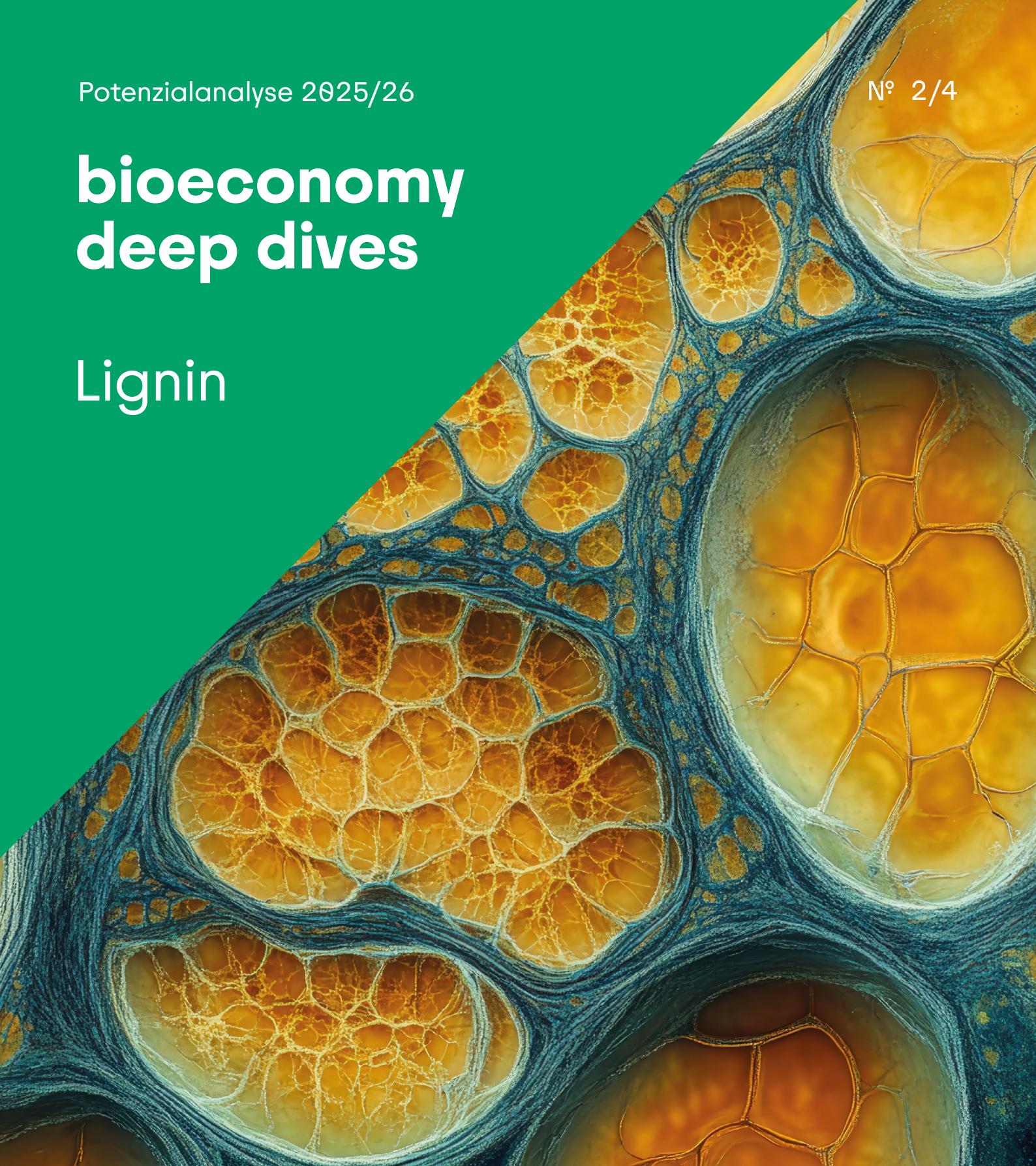


bioeconomy deep dives

Lignin



ROOTCAMP



rentenbank

inhalt

Zusammenfassung	4
Summary	6
1. Einleitung	8
1.1 Bioökonomie – Definition und Motivation	9
1.2 Bioeconomy Deep Dives	10
1.3 Bedeutung von Lignin für die Bioökonomie	11
1.4 Zielsetzung	14
2. Methode und Daten	15
2.1 PESTEL-Analyse	15
2.2 Workshop-Design	16
3. Ergebnisse	16
3.1 Lignin-Wertschöpfungskette	16
3.2 PESTEL-Analyse der Lignin-Wertschöpfungskette	19
3.3 Innovationslücken und Skalierungshemmnisse	22
1 Fehlende Standardisierung und technologische Hürden	23
Best Practice: Lignopure	24
2 Kostenstruktur und fehlende Preisanreize	26
Best Practice: Batterieforschung an der Universität Jena	27
3 Unzureichende Pilotinfrastruktur	28
Best Practice: Pilotanlage von Mercer Rosenthal	29
4 Regulatorik	30
5 Fehlende Austauschplattform	30
4. Fazit	31
4.1 Empfehlungen	31
4.2 Limitationen	33
Liste der interviewten Expertinnen und Experten	34
Quellen	36

Zusammenfassung

Um die Ernährungssicherheit bei gleichzeitiger Deckung des steigenden Bedarfs der Energiewirtschaft und der verarbeitenden Industrie zu gewährleisten, muss die Produktion durch biologische Systeme erhöht und die Nutzung der Ressourcen effizienter gestaltet werden. Diese zukunftsweisende Wirtschaft, die auf biobasierten Ressourcen und zirkulären Prozessen basiert, wird Bioökonomie genannt. Um das Potenzial geeigneter Wertschöpfungsketten zu heben, müssen Skalierungshemmnisse aufgelöst und Innovationslücken geschlossen werden. Zu diesem Zweck hat das RootCamp als Innovationshub mit den Bioeconomy Deep Dives ein Format entwickelt, das auf einer zukunftsgerichteten Analyse basiert und die Identifikation dieser Limitationen ermöglicht.

Unter direkter Beteiligung relevanter Akteurinnen und Akteure aller Wertschöpfungsstufen werden verschiedene Problemstellungen im Bereich der Bioökonomie analysiert, um die konkrete Umsetzung von Lösungsansätzen zu ermöglichen. Die Bioeconomy Deep Dives wurden von der Landwirtschaftlichen Rentenbank und dem Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Heimat (BMLEH) in Auftrag gegeben. Nachdem zunächst das Themengebiet Nutzhanf näher betrachtet wurde, wird im zweiten Durchgang des Formats die Lignin-Wertschöpfungskette untersucht.

Als nach Zellulose und Hemizellulose häufigste organische Verbindung der Erde ist Lignin in riesigen Mengen verfügbar und birgt ein substanzielles Transformationspotenzial. Mit etwa 20 bis 30 Prozent der Trockenmasse verholzter Pflanzen verleiht Lignin pflanzlichem Gewebe Druckfestigkeit und Beständigkeit. Insbesondere bei der Herstellung von Zellstoff fällt Lignin in großen Mengen an: Es wird in industriellen Prozessen separiert und in der Regel zur Deckung des Energiebedarfs der Zellstoffanlagen verbrannt. Seit einigen Jahren wird an einer stofflichen Verwertung dieses Rohstoffs gearbeitet. Die Ideen und Forschungsinitiativen sind vielfältig. Dennoch ist Lignin trotz seiner Verfügbarkeit und vielseitigen Nutzungsmöglichkeiten mit Hindernissen konfrontiert.

Durch die Analyse der einzelnen Stufen der Lignin-Wertschöpfungskette konnten verschiedene Innovationslücken und Skalierungshemmnisse in der Valorisierung identifiziert werden: Lignin ist als Polymer sehr komplex, kein homogenes Material und stellt Forschende sowie Verarbeitende in der chemischen Industrie vor technologische Herausforderungen. Häufig erfordert es die Erstellung neuer Rezepturen für Produkte, da bestehende Inhaltsstoffe nicht direkt ersetzt werden können. Zudem fehlt den Akteurinnen und Akteuren eine Plattform zum Informationsaustausch sowie eine Übersicht über kommerziell verfügbare Lignine. Eine weitere Herausforderung bilden die Kostenstruktur und fehlende Anreize für die Verarbeitung von Lignin, da derzeit die Verwendung petrochemischer Ressourcen bei der Herstellung vieler Materialien noch profitabler und unkomplizierter ist. Darüber hinaus bergen chemische Modifikationen von Lignin das Risiko, unter restriktive Regelwerke zu fallen. Viele Anwendungen schaffen es nicht, vom Labormaßstab in den breiten Markt überzugehen.

Es können folgende Empfehlungen gegeben werden: Für die Akteurinnen und Akteure ist es essenziell, sich besser zu vernetzen, Wissen zu teilen und einen Marktüberblick zu gewinnen. Eine verbindende Plattform, die idealerweise auf Initiative der Industrie entsteht, könnte eine gute erste Anlaufstelle sein. Des Weiteren ist die Schaffung eines „Level-Playing-Fields“ wichtig, das biogenen Materialien bessere Chancen einräumt, sich gegenüber fossilen Alternativen am Markt zu behaupten. Ebenso kann die Förderung von Pilotanlagen, die Anreizsetzung zur Herstellung und Nutzung biobasierter Materialien oder eine Standardisierungsinitiative für Ligninqualitäten dafür sorgen, dass Innovationen schneller auf den Markt kommen, zuverlässig verfügbar und skalierbar sind. Nur so kann die Ressource Lignin ihr volles Potenzial ausschöpfen und zur Transformation der Wirtschaft hin zur Bioökonomie beitragen.

Das BMLEH hat den vorliegenden Bericht als Informationsunterlage von den Verfassern, RootCamp und Landwirtschaftliche Rentenbank, entgegengenommen.

Summary

To ensure food security while simultaneously meeting the growing demand from the energy and processing industries, production through biological systems must be increased and resource use made more efficient. This forward-looking economy, based on bio-based resources and circular processes, is referred to as the bioeconomy. To unlock the potential of suitable value chains, scaling barriers must be removed and innovation gaps closed. For this purpose, RootCamp, as an innovation hub, has developed the **Bioeconomy Deep Dives**, a format that, based on a future-oriented analysis, enables the identification of these limitations. Through the direct involvement of relevant actors from all stages of the value chain, various challenges in the field of bioeconomy are analyzed to facilitate the concrete implementation of solution approaches. The Bioeconomy Deep Dives are commissioned by Landwirtschaftliche Rentenbank and the Federal Ministry of Food, Agriculture and Home Affairs. Following the first edition focused on industrial hemp, the second round of the format centers on the lignin value chain.

As the most abundant organic compound on Earth after cellulose and hemicellulose, lignin is available in vast quantities and holds substantial transformation potential. Accounting for about 20–30 percent of the dry mass of woody plants, lignin provides plant tissue with compressive strength and durability. In particular, in pulp production, lignin accumulates in large quantities: it is separated during industrial processes and typically burned to cover the energy needs of pulp mills. For several years, efforts have been made to utilize this resource in material applications. The ideas and research initiatives are diverse, yet despite its availability and versatile potential uses, lignin faces barriers.

By analyzing the individual stages of the lignin value chain, various innovation gaps and scaling barriers in valorization have been identified: lignin, as a polymer, is highly complex, non-homogeneous, and presents researchers and processors in the chemical industry with technological challenges. It often requires the development of new product formulations, as it is not possible to directly substitute existing ingredients. In addition, stakeholders lack both a platform for information exchange and an overview of commercially available lignins. Another challenge lies in cost structures and the absence of incentives to process lignin: at present, the use of petrochemical resources in the production of many materials remains more profitable and straightforward. Furthermore, chemical modifications of lignin carry the risk of falling under restrictive regulations. Many applications fail to move beyond the laboratory scale into broad market adoption.

Several recommendations are emerging: first, it is essential for stakeholders to be better connected, share knowledge, and gain a market overview. The establishment of a unifying platform, ideally initiated by industry, could serve as a valuable first point of contact. Furthermore, the creation of a “level playing field” is important—granting biogenic materials better opportunities to compete in the market against fossil alternatives. In addition, supporting pilot plants, incentivizing the production and use of bio-based materials, and launching a standardization initiative for lignin qualities can help ensure that innovations reach the market faster, are reliably available, and can be scaled. Only then can the resource lignin realize its full potential and contribute to the transformation of the economy towards a bioeconomy.

The BMLEH has received the present report as an informational document from the authors, RootCamp and Landwirtschaftliche Rentenbank.

1. Einleitung

Die Agrar- und Ernährungswirtschaft unterliegt einem stetigen Wandel. Angesichts endlicher fossiler Ressourcen, des Klimawandels und sich ändernder Konsumpräferenzen gewinnt die Bioökonomie als zukunftsähiges Wirtschaftsmodell zunehmend an Bedeutung. Aufgrund der angestrebten nachhaltigen und zirkulären Nutzung biologischer Ressourcen liegt ein besonderer Schwerpunkt auf der Verwertung biologischer Abfälle, Rückstände und Nebenströme bei der Produktion von Lebensmitteln, Energie und Industriegütern. Beim Übergang zu einer biobasierten Wirtschaft wird darauf abgezielt, auf diese Weise die Abhängigkeit von fossilen Ressourcen zu verringern, eine resiliente und effiziente Produktion aufzubauen sowie zum Klima- und Umweltschutz beizutragen.

Die am 27. November 2025 von der Europäischen Kommission veröffentlichte Strategie für eine wettbewerbsfähige und nachhaltige Bioökonomie zielt darauf ab, Innovation zu fördern und Europäische Unternehmen bei der Transformation zu unterstützen (European Commission, 2025). Damit schließt die Europäische Kommission an die Bioökonomie Strategie von 2012 beziehungsweise deren Aktualisierung von 2018 an und folgt weltweiten Bestrebungen, ressourcenbewusst zu wirtschaften und die Abhängigkeit von fossilen Rohstoffen zu reduzieren. So waren unter anderem das Global Forum for Food and Agriculture (GFFA) im Jahr 2025 sowie die Klimakonferenz der Vereinten Nationen COP 28 im Jahr 2023 ganz dem Ziel gewidmet, das Ende der fossilen Ära einzuleiten (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), 18. Januar 2025; United Nations (UN), 2023).

Die gegebene Dringlichkeit sowie die Anzahl und die Höhe der Effekte externer Faktoren führen zu einer komplexen Situation, in der Planbarkeit fehlt oder Handlungsoptionen von einzelnen Stakeholdern nicht realisiert werden können. Dem hohen, durch gleichzeitig auftretende Faktoren bedingten Veränderungsbedarf innerhalb einer Wertschöpfungskette wird durch das multilaterale Format der Bioeconomy Deep Dives Rechnung getragen. Die abstrakt erscheinenden regionalen Auswirkungen können durch die Fokussierung auf definierte Anwendungsbereiche und die Einbindung der relevanten Stakeholder bearbeitet werden. Auf Basis dieser Analyse können konkrete Maßnahmen abgeleitet und in gemeinschaftliche Umsetzungsprojekte überführt werden.

1.1 Bioökonomie – Definition und Motivation

Die Nutzung fossiler Ressourcen hat die industrielle Revolution ermöglicht und maßgeblich zu hohem Lebensstandard bei einer wachsenden Weltbevölkerung beigetragen. Die Umstellung auf eine ressourcenschonendere Wirtschaftsweise innerhalb planetarer Grenzen erhöht den Bedarf an biobasierten Materialien und Energiequellen, während zugleich für die globale Nahrungsmittelsicherheit gesorgt werden muss. Für die notwendige Steigerung des Ertrags sowie der Nutzungseffizienz ist ein Zusammenspiel verschiedener Sektoren, Technologien und Prozesse innerhalb der Bioökonomie erforderlich.

„Bioökonomie“ – Definition der Bundesregierung

Die Bioökonomie umfasst die Erzeugung, Erschließung und Nutzung biologischer Ressourcen, Prozesse und Systeme, um Produkte, Verfahren und Dienstleistungen in allen wirtschaftlichen Sektoren im Rahmen eines zukunftsähigen Wirtschaftssystems bereitzustellen. Sie hat das Ziel, Ökonomie und Ökologie für ein nachhaltiges Wirtschaften zu verbinden.

(Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und BMEL, 2020).

Die aktuelle Forschungs- und Politikstrategie der Bundesregierung unterstreicht die Relevanz der Bioökonomie. So ist sie zentraler Bestandteil der am 31. Juli 2025 beschlossenen Hightech-Agenda (Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR), 2025). Es ist nun wichtig, diese Innovations- und Investitionskraft zu nutzen, um die notwendige Transformation des Wirtschaftssystems hin zu mehr Nachhaltigkeit voranzutreiben (Bioökonomie.de, 27. April 2020; BMBF und BMEL, 2020).

Die in der Land- und Forstwirtschaft produzierte pflanzliche Biomasse bildet eine der Grundlagen der Bioökonomie. Die Landwirtschaftliche Rentenbank möchte, als Förderbank für die deutsche Agrarwirtschaft und den ländlichen Raum, die stoffliche und energetische Nutzung von Agrarerzeugnissen oder Nebenprodukten fördern und den Übergang zu einer biobasierten, emissionsarmen Kreislaufwirtschaft mitgestalten. Vor diesem Hintergrund hat die Landwirtschaftliche Rentenbank im Auftrag des BMLEH, die vom Innovationshub RootCamp entwickelten Bioeconomy Deep Dives beauftragt.

1.2 Bioeconomy Deep Dives

Wertschöpfungsketten unterliegen seit jeher einem stetigen Wandel. Jeder Impuls breitet sich über die bilateralen Kontaktpunkte der Wertschöpfungsstufen aus, sodass sich Angebot und Nachfrage ausgleichen und die Effekte technologischer Neuerungen verbreitet werden. Aktuell summieren sich jedoch mehrere externe Faktoren wie Bevölkerungswachstum, Klimakrise und das Schwinden natürlicher Ressourcen bei gleichzeitig hoher Dynamik zu einem bislang unbekannten Transformationsdruck. Parallel dazu können zukunftsträchtige Wertschöpfungsketten ihr Potenzial noch nicht entfalten.

Die vom RootCamp konzipierten Bioeconomy Deep Dives zielen darauf ab, geeignete Wertschöpfungsketten zu analysieren und gemeinsam mit den relevanten Akteurinnen und Akteuren Skalierungshemmnisse sowie ungenutzte Potenziale zu verstehen, zu benennen und zu priorisieren. Durch die direkte Beteiligung von Akteurinnen und Akteuren können Innovationslücken identifiziert, überbrückt und Hemmnisse beseitigt werden.

Die für das Format geeigneten Wertschöpfungsketten zeichnen sich durch ein hohes Veränderungspotenzial des bestehenden Status quo aus. Die Bewertungsstruktur berücksichtigt Faktoren wie technologische Entwicklungen und Marktveränderungen sowie externe Einflüsse wie Infrastruktur, Energie, Regularien und Umwelt. Die kritische Masse wird durch ein ausreichendes Gesamtvolumen eines homogenen Materialflusses, eines Nutzungspfads oder regionaler Konzentration erreicht.

Durch die Betrachtung der gesamten Wertschöpfungskette entlang des Stoffstroms werden alle relevanten Stakeholder berücksichtigt und ein multilateraler Austausch ermöglicht. Die verschiedenen Perspektiven können sich so ergänzen. Unter Annahme einer mittelfristig möglichen skalierten Entwicklung werden Herausforderungen und Chancen skizziert und mögliche Auswirkungen direkt adressierbar gemacht. Regulatorische Hemmnisse, fehlende Verarbeitungsinfrastrukturen, Bedarf an Kooperationen, Innovationslücken, technologische Lösungen oder Entwicklungsbedarfe werden sichtbar und können priorisiert sowie gemeinschaftlich angegangen werden. Die der Transformation zugrunde liegenden global wirkenden Herausforderungen werden spezifisch und fokussiert bearbeitet, sodass Entscheidungstragende innerhalb der Wertschöpfungskette aktiv werden können.

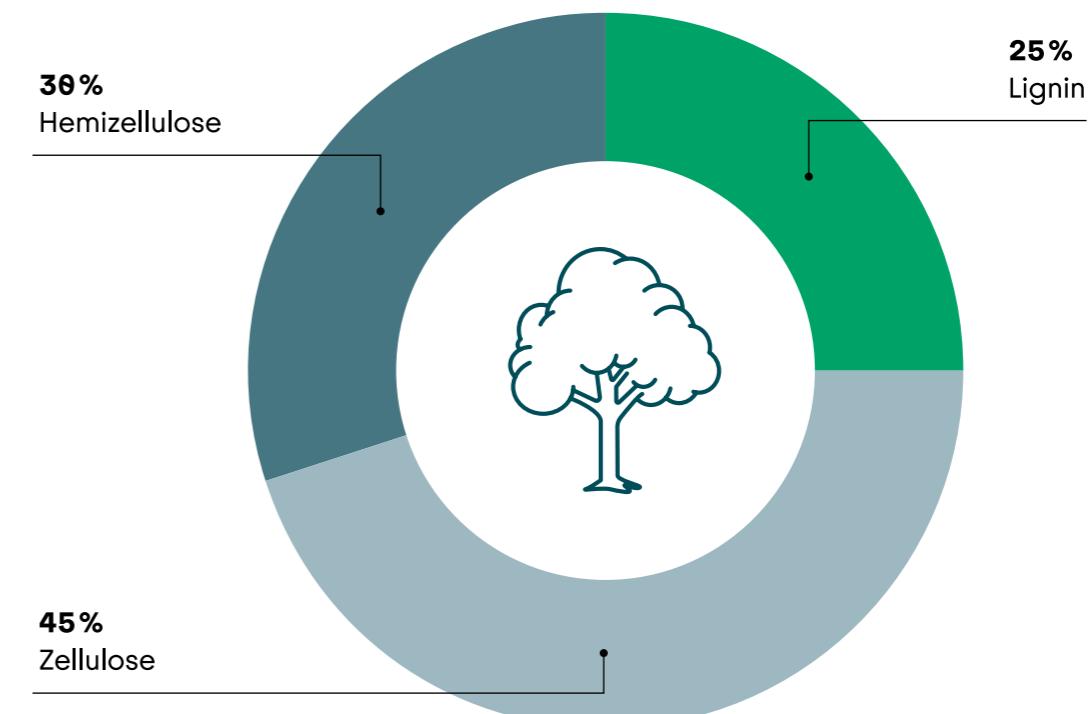
1.3 Bedeutung von Lignin für die Bioökonomie

Als Bestandteil lignozellulosehaltiger Biomasse und als eine der häufigsten organischen Verbindungen der Erde hat Lignin ein großes Potenzial, fossile Ressourcen zu ersetzen. Sein Vorkommen in der Natur und die Vielfalt der potenziellen Einsatzmöglichkeiten machen es zu einer vielversprechenden Ressource für die Transformation hin zur Bioökonomie.

Lignin ist ein natürliches organisches Polymer und funktioniert, vereinfacht ausgedrückt, als Klebstoff der Natur. Es befindet sich in den Zellwänden aller Pflanzen und verbindet deren Fasern. Im Zusammenspiel mit Zellulose und Hemizellulose sorgt es für Druckfestigkeit und Stabilität. Je mehr Lignin eine Pflanze enthält, desto stärker ist sie. Die höchste Lignindichte findet sich in Bäumen, die zu 20 bis 30 Prozent aus Lignin bestehen.

Holzchemie

Die Stütz- und Gerüstsubstanzen Zellulose, Hemizellulose und Lignin



Hinweis: Je nach Holzart ist der Anteil dieser natürlichen Substanzen unterschiedlich verteilt. Laubholz enthält in der Regel weniger Lignin als Nadelholz.

Extraktionsprozesse

In der Zellstoffindustrie und in Bioraffinerien werden weltweit jedes Jahr zwischen 50 und 100 Megatonnen Lignin gewonnen – mit steigender Tendenz (Bajwa et al., 2019; Li et al., 2021; Shah et al., 2023). In der Regel fällt es als Nebenprodukt der Papier- und Zellstoffherstellung an. In diesen Prozessen ist Lignin jedoch unerwünscht, da es eine Braunfärbung bewirkt, an der Luft vergilbt und das Papier schwächt. Es wird üblicherweise im sogenannten Kraftverfahren von der Zellulose getrennt. Zwar fallen bei diesem Verfahren jährlich 50 bis 55 Megatonnen Lignin an, jedoch wird nur ein sehr kleiner Teil als technisches Produkt extrahiert und vermarktet (Market.us, 2025).

Dies führt zu einer jährlichen Produktion von mehr als 130 Megatonnen Schwarzlauge, die in der Regel verbrannt wird, um die Zellstofffabriken mit Energie zu versorgen (Bruijnincx et al., 2015). Das Kraftverfahren ist das am weitesten verbreitete Verfahren zur Delignifizierung von Holz. Nach absolut anfallender Menge entfallen darauf circa 80 bis 85 Prozent (630 Kilotonnen Lignin) des weltweiten jährlichen Holzaufschlusses (Mastrolitti et al., 2021; Peretti et al., 2015). Die größten Produzenten von Kraft-Lignin sind derzeit Ingevity (USA) mit einer jährlichen Produktion von 60 Kilotonnen und Stora Enso (Finnland) mit einer jährlichen Produktion von 50 Kilotonnen (Mastrolitti et al., 2021; Correa-Guillen et al., 2025).

Im Sulfitverfahren zur Zellstoffherstellung wird Holz mit schwefliger Säure und Sulfit-Salzen aufgeschlossen; dabei löst sich das Lignin durch Sulfonierung und geht als wasserlösliche Lignosulfonate in die Kochlauge über. Dieses „Spent Sulfite Liquor“ wird anschließend eingedampft, gereinigt und neutralisiert, sodass Lignosulfonate als Nebenprodukt extrahiert und in fester oder flüssiger Form vermarktet werden können. Obwohl im Kraftverfahren potenziell mehr Lignin extrahiert werden könnte, haben Lignosulfonate aus dem Sulfitverfahren mit 80 bis 90 Prozent den größten Anteil an den weltweit verkauften technischen Ligninen. Führende Produzenten von Lignosulfonat-Lignin sind Borregaard (Norwegen) mit 100 Kilotonnen pro Jahr, Rayonier (Frankreich, USA, Kanada) mit 150 Kilotonnen pro Jahr und Domsjo Fabriker (Schweden) mit 120 Kilotonnen pro Jahr (Mastrolitti et al., 2021).

Andere Verfahren zur Ligninextraktion wie Organosolv oder Soda haben einen geringeren Anteil und bedienen primär Spezialmärkte sowie Forschung und Entwicklung.

Einsatzmöglichkeiten

Derzeit befinden sich viele Anwendungen von Lignin noch in der Pilotphase, und in Zellstofffabriken anfallendes Kraft-Lignin wird überwiegend energetisch genutzt. Auf diese Weise sind Zellstofffabriken in der Regel energieautark und können sogar überschüssige Energie ins Netz einspeisen. Als Abfall im herkömmlichen Sinne ist Lignin also nicht zu betrachten. In einer zirkulären Wirtschaft sollten Rohstoffe und natürliche Ressourcen jedoch so lange und häufig wie möglich genutzt und in eine Kaskadennutzung¹ überführt werden (DIN e.V., 2023). In der unmittelbaren Zukunft sollten Bioraffinerien, die lignozellulosehaltige Materialien verarbeiten, die Ligninfraktion durch einen Kaskadenansatz nutzen, um eine ökonomische wie ökologische Maximierung der Nutzung zu erreichen.

Für Forschung und Wirtschaft birgt Lignin aus den verschiedenen Extraktionsverfahren ein großes Potenzial für die Entwicklung von Produkten mit reduziertem Anteil an fossil basierten Materialien. Es kann beispielsweise bei der Herstellung von Kunststoffen, Kraftstoffen, Asphalt, Batterien, Kohlefasern, in Bau- und Konstruktionsmaterialien sowie als Brand- und UV-Schutz verwendet werden. Dank Lignin könnte der Einsatz von Öl und Kohle in Zukunft reduziert werden. Bislang wird der Rohstoff stofflich kaum genutzt, doch seine Verwendung nimmt stetig zu. So wurde Lignin als Bindemittel beispielsweise für den Asphalt mehrerer Straßen in Estland getestet: Laut der estnischen Firma Fibenol könnten 25 Prozent des herkömmlich verwendeten Bitumens durch ihr Material Lignova ersetzt und das enthaltene CO₂ langfristig gebunden werden (e-Estonia, 2023).

Derzeit sind über 50 verschiedene Ligninarten in Verwendung, je nach Rohstoff und Aufschlussverfahren. Da Kraft-Lignin eher hydrophob, weniger löslich, aber reaktiver ist, eignet es sich gut für Materialanwendungen und thermische Nutzung. Lignosulfonat-Lignin aus dem Sulfitverfahren ist hingegen hydrophil, gut wasserlöslich, bereits funktionalisiert und eignet sich besonders als Dispergiermittel, Bindemittel oder Zusatzstoff.

¹Unter Kaskadennutzung ist die mehrfache Verwendung eines Rohstoffs in unterschiedlichen Anwendungen zu verstehen.

2. Methode und Daten

1.4 Zielsetzung

Mit dieser Analyse sollen das Potenzial von Lignin im Zuge der Transformation hin zu einer Bioökonomie umfassend beleuchtet und die aktuellen Entwicklungen in Deutschland sowie im Ausland dargestellt werden. Zudem ist mit der vorliegenden Potenzialanalyse beabsichtigt, bestehende Herausforderungen und Innovationslücken innerhalb der Wertschöpfungsketten zu identifizieren und potenzielle Lösungsansätze zu skizzieren. Durch einen integrativen Ansatz sowie die Vernetzung relevanter Akteurinnen und Akteure und die Förderung des Wissensaustauschs sollen die stoffliche Nutzung und Valorisierung von Lignin im Sinne der Bioökonomie in Deutschland gezielt gefördert werden.

Zur Identifizierung relevanter Stakeholderinnen und Stakeholder entlang der Wertschöpfungskette, wurde zunächst eine Marktrecherche durchgeführt. In den anschließenden Interviews kamen Gesprächsleitfäden zum Einsatz, die zentrale Fragen abdeckten und Orientierung boten, gleichzeitig aber ein ergebnisoffenes Gespräch ermöglichten. Zusätzlich wurden die Befragten gebeten, weitere potenzielle Stakeholderinnen und Stakeholder, Ressourcen oder Kontaktpersonen in ihrem unmittelbaren Umfeld innerhalb der Wertschöpfungskette zu empfehlen.

2.1 PESTEL-Analyse

Um die Wertschöpfungskette besser zu verstehen und Innovationslücken sowie Skalierungshemmnisse herauszuarbeiten, wurden die Erkenntnisse aus den Experteninterviews und dem Workshop in Form einer PESTEL-Analyse aufgearbeitet. Die PESTEL-Analyse ist ein strategisches Rahmenwerk zur Untersuchung externer Faktoren, die eine Branche beeinflussen. Sie kann helfen, instabile Umfeldverhältnisse aufzudecken, die in der Strategieplanung Berücksichtigung finden sollten (Kaufmann, 2021).

Die PESTEL-Analyse ist in folgende Kategorien unterteilt:

- 1 **Politische Faktoren:** Gesetzgebung, Umweltvorschriften, Subventionen, Handelsabkommen
- 2 **Ökonomische Faktoren:** Rohstoffpreise, Marktdynamik, Investitionsbereitschaft
- 3 **Soziokulturelle Faktoren:** Verbraucherverhalten, Trends, öffentliche Wahrnehmung
- 4 **Technologische Faktoren:** Innovationsgrad, Forschung und Entwicklung, neue Materialien
- 5 **Ökologische Faktoren:** Nachhaltigkeit, Kreislaufwirtschaft, CO₂-Bilanz
- 6 **Rechtliche Faktoren:** Regulierungen, Standards, Zertifizierungen

2.2 Workshop-Design

Um Stakeholderinnen und Stakeholder der gesamten Lignin-Wertschöpfungskette zusammenzubringen, fand am 15. Mai 2025 in den Räumlichkeiten der RootCamp GmbH in Hannover ein Workshop statt. Insgesamt nahmen zwölf Personen teil. Vertreten waren dabei sowohl die Forstwirtschaft, Verbände, wissenschaftliche Einrichtungen als auch Konzerne und Startups.

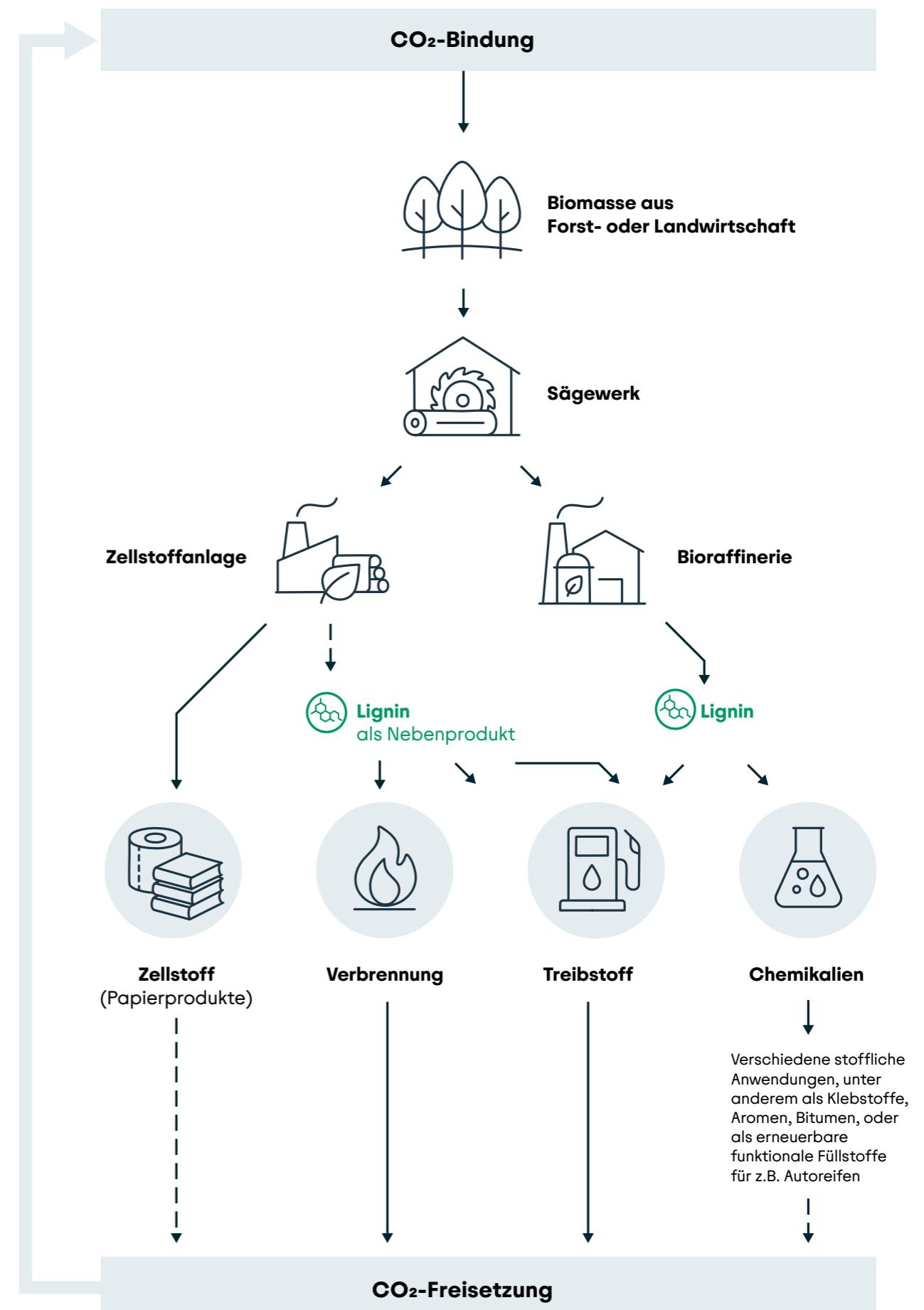
Der Workshop wurde inhaltlich und zeitlich in zwei Teile gegliedert: Vormittags sollte der Status quo festgestellt werden, während am Nachmittag der Blick in die Zukunft der Ligninvalorisierung gerichtet, Innovationslücken und Skalierungshemmnisse diskutiert und potenzielle Lösungen erörtert wurden. Besonders spannend war die Vielzahl an Ideen und Pilotprojekten für Einsatzmöglichkeiten von Lignin. Die Erkenntnisse aus dem Workshop sind unmittelbar in den vorliegenden Bericht eingeflossen.

3. Ergebnisse

3.1 Lignin-Wertschöpfungskette

In der Analyse der Wertschöpfungskette wurden sechs Hauptbereiche identifiziert: Zu Beginn der Wertschöpfungskette steht die Primärproduktion beziehungsweise die Gewinnung des Rohstoffs, in der Regel durch die Forstwirtschaft. Es könnten auch andere Ressourcen, wie Getreidestroh, als Ausgangsmaterial für die Ligningewinnung genutzt werden (Do et al., 2020). Dominierend in der Ligningewinnung ist jedoch das Holz.

In der nächsten Stufe erfolgt die Holzverarbeitung durch Sägewerke. Anschließend gelangt der Rohstoff entweder in eine Papier- beziehungsweise Zellstofffabrik oder in eine Bioraffinerie zur direkten Extraktion von Lignin. Im Anschluss muss das Lignin aufwendig modifiziert werden. Dies geschieht in der vierten Stufe durch sogenannte Lignintransformer. Dieser Schritt ist essenziell für die darauffolgenden Formulierungen und Produktentwicklungen in verschiedenen Industriezweigen. Zuletzt folgen die Entwicklung von Endanwendungen und die Vermarktung. Des Weiteren lässt sich ein übergeordneter Bereich für Forschung sowie Zusammenschlüsse wie Verbände und Vereine identifizieren.



Insgesamt wurden 146 Personen und Einrichtungen entlang der Wertschöpfungskette zu Gesprächen eingeladen. Wie in Tabelle 1 illustriert, konnten für diese Potenzialanalyse Perspektiven aus jedem Bereich der Wertschöpfungskette abgebildet werden. Die Einladung zu einem Expertinnen- und Experteninterview wurde von 44 Personen angenommen. Davon nahmen zwölf Expertinnen und Experten am Präsenz-Workshop in Hannover teil.

	Interview	Workshop
Primärproduktion bzw. Forstwirtschaft	6	2
Verarbeitung i.d.R. im Sägewerk	6	1
Bioraffinerie / Zellstofffabrik	9	1
Ligninveredelung und -modifikation	14	3
Formulierung und Produktentwicklung	9	5
Endanwendung und Vermarktung	3	1
Forschung, Beratung und Vernetzung	17	7

Tabelle 1: Teilnehmende an Interview und Workshop nach Wertschöpfungsstufen
(Quelle: eigene Darstellung).

Notiz: Die Akteure und Akteurinnen der Wertschöpfungskette ordnen sich oft in mehr als einem der Bereiche bzw. Stufen zu. Daher übersteigt in dieser Darstellung die Anzahl der Teilnehmenden pro Stufe an Interviews und Workshop die Gesamtzahl der einzelnen Gespräche (43) und Workshopteilnehmenden (12).

3.2 PESTEL-Analyse der Lignin-Wertschöpfungskette

Die Ergebnisse der PESTEL-Analyse sind in Tabelle 2 auf der folgenden Doppelseite dargestellt.

PESTEL-Analyse Lignin

Faktor	Analysen	Akteure und Praxisbeispiele
1 Politische Faktoren	<ul style="list-style-type: none"> Nachhaltigkeitsstrategien der EU könnten langfristig helfen Lignin als Ressource für die stoffliche Nutzung zu etablieren und einem Level Playing Field näherzukommen Strenge EU-Chemikalienverordnung erschwert chemische Modifikationen, Lignin fällt jedoch aktuell (Stand 12/2025) nicht unter die Regelungen Fehlende Subventionen für biobasierte Materialien 	<ul style="list-style-type: none"> EU Green Deal bzw. Clean Industrial Deal als potenzieller Treiber
2 Ökonomische Faktoren	<ul style="list-style-type: none"> Hohe Kosten für Aufreinigung und Modifikation vs. günstige und etablierte petrochemische Alternativen – insbesondere im Commodity Bereich Investitionslücke für industrielle Nutzung: Unternehmen zögern wegen hohen Entwicklungskosten und fehlender Standardisierung Preisvolatilität für Rohstoffe (Holz, Zellstoff) 	<ul style="list-style-type: none"> Mercer, Sappi, UPM als große, in Deutschland agierende Zellstoffproduzenten mit hohem Marktanteil Startups setzen oft auf höherwertige Anwendungen während beispielsweise der finnische Konzern UPM plant mit einer Bioraffinerie in Leuna, den Commodity Bereich für erneuerbare Funktionsfüllstoffe (RFF) zu bedienen
3 Soziokulturelle Faktoren	<ul style="list-style-type: none"> Verarbeitende und Verbrauchende wünschen sich nachhaltige Produkte, aber ohne Performanceverlust oder höhere Preise Nachhaltigkeitsargument beinhaltet Potentiale, ist aber komplexer als es auf den ersten Blick scheint Geruch und Farbe von Kraft-Lignin begrenzt Attraktivität und aktuelle Einsatzmöglichkeiten 	<ul style="list-style-type: none"> Kosmetikindustrie als mögliche Zielgruppe (Lignopure (Deutschland), Boreal Bioproducts (Finnland))
4 Technologische Faktoren	<ul style="list-style-type: none"> Fehlende Standardisierung von Ligninqualität: „Lignin ist nicht gleich Lignin“ Unterschiedliche Ligninquellen (Eukalyptus, Nadelholz, Zuckerrohr) erschweren industrielle Nutzung Forschung an neuen Anwendungen (Batterien, Kunststoffe, Bindemittel) Lignin ist keine Drop-in-Lösung, es erfordert neue Rezepturen für neue Produkte 	<ul style="list-style-type: none"> Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Universität Göttingen, Universität Jena: Forschung zu Lignin in Batterien und Kunststoffen Stora Enso, Mercer entwickeln Pilotanlagen um Anwendungsfelder zu testen UPM eröffnet voraussichtlich 2025 neue Bioraffinerie in Leuna
5 Ökologische Faktoren	<ul style="list-style-type: none"> Hoher Anteil an Lignin wird derzeit zur Energiegewinnung verbrannt statt stofflich genutzt Möglichkeit zur CO₂-Reduktion durch Ersatz von Phenolen und Kunststoffen Nachhaltigkeitsanforderungen an Chemie- und Bauindustrie könnten Nachfrage steigern Dilemma: Aufwendige Modifizierung verschlechtert Ökobilanz → Nachhaltigkeitsargument kann in Frage gestellt werden 	<ul style="list-style-type: none"> Ersatz fossiler Ressourcen z.B. in Bitumen (Startup Fibenol in Estland) oder in Batterien (Stora Enso in Finnland/Schweden, Universität Jena)
6 Legale Faktoren	<ul style="list-style-type: none"> Strenge chemische Regularien und Zulassungsverfahren erschweren den Markteintritt und eine schnelle Skalierung von Innovationen Fehlende Standards für Ligninprodukte im Spezifischen und biobasierte Produkte und Materialien im Allgemeinen 	<ul style="list-style-type: none"> Regulatorische Herausforderungen sind für Startups und kleine und mittelständische Unternehmen (KMUs) mit limitiertem Kapital und Zeitdruck kaum zu bewältigen → Schulterschluss mit großen Firmen mit hohem Marktanteil notwendig

Tabelle 2: PESTEL-Analyse Lignin (Quelle: eigene Darstellung).

3.3 Innovationslücken und Skalierungshemmnisse

Auf Basis der Gespräche und des Workshops kristallisieren sich insbesondere die folgenden Innovationslücken und Skalierungshemmnisse heraus.

1 Fehlende Standardisierung und technologische Hürden

- Keine einheitlichen Qualitätsparameter. Kunden wissen nicht, welches Lignin für ihre Anwendung geeignet ist.
- Drop-In Lösungen und robuste Verfahren fehlen: „Es mangelt an mutigen Kunden, weil Lignin keine Drop-In-Lösung ist.“

2 Kostenstruktur und fehlende Preisanreize

- Es gibt keine öffentlich zugänglichen Scale-Up-Piloten für Ligninanwendungen: „Wir brauchen eine skalierbare Infrastruktur jenseits der Forschungslabore.“
- Viele Entwicklungen bleiben im Labormaßstab.

3 Unzureichende Pilotinfrastruktur

- Fossile Alternativen (zum Beispiel Phenole) sind günstiger, und die thermische Verwertung des Lignins ist profitabler.

4 Regulatorik

- Chemische Modifikation wäre notwendig, aber teuer und regulatorisch riskant.
- Chemische Modifikationen lösen möglicherweise aufwändige Zulassungsprozesse und Pflichten aus.
- Startups haben oft weder das Kapital noch die Struktur, um die Zulassungen zu stemmen.

5 Fehlende Austauschplattform

- Es gibt kaum übergreifende Allianzen oder Cluster, die entlang der Wertschöpfungskette arbeiten.
- Kein Matching zwischen Rohstoffproduzenten, Veredlern, Formulierern und Endanwendern: „Was fehlt, ist eine Institution, die Mittler ist.“
- Es gibt keine umfassende Übersicht über kommerziell verfügbare Lignine.

1 Fehlende Standardisierung und technologische Hürden

Nach Aussagen der befragten Expertinnen und Experten gibt es keine einheitlichen Qualitätsparameter für Lignin. Verarbeitende Unternehmen und Kundinnen sowie Kunden wissen daher oft nicht, welches Lignin für ihre spezifische Anwendung geeignet ist. Hinzu kommt, dass Lignin in der Regel keine Drop-in-Lösung darstellt, das heißt, es erfordert vollkommen neue Formulierungen und kann bestehende Inhaltsstoffe in vielen Produkten nicht eins zu eins ersetzen. Dies macht die Entwicklung innovativer Produkte auf Basis von Lignin teuer und risikobehaftet. Unternehmen zögern daher, da Neuentwicklungen hohe Kosten verursachen und mit Risiken verbunden sind.

Bevor Unternehmen die Produktion umstellen, erwarten sie in der Kosmetik-, Bau- oder Chemiebranche langfristige Testzyklen. Aktuell sind nur wenige Leistungsdaten verfügbar beziehungsweise frei zugänglich. Daher kommen auf Lignin-Anbieter oder sogenannte „Transformer“, die das separierte Lignin aus Zellstoffanlagen oder Bioraffinerien erhalten und für die Weiterverarbeitung aufbereiten, zusätzliche Herausforderungen in der Produktentwicklung und bei der Erstellung von Use-Cases zu. Lignin wird zwar in zahlreichen Anwendungen – von UV-Schutz in Kosmetika bis hin zu Bindemitteln in Baumaterialien – getestet, aber es gibt kaum serienreife Anwendungen.

Diesen Innovationslücken und Skalierungshemmnissen widmet sich das Startup Lignopure mit Sitz in Hamburg. Die Gründerinnen haben im Markt einen Mangel an natürlichen funktionalen Inhaltsstoffen erkannt und arbeiten daran, diese Innovationslücke zu schließen. Im Best-Practice-Beispiel legt Dr. Wienke Reynolds dar, worin die Innovation von Lignopure besteht und wie das Startup eine wichtige Pionierrolle im Lignin-Markt sowie eine verbindende Position innerhalb der Wertschöpfungskette einnimmt.

Best Practice: Lignopure

Wie der Name unseres Unternehmens schon erahnen lässt, stellt Lignin die Grundlage all unserer Aktivitäten dar. Unsere Wurzeln liegen in der Bioraffinerie-Forschung an der Technischen Universität Hamburg; dort erforschen wir auch das Potenzial von Lignin für verschiedenste Anwendungen. Wir haben festgestellt, dass es seit etlichen Jahren unglaublich vielseitige, internationale Forschung zu diesem Thema gibt, allerdings bisher wenig bis gar keine kommerziellen Produkte mit Lignin als Rohstoff. In Gesprächen mit verschiedenen Stakeholdern entlang der Lignin-Wertschöpfungskette haben wir auch schnell gelernt, dass vor allem der Zugang zu Ligninquellen auf industriellem Maßstab mit einer definierten und verlässlichen Qualität eine große Hürde darstellt.

Diese Ausgangssituation war unsere Hauptmotivation, Lignopure zu gründen. Wir haben uns zum Ziel gesetzt, Lignin als natürlichen, funktionalen Inhaltsstoff für hochwertige Anwendungen zu vermarkten und industriell zu etablieren. Hierfür beziehen wir Lignin-Nebenströme von Zellstoffanlagen und Lignozellulose-Bioraffinerien und verarbeiten diese weiter zu ready-to-use, upgecyelten Inhaltsstoffen.

Die Anwendungsmöglichkeiten von Lignin sind sehr vielseitig, daher haben wir uns zunächst auf die Kosmetik als Einstiegsmarkt fokussiert. Dort kann Lignin seine natürlichen Stärken im Bereich Antioxidanz und UV-Schutz aber auch seine natürliche, braune Farbe voll ausspielen. Die Anwendungen reichen von Sonnenschutz- und Hautpflegeprodukten zu dekorativen Kosmetika und sogar Haarpflege.

Wir waren uns von Anfang an bewusst, dass dies keine einfache Pionierrolle darstellt. In den vergangenen Jahren haben wir die entsprechenden Lieferketten und Produktionsprozesse aufgebaut, alle notwendigen Produkttests durchgeführt und erforderlichen Zulassungen erlangt. 2023 haben wir unsere LignoBaseTM-Linie offiziell eingeführt, und im Mai 2025 wurde die erste Sonnencreme mit unserem natürlichen Inhaltsstoff in Südkorea auf den Markt gebracht. K-Beauty² spielt definitiv eine Vorreiterrolle bei Innovationen im Bereich Skincare.

Der kosmetische Markt nutzt natürlich keine gigantischen Mengen an Lignin. Aber wir haben hier die Möglichkeit, wirklich schädliche Inhaltsstoffe wie UV-Filter oder Mikroplastik zu ersetzen, welche aquatische Lebensräume belasten. Vor allem aber stellt das erste kosmetische Endprodukt mit Lignin einen absoluten Meilenstein für das Lignin-Ökosystem dar, den Proof-of-Concept, sodass Lignin in wirklich anspruchsvollen Märkten Anwendung finden kann. Wir sind sehr optimistisch, dass viele Produkte folgen werden!

Ausgehend von unserem Proof-of-Concept im kosmetischen Markt und unseren Erfahrungen der letzten Jahre möchten wir unsere Reichweite jetzt vergrößern. Dies umfasst nicht nur weitere kosmetische Inhaltsstoffe, sondern auch die Expansion in neue Märkte im Life-Science-Bereich sowie im Bereich neuer Materialien (Compounds, Schäume, Textilien und Paints/Coatings), wo Lignin seine Funktionalitäten voll ausspielen kann.

Dr. Wienke Reynolds, Lignopure

² Koreanische Kosmetik

Kostenstruktur und fehlende Preisanreize

Wie eingangs beschrieben, fallen jährlich Millionen Tonnen Lignin an – doch nur ein Bruchteil wird stofflich genutzt. Zellstoffwerke verbrennen es derzeit, um ihren Energieverbrauch zu decken und überschüssige Energie ins Netz einzuspeisen, da die stoffliche Nutzung aktuell noch zu komplex und kostenintensiv ist.

Der Markt honoriert den Einsatz biobasierter Materialien derzeit kaum. Lignin kann aufgrund seiner technischen Eigenschaften in der Regel nicht in großen Mengen beispielsweise in Matratzen- oder Bauschäumen eingesetzt werden und macht daher nur einen kleinen Anteil am Gesamtprodukt aus. Nachhaltigkeitsmarketing erreicht Kundinnen und Kunden jedoch nicht, wenn nur ein bis zwei Prozent des Endprodukts biobasiert sind. Im Commodity-Bereich, das heißt bei standardisierten, homogenen Produkten, die häufig in großen Mengen gehandelt werden, sind kleinste Preisdifferenzen Kaufentscheidend, und den Interviewpartnerinnen und Interviewpartnern zufolge sind die Abnehmenden besonders preissensibel.

Des Weiteren greift im Gegensatz zur CO₂-Steuer auf fossile Brenn- und Kraftstoffe derzeit noch keine Subvention für biobasierte Materialien beziehungsweise für die teilweise Substitution von fossilen Energieträgern durch diese Materialien. Solange es kein „Level Playing Field“ gibt – das heißt, solange die Bedingungen für die Verarbeitung von biobasierten und fossilen Rohstoffen in Bezug auf die Kosten nicht gleichgestellt sind –, wird es Lignin schwerfallen, in den harten Preiskämpfen mitzuhalten.

Aufgrund der zunehmenden Elektrifizierung der Industrie und des Mobilitätssektors steigt hierzulande und weltweit der Bedarf an regional verfügbaren und ökologisch verträglichen Rohstoffen für elektrochemische Energiespeicher. Prof. Dr. Martin Oschatz und sein Team am Institut für Technische Chemie und Umweltchemie der Friedrich-Schiller-Universität Jena erforschen daher Lignin als Basis für Batterieelektroden.

Best Practice: Batterieforschung an der Universität Jena

Die Verwendung und Aufwertung von biomassebasierten Materialien findet in der Forschung bereits Interesse. Unter anderem können sie in thermischen Verfahren unter Luftausschluss zu hochwertigen Kohlenstoffmaterialien umgewandelt werden. Diese können beispielsweise in Energiespeichern als Elektroden eingesetzt werden oder in der Katalyse zum Einsatz kommen. Die Nutzung von Lignin als verfügbarer und biogener Ausgangsstoff für die Anwendung in diesen Gebieten spielt dabei die Hauptrolle im Projekt LignUp (Upgrading von Lignin für faire Rohstoffe) an der Friedrich-Schiller-Universität Jena.

Indem man teilweise fossile Ausgangsverbindungen durch Lignin ersetzt, können die Kosten der Herstellungsprozesse sowie der CO₂-Fußabdruck von Funktionsmaterialien erheblich reduziert werden. Neben Anwendungen wie der Abwasserreinigung oder der Gewinnung von chemischen Grundbausteinen, bietet besonders die Verwertung zu Kohlenstoffelektroden ein erhebliches Potenzial. Das für die herkömmliche Lithium-Ionen-Batterie benötigte Grafit muss entweder aus dem Ausland importiert oder in energieaufwendigen Verfahren hergestellt werden und stellt somit einen erheblichen Kostenfaktor dar. Eine direkte Umwandlung des anfallenden Lignins zu Kohlenstoffen könnte somit eine kostengünstige Alternative für Elektrodenmaterialien bieten und der produzierenden Industrie ein weiteres wertgenerierendes Element hinzufügen. In naher Zukunft wird angestrebt, diese Technologien auf eine Demonstratorebene zu heben, um die Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit dieser Prozesse auf den Prüfstand zu stellen und eine technooökonomische Einschätzung der Materialien in Anwendungen, wie beispielsweise Batterien, zu schaffen. Dabei können zum einen wichtige neue Glieder in der Wertschöpfungskette des Lignins etabliert werden oder eine eigenständige neuartige Wertschöpfung erschaffen werden.

Um die Reproduzierbarkeit der Herstellungsverfahren der Lignin-basierten Produkte zu gewährleisten ist eine annähernd gleichbleibende Qualität des Grundstoffs essenziell, wobei auch gezeigt werden sollte, dass die technischen Prozesse innerhalb eines Toleranzbereichs mit dem veränderlichen Naturrohstoff umgehen können. Für eine Verringerung der Markteintrittsbarriere und die Etablierung solcher Prozesse und Materialien in der Wirtschaft, ist es in diesem Zusammenhang von großer Bedeutung, politische Anreize zu schaffen, welche die Produkte aus regionalen Wertschöpfungsketten unterstützen.

Johannes Schenk, Friedrich-Schiller-Universität Jena

3

Unzureichende Pilotinfrastruktur

Zwar gibt es keinen Mangel an Ideen und ersten Forschungsergebnissen, wofür Lignin eingesetzt werden kann, jedoch bleiben die meisten Entwicklungen im Labormaßstab und sind nicht skalierbar. Einer der Gründe dafür ist die fehlende Pilotinfrastruktur für Lignin-Anwendungen jenseits der Forschungslabore.

Mercer Rosenthal ist ein deutscher Produktionsstandort des nordamerikanischen Konzerns Mercer, der zu den weltweit größten Produzenten von Marktzellstoff und Holzprodukten zählt. Wie im Best-Practice-Beispiel vom Leiter des Mercer-Lignin-Zentrums, Dr. Lars Gabriel, beschrieben, arbeitet das Unternehmen mit der 2023 in Betrieb genommenen Pilotanlage an Abscheidungsprozessen von Kraft-Lignin und an der Produktentwicklung im industriellen Maßstab.

Best Practice: Pilotanlage von Mercer Rosenthal

Um zukünftig den Rohstoff Holz in unseren Zellstofffabriken noch effizienter stofflich zu nutzen, errichtete Mercer 2023 in seiner Zellstofffabrik in Rosenthal/Thüringen eine vollintegrierte Pilotanlage zur Abscheidung von Kraft-Lignin aus unserem Prozess. Diese Pilotanlage hat eine Produktionskapazität von einer Tonne pro Tag. Diese Kapazität wurde gewählt, um den Abscheidungsprozess unter industriell relevanten Bedingungen zu simulieren. Auf der einen Seite ist die Anlage groß genug, um den Prozess so zu erproben, dass wir die Ergebnisse direkt auf den Betrieb und den Einfluss einer größeren industriellen Lignin-Produktion in unsere Fabrik übertragen können. Auf der anderen Seite ist die Anlage klein genug, um sie für eine Vielzahl von Versuchen zu nutzen, ohne dass diese den Betrieb der Zellstofffabrik beeinflussen. Diese Versuche unter realen Prozessbedingungen sollen uns helfen, den Prozess zu optimieren und den Einfluss einer solchen Anlage auf die Gesamtfabrik besser zu verstehen. Wir möchten die Anlage ebenfalls nutzen, um Lignin in verschiedenen Qualitäten für industrielle und akademische Produktentwicklungen zur Verfügung zu stellen und diese aktiv mit voranzutreiben. Durch die Größe der Anlage sind wir in der Lage, die Lücke zwischen labormaßstäblicher und industrieller Produktentwicklung zu schließen und somit die Etablierung dieses Biomaterials am Markt zu erleichtern.

Wir sind überzeugt, dass jetzt die richtige Zeit ist, um mit einem Biomaterial, das es bis jetzt nicht in marktrelevanten Größenordnungen gab, die Bioökonomie nicht nur in Europa zu fördern und voranzutreiben. Trotzdem sind wir auch auf den mitunter schon stark ausgeprägten Willen anderer Industrien angewiesen, neue Wege weg von fossil basierten Materialien zu gehen. Des Weiteren wären regulatorische Unterstützungen wünschenswert, die den Ausbau der Bioökonomie im Materialbereich beschleunigen.

Dr. Lars Gabriel, Mercer Rosenthal

Fazit

4 Regulatorik

Lignin, wie es aus der Extraktion in der Zellstoffproduktion als Kraft-Lignin oder aus anderen Prozessen gewonnen wird, ist in den seltensten Fällen direkt verarbeitbar. Transformer, wie das Startup Lignopure, schließen eine wichtige Lücke in der Wertschöpfungskette, indem sie das Material aufnehmen, reinigen und für die nächsten Verarbeitungsschritte vorbereiten.

Für einige Anwendungen wäre eine chemische Modifikation notwendig. Neben den hohen Kosten sind solche Prozesse oft regulatorisch aufwändig: Chemische Modifikationen können aufwändige Zulassungsprozesse auslösen. Unternehmen, die Lignin chemisch modifizieren, operieren unter dem Risiko, mit ihren Produkten unter die REACH-Verordnung zu fallen, wenn sie entweder neuartige Verbindungen entwickeln oder das REACH-System überarbeitet wird. Die REACH-Verordnung (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals) basiert auf dem Grundsatz der Eigenverantwortung der Industrie. Dem Prinzip „no data, no market“ folgend, dürfen innerhalb des Geltungsbereiches nur chemische Stoffe in Verkehr gebracht werden, die vorher registriert wurden (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (baua), n.d.; Rose et al., 2022).

Aufgrund des langwierigen und aufwändigen regulatorischen Prozesses ohne abgesicherte Marktvorteile, wie sie beispielsweise im Pharmabereich bestehen, ist es insbesondere für Startups und kleine Unternehmen schwer, das nötige Kapital für die Entwicklung und Skalierung ihrer Innovationen einzuwerben.

5 Fehlende Austauschplattform

Akteurinnen und Akteure in der Wertschöpfungskette merken im Gespräch und im Workshop an, dass es eine Plattform zum Austausch und zur Bewertung von Ligninqualitäten geben sollte. Die Akteurslandschaft sei fragmentiert, und es gebe kein Matching zwischen Rohstoffproduzenten, Veredlern, Formulierern sowie Endanwendern: „Was fehlt, ist eine neutrale Institution, die als Mittlerin fungiert.“

Es gibt kaum eine Übersicht über kommerziell verfügbare Lignine, deren Eigenschaften und mögliche spezifische Verwendung. Des Weiteren bestehen nur wenige übergreifende Allianzen oder Cluster, die entlang der Kette arbeiten: Kleine Startups kämpfen oft allein, während große Konzerne kaum kooperieren.

Lignin hat das Potenzial, eine wichtige Rolle in einschlägigen Strategien zu spielen und die Abhängigkeit von fossilen Ressourcen in vielen Anwendungen zu reduzieren. Während die Transformation voranschreitet, wird der Bedarf und somit die Konkurrenz um Rohstoffe steigen. Es gilt, die Kaskadennutzung zu stärken und vermeintliche Reststoffe der Primärproduktion und ihre derzeitige Verwertung auf den Prüfstand zu stellen.

4.1 Empfehlungen

Im Rahmen dieser Potenzialanalyse kristallisieren sich die folgenden Empfehlungen mit potenziell starker Hebelwirkung für die gesamte Wertschöpfungskette heraus:

(I) Standardisierungsinitiative für Ligninqualitäten

- Ziel: Unterstützung der Entwicklung einheitlicher und transparenter technischer Parameter und Produktklassen.
- Begründung: Die unklare Datenlage verhindert eine skalierbare industrielle Nutzung.
- Vorschläge für Maßnahmen:
 - Förderung eines DIN-Vorhabens oder einer EU-Normgruppe

(II) Einführung eines „Lignin-Innovationsprogramms“

- Ziel: Förderung von Forschung und Entwicklung, Anwendungstests und Prozessentwicklung entlang der gesamten Lignin-Wertschöpfungskette.
- Begründung: Aktuell fehlt ein übergreifendes Förderinstrument, das Bioraffinerien, Veredler sowie Endanwender vernetzt.
- Vorschläge für Maßnahmen:
 - Förderlinie für biogene Materialsubstitute, ähnlich wie Sustainable Aviation Fuels (SAF) im Energiesektor
 - Förderung von kooperativen Projekten: Erzeuger ↔ Veredler ↔ Endanwender

(III) Sicherstellung des Kapitalzugangs und Senkung der Kapitalkosten für CO₂-reduzierten Materialeinsatz

- Ziel: Produktionsanreize für Produkte mit nachweisbarer CO₂-Einsparung durch Einsatz biobasierter Materialien.
- Begründung: Aus Perspektive der Akteurinnen und Akteure der Lignin-Wertschöpfungskette gibt es bisher keinen wirtschaftlichen Vorteil von Investitionen in Produktionskapazitäten, privatwirtschaftliche Forschung und angepasste Formulierungen in der Chemieindustrie. Gegenüber der thermischen Verwertung oder dem Einsatz fossiler Rohstoffe ist die stoffliche Nutzung von Lignin und anderer biobasierter Materialien derzeit nicht konkurrenzfähig.
- Vorschläge für Maßnahmen:
 - Förderrichtlinie für biogene Materialsubstitute, ähnlich wie Sustainable Aviation Fuels (SAF) im Energiesektor
 - Kooperation mit Ökobilanzierungsstellen zur Sicherstellung von Transparenz und Glaubwürdigkeit von Maßnahmen zur Biologisierung von industriellen Materialien

(IV) Unterstützung von Investitionen in Pilotinfrastruktur

- Ziel: Aufbau neutraler Testzentren zur Anwendungsskalierung (Bau, Kosmetik, Batterie).
- Begründung: Forschung vorhanden, aber es fehlt an der Brücke zur industriellen Umsetzung.
- Vorschläge für Maßnahmen:
 - Finanzierung beziehungsweise Bezahlung öffentlich zugänglicher Pilotlinien

(V) Aufbau einer unabhängigen Vermittlungs- und Matchingplattform

- Ziel: Vernetzung von Stakeholderinnen und Stakeholdern entlang der Kette und Austausch standardisierter Materialdaten.
- Begründung: Fehlende Schnittstellenakteurinnen und -akteure führen zu Ineffizienz und Stillstand.
- Vorschläge für Maßnahmen:
 - Aufbau eines öffentlich zugänglichen „Lignin-Materialregisters“ (Datenbank)
 - Anlaufstelle zur Vernetzung kooperationswilliger Akteurinnen und Akteure

4.2 Limitationen

Trotz einer umfassenden Literatur- und Marktrecherche sowie zahlreicher Experteninterviews im Rahmen der Bioeconomy Deep Dives sind einige Limitationen zu berücksichtigen. Zum einen konzentriert sich die Untersuchung primär auf Deutschland, Interviews mit internationalen Akteurinnen und Akteuren wurden also nur in begrenztem Umfang durchgeführt. Dadurch fließen zwar vereinzelt internationale Perspektiven und Ansätze ein, jedoch steht im Fokus der Analyse der deutsche Markt.

Zum anderen war der Zeitrahmen der Untersuchung auf ein halbes Jahr begrenzt. Insbesondere bei den Innovationslücken stützt sich der Bericht auf die Aussagen und Erfahrungen der Interviewpartnerinnen und Interviewpartner. Aus diesem Grund erhebt dieser Bericht keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Diese Limitationen sollten bei der Interpretation der Ergebnisse und Empfehlungen berücksichtigt werden.

Liste der interviewten Expertinnen und Experten

In Ergänzung zur Auswertung von Fachliteratur und Studien hat das RootCamp für den vorliegenden Bericht mit Vertreterinnen und Vertretern aus Forstwirtschaft, Wissenschaft und Wirtschaft explorative Expertengespräche geführt. Die 45- bis 60-minütigen Interviews wurden im Zeitraum von Januar bis Mai 2025 geführt. Ziel war es, den Status quo der Lignin-Wertschöpfungskette zu skizzieren und Skalierungshemmnisse sowie Innovationspotenziale zu identifizieren und in der Tiefe zu verstehen.

Die Landwirtschaftliche Rentenbank und das RootCamp danken allen Beteiligten herzlich für ihre Bereitschaft zur Teilnahme an den Interviews, dem Workshop und den Hintergrundgesprächen!

aerogel-it GmbH	Dr. Marc Fricke
BioEconomy e.V.	Dr. Nils Wagner
Biowerkz GmbH	Dr. Nazanin Saeidi
Bloom Biorenewables SA	Dr. Philipp Scholten
Boreal Bioproducts (Montinutra Ltd.)	Antti Kämäräinen
Boreal Bioproducts (Montinutra Ltd.)	Dr. Alexander Henn
Boreal Bioproducts (Montinutra Ltd.)	Marja Jaurakkajärvi
Chemie-Cluster Bayern GmbH	Dr. Theresa Dörres
Cluster Industrielle Bioökonomie	Dr. Tobias Klement
Deutsche Institute für Textil- und Faserforschung	Dr. Nadejda Krasteva
Deutsche Institute für Textil- und Faserforschung	Dr. Thomas Stegmaier
Deutsche Institute für Textil- und Faserforschung	Cigdem Kaya
Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.	Sebastian Kienast
Fibenol	Liisa Rohila

Fraunhofer-Einrichtung für Wertstoffkreisläufe und Ressourcenstrategie IWKS	Dr. Gert Homm
Friedrich-Schiller-Universität Jena	Johannes Schenk
Friedrich-Schiller-Universität Jena	Prof. Dr. Martin Oschatz
Future Forest Initiative	Dr. Benjamin Kowalski
HOLZ-HENKEL GmbH & Co. KG	Torsten Herzel
Holzmühle Westerkamp GmbH	Dr. Kolja Ostendorf
Lignopure GmbH	Dr. Wienke Reynolds
Mercer Rosenthal GmbH	Dr. Lars Gabriel
ehemals one.five GmbH	Jan Dethloff
Pollmeier Furnierwerkstoffe GmbH	Markus Tischer
Stora Enso	Tuomo Heikkinen
TECNARO GmbH	Dr. Michael Schweizer
Thünen-Institut für Agrartechnologie	Dr. Henning Storz
Thünen-Institut für Holzforschung	Dr. Jörn Appelt
Thünen-Institut für Holzforschung	Dr. Ralph Lehnen
Thünen-Institut für Holzforschung	Dr. Fokko Schütt
Tymba GmbH	Sebastian Hinz
Georg-August-Universität Göttingen	Dr. Johannes Karthäuser
Universität Hamburg	Prof. Dr. Bodo Saake
Valmet AB	Hanna Karlsson
Deutsche Industrievereinigung Biotechnologie im Verband der Chemischen Industrie e.V.	Dr. Riccardo Gent

Hinweis: Insgesamt wurden für die Studie 44 Expertinnen und Experten befragt. Hier aufgelistet sind ausschließlich Personen, die einer namentlichen Nennung ausdrücklich zugestimmt haben.

Quellen

- Baua. (n.d.) Die REACH Verordnung. Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung von Chemikalien. Zuletzt abgerufen am 05. Dezember 2025 unter <https://www.baua.de/DE/Themen/Chemikalien-Biostoffe/Chemikalienrecht/REACH>
- Bajwa, D. S., Pourhashem, G., Ullah, A. H., & Bajwa, S. G. (2019). A concise review of current lignin production, applications, products and their environmental impact. *Industrial Crops and Products*, 139, 111526.
- Bioökonomie.de (27. April 2020). Was ist Bioökonomie? Zuletzt abgerufen am 12. September 2025, von <https://biooekonomie.de/themen/was-ist-biooekonomie>
- BMBF und BMEL (2020). Nationale Bioökonomiestrategie. Berlin/Bonn. Zuletzt abgerufen am 11. September 2025 unter https://www.bmftr.bund.de/SharedDocs/Publikationen/DE/7/31576_Nationale_Biooekonomiestrategie_Langfassung.pdf?__blob=publicationFile&v=6
- BMEL (18. Januar 2025). Global Forum for Food and Agriculture. Abschlusskommuniqué 2025. Bioökonomie nachhaltig gestalten. https://msc.gffa-berlin.de/app/uploads/sites/5/2025/01/GFFA25_FinalCommunique_DE.pdf
- BMFTR (2025) Neue Technologien entwickeln: Hightech Agenda Deutschland. Zuletzt abgerufen am 12. September 2025 unter https://www.bmftr.bund.de/DE/Forschung/HightechAgenda/HightechAgenda_node.html
- Bruijnincx, P. C., Rinaldi, R., & Weckhuysen, B. M. (2015). Unlocking the potential of a sleeping giant: lignins as sustainable raw materials for renewable fuels, chemicals and materials. *Green Chemistry*, 17(11), 4860–4861.
- Correa-Guillen, E., Alexander, H. K., Österberg, M., & Dessbesell, L. (2025). Lignin's role in the beginning of the end of the fossil resources era: a panorama of lignin supply, economic and market potential. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 101038.
- DIN e.V. (2023) Deutsche Normungsroadmap Circular Economy. Zuletzt abgerufen am 2. September 2025 unter <https://www.din.de/resource/blob/892606/06b0b608640aadd63e5dae105ca77d8/normungsroadmap-circular-economy-data.pdf>
- Do, N. H., Pham, H. H., Le, T. M. et al. (2020). The novel method to reduce the silica content in lignin recovered from black liquor originating from rice straw. *Sci Rep* 10, 21263. Zuletzt abgerufen am 2. September 2025 unter <https://doi.org/10.1038/s41598-020-77867-5>
- e-Estonia (6. Dezember 2023) Estonia's Fibenol is transforming the biomaterials industry. Zuletzt abgerufen am 8. Juli 2025 unter <https://e-estonia.com/estonias-fibenol-is-transforming-the-biomaterials-industry/>
- European Commission (27. November 2025). A Strategic Framework for a Competitive and Sustainable EU Bioeconomy. https://environment.ec.europa.eu/publications/bioeconomy-strategy_en
- Kaufmann, T. (2021). Strategiewerkzeuge aus der Praxis. Analyse und Beurteilung der strategischen Ausgangslage, Berlin, Heidelberg.
- Li, Y., Li, F., Yang, Y., Ge, B., & Meng, F. (2021). Research and application progress of lignin-based composite membrane. *Journal of Polymer Engineering*, 41(4), 245–258.
- Market.us (Juni 2025). Kraft-Lignin Market. Zuletzt abgerufen am 12. September 2025 unter https://market.us/report/global-kraft-lignin-market/#utm_
- Mastrolitti, S., Borsella, E., Giuliano, A., Petrone, M.T., De Bari, I., Gosselink, R., van Erven, G., Annevelink, E., Triantafyllidis, K.S., & Stichnothe, H. (2021). Sustainable lignin valorization. Technical lignin, processes and market development. IEA Bioenergy: Task 42. Zuletzt abgerufen am 30. Juli 2025 unter <https://lignocost.eu/deliverable-reports/>
- Rose J., Vierke, J., Tietjen, L., Neumann, M., Treu, G., Hassold, E., Einhenkel-Arle, D., Stock, F. (2022). The Revision of the REACH Authorisation and Restriction System. Recommendations by the German Environment Agency. Zuletzt abgerufen am 30. Juli 2025 unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/scopp_the_revision_of_the_reach_authorisation_and_restriction_system.pdf
- Shah, S. W. A., Xu, Q., Ullah, M. W., Sethupathy, S., Morales, G. M., Sun, J., & Zhu, D. (2023). Lignin-based additive materials: A review of current status, challenges, and future perspectives. *Additive Manufacturing*, 74, 103711.
- UN. COP 28: What Was Achieved and What Happens Next? (2023). Zuletzt abgerufen am 8. August 2025 unter <https://unfccc.int/cop28/5-key-takeaways#end-of-fossil-fuels>

Notizen

Landwirtschaftliche Rentenbank

Theodor-Heuss-Allee 80
60486 Frankfurt am Main

Postfach 101445
60014 Frankfurt am Main

Telefon +49 (0)69 2107-0
office@rentenbank.de

Autoren & Projektteam
RootCamp GmbH

Dr. Annkathrin Wahbi, Dr. Philipp Rittershaus

Projektteam
Landwirtschaftliche Rentenbank

Lukas von Hoyos, Caspar von Alvensleben, Carla Isenberg

Stand: 31.12.2025