

Kompetenzbedarfe von chemisch-pharmazeutischen Ausbildungsberufen für eine biobasierte Zukunft





TransBIB - Boost. Industrial. Bioeconomy.

TransBIB ist das erste nationale, vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie geförderte Metanetzwerk zur Beschleunigung der industriellen Bioökonomie. Mit 18 Projektpartnern, über 40 Kompetenzhubs und einer Fördersumme von 5,5 Millionen Euro unterstützt TransBIB Unternehmen dabei, biobasierte Innovationen schnell und effizient in den industriellen Maßstab zu überführen. Als bundesweite Kooperationsplattform initiiert und katalysiert TransBIB Kooperationen, vernetzt strategisch wichtige Akteure und hilft bei der Entwicklung neuer biobasierter Wertschöpfungsketten. Über den KI-gestützten „One-Stop-Shop“ werden Wissen, Infrastrukturen und Kompetenzen gebündelt, Innovationspotenziale identifiziert und praxisnahe Services wie regulatori-

sche Beratung, Zertifizierungsunterstützung und Transformationsstrategien bereitgestellt. Auf diese Weise verkürzt TransBIB die Time-to-Market biobasierter Innovationen und stärkt die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen und europäischen Bioökonomie.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Impressum

Herausgeber/Institution:

Provadis School of International Management and Technology AG
Industriepark Höchst, 65926 Frankfurt a. M.
www.provadis-hochschule.de

**Autoren:**

Parthkumar Patel
E-Mail: Parthkumar.patel@provadis-hochschule.de

Lucas Koch
E-Mail: Lucas.koch@provadis-hochschule.de

Inhalt

Zusammenfassung.....	3
1. Hintergrund	4
1.1. Einleitung und Ziel der Studie	4
1.2. Überblick über die Bioökonomie.....	4
1.3. Aufbau der Berufsausbildung in Deutschland.....	6
1.4. Forschungsfragen	8
2. Methodik	9
2.1. Forschungsdesign	9
2.2. Literaturrecherche.....	10
2.3. Befragung von Interessenvertretern	10
2.4. Kompetenzmatrix	10
3. Ergebnisse.....	12
3.1. Qualifikationsbedarf für die biobasierte Industrie.....	12
3.1.1. Kompetenzprofile der wichtigsten Ausbildungsberufe.....	12
3.1.2. Anpassungsmöglichkeiten bei der Ausbildung.....	13
3.1.3. Megatrends, die künftige Qualifikationen beeinflussen	13
3.1.4. Ermittelte Qualifikationslücken basierend auf der Literaturrecherche	15
3.2. Interviewergebnisse & Perspektiven der Interessenvertreter	16
3.2.1. Erforderliche Kompetenzen	17
3.2.2. Lücken in der Ausbildung	19
3.3. Entstehende Berufsprofile in der Bioökonomie: Erkenntnisse aus Stakeholder-Befragungen und Literaturrecherche.....	20
3.4. Vergleich der Ergebnisse über eine Kompetenzmatrix	21
4. Empfehlungen	23
5. Fazit	24
Literatur.....	25
Anhang	28
Interviewleitfaden	28
Interviewübersicht	29
Kompetenzmatrix	30

Zusammenfassung

Die Studie widmet sich der Ermittlung von Kompetenzbedarfen in der industriellen Bioökonomie, insbesondere für die chemisch-pharmazeutische Industrie. Angesichts globaler Herausforderungen gewinnt die Bioökonomie als wirtschaftliches Leitbild zunehmend an Bedeutung. Die Motivation der Studie liegt in der Frage, ob bestehende berufliche Ausbildungsstrukturen den Anforderungen einer biobasierten Wirtschaft gerecht werden und wie Qualifikationslücken systematisch identifiziert und geschlossen werden können.

Zur Beantwortung dieser Fragestellungen wurde ein qualitatives, exploratives Forschungsdesign gewählt: Eine umfassende Literaturrecherche, halbstrukturierte Interviews mit Stakeholdern aus Industrie, Bildung und Forschung sowie die Entwicklung einer Kompetenzmatrix. Diese Matrix dient als analytisches Instrument zur systematischen Erfassung und Kategorisierung relevanter Kompetenzen in den Bereichen Digitalisierung, Nachhaltigkeit, Biotechnologie und Soft Skills. Die Interviewleitfäden wurden aus den Forschungszielen abgeleitet und durch aktuelle Studien validiert.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, dass die Bioökonomie bislang kaum systematisch in die Ausbildungsrahmenpläne integriert ist. Es fehlen strukturierte Lernmodule zu bioökonomischen Themen, und es bestehen spezifische Kompetenzlücken in Bereichen wie biobasierte Prozesse, digitale Prozesssteuerung und interdisziplinäre Zusammenarbeit. Bestehende Ausbildungsberufe wie Chemikant*in, Chemielaborant*in oder Biologielaborant*in weisen zwar Anknüpfungspunkte auf, benötigen jedoch gezielte Erweiterungen, um den Anforderungen der Bioökonomie gerecht zu werden.

Die Befragten machen deutlich, dass die institutionellen Rahmen der dualen Berufsausbildung eine schnelle Anpassung erschwert. Gleichzeitig zeigen die Interviews, dass Unternehmen und Ausbilder*innen bereit sind, neue Inhalte über pädagogische Freiräume zu integrieren. Die Studie zeigt die Notwendigkeit einer stärkeren Kooperation zwischen Bildungsinstitutionen, Industrie und Politik auf, um die Transformation der Ausbildungslandschaft aktiv zu gestalten. Die Ergebnisse unterstreichen zudem den Wertewandel junger Fachkräfte, die zunehmend eine übergeordnete Sinnhaftigkeit und Nachhaltigkeit in ihrer beruflichen Tätigkeit suchen.

Auf Grundlage der Kompetenzmatrix werden in der Studie modulare Lernprogramme vorgeschlagen, die sich flexibel in bestehende Ausbildungsstrukturen integrieren lassen. Es werden altersgerechte Kommunikations- und projektbasierte Lernformate empfohlen. Langfristig kann die Integration bioökonomischer Kompetenzen dazu beitragen, die Wettbewerbsfähigkeit der Industrie durch qualifizierte Fachkräfte zu sichern und die berufliche Bildung zukunftsfähig zu gestalten.

1. Hintergrund

1.1. Einleitung und Ziel der Studie

Angesichts des sich beschleunigenden Klimawandels, einer drohenden Ressourcenknappheit und der fortschreitenden Umweltzerstörung ist ein grundlegendes Überdenken wirtschaftlicher und wertschöpfender Strukturen durch Gesellschaften und Industrien weltweit erforderlich. Die Bioökonomie kann Teil einer Lösung sein, indem sie nachhaltige Entwicklung fördert und biologische Ressourcen, Prozesse und Prinzipien in industrielle und wirtschaftliche Aktivitäten integriert. Sie wirkt sich auf alle Sektoren aus, von der Landwirtschaft über die Chemie bis hin zur Energie, und trägt zur Förderung von Innovation und Ressourceneffizienz bei. Es wird erwartet, dass die Bioökonomie eine zentrale Rolle bei der Verwirklichung der Ziele Klimaneutralität, Kreislaufwirtschaft und Umweltverträglichkeit spielen wird [1].

Innerhalb Deutschlands spielt die chemisch-pharmazeutische Industrie eine zentrale Rolle für die Förderung einer biobasierten Wirtschaft. Dieser Sektor gehört zu den größten Verbrauchern kohlenstoffbasierter Rohstoffe und verfügt daher über ein erhebliches Potenzial, durch den Einsatz erneuerbarer biologischer Rohstoffe und innovativer Produktionstechnologien zur Defossilisierung beizutragen. Die erfolgreiche Umsetzung biobasierter Prozesse geht jedoch über technologische Innovationen hinaus und erfordert Arbeitskräfte mit interdisziplinären Kompetenzen. Kenntnisse in den Bereichen Biotechnologie, Prozessintegration, Digitalisierung und nachhaltigkeitsorientiertes Denken werden für die Unterstützung dieses Wandels immer wichtiger [2].

Akademische Programme zur Bioökonomie gewinnen zunehmend an Bedeutung. Die berufliche Aus- und Weiterbildung, die eine zentrale Rolle für die Qualifikation industrieller Fachkräfte in Deutschland spielt, wurde jedoch bisher kaum an die Anforderungen der biobasierten Produktion angepasst [3].

Diese Studie, die im Rahmen des Projekts *TransBIB (Nationales Transfernetzwerk zur*

Beschleunigung der industriellen Bioökonomie) entwickelt wurde, zielt darauf ab, mögliche Qualifikationslücken in der Berufsausbildung für den chemisch-pharmazeutischen Sektor zu identifizieren und Handlungsbedarfe abzuleiten. Hierfür wird zunächst geprüft, ob die aktuellen Angebote den Bedarfen der Industrie entsprechen, welche Bedarfe zukünftig in einer stärker biobasierten Industrie entstehen und wie die Bedarfe zukünftig gedeckt werden können. Die Studie stützt sich auf eine Literaturrecherche und die Befragung von Akteuren aus relevanten Institutionen. Darauf aufbauend wird eine „Kompetenzmatrix“ erstellt, von der sich umsetzbare Empfehlungen für die Verbesserung der beruflichen Bildung im Einklang mit den Bedürfnissen zur Realisierung der Bioökonomie ableiten lassen.

1.2. Überblick über die Bioökonomie

Die Bioökonomie steht für einen Wandel von einem auf fossilen Rohstoffen basierenden Wirtschaftssystem hin zu einem System, das auf erneuerbaren und biologischen Ressourcen und Prozessen basiert. „Die Bioökonomie bezeichnet die Erzeugung, Nutzung und Verwertung biologischer Ressourcen, Prozesse und Systeme zur Bereitstellung von Produkten, Verfahren und Dienstleistungen in allen Wirtschaftsbereichen im Rahmen eines nachhaltigen Wirtschaftssystems“ [2]. Durch die Förderung der Verwendung erneuerbarer, biobasierter Inputs zielt die Bioökonomie darauf ab, die Abhängigkeit von fossilen, endlichen Rohstoffen zu verringern, die Ressourceneffizienz zu verbessern und umwelt- und klimabezogene Ziele zu unterstützen [4].

In Deutschland und der Europäischen Union wird die Bioökonomie als strategischer Ansatz betrachtet, der ökologische Nachhaltigkeit mit industrieller Entwicklung verbindet. Sie befasst sich mit großen globalen Herausforderungen wie Klimawandel, Verlust der biologischen Vielfalt und Ressourcenknappheit und fördert gleichzeitig Innovation, Wettbewerbsfähigkeit und soziale Resilienz [5], [6]. Der Ansatz fördert die sektorübergreifende Zusammenarbeit,

unterstützt die Prinzipien der Kreislaufwirtschaft und stärkt die lokale und regionale Wirtschaft.

Chemisch-pharmazeutische Industrie als wichtige Säule

Die chemisch-pharmazeutische Industrie gehört zu den Branchen, die am stärksten von der Umstellung auf eine biobasierte Wirtschaft betroffen sind, da sie auf kohlenstoffreiche Rohstoffe angewiesen sind. Im Gegensatz zum Energiesektor, der durch Elektrifizierung und generelle Diversifizierung eine Dekarbonisierung anstreben kann, benötigen diese Branchen Kohlenstoff als grundlegenden Rohstoff. Daher ist hier die Defossilisierung – also der Ersatz fossiler Kohlenstoffe durch erneuerbare Quellen – der zentrale Weg zur Nachhaltigkeit [7].

Allein die deutsche Chemieindustrie verbrauchte im Jahr 2022 etwa 16,4 Millionen Tonnen fossiler Rohstoffe [8]. In ganz Europa stammen derzeit nur etwa 12 % der in der chemischen Produktion verwendeten Kohlenstoff-Rohstoffe aus biobasierten Quellen [9]. Diese Diskrepanz unterstreicht die dringende Notwendigkeit, erneuerbare Kohlenstoffquellen wie Biomasse, Kohlenstoffabscheidung und -nutzung (CCU) sowie fortschrittliche Recyclingverfahren auszubauen [10].

Aktuelle Studien betonen, dass dieser Übergang nicht nur ökologisch, sondern auch wirtschaftlich sinnvoll ist. Schwankende Öl- und Gaspreise und geopolitische Abhängigkeiten machen die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen zunehmend riskant, während erneuerbare Kohlenstoffquellen langfristig mehr Stabilität bieten können [11]. Dementsprechend stärkt die Bioökonomie die Widerstandsfähigkeit der Industrie, insbesondere in wissens- und technologieintensiven Sektoren, in denen Chemie, Biotechnologie und Verfahrenstechnik zusammenkommen.

Regionale und angewandte Bioökonomie-Initiativen in Deutschland

Deutschland zeichnet sich in Europa durch die proaktive Umsetzung von Bioökonomie-Strategien aus, insbesondere durch regionale Innovationszentren und industrielle Partnerschaften. In Sachsen-Anhalt leisten Bioraffinerien Pionierarbeit bei der Integration von Abwasserbehandlung und Mikroalgenkultivierung zur Herstellung nachhaltiger Produkte wie Biokraftstoffe und Biokunststoffe [12]. In Niederbayern werden landwirtschaftliche Nebenprodukte wie Stroh durch Pilzfermentation in umweltfreundliche Verpackungsmaterialien umgewandelt [13]. Diese Bemühungen spiegeln einen umfassenderen industriellen Wandel von einer linearen Ressourcennutzung hin zu zirkulären, biobasierten Produktionsmodellen wider.

Der Wandel spielt auch eine entscheidende Rolle bei der strukturellen Veränderung von Regionen wie dem Rheinland, wo der Kohleausstieg Investitionen in Innovation, Pilotanlagen und Umschulungsinitiativen vorantreibt [14]. Hier wird die Förderung einer Modellregion der Bioökonomie als Chance zur Generierung einer neuen regionalen Identität und Sicherung von Wirtschaftsstandorten verstanden. Diese Beispiele unterstreichen das Potenzial der Bioökonomie, eine nachhaltige regionale Entwicklung voranzutreiben und gleichzeitig neue Arbeitsplätze und Möglichkeiten zum Erwerb neuer Fähigkeiten zu schaffen.

Veränderte Qualifikationsanforderungen und berufliche Bildung in der Bioökonomie

Aus- und Weiterbildungen bekommen durch den Fachkräftemangel in vielen Teilen Deutschlands und Europas eine zunehmende Relevanz. Dieser Mangel schränkt die Fähigkeit von Unternehmen ein, Positionen zu besetzen, die für Innovation und Wachstum nicht nur in der Bioökonomie notwendig sind. Um Qualifikationslücken entgegenzuwirken, ist die Antizipation von Qualifikationsbedarfen unerlässlich. Die zunehmende Bedeutung einer biobasierten Wirtschaftsweise wird Auswirkungen auf bestehende Arbeitsprofile haben. Um mit neuen

Technologien, nachhaltigen Praktiken und sich wandelnden Verbraucheranforderungen umgehen zu können, müssen zukünftige Arbeitnehmer*innen mit entsprechenden Fähigkeiten ausgestattet werden. Im Zusammenhang mit dem Übergang zu einer nachhaltigen, bio-basierten Wirtschaft sehen sich Unternehmen mit sich ändernden Qualifikationsanforderungen konfrontiert. Berufsbildungssysteme spielen eine Schlüsselrolle bei der Ausbildung qualifizierter Arbeitskräfte, die den aktuellen und zukünftigen Anforderungen der Industrie gerecht werden [15].

1.3. Aufbau der Berufsausbildung in Deutschland

Die duale Ausbildung in Deutschland hat zum Ziel die „berufliche Handlungsfähigkeit“ zu vermitteln [16]. Sie besteht aus einem theoretischen Teil in einer Berufsschule und einem praktischen Teil in einem Ausbildungsbetrieb und/oder einer außerbetrieblichen Bildungseinrichtung. Die Verknüpfung von Theorie und Praxis soll die Vermittlung einer breit angelegten, beruflichen Grundbildung und darüber hinaus notwendiger fachlicher Fertigkeiten und Kenntnisse sicherstellen sowie den Erwerb der dafür erforderlichen Berufserfahrung [17]. Manche Ausbildungen werden auch vollständig in Berufsschulen vermittelt und beinhalten teilweise Praktika in Betrieben. Das Berufsbildungsgesetz (BBiG) bildet die grundlegende Regelung der Berufsausbildung in Deutschland. Kennzeichnend für die duale Ausbildung ist die Zusammenarbeit von Ausbildungsbetrieben und Berufsschulen. Als Grundlage für die berufliche Ausbildung gilt die Ausbildungsordnung, die die erforderlichen beruflichen Fertigkeiten, Kenntnisse und Fähigkeiten des jeweiligen Ausbildungsberufs beinhaltet. Auf schulischer Ebene wird, abgestimmt auf die Ausbildungsordnung der Kultusministerkonferenz, ein Rahmenlehrplan erarbeitet, der die Basis für einen verbindlichen Lehrplan der Berufsschulen ist.

Derzeit gibt es in Berufsbildungsgesetz (BBiG) und Handwerksordnung (HwO) 327 anerkannte Ausbildungsberufe [18]. Im Jahr 2024 haben 1,22 Millionen Auszubildende ihre

Berufsausbildung absolviert [19]. Dabei sind die Zahlen der Ausbildungsabschlüsse derzeit sinkend (2021: 1,26 Mio.; 2019: 1,33 Mio.), was auf die gesunkene Geburtenrate dieser Jahrgänge aber auch auf eine höhere Quote an Studierenden zurückzuführen ist [20, S. 9].

In den Ausbildungsbetrieben werden die Auszubildenden im regulären Berufsalltag eingesetzt und für ihre Arbeit entlohnt. Hier lernen sie entsprechend der Ausbildungsordnung die Fähigkeiten und Kompetenzen, die es für die praktische Ausübung des Berufs braucht. In den Berufsschulen werden die Theorie der fachlichen Anforderungen und auch allgemeine Themen gelehrt. Die Auszubildenden werden von ihren Ausbildungsbetrieben für den Besuch der Berufsschule freigestellt. Der Umfang der schulischen Ausbildung beträgt mindestens 12 Stunden pro Woche und damit meist 2 Arbeitstage. Dieser Anteil kann auch in Form von Blockunterricht organisiert werden [21].

Wie oben dargestellt, sind viele Akteure bei der Ausgestaltung und Umsetzung eines Ausbildungsgangs beteiligt. Hier sind im Detail die beteiligten Akteure und deren Verantwortlichkeiten dargestellt:

- Als zentrale Partner sind die **Ausbildungsbetriebe** beteiligt und vermitteln den praktischen Teil der Ausbildung. Dabei müssen sie sich an die Ausbildungsordnung halten, haben aber einen gewissen Gestaltungsspielraum in der Umsetzung. Dieser Spielraum bezieht sich zum Beispiel auf die Tiefe und Reihenfolge der gelehrteten Inhalte.
- **Ausbildungsunternehmen** können eine weitere Säule der betrieblichen Ausbildung darstellen. Wenn Unternehmen nur Teile der Lerninhalte aus der gesetzlichen Ausbildungsverordnung vermitteln können, oder auf bestimmte Tätigkeitsfelder beschränkt sind, können sie diese Lücken schließen oder Kapazitätsengpässe bei den Betrieben ausgleichen.

- Der zweite zentrale Partner ist die **Berufsschule**, die den Rahmenlehrplan umsetzt. Die Schule und die zuständigen Lehrer haben hierbei einen Einfluss auf die konkrete Gestaltung des Unterrichts [21].
- Die **Industrie- und Handelskammern** oder die **Handwerkskammern** überwachen die Ausbildungen. Außerdem führen sie die Zwischen- und Abschlussprüfungen durch und beraten Unternehmen zum Thema Ausbildung [22].
- Der Rahmenlehrplan für die Berufsschulen wird von der Kultusministerkonferenz beschlossen und an die **Kultusministerien** der Bundesländer weitergegeben. Diese geben vor, welche Themen in der Ausbildung gelehrt werden müssen [18].
- Der rechtliche Rahmen der dualen Ausbildung wird in Deutschland vom **Bundesministerium für Bildung, Familie, Senioren, Frauen und Jugend (BMBFSFJ)** vorgegeben. Dabei werden die Ausbildungsordnungen vom BMBFSFJ herausgegeben.
- Das BMBFSFJ wird bei der Entwicklung und Überarbeitung der Ausbildungsordnungen vom **Bundesinstitut für Berufsbildung (BIBB)** unterstützt. Dabei kümmert sich das BIBB hauptsächlich um die fachlichen und wissenschaftlichen Bereiche.
- Die praktischen Ausbildungsinhalte werden mit Sozialpartnern erarbeitet [23]. Hauptsächlich setzen sie sich aus Vertretern von **Arbeitgeberverbänden** und **Gewerkschaften** zusammen. Sie sollen sicherstellen, dass die Ausbildungen den Anforderungen des Arbeitsmarktes entsprechen [24, S. 1].

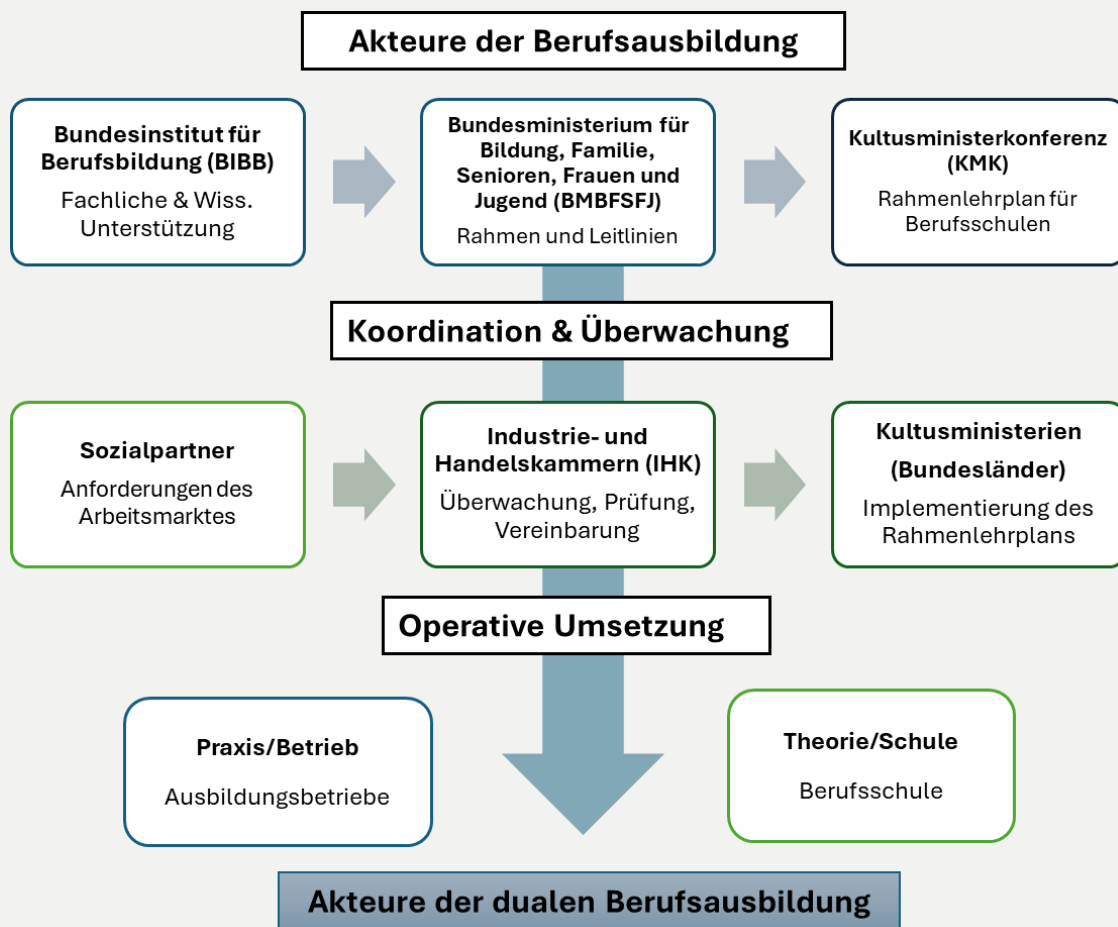


Abbildung 1: Aufbau der Berufsausbildung in Deutschland (eigene Darstellung).

1.4. Forschungsfragen

Die vorliegende Studie widmet sich der Analyse des sich wandelnden Qualifikationsbedarfs in der Berufsausbildung, im Zuge der Transformation hin zu einer nachhaltigen, bioökonomischen Wirtschaftsweise. Im Mittelpunkt steht dabei die Frage, welche Qualifikationslücken für den chemisch-pharmazeutischen Sektor bestehen und welche Handlungsbedarfe notwendig sind, um diese Lücken zu schließen. Dabei werden die folgenden Forschungsfragen beantwortet:

- Welche neuen Berufsprofile entstehen in der Bioökonomie, insbesondere in der chemischen Industrie?
 - Wie hoch ist der Bedarf an erforderlichen Kompetenzen?
 - Welche Qualifikationslücken bestehen zwischen den derzeitigen Ausbildungsinhalten und den Anforderungen der Bioökonomie?
 - Wie können Berufsbildungseinrichtungen bioökonomische Kompetenzen schrittweise in die spezifischen Ausbildungsprogramme der jeweiligen Branchen integrieren?
 - Welche Herausforderungen gibt es bei der Umsetzung neuer Bildungsmaßnahmen und welche Strategien sind geeignet, um Risiken zu minimieren?
-

2. Methodik

Dieses Kapitel skizziert das Forschungsdesign, die Datenerhebungsmethoden und den analytischen Ansatz.

2.1. Forschungsdesign

Die Studie wurde methodisch in mehrere Schritte unterteilt (Abbildung 2). Zunächst wurde eine Auswertung der relevanten Literatur und politischen Dokumente durchgeführt, um den konzeptionellen Hintergrund zu ermitteln und bestehende Rahmenbedingungen für die Kompetenzentwicklung in der Bioökonomie zu identifizieren.

Anschließend wurden halbstrukturierte Interviews mit ausgewählten Interessengruppen (z. B. Unternehmen, Personalverantwortlichen, Auszubildenden, Berufsschulen und Forschern) durchgeführt, um Primärdaten zu aktuellen und zukünftigen Kompetenzanforderungen zu sammeln. Eine Reihe von zentralen Leitfragen wurden im Voraus vorbereitet, um die Vergleichbarkeit der Interviews zu gewährleisten. Gleichzeitig wurde den Interviewenden Flexibilität gewährt, um interessante Punkte weiter zu verfolgen. Dies ermöglicht sowohl Konsistenz bei der Datenerhebung als auch Anpassungsfähigkeit an das Fachwissen jedes Interviewpartners [25].

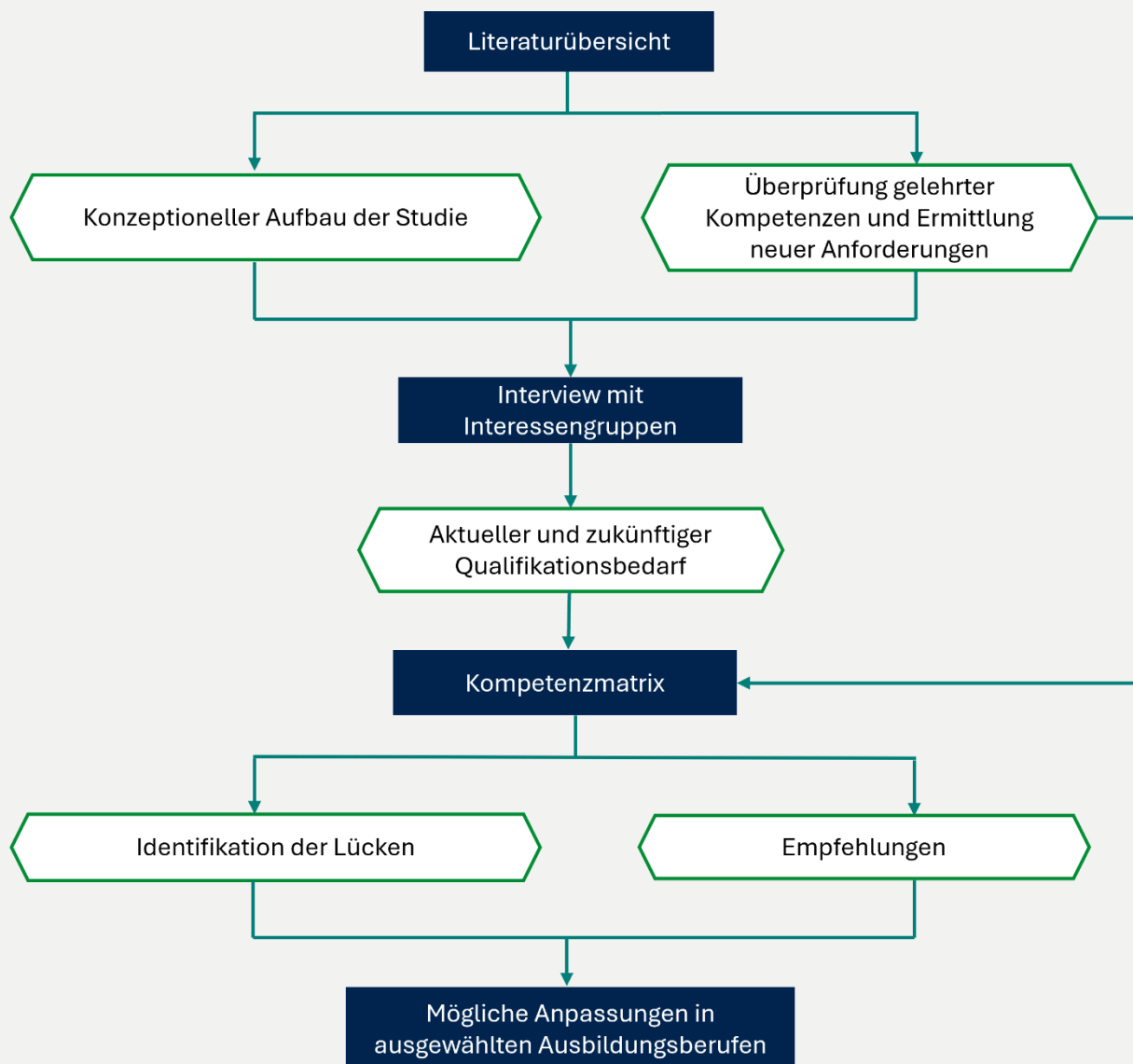


Abbildung 2: Schematische Darstellung des Forschungsdesigns (eigene Darstellung).

Des Weiteren wurden die Erkenntnisse aus der Literaturrecherche und den Interviews in einer Kompetenzmatrix zusammengefasst, um Lücken und potenzielle Anpassungsbereiche in den ausgewählten Ausbildungsberufen aufzuzeigen.

Aus diesen Erkenntnissen wurden schließlich Empfehlungen für die nächsten Schritte formuliert, um die ausgewählten Berufsbildungsprogramme an die sich wandelnden Anforderungen der Bioökonomie anzupassen.

2.2. Literaturrecherche

In Vorbereitung zu den qualitativen Daten aus den Interviews mit den Interessengruppen wurde eine gezielte Auswertung der einschlägigen Literatur durchgeführt. Dieser Ansatz zielte darauf ab, die Studie in den breiteren Diskurs über bioökonomiebezogene Kompetenzen und berufliche Bildung einzuordnen und gleichzeitig bestehende Rahmenbedingungen und strategische Prioritäten zu identifizieren.

Die Ergebnisse dieser Überprüfung wurden in den Interviewleitfaden integriert und dienten zugleich als Grundlage für die Erstellung einer Kompetenzmatrix. Die Literaturrecherche lieferte auf diese Weise systematische Hinweise zur Identifizierung von Lücken und Chancen bei der Ausrichtung der beruflichen Bildung an den Übergang zur Bioökonomie.

2.3. Befragung von Interessenvertretern

Die primäre Datenquelle für die Studie besteht aus halbstrukturierten Interviews mit einer Reihe von Akteuren, die im Bereich der Bioökonomie und der beruflichen Bildung und Ausbildung tätig sind.

Die Interviewpartner wurden so ausgewählt, dass ein breites Spektrum an Perspektiven entlang der Ausbildungs- und Beschäftigungskette vertreten war. Dazu gehörten:

- Vertreter der chemischen und biotechnologischen Industrie (z.B. Personalmanager), die aktuelle und zukünftige Kompetenzanforderungen aus Sicht der Arbeitgeber artikulieren können.

- Berufsschulen und Ausbildungsanbieter, die direkt für die Gestaltung der Lehrpläne und die Vorbereitung der Auszubildenden verantwortlich sind.
- Forschende, die eine systemische Perspektive auf die bioökonomische Transformation und die Auswirkungen auf die Arbeitskräfte einbringen.

Durch die Einbeziehung dieser Gruppen erfasst die Studie sowohl strategische als auch praktische Perspektiven auf aktuelle und zukünftige Qualifikationsanforderungen.

Der Interviewleitfaden wurde entwickelt, um die Wahrnehmung des Qualifikationsbedarfs, praktische Lücken in der Ausbildung sowie Einarbeitungsprozesse und die Auswirkungen von Trends wie Digitalisierung, Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft zu untersuchen.

Die wichtigsten Fragen konzentrierten sich darauf, sowohl den aktuellen Kompetenzbedarf in biobasierten Industrien als auch den voraussichtlichen, zukünftigen Qualifikationsbedarf zu ermitteln. Darüber hinaus wurde in den Interviews untersucht, inwieweit die aktuellen Berufsbildungsprogramme diesen Bedarf abdecken. Gleichzeitig wurden Empfehlungen für die Anpassung der Ausbildungsmodelle gesammelt, um die Vorbereitung auf zukünftige Herausforderungen zu verbessern.

Die Interviews wurden transkribiert und qualitativ ausgewertet, um wiederkehrende Themen, unterschiedliche Sichtweisen und umsetzbare Empfehlungen zu ermitteln. Jedes Interview dauerte etwa 30-45 Minuten und folgte dem entwickelten Leitfaden (Anhang: **Interviewleitfaden**), der zusätzlich auf den beruflichen Hintergrund der Befragten zugeschnitten war.

2.4. Kompetenzmatrix

Für die systematische Erfassung der Fähigkeiten und Kompetenzen, die für den Übergang zu einer biobasierten Wirtschaft von Bedeutung sind, wurde eine Matrix entwickelt. Diese Kompetenzmatrix dient dazu, die Erkenntnisse aus den Befragungen der Beteiligten und der

Literaturrecherche zu verknüpfen und sie in strukturierte Kompetenzkategorien zu gliedern. Der Zuordnungsprozess umfasste:

- Entwicklung von Kompetenzanforderungen basierend auf Erkenntnissen aus den Interviews mit Industrievertretern, Analysen aktueller Berufsbildungsprogramme und der Berücksichtigung relevanter Megatrends¹.
- Einteilung der Kompetenzen in Kategorien wie: Digitale Schlüsselkompetenzen, Klassische Kompetenzen, Transformative Kompetenzen, Bioökonomie Kompetenzen. Diese Klassifizierung basierte auf wiederkehrenden Themen und Begriffen, die in den Interviews genannt wurden und ermöglichte einen strukturierten Vergleich des Berufsbildungsbedarfs innerhalb der Bioökonomie.

Die Kompetenzmatrix bildet die Grundlage für die Ableitung gezielter Empfehlungen zur Aktualisierung von Ausbildungsinhalten, zur Entwicklung von Weiterbildungsmodulen und zur Integration bioökonomischer Kompetenzen in bestehende Berufsbilder.

¹ Ein Megatrend ist ein langfristiger, tiefgreifender Veränderungsprozess, der alle gesellschaftlichen, wirtschaftlichen, technologischen und ökologischen Bereiche beeinflusst. Typische Beispiele für Megatrends sind etwa Digitalisierung, Klimawandel, Demografischer Wandel, Urbanisierung oder Nachhaltigkeit. In der Berufsbildung und Arbeitswelt beeinflussen Megatrends maßgeblich die Anforderungen an Qualifikationen und Kompetenzen.

3. Ergebnisse

Dieses Kapitel präsentiert die Ergebnisse, die mit den unterschiedlichen Methoden gewonnen wurden, und leitet daraus die relevanten Schlussfolgerungen ab.

3.1. Qualifikationsbedarf für die biobasierte Industrie

Die Industrie benötigt Mitarbeiter, welche zusätzlich zu den derzeitigen Qualifikationen über weitere Kompetenzen verfügen. Grund dafür sind tiefgreifende Veränderungen durch Megatrends wie Nachhaltigkeit, Digitalisierung und die Bioökonomie, die neue Technologien, Prozesse und Denkweisen in der industriellen Produktion erfordern.

3.1.1. Kompetenzprofile der wichtigsten Ausbildungsberufe

Um die relevanten Entwicklungs- und Produktionsberufe in der chemischen Industrie zu identifizieren, wurden zunächst die angebotenen Ausbildungen bei großen Unternehmen in der Chemie- und Pharmabranche betrachtet. Dabei zeigte sich die Relevanz der Chemikant*innen in der Produktion und der Chemielaborant*innen in den Laboren der Chemieindustrie. Einen weiteren Teil der Arbeitskraft machen Pharmakant*innen aus, welche zum Beispiel auf die Produktion von Arzneimitteln und das Arbeiten in Reinräumen spezialisiert sind. Die Relevanz von Biologielaborant*innen hat sich in dieser Analyse nicht gezeigt, allerdings ist davon auszugehen, dass die größere Nutzung biologischer Ausgangsstoffe den Einsatzbereich dieses Ausbildungsgangs vergrößern und relevanter für die Branche werden wird [26]. Daher wird im Rahmen dieser Studie auch dieser Ausbildungsgang betrachtet.

Zunächst wurde der Status Quo der Lehrpläne der Ausbildungsgänge Biologielaborant*in, Chemielaborant*in, Chemikant*in und Pharmakant*in systematisch untersucht und auf seine Relevanz und Anschlussfähigkeit zur Bioökonomie evaluiert, um eventuelle Lücken in diesen Ausbildungen zu identifizieren.

Die **Chemikant*innen** überwachen, steuern und optimieren Produktionsprozesse. Der Lehrplan ist stark verfahrenstechnisch geprägt und enthält Kompetenzen wie Scale-up, Prozesssteuerung, Umweltschutz und Automatisierung. Bioökonomische Relevanz ergibt sich vor allem in der biotechnologischen Produktion, Fermentation und Verfahrenstechnik für biobasierte Stoffe. Gentechnische Inhalte sind kaum vertreten [27].

Die **Chemielaborant*innen** sind vor allem für die Entwicklung, Qualitätskontrolle und Analytik von großer Bedeutung. Chemielaborant*innen liefern durch präzise Laborarbeit die Datenbasis, auf deren Grundlage Produktionsprozesse angepasst und neue Produkte entwickelt werden können. Der Fokus liegt auf analytischen und präparativen Verfahren der Chemie. Bioökonomisch relevante Inhalte wie Biokatalyse, Polymerisation, Gentechnik und Umweltschutz sind vorhanden, jedoch oft im Rahmen von Wahlqualifikationen. Die Anschlussfähigkeit zur Bioökonomie ist gegeben, insbesondere bei Spezialisierung auf biobasierte Materialien oder biotechnologische Syntheseprozesse [28].

Der Lehrplan der Ausbildung zu **Pharmakant*innen** enthält umfassende Inhalte zu GMP/GLP², biotechnologischer Wirkstoffgewinnung, Fermentation, Proteintrennung, Sterilisation, Digitalisierung und Prozessleit-

² **Good Manufacturing Practice (GMP)** bezeichnet Richtlinien zur Qualitätssicherung in der Produktion, insbesondere in der Pharma-, Lebensmittel- und Kosmetikindustrie, um sichere und reproduzierbare Produkte zu gewährleisten.

Good Laboratory Practice (GLP) umfasst verbindliche Standards für die Planung, Durchführung und Dokumentation nichtklinischer Laborprüfungen, um die Zuverlässigkeit und Nachvollziehbarkeit von Ergebnissen sicherzustellen.

systemen. Diese Ausbildung hat gerade für die Biotechnologie eine große Relevanz, da in der pharmazeutischen Industrie biotechnologische Verfahren bereits vielfach eingesetzt werden (rote Biotechnologie). Dabei ist zum Beispiel die Nutzung von Mikroorganismen oder Zellkulturen zu nennen. Entsprechend ist die Verbindung zur Bioökonomie besonders stark in der biopharmazeutischen Produktion und den biotechnologischen Verfahren gegeben [29].

Die **Biologielaborant*innen** bekommen eine Grundausbildung in molekularbiologischen, biochemischen und mikrobiologischen Verfahren. Kompetenzen wie Umweltschutz, Gentechnik, Enzymanalytik und Zellkulturtechniken sind gut abgedeckt. Die Anbindung an die Bioökonomie ist hoch, insbesondere in Bereichen wie biotechnologische Verfahren, Umweltanalytik und digitalisierte Laborprozesse [30]. Durch die zunehmende Nutzung von Enzymen, Mikroorganismen oder pflanzlichen Rohstoffen können Biologielaborant*innen mit ihren Kompetenzen zur Schnittstelle zwischen klassischer Chemie und Biotechnologie werden. Der Lehrplan beinhaltet eine Grundlage in molekularbiologischen, biochemischen und mikrobiologischen Verfahren.

3.1.2. Anpassungsmöglichkeiten bei der Ausbildung

Die Anpassung und Weiterentwicklung von Berufsausbildungen an neue technologische und gesellschaftliche Anforderungen unterliegt strukturellen und institutionellen Rahmenbedingungen, die ihre Wandlungsfähigkeit erheblich verlangsamen können. Die Initiative für eine Änderung von Ausbildungsinhalten geht in der Regel von den Fachverbänden, Arbeitgeberverbänden, von den Gewerkschaften oder vom Bundesinstitut für Berufsbildung aus. Nach Anhörung aller Beteiligten entscheidet das zuständige Bundesministerium in Abstimmung mit den Ländern darüber. Wenn das Gesuch positiv beschieden wurde, stellt die zeitliche Dimension eine zentrale Herausforderung dar: die Integration neuer Inhalte in bestehende Ausbildungsordnungen erfordert einen mehrjährigen Abstimmungs- und Implementierungsprozess, der in der Regel zwischen zwei

und fünf Jahren in Anspruch nimmt. Dieser Prozess umfasst die Identifikation von Qualifikationsbedarfen, die Konsultation und Einbindung der Sozialpartner sowie die rechtlich-normative Anpassung der Ausbildungsordnungen. In dynamischen Innovationsfeldern, etwa der Digitalisierung oder der Bioökonomie, führt diese institutionelle Trägheit dazu, dass Ausbildungsinhalte häufig erst mit erheblicher Verzögerung an den aktuellen Stand der Technik oder die Erfordernisse des Arbeitsmarktes angepasst werden können [31, S. 19].

Darüber hinaus besteht eine weitere Herausforderung auf Seiten der Industrie. Viele Unternehmen orientieren sich nach wie vor an etablierten Ressourcen, Qualifikationsprofilen und Produktionsprozessen. Dies begünstigt eine kurzfristige Effizienzsteigerung, hemmt jedoch die Bereitschaft, neue Ausbildungsinhalte aktiv zu unterstützen oder entsprechende Investitionen in die Umstellung tätigen.

Um Ausbildungsinhalte an aktuelle Anforderungen der Arbeitswelt anzupassen, können neue Themen beispielsweise durch pädagogische Freiräume der Ausbilder*innen eingebracht werden. Diese haben oft die Möglichkeit, über die verpflichtenden Ausbildungsrahmenpläne hinaus zusätzliche Inhalte zu vermitteln, etwa zu digitalen Kompetenzen, Nachhaltigkeit oder interkultureller Kommunikation. So kann die Ausbildung praxisnäher und zukunftsorientierter gestaltet werden. Allerdings bringt dieses Vorgehen auch Herausforderungen mit sich. Da die Umsetzung stark von der jeweiligen Ausbildungsstätte und dem Engagement der Ausbilder*innen abhängt, kann es zu Ungleichheiten in der Qualifikation nominell gleicher Ausbildungsabschlüsse kommen. Nicht alle Auszubildenden erhalten somit den gleichen Zugang zu erweiterten Inhalten [32].

3.1.3. Megatrends, die künftige Qualifikationen beeinflussen

Der Wandel der chemischen Industrie im Zuge der biobasierten Wirtschaft ist eingebettet im stetigen Wandel der Arbeitswelt - aktuell besonders geprägt durch die Entwicklungen in

Bereichen wie Technologie, Nachhaltigkeit und dem demografischen Wandel. In diesem Sinne werden diese Megatrends auch im Rahmen dieser Studie miteinbezogen.

Die **digitale Transformation**, als ein maßgeblicher Megatrend, verändert die Arbeitsprozesse und Berufsbilder erheblich. Der Bedarf an digitalen Kompetenzen wächst stetig, insbesondere in Bereichen wie Datenanalyse, Künstliche Intelligenz (KI) und Automatisierung. In der Ausbildung werden zusätzlich verstärkt digitale Werkzeuge eingesetzt, darunter auch Virtual- und Augmented Reality³. Diese Technologien bieten neue, innovative Wege des Lernens und ermöglichen eine praxisnahe Ausbildung [33].

Ein weiteres Thema von wachsender Bedeutung ist **Nachhaltigkeit** und die Entwicklung „grüner“ Berufe. Der Klimawandel und die Notwendigkeit der Ressourcenschonung wirken sich massiv auf die Industrie aus und führen zu neuen Berufsbildern, die sich auf Umwelttechnologien und Kreislaufwirtschaft fokussieren. Auch die Ausbildung muss diesem Trend gerecht werden: Nachhaltigkeitskompetenzen werden mittlerweile in die Curricula integriert, um Fachkräfte auf die Herausforderungen einer grünen Zukunft vorzubereiten [20, S. 35].

Neben fachlichen Qualifikationen sind auch **soziale und persönliche Kompetenzen** von großer Bedeutung. In einer zunehmend komplexen Arbeitswelt müssen Fachkräfte nicht nur ihr Fachwissen beherrschen, sondern auch interdisziplinär denken und Problemlösungsfähigkeiten entwickeln. Teamarbeit, kritisches Denken und die Fähigkeit, sich an wechselnde Anforderungen anzupassen, sind ebenso gefragt wie fachliche Exzellenz. Der Übergang von der Berufsbildung zu höheren Bildungswegen, etwa Fachhochschulen, wird durch diese Anforderungen erleichtert und verstärkt [33].

Der **demografische Wandel** stellt ebenfalls eine bedeutende Herausforderung dar. Eine

alternde Gesellschaft und sinkende Ausbildungszahlen führen zu einem zunehmenden Fachkräftemangel. Um diesem Trend entgegenzuwirken, liegt ein Schwerpunkt auf der Nachwuchsförderung in MINT-Fächern (Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik) [20, S. 9].

Im Zuge der technologischen Entwicklung verlieren **gering qualifizierte Berufsbilder**, die keine oder nur geringe formale Qualifikationen erfordern in der Chemieindustrie, deutlich an Bedeutung. Tätigkeiten, die stark repetitiv oder manuell geprägt sind, werden zunehmend durch automatisierte Systeme ersetzt. Damit einhergehend verschiebt sich der Qualifikationsbedarf in Richtung höherer technischer, analytischer und digitaler Kompetenzen [34, S. 55].

Angesichts des raschen technologischen Wandels reicht eine einmalige Ausbildung nicht mehr aus, um den dynamischen Anforderungen der Branche dauerhaft gerecht zu werden. Der Bedarf an **kontinuierlicher Weiterbildung** nimmt daher erheblich zu. Beschäftigte in Ausbildungsberufen müssen stärker als bisher befähigt werden, sich selbstständig neues Wissen anzueignen und flexibel auf technologische Neuerungen zu reagieren [34, S. 55].

Spezifisch für Branchen wie Chemie, Biologie und Pharmazie zeigen sich ebenfalls bemerkenswerte Trends. In der Chemie- und Pharmabranche ist ein **Rückgang klassischer Laborberufe** zu beobachten, während gleichzeitig ein **erhöhter Bedarf an IT- und Nachhaltigkeitskompetenzen** antizipiert wird. In der Chemiebranche wird beispielsweise bis 2030 ein Bedarf an bis zu 9.000 zusätzlichen IT-Fachkräften prognostiziert. Auch in der Biotechnologie- und Pharmabranche wird eine stärkere Integration von Bioinformatik, personalisierter Medizin und regulatorischem Wissen

³ **Virtual Reality (VR)** bezeichnet computergenerierte, vollständig digitale Umgebungen, in die Nutzer mithilfe spezieller Geräte (z. B. VR-Brillen) eintauchen und interaktiv agieren können.

Augmented Reality (AR) hingegen erweitert die reale Umgebung um digitale Informationen oder Objekte, die über Displays oder Kameras eingeblendet werden.

notwendig sein, um den Anforderungen gerecht zu werden [34].

Zusammenfassend zeigt sich, dass die berufliche Ausbildung und Weiterbildung zunehmend flexibler, digitaler und mit umfangreicheren Nachhaltigkeitskompetenzen gestaltet werden muss, um den Anforderungen der modernen Arbeitswelt gerecht zu werden. Auch nach einer erfolgten Ausbildung müssen sich Fachkräfte kontinuierlich weiterentwickeln und anpassungsfähig bleiben, um in einer dynamischen und zunehmend interdisziplinären Arbeitswelt erfolgreich zu sein.

3.1.4. Ermittelte Qualifikationslücken basierend auf der Literaturrecherche

Die Literaturrecherche hat ergeben, dass der strukturelle Wandel hin zu einer nachhaltigeren, digitalisierten und stärker vernetzten chemisch-pharmazeutischen Industrie zu deutlichen Verschiebungen in den Anforderungen an Ausbildungsberufe führt. Die Recherche hat dabei folgende Themen identifiziert, die bisher nicht ausreichend in Ausbildungsinhalten widerspiegelt sind:

Bioökonomie

Ein relevantes Zukunftsfeld der Chemieindustrie liegt in der Verarbeitung biobasierter Rohstoffe und der Anwendung biotechnologischer Prozesse. Diese erfordern ein tieferes Verständnis für alternative Rohstoffe, umweltfreundliche Synthesewege und energieeffiziente Verfahren. Traditionelle Ausbildungsinhalte greifen hier oft zu kurz. Es fehlt insbesondere an praxisnahen Kompetenzen in Bereichen wie Biokonversion (z.B. Ligninverwertung) oder biobasierter Polymerchemie, die künftig stark an Relevanz gewinnen werden [35].

Digitalisierung von Prozessen

Die zunehmende Digitalisierung industrieller Prozesse bringt neue Anforderungen für Fachkräfte in der Chemieindustrie mit sich. Automatisierung, vernetzte Produktionssysteme und intelligente Anlagensteuerung erfordern IT-Grundlagenwissen sowie die Fähigkeit, digitale Schnittstellen und Steuerungstechnologien zu

bedienen. Klassische Ausbildungsberufe müssen daher stärker mit digitalen Inhalten angereichert werden, um der fortschreitenden Prozessdigitalisierung gerecht zu werden [34, S. 55].

Datenanalyse, Big Data & digitale Agilität

Mit der wachsenden Bedeutung datengetriebener Entscheidungsprozesse werden Kompetenzen in Datenanalyse, statistischer Auswertung und digitaler Agilität zu Schlüsselqualifikationen. Gerade die Nutzung großer Datenmengen zur Optimierung von Produktionsprozessen, Qualitätssicherung und Effizienzsteigerung wird als strategisch wichtig identifiziert, gleichzeitig fehlen diese Fähigkeiten in vielen traditionellen Ausbildungsberufen noch weitgehend. Aus- und Weiterbildungssysteme müssen stärker auf digitale und datengetriebene Technologien ausgerichtet werden, um den zukünftigen Anforderungen der Branche gerecht zu werden [36].

Soft Skills: Kommunikation, Teamarbeit und Führung

Neben den fachlichen Anforderungen gewinnen auch soziale und persönliche Kompetenzen (Soft Skills) stark an Bedeutung. Besonders gefragt sind Fähigkeiten in Kommunikation, Teamarbeit und Führung. In zunehmend interdisziplinären Arbeitsumfeldern sind sie unerlässlich, um effektiv zusammenzuarbeiten, Verantwortung zu übernehmen und Veränderungsprozesse aktiv mitzugestalten. Ausbildungsberufe müssen deshalb systematisch um die Vermittlung solcher Soft Skills ergänzt werden [37].

Abschließend zeigt die Literaturrecherche, dass die bestehenden Ausbildungsinhalte den zukünftigen Anforderungen der Chemieindustrie nur unzureichend gerecht werden, insbesondere in den aufgezeigten Bereichen, die für die wettbewerbsfähige Ausrichtung der Branche von zentraler Bedeutung sind. Vor diesem Hintergrund wurden die identifizierten Kompetenzbedarfe systematisch aufgearbeitet und in die Kompetenzmatrix integriert, um eine zielgerichtete Anpassung der Ausbildungsprofile

an die zukünftigen Transformationsanforderungen sicherzustellen.

3.2. Interviewergebnisse & Perspektiven der Interessenvertreter

Um tiefere Einblicke in die sich wandelnden Qualifikationsanforderungen innerhalb der Bioökonomie zu gewinnen, wurden dreizehn Experteninterviews mit Vertretern verschiedener Bereiche entlang der Berufsbildungs- und Beschäftigungskette durchgeführt. Zu den Interviewees gehörten acht Fachleute aus Unternehmen der Chemie-, Pharma- und Biotechnologiebranche, vier Personen aus Forschungseinrichtungen und ein Vertreter aus der Politik. Innerhalb der Unternehmensgruppe war eine Vielzahl unterschiedlicher Funktionen vertreten, darunter Ausbildungskoordinatoren, Personalmanager, Auszubildende und Projektspezialisten, wodurch eine breite Perspektive auf den Personalbedarf und die Kompetenzent-

Mehrere Experten wiesen darauf hin, dass Themen wie Ressourcenschonung, Abfallwirtschaft und Kreislaufwirtschaft bereits Teil von Ausbildungsprogrammen oder Unternehmensworkshops sind, auch wenn der Begriff „Bioökonomie“ selbst selten verwendet wird. Ergänzend dazu wurde benannt, dass der Begriff „Bioökonomie“ in Unternehmen und Berufsschulen nicht allgemein verstanden wird. Um die Verständlichkeit und Akzeptanz zu verbessern, schlugen einige vor, leichter verständliche, beschreibende Ausdrücke wie „biobasierte Wirtschaft“ zu verwenden. Diese Rückmeldung unterstreicht die Notwendigkeit starker Kommunikations- und Vermittlungsfähigkeiten sowohl im Bildungsbereich als auch am Arbeitsplatz.

Eine wiederkehrende Meinung war, dass völlig neue Berufe nicht notwendig sind. Stattdessen sollte die Bioökonomie, nach Meinung der Ex-

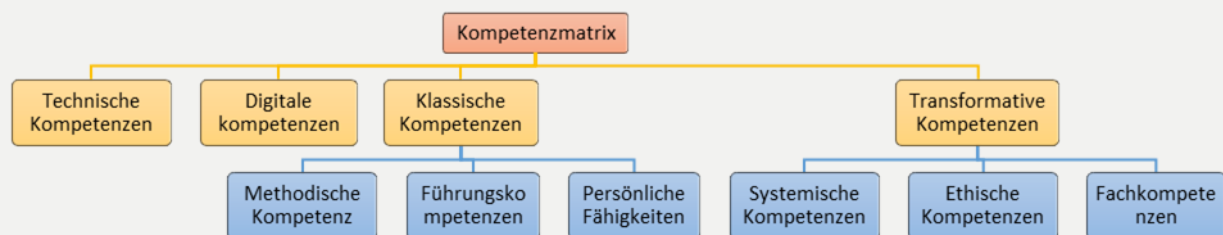


Abbildung 3: Kompetenzmatrix – Übersicht der Kategorien und Subkategorien von Kompetenzen (eigene Darstellung)

wicklung gewährleistet ist. Eine Übersicht über die Befragten sowie ihre Funktionen und Erfahrungen ist in Tabelle 1 dargestellt.

Die aus den Experteninterviews gewonnenen Erkenntnisse geben nicht nur Aufschluss über die künftigen Qualifikationsanforderungen in der industriellen Bioökonomie, sondern berühren auch verwandte Themen, die über den ursprünglichen Untersuchungsrahmen hinausgehen.

Die meisten Befragten verbanden das Konzept der Bioökonomie eng mit Nachhaltigkeit. Während „Nachhaltigkeit“ sowohl im öffentlichen als auch im fachlichen Diskurs bereits fest etabliert ist, wird der Begriff „Bioökonomie“ oft als abstrakt oder politisch aufgeladen angesehen.

perten, als Querschnittsthema in bestehende Berufe eingebettet werden – durch aktualisierte Module, praktische Projekte oder Weiterbildungen. Diese Ansicht war besonders unter Vertretern der Industrie und der Ausbildung verbreitet, die betonten, dass nachhaltige und biobasierte Prozesse eher bestehende Fähigkeiten erweitern als ersetzen.

Neben technischem Wissen in den Bereichen Biotechnologie, Chemie und Ressourcenmanagement betonten fast alle Befragten die Bedeutung von Soft Skills. Kommunikation, Teamarbeit, Problemlösungskompetenz und digitale Kompetenz wurden als unerlässlich für die Arbeit mit neuen Technologien, interdisziplinären Teams und nachhaltigen Innovationsprozessen angesehen.

Einige Experten wiesen auf strukturelle Hindernisse hin, wie beispielsweise die begrenzte Flexibilität der derzeitigen Ausbildungsrahmenbedingungen, veraltete Lernmaterialien und schwache Verbindungen zwischen Industrie und Bildungseinrichtungen. Die Notwendigkeit, das Lehrpersonal weiterzubilden und die Verbindung zwischen Schulen und Unternehmen zu stärken, wurde als entscheidend für die effektive Verankerung von Inhalten im Zusammenhang mit der Bioökonomie angesehen.

Insgesamt zeigen die Interviews, dass die Bioökonomie derzeit in der beruflichen Ausbildung vor allem durch Themen im Zusammenhang mit Nachhaltigkeit berücksichtigt wird. Um den künftigen Qualifikationsbedarf zu decken, müssen Inhalte der Bioökonomie schrittweise in bestehende Ausbildungsprogramme integriert werden.

Im folgenden Abschnitt (3.2.1) werden die aus diesen Ergebnissen abgeleiteten spezifischen Kompetenzen dargelegt.

3.2.1. Erforderliche Kompetenzen

Die Analyse der Interviews führte zur Identifizierung von Schlüsselkompetenzen, die in vier Kategorien entsprechend dem Future Skill Framework [39] unterteilt wurden: digitale, klassische, transformative und technische Fähigkeiten (Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.). Die Klassifizierung basierte auf wiederkehrenden Themen und Begriffen, die von den Befragten verwendet wurden, und ermöglichte einen strukturierten Vergleich des Kompetenzbedarfs innerhalb der Bioökonomie [38], [39].

Technische Kompetenzen

Die Interviews ergaben eine Reihe von spezialisierten, praktischen Fähigkeiten, die für die Unterstützung biobasierter Prozesse in der chemisch-pharmazeutischen Industrie unerlässlich sind. Zu den Schlüsselkompetenzen gehören Kenntnisse in Gentechnik und der Handhabung genetisch veränderten Mikroorganismen (GMO), die für die Optimierung von Mikrobenstämmen und biotechnologische Produktion von entscheidender Bedeutung sind. Auch die Biokatalyse und die Biopolymersynthese

wurden als wichtige Bereiche hervorgehoben, die nachhaltige Alternativen zu traditionellen chemischen Prozessen und Materialien bieten. Die Fähigkeit, Scale-up-Prozesse zu managen, bei denen Laborergebnisse in industrielle Anwendungen umgesetzt werden, ist eine weitere wichtige Kompetenz, die sowohl technische Präzision als auch Anpassungsfähigkeit erfordert. Fundierte Kenntnisse in Chemie, Mikrobiologie und biomolekularen Systemen unterstützen die praktische Arbeit, während das Verständnis der Eigenschaften biobasierter Materialien und der Prozessempfindlichkeiten die Betriebssicherheit gewährleistet. Darüber hinaus sind Umwelttoxizitätstests und deren Anwendung von entscheidender Bedeutung, um Sicherheit, gesetzliche Konformität und Nachhaltigkeit zu gewährleisten. Diese Kompetenzen unterstreichen die Notwendigkeit, biotechnologie-spezifische Inhalte und praktische Erfahrungen in die Berufsausbildung für technische und wissenschaftliche Berufe zu integrieren – insbesondere für Chemikant*innen, Chemielaborant*innen, Biologielaborant*innen und Pharmakant*innen, um die Auszubildenden auf die sich wandelnden Anforderungen der Branchen, durch eine Etablierung der Bioökonomie, vorzubereiten.

Digitale Kompetenzen

Digitale Kompetenzen wurden in den Interviews durchweg als wichtige Fähigkeiten hervorgehoben, um Auszubildende auf ihren Beruf in einer verstärkt biobasierten, chemischen Industrie vorzubereiten. Da Labore und Produktionsumgebungen zunehmend digitalisiert werden, wird von Auszubildenden erwartet, dass sie nicht nur traditionelle Labortechniken beherrschen, sondern auch sicher mit digitalen Systemen für die Arbeit in modernen Laboren umgehen können.

Die Medienkompetenz ist besonders beim Umgang mit wissenschaftlichen Informationen von entscheidender Bedeutung. Auszubildende nutzen zunehmend KI-Tools wie ChatGPT zum Lernen, müssen aber auch deren Grenzen kritisch einschätzen können. Darüber hinaus sind solide Grundkenntnisse in IT-Fähigkeiten wie Dateiverwaltung und Cybersicherheit wichtig,

um sichere und effiziente Arbeitsabläufe sicher zu stellen.

Klassische Kompetenzen

Zusätzlich zu den digitalen Kompetenzen betonten die Interviewten immer wieder die anhaltende Bedeutung klassischer Kompetenzen in der beruflichen Ausbildung, insbesondere in der chemisch-pharmazeutischen Industrie.

Methodische Kompetenzen

Die Ergebnisse der Befragung zeigen, dass Auszubildende starke methodische Fähigkeiten entwickeln müssen. Zu den wesentlichen Aspekten gehört die Fähigkeit, kontinuierlich zu lernen und Initiative beim Erwerb neuen Wissens zu ergreifen. Offenheit für Innovationen und Anpassungsfähigkeit an sich verändernde Prozesse sind ebenfalls von entscheidender Bedeutung. Auszubildende sollten in der Lage sein, Probleme zu lösen und über gesamte Arbeitsabläufe hinweg zu denken, anstatt nur Anweisungen zu befolgen. Das Verständnis für die Herausforderungen bei der Skalierung biobasierter Prozesse und die Anwendung strukturierter Methoden bei der Planung und Dokumentation wurden ebenfalls hervorgehoben. Darüber hinaus sind sowohl die Umsetzung theoretischer Konzepte in praktische Lösungen als auch selbstständiges Lernen wichtige Eigenschaften.

Führungskompetenzen

Die Interviews zeigen, dass Führungsqualitäten in der Industrie und Bioökonomie nicht nur auf Personen in formellen Führungspositionen beschränkt sind. Im Mittelpunkt steht vielmehr die Förderung zentraler Fähigkeiten: fundierte Entscheidungen in komplexen Situationen zu treffen, kreativ über zukünftige Entwicklungen nachzudenken und Verantwortung für Prozesse zu übernehmen. Diese Eigenschaften sind auch in der beruflichen Ausbildung wichtig, da sie dazu beitragen, aktuelle Herausforderungen zu bewältigen und Innovationen zu fördern.

Persönliche Kompetenzen

Zu dieser Kategorie gehören auch die sogenannten Soft Skills – interdisziplinäre, soziale und persönliche Kompetenzen, die für den Erfolg in der beruflichen Ausbildung und Praxis entscheidend sind. In allen Interviews wurden persönliche Kompetenzen durchweg als wesentlich für die berufliche Ausbildung in der Bioökonomie hervorgehoben. Sie unterstützen Auszubildende und Fachkräften dabei, sich in der dynamischen und oft unvorhersehbaren Arbeitsumgebung der chemisch-pharmazeutischen Industrien zurechtzufinden.

Die Interviews machten deutlich, dass persönliche Eigenschaften bei der Vorbereitung von



Auszubildenden auf die Bioökonomie genauso

wichtig sind wie technische Fähigkeiten. Eigenschaften wie Belastbarkeit und Flexibilität helfen ihnen, mit Veränderungen und Rückschlägen umzugehen, während unabhängiges Denken und Selbstständigkeit es ihnen ermöglichen, Initiative zu ergreifen und Verantwortungsbewusst zu arbeiten. Offenheit für Veränderungen, Motivation und Engagement sind in einem sich ständig weiterentwickelnden Bereich besonders wichtig. Darüber hinaus fördern eine gesellschaftliche Perspektive und Neugierde in Bezug auf Nachhaltigkeit und übergeordnete Herausforderungen ein tieferes Engagement und Innovationskraft. Diese persönlichen Stärken helfen Auszubildenden, in dynamischen, zukunftsorientierten Arbeitsumgebungen erfolgreich zu sein.

Transformative Kompetenzen

Transformative Kompetenzen beziehen sich auf Fähigkeiten, die es Einzelpersonen ermöglichen, nicht nur Aufgaben effizient auszuführen, sondern auch aktiv zur Gestaltung nachhaltiger und biobasierter Entwicklungen beizutragen. In den Interviews wurde deutlich, dass diese Kompetenzen, insbesondere in Bezug auf Systemdenken, ethisches Bewusstsein und interdisziplinäre Verantwortung, von Experten als zunehmend wichtig für die Arbeitskräfte in der Bioökonomie angesehen wurden.

Systemische Kompetenzen

Die Interviews machten deutlich, dass Auszubildende über einzelne Aufgaben hinausdenken und verstehen müssen, wie sich ihre Arbeit in industrielle Prozesse einfügt. Dazu gehört es, vor- und nachgelagerte Auswirkungen zu erkennen, ein allgemeines Verständnis für Arbeitsabläufe zu entwickeln und Rohstoffquellen hinsichtlich Nachhaltigkeit und Effizienz zu bewerten. Kenntnisse in den Bereichen Prozesswissen und Werkstofftechnik sind unerlässlich, um sicherzustellen, dass biobasierte Innovationen skalierbar und praktikabel sind. Die Ausbildung sollte interdisziplinäres Lernen und den Umgang mit untereinander verbundenen Systemen in der Praxis fördern.

Ethische Kompetenzen

Die Interviews haben gezeigt, dass ethisches Bewusstsein in der beruflichen Ausbildung für die Bioökonomie immer wichtiger wird. Auszubildende sollten mit regulatorischen und ökologischen Standards wie Biologische Sicherheit und Nachhaltigkeitsrichtlinien vertraut sein. Sie müssen lernen, wie sie technologische Innovationen mit ökologischer Verantwortung in Einklang bringen können, insbesondere bei der Arbeit mit neuen biologischen Materialien. Eine auf Nachhaltigkeit ausgerichtete Denkweise und die Fähigkeit, Umweltauswirkungen kritisch zu bewerten, sind unerlässlich. Fähigkeiten wie die Prüfung der Umwelttoxizität und das Verständnis von Zulassungsverfahren (z. B. Europäische Arzneimittel-Agentur (EMA), Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA)) tragen dazu bei, dass biobasierte Produkte verantwortungsbewusst und in Übereinstimmung mit den gesetzlichen und ökologischen Erwartungen entwickelt werden.

Fachkompetenzen

Die Interviews stellten eine Reihe von beruflichen Kernkompetenzen auf, die für die berufliche Ausbildung in der chemischen und pharmazeutischen Industrie unerlässlich sind. Dazu gehören Kenntnisse der gesetzlichen Vorschriften (GLP, GMP, Biologische Sicherheit), ergebnisorientiertes Denken und die Fähigkeit, Wissen in der Praxis anzuwenden. Auszubildende sollten sicher im Umgang mit Laborarbeiten, Bioreaktoren und der Wartung von Geräten sein und gleichzeitig interdisziplinäres Wissen in Mikrobiologie und Chemie erwerben. Gute Kenntnisse in technischem Englisch und praktische Erfahrung im sicheren Umgang mit biobasierten Materialien, Chemikalien und Laborgeräten sind für die Arbeit in der bioökonomischen Produktion unerlässlich.

3.2.2. Lücken in der Ausbildung

Während Nachhaltigkeit zu einem anerkannten und fest integrierten Thema in der beruflichen Bildung geworden ist, wird das Thema Bioökonomie in den aktuellen Lehrplänen nicht ausdrücklich erwähnt. Die Bioökonomie wird,

wenn überhaupt, nur kurz in Workshops und Einführungssitzungen behandelt und fehlt in einer systematischen Integration in den Ausbildungsrahmenbedingungen.

Es wurden einige zentrale Herausforderungen identifiziert, die im Folgenden aufgeführt sind:

- **Lücken im Lehrplan**

Einige Themen der technischen Chemie, wie Verfahrenstechnik und Skalierung, werden nur unzureichend behandelt. Biologielaborant*innen werden thematisch zu breit ausgebildet und behandeln oft Themen, die für die Biotechnologie und biochemische Produktion irrelevant sind. Es besteht eine Diskrepanz zwischen der beruflichen Ausbildung und den Anforderungen der bioökonomischen Innovation, insbesondere im Bereich der biobasierten Produktionsprozesse.

- **Fehlende Kenntnisse und Fähigkeiten**

Das Konzept der Bioökonomie ist für viele, selbst für diejenigen, die in relevanten Bereichen arbeiten, noch unklar oder unbekannt. Die konzeptionellen und analytischen Denkfähigkeiten der Auszubildenden sowie eine marktorientierte Perspektive sollten gestärkt werden. Die fehlende Verzahnung verschiedener Disziplinen erschwert es den Lernenden, nachzuvollziehen, wie Kompetenzen aus unterschiedlichen Fachbereichen zur Entwicklung skalierbarer Lösungen in der Bioökonomie beitragen.

- **Operative und strukturelle Probleme**

Eine der in den Interviews erwähnten, operativen Herausforderungen betrifft konkrete Nachhaltigkeitsmaßnahmen wie die Mülltrennung. Obwohl diese grundsätzlich praktiziert wird, verhindert eine chemische Kontamination oft ein tatsächliches Recycling, sodass die Materialien verbrannt werden müssen. Derartige Praxisbeispiele verdeutlichen die Grenzen der Umsetzung von (theoretisch) vermittelten Kreislaufwirtschaftsprinzipien in Laboren und Produktionsstätten. Darüber hinaus kann das duale Berufsbildungssystem zu Lücken führen, da

Unternehmen und Berufsschulen jeweils davon ausgehen, dass bestimmte Themen von der jeweils anderen Institution abgedeckt werden.

3.3. Entstehende Berufsprofile in der Bioökonomie: Erkenntnisse aus Stakeholder-Befragungen und Literaturrecherche

Die Transformation der chemischen und pharmazeutischen Industrie, die durch Digitalisierung, Nachhaltigkeit und das Aufkommen bioökonomischer Prinzipien vorangetrieben wird, verändert die beruflichen Rollen und Anforderungen in diesem Sektor. Sowohl Interviews mit Interessengruppen, als auch eine Literaturrecherche [20, S. 62] kommen zu dem Schluss, dass durch die Biologisierung der Chemieindustrie keine völlig neuen Berufsbilder entstehen, sondern bestehende Berufsbilder angepasst und erweitert werden, um den neuen Anforderungen gerecht zu werden. Eine wichtige Erkenntnis aus den Interviews ist der Wandel der persönlichen Werte jüngerer Arbeitskräfte, insbesondere von Berufseinsteiger*innen und Auszubildenden, die zunehmend nach Karrieren mit Sinn und gesellschaftlicher Bedeutung suchen. Dieser Wandel beeinflusst die Berufswahl und steigert das Interesse an Tätigkeiten, die zu Nachhaltigkeit und Umweltverantwortung beitragen.

Die berufliche Bildung reagiert auf diese Veränderungen, indem sie neue Kompetenzen in bestehende Ausbildungsprogramme integriert. So wurde beispielsweise der Beruf des Chemietechnikers 2018 um die Wahlqualifikation „Digitalisierung und vernetzte Produktion“ erweitert, was verdeutlicht, wie moderne Anforderungen in bestehende Strukturen eingebettet werden [40]. In ähnlicher Weise werden die Rollen von Chemielaborant*in und Biologielaborant*in immer stärker miteinander verknüpft, was die zunehmende Überschneidung zwischen chemischen und biologischen Prozessen, insbesondere in der industriellen Biotechnologie, widerspiegelt. Fachliche Kenntnisse in Bereichen wie Fermentation, Zellkultur und Verarbeitung von Biomaterialien gewinnen an

Bedeutung und erfordern spezialisiertere Kenntnisse und Fähigkeiten.

Die Interessengruppen wiesen auch auf das Entstehen neuer Fachbereiche entlang der Wertschöpfungskette hin, wie beispielsweise Biomasse-Logistik, Nachhaltigkeitsökonomie und Ressourcenrückgewinnung in der Abfallwirtschaft, die in bestehende Berufsbilder integriert werden, anstatt völlig neue Berufe zu schaffen. Diese Entwicklungen unterstreichen den Bedarf an hybriden Rollen, die technisches Fachwissen mit regulatorischem und ökologischem Bewusstsein verbinden. Die Literatur unterstützt diesen Ansatz und weist darauf hin, dass die chemische Industrie in der Vergangenheit auf neue Herausforderungen reagiert hat, indem sie bestehende Ausbildungsinhalte und -methoden aktualisiert hat, anstatt neue Ausbildungsgänge zu schaffen. Diese Strategie ermöglicht eine schnellere Umsetzung und größere Flexibilität bei der Bewältigung aktueller und zukünftiger Qualifikationsanforderungen [41], [42].

Insgesamt wird sowohl in der Literatur als auch in den Interviews die wachsende Bedeutung interdisziplinärer Kompetenzen und einer anpassungsfähigen beruflichen Bildung hervorgehoben. Anstatt neue Ausbildungsberufe zu schaffen, liegt der derzeitige Schwerpunkt darauf, bestehende Berufsbilder schrittweise weiterzuentwickeln, um Nachhaltigkeit, biobasierte Prozesse und digitale Arbeitsmethoden zu integrieren. Dies ist ein pragmatischer Ansatz, der sowohl den Anforderungen der Industrie als auch der Struktur des dualen Berufsbildungssystems gerecht wird.

3.4. Vergleich der Ergebnisse über eine Kompetenzmatrix

Mit den gewonnenen Daten aus Interviews und Literaturrecherche wurde eine Kompetenzmatrix (Tabelle 2) erstellt, die die zentralen Anforderungen an zukünftige Fachkräfte in der Chemie- und Pharmaindustrie systematisch abbildet. Ziel dieser Vorgehensweise war es, die in den Curricula der relevanten Ausbildungsberufe verankerten Kompetenzen mit den in der Praxis als besonders bedeutsam

eingeschätzten Qualifikationen in Beziehung zu setzen. Auf diese Weise konnte ein strukturierter Vergleich zwischen curricularen Vorgaben und den tatsächlichen Anforderungen der Arbeitswelt vorgenommen werden.

Die Kompetenzmatrix zeigt eine Diskrepanz zwischen den Kompetenzen, die von Branchenexperten als wesentlich erachtet werden, und denen, die derzeit in Berufsbildungsprogrammen verankert sind. In fast allen Bereichen betonten die Befragten die Bedeutung von Fähigkeiten, die über traditionelles technisches Wissen hinausgehen, insbesondere im Zusammenhang mit Digitalisierung, Anpassungsfähigkeit und Nachhaltigkeit. Die Lehrpläne behandeln diese Kompetenzen jedoch oft nur begrenzt oder fragmentarisch.

Eine der auffälligsten Lücken besteht im Bereich der digitalen Kompetenzen. Während Experten Fähigkeiten wie Medienkompetenz, den Umgang mit KI-Tools (z. B. ChatGPT) und die Anpassungsfähigkeit an neue Technologien als äußerst relevant einstufen, werden diese in keinem der Ausbildungsprogramme ausdrücklich behandelt. Nur grundlegende IT-Kenntnisse werden durchgängig vermittelt, was darauf hindeutet, dass zwar digitale Basisfähigkeiten vorhanden sind, die weiterreichenden Auswirkungen der digitalen Transformation jedoch noch nicht in der beruflichen Bildung berücksichtigt werden.

Im Bereich der methodischen Kompetenzen wurde der Bedarf an lebenslangem Lernen, selbstgesteuerter Entwicklung und Innovationsfähigkeit stark betont. Diese Kompetenzen sind jedoch selten strukturiert in den Ausbildungsinhalten verankert. Obwohl Problemlösungskompetenz und prozessorientiertes Denken in praktischen Modulen vorkommen, wird die Fähigkeit, die eigenen Fähigkeiten kontinuierlich zu aktualisieren, nicht formal gefördert.

Auch in den Bereichen Führung und persönliche Entwicklung bestehen erhebliche Lücken. Kompetenzen wie die Fähigkeit, in komplexen Situationen fundierte Entscheidungen zu treffen, kreativ über zukünftige Möglichkeiten nachzudenken und Verantwortung für

Prozesse und Ergebnisse zu übernehmen, werden als entscheidend angesehen, sind jedoch nur indirekt vorhanden, häufig in Form von Kommunikations- oder Dokumentationsaufgaben.

Im Gegensatz dazu sind technische Kompetenzen gut abgedeckt. Themen wie Compliance-Bewusstsein, wissenschaftliche Kenntnisse und Laborerfahrung bilden den Kern aller vier Ausbildungsprogramme. Bemerkenswert ist auch, dass die interdisziplinäre Kommunikation in allen Berufen gut integriert ist, was wahrscheinlich auf ihre hohe praktische Relevanz in kollaborativen Umgebungen zurückzuführen ist. Fortgeschrittene technische Themen, darunter Biokatalyse, Scale-up-Prozesse und Umgang mit Bioreaktoren, werden in den Betrieben und Ausbildungseinrichtungen in unterschiedlichem Umfang vermittelt. Kompetenzen im Zusammenhang mit Prozessempfindlichkeit und Umwelttoxizität sind trotz ihrer Bedeutung für Sicherheit und Nachhaltigkeit unterrepräsentiert. Die Unterschiede zwischen chemisch und biologisch ausgerichteten Berufsausbildungen sind struktureller Natur. Während Berufe wie Biologielaborant*in und Pharmakant*in eher auf biotechnologische Prozesse, Zellkulturen und mikrobiologische Verfahren ausgerichtet sind, konzentrieren sich die Ausbildungen Chemikant*in und Chemielaborant*in auf Verfahrenstechnik, chemische Synthese und Analytik. Diese Unterscheidung ist entscheidend für das Verständnis, welche Berufsbilder bereits bioökonomische Inhalte enthalten und wo noch Anpassungsbedarf besteht.

Ethische und systemische Kompetenzen sind in allen behandelten Ausbildungsprogrammen nur fragmentarisch vorhanden. Während GMP, Umweltschutz und regulatorisches Bewusstsein erwähnt werden, fehlen komplexere Aspekte wie Nachhaltigkeitsdiskurs, bioökonomisches Denken und wirtschaftliches Denken (z. B. Kostenstrukturen, Skalierbarkeit) in allen Berufen, obwohl sie für industrielle Entscheidungen relevant sind.

Die Ergebnisse zeigen, dass die berufliche Bildung zwar über eine gute technische Basis

verfügt, aber eine Aktualisierung der Lehrpläne nötig ist. Um den sich wandelnden Anforderungen in Industrie und Labor gerecht zu werden, müssen Ausbildungsprogramme Module integrieren, die digitale Kompetenz, ethisches Bewusstsein, systemisches Denken und persönliche Anpassungsfähigkeit fördern. Wenn diese Lücken geschlossen werden, sind die Lernenden nicht nur technisch qualifiziert, sondern auch auf interdisziplinäre, innovationsorientierte Umgebungen vorbereitet.



4. Empfehlungen

Auf Basis der Ergebnisse lassen sich mehrere strategische Empfehlungen ableiten, um die berufliche Bildung gezielt auf die Anforderungen der Bioökonomie auszurichten:

1. Die **Entwicklung modularer Zusatzangebote**, die flexibel in bestehende Ausbildungsstrukturen integriert werden können, sollte vorangetrieben werden. Themen wie Biopolymere, Biokatalyse, Fermentation oder Kreislaufwirtschaft könnten in Form von Workshops, Wahlmodulen oder projektbasierten Lernformaten vermittelt werden. Dies ermöglicht eine praxisnahe und bedarfsgerechte Erweiterung der Ausbildung, ohne bestehende Berufsbilder vollständig neu zu definieren.
2. Eine **altersgerechte Kommunikation bioökonomischer Inhalte** ist entscheidend, insbesondere für junge Auszubildende. Komplexe Begriffe sollten verständlich aufbereitet und in den Kontext der Lebenswelt der Lernenden gestellt werden.

3. **Digitale Kompetenzen** sollten systematisch in die Ausbildung integriert werden. Die zunehmende Digitalisierung von Labor- und Produktionsprozessen erfordert Kenntnisse in Datenanalyse, Automatisierung und digitalen Schnittstellen. Hier besteht ein Bedarf, der durch gezielte Schulungen und digitale Lernformate gedeckt werden kann.
4. Die **Förderung von Soft Skills und transformativen Kompetenzen** bleibt unerlässlich. Kommunikation, Teamarbeit, ethisches Bewusstsein und systemisches Denken sind nicht nur zentrale Fähigkeiten in der Bioökonomie. Ausbildungsprogramme sollten diese Kompetenzen verstärkt fördern, etwa durch praxisnahe Lernformate oder interdisziplinäre Projektarbeit.

Nur in Zusammenarbeit von Bildungsinstitutionen, Industrie und Politik können Ausbildungsinhalte angepasst und neue Anforderungen antizipiert werden. So kann die berufliche Bildung aktiv zur Gestaltung einer nachhaltigen, biobasierten Wirtschaft beitragen.

5. Fazit

Diese Studie untersuchte die sich wandelnden Anforderungen an Fähigkeiten und Kompetenzen für die berufliche Ausbildung in der chemischen und pharmazeutischen Industrie im Zuge ihres Übergangs zu einer biobasierten und zirkulären Wirtschaftsweise. Durch die Integration von Erkenntnissen aus einer Literaturrecherche und Interviews mit einer vielfältigen Interessengruppe wurde ein umfassendes Verständnis der aktuellen und zukünftigen Qualifikationsanforderungen entwickelt.

Insbesondere in der chemischen und pharmazeutischen Industrie entstehen neue Anforderungen an Fachkräfte, die mit biobasierten Rohstoffen, nachhaltigen Verfahren und digitalen Technologien umgehen können müssen. Die Analyse der bestehenden Ausbildungsberufe Chemikant*in, Chemielaborant*in, Pharmakant*in und Biologielaborant*in verdeutlicht, dass diese zwar grundsätzlich anschlussfähig sind, jedoch Erweiterungen benötigen, um den Anforderungen der Bioökonomie gerecht zu werden.

Die Ergebnisse zeigen darüber hinaus, dass die Bioökonomie nicht nur fortgeschrittenes technisches Fachwissen in Bereichen wie Gentechnik, Biokatalyse und Scale-up-Prozessen erfordert, sondern auch übergreifende Kompetenzen in den Bereichen Digitalisierung, Nachhaltigkeit und Systemdenken. Arbeitgeber erwarten zunehmend eine breitere naturwissenschaftliche Grundausbildung in Labor- und Produktionsberufen. Neben der klassischen Chemie gewinnen mikrobiologische und biotechnologische Kenntnisse an Bedeutung, da bioökonomische Produktionsprozesse zunehmend an den Schnittstellen dieser Disziplinen stattfinden. Digitale Kompetenz, Vertrautheit mit industrieller Automatisierung und Offenheit für neue Technologien wie KI und Datenanalyse werden zunehmend zu Standardanforderungen. Gleichzeitig bleiben klassische Kompetenzen wie Problemlösungskompetenz, Anpassungsfähigkeit, Führungsqualitäten und Belastbarkeit unverzichtbar, insbesondere in sich schnell verändernden Arbeitsumgebungen. Die

Befragten betonten auch die Bedeutung transformativer Kompetenzen, darunter systemisches Bewusstsein für vor- und nachgelagerte Auswirkungen und ethische Verantwortung in Bezug auf Nachhaltigkeit sowie berufliche Fähigkeiten wie technisches Englisch und Labordokumentation.

Die Untersuchung identifiziert verschiedene konkrete Kompetenzlücken in Bereichen wie biotechnologischen Verfahren, digitaler Prozesssteuerung, systemischem Denken und interdisziplinärer Zusammenarbeit, die je nach Ausbildungsberuf verschieden stark ausgeprägt sind. Gleichzeitig zeigt sich, dass die institutionellen Rahmenbedingungen der dualen Ausbildung eine schnelle Anpassung erschweren. Die Integration neuer Inhalte in Ausbildungsordnungen ist komplex und zeitaufwendig, was in dynamischen Innovationsfeldern wie der Bioökonomie zu Verzögerungen führt. Dennoch bestehen pädagogische Freiräume, die von engagiertem Ausbilder*innen genutzt werden können, um die oben genannten Themen (digitale Prozesssteuerung, systemisches Denken und interdisziplinäre Zusammenarbeit) bereits heute in die Praxis zu integrieren.

Die Notwendigkeit eines völlig neuen Berufsprofils für die Bioökonomie wird von den Interviewten negiert; stattdessen verändert und erweitert die Bioökonomie den Umfang bestehender Rollen. Mit modularen Lernangeboten sollte dieser Bedarf gedeckt werden.

Interviews mit Akteuren aus Industrie, Bildung und Forschung bestätigen die Relevanz der identifizierten Kompetenzen und unterstreichen die Notwendigkeit flexibler, modularer Lernformate.

Die Kompetenzmatrix kann als Grundlage für die Weiterentwicklung von Ausbildungsinhalten und die Gestaltung neuer Lernangebote dienen. Insgesamt zeigt die Studie, dass eine zukunftsorientierte berufliche Bildung nur durch die enge Zusammenarbeit von Bildungsinstitutionen, Unternehmen und politischen Akteuren gelingen kann.

Literatur

- [1] European Commission, Directorate-General for Research and Innovation, "European Bioeconomy Policy: Stocktaking and future developments," Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2022. [Online]. Verfügbar unter: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/ae0a36d3-eac3-11ec-a534-01aa75ed71a1>
- [2] Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), "Bioökonomie in Deutschland – Chancen für eine biobasierte und nachhaltige Zukunft," Berlin, Apr. 2022. Zugriff am: 9. September 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.bmbf.de/bmbf/de/forschung/energiewende-und-nachhaltiges-wirtschaften/biooekonomie/biooekonomie_node.html
- [3] Bundesinstitut für Berufsbildung (BIBB), "Berufsbildung für nachhaltige Entwicklung – Jahresbericht 2022," Bundesinstitut für Berufsbildung, Bonn, 2022. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bibb.de/dienst/publikationen/de/19071>
- [4] D. Ferraz und A. Pyka, "Circular economy, bioeconomy, and sustainable development goals: a systematic literature review," *Environmental science and pollution research international*, Early Access. doi: 10.1007/s11356-023-29632-0.
- [5] M. A. U. Vivas, L. S. Amórtegui und H. Guerrero-García-Rojas, "Understanding the characteristics of the green, circular and bioeconomy models within the context of sustainable development," *Energ Sustain Soc*, Jg. 15, Nr. 1, S. 10, 2025, doi: 10.1186/s13705-025-00528-w.
- [6] Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), "National Bioeconomy Strategy," Berlin, 2020.
- [7] O. Lade, "Green, Lean and Digital Transformation for Decarbonisation of Chemical Industries," Cham, Intelligent Decarbonisation, 2022. [Online]. Verfügbar unter: https://doi.org/10.1007/978-3-030-86215-2_10
- [8] D. Bastian *et al.*, "Deutschland - Rohstoffsituation 2022," Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover, 2023, doi: 10.25928/DERO-SI22. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Rohstoffe/Downloads/Downloads-MR/rohsit-2022.pdf>
- [9] M. Carus, O. Porc, C. Vom Berg, M. Kempen, F. Schier und J. Tandetzki, "Is there enough biomass to defossilise the chemicals and derived materials sector by 2050 ?," nova-Institut GmbH, Hürth, Germany, 2025.
- [10] J. Thomas. "What are the 3 sources of renewable carbon for the chemicals industry?" Zugriff am: 24. September 2025. [Online.] Verfügbar: <https://www.petro-online.com/news/fuel-for-thought/13/international-environmental-technology/what-are-the-3-sources-of-renewable-carbon-for-the-chemicals-industry/64114>
- [11] K. Karlsson und L. Melodia. "Fossil Fuel–Driven Price Volatility Demonstrates the Need for a Renewable Transition." Zugriff am: 24. September 2025. [Online.] Verfügbar: <https://rooseveltinstitute.org/publications/fossil-fuel-driven-price-volatility-demonstrates-the-need-for-a-renewable-transition/>
- [12] G. Iakovidou *et al.*, "Application of Microalgae to Wastewater Bioremediation, with CO₂ Biomitigation, Health Product and Biofuel Development, and Environmental Biomonitoring," *Applied Sciences*, Jg. 14, Nr. 15, S. 6727, 2024, doi: 10.3390/app14156727.
- [13] C. Pohl *et al.*, "Establishment of the basidiomycete *Fomes fomentarius* for the production of composite materials," *Fungal biology and biotechnology*, Early Access. doi: 10.1186/s40694-022-00133-y.
- [14] Cedefop, *Skills in transition: The way to 2035*. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2023. [Online]. Verfügbar unter: https://www.cedefop.europa.eu/files/4213_en.pdf
- [15] European Centre for the Development of Vocational Training, *Meeting skill needs for the green transition: Skills anticipation and VET for a greener future*. Luxembourg: Publications Office, 2025.
- [16] Bundesministerium der Justiz. "Berufsbildungsgesetz (BBiG) – § 1 Ziele und Begriffe der Berufsbildung." Zugriff am: 13. Oktober 2025. [Online.] Verfügbar: https://www.gesetze-im-internet.de/bbig_2005/_1.html
- [17] C. Ebner und A. Uhly. "Entstehung und Merkmale des dualen Ausbildungssystems." [Online.] Verfügbar: <https://www.bpb.de/themen/bildung/dossier-bildung/228394/entstehung-und-merkmale-des-dualen-ausbildungssystems/>

-
- [18] Bundesinstitut für Berufsbildung (BIBB). "Lehrkräfte an beruflichen Schulen." Zugriff am: 24. September 2025. [Online.] Verfügbar: <https://www.bibb.de/de/8608.php>
- [19] Statistisches Bundesamt (Destatis). "Auszubildende." Zugriff am: 24. September 2025. [Online.] Verfügbar: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bildung-Forschung-Kultur/Bildungsindikatoren/auszubildende.html>
- [20] Bundesinstitut für Berufsbildung (Hrsg.), "Datenreport zum Berufsbildungsbericht 2024: Informationen und Analysen zur Entwicklung der beruflichen Bildung," Verlag Barbara Budrich, Bonn, 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bibb.de/datenreport/de/189191.php>
- [21] Industrie- und Handelskammer Nordschwarzwald. "Berufsschulen." Zugriff am: 24. September 2025. [Online.] Verfügbar: <https://www.ihk.de/nordschwarzwald/aus-und-weiterbildung/ausbildung/ausbilderinfos/berufsschulen-2622630>
- [22] Deutscher Industrie- und Handelskammertag (DIHK). "Ausbildungsberufe und Ausbildungsberatung." Zugriff am: 24. September 2025. [Online.] Verfügbar: <https://www.dihk.de/de/themen-und-positionen/fachkraefte/aus-und-weiterbildung/ausbildung/ausbildungsberufe-und-ausbildungsberatung-2486>
- [23] Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWi), "Qualitätssicherung in der dualen Berufsausbildung," Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWi). [Online]. Verfügbar unter: https://www.bundeswirtschaftsministerium.de/Redaktion/DE/Downloads/C-D/duales-berufsausbildungssystem-qualitaetssicherung.pdf?__blob=publicationFile&v=9
- [24] Europäische Kommission, "Sozialpartner als Begünstigte: Unterstützung der Sozialpartner durch den Europäischen Sozialfonds im Zeitraum 2007–2013," Europäische Kommission, Brüssel, 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://ec.europa.eu/employment_social/esf/docs/tp_patnerschaft_de.pdf
- [25] H. Kallio, A.-M. Pietilä, M. Johnson und M. Kangasniemi, "Systematic methodological review: developing a framework for a qualitative semi-structured interview guide," *Journal of advanced nursing*, Early Access. doi: 10.1111/jan.13031.
- [26] BIOCOM AG, *BioTechnologie Kursbuch Nr. 37*. Berlin, 2024.
- [27] Industrie- und Handelskammer zu Dortmund, "Ausbildungsrahmenplan Chemikant/-in: Zu vermittelnde Fähigkeiten und Kenntnisse," Dortmund, 2020.
- [28] Industrie- und Handelskammer zu Dortmund, "Ausbildungsrahmenplan Chemielaborant/-in: Zu vermittelnde Fähigkeiten und Kenntnisse," Industrie- und Handelskammer zu Dortmund, Dortmund, 2020.
- [29] Industrie- und Handelskammer zu Dortmund, "Ausbildungsrahmenplan Pharmakant/-in: Zu vermittelnde Fähigkeiten und Kenntnisse," Dortmund, 2020.
- [30] Industrie- und Handelskammer zu Dortmund, "Ausbildungsrahmenplan Biologielaborant/-in: Zu vermittelnde Fähigkeiten und Kenntnisse," Industrie- und Handelskammer zu Dortmund, Dortmund, 2020.
- [31] *Ausbildungsordnungen und wie sie entstehen*, Bundesinstitut für Berufsbildung, 9. Aufl. (Berufsbildung in der Praxis - Kompakt). Bonn: Bundesinstitut für Berufsbildung, 2023. [Online]. Verfügbar unter: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0035-1082-6>
- [32] Bundesinstitut für Berufsbildung (BIBB). "Berufsbildung für nachhaltige Entwicklung." Zugriff am: 8. Oktober 2025. [Online.] Verfügbar: <https://www.bibb.de/de/141443.php>
- [33] S. Zachenhuber. "Zukunftstrends in der Berufsbildung." Zugriff am: 9. September 2025. [Online.] Verfügbar: <https://www.ausbildungskompass.de/zukunftstrends-in-der-berufsbildung>
- [34] Bundesarbeitgeberverband Chemie e. V. (BAVC) und The Boston Consulting Group (BCG), "Chemie-Arbeitswelten 2030 – BAVC-Transformationsstudie," Wiesbaden, 2023.
- [35] World Bio Market Insights. "What skills does the bioeconomy need?" Zugriff am: 9. September 2025. [Online.] Verfügbar: <https://worldbiomarketinsights.com/what-skills-does-the-bioeconomy-need/>
- [36] J. Rump, S. Eilers und D. Zapp, "Digital Skills Needs in the European chemical, pharmaceutical, rubber, and plastics industry," Institut für Beschäftigung und Employability (IBE), Hochschule für Wirtschaft und Gesellschaft Ludwigshafen, Ludwigshafen, 2022.
- [37] European Commission – European Year of Skills. "What skills does the future need? – The Future Skills Report Chemistry 2.0." Zugriff am: 9. September 2025. [Online.] Verfügbar: https://way-back.archive-it.org/12090/20250217154147/https://year-of-skills.europa.eu/news/what-skills-does-future-need-future-skills-report-chemistry-20-2024-06-03_en
-

-
- [38] N. Z. Muzulon, L. M. Resende, G. C. L. Leal und J. Pontes, "Beyond Technical Skills: Competency Framework for Engineers in the Digital Transformation Era," *Societies*, Jg. 15, Nr. 8, S. 217, 2025, doi: 10.3390/soc15080217.
- [39] Stifterverband & McKinsey, "Future Skills Framework," Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft, 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.stifterverband.org/future-skills>
- [40] T. Felkl. "Wie Energiewende und Automatisierung Chemieberufe verändern." Zugriff am: 9. September 2025. [Online.] Verfügbar: <https://www.wir-hier.de/arbeiten-in-der-chemie/ausbildung-in-der-chemie/wie-energiewende-und-automatisierung-die-chemieberufe-veraendern/>
- [41] CHEManager – Onlineportal für die Chemie- und Pharmaindustrie. "Fachkräftemangel: Über den Bedarf hinaus ausbilden." Zugriff am: 9. September 2025. [Online.] Verfügbar: <https://www.chemanager-online.com/de/news/fachkraeftemangel-ueber-den-bedarf-hinaus-ausbilden>
- [42] Chemieverbände Rheinland-Pfalz. "Chemie: Digitalisierung wird Teil der Ausbildung." Zugriff am: 9. September 2025. [Online.] Verfügbar: <https://www.chemie-rp.de/news-und-publikationen/meldungen/meldung/2018/11/16/chemie-digitalisierung-wird-teil-der-ausbildung>
-

Anhang

Interviewleitfaden

Der folgende halbstrukturierte Interviewleitfaden wurde verwendet, um Erkenntnisse von Interessengruppen zu sammeln. Er bot einen Rahmen für die Diskussion und ermöglichte gleichzeitig Flexibilität, um sich an das Fachwissen und die Erfahrung der Befragten anzupassen.

Hintergrundinformationen:

- Können Sie kurz Ihre Rolle und Aufgaben in Ihrem Unternehmen/Ihrer Organisation beschreiben?
- Wie präsent ist das Thema Bioökonomie in Ihrem Unternehmen, wo taucht es in Ihrem Unternehmen auf? Oder
Wie ist Ihre Organisation derzeit in biobasierte Prozesse, die chemische Industrie oder verwandte Bereiche involviert?

Berufsausbildung und Anpassung der Arbeitskräfte

- Sind Sie der Meinung, dass die derzeitigen Berufsausbildungsprogramme in Deutschland die Schüler angemessen auf Tätigkeiten in der Bioökonomie vorbereiten?
- Welche Fähigkeiten oder Kompetenzen werden Ihrer Erfahrung nach für die Arbeitskräfte der Zukunft immer wichtiger?
- Wo sehen Sie die größte Diskrepanz zwischen den Anforderungen der Industrie und den aktuellen Inhalten oder Methoden der Berufsausbildung?
- Was würde dazu beitragen, die Lücke zwischen akademischen/wissenschaftlichen Innovationen und der beruflichen Ausbildungsbereitschaft in der Bioökonomie zu schließen?

Interdisziplinäre Anforderungen und Soft Skills

- Welche interdisziplinären oder Soft Skills werden neben den technischen Fähigkeiten in der Bioökonomie immer wichtiger?

Zukunftsorientiert

- Welche neuen Fähigkeiten oder (Ausbildungs-)Berufe werden Ihrer Meinung nach in den nächsten 5 bis 10 Jahren an Bedeutung gewinnen?
- Welche (Ausbildungs-)Berufe könnten sich aufgrund neuer biobasierter Materialien oder nachhaltiger Praktiken am stärksten verändern?
- Was würden Sie von Bildungsanbietern oder politischen Entscheidungsträgern benötigen, um Ihre zukünftigen Arbeitskräfte besser vorzubereiten?

Empfehlungen

- Wie könnte die berufliche Aus- und Weiterbildung angepasst werden, um den aktuellen und zukünftigen Qualifikationsbedarf besser zu decken?
- Wenn Sie eine praktische Änderung in der beruflichen Bildung vornehmen könnten, um sie besser auf die Bedürfnisse der Bioökonomie abzustimmen, welche wäre das?

Schluss

- Gibt es etwas, das wir nicht angesprochen haben, das Ihrer Meinung nach für das Verständnis des Qualifikationsbedarfs in der Bioökonomie wichtig ist?
-

Interviewübersicht

Um Transparenz zu gewährleisten und gleichzeitig die Vertraulichkeit zu wahren, wird im Folgenden eine anonymisierte Übersicht aller Interviewteilnehmer bereitgestellt.

Den Experten wurden anonyme Codes (z. B. Experte A–M) zugewiesen, um ihre persönliche Identität und die ihrer Institutionen zu schützen.

Die Auswahl zielte darauf ab, ein breites Spektrum an Perspektiven aus Industrie, Forschung, Berufsausbildung und Politik abzudecken, die die wichtigsten Akteure entlang der Kette der beruflichen Bildung und Beschäftigung repräsentieren.

Tabelle 1: Übersicht der Interviewpartner. Die Tabelle zeigt eine anonymisierte Übersicht über die Befragten und ihre Rollen oder Funktionen innerhalb ihrer Unternehmen. Die Erfahrungen der einzelnen Experten geben einen Hinweis auf die relevanten Bereiche und Fachkenntnisse, die in den Interviews zur Sprache kamen.

Experte	Rolle/Funktion	Organisation	Erfahrungen
Expert A	Ausbildungsleitung/ Ausbildungscoordination D	Unternehmen	Recruiting/ Ausbildungsleitung
Expert B	Wissenschaftliche/r Mitarbeiter/in	Forschung	Chemische Biotechnologie
Expert C	Ausbildungsleitung	Unternehmen	Überbetriebliche Ausbildung der chemischen Industrie
Expert D	Referent/in	Politik	Förderungen, Politik und Bioökonomie
Expert E	Teamleiter/in Ausbildung	Unternehmen	Ausbildung Biologielaborant*innen
Expert F	Leitung Laborausbildung	Unternehmen	Ausbildungsinhalte für Chemie- und Biologielaborant*innen
Expert G	Auszubildender	Unternehmen	In Ausbildung als Biologielaborant
Expert H	Personalabteilung	Unternehmen	Rekrutierung
Expert I	Co-Founder	Unternehmen	Computational Biochemistry
Expert J	Investor	Unternehmen	Synthetische Biologie
Expert K	Nachwuchsgruppenleiter	Forschung	Wirtschaftsgeographie, -Nachhaltigkeitsübergänge
Expert L	Abteilungsleiter	Forschung	Chemie, Biowissenschaften
Expert M	Senior Projektmanager F&E	Unternehmen	Zell- und Mikrobiologie

Kompetenzmatrix

Tabelle 2: Kompetenzmatrix für Berufsausbildungsprogramme. Diese Tabelle gibt einen Überblick über relevante Kompetenzbereiche und spezifische Fähigkeiten, die auf Grundlage von Interviews als besonders wichtig identifiziert wurden. Sie zeigt auch, inwieweit diese Kompetenzen bereits in den Lehrplänen der vier Berufsausbildungsprogramme – Chemikant*in, Chemielaborant*in, Biologielaborant*in und Pharmakant*in – abgedeckt sind.

Kompetenzbereich	Kompetenz	Beschreibung	Relevanz laut Interviews (Hoch/Mittel/Gering)	Bereits in Curricula vorhanden Chemikant*in (Großflächig/Teilweise/Wenig-Nicht)	Bereits in Curricula vorhanden Chemielaborant*in (Großflächig/Teilweise/Wenig-Nicht)	Bereits in Curricula vorhanden Biologielaborant*in (Großflächig/Teilweise/Wenig-Nicht)	Bereits in Curricula vorhanden Pharmakant*in (Großflächig/Teilweise/Wenig-Nicht)
Digitale Kompetenzen	Medienkompetenz	Fähigkeit, digitale Inhalte plattformübergreifend kritisch zu bewerten, zu verwenden und zu erstellen	Hoch	Wenig-Nicht (nicht explizit behandelt)	Wenig-Nicht (nicht explizit behandelt)	Wenig-Nicht (nicht explizit behandelt)	Wenig-Nicht (nicht explizit behandelt)
	ChatGPT-Lernen	Vertrautheit mit der Verwendung generativer KI-Tools	Hoch	Wenig-Nicht (nicht behandelt)	Wenig-Nicht (nicht behandelt)	Wenig-Nicht (nicht behandelt)	Wenig-Nicht (nicht behandelt)
	Grundlegende Kenntnisse der industriellen Infrastruktur und Automatisierung	Verständnis von Anlagenlayout, Sensoren, Steuerungssystemen und Automatisierungsgrundlagen	Mittel	Ja (Produktionsanlagen, Automatisierung, Steuerungstechnik)	Teilweise (Laborautomatisierung, digitale Systeme)	Teilweise (Labor-IT, automatisierte Systeme)	Ja (Prozessleitsysteme, Automatisierung, GMP)
	Digitalisierung	Die Auswirkungen der digitalen Transformation verstehen	Hoch	Teilweise (Erwähnt: Datensicherheit)	Teilweise (Erwähnt: Digitalisierung)	Teilweise (Erwähnt: Datensicherheit)	Teilweise (Erwähnt: Datensicherheit)
	Grundlegendes IT-Verständnis	Vertrautheit mit Betriebssystemen, Dateiverwaltung und MS Office-Tools	Mittel	Großflächig (Behandelt: Software, IT, Dokumentation)	Großflächig (Behandelt: Software, IT, Dokumentation)	Großflächig (Behandelt: Software, IT, Dokumentation)	Großflächig (Behandelt: Software, IT, Dokumentation, Prozessleitsystem)
	Fähigkeit, mit neuen Technologien zu arbeiten	Fähigkeit zur Anpassung an neue Tools wie KI	Hoch	Teilweise (Erwähnt: Automatisierung)	Wenig-Nicht (z.T. Digitale Medien, neue Verfahren)	Wenig-Nicht (z.T. Automatisierung, digitale Systeme)	Teilweise (Automatisierung, moderne pharmazeutische Technik)

Methodische Kompetenzen	Lebenslanges Lernen	Engagement für kontinuierliche persönliche und berufliche Weiterentwicklung	Hoch	Wenig-Nicht (nicht explizit behandelt)	Wenig-Nicht (nicht explizit behandelt)	Wenig-Nicht (nicht explizit behandelt)	Wenig-Nicht (nicht explizit behandelt)
	Anpassungsfähigkeit an Innovationen	Fähigkeit, neue Technologien und Methoden schnell zu verstehen und anzuwenden	Hoch	Teilweise (Automatisierung, neue Verfahren)	Teilweise (Digitale Systeme, neue Technologien)	Teilweise (Labor-IT, neue Methoden)	Teilweise (Prozessleitsysteme, moderne Technik)
	Bereitschaft zur kontinuierlichen Aktualisierung der Fähigkeiten	Bereitschaft und Fähigkeit, Ihre Fähigkeiten regelmäßig aufzufrischen und zu erweitern	Hoch	Wenig-Nicht (nicht explizit behandelt)	Wenig-Nicht (nicht explizit behandelt)	Wenig-Nicht (nicht explizit behandelt)	Wenig-Nicht (nicht explizit behandelt)
	Selbstgesteuertes Lernen	Fähigkeit, Lernbedarf selbstständig zu erkennen und relevantes Wissen zu erwerben	Hoch	Wenig-Nicht (nicht explizit behandelt)	Wenig-Nicht (nicht explizit behandelt)	Wenig-Nicht (nicht explizit behandelt)	Wenig-Nicht (nicht explizit behandelt)
	Problemlösung	Analytisches Denken und lösungsorientiertes Denken in komplexen Situationen	Hoch	Teilweise (Störungen beheben, Prozessoptimierung)	Teilweise (Laborfehler analysieren, Methoden wählen)	Teilweise (Fehleranalyse, Methodenwahl)	Teilweise (Prozessabweichungen erkennen und korrigieren)
	End-to-End-Denken	Verstehen ganzer Prozessketten und ihrer Abhängigkeiten	Hoch	Teilweise (Verfahrensverständnis, Scale-up)	Teilweise (Syntheseprozesse, Validierung)	Teilweise (Probenahme bis Auswertung)	Teilweise (Herstellung, Verpackung, Qualitätssicherung)
	Bewusstsein für Skalierbarkeit	Fähigkeit zu beurteilen, ob Lösungen erweitert oder an größere Kontexte angepasst werden können	Hoch	Teilweise (Maßstabsübertragung, Scale-up)	Teilweise (Verfahrensoptimierung)	Teilweise (nicht explizit, aber über Prozessverständnis)	Teilweise (Labor bis Industrie-Fermentation)
	Systemisches Denken	Strukturierter Ansatz zur Problemlösung und zum Verständnis zusammenhängender Komponenten	Hoch	Teilweise (Verfahrenstechnik, Prozessplanung)	Teilweise (Analytik, Dokumentation)	Teilweise (Laborprozesse, Hygiene)	Teilweise (GMP, Prozessleitsysteme)
	Fähigkeit, sich selbstständig neues Wissen anzueignen	Fähigkeit, neue Themen ohne formelle Anleitung zu erkennen, zu erschließen und zu meistern	Hoch	Wenig-Nicht (nicht explizit behandelt)	Wenig-Nicht (nicht explizit behandelt)	Wenig-Nicht (nicht explizit behandelt)	Wenig-Nicht (nicht explizit behandelt)

	Anwendungsorientierte Denkweise	Fokus auf praktische Umsetzung und Praxisrelevanz des Wissens	Hoch	Ja (Praxisnahe Verfahren, Produktionsprozesse)	Ja (Laborpraxis, Analytik)	Ja (Laborpraxis, mikrobiologische Verfahren)	Ja (Herstellung, Verpackung, Qualitätssicherung)
Führungskompetenzen	Führungsqualitäten	Fähigkeit, Teams zu leiten, Entscheidungen zu treffen und Verantwortung in einem interdisziplinären Umfeld zu übernehmen	Hoch	Teilweise (Erwähnt: Kommunikation)	Teilweise (Erwähnt: Kommunikation)	Teilweise (Erwähnt: Kommunikation)	Teilweise (Erwähnt: Kommunikation)
	Komplexe Entscheidungsfindung	Fähigkeit, mehrere Faktoren, Risiken und Ergebnisse in unsicheren Situationen zu bewerten	Hoch	Teilweise (Prozessoptimierung, Fehlerbehebung)	Teilweise (Analyse, Validierung)	Teilweise (Laborplanung, Fehleranalyse)	Teilweise (Inprozesskontrollen, GMP-Entscheidungen)
	Vorstellungskraft und Vision	Fähigkeit, zukünftige Möglichkeiten zu durchdenken, kreative Lösungen zu entwickeln und andere zu inspirieren	Hoch	Wenig-Nicht (nicht explizit behandelt)	Wenig-Nicht (nicht explizit behandelt)	Wenig-Nicht (nicht explizit behandelt)	Wenig-Nicht (nicht explizit behandelt)
	Prozessverantwortung und Zuständigkeit	Initiative ergreifen, Verantwortung für Ergebnisse übernehmen	Hoch	Teilweise (Verantwortung für Abläufe, Wartung)	Teilweise (Eigenständige Durchführung, Dokumentation)	Teilweise (Verantwortung für Laborprozesse)	Teilweise (Verantwortung für Hygiene, Qualität, Prozesse)
Persönliche Kompetenzen	Soziale Kenntnisse	Fähigkeit zur Zusammenarbeit und zum Aufbau von Beziehungen in diversen Teams	Hoch	Teilweise (Teamarbeit, Kommunikation, Kundenorientierung)	Teilweise (Teamarbeit, Kommunikation)	Teilweise (Teamarbeit, Kommunikation)	Teilweise (Teamarbeit, Hygienevorgaben, Abstimmung)
	Kommunikationskompetenzen	Klare und effektive mündliche, schriftliche und interkulturelle Kommunikation	Hoch	Teilweise (Kommunikationsregeln, Dokumentation)	Teilweise (Kommunikation, Fremdsprachen)	Teilweise (Kommunikation, Dokumentation)	Teilweise (Kommunikation, Dokumentation, Fremdsprachen)
	Interdisziplinäre Kommunikation	Fähigkeit zur effektiven Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Disziplinen (z. B. Chemiker, Biologen, Ingenieure)	Hoch	Großflächig (Behandelt: Kommunikation, Dokumentation, Fremdsprache)	Großflächig (Behandelt: Kommunikation, Dokumentation, Fremdsprache)	Großflächig (Behandelt: Kommunikation, Dokumentation, Fremdsprache)	Großflächig (Behandelt: Kommunikation, Dokumentation, Fremdsprache)

	Wechsel vom Frontalunterricht zum lösungsorientierten Lernen	Stärkerer Fokus auf aktive Problemlösung, Fallstudien und projektbasiertes Lernen	Hoch	Wenig-Nicht (klassische Ausbildungsstruktur, wenig Hinweise auf Lernmethodik)	Wenig-Nicht (keine Hinweise auf didaktische Ansätze)	Wenig-Nicht (nicht explizit im Rahmenplan enthalten)	Wenig-Nicht (Ausbildung stark prozessorientiert, keine Lernmethodik erwähnt)
	Gemeinsame Denkweise und Bewusstsein	Gemeinsames Verständnis von Zielen, Werten und interdisziplinärer Zusammenarbeit	Hoch	Teilweise (Verantwortliches Handeln, Arbeitsschutz, Umweltbewusstsein)	Teilweise (Responsible Care, Umwelt, Sicherheit)	Teilweise (Hygiene, Umwelt, Sicherheit)	Teilweise (GMP, Hygiene, Qualitätssicherung)
	Resilienz	Fähigkeit, sich von Rückschlägen zu erholen, Stress zu bewältigen und die Leistung unter Druck aufrechtzuerhalten	Hoch	Wenig-Nicht (nicht explizit erwähnt, indirekt durch Umgang mit Störungen)	Wenig-Nicht (nicht direkt behandelt)	Wenig-Nicht (nicht direkt behandelt)	Wenig-Nicht (nicht direkt behandelt)
	Flexibilität	Bereitschaft, Pläne, Rollen oder Ansätze als Reaktion auf Veränderungen anzupassen	Hoch	Teilweise (Prozessanpassung, Fehlerbehebung)	Teilweise (Abweichungen erkennen, Prioritäten setzen)	Teilweise (Fehlerbehebung, Prozessanpassung)	Teilweise (Arbeitsschritte anpassen, Störungen beheben)
	Unabhängiges Denken	Fähigkeit, sich ein eigenes Urteil zu bilden und Annahmen in Frage zu stellen	Hoch	Teilweise (Problemlösungsmethoden, Prozessplanung)	Teilweise (Problemlösungsmethoden, Projektarbeit)	Teilweise (Problemlösungsmethoden, Teamarbeit)	Teilweise (Prozessoptimierung, Dokumentation)
	Eigenständigkeit	Selbstvertrauen und die Fähigkeit, selbstständig zu handeln und Initiative zu ergreifen	Hoch	Teilweise (Eigenständige Aufgabenbearbeitung, Verantwortung)	Teilweise (Selbstständige Dokumentation, Planung)	Teilweise (Selbstständige Durchführung von Laborarbeiten)	Teilweise (Eigenverantwortung bei Hygiene und Qualität)
	Anpassungsfähigkeit	Fähigkeit, sich an neue Umgebungen, Tools und Erwartungen anzupassen	Hoch	Teilweise (Prozessoptimierung, Störungen beheben)	Teilweise (Abweichungen erkennen, Prioritäten setzen)	Teilweise (Fehlerbehebung, Prozessanpassung)	Teilweise (Arbeitsschritte anpassen, Störungen beheben)
	Engagement und intrinsische Motivation	Innerer Antrieb, zu lernen, beizutragen und durchzuhalten, auch ohne externe Belohnungen	Hoch	Wenig-Nicht (nicht explizit behandelt)	Wenig-Nicht (nicht explizit behandelt)	Wenig-Nicht (nicht explizit behandelt)	Wenig-Nicht (nicht explizit behandelt)

	Gesellschaftliche Perspektive	Understanding the broader impact of one's work on society, environment, and ethics	Hoch	Teilweise (Umweltschutz, Nachhaltigkeit)	Teilweise (Umweltschutz, Abfallentsorgung)	Teilweise (Toxikologie, Umweltanalytik)	Teilweise (GMP, Umwelt, biologische Sicherheit)
	Neugier	Verständnis für die umfassenderen Auswirkungen der eigenen Arbeit auf Gesellschaft, Umwelt und Ethik	Hoch	Wenig-Nicht (nicht explizit behandelt)	Wenig-Nicht (nicht explizit behandelt)	Wenig-Nicht (nicht explizit behandelt)	Wenig-Nicht (nicht explizit behandelt)
	Bereitschaft zur Veränderung	Offenheit für neue Methoden, Feedback und sich entwickelnde berufliche Umgebungen	Hoch	Wenig-Nicht (nicht explizit behandelt)	Wenig-Nicht (nicht explizit behandelt)	Wenig-Nicht (nicht explizit behandelt)	Wenig-Nicht (nicht explizit behandelt)
Fachkompetenz	Compliance-Bewusstsein	Kenntnis der rechtlichen, sicherheitsrelevanten und ethischen Standards in Industrie- und Laborumgebungen	Hoch	Ja (GMP, GLP, Arbeitsschutz, Umwelt)	Ja (GMP, GLP, Sicherheit, Hygiene)	Ja (GLP, Hygiene, Tier-schutz)	Ja (GMP, Hygiene, Dokumentation, Inspektionen)
	Ergebnisorientiertes Denken	Konzentrieren Sie sich auf die Erreichung messbarer Ergebnisse und die Abstimmung Ihrer Maßnahmen mit den Zielen.	Hoch	Teilweise (Produktqualität, Prozessoptimierung)	Teilweise (Analytik, Validierung)	Teilweise (Laborergebnisse, Auswertung)	Teilweise (Inprozesskontrollen, Qualitätssicherung)
	Handlungskompetenzen	Fähigkeit, Pläne in konkrete Maßnahmen umzusetzen und Aufgaben effektiv auszuführen	Hoch	Teilweise (praktische Umsetzung, Prozesssteuerung)	Teilweise (Laborpraxis, Durchführung von Verfahren)	Teilweise (Laborpraxis, mikrobiologische Arbeiten)	Teilweise (Herstellung, Verpackung, Kontrolle)
	Kombination von mikrobiologischen und chemischen Kenntnissen	Integration von biologischen und chemischen Prinzipien für biotechnologische Anwendungen	Hoch	Teilweise (in Wahlqualifikation Biotechnologie)	Teilweise (biochemische und mikrobiologische Verfahren)	Ja (Mikrobiologie, Molekularbiologie, Biochemie)	Ja (Fermentation, Proteintrennung, Gentechnik)

	Sachwissen	Verständnis der grundlegenden wissenschaftlichen und technischen Fakten, die für dieses Fachgebiet relevant sind	Hoch	Ja (Chemie, Verfahrenstechnik, Sicherheit)	Ja (Chemie, Analytik, Synthese)	Ja (Biologie, Chemie, Mikrobiologie)	Ja (Pharmazeutische Verfahren, GMP, Biotechnologie)
	Technisches Englisch	Fähigkeit, technische Inhalte auf Englisch zu verstehen und zu kommunizieren	Hoch	Teilweise (Fremdsprachige Dokumente, Fachbegriffe)	Teilweise (Englische Arbeitsanweisungen, Dokumentation)	Teilweise (Englische Fachtexte, Kommunikation)	Teilweise (Englische Dokumentation, GMP-Unterlagen)
	Praktische Laborerfahrung	Praktische Erfahrung mit Laborgeräten, Protokollen und Sicherheitsrichtlinien	Hoch	Teilweise (Laboranteile in Verfahrenstechnik)	Ja (Laborpraxis, Analytik, Synthese)	Ja (Laborpraxis, mikrobiologische und molekularbiologische Arbeiten)	Ja (Herstellung, Verpackung, Inprozesskontrollen)
	Handhabung von Bioreaktoren	Praktische Kenntnisse im Betrieb, in der Überwachung und Optimierung von Bioreaktor-Systemen	Hoch	Teilweise (Erwähnt: Fermentation)	Teilweise (Erwähnt: Fermenter, Zellkultur)	Großflächig (Behandelt: Fermenter, Zellkultur, Fermentation)	Teilweise (Erwähnt: Fermentation)
	Wartung (Reinigung und Sterilisation)	Kenntnisse über Reinigungsverfahren, Sterilisationsmethoden und Kontaminationsschutz	Mittel	Großflächig (Behandelt: Reinigung, Wartung, cip, sip, Hygiene)	Großflächig (Behandelt: Sterilisation, Wartung, Hygiene)	Großflächig (Behandelt: Sterilisation, Wartung, Hygiene)	Großflächig (Behandelt: Sterilisation, Wartung, cip, sip, Hygiene)
	Verständnis der wichtigsten technischen Fachgebiete (z. B. Chemie, Biotechnologie)	Eine solide Ausbildung in den grundlegenden Wissenschaftsdisziplinen als Basis für anspruchsvolle Anwendungen	Hoch	Ja (Chemie, Verfahrenstechnik)	Ja (Chemie, Biochemie)	Ja (Biotechnologie, Mikrobiologie, Chemie)	Ja (Pharmazeutische Verfahren, Biotechnologie)
	Wesentliche technische Kenntnisse (Mikrobiologie, Gentechnik)	Praktische und theoretische Kenntnisse in wichtigen Bereichen der Biotechnologie	Hoch	Teilweise (in Wahlqualifikation Biotechnologie)	Teilweise (Gentechnik, Biochemie)	Ja (Mikrobiologie, Molekularbiologie, Gentechnik)	Ja (Fermentation, Gentechnik, Proteintrennung)
	Materialumschlag und Materialwissenschaft	Eigenschaften, Sicherheit und Handhabung von Materialien verstehen	Hoch	Ja (Stoffeigenschaften, Lagerung, Verarbeitung)	Ja (Umgang mit Stoffen, Gefahrstoffe)	Ja (Umgang mit Stoffen, Kennzeichnung)	Ja (Materialbereitstellung, Lagerung, Verpackung)

Ethische Kompetenz	Verständnis der regulatorischen, rechtlichen und ökologischen Aspekte der Produktentwicklung	Bewusstsein für Compliance, Sicherheit und Umweltauswirkungen bei Innovationen	Hoch	Teilweise (GMP, Umweltschutz, Arbeitsschutz)	Teilweise (GMP, GLP, Gefahrstoffe)	Teilweise (Tierschutz, GLP, Hygiene)	Ja (GMP, GLP, Zulassung, Inspektionen)
	Technikbegeisterung und ökologische Verantwortung in Einklang bringen	Fähigkeit, technologische Lösungen kritisch im Hinblick auf ihre ökologischen Auswirkungen zu beurteilen	Hoch	Teilweise (Umweltschutz, Responsible Care)	Teilweise (Umweltschutz, Abfallentsorgung)	Teilweise (Toxikologie, Umweltanalytik)	Teilweise (GMP, biologische Sicherheit, Umwelt)
	Nachhaltigkeitsorientierte Einstellungen	Engagement für ökologisch und sozial verantwortliches Handeln	Hoch	Teilweise (Energieeffizienz, Abfallvermeidung)	Teilweise (Materialschonung, Umweltbewusstsein)	Teilweise (Umweltanalytik, Abfallentsorgung)	Teilweise (Hygiene, Umwelt, GMP)
	Fähigkeit zur Bewertung und Diskussion nachhaltigkeitsbezogener Themen	Fähigkeit zur fachübergreifenden Analyse und Kommunikation von Nachhaltigkeitsthemen	Hoch	Wenig-Nicht (nicht explizit behandelt)	Wenig-Nicht (nicht explizit behandelt)	Wenig-Nicht (nicht explizit behandelt)	Wenig-Nicht (nicht explizit behandelt)
	Chemiker verstehen Umwelttoxizitätstests	Fähigkeit, die Auswirkungen chemischer Stoffe auf Ökosysteme und die menschliche Gesundheit zu beurteilen	Hoch	Teilweise (Umweltschutz, Gefahrstoffe)	Teilweise (Toxikologie, Umweltanalytik)	Teilweise (Toxikologie, Umweltanalytik)	Teilweise (biologische Sicherheit, GMP)
	Chemische Prozesse und Zulassungsverfahren verstehen	Kenntnisse der rechtlichen Rahmenbedingungen für die Zulassung und Sicherheit von Chemikalien	Hoch	Teilweise (Erwähnt: gmp, glp)	Großflächig (Behandelt: gmp, glp, reaktionsgleichung)	Großflächig (Behandelt: gmp, glp, reaktionsgleichung)	Großflächig (Behandelt: gmp, glp, Zulassung)
Systemische Kompetenzen	Techniker antizipieren Auswirkungen auf vor- und nachgelagerte Prozesse	Fähigkeit, Auswirkungen von Änderungen in chemischen Produktionsprozessen vorherzusehen	Hoch	Teilweise (Erwähnt: Fermentation, Verfahrenstechnik)	Teilweise (Erwähnt: zellkultur)	Teilweise (Erwähnt: Fermentation, zellkultur)	Teilweise (Erwähnt: Fermentation, Verfahrenstechnik)
	Umfassendes Verständnis	Fähigkeit, interdisziplinäre Zusammenhänge und große Zusammenhänge zu erfassen	Hoch	Teilweise (Verfahrenstechnik, Materialkunde)	Teilweise (Analytik, Synthese)	Teilweise (Biologie, Chemie, Mikrobiologie)	Teilweise (Pharma, Biotechnologie, GMP)

	Verständnis des gesamten Arbeitsablaufs	Kenntnis der gesamten Prozesskette vom Rohstoff bis zum Endprodukt	Hoch	Teilweise (Produktionsprozesse, Scale-up)	Teilweise (Laborprozesse, Dokumentation)	Teilweise (Probenahme bis Auswertung)	Ja (Herstellung, Verpackung, Qualitätssicherung)
	Ausgangsmaterialien	Bewusstsein für Rohstoffherkunft, Nachhaltigkeit und Eignung für biobasierte Prozesse	Mittel	Ja (Materialkunde, Stoffeigenschaften)	Ja (Umgang mit Stoffen, Gefahrstoffe)	Ja (Materialeinsatz, Kennzeichnung)	Ja (Materialbereitstellung, Lagerung)
	Tiefgreifendes Prozesswissen macht bioökonomische Anwendungen realisierbar	Tiefgreifendes Verständnis der technischen, wirtschaftlichen und ökologischen Faktoren der biobasierten Produktion	Hoch	Teilweise (Verfahrenstechnik, Biotechnologie)	Teilweise (Synthese, Biokatalyse)	Teilweise (Fermentation, Zellkultur)	Ja (Fermentation, Chromatografie, GMP)
	Material- und Verfahrenstechnik	Fähigkeit, Materialien und Prozesse zu entwerfen, zu optimieren und Fehler zu beheben	Hoch	Ja (Verfahrenstechnik, Stofftrennung)	Teilweise (Laborprozesse, Synthese)	Teilweise (Laborprozesse, Zellkultur)	Ja (Galenik, Verpackung, Prozessleitsysteme)
	Unterrichtseinheit Wirtschaft	Fähigkeit zur Bewertung von Kostenstrukturen, Skalierbarkeit und Rentabilität biobasierter Prozesse	Mittel	Wenig-Nicht (nicht behandelt)	Wenig-Nicht (nicht behandelt)	Wenig-Nicht (nicht behandelt)	Wenig-Nicht (nicht behandelt)
	Kundenorientierung	Kundenbedürfnisse verstehen	Mittel	Teilweise (Kundenorientierung bei Aufgabenbearbeitung)	Teilweise (Kundenorientierung in Qualitätssicherung)	Teilweise (indirekt über Dokumentation und Teamarbeit)	Teilweise (Kundenorientierung, Verpackung, Qualitätssicherung)
Technische Kompetenzen	Gentechnik	Verständnis und Anwendung genetischer Modifikationstechniken für Forschung und industrielle Nutzung	Hoch	Teilweise (Wahlqualifikation Biotechnologie)	Teilweise (Klonierung, Gentechnikgesetz)	Ja (Molekularbiologie, Gentechnik, PCR)	Ja (Gentechnik, Fermentation, Proteintrennung)
	Biokatalyse	Verständnis der enzymbasierten Katalyse für nachhaltige chemische Transformationen	Hoch	Wenig-Nicht (z.T. Biokatalytische Verfahren in Wahlqualifikation)	Wenig-Nicht (z.T. Biokatalytische Reaktionen in Synthese)	Wenig-Nicht (z.T. Enzymatische Reaktionen, Biochemie)	Teilweise (Enzymnutzung in Biotechnologie, nicht explizit als Biokatalyse)

Biopolymersynthese	Kenntnisse zur Herstellung biologisch abbaubarer Polymere aus biologischen Quellen	Mittel	Teilweise (Erwähnt: polymere)	Großflächig (Behandelt: Polymerisation, Synthese, polymere)	Wenig-Nicht (nicht explizit, aber über Biotechnologie möglich)	Wenig-Nicht (nicht explizit, aber über therapeutische Systeme möglich)
Scale-up-Prozesse	Fähigkeit, Prozesse im Labormaßstab auf die Produktion im industriellen Maßstab zu übertragen	Hoch	Wenig-Nicht (z.T. Scale-up in Verfahrenstechnik)	Wenig-Nicht (z.T. Verfahrensoptimierung, Synthese)	Wenig-Nicht (z.T. Verfahren auf Maßstabsänderung übertragen)	Teilweise (Erwähnt: Maßstab, Verfahrensänderung)
Genetisch veränderte Mikroorganismen	Verständnis der Gestaltung, Verwendung, Sicherheit und regulatorischen Aspekte von GVO in industriellen Umgebungen	Hoch	Teilweise (Erwähnt: gentransfer)	Teilweise (Erwähnt: Gentechnik, pcr)	Großflächig (Behandelt: Gentechnik, Transformation, pcr)	Teilweise (Erwähnt: gentransfer)
Verhalten unter chemischer Behandlung	Verstehen, wie Materialien und Organismen auf chemische Einflüsse reagieren	Hoch	Ja (Reaktionsverhalten, Stoffeigenschaften)	Ja (Reaktionsgleichungen, Stofftrennung)	Teilweise (Umgang mit Stoffen, Toxikologie)	Ja (Stabilität, Wirkstoffverhalten)
Fundierte Grundlagen- ausbildung (z. B. Chemie, Mikrobiologie)	Solide Grundlagen in wesentlichen wissenschaftlichen Disziplinen für fortgeschrittene Anwendungen	Hoch	Ja (Chemie, Verfahrenstechnik)	Ja (Chemie, Biochemie)	Ja (Biologie, Mikrobiologie, Chemie)	Ja (Pharma, Biotechnologie, Chemie)
Grundlegende Kenntnisse in Enzymen, Proteinen und Gentechnik	Grundlegendes Verständnis molekularer Mechanismen und genetischer Manipulationswerkzeuge	Hoch	Teilweise (Enzyme und Biotechnologie in Wahlqualifikation möglich)	Teilweise (Enzyme, Proteine und Gentechnik werden teilweise behandelt)	Ja (Enzyme, Proteine und molekularbiologische Verfahren sind zentraler Bestandteil)	Ja (Proteintrennung, Enzyme und Gentechnik sind umfassend enthalten)
Eigenschaften biobasierter Materialien verstehen	Kenntnisse über mechanische, chemische und biologische Eigenschaften nachwachsender Rohstoffe	Hoch	Teilweise (Materialkunde und Stoffeigenschaften werden behandelt, aber bio-basierte Materialien nicht explizit)	Teilweise (Materialanalytik vorhanden, aber bio-basierte Eigenschaften nicht explizit)	Teilweise (Material-einsatz und Umweltanalytik vorhanden, bio-basierte Eigenschaften nicht explizit)	Teilweise (Materialverhalten und Verpackung behandelt, bio-basierte Eigenschaften nicht explizit)

	Verständnis der Prozesssensitivität (z. B. Toxizität ionischer Flüssigkeiten)	Bewusstsein dafür, wie sich kleine Änderungen der Prozessbedingungen auf Ergebnisse und Sicherheit auswirken	Hoch	Wenig-Nicht (Prozesssensitivität wie ionische Flüssigkeiten wird nicht explizit behandelt)	Wenig-Nicht (Spezifische Prozesssensitivität wie ionische Flüssigkeiten nicht enthalten)	Wenig-Nicht (Prozesssensitivität wie ionische Flüssigkeiten nicht explizit behandelt)	Wenig-Nicht (Prozesssensitivität wie ionische Flüssigkeiten nicht explizit behandelt)
	Umwelttoxizitätstests verstehen	Fähigkeit, die Auswirkungen chemischer Stoffe auf Ökosysteme und die menschliche Gesundheit zu beurteilen	Hoch	Teilweise (Erwähnt: Umweltschutz, Umwelttechnik)	Teilweise (Erwähnt: Umweltschutz, Emission)	Teilweise (Erwähnt: Umweltschutz, Emission)	Teilweise (Erwähnt: Umweltschutz)