



Positionspapier

Beschleunigung der Bioökonomie
in der Metropolregion FrankfurtRheinMain

Autoren: Christina Andreeßen, Thomas Bayer, Manfred Kircher, Dorit Lehr, Jochen Michels,
Bernd Rentmeister (Vorstand und Geschäftsstelle BioBall e.V.)

Korrespondenzadresse: bioball@provadis-hochschule.de

Zusammenfassung

Wohlstand und Lebensqualität der 5,8 Millionen Menschen der Metropolregion FrankfurtRheinMain basieren u.a. auf einer ausgezeichneten öffentlichen Infrastruktur und einer im globalen Wettbewerb erfolgreichen privaten Wirtschaft. Beide haben sich schon immer den sich wandelnden Bedingungen erfolgreich angepasst. Sie stehen aber gerade jetzt und in den kommenden Jahren vor grundlegenden Herausforderungen, weil der Klimaschutz die Abkehr von fossilen Energie- und Rohstoffquellen erfordert. Besonders betroffen sind die Nutzenergieerzeugung, die Mobilität und die in der Metropolregion bedeutende Chemieindustrie.

Da große Teile der Chemie auf kohlenstoffhaltigen Rohstoffen basieren, bieten biogene Kohlenstoffquellen Alternativen; sie haben heute aber erst einen kleinen Anteil. Für die Umstellung auf erneuerbare Energien und biobasierte Chemieproduktion sind nachhaltige Energiebereitstellung und Kreislaufführung, unter anderem von Kohlenstoff, notwendig.

Dabei sind angesichts der zunehmenden industriellen Nachfrage nach biogenen Alternativen insbesondere auf Basis pflanzlicher Biomasse regional, national und weltweit zunehmende Nutzungskonflikte absehbar. In der Metropolregion bedienen land- und forstwirtschaftliche Rohstoffe heute vorwiegend die Märkte der Nahrungs- und Futtermittel, Zellstoff und Papier, Möbel- und Baumaterialien. Zukünftig ist für Bioenergie und biobasierte Chemie ein stark zunehmender Bedarf zu erwarten, der wegen begrenzter Flächen und der heute schon belasteten Ökosystemgrenzen aus der heimischen Land- und Forstwirtschaft nicht annähernd gedeckt werden kann.

Deshalb müssen auch biogene Rest- und Abfallstoffe als industrielle Kohlenstoffquellen erschlossen und Stoffkreisläufe geschlossen werden. Grundsätzliches Potential haben in der Metropolregion land- und forstwirtschaftliche Reststoffe, städtischer Grünschnitt, Reststoffe der Lebensmittel-, Papier-, Chemie- und Bioenergieindustrien einschließlich CO₂, Klärschlamm und kommunale Siedlungsabfälle.

Der Innovationsraum Bioökonomie im Ballungsraum (BioBall) erschließt diese Potentiale, indem Akteure aus Wirtschaft, Forschung und der öffentlichen Verwaltung gemeinsam das Verwertungspotential von Rest- und Abfallstoffen in der Metropolregion identifizieren und entsprechende technisch/wissenschaftliche Forschungs- und Entwicklungsvorhaben durchführen. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) fördert den Innovationsraum BioBall mit bis zu 20 Mio. EUR (2020-2024), um das Wissen für eine zukunftsfähige Wirtschaft, d.h. eine ökonomisch, ökologisch und sozial nachhaltige zirkuläre Bioökonomie zu entwickeln.

Für den notwendigen Strukturwandel braucht es allerdings neben Expertise Änderungen im Umgang mit Ressourcen und Energien, Anpassungen der Infrastruktur, die Weiterentwicklung der rechtlichen Rahmenbedingungen und einen Realisierungsplan:

- **RESSOURCEN UND ENERGIEN:** In der Metropolregion muss die Ressourceneffizienz gesteigert, müssen Stoffkreisläufe geschlossen und der Einsatz von Sekundärrohstoffen forciert werden. Dies entspricht der Hessischen Ressourcenschutzstrategie. Dementsprechend soll die stoffliche Nutzung von Rest- und Abfallstoffen (einschließlich CO₂) grundsätzlich Vorrang vor der energetischen Verwertung haben. Die stoffliche Verwertung von Rest- und Abfallstoffen muss als Maßnahme der Treibhausgasminderung in den hessischen Klimaschutzplan 2030 aufgenommen werden.

Für den Wandel ist es notwendig, nachhaltig erzeugte Nutzenergie oder Energieträger in ausreichenden Mengen und ganzjährig bereitzustellen. Dies erfordert die Integration in überregionale Versorgungsnetze.

Zur Beschleunigung des Übergangs in die industrielle Praxis müssen energieintensive Verfahren der zirkulären Bioökonomie auch dann gefördert werden, wenn sie mangels eines ausreichenden Angebots erneuerbarer Energien zunächst noch mit konventionellen Energien versorgt werden müssen.

- **INFRASTRUKTUR:** Die heutige Infrastruktur entspricht dem Bedarf einer fossil-basierten Wirtschaft. Für die stoffliche Nutzung von biogenen Rest- und Abfallstoffen, sind Industriestandorte anzupassen und ist eine dem zunehmenden Bedarf entsprechende öffentliche Infrastruktur für die Energieversorgung und die Logistik bereitzustellen.
- **RECHTLICHE RAHMENBEDINGUNGEN:** Das geltende Abfallrecht führt in der Praxis zur Bevorzugung der energetischen Verwertung. Biogene Abfallstoffe betreffende Vorschriften müssen deshalb den sich entwickelnden Möglichkeiten der stofflichen Verwertung angepasst werden.
- **REALISIERUNGSPLAN:** Die Transformation der Metropolregion zu einer zirkulären Bioökonomie erfordert sektorübergreifende öffentliche und private Maßnahmen, die technisch und zeitlich aufeinander abgestimmt werden müssen. Deshalb ist es notwendig, auf Basis einer strategischen Analyse einen umfassenden Realisierungsplan zu entwickeln, der die Optionen und Belange aller betroffenen Akteure und Wirtschaftssektoren berücksichtigt. Dazu gehört auch die Etablierung eines Monitorings zur Dokumentation und Steuerung des Transformationsfortschritts und zur Sicherstellung der ökonomischen, ökologischen und sozialen Nachhaltigkeit. Die Transformation bietet gerade neuen Unternehmen Chancen. Der Realisierungsplan muss deshalb eine Gründungsoffensive, die Gründungsideen, Führungspersonal und Kapital in die Metropolregion zieht, beinhalten.

Präambel

Wohlstand und Beschäftigung mit Klima- und Umweltschutz in Einklang zu bringen, erfordert weltweit einen tiefgreifenden Wirtschaftswandel. Das Pariser Klimaabkommen, der Europäische Green Deal und die Ziele der Bundes- und Landesregierungen verlangen dementsprechend die grundsätzliche Abkehr von fossilen Rohstoffen und die konsequente Transformation hin zu einer zirkulären Bioökonomie und Kreislaufwirtschaft. Diese globale Herausforderung muss regional, auch in der Metropolregion FrankfurtRheinMain, beantwortet werden. Zugleich bietet diese Metropolregion mit ihrer starken Wirtschaft, hervorragenden Forschungs- und Lehreinrichtungen und einer innovationsfreundlichen Gesellschaft besonderes Potential für die Bewältigung der bevorstehenden Herausforderungen. Gefragt sind hier insbesondere Organisationen und individuelle Entscheidungsträger, die neue Impulse für eine zirkuläre Bioökonomie setzen. Impulse können in Wissenschaft und Lehre, in Forschung und Technologietransfer, in der öffentlichen und privaten Infrastruktur und der Ausgestaltung der Rahmenbedingungen liegen.

Mit diesem Positionspapier möchte der Innovationsraum BioBall (BioBall) Akteure aus Politik, öffentlicher Verwaltung, Wirtschaft, Forschungs- und Lehreinrichtungen ansprechen. In dem anstehenden Strukturwandel übernimmt BioBall die Aufgabe, nachhaltige biogene Ausgangsstoffe zu identifizieren und technische Verwertungsverfahren zu entwickeln, wobei der Schwerpunkt auf Wertschöpfung aus in der Metropolregion verfügbaren biogenen Rest- und Abfallstoffen liegt. Die sektorübergreifende Vernetzung der Akteure im Innovationsraum wird die Umsetzung technischer Innovationen und biobasierter Geschäftsmodelle beschleunigen.

Ziel des Positionspapiers ist es, auf das Potential der zirkulären Bioökonomie in der Metropolregion aufmerksam zu machen und Sie als aktive Akteure für den Innovationsraum BioBall und als Unterstützer der Empfehlungen zu gewinnen.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	2
Präambel	4
Inhaltsverzeichnis	5
1. Einleitung	6
2. Ausgangsposition	7
3. Wissenschaft und Lehre	9
4. Zeitliche Dimension des Strukturwandels	12
5. Rahmenbedingungen	13
6. Empfehlungen	15
Abkürzungsverzeichnis	17
Literaturverzeichnis	18

1. Einleitung

2005 wurde erstmals das Europäische Konzept einer auf biogenen Rohstoffen basierenden Wirtschaft veröffentlicht (Europäische Kommission, 2005), dem zahlreiche nationale Bioökonomiestrategien, darunter auch die des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF, 2010), folgten. Während diese den Weg zur nachhaltigeren Wirtschaft noch unverbindlich beschrieben, verpflichtet das 2016 von der EU ratifizierte Pariser Klimaabkommen verbindlich bis 2050 den Temperaturanstieg der Atmosphäre im globalen Mittel auf unter 2 °C zu begrenzen. Deutschland soll Treibhausgasneutralität bis 2045 erreichen (Bundesministerium für Umwelt, 2021).

Das Ziel kann aber nur erreicht werden, wenn alle den Klimawandel mit verursachenden Akteure ihre Verantwortung erkennen, Maßnahmen ergreifen und den regionalen Bedingungen entsprechend umsetzen. Dies gilt auch für die Metropolregion FrankfurtRheinMain, die als eine der bedeutenden Wirtschaftsregionen einerseits in besonderer Verantwortung steht und sich andererseits schon aus Eigeninteresse dem Wandel zu einer nachhaltigeren Wirtschaftsweise stellen muss.

Die an der Metropolregion beteiligten Bundesländer Bayern, Hessen und Rheinland-Pfalz haben dies frühzeitig erkannt. Hessen hat eine Studie zur wirtschaftlichen Bedeutung der Bioökonomie (Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung, 2017) und Bayern eine Bioökonomiestrategie (Bayerische Staatsregierung, 2020) erstellt und viele Städte und Kommunen, darunter die rheinland-pfälzische Landeshauptstadt Mainz (Mainz, 2017) haben Klimaschutzpläne verabschiedet. Die Vielzahl von Strategien und Plänen auf allen Verwaltungsebenen ist unbedingt zu begrüßen, da so auf spezifische regionale und kommunale Unterschiede eingegangen werden kann.

In dem im Rahmen der BMBF-Ausschreibung Innovationsräume Bioökonomie (BMBF, 2016) geförderten Innovationsraum Bioökonomie im Ballungsraum (BioBall) arbeiten u.a. Akteure aus privaten und kommunalen Unternehmen, Forschungseinrichtungen und der kommunalen Verwaltung zusammen, um in der Metropolregion FrankfurtRheinMain biogene Stoffkreisläufe zu schließen. Auf diese Weise wird der Strukturwandel hin zu einer zirkulären Bioökonomie beschleunigt.

Das vorliegende Positionspapier beschreibt den Status in der Metropolregion und geht auf das Ziel der zirkulären Bioökonomie ein. Abschließend werden Empfehlungen für den notwendigen Strukturwandel abgeleitet.

2. Ausgangsposition

Die Metropolregion FrankfurtRheinMain (Abb. 1) ist eine von elf Metropolregionen in Deutschland. Sie erstreckt sich über Teile von Hessen (Süd-hessen), Bayern (Unterfranken) und Rheinland-Pfalz (Rheinessen) und stellt ein Verdichtungs-gebiet dar, dessen wirtschaftlich wichtigste Städte Frankfurt am Main, Wiesbaden, Mainz, Darmstadt, Hanau und Aschaffenburg sind.



Abb. 1: Die Metropolregion FrankfurtRheinMain

Wirtschaft und Infrastruktur

Tab. 1 zeigt die hohe Bevölkerungszahl und den bedeutenden Anteil des produzierenden Gewerbes an der Wirtschaftskraft in der Metropolregion: Hier werden von 5,8 Mio. Einwohnern (7 % der Bevölkerung Deutschlands) 9,1 % der deutschen Bruttowertschöpfung erzeugt.

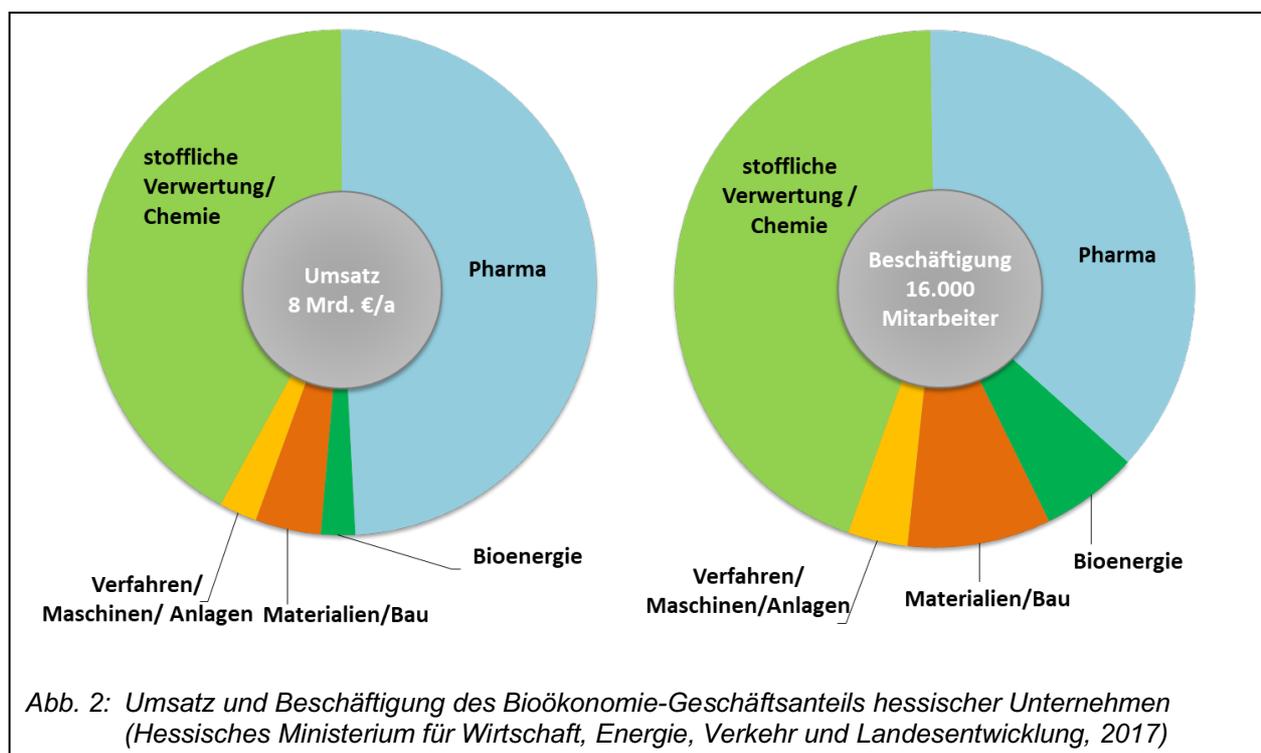
Tab. 1: Kennzahlen der Metropolregion FrankfurtRheinMain (FrankfurtRheinMain, 2021)

Fläche	Bevölkerung (2019)	Bruttowertschöpfung (2018)		
		BIP	Anteil des produzierenden Gewerbes gesamt (Chemie)	Anteil der Land-, Forstwirtschaft, Fischerei
14.755 km ²	5,8 Mio.	273.216 Mio. €	23 % (6 %)	0,5 %

Der Verband der chemischen Industrie (VCI) listet unter seinen über 1.800 deutschen Mitgliedsfirmen 235, die in der Metropolregion FrankfurtRheinMain angesiedelt sind (VCI, 2021). Viele dieser Unternehmen haben Ihre Produktionsstätten in den vier großen Chemieparcs der Metropolregion, viele der international agierenden Unternehmen haben Ihren Verwaltungssitz hier. Nicht alle dieser Chemieunternehmen betreiben organische Chemie und benötigen dafür Kohlenstoffquellen, die meisten allerdings produzieren als energieintensive Unternehmen in erheblichem Maße CO₂.

In der Chemieindustrie kommen heute nachwachsende Rohstoffe wie Pflanzenöl, tierisches Fett, Stärke oder Zucker in Spezialanwendungen zum Einsatz. Diese summieren sich in Deutschland auf ca. 2,7 Mio. Tonnen nachwachsender Rohstoffe pro Jahr, was etwa 13 % aller kohlenstoffhaltigen Rohstoffe der Chemieindustrie entspricht (VCI, 2017). Die Grundlage dieser Rohstoffe ist Biomasse aus landwirtschaftlicher Produktion, die mindestens über Flächennutzung, Düngereinsatz und Wasserverbrauch mit der Nahrungs- und Futtermittelproduktion in Konkurrenz steht.

Die Unternehmen, die biogene Rohstoffe in den Branchen Chemie, Pharmazie, Materialien/Bau und Energie einsetzen sowie der entsprechende Maschinen- und Anlagenbau, d.h. die industrielle Bioökonomie, generieren heute vor allem in Südhessen, das den Kern der Metropolregion ausmacht, einen Jahresumsatz von 8 Mrd. EUR und beschäftigen 16.000 Mitarbeiter (Abb. 2).



Große Chemie- und Pharmastandorte in der Metropolregion und in deren enger Nachbarschaft finden sich in Darmstadt, Frankfurt, Gernsheim, Hanau, Marburg, Obernburg und Wiesbaden, die auch für die Bioökonomie hervorragende Infrastruktur bezüglich Logistik, Energien, Entsorgung, Sicherheit und Personaleinrichtungen bieten. Die Metropolregion verfügt in diesem Sektor über eine differenzierte Infrastruktur und leistungsfähige Unternehmen.

Forschung, Entwicklung und Lehre

Inklusive des fossil-basierten Geschäftsanteils erwirtschaften in der Bioökonomie tätige Unternehmen 56 Mrd. EUR mit 116.000 Mitarbeitern. Um diese Arbeitsplätze zu erhalten und auszubauen ist der Strukturwandel zu einer zirkulären Bioökonomie notwendig.

3. Wissenschaft und Lehre

Die Forschungs- und Lehreinrichtungen der Metropolregion und enger Nachbarschaft zeichnen sich insbesondere in Synthetischer Biologie, Insektenbiotechnologie und den Ingenieurwissenschaften durch eine internationale Spitzenstellung aus. Einen Schwerpunkt bildet die Forschung zu Biokatalysatoren für die stoffliche Umsetzung. Auf dem Gebiet der Synthetischen Biologie sind die Philipps-Universität und das Marburger MPI zusammen mit der Universität Frankfurt international renommiert. Erfolgreiche Kooperationen zwischen Universitäten (Frankfurt, Gießen, Marburg) und der TH Mittelhessen haben zu einzigartigen Ergebnissen geführt, die wirtschaftlich umgesetzt und vom Land Hessen mit erheblichen Investitionen weitergeführt werden. Dabei hat insbesondere das LOEWE Forschungszentrum für Insektenbiotechnologie & Bioressourcen in Gießen deutschland- und europaweit eine führende Rolle eingenommen. In der Erschließung von Bioressourcen dienen Organismengruppen mit hoher Biodiversität als Naturstoffbibliotheken für neue Wirkstoffe und Enzyme. Die Universität Mainz verfügt mit dem Institut für Biotechnologie und Wirkstoff-Forschung (IBWF) ebenfalls über eine große Naturstoffbibliothek auf Basis von Pilzen. Am DECHEMA-Forschungsinstitut ist eine hohe Kompetenz für Bioökonomie-Themen vorhanden. Schwerpunkte sind die Elektrobiotechnologie sowie die stoffliche Nutzung von CO₂, Formiat, Methanol und Reststoffströmen.

Die Ingenieurwissenschaften sind insbesondere an der TU Darmstadt umfassend etabliert. Biobasierte Verfahren und die dazu notwendigen Anlagen werden dort bezüglich Bioenergie bearbeitet; die stoffliche Umsetzung wird u.a. mit der mikrobiellen Produktion von *drop in*-Treibstoffen erforscht. Im Fachbereich Bau- und Umweltingenieurwissenschaften werden Fragen eines nachhaltigen Stoffstrommanagements mit systemanalytischen Methoden, insbesondere Ökobilanz und Materialflussanalyse bearbeitet. Darüber hinaus werden biogene Reststoffe als Substitut für fossile Ausgangsstoffe untersucht. Ein weiteres Thema ist es, den Stoffstrom Altpapier neuen Verwertungen höherer Wertschöpfung zuzuführen; z.B. im Baubereich und in hochwertigen Kompositmaterialien. Deren Werkstoffeigenschaften können am Fraunhofer-Institut LBF geprüft und optimiert werden. Angewandte Forschung insbesondere zu Verfahren der Chemieindustrie ist die Kernkompetenz der Proxadis Hochschule.

Alle Institute haben eine internationale Reichweite und sind erfolgreich an EU-Vorhaben beteiligt. Damit verfügt die Metropolregion über eine profilierte akademische Forschungs- und Ausbildungsstruktur für die Bioökonomie, deren Profil durch die Integration von Partnern auch außerhalb der Region hinaus gestärkt wird.

Forschung und Technologietransfer

Am Beginn industrieller Forschung stehen Ideenfindung und die Ermittlung des Forschungsbedarfs. Die forschungsintensiven Großunternehmen der Region verfügen hierfür über hausinterne Kapazitäten. Andere Unternehmen finden in der Metropolregion entsprechende öffentlich zugängliche Einrichtungen. Ein Beispiel ist in Frankfurt die DECHEMA e.V., deren Fachgruppen allgemeine Empfehlungen für Technologie- und Forschungsbedarf erarbeiten. Für das konkrete Thema der Bioökonomie organisiert in der Metropolregion der Innovationsraum BioBall Kommunikationsplattformen zur Ideenfindung und Projektinitiierung, und zwar nicht nur unter Einbeziehung von

Forschungseinrichtungen und Unternehmen, sondern auch der öffentlichen Verwaltung. Für die konkrete Projektplanung und ggf. die Zusammenstellung eines Projektkonsortiums bietet die Geschäftsstelle BioBall Beratung an. Wenn FuEul-Projekte durch öffentliche Zuwendungen teilfinanziert werden sollen, können neben BioBall, der BMBF-Zuwendungen vermittelt, weitere Zuwendungsgeber angesprochen werden. So haben z.B. die beteiligten Bundesländer entsprechende Förderprogramme (Hessen: LOEWE, Bayern: Bayrische Forschungsstiftung, Rheinland-Pfalz: Forschungsinitiative Rheinland-Pfalz). Weiterhin sind in allen beteiligten Bundesländern Beratungszentren zu EU-Fördermitteln eingerichtet.

Über diese Fördermöglichkeiten hinaus verfügt die Metropolregion über finanzstarke Unternehmen, die auf zweifacher Weise die Forschungslandschaft prägen: Erstens sind sie in der Lage die zur Erreichung der Fördermittel notwendigen Eigenmittel aufzubringen und zweitens bilden sie einen Markt für Forschungsdienstleistungen, der der Region Sichtbarkeit für innovative Start-ups und KMU sichert und so Forschungskompetenz auch von außerhalb anzieht. Erfolgreiche Forschung muss Pilotierung, Demonstrations- und Produktionsanlagen generieren.

Wenn Forschungsergebnisse zu nicht an der Entwicklung beteiligten Parteien transferiert werden sollen, kann BioBall angesprochen werden. Die aus Bayern, Berlin, Nordrhein-Westfalen und Baden-Württemberg stammenden Mitglieder des Beirats von BioBall tragen dazu bei, Technologietransfer in diese (und aus diesen) Regionen zu beschleunigen. Mit breiterem Anwendungsprofil bietet auch Hessen Trade and Invest (HTal) Beratung zum Technologietransfer an. Wenn Forschungsergebnisse in eine Unternehmensgründung überführt werden, stehen in der Metropolregion die Industrie- und Handelskammern unterstützend bereit und der Gründerwettbewerb Science4Life vermittelt Coaches. Eine Besonderheit der Metropolregion sind die zahlreichen Industrieparks und -standorte, die für KMU Infrastruktur und Praxiserfahrung bieten.

Die Voraussetzungen für FuEul, Technologietransfer und Unternehmensgründungen sind also grundsätzlich gut. Trotzdem bleibt die Metropolregion bezüglich Gründungen im Vergleich zu anderen deutschen Regionen wie München und Berlin zurück. Dies gilt nicht nur für die Zahl der Gründungen, sondern auch für die Einwerbung von privatem Kapital (EY, 2021). Der Transformationsprozess in die zirkuläre Bioökonomie muss deshalb durch eine Gründungsoffensive, die Gründungsideen, Führungspersonal und Kapital in die Metropolregion zieht, begleitet werden.

Das Ziel Zirkuläre Bioökonomie

Die Metropolregion verfügt sowohl über land- und forstwirtschaftliche Biomasse als auch über biogene kommunale und industrielle Rest- und Abfallstoffe und gasförmige Kohlenstoffquellen.

Für den landwirtschaftlichen Anbau von Biomasse werden Acker-, Grünland- und Sonderkulturflächen genutzt. Ackerflächen haben dort den größten Anteil, wo überwiegend Zucker- und Stärkepflanzen sowie Ölpflanzen angebaut werden. Die Agrarprodukte gehen im Wesentlichen in den Lebensmittel- und Tierfuttermarkt; für energetische Zwecke werden 8 % der Agrarfläche bewirtschaftet. In der Metropolregion selbst gelten die Flächen der Wetterau und Südhessens als sehr ertragreich.

Auch die forstwirtschaftliche Produktion von Biomasse hat in der Metropolregion Potential. Der Holzzuwachs wird fast vollständig geerntet und geht in die stoffliche (Holzwerkstoff, Zellstoff, Papier) und energetische Nutzung. Größter Akteur ist der Landesbetrieb HessenForst, der 77 % der Waldfläche Hessens bewirtschaftet.

Ein wesentlicher Akteur für biogene Rest- und Abfallstoffe ist die kommunale Abfallwirtschaft. Zur Verwertung von Abfällen aus der Biotonne, Garten- und Parkabfällen, Speiseabfällen, Abfällen aus der Lebensmittelindustrie und/oder Gülle werden u.a. 46 Kompostierungs- und Vergärungsanlagen mit einer genehmigten Kapazität von insgesamt 719.500 Tonnen pro Jahr betrieben. Eine bedeutende Entsorgungsanlage für kommunalen Klärschlamm ist die Klärschlammverbrennungsanlage SEVA in Frankfurt am Main mit einer genehmigten Kapazität von 52.560 Tonnen pro Jahr Trockensubstanz. Biogene Rest- und Abfallstoffe werden also vorwiegend geringwertig stofflich oder energetisch genutzt.

Quellen für gasförmige biogene Kohlenstoffquellen (Methan, CO₂) sind insbesondere Vergärungsanlagen, Biogasanlagen, Brauereien sowie Biomasseheizkraftwerke. Dabei ist zu berücksichtigen, dass Anlagen, die heute noch CO₂ aus fossilen Quellen emittieren, nach ihrer Umstellung auf biogene Rohstoffe ebenfalls als Quelle für biogenes CO₂ zur Verfügung stehen. Eine derartige Quelle gilt grundsätzlich als klimaneutral. Derzeit wird biogenes CO₂ nur zu einem sehr geringen Anteil industriell genutzt. Die Herstellung CO₂-basierter Treibstoffe (PtL) befindet sich derzeit in der Pilotierung.

Die Metropolregion verfügt also über eine Vielfalt biogener Kohlenstoffquellen, die angesichts des Rohstoffbedarfs der Industrie¹ umfassend erschlossen werden müssen. Eine solche auf biogenen Rohstoffen basierende Wirtschaft wird als Bioökonomie, und wenn es gelingt die Stoffkreisläufe zu schließen, als zirkuläre Bioökonomie bezeichnet^{2,3}. Diese Wirtschaftsform in der Metropolregion FrankfurtRheinMain zu erreichen bedeutet, alle Branchen, die Biomasse erzeugen, zu Produkten verarbeiten und Rest- und Abfallstoffe rezyklieren, so zu integrieren, dass Stoffkreisläufe auf nachhaltige Weise geschlossen werden. Dies betrifft insbesondere die Branchen der Lebensmittelherzeugung, der Treibstoffe und Energien, der Chemie sowie die Abfall- und Wasserwirtschaft sowie die Land- und Forstwirtschaft. Dabei sind hohe Wertschöpfung, die Beachtung der Grenzen des globalen Ökosystems und die Schaffung hochwertiger Arbeitsplätze wichtige Elemente der ökonomischen, ökologischen und sozialen Nachhaltigkeit. Der Innovationsraum trägt damit regional zu den Leistungsparametern bei, die sich BioBall beispielsweise bezüglich Klimaschutz und Wertschöpfung selbst gesetzt hat, und damit auch zu den UN-Nachhaltigkeitszielen 9 (Industrie,

¹ Wegen der im Vergleich zu fossilen Rohstoffen geringeren Kohlenstoffdichte nachwachsender Kohlenstoffquellen geht die vollständige Umstellung auf derartige Rohstoffe mit einem enormen Bedarf einher.

² Die Bioökonomie geht im engeren Sinne von biogenen Rohstoffen aus, beinhaltet aber auch die (biotechnologische) Kreislaufführung von Pflanzennährstoffen, Metallen etc.

³ Ergänzend sei angemerkt, dass die Schließung des Kohlenstoffkreislaufs zu Klimaneutralität in dem Sinne führt, dass die atmosphärische CO₂-Konzentration nicht mehr ansteigt. Zu ihrer Senkung sind zusätzliche Maßnahmen zur Abscheidung und Speicherung von CO₂ (CCS; Carbon Capture and Storage) notwendig.

Innovation und Infrastruktur), 11 (Nachhaltige Städte und Gemeinden), 12 (Nachhaltige/r Konsum und Produktion) und 13 (Maßnahmen zum Klimaschutz).

Der Transformationsfortschritt und die Erreichung der Nachhaltigkeitsziele müssen durch ein umfassendes Monitoring erfasst werden. Für die BioBall-eigenen Zielgrößen erfolgt dies durch wissenschaftliche Begleitforschung. Für die Metropolregion insgesamt wird ein von den beteiligten Bundesländern beauftragtes Monitoring auf Grundlage der Erkenntnisse des Bioökonomie-Monitoringprogramms des Bundes (ifo-Institut, 2019) empfohlen. Dieses sollte auch bislang noch nicht (ausreichend) erfasste statistische Daten beinhalten, unter anderem:

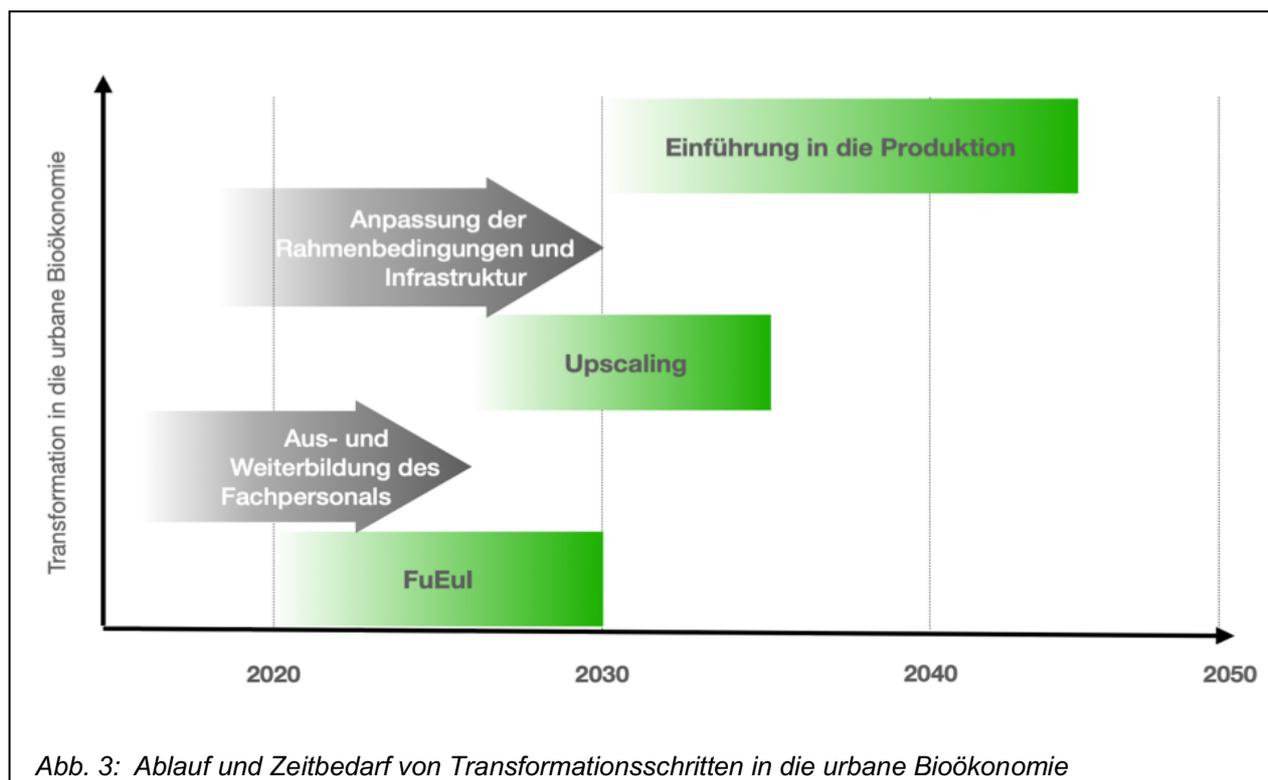
- bioökonomierelevante Branchenanteile innerhalb der Klassifizierung der Wirtschaftszweige (DESTATIS, 2008)
- Kaskaden- und Koppelnutzung
- biogene Rest- und Abfallstoffe (Center for Environmental Systems Research, 2020) sowie
- biogene CO₂-Emissionen

Auf Grundlage der so geschaffenen Wissensbasis kann das Voranschreiten der stofflichen Nutzung von Rest- und Abfallstoffen, sowie CO₂ messbar gemacht und gesteuert werden.

4. Zeitliche Dimension des Strukturwandels

Das Zieldatum für das Erreichen der zirkulären Bioökonomie ist das Jahr 2045. Deutschlandweit werden heute erst 17 % des Primärenergieverbrauchs aus erneuerbaren Quellen befriedigt (Umweltbundesamt, 2021) und die Chemie verwendet zu rund 13 % erneuerbare Kohlenstoffquellen (VCI, 2020). Der größte Teil des Transformationswegs liegt also noch vor uns. Für einzelne erneuerbare Kohlenstoffquellen und Schritte zur Schließung von Kohlenstoffkreisläufen sind geeignete Technologien bereits einsatzbereit. Andere sind in der Pilotierung oder in Entwicklung. Für die Stoffkreisläufe der Reststoff- und Abfallverwertung sowie des CO₂-Recyclings, für die ein sehr hoher Anteil an der zirkulären Bioökonomie erwartet wird, ist aber der Entwicklungsbedarf noch hoch und entsprechend langfristig. Allein für die Ideen- und Konzeptionierungsphase ist mit einem Zeitbedarf von 2-4 Jahren bis zur Definition eines Forschungs-, Entwicklungs- und Innovationsprojekts (FuEul-Projekts) zu rechnen. Je nach Technologiereife ist für FuEul-Projekte ein Zeitraum von 3-6 Jahren bis zum Pilotieren und Upscaling einzuplanen; bis zur Einführung in den Produktionsmaßstab einschließlich notwendiger Genehmigungen müssen weitere 4-6 Jahre eingeplant werden. BioBall hat sich vorgenommen diese Transformationsstufen zu beschleunigen.

Zusätzlich ist allerdings zu berücksichtigen, dass die Einführung neuer Technologien in die industrielle Praxis die Anpassung der öffentlichen und privaten Infrastruktur hinsichtlich Logistik und Energieversorgung erfordern kann, die Aus- und Weiterbildung des notwendigen Fachpersonals voraussetzt und ggf. von der Anpassung wirtschaftspolitischer Rahmenbedingungen abhängt. Um spätestens in dem Jahrzehnt ab 2035 die Transformation der Wirtschaft abzuschließen, müssen also die Anpassung der Rahmenbedingungen und der öffentlichen Infrastruktur vor 2030, die Ausbildung des Fachpersonals vor 2025 und die Technologieentwicklungen ebenfalls vor 2030 weitgehend abgeschlossen sein (Abb. 3).



Angesichts der fundamentalen Umgestaltung der Kohlenstoff-verarbeitenden Industrien der Metropolregion sind die verbleibenden Jahre bis zum Jahr 2045 also keine lange Zeit. Die Transformation muss deshalb energisch auf der Basis eines langfristigen Realisierungsplans, der auch für Transparenz und gesellschaftliche Akzeptanz sorgt, vorangetrieben werden.

5. Rahmenbedingungen

Sowohl auf EU-Ebene (European Green Deal) als auch auf nationaler Ebene wurden Bioökonomiestrategien verabschiedet. Auch auf Länderebene wurden Bioökonomiestrategien veröffentlicht: Baden-Württemberg hat 2019 die Landesstrategie „Nachhaltige Bioökonomie“ (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft, Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg, 2019) entwickelt, Bayern hat seine Strategie 2020 (Bayerische Staatsregierung, 2020) veröffentlicht und Sachsen-Anhalt hat 2021 ein Strategiepapier zur Bioökonomie veröffentlicht (Staatskanzlei und Ministerium für Kultur des Landes Sachsen-Anhalt, 2021). Hessen hat eine Studie zur wirtschaftlichen Bedeutung der wissensbasierten Bioökonomie 2017 veröffentlicht (Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung, 2017) und die Bioökonomie als ein Schlüsselthema in die Innovationsstrategie (Hessische Landesregierung, 2013) mit aufgenommen. Auch die Hessische Ressourcenschutzstrategie 2018 sieht das Schließen von Stoffkreisläufen und den Einsatz von Sekundärrohstoffen als wichtige Handlungsfelder (Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, 2018).

In der Bioökonomiestrategie der EU wird auf die besondere Rolle von Städten hingewiesen: Städte sollen zukünftig Zentren für eine kreislaforientierte Bioökonomie sein. Mit ihren beträchtlichen

organischen Abfall- und Reststoffströmen, aber auch durch ihre lokale Verankerung haben sie ein besonderes Potential (Europäische Kommission, 2018). Ein wichtiger Schritt zur weiteren Nutzung des städtischen Bioabfalls ist die Definition und Umsetzung von **Realisierungsplänen**. Bisher werden oftmals in Städten die Chancen, die in der Bioökonomie liegen, kaum systematisch erfasst. Realisierungspläne müssen die Grundlage für konkrete regionale Maßnahmen bilden, insbesondere in den Bereichen: (i) Kreislaufwirtschaft und Bioökonomie: Verhinderung und Reduzierung vermeidbarer städtischer Bioabfälle und Umwandlung unvermeidbarer städtischer Bioabfälle in wertvolle Ressourcen; (ii) Klimaschutz: Reduzierung der Treibhausgasemissionen aus Bioabfällen sowie die Abscheidung und Nutzung von ausgestoßenem Kohlenstoff aus biogenen Abfällen; (iii) Industrielle Symbiose: Verknüpfung biogener Reststoffströme mit anderen Sektoren wie etwa der Chemie, Kunststoff-, Lebensmittel- und Futtermittelindustrie; (iv) Ressourceneffizienz und -sicherheit: Recycling wertvoller und kritischer Substanzen wie Stickstoff (N), Phosphor (P) und Kalium (K) aus dem städtischen Bioabfall sowie dem Abwasser. (v) Nachhaltige Lebensmittel- und Ernährungssicherheit: biobasierte Lösungen für die Herstellung von Futtermitteln (und eventuell Lebensmitteln) auf Basis von biogenen Reststoffen.

Die Verwertung und Nutzung von Abfall- und Reststoffen ist durch mehr als 20 Gesetze und Verordnungen von der Bioabfallverordnung über das Erneuerbare-Energien-Gesetz bis zur Altholzverordnung eng geregelt (Schüch, 2020). Richtschnur für alle Abfälle – auch die biogenen Abfälle – in Deutschland ist die im Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) festgelegte Abfallhierarchie, welche die Rangfolge der Maßnahmen der Abfallbewirtschaftung vorgibt: 1) Vermeidung, 2) Vorbereitung zur Wiederverwendung, 3) Recycling, 4) sonstige Verwertung, insbesondere energetische Verwertung, 5) Beseitigung (KrWG §6). Um die kaskadische Nutzung zu stärken, wurden die gesetzlichen Regelungen zuletzt zugunsten der stofflichen Verwertung geändert: Die EU Abfallrahmenrichtlinie von 2018 sieht vor, dass in den Mitgliedsstaaten bis Ende 2023 Maßnahmen ergriffen werden, um die Verwendung von aus Bioabfällen hergestellten Materialien zu fördern. Mit der Novellierung des Kreislaufwirtschaftsgesetzes 2020 wurde die EU-Abfallrahmenrichtlinie in deutsches Recht umgesetzt. In der Novellierung wird die stoffliche Verwertung des Bioabfalls durch die Einführung einer Recyclingquote gefördert und die rein energetische Verwertung des Bioabfalls begrenzt.

Die bestehenden rechtlichen Rahmenbedingungen – insbesondere auf europäischer Ebene – fördern demnach eine stoffliche Verwertung von biogenen Abfällen und unterstützen eine Aufwertung bzw. eine Kaskadennutzung der Bioabfälle. In der Praxis beschränkt sich die Verwertung bisher aber hauptsächlich auf Kompostierungs- und Vergärungsanlagen (letztere für eine energetische Verwertung) in Deutschland (Beumer, 2016). Einer weiteren stofflichen Verwertung stehen oftmals die Details des Abfallrechts entgegen – insbesondere die Entlassung aus dem Abfallbegriff. Einheitliche Regeln wann biogene Abfälle wieder aus dem Abfallbegriff entlassen werden, müssen entsprechend der sich entwickelnden Möglichkeiten der Rezyklierung, angepasst werden. Zudem lenken das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) (BDE, 2020) und auf europäischer Ebene die Renewable Energy Directive II (RED II) und das Europäische Emissionshandelssystem (EU-ETS) Bioabfälle und biogene Reststoffe in eine energetische Nutzung (Kircher, 2020). Auch kommunale Klimaschutzpläne in der Metropolregion sehen den Ausbau von Kapazitäten für Bioenergien vor. Um den Rohstoffwandel umfassend zu fördern, ist es daher notwendig die Rahmenbedingungen so zu gestalten, dass sie die stoffliche Verwertung von biogenen Kohlenstoffquellen unterstützen.

In diesen Zusammenhang gehört auch, dass energieintensive Verfahren auch dann gefördert werden sollen, wenn sie heute noch mangels eines ausreichenden Angebots an erneuerbaren Energien mit konventionellen Energien betrieben werden müssen. Eine derartig pragmatische Herangehensweise würde die Implementierung bioökonomischer Verfahren beschleunigen.

6. Empfehlungen

Die Ausführungen zeigen, dass gerade die Metropolregion FrankfurtRheinMain ausgezeichnete Voraussetzungen für die Entwicklung und Umsetzung von Verfahren zur stofflichen Nutzung regionaler Rest- und Abfallstoffe⁴ hat. Dieses Wissen und die wirtschaftlichen Voraussetzungen reichen für den notwendigen Strukturwandel aber nicht aus. Um den Wandel zu beschleunigen und bis 2045 abzuschließen, sind die folgenden Voraussetzungen unerlässlich:

- **RESSOURCEN UND ENERGIEN:** Die hessische Ressourcenschutzstrategie fordert Ressourcen zu schonen und die Ressourceneffizienz zu steigern, Stoffkreisläufe zu schließen und den Einsatz von Sekundärrohstoffen zu stärken. Dementsprechend ist vor der energetischen das stoffliche Verwertungspotential biogener Rest- und Abfallstoffe auszuschöpfen. Die stoffliche Nutzung der Abfall- und Reststoffe trägt zur Ressourcenschonung und Emissionsminderung bei. Die stoffliche Verwertung von Rest- und Abfallstoffen muss als Maßnahme der Treibhausgas-minderung in den hessischen Klimaschutzplan 2030 aufgenommen werden.

Für den Wandel ist es notwendig nachhaltig erzeugte Nutzenergie oder Energieträger in ausreichenden Mengen und ganzjährig bereitzustellen. Dies erfordert die Integration in überregionale Versorgungsnetze. Energieaufwändig ist insbesondere die Verwertung von CO₂, für die die Chemieindustrie und der Flugverkehr in der Region besonderes Potential bieten. Um den Übergang in die industrielle Praxis zu beschleunigen, soll die Implementierung von Verfahren der zirkulären Bioökonomie auch dann gefördert werden, wenn der Energiebedarf noch nicht vollständig aus erneuerbaren Quellen gedeckt werden kann. Vorbild ist hier die Elektromobilität, die, obwohl der Strommix heute noch nicht vollständig erneuerbar ist, gefördert wird.

- **RECHTLICHE RAHMENBEDINGUNGEN:** Das geltende Abfallrecht führt in der Praxis zur Bevorzugung der energetischen Verwertung. Die Abfallklassifizierung sollte deshalb den sich entwickelnden Möglichkeiten der zirkulären Bioökonomie angepasst werden.
- **INFRASTRUKTUR:** Die Industriestandorte entsprechen bezüglich ihrer eigenen und der öffentlich bereitgestellten Infrastruktur heute vorwiegend dem Bedarfsprofil der fossil-basierten Wirtschaft. Sie müssen zukünftig den Bedingungen der zirkulären Bioökonomie angepasst werden. Das betrifft neben der Energieversorgung insbesondere auch die Logistik, die für die Rohstoffversorgung großvolumige Transport-, Lade- und Speichereinrichtungen brauchen wird. Auch die private Infrastruktur der Industriestandorte muss entsprechend weiterentwickelt werden, da-

⁴ einschließlich Abwässer und kohlenstoffhaltiger Abgase

mit eine zirkuläre Bioökonomie im industriellen Maßstab umgesetzt werden kann. Beide, öffentliche und private Infrastruktureinrichtungen müssen sorgfältig aufeinander abgestimmt werden. Die Verarbeitung von Rest- und Abfallstoffen, insbesondere von CO₂, ist energieintensiv.

- **REALISIERUNGSPLAN:** Für die zirkuläre Bioökonomie in der Metropolregion und ihren Kommunen soll auf der Basis einer Lebenszyklus-orientierten und die regionalen Gegebenheiten berücksichtigenden Analyse ein umfassender Realisierungsplan entwickelt werden. Dieser muss sich an den UN Nachhaltigkeitszielen, den Planungen des Bundes und der an der Metropolregion beteiligten Bundesländer orientieren sowie die Belange aller betroffenen Akteure und Wirtschaftssektoren berücksichtigen. Heutige Planungen fokussieren häufig unausgewogen auf bestimmte Anwendungen wie beispielsweise erneuerbare Energien.

Die Metropolregion bleibt bezüglich der Zahl an Unternehmensgründungen und der Einwerbung von privatem Kapital hinter ihrem Potential zurück. Die Transformation bietet etablierten als auch neuen Unternehmen Chancen. Der Realisierungsplan muss deshalb eine Gründungs-offensive, die Gründungsideen, Führungspersonal und Kapital in die Metropolregion zieht, beinhalten. Der Transformationsfortschritt und die Erreichung der Nachhaltigkeitsziele müssen durch ein umfassendes Monitoring erfasst werden. Dies dient nicht nur der Dokumentation des Fortschritts, sondern ist ein Mittel zur Zielerreichung. Für die Metropolregion wird ein von den beteiligten Bundesländern beauftragtes Monitoring auf Grundlage der Erkenntnisse des Bioökonomie-Monitoringprogramms des Bundes empfohlen. Dieses sollte auch heute noch nicht erfasste statistische Daten zu beispielweise bioökonomierelevanten Branchenanteile innerhalb der Klassifizierung der Wirtschaftszweige, Kaskaden- und Koppelnutzung, biogenen Rest- und Abfallstoffen sowie biogenen CO₂-Emissionen beinhalten.

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
BioBall	Bioökonomie im Ballungsraum
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
CCS	Carbon Capture and Storage
CO ₂	Kohlendioxid
DECHEMA	Gesellschaft für chemische Technik und Biotechnologie e.V.
DESTATIS	Statistisches Bundesamt
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
ETS	Emissions trading system
EU	Europäische Union
EU-ETS	EU Emissions Trading System
EUR	Euro
FuEuI	Forschung, Entwicklung und Innovation
HTal	Hessen Trade and Invest
IBWF	Institut für Biotechnologie und Wirkstoff-Forschung der Universität Mainz
KBBE	Knowledge Based Bioeconomy
KMU	Kleine und mittelständische Unternehmen
LBF	Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit, Darmstadt
LOEWE	Landes-Offensive zur Entwicklung Wissenschaftlich-ökonomischer Exzellenz (Hessisches Forschungsförderungsprogramm)
MPI	Max-Planck-Institut
Mio.	Millionen
Mrd.	Milliarden
PtL	Power-to-Liquid
RED II	Renewable Energy Directive II
TH	Technische Hochschule
TU	Technische Universität
Tab.	Tabelle
VCI	Verband der chemischen Industrie e.V.
KrWG	Kreislaufwirtschaftsgesetz
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
ggf.	gegebenenfalls

Literaturverzeichnis

- Bayerische Staatsregierung (2020). *Bioökonomiestrategie Bayern. Zukunft. Bioökonomie.Bayern*. München.
- BDE (2020). *Erneuerbare-Energien-Gesetz: BDE regt Änderungen der Novelle 2021 an*. <https://recyclingportal.eu/Archive/58849>, abgerufen am 09.10.2021
- Beumer, H. S., Schock, G. et al. (2016). *Erfassung des biogenen Reststoffpotenzials in den Regierungsbezirken Düsseldorf und Köln sowie den Provinzen Limburg und OostBrabant*. Phytowelt.
- BMBF (2010). *Nationale Forschungsstrategie BioÖkonomie 2030. Unser Weg zu einer biobasierten Wirtschaft*. Berlin.
- BMBF (2016). *Bekanntmachung der Fördermaßnahme "Innovationsräume Bioökonomie"*. <https://www.bmbf.de/foerderungen/bekanntmachung-1250.html>, abgerufen am 09.10.2021
- Bundesministerium für Umwelt, N. u. (12.05 2021). *Novelle des Klimaschutzgesetzes beschreibt verbindlichen Pfad zur Klimaneutralität 2045 (Pressemitteilung)*. Berlin.
- Bundesregierung (2020). *Nationale Bioökonomiestrategie*.
- Center for Environmental Systems Research (2020). *Pilotbericht zum Monitoring der deutschen Bioökonomie*. Kassel.
- DESTATIS (2008). *Gliederung der Klassifikation der Wirtschaftszweige, Ausgabe 2008*. <https://www.destatis.de/DE/Methoden/Klassifikationen/Gueter-Wirtschaftsklassifikationen/Downloads/gliederung-klassifikation-wz-3100130089004.html>, abgerufen am 09.10.2021
- Europäische Kommission (2005). *New perspectives on the Knowledge-Based Bio-Economy (KBBE) Conference Report*. Brüssel, Belgien.
- Europäische Kommission (2018). *A sustainable bioeconomy for Europe: strengthening the connection between economy, society and the environment. Updated Bioeconomy Strategy*.
- EY (2021). *Growth by diversity: German Tech start-ups defy the pandemic. Venture capital and start-ups in Germany 2020*.
- FrankfurtRheinMain (2021). *FrankfurtRheinMain in Zahlen*. <https://www.region-frankfurt.de/Services/Statistiken-Prognosen/Statistik-Viewer/> abgerufen am 09.10.2021
- Hessische Landesregierung (2013). *Hessische Innovationsstrategie*. Wiesbaden.
- Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2018). *Ressourcenschutzstrategie Hessen*. Wiesbaden.
- Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung (2017). *Bioökonomie in Hessen. Auf dem Weg zur Wirtschaftsform der Zukunft*. Wiesbaden. https://www.technologieland-hessen.de/mm/mm001/Bioökonomie_in_Hessen_final_screen.pdf, abgerufen am 09.20.2021
- ifo-Institut (2019). *Ermittlung wirtschaftlicher Kennzahlen und Indikatoren für ein Monitoring des Vorschreitens der Bioökonomie*.
- Kircher, M. (2020). *Weg vom Öl: Potenzial und Grenzen der Bioökonomie*. Springer Verlag.
- Landeshauptstadt Mainz (2017). *"Masterplan 100 % Klimaschutz"*.
- Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft, Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg (2019). *Nachhaltige Bioökonomie*. Stuttgart.
- Schüch, H. (2020). *Abfall- und Reststoffbasierte Bioökonomie*. In: M. Thrän, *Das System Bioökonomie*. Springer Verlag.
- Staatskanzlei und Ministerium für Kultur des Landes Sachsen-Anhalt (2021). *Bioökonomie als Treiber für Wertschöpfung und Innovation*. Magdeburg.

Umweltbundesamt (2021). *Primärenergieverbrauch*.

<https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/primaerenergieverbrauch#definition-und-einflussfaktoren>,
abgerufen am 09.10.2021

VCI (2017). *Einsatz nachwachsender Rohstoffe in der chemischen Industrie unter der Anwendung von Massenbilanzansätzen*. <https://www.vci.de/langfassungen/langfassungen-pdf/2017-03-06-vci-position-einsatz-nachwachsende-rohstoffe-massenbilanzierung.pdf>, abgerufen am 09.10.2021

VCI (2020). *Rohstoffbasis der Chemieindustrie*. <https://www.vci.de/vci/downloads-vci/top-thema/argumente-positionen-rohstoffbasis-chemieindustrie.pdf>, abgerufen am 09.10.2021

VCI (2021). *VCI Chemieunternehmen*. <https://www.vci.de/der-vci/mitglieder/chemie-unternehmen/seiten.jsp>, abgerufen am 09.10.2021