbarkeit und nationale Führerschaft von Baden-Württemberg durch die bereits heute schon gute technische Ausstattung, insbesondere in den Bereichen thermochemische Konversion und Biogasproduktion. • Bessere Erfolgsaussichten für die Bewilligung von Drittmitteln durch die gute Infrastruktur bei konzertierten Projekten (Baden-Württemberg, Deutschland, EU), unterstützt durch wichtige Einrichtungen im Land Baden-Württemberg (u.a. Steinbeis-Europa-Zentrum, KIC InnoEnergy). 	<ul style="list-style-type: none"> • Zu hohe Kosten der Konversion von Biomasse zu chemischen Produkten, Materialien und Kraftstoffen. • Fehlende Akzeptanz für Bioenergie, und hier insbesondere des Energiepflanzenanbaus, in der Gesellschaft. • Zu wenig gut entwickelte Alternativen zu Mais als Biogassubstrat. • Vorreiterstellung von Baden-Württemberg im Bereich thermochemische Konversion, Biogas und Verbrennung wird nicht genutzt. • Zu langsame Anpassung der Rahmenbedingungen behindert die technische Umsetzung von Verfahren.

8.2.9 Bereich Biodiversität

<p>Stärken</p>	<p>Schwächen</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Forschungsprojekte mit Biodiversitätsbezug an fast allen Landesuniversitäten. • Starke Kompetenzen und Großprojekte in den Bereichen Wald und eingeschränkt Grünland. 	<ul style="list-style-type: none"> • Bis 2012 kein Lehrstuhl wissenschaftlicher Naturschutz (Conservation Science) und daran hängende Schwerpunktbildung und Kontinuität in Forschung und Lehre. • Standardisierte Ansätze zur Biodiversi-

<ul style="list-style-type: none"> • Kompetenzen in sozialwissenschaftlicher Biodiversitätsforschung und Politikberatung für den Bereich Wald. • Vernetzung von Arbeitsgruppen über bestehende Programme, wie z.B. die deutschen Biodiversitätsexploratorien. • Vielfältige angewandte Forschung zur Biodiversität auch außerhalb der Universitäten und Hochschulen für angewandte Wissenschaften. 	<p>tätsforschung in Ackerkulturen und ackerbaulich geprägten Landschaftsräumen bisher wenig entwickelt.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Wenige Leitungsfunktionen in EU-Forschungsprojekten mit Biodiversitätsschwerpunkt. • Wenig Vernetzung von Biodiversitätsforschung auf Landschaftsebene und über Landnutzungssysteme hinweg • Inter- und Transdisziplinarität bisher wenig entwickelt. • Unzureichend entwickelter Gesellschafts- und Politikbezug der Biodiversitätsforschung
<p>Chancen</p>	<p>Risiken</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung standardisierter Erfassungsmethoden als Grundlage für Metanalysen in landwirtschaftlichen Systemen (v. a. Ackerbau). • Aufbau einer integrativen Biodiversitätsforschung mit Beiträgen aus Natur- und Sozialwissenschaften. • Biodiversitätsforschung mit Bezug zu Ökosystemfunktionen als Bindeglied zwischen Ökosystemdienstleistungen und Bioökonomie. • EU Projekte mit Bezug zur Bioökonomie (Ressourcennutzung und Biodiversität). • Stärkung der gesellschaftlich-politischen Relevanz der Biodiversitätsforschung. 	<ul style="list-style-type: none"> • Rohstoffnachfrage für biobasierte Wirtschaft führt zu einer Intensivierung der Landnutzung mit negativen Auswirkungen auf die Biodiversität.

8.2.10 Bereich Wasser- und Bodenschutz

<p>Stärken</p>	<p>Schwächen</p>
<ul style="list-style-type: none"> • International renommierte Forschungseinrichtungen in den Bereichen Hydrologie und Hochwasserschutz, wasserbezogene Umweltanalytik, Wasseraufbereitung, Siedlungswasserwirtschaft, Verhalten von Wasserschadstoffen, Biogeochemie, Hydrogeologie, Umweltmikrobiologie, prozessbasierte und konzeptionelle Modellierung von Hydrosystemen, Bodenkunde, Bodenwasserhaushalt und Bodenchemie. • Sehr gutes Prozessverständnis zu Wasser- und Bodenqualität an badenwürttembergischen Forschungseinrichtungen vorhanden. • Gute Vernetzung zwischen den badenwürttembergischen Wasserforschungseinrichtungen und zur außeruniversitären Wasserforschung. • Gute Zusammenarbeit mit Landesbehörden. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ergebnisse der Wasserforschung grundsätzlich schwierig von einem Einzugsgebiet auf andere zu übertragen. • Komplexität der Prozesse, die die Boden- und Wasserqualität größerer Gebiete bestimmen. • Nur sehr beschränkter Austausch mit agrarökonomischer Forschung.

<ul style="list-style-type: none"> • Spezielle Infrastruktur (z.B. Versuchsanstalt zur Grundwasser- und Altlastensanierung VEGAS) und einige instrumentierte Einzugsgebiete vorhanden. 	
Chancen	Risiken
<ul style="list-style-type: none"> • Verbindung der naturwissenschaftlichen Prozessforschung zur Wasser- und Bodenqualität mit der agrarökonomischen Forschung im Vorfeld eines Landnutzungswandels, um Bioökonomie wirklich im System aufzustellen. • Inter- und transdisziplinäre Vernetzung der Wasser- und Bodenforschung mit Disziplinen, die nicht aus den Natur- und Ingenieurwissenschaften stammen. • Umfassendes umweltnaturwissenschaftliches Systemverständnis des bioökonomisch bedingten Landnutzungswandels erreichbar. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mangelnde Übertragbarkeit von Pilotstudien auf andere Standorte. • Entkopplung von Wasser-/Bodenforschung und anderer Bioökonomie-Forschung (Scheitern des Anspruches, Bioökonomie im System aufzustellen).

8.2.11 Bereich Ethik

Stärken	Schwächen
<ul style="list-style-type: none"> • IZEW (Uni Tübingen) Alleinstellungsmerkmal als interdisziplinäres, interkultüres und internationales Ethikzentrum in Baden-Württemberg und in Deutschland, Bearbeitung der gesamten Breite der Ethik in den Wissenschaften; seit Langem Ausbildungsstelle (DFG-Graduiertenkollegs) für interdisziplinäre Promotionen in anwendungsbezogener Ethik; viel Erfahrung im Themenfeld Umweltethik, Tierethik, Biotechnologie u.a. • Alleinstellungsmerkmal in Baden-Württemberg und in Deutschland: einziger „Lehrstuhl für Ethik in den Biowissenschaften“ im Fachbereich Biologie (Uni Tübingen): Integration in wissenschaftliche Abschlussgrade aller akademischen Ebenen (Bachelor, Master, Doktor, Habilitation) in Biologie und Philosophie; interfakultäre Einbettung in Forschung und Lehre weiterer Fächer. • Gute Vernetzung der Ethik-Institutionen in Baden-Württemberg durch das Ethik-Netzwerk Baden-Württemberg und die Koordination des Ethisch-Philosophischen Grundlagenstudiums (EPG) in Tübingen. • Mögliche Vorreiterstellung in Wirtschaftsethik und Expertise in Klimaethik (Uni Mannheim). • Kompetenzzentrum Wirtschaft und Umwelt, Schwerpunkt Nachhaltige 	<ul style="list-style-type: none"> • Personalmangel und Ressourcenprobleme. • Derzeit noch kein expliziter Sammelschwerpunkt der Bibliothek/Dokumentation für Ethik der Bioökonomie. • Aufgrund begrenzter Ressourcen derzeit noch optimierbare transdisziplinäre Vernetzung mit regionalen Stakeholdern aus Wirtschaft, Verwaltung und Zivilgesellschaft. • Behandlung empirischer Fragestellungen sollte an einigen Universitäten in der Ethik noch verstärkt werden. • Z.T. relativ geringe Resonanz der Studierenden. • Verankerung ethischer und bioökonomischer Fragestellungen in den Studiengängen bisher nicht stark genug. • Fehlen angepasster Angebote in Ethik für andere Fächer.

<p>Entwicklung (Hochschule Nürtingen-Geislingen).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Forschungsschwerpunkt in Synthetischer Biologie, Expertise zu ethischen und philosophischen Fragestellungen, interdisziplinäre Einbettung in Forschung und Lehre (Uni Freiburg). • Nachhaltige Entwicklung in vielen Hochschulkonzepten integriert. • Konsequente ethische Betrachtungsperspektive in den Fachbereichen Wirtschaft und Umwelt. • Angebot von Zusatzveranstaltungen für Studierende aller Fächer (Studium generale). • Bioethische Bereichsethiken, die für Bioökonomie relevant sind, an zahlreichen Universitäten bzw. Hochschulen in Baden-Württemberg vertreten. 	
<p>Chancen</p>	<p>Risiken</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Institutionalisierung der Ethik <i>in</i> den Biowissenschaften (Lehrstuhl für Ethik in den Biowissenschaften im Fachbereich Biologie, Uni Tübingen). • Vorbereitung auf Berufe in Lehre und Öffentlichkeitsarbeit im Bereich der interdisziplinären Ethik. • Nachfrage nach Mitwirkung in Gremien auf Landes- und Bundesebene. • Etablierung wichtiger inter- und transdisziplinärer Schnittstellen zur anwendungsorientierten Ethik. • Sensibilisierung und Transfer gesellschaftlich relevanter ethischer Fragestellungen in die naturwissenschaftlichen Studiengänge und Forschung. • Institutionelle Neustrukturierung für neue Studiengänge. • Mögliche Vorreiterstellung für Schnittstelle Wirtschaft/Ethik/Umwelt (auch Sichtbarmachung von Synergieeffekten). 	<ul style="list-style-type: none"> • Mangelnde Ausstattung und knappe Ressourcen, wodurch die große Nachfrage nach Kooperation mit der Ethik manchmal nicht bedient werden kann. • Die Abhängigkeit von oft kurz befristeten Drittmitteln macht es zuweilen schwierig, exzellenten Forscherinnen und Forschern eine mittelfristige Perspektive zu bieten. • Möglicher Verlust der eigenen kritischen Perspektive auf die Forschung durch Interdisziplinarität. • Mögliche Instrumentalisierung der biologischen Vielfalt durch den Ansatz der Bioökonomie. • Möglicher Verlust der Berücksichtigung intrinsischer Werte der biologischen Vielfalt durch den Ansatz der Bioökonomie. • Bei Stiftungsprofessuren: Kurzfristigkeit des Lehrangebots und damit verbundene studiengangübergreifende strukturelle Abhängigkeiten durch zeitliche Begrenzung der Mittelvergabe.

8.2.12 Bereich Wirtschafts- und Sozialwissenschaften

<p>Stärken</p>	<p>Schwächen</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Spezifische WiSo mit Bezug auf die Bioökonomie an größter Agrarfakultät in Deutschland (11 WiSo-Professuren), der Forstökonomie (Uni Freiburg) sowie im Bereich der Energieökonomik an Universitäten (IER Uni Stuttgart, KIT) sowie außeruniversitären Forschungsinstituten (Fraunhofer). 	<ul style="list-style-type: none"> • Eher geringe Vernetzung innerhalb Baden-Württembergs. • Eher wenig Expertise im Bereich der Ökonomie neuerer Methoden der stofflichen Nutzung von Biomasse. • Eher geringe Kooperation zwischen allgemeinen Wirtschafts- und Sozialwissenschaften und den spezifischen,

<ul style="list-style-type: none"> • Lehrstühle und Studiengänge im Bereich Nachwachsende Rohstoffe (Uni Hohenheim) sowie der Erneuerbaren Energien (Uni Stuttgart). Gründung eines Bioökonomiezentrums sowie eines Studiengangs „Bioökonomie“ an der Universität Hohenheim in 2013. • Hohes Potenzial für Anwendungsbezüge auf Bioenergie an W-Fakultäten. • Starke und international sehr gut sichtbare Forschungsschwerpunkte im Bereich der quantitativen Modellierung der Bioökonomie (Allgemeine und partielle Gleichgewichtsmodelle des Agrarsektors, Angebotsmodelle des regionalisierten Agrarsektors in Baden-Württemberg, Energiesystemmodelle, Materialflussmodelle). • Führende Stellung in der Risk-Governance-Forschung (Uni Stuttgart, ZIRIUS) mit Schwerpunkten auf Gesundheits- und Umweltrisiken. Das von dem International Risk Governance Council (IRGC) genutzte Risk Governance Framework wurde in Stuttgart entwickelt. • Starke internationale Vernetzung der bioökonomischen Forschung in Baden-Württemberg. • Starke Präsenz von WissenschaftlerInnen aus Baden-Württemberg in nationalen Beratungsgremien zur Bioökonomie. 	<p>auf die Bioökonomie bezogenen Wirtschafts- und Sozialwissenschaften (Forstökonomie, Agrarökonomie).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Eher geringe Vernetzung/Kommunikation zwischen Wirtschaft und Wissenschaft (gilt nicht für alle Teilbereiche).
<p>Chancen</p>	<p>Risiken</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Hohes Potenzial durch Vernetzung verschiedener Modellansätze (Allgemeines Gleichgewicht, partielles Gleichgewicht im Agrarsektor, Angebotsmodelle des Agrarsektors, Energiesystemmodelle, Materialflussmodelle) sowie komplementärer Analysenansätze (Analyse von Politikprozessen, LCA, Contingent Valuation, Umweltsoziologie) und Verknüpfung mit Risiko- und Innovationsforschung. • Hohes Potenzial durch Vernetzung mit Natur-/Ingenieurwissenschaften als Grundlage für Parametrisierung der Modelle. • Anwendung des hohen methodisch-theoretischen Potenzials an W-Fakultäten auf den Bereich der Bioökonomie. • Starke Verbesserung der nationalen und internationalen Sichtbarkeit aufgrund von hervorragenden Netzwerken in Wissenschaft und politiknahen Institutionen. • Verbesserung der Kommunikation zwischen Wirtschaft und Wissenschaft. 	<ul style="list-style-type: none"> • Zu wenige Investitionen in die interdisziplinäre Zusammenführung verschiedener methodischer Ansätze. • Gefahr einer zu geringen wissenschaftlichen und politischen Sichtbarkeit aufgrund fragmentierter Forschungslandschaft. • Zu geringe Integration von einzelnen Forschungsergebnissen in ein Gesamtbild, deshalb zu geringe Sichtbarkeit in der gesellschaftlichen und politischen Diskussion. • Verlust von Innovationspotenzial aufgrund zu geringer Kooperation zwischen allgemeinen Wirtschafts- und Sozialwissenschaften und den spezifischen, auf die Bioökonomie bezogenen Wirtschafts- und Sozialwissenschaften (Forstökonomie, Agrarökonomie).

8.3 Bestandsaufnahme Forschungslandschaft Baden-Württemberg (siehe beigefügte CD)

8.4 Kompetenzmatrix (siehe beigefügte CD)

8.5 Nachhaltigkeitskriterien – Katalog

Nachhaltigkeitskriterien für die Auswahl und Gestaltung von Bioökonomie-Projekten in Baden-Württemberg

Basis: Integratives Nachhaltigkeitskonzept der Helmholtz-Gemeinschaft und Balanced Scorecard KIC InnoEnergy

Ziel	Aspekt	Indikator
Gesundheit	Emissionen	Gesundheitsgefährdende Emissionen aus Produktion und Verarbeitung der Biomasse
Grundversorgung	Energie	Zugang zu Energieressourcen/-infrastrukturen (dezentral/zentral) Versorgungssicherheit
	Ernährung	Konkurrenz zur Erzeugung von Nahrungs- und Futtermitteln
Existenzsicherung	Beschäftigung und Einkommen	Wertschöpfung (lokal/dezentral) Neue Jobs in Forschung und Produktion Beschäftigungsverhältnisse (Teilzeit, Vollzeit, Minijobs) Gehälter
	Ausgaben der privaten Haushalte	Anteil der Ausgaben für Bioökonomieprodukte an Gesamtausgaben (nach Einkommensgruppen)
Ressourcennutzung	Energie	Bedarf an (fossiler) Energie
	Nährstoffe	Bedarf an Phosphat und Stickstoff
	Wasser	Bedarf an Frischwasser
	Fläche	Bedarf an Ackerfläche Flächenkonkurrenz Landnutzungsänderung (iLUC)
	Reststoffe und Abfälle	Nutzungsrestriktionen Nutzungskonkurrenz
Umweltnutzung	Luft/Klima	Klimagasemissionen (direkt/indirekt) Eutrophierung Versauerung
	Wasser	Wasserverbrauch in Relation zum regionalen Wasserdargebot

		Grundwasserqualität (Nitrat, Pestizide) Oberflächengewässerqualität
	Boden	Bodenerosion Beeinträchtigung von Bodenfunktionen und Bodenfruchtbarkeit
	Biodiversität	Beeinträchtigung Lebensräume Beeinträchtigung (Agro-) Biodiversität
Risiken	systemare, technische	Noch zu definieren
Kapitalentwicklung	Sachkapital	Investitionen (national/regional/lokal) Anlagenhersteller und -betreiber (groß, mittel, klein / national, regional, lokal) Wertschöpfung (national/regional)
	Human- und Wissenskapital	Attraktivität für Wissenschaftler und Studierende (Talente) Anzahl Lehrstühle/Abschlüsse Hochschulabsolventen (Master, PhD) Steigerung der Qualifikation Budget Forschung (EU, national, regional)
Partizipation	Voraussetzungen für Partizipation	Integration der Stakeholder in Entscheidungsprozesse Beteiligungsverfahren bei Anlageneubauten Verfahren zur Konfliktlösung
	Nutzung der Möglichkeiten	Grad der Beteiligung an Partizipationsverfahren
Kulturelle Funktion der Natur	Kulturlandschaft	Ästhetisches Empfinden von Veränderungen der Kulturlandschaft
Staatsverschuldung		Belastung der öffentlichen Haushalte mit Investitionsausgaben für bestehende und neue Projekte und Anlagen
Selbstorganisation		Anteil „Bürger-Anlagen“
Internationale Zusammenarbeit		Anzahl von Projekten mit Kooperations-Fokus bzw. -Anteil Ausgaben für Kooperations-Projekte/-Aktivitäten

Substanzielle Regeln		
1. Sicherung der menschlichen Existenz	2. Erhaltung des gesellschaftlichen Produktivpotenzials	3. Bewahrung der Entwicklungs- und Handlungsmöglichkeiten
1.1 Schutz der menschlichen Gesundheit	2.1 Nachhaltige Nutzung erneuerbarer Ressourcen	3.1 Chancengleichheit im Hinblick auf Bildung, Beruf, Information
1.2 Gewährleistung der Grundversorgung (Wohnung, Ernährung, Gesundheit, ...)	2.2 Nachhaltige Nutzung nicht erneuerbarer Ressourcen	3.2 Partizipation an gesellschaftlichen Entscheidungsprozessen
1.3 Selbstständige Existenzsicherung	2.3 Nachhaltige Nutzung der Umwelt als Senke	3.3 Erhaltung des kulturellen Erbes und der kulturellen Vielfalt
1.4 Gerechte Verteilung der Umweltnutzungsmöglichkeiten	2.4 Vermeidung unvermeidbarer technischer Risiken	3.4 Erhaltung der kulturellen Funktion der Natur
1.5 Ausgleich extremer Einkommens- und Vermögensunterschiede	2.5 Nachhaltige Entwicklung des Sach-, Human- und Wissenskapitals	3.5 Erhaltung der sozialen Ressourcen
Instrumentelle Regeln		
Internalisierung externer sozialer und ökologischer Kosten Angemessene Diskontierung Staatsverschuldung Faire weltwirtschaftliche Rahmenbedingungen Förderung der internationalen Zusammenarbeit		Resonanzfähigkeit der Gesellschaft Reflexivität der Gesellschaft Steuerungsfähigkeit Selbstorganisation Machtausgleich

- Aust. (2012). Potenziale von Kurzumtriebsplantagen in Baden-Württemberg. *FVA-einblick 3/2012*, S.23-24.
- BMBF. (2010). Nationale Forschungsstrategie BioÖkonomie 2030 *Bundesministerium für Bildung und Forschung*. Berlin.
- BMELV. (2012). Roadmap Bioraffinerien; *Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz*. Rostock.
- BMELV. (2013). Politikstrategie Bioökonomie *Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz*. Berlin.
- BÖR. (2010). Gutachten des BioÖkonomieRats 2010, Innovation Bioökonomie; *Forschungs- und Technologierat Bioökonomie (BÖR)*. Berlin.
- BÖR. (2013). Eckpunktepapier des Bioökonomierates: „Auf dem Weg zur biobasierten Wirtschaft“ (Politische und wissenschaftliche Schwerpunkte 2013–2016) *Forschungs- und Technologierat Bioökonomie (BÖR)*. Berlin.
- EK. (2010). Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen; Leitinitiative der Strategie Europa 2020 Innovationsunion.
- EK. (2011). Horizont 2020 - das Rahmenprogramm für Forschung und Innovation. KOM(2011) 808 endgültig. Europäische Kommission. Brüssel.
- EK. (2012a). Innovating for Sustainable Growth: A Bioeconomy for Europe, COM (2012) 60, Final. European Commission. Brüssel.
- EK. (2012b). Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen; Innovation für nachhaltiges Wachstum: eine Bioökonomie für Europa.
- EUWID. (2013). Neue Energien: Energiewende: Gutachten mahnt großen Nachholbedarf bei der Energieeffizienz an. *EUWID Neue Energien*.
- FNR. (2009). Studie: Einspeisung von Biogas in das Erdgasnetz *Fachagentur nachwachsende Rohstoffe e.V (FNR)* (4. unveränderte Auflage). Gülzow.
- Leopoldina. (2012). Bioenergie: Möglichkeiten und Grenzen *Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina*. Halle.
- MLR. (2010). Clusterstudie Forst und Holz Baden-Württemberg; Analyse der spezifischen Wettbewerbssituation des Clusters Forst und Holz und Ableitung von Handlungsempfehlungen. Stuttgart.

- NRW. (2013). Organisationsplan Ministerium für Innovation, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen. In <http://www.wissenschaft.nrw.de/fileadmin/Medien/Dokumente/Ministerium/Orgaplan-MIWF.pdf> (Ed.). Düsseldorf.
- OECD. (2009). The Bioeconomy to 2030: Designing a Policy Agenda, Main Findings and Policy Conclusions; *Organisation for Economic Co-operation and Development*. Paris.
- OECD. (2011). Korea's Green Growth Strategy: Mitigating climate change and developing new growth engines; Economics department working papers No. 798 *Organisation for Economic Co-operation and Development*. Paris.
- Sitra. (2009). A Natural Resource Strategy for Finland: Using Natural Resources Intelligently. *Sitra*. Helsinki.
- Sitra. (2011). Distributed Bio-Based Economy – Driving Sustainable Growth *Luoma P, Vanhanen J & Tommila P. für Sitra*. Helsinki
- StaLa. (2012). Baden-Württemberg: Partner Europas, Innovationsindex für die Länder bzw. Regionen der Europäischen Union. In http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de/europa/EUinnovIndex_0000.asp (Ed.).
- Thalheimer, F. (2008). Gesamtwirtschaftliche Strukturen und Entwicklungen im Bundesländervergleich. *Statistisches Monatsheft Baden - Württemberg 5/2008*.
- TSB. (2012). Synthetic Biology Roadmap for UK. *TSB (Technology Strategy Board)*. London.
- UM. (2012). Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft, Baden-Württemberg. In <http://www.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/89900/> (Ed.), *Pressemitteilung des UM vom 09.01.2012*.
- Unsel, R. u. B., J. (2012). Energie Vorwälder - Alternative Bewirtschaftungsformen zur Steigerung der energetisch nutzbaren Biomasse im Wald durch Integration von schnellwachsenden Baumarten. *Freiburger Forstliche Forschung, Berichte, Heft 91*.
- vTI. (2012). Volkswirtschaftliche Bedeutung der biobasierten Wirtschaft in Deutschland; *Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei*. Braunschweig.
- White-House. (2012). National Bioeconomy Blueprint In http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/microsites/ostp/national_bioeconomy_blueprint_april_2012.pdf (Ed.). Washington.